

2. Воронаев С.И. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1979.
3. Hopfinger E.J., Toly J.A. // J. Fluid Mech. 1976. 78, No. 1. P. 155.
4. Villiermaux E., Sommeria J., Gagne Y., Hopfinger E.J. // J. Fluid Mech. 1991. 10, No. 4. P. 427.

5. Аббасов К.Ш., Иванова И.Н., Пыркин Ю.Г. и др. // Водные ресурсы. 1998. № 1. С. 71.
6. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкостях. М., 1977.

Поступила в редакцию
25.05.98

АСТРОНОМИЯ

УДК 521.13

ДВИЖЕНИЕ ПОЛЮСОВ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОЙ ЗЕМЛИ В СИСТЕМЕ ЗЕМЛЯ–ЛУНА–СОЛНЦЕ (ПЛОСКИЙ ВАРИАНТ ЗАДАЧИ)

И. А. Герасимов, Н. В. Ракитина, Л. В. Рыжова

(ГАИШ)

В рамках плоского варианта задачи трех тел получены выражения для проекций приливной силы на оси прямоугольной системы координат, начало которой располагается в центре Земли. Подтверждается вывод, сделанный в работе Авсюка (1980), о том, что чандлерова периодичность не является исключительной и что изменяемость широт следует рассматривать как процесс, обусловленный вынужденными движениями внутреннего ядра, происходящими на фоне вынужденной нутации структурно-неоднородной Земли.

Все геодинамические процессы обусловлены совокупностью факторов, в частности процессами и силами, связанными с внутренним строением Земли. Другие факторы — это движение Земли по орбите и ее взаимодействие с другими телами Солнечной системы. Однако в настоящее время нет единой теории, которая могла бы полностью объяснить наблюдаемые особенности вращения Земли и движения ее полюсов [1, 2]. Так, значение постоянной нутации, полученное по значению постоянной прецессии, не согласуется с данными астрометрических наблюдений [3]. Возможно, это объясняется тем, что учет приливных эффектов производится по классической схеме Лапласа, базирующейся на кеплеровской задаче двух тел. На самом деле движение Земли происходит под действием Солнца, Луны и других планет, поэтому подход Лапласа — это лишь нулевое приближение [4]. Наличие внутреннего ядра Земли заставляет отказаться от модельного описания планеты как абсолютно твердого тела, данного С. Ньютоном.

Принципиально меняет ситуацию новое, более полное определение приливной силы, данное в работе Авсюка [3]. В этом определении учитываются возмущения движения Земли со стороны N внешних тел в неинерциальной системе координат, что может дать непротиворечивое описание результатов астрометрических наблюдений движения полюсов Земли.

В данной работе взята модель, аналогичная описанной в работе Авсюка [3], т.е. Земля считается структурно-неоднородным телом, состоящим из трех компонент: твердой оболочки, жидкого и твердого ядер. Начало прямоугольной системы координат находится в центре Земли, ось OX направлена в точку G пересечения экватора Земли и гринвичского ме-

ридиана, ось OY — в точку пересечения экватора Земли и меридиана (90° в.д.), ось OZ — по оси вращения Земли (рис. 1).

Рассмотрим плоский вариант задачи трех тел: Земля–Луна–Солнце и выпишем выражения для проекций приливной силы, действующей на Землю, на оси описанной прямоугольной системы координат. При этом будем исходить из определения приливной силы, данного в работе Авсюка [3]. Вектор приливной силы можно расписать следующим образом:

$$\mathbf{F} = f\delta m \left[\frac{M_1}{\rho_1^3} \boldsymbol{\rho}_1 + \frac{M_2}{\rho_2^3} \boldsymbol{\rho}_2 - \frac{M_1}{r^3} \mathbf{r} - \frac{M_1 M_2}{(M_0 + M_1) R_2^3} \frac{\mathbf{R}_2}{R_2^3} - \frac{M_0 M_2}{(M_0 + M_1) R_1^3} \frac{\mathbf{R}_1}{R_1^3} \right], \quad (1)$$

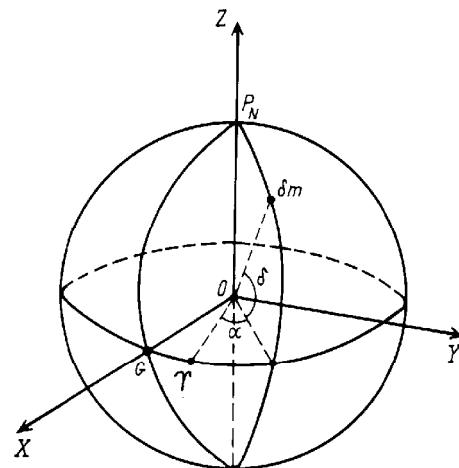


Рис. 1.

где M_1 , M_2 , M_0 — соответственно массы Луны, Солнца и Земли, r , r_1 и R_1 — соответственно расстояния от Земли до Луны, от Земли до центра масс Земля–Луна и от Земли до Солнца, f — гравитационная постоянная, δm — пробная точка на поверхности ядра Земли, $\rho_1 = \mathbf{r} - \mathbf{l}$, $\rho_2 = \mathbf{R}_1 - \mathbf{l}$, $\mathbf{R}_2 = \mathbf{R}_1 - \mathbf{r}$, $\mathbf{r}_1 = M_1 \mathbf{r} / (M_0 + M_1)$, l — радиус внутреннего ядра Земли (см. рис. 2; C — центр масс системы Земля–Луна).

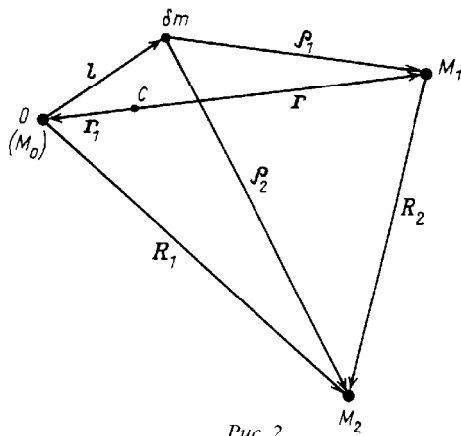


Рис. 2.

Применяя известные формулы сферической астрономии, учитывая при разложении в ряд лишь члены первого порядка относительно величин r/R_1 , l/R_1 , l/r , затем полагая равными нулю α и δ , а также углы наклона орбиты Луны и эклиптики к экватору Земли, получим окончательные выражения

$$\begin{aligned} \left(\frac{F}{\delta m}\right)_x = & -f \left[\frac{M_1}{r^3} + \frac{M_2}{R_1^3} \right] l \cos(t_0 + \lambda_0) - \\ & - 3 \frac{M_1 l}{r^3} f \cos t_0 \cos(\omega + \nu) \cos(\omega + \nu - \lambda_0) - \\ & - 3 \frac{M_1 l}{r^3} f \sin t_0 \cos(\omega + \nu) \sin(\omega + \nu - \lambda_0) + \\ & + 3 \frac{M_2 l}{R_1^3} f \cos t_0 \cos(\lambda_0) + \frac{M_2 r_1}{R_1^3} f \cos(\omega + \nu) + \\ & + 3 \frac{M_2 r_1}{R_1^3} f \cos^2 t_0 \cos(\omega + \nu) + \\ & + \frac{3}{2} \frac{M_2 r_1}{R_1^3} f \sin 2t_0 \sin(\omega + \nu), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{F}{\delta m}\right)_y = & -f \left[\frac{M_1}{r^3} + \frac{M_2}{R_1^3} \right] l \sin(t_0 + \lambda_0) - \\ & - 3 \frac{M_1 l}{r^3} f \cos t_0 \sin(\omega + \nu) \cos(\omega + \nu - \lambda_0) - \\ & - 3 \frac{M_1 l}{r^3} f \sin t_0 \sin(\omega + \nu) \sin(\omega + \nu - \lambda_0) - \\ & - 3 \frac{M_2 l}{R_1^3} f \sin t_0 \cos(\lambda_0) + \frac{M_2 r_1}{R_1^3} f \sin(\omega + \nu) - \\ & - \frac{3}{2} \frac{M_2 r_1}{R_1^3} f \sin 2t_0 \cos(\omega + \nu) - \\ & - 3 \frac{M_2 r_1}{R_1^3} f \sin^2 t_0 \sin(\omega + \nu), \end{aligned}$$

$$\left(\frac{F}{\delta m}\right)_z = 0, \tag{2}$$

где t_0 — часовой угол Солнца, λ_0 — эклиптическая долгота Солнца, ω , ν — аргумент перигея и истинная аномалия Луны соответственно. Равенства (2) содержат частоты, соответствующие суточному, месячному и годовому периодам, а также периодам $2\pi t/\omega = 8,85$ года и $2\pi t/(\omega - \lambda_0) = 1,13$ года. В плоском варианте нашей задачи частоты и периоды, указанные в работе Авсюка [3], сохраняются. Следовательно, верны и выводы, сделанные Авсюком [3], и прежде всего вывод о том, что чандлерова периодичность имеет эквивалент в вариациях приливной силы и не является исключительной и что изменчивость широт следует рассматривать как процесс, обусловленный вынужденными движениями внутреннего ядра, происходящими на фоне вынужденной нутации структурно-неоднородной Земли.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 96-02-17550 и 95-02-04190).

Литература

1. Dehant V. // IAU Symp. 1988. No. 128. P. 323.
2. Рыхлова Л.В. // Актуальные проблемы геодинамики. М., 1991. С. 9.
3. Авсюк Ю.Н. // ДАН СССР. 1980. 254, № 4. С. 834.
4. Авсюк Ю.Н. // Актуальные проблемы геодинамики. М., 1991. С. 52.

Поступила в редакцию
29.04.98