

ЭВОЛЮЦИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СИСТЕМЫ И ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ

В. П. Мельников, И.И. Смульский, Я.И. Смульский

НИУ Институт криосферы Земли СО РАН, 625000, Тюмень, а/я 1230 ИКЗ СО РАН

тел.(3452)688714, E-mail: smulski@ikz.ru

Задача о вращательном движении Земли содержит ряд неопределенностей, которые не позволяют получить надежные результаты за большие интервалы времени. Например, наклон плоскости экватора к подвижной плоскости орбиты неустойчив и изменяется хаотически [1, 2], а период нутационных колебаний оси Земли относительно оси ее орбиты равны 41 тыс. лет, т.е. превышают известный из наблюдений период прецессии земной оси $T_{prE} = 25.7$ тыс. лет.

Задачу об орбитальном движении Земли, планеты и Луны мы решили за 100 млн. лет и исследовали эволюцию их орбит. Так, например, динамика земной орбиты обусловлена прецессией оси орбиты относительно момента количества движения Солнечной системы с периодом $T = 68.7$ тыс. лет [3, 4]. В то же время ось орбиты Луны прецессирует относительно подвижной орбиты Земли с периодом $T = 18.6$ лет, а колебания ее оси относительно оси орбиты Земли имеют малую величину и с периодом нутационных колебаний $T_n = 0.47$ года, значительно меньшим периода прецессии.

Так как оси орбит планет и Луны имеют такую же динамику, как и ось вращения Земли, то представляется возможным рассмотреть задачу о вращательном движении Земли другим методом. Можно представить вращающуюся Землю в виде нескольких тел осесимметрично расположенных в экваториальной плоскости. Задача о взаимодействии таких тел нами была точно решена [5], поэтому их положения и скорости можно точно задать. Под воздействием планет, Солнца и Луны эта система будет эволюционировать. Поэтому поведение такой составной модели вращающейся Земли будет моделировать эволюцию ее оси вращения.

Параметры составной модели вращающейся Земли определяются из следующих условий: 1) суммарная масса периферийных тел и центрального тела равна массе Земли; 2) периферийные тела обращаются по окружности с угловой скоростью вращения Земли; 3) моменты инерции относительно осей x и z Земли и системы тел равны. Эти условия выражает система четырех нелинейных алгебраических уравнений, которой определяются четыре параметра составной модели: массы тел: центрального m_0 и периферийного m_1 , их количество n и радиус орбиты a . При решении этой системы возникают две проблемы. Во-первых, решения существуют не во всей области значений параметров модели. Во-вторых, так как количество тел n – дискретно, то точно удовлетворить этим уравнениям невозможно. Поэтому в дальнейшем число тел $n = 5$ задавалось, а вместо двух уравнений использовались следующие условия. Для модели 1 момент

инерции, создаваемый периферийными телами, приравнялся разности моментов инерции Земли J_z и J_y . Для модели 2 приравнялись моменты инерции модели J_z и Земли. Программой “Galactica” [3, 4] были численно проинтегрированы уравнения движения тел составной модели, Луны, 9 планет и Солнца (всего 16 тел) и исследована эволюция вышеупомянутых двух моделей. Выяснилось, что орбиты их прецессируют вокруг оси орбиты Земли с периодом $T_{pr} = 170$ лет, который значительно меньше периода прецессии оси Земли T_{prE} . В связи с этим были проанализированы результаты и установлено, что период прецессии можно увеличить при уменьшении радиуса a составной модели. В третьей модели был принят радиус модели равный экваториальному радиусу Земли R_{Ee} , а чтобы тела не соприкасались друг с другом, плотность их была удвоена по сравнению с плотностью Земли. Так как второе условие для третьей модели невозможно выполнить, то угловая скорость ω орбитального обращения для нее определялась из условий ее существования [1].

Уравнения движения 16 тел численно интегрировались с шагом интегрирования $dt = 1 \cdot 10^{-5}$ года для первых двух моделей и с шагом $dt = 1 \cdot 10^{-6}$ года для третьей модели. Выполнены расчеты поведения этих моделей в непрерывном движении в течение до 20 тыс. оборотов и через промежутки времени разной величины на интервале до 110 тыс. лет. После интегрирования уравнений движения проводился расчет 12 параметров орбиты относительно центра Земли одного из периферийных тел, в том числе: угла положения восходящего узла φ_Q в плоскости неподвижного экватора, угла наклона плоскости орбиты i к этой же плоскости и эксцентриситета орбиты e .

Эволюция орбит для всех моделей однотипна. Например, для первой модели угол наклона плоскости орбиты i к плоскости неподвижного экватора начинает увеличиваться и по величине угла для восходящего узла $\varphi_Q \approx 1.5\pi$ видно, что орбита поворачивается вокруг оси y . Начальные условия тел заданы для круговой орбиты, но из поведения эксцентриситета e следует, что уже на первой орбите он имеет очень малую величину, но не равную нулю, т.е., орбита отличается от окружности. В дальнейшем эксцентриситет орбиты колебательно увеличивается. Период первых колебаний эксцентриситета $T_{e1} = 0.714 \cdot 10^{-3}$ сут = 26.1 дней. (Отметим, 1 сут – 1 столетие). Тенденция увеличения со временем эксцентриситета e , угла наклона i и угла восходящего узла φ_Q сохраняется и за более длительные периоды (0 – 0.05 сут) и (0 – 0.5 сут). На последнем интервале проявилась вторая гармоника изменения

эксцентриситета с периодом $T_{e2} = 10$ лет и эксцентриситет достигает величин $6 \cdot 10^{-4}$. На промежутке 1000 лет с интервалом между точками 10 лет эксцентриситет достигает значений $e = 0.0015$. Периодов колебаний больших T_{e2} не наблюдается. На промежутке 110 тыс. лет с интервалом между точками 2 тыс. лет эксцентриситет орбиты e и продолжительность оборота растут, а угол наклона орбиты не превышает максимального значения $i_m = 0.815$.

Величина i_m составляет удвоенный угол между осями Земли и ее орбиты. Колебания угла i наклона орбиты происходят с периодом $T_{pr} = 170$ лет. Из эволюции положения восходящего узла φ_{Ω} следует, что восходящий узел перемещается за стрелкой часов. Угол $\varphi_{\Omega} = 0$ в моменты совпадения орбиты с плоскостью экватора, т.е. восходящий узел совершает полный оборот с периодом T_{pr} . Эти данные свидетельствуют о прецессии плоскости орбиты составной модели вокруг оси орбиты Земли. Выполненные исследования показали, что ось орбиты рассматриваемого тела прецессирует вокруг оси подвижной орбиты Земли. Далее изучалась эволюция прецессии и угла нутации i_E орбит в преобразованной системе отсчета к подвижной орбите Земли.

Исследования показали, что нутационные колебания оси орбиты происходят с тремя периодами: $T_{n1} = 0.038$ года = 13.9 суток; $T_{n2} = 0.5$ года и $T_{n3} = 20.3$ года. Амплитуда коротких колебаний $\Delta i_{Es} = \pm 7,5 \cdot 10^{-5}$. Суммарные амплитуды средних и длительных колебаний равны соответственно $\pm 1,0 \cdot 10^{-4}$ и $\pm 8,2 \cdot 10^{-3}$. По значениям амплитуд видно, что с увеличением периода колебаний его амплитуда растет. Исследования на интервале 110 тыс. показали, что отклонения угла i_E незначительно превышают колебания с периодом T_{n3} . Поэтому можно сделать вывод, что колебаний с периодом большим $T_{n3} = 20.3$ года со значительной амплитудой нет.

Табл. 1. Сравнительные параметры и характеристики трёх составных моделей вращающейся Земли: m_{SS} – масса тел Солнечной системы; Δi_E – амплитуда в радианах колебаний оси орбиты тела относительно оси орбиты Земли; Δi_{Es} – суммарная амплитуда колебаний, сложенная из амплитуд колебаний более коротких периодов.

No мо- дели	m_j		a $\times R_{Ee}$	T_{pr} лет	T_{el} сут
	m_j/m_{SS} , $\times 10^{-11}$	кг, $\times 10^{19}$			
1	1.79	3.57	6	170	26
2	3.62	7.21	6	170	26
3	0.271	0.54	1	2604	27

No	T_{n1}	$\pm \Delta i_{E1}$	T_{n2}	$\pm \Delta i_{E2}$	T_{n3}	$\pm \Delta i_{Es3}$
	сут.	$\times 10^{-6}$	лет	$\times 10^{-3}$	лет	$\times 10^{-3}$
1	13.9	75	0.5	11	20.3	8.2
2	13.9	75	0.5	11	20.3	8.2
3	14.1	6	0.5	2.5	18.6	0.46

Итак, в первой составной модели вращающейся Земли ее ось прецессирует с периодом $T_{pr} = 170$ лет вокруг подвижной оси орбиты Земли и совершает нутационные колебания с периодами 13.9 суток, 0.5

года и 20.3 года с размахом колебаний 1° . Так как первые два периода равны полупериодам обращения Луны и Солнца вокруг Земли, то они и ответственны за эти колебания. Аналогичные исследования выполнены для остальных двух моделей. Результаты сведены в табл. 1.

В табл. 1 представлены параметры нутационных колебаний всех трёх моделей. Как видно из табл. 1, у всех моделей три первых периода нутационных колебаний практически совпадают. У третьей модели имеется четвертый период $T_{n3} = 2550$ лет и амплитудой $\Delta i_{Es} = 2 \cdot 10^{-3}$ радиана.

Периоды изменения эксцентриситета также практически совпадают. Прецессия орбиты составной модели, т.е. модели экватора Земли, происходит относительно подвижной орбиты Земли. Наибольший диапазон колебаний между подвижными осями экватора и орбиты Земли не превышает $2\Delta i_{Es} = 1^\circ$ и с увеличением периода прецессии для третьей модели диапазон колебаний уменьшается до $2\Delta i_{Es} = 0.23^\circ$. Это в несколько раз меньше размаха колебаний $\Delta \varepsilon = 2.46^\circ$, который получены в рамках астрономической теории изменения климата. Кроме того, наибольший период нутационных колебаний не превышает период прецессии.

Итак, поведение экватора составной модели вращающейся Земли по направлению прецессии и совпадению ее вектора с осью подвижной орбиты Земли согласуется с данными наблюдения. Согласуются также с данными наблюдения и теориями вращательного движения Земли периоды нутационных колебаний 14 дней, 0.5 года и 18.6 лет. В этих моделях отсутствует период нутационных колебаний в 41.1 тыс. лет, который фигурирует в астрономических теориях изменения климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Laskar J. Marginal stability and chaos in the Solar system/ Ferraz Mello S. et al. (eds.) Dynamics, ephemerides and astrometry of the Solar System. – IAU: Netherlands. – 1996. Pp. 75 – 88.
- Laskar J., Correia A. C. M., Gastineau M., Joutel F., Levrard B. and Robutel P.) Long term evolution and chaotic diffusion of the insolation quantities of Mars// Icarus. – 2004, Vol. 170, Issue 2, pp. 343-364.
- Смульский И.И. Новая геометрия эволюции орбит // Proceeding of Joint International Scientific Conference “New Geometry of Nature, August 25 – September 5, 2003, б, Kazan State University, 2003. – с. 192-195.
- Мельников В. П., Смульский И.И. Астрономические факторы воздействия на криосферу Земли и проблемы их исследования// Криосфера Земли. – 2004. – Т. VIII, № 1, с. 3–14.
- Смульский И.И. Осесимметричная задача гравитационного взаимодействия N-тел// Математическое моделирование. – 2003, а, т. 15, № 5, с. 27-36.