SciTecLibrary.ru

Научно-техническая библиотека
Статьи и Публикации
http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10051.html

ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ

Опубликована 27.11.2009, № 10051

© Воронков С.С.

доцент, к.т.н

Контакт с автором: vorss60@yandex.ru

Аннотация

Рассмотрены причины вращения Земли вокруг своей оси. Установлено, что Земля за один оборот вокруг своей оси под действием моментов внешних сил, действующих со стороны Луны и Солнца, дважды ускоряется и дважды замедляется. Приводится сравнение расчетных значений амплитуды изменения длительности суток с данными экспериментальных наблюдений.

В современной науке вопрос о причине вращения Земли вокруг своей оси не ставится. Сегодня мы довольствуемся представлениями эпохи Галилея-Ньютона, согласно которым Земля при своем формировании благодаря какому-то неизвестному нам импульсу получила устойчивое вращательное движение вокруг оси и это вращение осуществляется по инерции. Для эпохи Галилея-Ньютона был важен сам факт признания вращения Земли (гелиоцентрическая картина мира), а вопрос о причинах вращения был менее важен. В XX веке возникли новые направления в науке, такие как релятивистская механика, квантовая механика, ядерная физика и др. и считается, что все проблемы в классической механике (к которой относится вопрос о причинах вращения Земли вокруг своей оси), уже решены.

Таким образом, вопрос о причинах вращения Земли вокруг своей оси выпал из поля зрения современной науки как малозначимый, второстепенный. Но это не так. Как будет показано в этой статье, этот вопрос является важным с точки зрения изучения динамики вращения Земли.

Среди работ, относящихся к этой тематике, следует выделить работу группы ученых Косинов Н.В. и др. [1] и работу Новоселова А.С. [2], в которых осуществлена попытка установления причин вращения Земли вокруг своей оси.

Как представляется причина вращения Земли вокруг своей оси с позиций общей динамики [3]?

В XX веке были установлены три важных факта, позволяющих по-иному взглянуть на вращение Земли. Рассмотрим их.

Первый факт. Прямые измерения в околоземном и межпланетном пространстве во второй половине XX века показали [4], что Земля постоянно омывается потоком солнечной плазмы (солнечным ветром), порождающим сложные динамические процессы вокруг Земли. Приведем строение магнитосферы Земли, взятое из [5] – рис. 1.

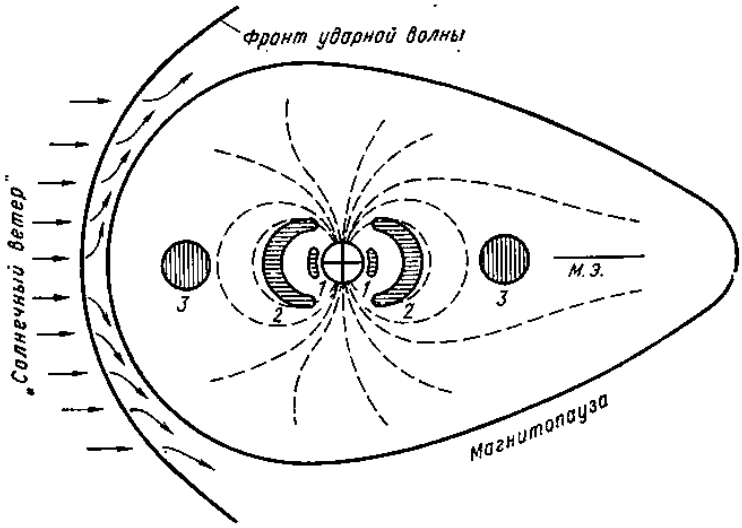

Рис. 1. Магнитосфера и радиационные пояса Земли. Рисунок взят из работы [5].
⊕ – Земля с магнитными силовыми линиями; радиационные пояса: 1 – внутренняя зона; 2 – средняя зона; 3 – внешняя зона, или кольцевой ток; м.э. – магнитный экватор.

Поток солнечной плазмы является сверхзвуковым. При встрече с магнитным полем Земли образуется ударная волна, поджимающая магнитное поле Земли со стороны Солнца. Во внутренних областях магнитосферы существуют радиационные пояса, в которых магнитное поле Земли удерживает заряженные частицы – протоны, электроны и др.

Таким образом, сегодняшние представления о динамических процессах, происходящих в околоземном пространстве, значительно отличаются от представлений эпохи Галилея-Ньютона, согласно которым Земля вращается в пустоте, где отсутствуют силы сопротивления. Предполагать, что в этих сложных динамических условиях Земля вращается вокруг своей оси по инерции, без каких либо внешних причин, представляется сегодня, по крайней мере, наивным. Для поддержания вращения Земли необходимо постоянное поступление энергии из вне, компенсирующее существующие потери.

Второй факт. В начале XX века было установлено [6], что Земля вращается с постоянным замедлением, вековое изменение длительности суток происходит со скоростью 1÷2 мс/столетие. В настоящее время выявлены и другие вариации скорости вращения Земли [6,7,8]. Среди неравномерностей вращения Земли выделяют вековые, периодические и нерегулярные изменения угловой скорости вращения. Считается, что главной причиной векового замедления вращения Земли является приливное трение.

Третий факт. В XVII веке Ньютон показал, что Земля является сфероидом. В XX веке было установлено [9], что экваториальное сечение Земли не является точным кругом, а представляет собой эллипс, для которого большая полуось примерно на 200 м больше малой. Таким образом, Земля представляет собой не сфероид, а трёхосный эллипсоид.

Эти факты позволяют по-иному взглянуть на вращение Земли.

Анализируя вращения планет солнечной системы, отметим следующее [5]:

1. Две ближайшие к Солнцу планеты: Меркурий и Венера, лишенные спутников, вращаются с периодами, значительно превышающими периоды вращения других планет солнечной системы. Так, период вращения Меркурия составляет 58,65 земных суток. Период вращения Венеры составляет 243,16 земных суток. Период вращения Земли составляет 23 часа 56 мин 4 сек.

2. У планет Меркурия и Венеры, лишенных спутников, оси вращения почти перпендикулярны к плоскости их орбит.
3. Большинство планет солнечной системы: Меркурий, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Нептун и Плутон вращаются в прямом направлении, но имеются исключения: это Венера и Уран. Венера вращается вокруг оси с востока на запад, навстречу вращению Земли, такое вращение называется обратным. У Урана плоскость экватора образует с плоскостью его орбиты угол 82°, то есть ось его вращения практически лежит в плоскости орбиты и направление вращения является также обратным.

Следовательно, на период вращения и положение оси вращения планет существенное влияние оказывают спутники этих планет. Механизм воздействия спутников на планеты реализовывается через гравитационное взаимодействие.

Рассмотрим динамические уравнения Эйлера, описывающие вращение Земли [10]

$$\left.\begin{aligned} I_x\frac{d\omega_x}{dt}+(I_z-I_y)\omega_y\omega_z=M_x,\\ I_y\frac{d\omega_y}{dt}+(I_x-I_z)\omega_z\omega_x=M_y,\\ I_z\frac{d\omega_z}{dt}+(I_y-I_x)\omega_x\omega_y=M_z,\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где $\omega_x,\omega_y,\omega_z$ – проекции угловой скорости Земли на оси подвижной системы координат Cxyz, жестко связанной с телом и совпадающей с главными осями инерции; I_x,I_y,I_z – главные моменты инерции; M_x,M_y,M_z – проекции главного момента всех внешних сил относительно тех же осей.

Система координат приведена на рис. 2.

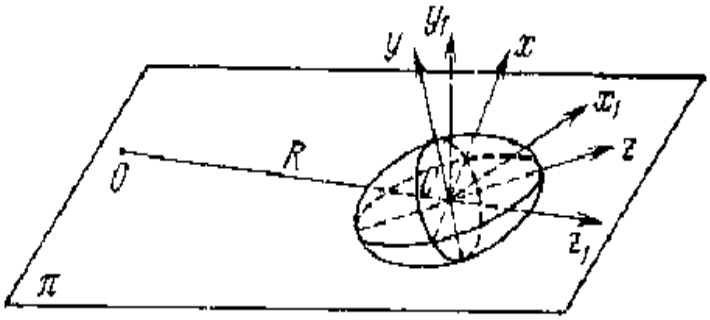

Рис. 2. Система координат движения Земли вокруг Солнца. Рисунок взят из работы [10]. π – плоскость эклиптики, 0 – центр вращения Земли вокруг Солнца, R – расстояние между Солнцем и Землей, $Cx_1y_1z_1$ – орбитальная система координат, Cxyz – система координат, жестко связанная с Землей, оси которой совпадают с главными осями инерции.

Положение системы координат Cxyz, жестко связанной с Землей, относительно орбитальной системы $Cx_1y_1z_1$ определяется таблицей направляющих косинусов

	x	y	z
x_1	α_1	α_2	α_3
y_1	β_1	β_2	β_3
z_1	γ_1	γ_2	γ_3

Совместим ось y с осью вращения Земли. Главные моменты внешних сил представляют собой главные моменты сил тяготения, действующих на Землю со стороны других небесных тел. Проекции главного момента определяются [10]

$$\left.\begin{aligned} M_x &= 3\frac{\mu}{R^3}(I_z - I_y)\gamma_2\gamma_3, \\ M_y &= 3\frac{\mu}{R^3}(I_x - I_z)\gamma_3\gamma_1, \\ M_z &= 3\frac{\mu}{R^3}(I_y - I_x)\gamma_1\gamma_2. \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

где $\mu = Gm$ – гравитационный параметр, G – гравитационная постоянная, m – масса Солнца или другого небесного тела, действующего на Землю, R – расстояние между небесным телом и Землей.

В предположении, что Земля является сфероидом [5] $(I_x = I_z)$, с учётом (2) $M_y = 0$, из второго уравнения системы (1) получим

$$\omega_y = \text{const}, \qquad (3)$$

то есть угловая скорость вращения Земли постоянна.
Условие (3) получено в предположении, что Земля является сфероидом. С учетом того, что Земля представляет собой не сфероид, а трёхосный эллипсоид [9], и $I_x \neq I_z$, на Землю со стороны Солнца постоянно действует крутящий момент M_y, поддерживающий ее вращение и приводящий к незначительным колебаниям угловой скорости вращения Земли $\omega_y \neq \text{const}$.

Так как $I_x \neq I_z$, на Землю, кроме Солнца, будут действовать крутящие моменты со стороны других небесных тел, в первую очередь, со стороны ее спутника – Луны.

Оценим соотношение моментов внешних сил, действующих со стороны Луны и Солнца на Землю

$$\frac{M_{ул}}{M_{ус}} = \frac{3\frac{Gm_л}{R_л^3}(I_x - I_z)}{3\frac{Gm_c}{R_c^3}(I_x - I_z)} = \frac{m_л R_c^3}{m_c R_л^3} = \frac{7{,}36\cdot 10^{22}\left(149{,}6\cdot 10^9\right)^3}{2\cdot 10^{30}\left(384{,}4\cdot 10^6\right)^3} = 2{,}17, \qquad (4)$$

где $m_л$ и m_c – массы Луны и Солнца соответственно, $R_л$ и R_c – расстояния между Луной и Землей и между Солнцем и Землей соответственно.

Момент внешних сил, действующий на Землю со стороны Луны примерно в 2,2 раза больше, чем со стороны Солнца.

На Землю со стороны Луны и Солнца действуют моменты внешних сил, которые необходимо учитывать при анализе неравномерности вращения. Действительно, оценим неравномерность вращения Земли, возникающую под действием внешнего момента со стороны Солнца. Для этого привлечем второе уравнение системы (1) с учетом (2)

$$I_y\frac{d\omega_y}{dt} + (I_x - I_z)\omega_z\omega_x = \frac{3Gm_c}{R_c^3}(I_x - I_z)\gamma_3\gamma_1. \qquad (5)$$

Рассмотрение проведем в предположении $\omega_y >> \omega_x$ и $\omega_y >> \omega_z$. ω_y представляет собой круговую частоту вращения Земли, а ω_x и ω_z определяются прецессией и нутацией земной

оси, и они значительно меньше частоты вращения Земли. В этом приближении вторым членом в левой части уравнения (5) можно пренебречь как величиной второго порядка малости.

Для определения значений направляющих косинусов можно воспользоваться дифференциальными уравнениями, приводимыми в [10]. Но для оценки достаточно выразить их значения через углы Эйлера и оценить диапазон изменений [11]

$$\begin{aligned} \cos(z_1, x) = \gamma_1 &= \sin\psi\cos\varphi + \cos\psi\sin\varphi\cos\theta, \\ \cos(z_1, z) = \gamma_3 &= -\sin\psi\sin\varphi + \cos\psi\cos\varphi\cos\theta, \end{aligned} \tag{6}$$

где ψ, θ, φ – эйлеровы углы: прецессии, нутации, чистого вращения соответственно.

Угол чистого вращения определяется вращением Земли вокруг своей оси и за один оборот изменяется от 0 до 2π. Оценим диапазон изменений произведения направляющих косинусов при $\psi = 0, \theta = 0$

$$\gamma_3\gamma_1 = \cos\varphi\sin\varphi = \frac{1}{2}\sin 2\varphi, \tag{7}$$

то есть за один оборот Земли она будет дважды ускоряться и дважды замедляться под действием момента внешних сил, действующего со стороны Солнца. Поэтому для оценки примем время ускорения, равное четверти земных суток. Амплитуда изменения частоты вращения Земли найдется

$$\Delta\omega_y = \frac{3Gm_c}{2R_c^3}\frac{(I_x - I_z)}{I_y}\Delta t. \tag{8}$$

Моменты инерции Земли как трехосного эллипсоида, рис. 3, найдутся

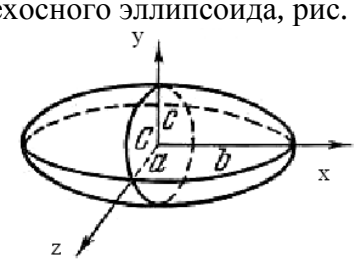

Рис. 3. Трехосный эллипсоид. a, b, c – большая, средняя и малая полуоси эллипсоида.

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{m_з}{5}(a^2 + b^2), \\ I_x &= \frac{m_з}{5}(a^2 + c^2), \\ I_z &= \frac{m_з}{5}(b^2 + c^2), \end{aligned} \tag{9}$$

где $m_з$ – масса Земли, $a = 6{,}378364 \cdot 10^6$ м, $b = 6{,}378164 \cdot 10^6$ м, $c = 6{,}356799 \cdot 10^6$ м, по данным [12].

Подставляя численные значения величин в формулу (8), найдем амплитуду изменения частоты вращения Земли в течение суток под действием Солнца

$$\begin{aligned} \Delta\omega_y &= \frac{3 \cdot 6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{2 \cdot (149{,}6 \cdot 10^9)^3}\frac{(6{,}378364^2 - 6{,}378164^2)}{(6{,}378364^2 + 6{,}378164^2)} \cdot 21541 = \\ &= 0{,}404 \cdot 10^{-13} \text{ рад/сек.} \end{aligned} \tag{10}$$

Найдем амплитуду изменения длительности суток под действием Солнца

$$\Delta T_c = \frac{2\pi \cdot \Delta\omega_y}{\omega_y^2} = \frac{2\pi \cdot 0{,}404 \cdot 10^{-13}}{(7{,}2921 \cdot 10^{-5})^2} = 0{,}000048 \text{ сек.} \qquad (11)$$

Момент внешних сил, действующий на Землю со стороны Луны, как показано в (4), в 2,17 раза больше, чем момент внешних сил Солнца. Следовательно, амплитуда изменения длительности суток под действием Луны будет во столько раз больше

$$\Delta T_л = \Delta T_c \cdot 2{,}17 = 0{,}000104 \text{ сек.} \qquad (12)$$

Эти амплитуды при определенных положениях Луны и Солнца будут как складываться, так и вычитаться, то есть суммарная амплитуда будет изменяться в пределах $0{,}000056 \div 0{,}000152$ сек.

Следует отметить, что расстояния от Солнца и Луны до Земли переменные, так как траектории движения Земли и Луны эллиптические, что приведет к дополнительным изменениям амплитуды колебаний длительности суток, как в большую, так и в меньшую стороны.

Полученные значения амплитуды изменения длительности суток одного порядка с так называемыми приливными отклонениями длительности суток от эталонных, рис. 4, и составляющих величину порядка 0,0005 сек (см. рис. 4 – кривая 2).

На рис. 4 [8] воспроизведен ход суточных отклонений длительности суток в 2000 г. (кривая 2), по данным «IERS Annual Report» (2000). Здесь, помимо сезонных изменений, обусловленных гидрометеорологическими процессами, хорошо видны приливные колебания скорости вращения Земли. По величине размаха они немного уступают сезонным колебаниям, но их периоды в десятки раз короче сезонных – близки к 14 сут.

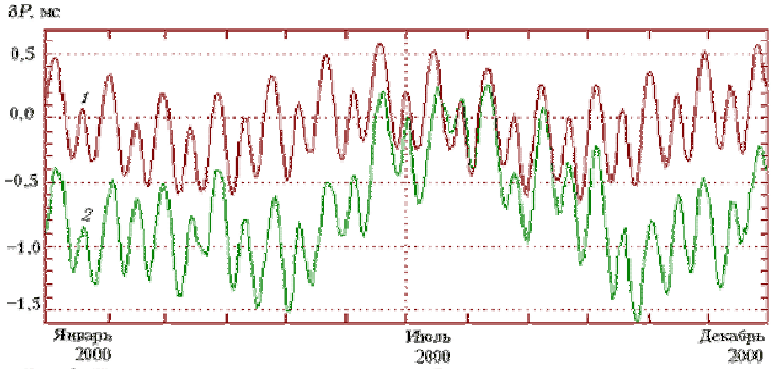

Рис. 4. Ход суточных значений отклонений dP длительности суток от эталонных в 2000 г. Кривая 1 (вверху) – прогноз приливных колебаний величин dP, а кривая 2 (внизу) – данные наблюдений. Рисунок взят из работы [8].

В работе [8] приливные колебания скорости вращения Земли объясняются исходя из закона сохранения момента импульса Земли. Вот что пишет автор [8]: "Земные приливы играют заметную роль и в колебаниях скорости вращения Земли с периодами менее одного месяца. Приливообразующая сила растягивает Землю вдоль прямой, соединяющей ее центр с центром возмущающего тела – Луны или Солнца. При этом сжатие Земли увеличивается, когда ось растяжения совпадает с плоскостью экватора, и уменьшается, когда ось растяжения отклоняется к тропикам. Момент инерции сжатой Земли больше, чем недеформированной. А поскольку момент импульса Земли (т.е. произведение ее момента инерции на угловую скорость) должен оставаться постоянным, то и скорость вращения сжатой Земли меньше, чем недеформированной. При движении Луны и системы Земля-Луна склонения Луны и Солнца и расстояния от Земли до Луны и Солнца постоянно меняются.

Поэтому приливообразующая сила колеблется во времени соответствующим образом, что в конечном итоге и вызывает приливную неравномерность вращения Земли. Наиболее значительными являются колебания с полумесячным и месячным периодами".

Но эти выводы относительно сохранения момента импульса справедливы в том случае, если отсутствуют внешние силы, действующие на систему. На Землю со стороны Луны и Солнца, как мы показали, действуют моменты внешних сил, приводящие к колебаниям длительности суток с амплитудами, сопоставимыми с данными наблюдений.

Проведенный анализ был выполнен в предположении, что Земля представляет собой трехосный эллипсоид. Реальная фигура Земли более сложная. Следующее приближение фигуры Земли – это геоид – поверхность спокойного океана, продолженная под материками. Также на моменты инерции Земли влияет различная плотность внутренних областей, горы, возвышающиеся над уровнем океана до 8000 м и другие факторы. Все эти факторы влияют на величину момента внешних сил и соответственно, амплитуду изменения длительности суток.

Полученное выражение произведения направляющих косинусов (7) показывает, что Земля за один оборот вокруг своей оси под действием моментов внешних сил, действующих со стороны Солнца и Луны, дважды ускоряется и дважды замедляется. С этой же периодичностью изменяются приливы и отливы морей и океанов на поверхности Земли. И здесь возникает вопрос: Не являются ли моменты внешних сил, действующих со стороны Солнца и Луны на Землю, причиной приливов и отливов? Может оказаться, что внешне правдоподобное объяснение причин приливов и отливов, данное Ньютоном [13], согласно которому причиной приливных явлений является притяжение водной оболочки Земли Луной и Солнцем, – ложно.

Уравнения, описывающие вращение Земли (1) являются нелинейными. Нелинейность содержится как в самих уравнениях, так и коэффициентах, которые являются переменными. Так, моменты инерции Земли постоянны только в первом приближении. Они незначительно, но постоянно изменяются под действием приливов, таяния ледников, землетрясений и других причин. Гравитационная постоянная, входящая в правую часть уравнений, постоянна только в первом приближении закона тяготения Ньютона. Как показано в [3], во втором приближении закона тяготения в нем появляется релятивистский множитель, определяющий зависимость гравитационной постоянной от скорости движения Земли по орбите. Приблизительно постоянное значение скорости вращения Земли, получаемое как решение этой системы уравнений, обеспечивается поступлением энергии в систему под действием момента внешних сил, который дважды в сутки ускоряет и замедляет вращение. Но это значение скорости вращения Земли является одним из возможных устойчивых состояний, которое может быть нарушено при изменении параметров системы и условий поступления энергии. Нарушение устойчивости этой системы (резкое изменение скорости вращения Земли вокруг своей оси) приведет к глобальной катастрофе. Поэтому вопрос изучения динамики вращения Земли является одним из наиболее важных.

Выводы:

- Проведенный анализ показывает, что при рассмотрении неравномерности вращения Земли вокруг своей оси необходимо учитывать моменты внешних сил, действующих со стороны Луны и Солнца, обусловленные отличием фигуры Земли от сфероида.
- Установлено, что Земля за один оборот вокруг своей оси под действием моментов внешних сил, действующих со стороны Луны и Солнца, дважды ускоряется и дважды замедляется.
- Вопрос изучения динамики вращения Земли является одним из наиболее важных.

Литература

1. Косинов Н.В., Гарбарук В.И., Косинов Л.В. Секрет вращения Земли и причины возникновения циклонов, тайфунов, торнадо, 2001. http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/2329.html
2. Новоселов А.С. Теория вращения Земли вокруг собственной оси и других планет СС вокруг собственной оси, 2005. http://www.astrogalaxy.ru/446.html
3. Воронков С.С. Общая динамика. – Псков: Квадрант, 2008. – 155 с. http://www.vorss60.narod.ru/
4. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1976. – 655 с.
5. Астрономия: Учеб. пособие / М. М. Дагаев, В. Г. Демин, И. А. Климишин, В. М. Чаругин. – М.: Просвещение, 1983. – 384 с.
6. Киселев В.М. Неравномерность суточного вращения Земли. – М.: Наука, 1980. – 160 с.
7. Манк У., Макдональд Г. Вращение Земли. – М.: Мир, 1964. – 384 с.
8. Сидоренков Н.С. Нестабильности вращения Земли. 13 с. http://www.1september.ru.
9. Рябов Ю.А. Движение небесных тел. – М.: Физ-мат. лит., 1962. – 215 с.
10. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. Т.II.: Динамика. – М.: Наука, 1979. – 544 с.
11. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. Т.I. Статика и кинематика. – М.: Наука,1982. – 352 с.
12. Физический энциклопедический словарь. – М.: Сов. энциклопедия, 1984. – 994 с.
13. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М.: Наука, 1989. – 688 с.