

УДК 551.521.1

МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ТРОПИЧЕСКОГО ГОДА

© 2013 г. В. М. Федоров

Представлено академиком М.Ч. Залихановым 20.09.2012 г.

Поступило 20.09.2012 г.

DOI: 10.7868/S086956521319016X

Тропическим годом является промежуток времени между двумя последовательными прохождением центра истинного Солнца через точку весеннего равноденствия. Из астрономических наблюдений величина тропического года определяется значением в 365 дней 5 ч 48 м 46 с или 365.2422 сут. При невозмущенном (кеплеровском) движении Земли продолжительность тропического года была бы величиной постоянной во времени. Однако реальное орбитальное движение Земли является возмущенным [1, 4–6]. Следствием возмущенного движения Земли и связанными с этим изменениями продолжительности тропического года являются различия в годовых поступлениях солнечной радиации к Земле. Таким образом, изменчивость продолжительности тропического года является одной из причин многолетних вариаций поступающей к Земле солнечной энергии и, следовательно, радиационного и теплового баланса Земли, которая до настоящего времени детально не исследовалась.

По данным эфемерид JPL Planetary and Lunar Ephemerides (DE-406) определялось время вхождения Земли в точки весеннего равноденствия (0°

Овна) во временном интервале с 1900 по 2050 г. [11, 12]. Точность эфемерид по времени составляет 1 с (или 0.0000115 сут). По этим данным рассчитывалось время между последовательными положениями Земли в точках весеннего равноденствия. Таким образом, были получены значения продолжительности тропического года за период с 1900 по 2050 г. Последовательным вычитанием значений были рассчитаны значения межгодовой изменчивости продолжительности тропического года. В результате анализа значений межгодовой изменчивости продолжительности тропического года были получены новые амплитудно-периодические характеристики вариаций продолжительности тропического года, связанные с возмущенным орбитальным движением Земли.

Определенные по эфемеридам значения продолжительности тропического года за период с 1900 по 2050 г. графически представлены на рис. 1.

Сравнением полученных данных с результатами измерений продолжительности тропического года за 5 последовательных лет с 1985 по 1989 г. [10] были

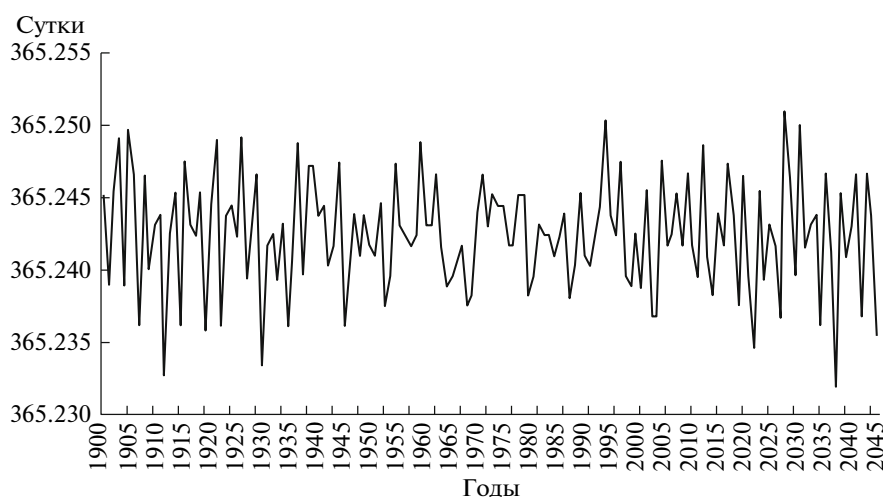


Рис. 1. Продолжительность тропического года за период с 1900 по 2050 г. Примечание: календарный год соответствует началу тропического года.

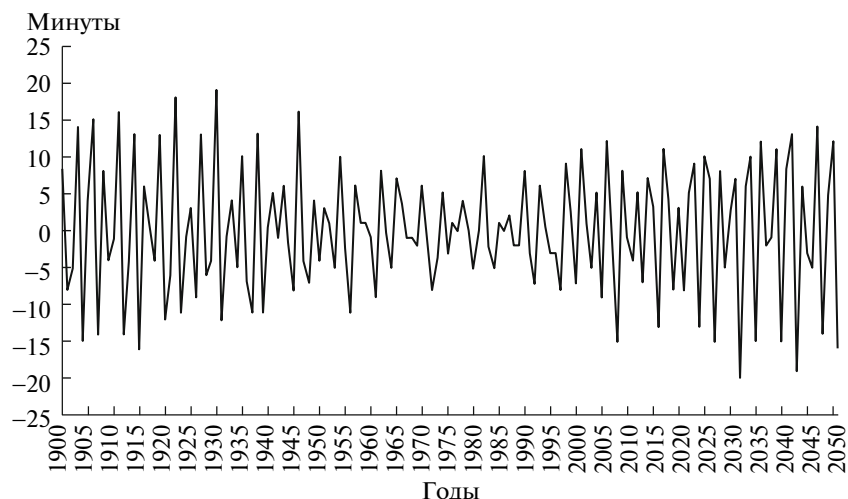


Рис. 2. Межгодовые вариации продолжительности тропического года.

обнаружены различия, в среднем составляющие 17.37 с за тропический год. При среднем значении амплитуды межгодовых вариаций продолжительности тропического года, определяемой нами в 0.004761 сут или в 6 мин 51 с (рис. 2), полученные значения расхождений представляются несущественными (в среднем составляют 0.042 от величины средней амплитуды межгодовой изменчивости).

В межгодовой изменчивости продолжительности тропического года выделяется трехлетний цикл, который через 8 и 11 лет чередуется с двухлетним циклом, при этом максимум спектральной плотности приходится на период 2.7 года (рис. 2, табл. 1).

В связи с тем, что периодичность не является скрытой, был использован простой метод определения ее структуры (табл. 1), который состоял из следующих этапов:

определение лет с максимальными положительными значениями межгодовой изменчивости продолжительности тропического года (столбцы 1 и 2); эти значения выделены жирным шрифтом;

определение продолжительности между выделенными согласно п. 1 соседними годами (столбец 3); так определяли основные двух- и трехлетние циклы;

последовательный расчет продолжительности от года первого двухлетнего цикла до следующего и т.д.; таким образом, определяли дополнительные восьми- и одиннадцатилетние циклы (столбец 4).

Из способа выделения цикличности следует, что основные двух- и трехлетние циклы отражают периодичность в межгодовой изменчивости величины тропического года. Дополнительные восьми- и одиннадцатилетние циклы отражают периодичность в чередовании этих (двух- и трехлетних) циклов во времени. При этом одиннадцатилетний цикл состоит из трех трехлетних и одного двухлетнего циклов, а восьмилетний цикл состоит из двух трехлетних и одного двухлетнего цик-

лов (рис. 2, табл. 1). Ранее нами были получены аналогичные периодические характеристики в межгодовых вариациях расстояния между Землей и Солнцем и солнечной постоянной [8, 9].

Амплитуда межгодовой изменчивости продолжительности тропического года в среднем составляет 0.004761 сут (или 6 мин 51 с). Средняя амплитуда определялась преобразованием знакопеременного ряда межгодовой изменчивости в ряд модулей значений этих величин и последующим расчетом средних значений для этого ряда. Максимальное значение амплитуды равно 0.013888 сут (20 мин 00 с). Средняя амплитуда трехлетнего цикла, по нашим расчетам, составляет 0.006659 сут или 9 мин 35 с, двухлетнего — 0.004676 сут или 6 мин 44 с.

В интервале приблизительно с 1960 по 2000 г. отмечается уменьшение амплитуды межгодовой изменчивости и нарушение строгого чередования двух- и трехлетних циклов (рис. 2). Средняя амплитуда в интервале с 1960 по 2000 г. составляет 0.002642 суток, в то время как средняя величина амплитуды в интервалах с 1900 по 1960 г. и с 2001 по 2050 г. составляет 0.005543 сут, т.е. в 2.098 раза больше.

Известно, что в параметрах движений планет и их спутников выдерживается ряд особых соотношений вследствие наличия соизмеримостей и резонансов [3]. Условия резонанса определяются равенством частот вынужденных (под действием внешней силы) и собственных колебаний. Так, сидерический период Венеры составляет 224.701 сут (0.61521 тропического года), Марса — 686.980 сут (1.88089 тропического года), Земли (звездный год) — 365.256 сут (1.00004 тропического года). Частоты обращения планет $\left(\omega = \frac{2\pi}{T}\right)$ составляют для Венеры 0.0279624 сут⁻¹, для Марса — 0.0091460 сут⁻¹, для Земли — 0.0171894 сут⁻¹. Отсюда следует

$$2\omega_{\text{Марса}} (0.0182920 \text{ сут}^{-1}) - \omega_{\text{Земли}} (0.0171894 \text{ сут}^{-1}) = 0.0011026 \text{ сут}^{-1},$$

Таблица 1. Циклическая структура межгодовой изменчивости продолжительности тропического года (на примере фрагмента с 1916 по 1951 г.)

Год	Межгодовая изменчивость продолжительности тропического года, сут	Время между максимумами, годы	Время между двухлетними циклами, годы
1916	0.004167		
1917	0.000685		
1918	-0.002778		
1919	0.009028	3	
1920	-0.008334		
1921	-0.004167		
1922	0.012501	3	
1923	-0.007639		
1924	-0.000695		
1925	0.002083	3	
1926	-0.006250		
1927	0.009028	2	11
1928	-0.004166		
1929	-0.002777		
1930	0.013194	3	
1931	-0.008334		
1932	-0.000695		
1933	0.002779	3	
1934	-0.003473		
1935	0.006945	2	8
1936	-0.004861		
1937	-0.007639		
1938	0.009028	3	
1939	-0.007639		
1940	0.000000		
1941	0.003472	3	
1942	-0.000694		
1943	0.004166	2	8
1944	-0.001388		
1945	-0.005556		
1946	0.011110	3	
1947	-0.002776		
1948	-0.004863		
1949	0.002780	3	
1950	-0.002780		
1951	0.002085	2	8

$$3\omega_{\text{Венеры}} (0.0838872 \text{ сут}^{-1}) -$$

$$- 5\omega_{\text{Земли}} (0.085947 \text{ сут}^{-1}) = -0.0020598.$$

Это свидетельствует о том, что в орбитальных движениях Земли с ближайшими планетами Марсом и Венерой существует соизмеримость, при этом резонанс Земли с Марсом равен 2/1, Земли с Венерой — 3/5 [2, 3]. Таким образом, через каждые 2 года взаимные положения Земли с Марсом и через 3 года Земли с Венерой повторяются, определяя периодические резонансные возмущения орбитального движения Земли и, следовательно, ва-

риации продолжительности тропического года и поступающей к Земле за тропический год солнечной энергии.

С учетом найденных малых (по амплитуде) вариаций в межгодовой изменчивости продолжительности тропического года и солнечной постоянной [8, 9] рассчитывалось приходящее к Земле (на верхнюю границу атмосферы) за тропический год общее количество солнечной энергии. В спектре ряда значений межгодовой изменчивости приходящей к Земле солнечной энергии отмечается один максимум спектральной плотности в окрестностях периода, равного 2.7 года, который отражает соотношение двух- и трехлетних колебаний. Межгодовая изменчивость солнечной энергии имеет высокую корреляцию (0.794 при вероятности 0.99) с межгодовой изменчивостью продолжительности тропического года. Амплитуда межгодовой изменчивости приходящей к Земле солнечной энергии в среднем составляет $6.78124 \cdot 10^{19}$ Дж или приблизительно 0.00123% от средней величины поступающей за год энергии ($5.50212 \cdot 10^{24}$ Дж). При близких к максимальным значениям амплитуды это соотношение составляет около 0.00230%.

Приходящая за год из недр Земли к ее поверхности энергия определяется величиной, приблизительно равной $8.4 \cdot 10^{20}$ Дж [6]. Полученное значение средней амплитуды межгодовой изменчивости приходящей к Земле солнечной энергии составляет 8.07% от энергии, приходящей из недр. Для значений, близких к максимальным, это соотношение составляет 14.80%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. М.: Наука, 1966. 528 с.
2. Белецкий В.В. Очерки о движении космических тел. М.: Наука, 1972. 360 с.
3. Гребенников Е.А., Рябов Ю.А. Резонансы и малые знаменатели в небесной механике. М.: Наука, 1978. 126 с.
4. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. М.: Наука, 1975. 800 с.
5. Маров М.Я. Планеты Солнечной системы. М.: Наука, 1981. 256 с.
6. Раст Х. Вулканы и вулканизм. М.: Мир, 1982. 344 с.
7. Струве О., Линдс Б., Пилланс Э. Элементарная астрономия. М.: Наука, 1967. 484 с.
8. Федоров В.М. // Астрон. журн. 2012. Т. 46. № 2. С. 184–189.
9. Fedorov V.M. // Solar Syst. Res. 2012. V. 46. № 2. P. 170–176.
10. Meeus J., Savoie D. // J. Brit. Astron. Assoc. 1992. V. 102. № 1. P. 40–42.
11. Willann–Bell. Publishers and Booksellers Serving Astronomers Worldwide. <http://www.willbell.com>.
12. NASA. Jet Propulsion Laboratory California, Institute of technology (JPL Solar System Dynamics) <http://ssd.jpl.nasa>.