

УДК 551.581.1

## ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ И МАЛЫЕ ВАРИАЦИИ СОЛЯРНОГО КЛИМАТА ЗЕМЛИ

© 2014 г. В. М. Федоров

Представлено академиком М.Ч. Залихановым 16.05.2013 г.

Поступило 16.05.2013 г.

DOI: 10.7868/S0869565214200213

Проблема глобальных изменений в климатической системе Земли является весьма актуальной для современного естествознания. Наиболее важным в проблеме изучения и прогнозирования изменений климата является вопрос о причинах, вызывающих эти изменения [2, 6, 8].

Солнечная радиация, поставляющая на Землю свет и тепло, имеет важнейшее значение в генезисе климата и в развитии жизни на Земле [2, 4, 12]. Вариации поступающей к Земле солнечной радиации определяются двумя основными причинами, имеющими различную физическую природу. Исследование вариаций солнечной радиации, связанной с изменением активности Солнца, имеет давнюю историю, однако вопрос о существовании связи между вариациями солнечной активности и изменениями климата уже в течение продолжительного времени остается дискуссионным [6, 8]. Связанные с небесно-механическими процессами вариации солнечного потока исследуются на весьма продолжительных интервалах времени. При этом учитываются подтвержденные вековым возмущениям такие астрономические элементы, как долгота перигелия, эксцентриситет и наклон оси вращения Земли, имеющие весьма значительные по продолжительности периоды вариаций [7, 8, 13, 14]. Детальные исследования вариаций поступающей на верхнюю границу атмосферы солнечной энергии в связи с небесно-механическими процессами в диапазоне периодических (по теории устойчивости Лапласа) возмущений элементов земной орбиты до настоящего времени не проводились. Обеспеченность современного периода обширной климатологической информацией придает исследованию вариаций солярного климата и поискам связей с климатическими изменениями в масштабах времени, соизмеримых с актуальными для человечества проблемами, особую значимость.

С учетом изменения геоцентрического расстояния Солнца и продолжительности периода обращения Земли вокруг Солнца (тропического года) рассчитывали значения поступающей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации на интервале с 1900 по 2050 г. [10, 11]. Величина солнечной постоянной при расстоянии между Землей и Солнцем, равном 1 а.е., составляет  $I_0 = 1367 \text{ Вт/м}^2$ . Известно, что если  $a$  – среднее расстояние между Землей и Солнцем, равное большой полуоси эллипса земной орбиты (1 а.е.), то на расстоянии  $l$

$$I_l = I_0 \left( \frac{a}{l} \right)^2. \quad (1)$$

Энергия, поступающая к Земле за единицу времени, равняется

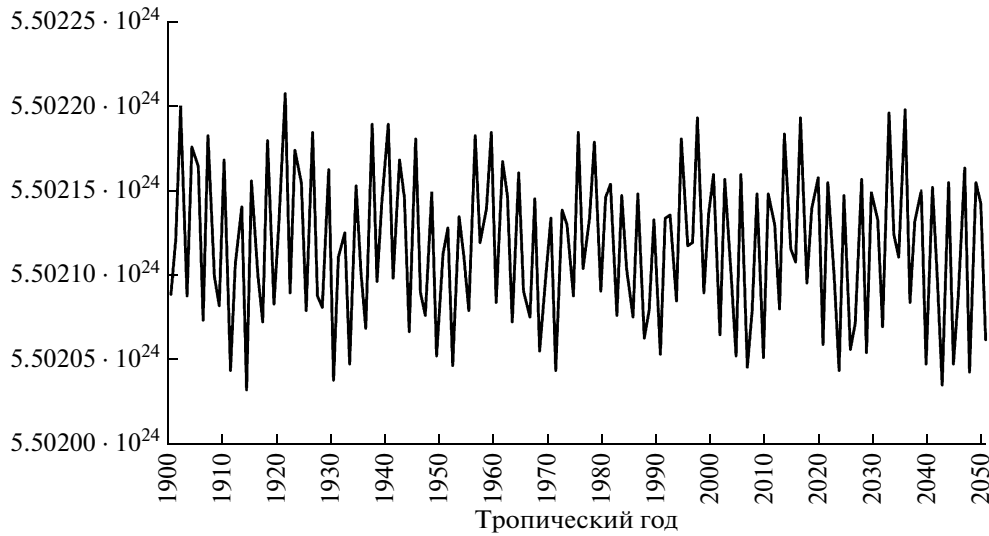
$$I_0 \left( \frac{a}{l} \right)^2 \pi r^2, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус Земли. За тропический год к Земле поступает

$$\sum_Y = I_0 \pi r^2 \int_0^T \left( \frac{a}{l} \right)^2 dt, \quad (3)$$

где  $T$  – продолжительность тропического года [8]. Для упрощения расчетов принималось, что Земля – плоский круглый диск, перпендикулярном к которому является линия, соединяющая центры Земли и Солнца, с радиусом, равным среднему радиусу Земли (6371302 м).

Рассчитанные по данным астрономических эфемерид DE-406 [15] значения продолжительности тропического года делили на 365 равных по времени частей (т.е. дискретность отображения соответствовала приблизительно суткам, или  $1^\circ$  геоцентрической долготы Солнца). Для начала каждого временного интервала продолжительностью  $\frac{T}{365}$  рассчитывали расстояние  $l$  между Землей и Солнцем. В соответствии с формулой (1)



**Рис. 1.** Многолетний ход суммарной солнечной радиации (Дж), поступающей на верхнюю границу атмосферы за тропические годы с 1900 по 2050 г.

для каждого интервала  $\frac{T}{365}$  определяли соответствующую расстоянию величину солнечной постоянной. По формуле (2) определяли поступающую к Земле энергию за время  $\frac{T}{365}$  для каждого из 365 интервалов тропического года. Затем эти значения суммировали по всему тропическому году (формула (3)) и таким образом вычисляли солнечную энергию, поступающую на диск Земли за тропический год (рис. 1).

Из полученного распределения видно, что в поступлении солнечной энергии на фоне слабой тенденции к сокращению отмечается периодичность, которая представлена чередованием двух- и трехлетних циклов, объединенных в более крупные циклы, близкие по продолжительности к 19 годам. Также выражены межгодовые вариации, связанные с периодом обращения Земли вокруг Солнца.

Найденные вариации поступающей солнечной радиации связаны с периодическим возмущением орбитального движения Земли (и ее элементов – расстоянием от Земли до Солнца и продолжительностью периода обращения Земли вокруг Солнца) Луной и ближайшими планетами Венерой и Марсом. Так, двух- и трех-летняя периодичность определяется резонансным возмущением орбитального движения Земли планетами Венерой и Марсом, связанным с соизмеримостью в средних движениях Земли и ближайших планет Марса и Венеры  $\frac{2}{1}$  и  $\frac{3}{5}$  соответственно [3, 11]. Чередование двух- и трехлетних циклов образуют 8- и 11-летние сочетания (2+3+3 и 2+3+3+3), в сумме составляющие 19-летний цикл, соответствующий

периоду обращения лунной орбиты (лунных узлов) – 18.61 года, или 19-летнему циклу Метона. Этот цикл отражает приблизительное равенство 19 тропических лет 235 синодическим месяцам, вследствие чего каждые 19 лет лунный цикл завершается в тот же день солнечного, т.е. происходит повторение сходных конфигураций в движениях Земли, Солнца и Луны [5, 9].

При средней для многолетнего ряда солнечной радиации годовой аномалии, равной  $3.9289 \cdot 10^{19}$  Дж, средняя амплитуда двух- и трехлетних вариаций составляет  $4.64858 \cdot 10^{19}$  Дж, или 0.00085% от средней поступающей за тропический год солнечной радиации ( $5.50212 \cdot 10^{24}$  Дж). Средняя амплитуда в 19-летних циклах равняется  $7.7574 \cdot 10^{19}$  Дж, или 0.00141% от средней годовой солнечной энергии, поступающей на диск Земли при отсутствии атмосферы, т.е. средняя амплитуда в 19-летних циклах в 1.67 раза больше средней амплитуды в двух- и трехлетних циклах солнечной радиации.

Выполненные расчеты показывают, что в среднем за год во второй половине XX века и в первой половине XXI века на земной диск поступает меньше солнечной радиации, чем в первой половине XX столетия. Для второй половины XX века это сокращение составляет всего  $9.5705 \cdot 10^{17}$  Дж в год, или приблизительно 0.00002%. Для первой половины XXI века сокращение поступающей солнечной радиации более заметно: оно составляет  $8.75869 \cdot 10^{18}$  Дж в год, или 0.00016% (от среднегодового значения солнечной радиации в первой половине XX столетия).

Межгодовая изменчивость приходящей к земному диску солнечной радиации рассчитывалась последовательным вычитанием годовых значений. Средняя амплитуда межгодовой изменчиво-

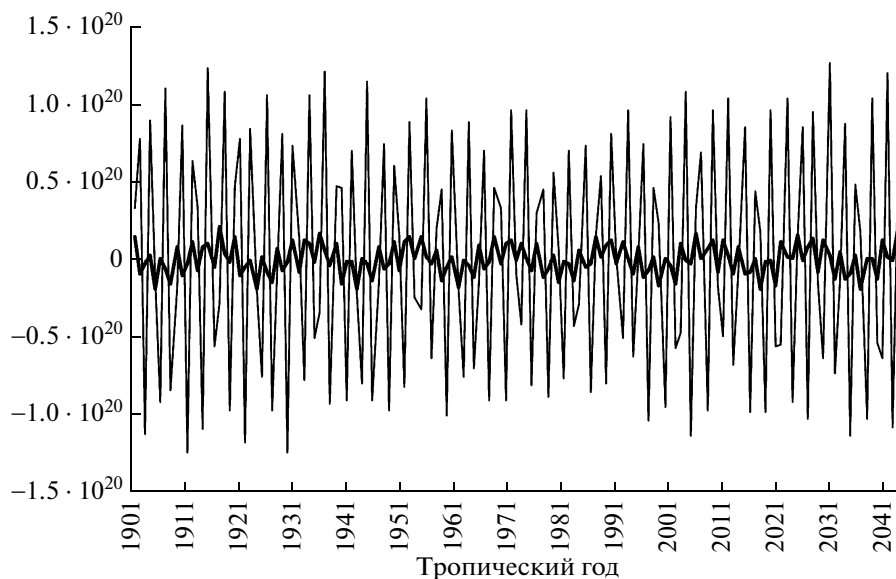


Рис. 2. Многолетний ход межгодовой изменчивости суммарной энергии и ее сглаженные значения (Дж).

сти составляет  $6.78124 \cdot 10^{19}$  Дж, или 0.00123% от величины поступающей в среднем за тропический год солнечной радиации ( $5.50212 \cdot 10^{24}$  Дж). В случае максимального значения амплитуды это соотношение равно 0.00230%. Размах в поступлении солнечной энергии год от года в среднем составляет 0.00247%, а в случае максимума 0.00460% от средней за тропический год солнечной энергии. Средняя амплитуда двух- и трехлетних вариаций составляет  $8.41435 \cdot 10^{19}$  Дж, или 0.00153% от средней годовой радиации. Девятнадцатилетняя периодичность слабо проявляется в ряду межгодовой изменчивости только при сглаживании значений ряда (рис. 2).

Межгодовая изменчивость приходящей на диск Земли солнечной радиации характеризуется

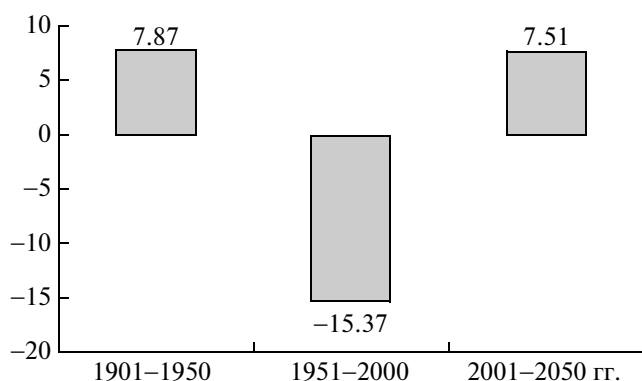


Рис. 3. Разность средних амплитуд межгодовой изменчивости солнечной радиации полувековых интервалов и средним для ряда значением амплитуды (%) по отношению к этому среднему.

тесной корреляционной связью с межгодовой изменчивостью продолжительности тропического года (коэффициент корреляции 0.794 с вероятностью 0.99).

Спектральный анализ рассчитанного ряда суммарной солнечной энергии, поступающей на верхнюю границу атмосферы за тропические годы с 1900 по 2050, выявляет два интервала увеличения спектральной плотности, соответствующих периодам 2.70 и 18.75 года. В спектре межгодовой изменчивости энергии представлен только один максимум с периодом 2.70 года, отражающий вклад двух- и трехлетних колебаний. Период 2.7 года определяется соотношением двух- и трехлетних циклов в ряду: около  $\frac{1}{3}$  двухлетних и около  $\frac{2}{3}$  трехлетних циклы [11].

Амплитуда межгодовой изменчивости превышает среднее для 150-летнего ряда значение в первой половине XX и XXI веков и уступает среднему во второй половине XX века (рис. 3). Уменьшение амплитуды межгодовой изменчивости во второй половине XX века отражает, вероятно, ослабление резонансного возмущения Марсом и Венерой орбитального движения Земли.

Таким образом, механизмы, генерирующие малые вариации и регулирующие поступление солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы, связаны с возмущающим действием ближайших к Земле небесных тел — Луны, Венеры и Марса — на ее орбитальное движение. В поступлении солнечной радиации к Земле на фоне ее сокращения проявляется периодичность, равная 19, 2 и 3 годам (образующим 8- и 11-летние циклы, в сумме составляющие 19-летний цикл), и

межгодовая изменчивость. В межгодовой изменчивости заметно проявляется только двух- и трехлетняя периодичность.

Учитывая, что двух- и трехлетняя периодичность кратна и близка к периоду обращения Земли вокруг Солнца, можно ожидать усиления малых вариаций солнечной энергии механизмом классического резонанса и проявления этих вариаций в динамике атмосферных процессов. Другой причиной усиления малых периодических вариаций солнечной радиации может быть стохастический резонанс — отклик бистабильной или метастабильной нелинейной системы на слабый периодический сигнал при шумовом воздействии определенной мощности [1].

В целом полученные результаты представляют основу для поисков связи изменений глобального и региональных климатов Земли с периодическими вариациями ее солярного климата.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 11–05–01134).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анищенко В.С., Нейман А.Б., Мосс Ф., Шиманский-Гайер Л. // УФН. 1999. Т. 169. № 1. С. 7–38.
2. Будыко М.И. Изменение климата. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 280 с.
3. Гребеников Е.А., Рябов Ю.А. Резонансы и малые знаменатели в небесной механике. М.: Наука, 1978. 128 с.
4. Дроздов О.А., Васильев Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный В.П. Климатология. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 568 с.
5. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Основные задачи и методы. М.: Наука, 1975. 800 с.
6. Кондратьев К.Я. Глобальный климат и его изменения. Л.: Наука, 1987. 232 с.
7. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.; Л.: ГОНТИ, 1939. 208 с.
8. Монин А.С. Введение в теорию климата. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 246 с.
9. Рой А. Движение по орбитам. М.: Мир, 1981. 544 с.
10. Федоров В.М. // Астрон. вестн. 2012. Т. 46. № 2. С. 184–189.
11. Федоров В.М. // ДАН. 2013. Т. 451. № 1. С. 95–97.
12. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 328 с.
13. Шараф Ш.Г., Будникова Н.А. // Тр. Ин-та теорет. астрономии АН СССР. 1969. В. 14. С. 48–84.
14. Berger A. Ed. Climatic Variations and Variability — Facts and Theories. Dordrecht: Reidel, 1981. 795 p.
15. <http://ssd.jpl.nasa.gov>. NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США.