

УДК 523.9-7

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ПОСТОЯННОЙ

© 2012 г. В. М. Федоров

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Поступила в редакцию 14.02.2011 г.

Из выполненных расчетов межгодовых изменений расстояния между Землей и Солнцем в моменты положения Земли в точках равноденствия и солнцестояния средняя амплитуда (приблизительно равная для всех точек равноденствия и солнцестояния) определяется в 5.7 тысяч км (при максимальных значениях, приблизительно равных 15 тысячам км). По данным меняющихся расстояний были рассчитаны значения солнечной постоянной и определены величины ее межгодовой изменчивости (за период с 1900 по 2050 гг.). На основе анализа рядов получены новые периодические характеристики многолетней вариации солнечной постоянной, связанные с небесно-механическим процессом — возмущенным орбитальным движением Земли. В межгодовой изменчивости солнечной постоянной выделяется 3-летний цикл, который через 8 и 11 лет чередуется с 2-летним циклом. Амплитуда межгодовой изменчивости в рядах точек равноденствия и солнцестояния в среднем составляет около 0.1 Вт/м^2 (около 0.008% от величины солнечной постоянной), что соизмеримо с межгодовой изменчивостью солнечной постоянной в 11-летнем цикле солнечной активности. Полученные ряды могут быть представлены чередованием 11-летних и 8-летних циклов. При этом 11-летний цикл состоит из трех 3-летних и одного 2-летнего цикла, а 8-летний цикл состоит из двух 3-летних и одного 2-летнего циклов.

ВВЕДЕНИЕ

Солнечная постоянная — это суммарный поток солнечного излучения, проходящий за единицу времени через единичную площадку, ориентированную перпендикулярно потоку на расстоянии одной астрономической единицы от Солнца вне земной атмосферы (Эйгенсон, 1963; Кондратьев, 1965). По данным внеатмосферных измерений солнечная постоянная составляет 1367 Вт/м^2 (Кислов, 2001). Солнечная постоянная не является неизменной во времени величиной. Ее вариации традиционно связываются с изменением солнечной активности, т.е. с происходящими на Солнце физическими процессами. Отмечается, что вариации солнечной постоянной обусловлены изменением потока излучения при изменении числа и суммарной площади солнечных пятен, при этом относительные изменения потока излучения интенсивнее всего происходят в рентгеновском и радиодиапазоне (Эйгенсон, 1963; Витинский, 1983; Абдусаматов, 2009). В качестве важных факторов также отмечается роль факельных полей и магнитной сетки, которые дают вклад в циклические изменения потока излучения (Foukal и др., 2006). Период прямых измерений солнечной постоянной невелик (с 1978 г.) и амплитуда изменения солнечной постоянной на протяжении 11-летнего цикла солнечной активности (цикла Швабе—Вольфа), за период измерений составляет около 1 Вт/м^2 (или приблизительно 0.07% от величины солнечной постоянной (<http://www.pmodwrc.ch>)).

Для оценки вариации солнечной постоянной в течение более длительных солнечных циклов (циклы Хейла, Глейсберга и др.) данные прямых измерений отсутствуют (Макарова и др., 1991).

Многолетние вариации солнечной постоянной связаны не только с изменением активности Солнца (исследованию которой посвящено большое количество статей и монографий), но и с небесно-механическими процессами, изменяющими расстояние между Солнцем и Землей. При невозмущенном (кеплеровском) движении Земли солнечная постоянная меняется в пределах годового орбитального движения Земли вокруг Солнца с правильным годовым ходом (максимум в перигелии, минимум — в афелии). Однако реальное орбитальное движение Земли является возмущенным (Маров, 1981; Федоров, 2000; 2002). В связи с этим Земля год от года при прохождении, например, точек равноденствия и солнцестояния оказывается на различном расстоянии от Солнца, что является еще одной, до настоящего времени не изученной, причиной многолетних вариаций солнечной постоянной. Целью работы является оценка влияния этого фактора на многолетние вариации солнечной постоянной.

В прошлом столетии М. Миланковичем были проведены расчеты солнечной радиации с учетом изменения элементов земной орбиты (наклон оси вращения, эксцентриситет, долгота перигелия). Периодичность изменения этих элементов составляет десятки тысяч лет (Миланкович, 1939). В

наших исследованиях используется один астрономический параметр — расстояние от Земли до Солнца, а изменение солнечной постоянной рассматривается в иных масштабах времени (годы, десятилетия), соизмеримых с актуальными проблемами современной цивилизации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным эфемерид — JPL Planetary and Lunar Ephemerides (DE-406) определялись расстояния между Землей и Солнцем в моменты положения Земли в точках равноденствия и солнцестояния во временном интервале с 1900 по 2050 гг. (<http://www.ssd.jpl.nasa.gov>; <http://www.willbell.com>). Точность эфемерид по расстоянию составляет 10^{-9} а. е. или 0.1496 км. Величина солнечной постоянной при расстоянии между Землей и Солнцем, равном 1 а. е., составляет $J_0 = 1367 \text{ Вт/м}^2$. Известно, что если a — среднее расстояние между Землей и Солнцем, равное большой полуоси эллипса земной орбиты (1 а. е.), то на расстоянии l

$$J_l = J_0 \left(\frac{a}{l} \right)^2. \quad (1)$$

По формуле (1) были рассчитаны значения солнечной постоянной на моменты положения Земли в точках равноденствия и солнцестояния для каждого года в диапазоне с 1900 по 2050 гг. Последовательным вычитанием значений солнечной постоянной были получены ряды значений межгодовой изменчивости солнечной постоянной для кардинальных точек земной орбиты: равноденствий и солнцестояний. В результате анализа рассчитанных рядов были получены новые периодические характеристики многолетней вариации солнечной постоянной, связанные с возмущенным орбитальным движением Земли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определенные по эфемеридам значения расстояния между Землей и Солнцем в моменты положения Земли в точках равноденствия и солнцестояния за период с 1900 по 2050 гг. графически представлены на рис 1.

На основе значений расстояния между Землей и Солнцем рассчитывались значения межгодовой изменчивости расстояния для точек равноденствия и солнцестояния (последовательным вычитанием значений, что позволило исключить влияние тренда, связанного с прецессией, на дальнейшие расчеты и результаты). Средняя амплитуда межгодовых изменений расстояния между Землей и Солнцем в моменты положения Земли в точках равноденствия и солнцестояния (приблизительно равная для всех точек равноденствия и солнцестояния) определяется в 5.738 тысяч км

(при максимальных значениях, в среднем равных 15.042 тысячам км). В изменчивости расстояния отмечается 3- и 2-летняя периодичность (максимум спектральной плотности приходится на период 2.7 года). На основе полученных значений расстояния между Землей и Солнцем рассчитывались соответствующие значения солнечной постоянной. Из графиков (рис. 2) видно, что межгодовая изменчивость солнечной постоянной для точек равноденствия и солнцестояния имеет периодический характер.

В межгодовой изменчивости солнечной постоянной выделяется 3-летний цикл, который через 8 и 11 лет чередуется с 2-летним циклом. Амплитуда межгодовой изменчивости в рядах точек равноденствия и солнцестояния в среднем составляет около 0.1 Вт/м^2 (0.008% от величины солнечной постоянной). Для ряда средних по этим четырем точкам значений межгодовой изменчивости величина амплитуды сокращается до 0.06 Вт/м^2 . Исследуемый период включает 38 полных 3-летних и 16 — 2-летних циклов. Иначе можно сказать, что ряды представлены чередованием 11-летних и 8-летних циклов. При этом 11-летний цикл состоит из трех 3-летних и одного 2-летнего цикла, а 8-летний цикл состоит из двух 3-летних и одного 2-летнего циклов (рис. 3, 4). Эти характеристики пока находятся за пределами точности измерений солнечной постоянной составляющих $\pm 0.3\text{--}0.7 \text{ Вт/м}^2$ или 0.02—0.05% значения солнечной постоянной (Макарова и др., 1991).

По данным спектрального анализа для всех рядов отмечается увеличение спектральной плотности в диапазоне приблизительно от 2.3 до 3 лет с максимумом, равным периоду 2.7 года (рис. 5).

По данным непосредственных наблюдений солнечной постоянной (Willson, 1997; Willson, Mordvinov, 2003; Абдусаматов, 2009; <http://www.pmodwrc.ch>; <http://www.acrim.com>) амплитуды 11-летних циклов солнечной постоянной составили в 21-м цикле — 0.955 Вт/м^2 , в 22-м цикле — 0.919 Вт/м^2 , в 23-м — 1.039 Вт/м^2 . Данные прямых измерений потока излучения Солнца, скорректированные относительно расстояния Земля—Солнце, отражают происходящие на Солнце физические процессы. С учетом продолжительности этих циклов (10.25, 9.75 и 12.50 лет соответственно) межгодовая изменчивость в среднем составляет для них соответственно: 0.415 , 0.427 и 0.332 Вт/м^2 . Эти значения приблизительно в 3—4 раза превышают полученные в работе (0.105 Вт/м^2 и 0.008% от величины солнечной постоянной) средние величины межгодовой изменчивости солнечной постоянной для точек равноденствия и солнцестояния, связанные с изменением расстояний между Землей и Солнцем. Таким образом, имеющие различную физическую природу межгодовые

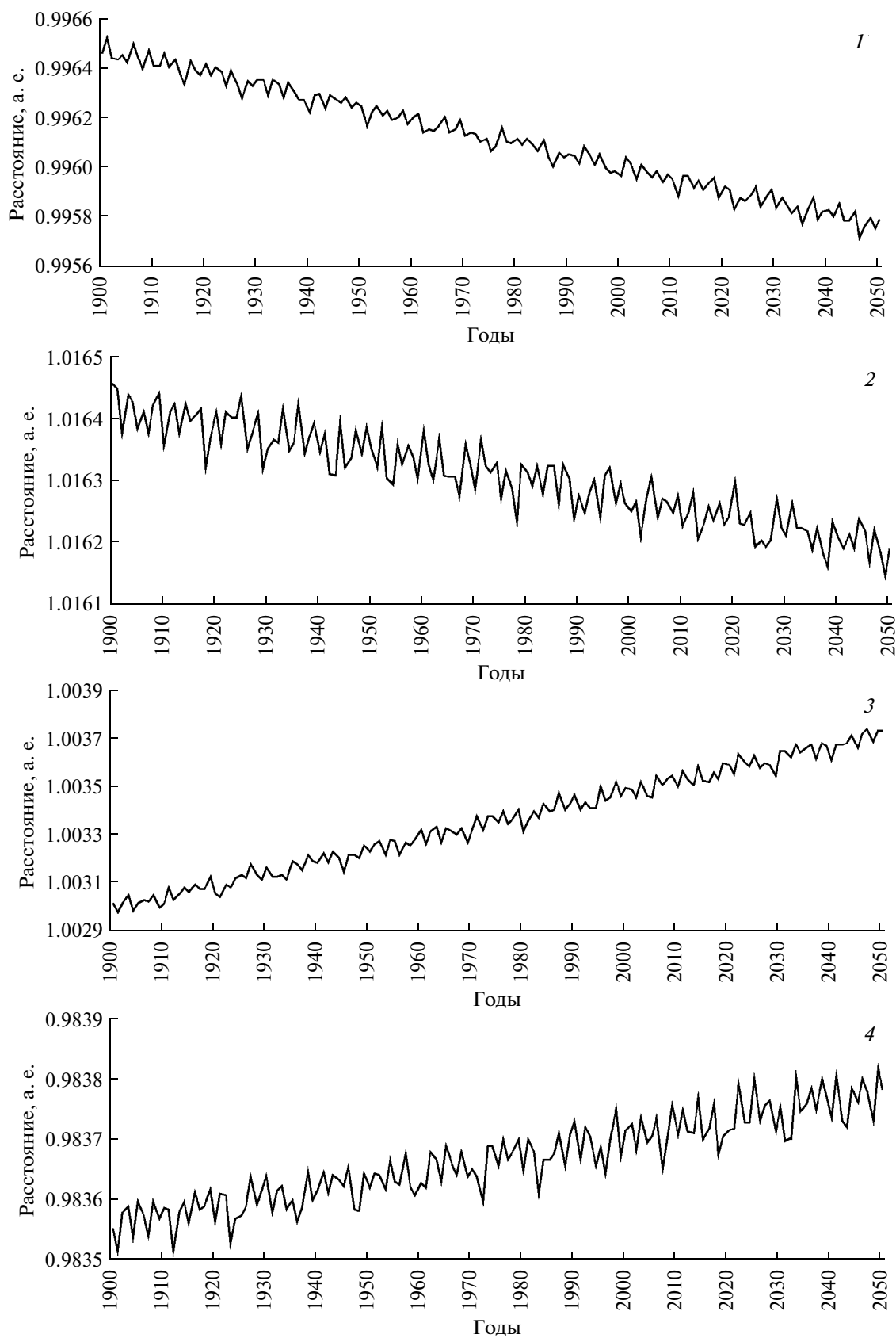


Рис. 1. Изменчивость расстояния Земля–Солнце за период с 1900 по 2050 гг. при положении Земли в точках: 1 – весеннего равноденствия, 2 – летнего солнцестояния, 3 – осеннего равноденствия, 4 – зимнего солнцестояния.

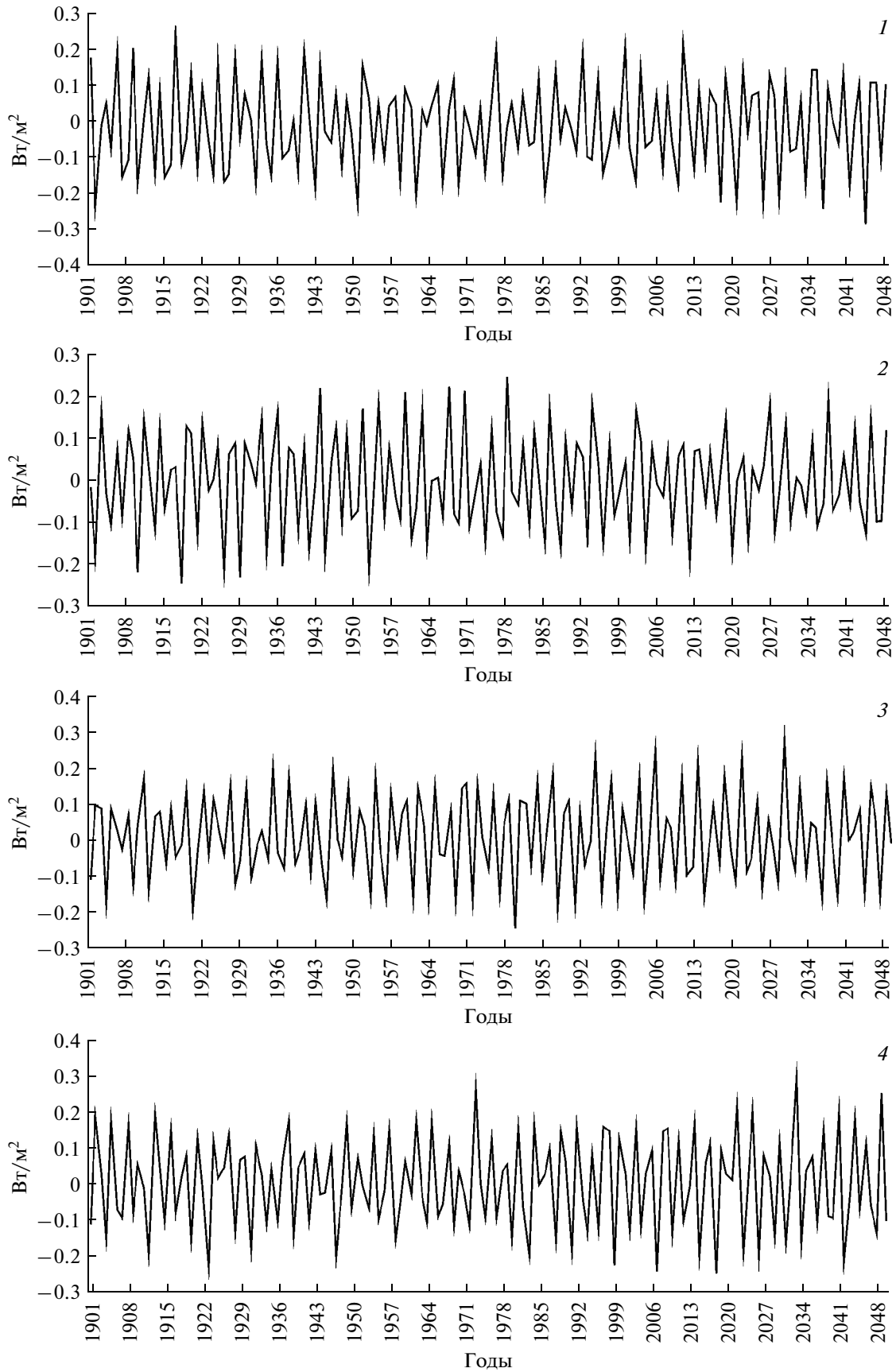


Рис. 2. Межгодовая изменчивость солнечной постоянной за период с 1900 по 2050 гг. при положении Земли в точках: 1 – весеннего равноденствия, 2 – летнего солнцестояния, 3 – осеннего равноденствия, 4 – зимнего солнцестояния.

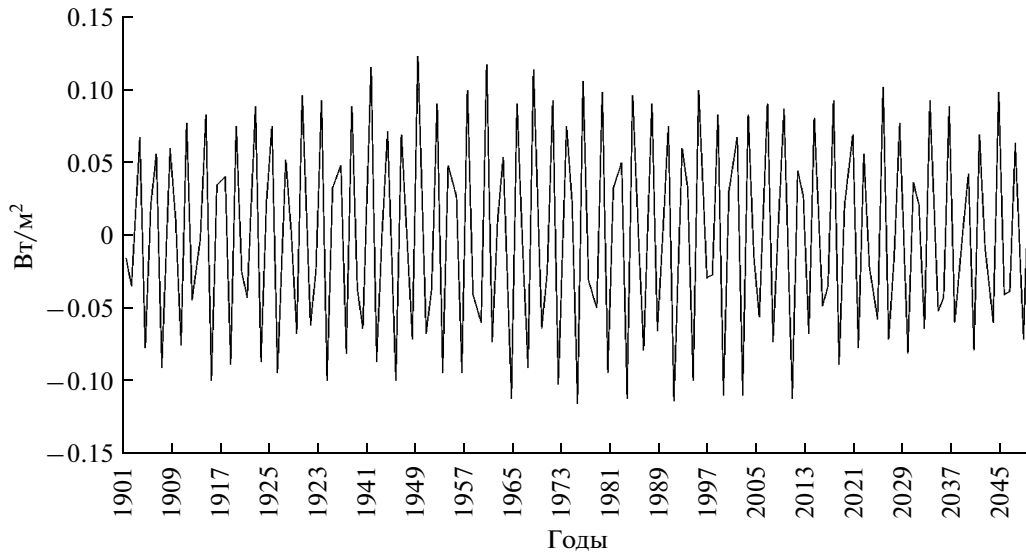


Рис. 3. Динамика средних по четырем точкам (равноденствий и солнцестояний) значений межгодовой изменчивости солнечной постоянной за период с 1900 по 2050 гг.

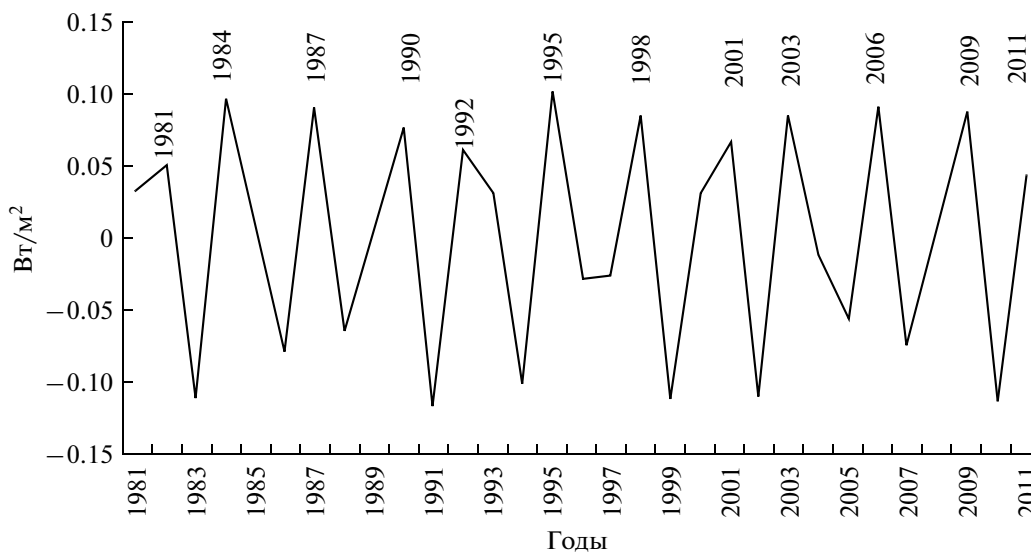


Рис. 4. Фрагмент динамики средних по четырем точкам (равноденствий и солнцестояний) значений межгодовой изменчивости солнечной постоянной за период с 1981 по 2011 гг.

вариации солнечной постоянной имеют достаточно близкие амплитудные характеристики. Однако для определения соотношения определенных 2- и 3-летних орбитальных циклов с циклами солнечной активности (11-летним циклом Швабе–Вольфа) в полученных инструментально вариациях солнечной постоянной (спутниковые измерения с 1978 г.) необходим дополнительный анализ полученных результатов.

Также необходимы исследования по определению значения найденных циклов многолетней вариации солнечной постоянной в изменениях климата. В связи с тем, что 2- и 3-летние циклы

кратны собственному периоду колебания Земли (равному 1 году) и близки к нему (ближе по значению, чем 11-летний цикл Швабе–Вольфа), то такие исследования представляются перспективными в связи с вероятным резонансным откликом климатической системы Земли на выявленные характеристики вариации солнечной постоянной. На это указывает также четкая выраженность найденных 2- и 3-летних циклов в отличие от 11-летнего цикла солнечной активности с менее устойчивой продолжительностью. Приблизительно с середины XVIII в. длительность отдельных циклов солнечной активности, определяемая по мак-

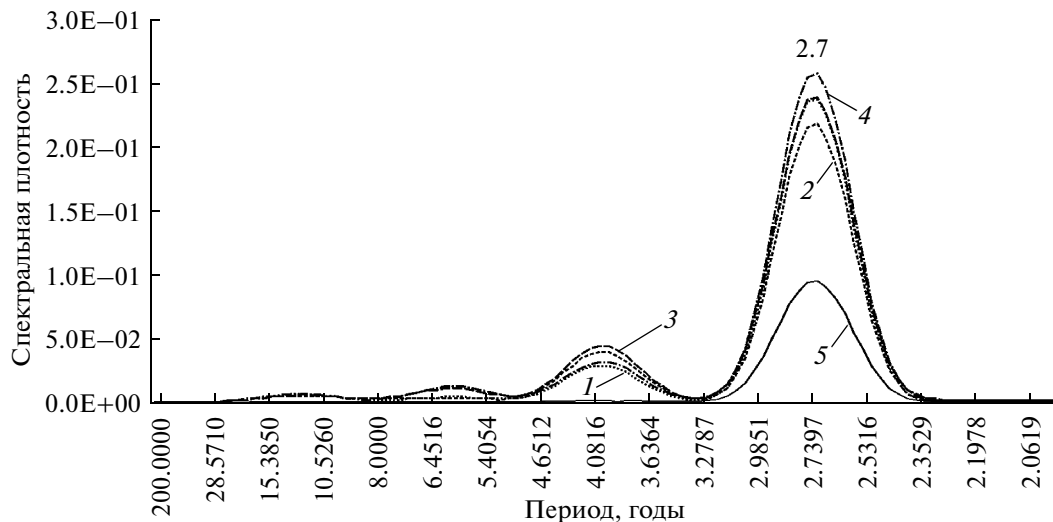


Рис. 5. Спектры межгодовой изменчивости солнечной постоянной для точек: 1 – весеннего равноденствия, 2 – летнего солнцестояния, 3 – осеннего равноденствия, 4 – зимнего солнцестояния; 5 – спектр межгодовой изменчивости солнечной постоянной, осредненной по четырем точкам равноденствия и солнцестояния.

симуму числа пятен, была заключена в пределах от 7 до 17 лет, а определяемая по минимумам – в пределах от 9 до 14 лет (Макарова и др., 1991). Кроме того, 3-летняя периодичность отмечается в ряде геофизических и гидрометеорологических процессов (Эйгенсон, 1963).

ВЫВОДЫ

В многолетней вариации солнечной постоянной для точек равноденствия и солнцестояния обнаружены новые орбитальные характеристики, связанные с небесно-механическим процессом – периодическим изменением расстояния от Земли до Солнца. Вероятно, найденные характеристики относятся и к другим точкам земной орбиты. Ведущим в связанной с отмеченным фактором многолетней вариации солнечной постоянной является четко выраженный 3-летний цикл с амплитудой, приблизительно равной 0.1 Вт/м^2 . Этот цикл чередуется, как правило, через каждые 8 или 11 лет с 2-летним циклом. Величина межгодовой изменчивости солнечной постоянной в 3-летнем цикле сопоставима (в 3–4 раза меньше) с межгодовой изменчивостью солнечной постоянной в 11-летнем цикле солнечной активности.

Полученные данные важны как для понимания природы изменчивости солнечной постоянной, так и для уточнения представлений об изменении солнечной активности и солярного климата Земли.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-05-01134).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдусаматов Х.И. Солнце диктует климат Земли. СПб.: Логос, 2009. 197 с.
- Витинский Ю.И. Солнечная активность. М.: Наука, 1983. 192 с.
- Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем. М.: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 2001. 351 с.
- Кондратьев К.Я. Актинометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 692 с.
- Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. М.: Наука, 1991. 400 с.
- Маров М.Я. Планеты солнечной системы. М.: Наука, 1981. 256 с.
- Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебания климата. М.–Л.: ГОНТИ, 1939. 208 с.
- Федоров В.М. Гравитационные факторы и астрономическая хронология геосферных процессов. М.: МГУ, 2000. 368 с.
- Федоров В.М. Астрономическая климатология. М.: МГУ, 2002. 232 с.
- Эйгенсон М.С. Солнце, погода и климат Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 274 с.
- Foukal P., Fröhlich C., Spruit H., Wigley T.M.L. Variations in solar luminosity and their effect on the Earth's climate // Nature. 2006. V. 443 (7108). P. 161–166.
- Willson R.C., Mordvinov A.V. Secular total solar irradiance trend during solar cycles 21–23 // Geophys. Res. Lett. 2003. V. 30. № 5. P. 1199–1202.
- Willson R.C. Total solar irradiance trend during solar cycles 21 and 22 // Science. 1997. V. 277. № 5334. P. 1963–1965.
- <http://www.pmodwrc.ch>
- <http://www.willbell.com>
- <http://www.ssd.jpl.nasa.gov>
- <http://www.acrim.com>