АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ РАЗНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ В ПОЛНОМ ПОТОКЕ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Федоров В.М.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ANALYSIS OF VARIATIONS OF DIFFERENT PHYSICAL ORIGIN IN THE TOTAL SOLAR RADIATION FLUX

Fedorov V.M.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The interannual variability of the solar radiation arriving to the Earth by physical origin is a duplex with variable, depending on the time resolution, the ratios of the components in amplitude. Our analysis shows that the amplitude of the long-term variability of the radiation intensity is approximately 95% determined by the variations associated with the change in solar activity. At an annual resolution, the dominant amplitude is the component determined by the solar activity (about 80%). At a monthly resolution, the leading amplitude component of the duplex is the variation determined by celestial mechanical processes (about 55%). Interannual variations determined by celestial-mechanical processes, therefore, are leading in the interannual variability of the incoming solar radiation in the range of changes over the seasons of the year. The obtained results are indicated the need for differentiated use of the values of interannual variability of different physical nature of solar radiation coming to the Earth in climate models, due to the dependence of their weight ratios on the time resolution.

DOI: 10.31725/0552-5829-2020-297-300

Важнейшей характеристикой приходящего к Земле солнечного излучения является TSI (Total solar irradiance) – полное количество солнечной энергии по всему спектру, падающее за единицу времени на единицу площади перпендикулярную солнечным лучам, на среднем расстоянии Земли от Солнца за пределами земной атмосферы. Так как интенсивность солнечного излучения (ISR – intensity of solar radiation) меняется обратно пропорционально квадрату расстояния, то она в течение года меняется и, имеет правильный годовой ход с минимумом в афелии и максимумом в перигелии. Годовой ход ISR определяется небесно-механическим процессом – движением Земли по эллиптической орбите. Однако среднегодовые и среднемесячные значения TSI изменяются и год от года. Изменчивость приходящего к Земле солнечного излучения, определяется двумя причинами, имеющими различную физическую природу. Одна из них определяется изменением физической активности Солнца. Другая причина, связана с изменением расстояния Солнце – Земля в результате возмущающего действия ближайших небесных тел на орбитальное движение Земли [1–4]. Далее, используются принятые нами обозначения составляющих межгодовой изменчивости TSI [5]. Вариации солнечного излучения, связанные с

небесно-механическими процессами, обозначаются $ISR_{\text{СМР}}$ (celestial mechanical process). Вариации TSI, связанные с изменением активности Солнца (solar activity), обозначаются как $ISR_{\text{СА}}$.

Для определения вариаций расстояния между Землей и Солнцем по данным астрономических эфемерид (DE-406) определялись средние расстояния между Землей и Солнцем для календарных суток в интервале с 1740 по 2050 гг. 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. принималась равной $I_0 = 1361.0 \text{ Вт/м}^2$ [1, 2]. Известно, что если a – среднее расстояние между Землей и Солнцем равное большой полуоси эллипса земной орбиты (1 а.е.), то на расстоянии l

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

По рассчитанным (формула 1) суточным значениям были получены месячные и годовые значения ISR ненормированные относительно среднего расстояния Солнце – Земля. Эти ненормированные по расстоянию Солнце – Земля значения ISR обозначаются в работе как $ISR_{\text{СМР}}$.

Последовательным вычитанием значений каждого последующего года из значений предшествующего года были получены ряды межгодовой изменчивости TSI и $ISR_{\text{СМР}}$. Таким же образом получены ряды межгодовой изменчивости месячных (для каждого месяца года) значений TSI и $ISR_{\text{СМР}}$. Полученные значения отражают последовательное изменение TSI от одного года к последующему (с годовым и месячным разрешением) в связи с изменением расстояния Солнце – Земля. В результате анализа рассчитанных рядов были получены амплитудные характеристики межгодовой изменчивости TSI и $ISR_{\text{СМР}}$, связанной с возмущенным орбитальным движением Земли. Под амплитудой нами понимается среднее по модулю значение межгодовых изменений TSI, $ISR_{\text{СМР}}$ и $ISR_{\text{СА}}$. Вариации, связанные с изменением активности Солнца, в этих расчетах не учитывались.

Выполненные расчеты показывают, что многолетняя изменчивость TSI определяется в основном вариациями, связанными с изменением активности Солнца ($ISR_{\text{СА}}$). В этом случае из годовых исходных значений TSI [5] вычитались годовые значения $ISR_{\text{СМР}}$ (рассчитанные по формуле 1). Средняя амплитуда TSI в исходном ряде значений составляет 0.324 Вт/м^2 . Средняя амплитуда $ISR_{\text{СМР}}$ равняется 0.016 Вт/м^2 . Таким образом, вариации $ISR_{\text{СМР}}$ составляют 4.67% от амплитуды многолетней изменчивости TSI. На вариации $ISR_{\text{СА}}$ приходится 95.33%.

Анализировалось соотношение $ISR_{\text{СМР}}$ и $ISR_{\text{СА}}$ в межгодовой изменчивости TSI с годовым разрешением в диапазоне с 1740 по 2012 гг. Соотношение вариаций $ISR_{\text{СМР}}$ и $ISR_{\text{СА}}$ в межгодовой изменчивости TSI находилось следующим образом. Межгодовые вариации $ISR_{\text{СА}}$, находились вычитанием рассчитанных нами значений межгодовой изменчивости $ISR_{\text{СМР}}$

из значений межгодовой изменчивости TSI [5]. Далее определялись модули полученных значений ISR_{SA} и ISR_{CMP} . Сумма модулей ISR_{SA} и ISR_{CMP} для каждого года принималась равной единице. Из полученной пропорции рассчитывались соотношения вариаций ISR_{SA} и ISR_{CMP} в межгодовой изменчивости TSI. Умножением на 100 эти соотношения рассчитывались в процентах. В результате определено, что на интервале с 1778 по 2012 гг. соотношение межгодовых вариаций в среднем составляет 80.6% (ISR_{SA}) и 19.6% (ISR_{CMP}). На интервале с 1740 по 2012 гг. (рис. 1) это соотношение характеризуется значениями 78.7% (ISR_{SA}) и 21.3% (ISR_{CMP}). Таким образом, при годовом разрешении, вариации ISR_{CMP} составляют приблизительно 1/5 часть межгодовой изменчивости TSI.

Рис. 1. Соотношение вариаций ISR_{SA} и ISR_{CMP} (показаны темным фоном) в межгодовой изменчивости TSI на интервале с 1740 по 2012 гг. с годовым разрешением

Также анализировалось соотношение вариаций ISR_{SA} и ISR_{CMP} в межгодовой изменчивости TSI с месячным разрешением (в изменчивости месячных значений от года к году). Соотношение вариаций ISR_{SA} и ISR_{CMP} в межгодовой изменчивости TSI для каждого месяца находилось так же как и при анализе с годовым разрешением. Средние соотношения вариаций ISR_{SA} и ISR_{CMP} межгодовой изменчивости TSI (с 1882 по 2008 гг.) получились равными 45.19% и 54.81% соответственно (рис. 2). Межгодовые вариации (месячных значений) ISR_{SA} по амплитуде превышают вариации ISR_{CMP} на протяжении 4 месяцев (1/3 года): июнь, июль, декабрь, январь. Временные интервалы доминирования вариаций ISR_{SA} хронологически локализуются в окрестностях точек летнего и зимнего солнцестояния. На протяжении остальных 8 месяцев (2/3 года) в межгодовой изменчивости TSI преобладает вариация ISR_{CMP} максимальные значения которых приходятся на равноденственные точки. Для периода спутниковых радиометри-

ческих наблюдений с 1978 по 2008 гг. [5] среднее соотношение характеризуется значениями 45.71% (ISR_{SA}) и 54.29% (ISR_{CMP}) [2, 3].

Рис. 2. Соотношение вариаций ISR_{SA} и ISR_{CMP} (показаны темным фоном) в межгодовой изменчивости TSI на интервале с 1882 по 2008 гг. с месячным разрешением

Таким образом, многолетняя изменчивость TSI приблизительно на 95% определяется вариациями, связанными с изменением активности Солнца. Межгодовая изменчивость TSI по физической природе представляет собой дуплекс вариаций ISR_{SA} и ISR_{CMP} . Соотношение вариаций ISR_{SA} и ISR_{CMP} по амплитуде изменяется в зависимости от временного разрешения. При годовом разрешении преобладающей является составляющая ISR_{SA} (около 80%). При месячном разрешении ведущей составляющей дуплекса является вариация ISR_{CMP} (около 55%).

Литература

1. Fedorov V.M. Theoretical calculation of the interannual variability of the Earth's insolation with daily resolution // Solar System Research, 2016. V. 50. № 3. Pp. 220–224 DOI: 10.1134/S0038094616030011
2. Федоров В.М. Солнечная радиация и климат Земли. М.: Физматлит, 2018. 232 с.
3. Федоров В.М. Анализ составляющих различной физической природы в межгодовой изменчивости полного потока солнечного излучения // Астрономический вестник, 2019. Т. 53. № 5. С. 394–400. DOI:10.1134/S0320930X19040029
4. Федоров В.М. Вариации инсоляции Земли и особенности их учета в физико-математических моделях климата // Успехи физических наук, 2019. Т. 189. № 1. С. 33–46. DOI: 10.3367/UFNr.2017.12.038267
5. <http://solarisheppa.geomar.de/cmip5>