

УДК 551.513.2

ПРИХОДЯЩАЯ НА ВЕРХНЮЮ ГРАНИЦУ АТМОСФЕРЫ СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ И ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ

В.М. Федоров, fedorov.msu@mail.ru

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

INCOMING SOLAR RADIATION AND ATMOSPHERIC PROCESSES IN NORTHERN HEMISPHERE

V.M. Fedorov, fedorov.msu@gmail.com

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Key words: solar radiation, circulation processes in the atmosphere, typification, circulation groups, zonal and meridional circulation

Abstract

The close correlation between the duration of the meridional and zonal type of circulation and calculated incoming solar radiation has been identified. Also, there is a good correlation between the groups of southern meridional circulation and zoning disturbances and incoming solar radiation. The trend to increase the duration of the meridional type of circulation and the meridional circulation of the southern group and decreasing of the duration of the zonal type and disturbance of the zonal circulation group was found in the atmosphere of the Northern Hemisphere from 1850 to 2050.

Солнце является основным источником энергии атмосферных процессов [1]. Известно, что неравномерность в приходе солнечной радиации на различные широты является основной причиной циркуляционных процессов в атмосфере. Однако, несмотря на очевидную связь циркуляционных процессов с солнечной радиацией, детально она пока не исследована. Вариации поступающей к Земле (на верхнюю границу ее атмосферы) солнечной радиации определяются двумя основными причинами, имеющими различную физическую природу. Исследования вариаций солнечной радиации, связанной с изменением физической активности Солнца, имеют давнюю историю, но несмотря на это вопрос о существовании связи между изменением солнечной активности и климатом уже в течение продолжительного времени остается дискуссионным. В данном исследовании изменение активности Солнца не учитывается.

Связанные с небесно – механическими процессами вариации солнечного потока (в формате представлений астрономической теории климата) исследуются на весьма продолжительных масштабах времени. При этом учитываются подверженные вековым возмущениям орбитальные элементы – долгота перигелия и эксцентриситет, а также наклон оси вращения Земли. Эти возмущения имеют весьма значительные по продолжительности периоды вариаций [5]. Расчеты приходящей на верхнюю границу атмосферы солнечной радиации в диапазоне периодических возмущений были начаты в Главной геофизической обсерватории имени А.И. Воейкова [7, 8]. Однако, дальнейшего развития эти исследования не получили.

По данным астрономических эфемерид (JPL Planetary and Lunar Ephemerides) DE-406 [11] рассчитывались значения солнечной радиации приходящей на верхнюю границу атмосферы (ВГА) за тропические годы в различные широтные зоны (протяженностью в 5°) в интервале с 1850 по 2050 гг. Поверхность ВГА аппроксимировалась эллипсоидом (GRS80), с длинами полуосей равными 6378137 м (большие) и 6356752 м (малая). Точность эфемерид по расстоянию между Землей и Солнцем составляет 10^{-9} а.е (или 0,1496 км), по времени 1 с (или 0,0000115 сут). Расчеты производились с использованием ряда формул, среди которых основным было выражение:

$$I_{nm}(\varphi_1, \varphi_2) = \int_{t_1}^{t_2} \left(\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sigma(H, \varphi) \left(\int_{-\pi}^{\pi} \Lambda(H, t, \varphi, \alpha) d\alpha \right) d\varphi \right) dt, \quad (1)$$

где I – приходящая солнечная радиация за элементарный n -й фрагмент m -го тропического года (Дж); σ – площадной множитель (м^2), с помощью которого вычисляется площадной дифференциал $\sigma(H, \varphi) d\alpha d\varphi$ – площадь бесконечно малой прямоугольной ячейки эллипсоида; α – часовой угол, φ – географическая широта, выраженные в радианах; H – высота поверхности эллипсоида относительно поверхности Земли (м); $\Lambda(H, \varphi, t, \alpha)$ – инсоляция в заданный момент в заданном месте поверхности эллипсоида ($\text{Вт}/\text{м}^2$), t – время (с). Шаги при интегрировании составляли: по долготе 1° , по широте 1° , по времени $1/360$ часть продолжительности тропического года. Значение солнечной постоянной принималось равным $1367 \text{ Вт}/\text{м}^2$. При расчетах учитывались изменения расстояния между Землей и Солнцем и продолжительности периода обращения Земли (продолжительности тропического года) в связи с периодическими возмущениями орбитального движения Земли [6, 9].

Полученные значения приходящей на ВГА солнечной радиации [12] сопоставлялись с продолжительностью действия групп циркуляции [4, 10]. Высокая корреляция с приходящей солнечной радиацией и разностью приходящей на ВГА в экваториальную и полярную область Северного полушария отмечается для двух групп циркуляции: меридиональной южной и нарушения зональности. Средние значения коэффициента корреляции (R) приходящей радиации с продолжительностью действия группы нарушения зональности (НЗ) составляют 0,673, с группой меридиональной южной циркуляции (МЮ) -0,703. Среднее значение R разности радиации приходящей на ВГА в экваториальную и полярную область (отражающие широтный градиент солнечной радиации) с продолжительностью НЗ составляет -0,635, с продолжительностью МЮ – 0,756. Учитывая, что приходящая на ВГА солнечная радиация в современную эпоху сокращается, а разность солнечной радиации, поступающей в экваториальную и полярную область, увеличивается, можно сделать вывод о тенденциях продолжительности группы НЗ к сокращению, а группы МЮ – к увеличению [12]. На основе линейного уравнения регрессии для групп циркуляции МЮ и НЗ были рассчитаны значения продолжительности групп на период с 1850 по 2050 гг.

Детальное сравнение рассчитанных значений продолжительности групп циркуляции с фактическими значениями проводилось для периода, обеспеченного фактическими данными, с 1899 по 2013 гг. [10]. Значение R рассчитанных и фактических значений продолжительности составляет для группы МЮ 0,747, для группы НЗ – 0,715. Среднее по модулю расхождение между фактическими и рассчитанными значениями продолжительности на интервале с 1899 по 2013 гг. составляет для группы МЮ – 23,1 суток, для группы НЗ – 20,4 суток (49,0% и 22,8% от соответствующих среднегодовых значений продолжительности по фактическим данным). По рассчитанным данным продолжительность действия группы меридиональной южной циркуляции может в 2050 году составить около 160 суток, а продолжительность действия группы нарушения зональности сократиться до значений, близких к нулевым.

Также исследовалась связь продолжительности зональной (З+НЗ) и меридиональной (МС+МЮ) циркуляции. Соотношение продолжительности этих форм циркуляции составляет основной принцип типизации циркуляционных процессов в атмосфере [2, 3]. По линейному уравнению регрессии были рассчитаны значения продолжительности зональной и меридиональной циркуляции для интервала с 1850 по 2050 гг. (рис. 1).

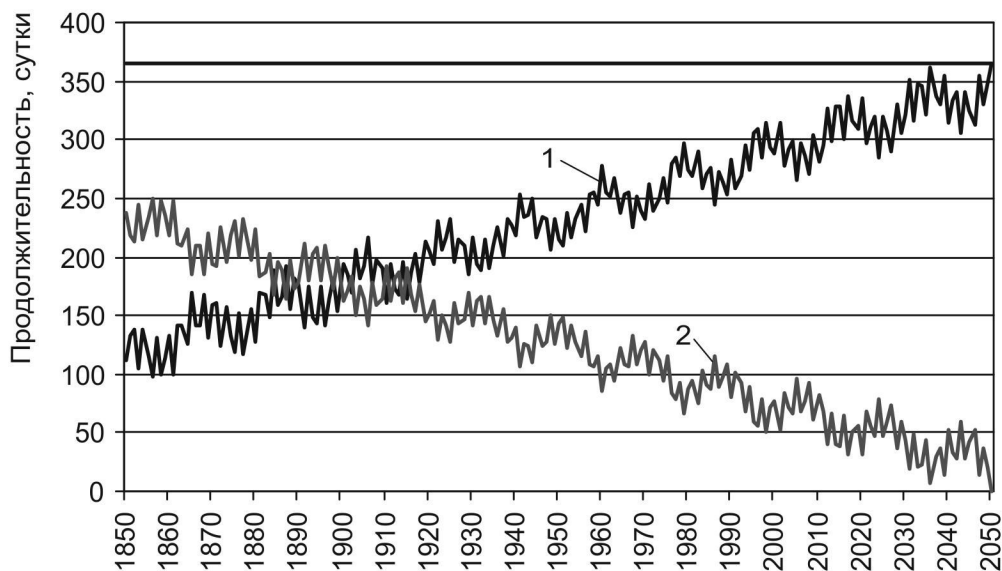


Рис. 1. Распределение продолжительности меридиональной (МС+МЮ) – 1 и зональной (З+НЗ) – 2 циркуляции. Горизонтальная линия соответствует продолжительности года.

Сравнение фактических и расчетных значений также проводилось на интервале с 1899 по 2013 гг. Значения R фактических величин продолжительности с рассчитанными составляют для меридиональной циркуляции (МС+МЮ) – 0,682, для зональной циркуляции (З+НЗ) – 0,650. Среднегодовое значение продолжительности меридиональной циркуляции (МС+МЮ) на этом интервале составляет 244,1 суток по фактическим значениям и 239,3 суток – по рассчитанным значениям (рис. 2).

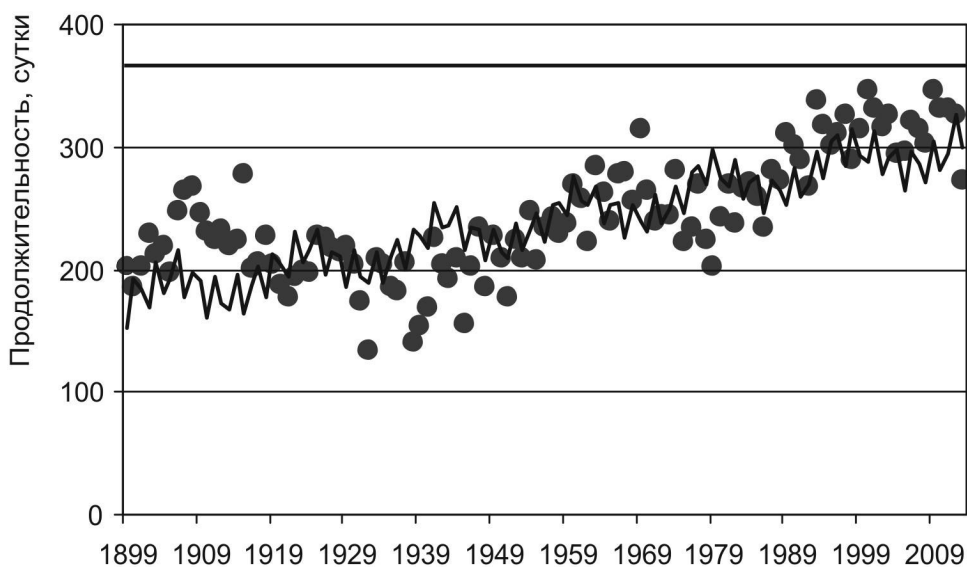


Рис. 2. Распределение фактических (точки) и рассчитанных (сплошная линия) значений продолжительности меридиональной циркуляции в Северном полушарии. Горизонтальная линия соответствует продолжительности года.

Для продолжительности зональной циркуляции (З+НЗ) эти значения равны 115,6 суток и 120,4 суток соответственно. Среднегодовое расхождение фактических и рассчитанных значений продолжительности для меридиональной циркуляции характеризуется значением в 28,3 суток, для зональной циркуляции в 27,9 суток (11,6% от среднегодовой продолжительности меридиональной циркуляции и 24,1% от среднегодовой продолжительности зональной циркуляции). Рассчитанные на период с 2014 по 2050 гг. значения продолжительности зональной и меридиональной циркуляции показывают, что меридиональная циркуляция будет существенно преобладать над зональной циркуляцией в общей циркуляции атмосферы. Минимальная продолжительность меридиональной циркуляции на этом интервале ожидается близкой к 280 суткам, а максимальная продолжительность зональной составит около 75 суток.

В результате исследований определена связь продолжительности зональной (З+НЗ) и меридиональной (МС+МЮ) циркуляции, а также отдельных групп циркуляции (МЮ и НЗ) с солнечной радиацией и разностью солнечной радиации приходящей на верхнюю границу атмосферы в экваториальную и полярную области Северного полушария Земли.

Литература

1. Воейков А.И. Метеорология. – С. - Петербург. Издание картографического заведения А. Ильина, 1903. – 780 с.
2. Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. – Л.: Гидрометеиздат, 1946. – 80 с.
3. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии / Материалы метеорологических исследований. – М.: 1968. – 240 с.
4. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / отв. ред. А.Б. Шмакин. – М.: Воентехиниздат, 2009. – 372 с.
5. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. – М.–Л.: ГОНТИ, 1939. – 208 с.
6. Федоров В.М. Пространственные и временные вариации солярного климата Земли в современную эпоху // Геофизические процессы и биосфера, 2015. – т. 14. – № 1. – с. 5 – 22.
7. Borisenkov E. P., Tsvetkov A.V., Agaponov S.V. On some characteristics of insolation changes in the past and the future // Climatic Change, 1983. – № 5. – p. 237 – 244.
8. Borisenkov E. P., Tsvetkov A.V., Eddy J.A. Combined Effects of Earth Orbit Perturbations and Solar Activity on Terrestrial Insolation. Part 1: Sample Days and Annual Mean Values // Journal of the atmospheric sciences, 1985. – v. 42. – № 9. – p. 933 – 940.
9. Fedorov V.M. Interannual Variability of the Solar Constant // Solar System Research, 2012. – v. 46, №. 2, pp. 170 – 176
10. <http://www.atmospheric-circulation.ru> – Кононова Н.К. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI вв. – Электронный ресурс.
11. <http://ssd.jpl.nasa.gov> – NASA, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology (JPL Solar System Dynamics). Электронный ресурс национального аэрокосмического агентства США.
12. <http://www.solar-climate.com> – Солнечная радиация и климат Земли. – Электронный ресурс.