



УДК 551.58

О ВОЗМОЖНОСТИ ВЛИЯНИЯ ДВИЖЕНИЯ СОЛНЦА ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА МАСС СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

М.Б. Богданов, А.Н. СурковСаратовский государственный университет,
кафедра метеорологии и климатологии

E-mail: kafmeteo@sgu.ru

Проведены расчеты величин сезонной инсоляции для двух годичных периодов, соответствующих максимальному и минимальному смещению Солнца относительно центра масс Солнечной системы. Показано, что максимальное изменение сезонной инсоляции не превышает 0.005% и, следовательно, данное движение Солнца не может вызывать каких-либо заметных климатических изменений.

On the possibility of the influence of the motion of the Sun relative to the center of the masses of the Solar system on climate variation

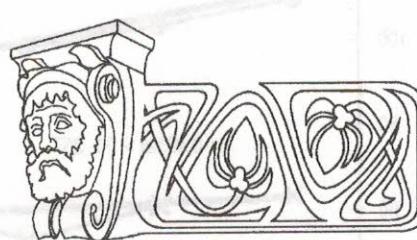
М.Б. Богданов, А.Н. Сурков

The values of seasonal insolations are calculated for two annual periods, which correspond to the maximum and minimum displacement of the Sun relative to the center of the masses of the Solar system. It is shown that a maximum change in the seasonal insulation does not exceed 0.005% and, therefore, this motion of the Sun cannot cause any noticeable climatic variations.

Введение

Как известно, центр масс Солнечной системы (часто называемый также барицентром) в общем случае не совпадает с центром Солнца. Под влиянием изменяющихся сил притяжения планет, главным образом планет-гигантов – Юпитера и Сатурна, центр Солнца движется относительно центра масс. Это движение происходит приблизительно в плоскости эклиптики, причем расстояние Солнца от центра масс может изменяться почти от нуля до значения, близкого к величине солнечного диаметра (около 1% расстояния Земли от Солнца). Так как периоды обращения планет несоизмеримы друг с другом, то данное движение Солнца не является периодическим. Однако в нем достаточно выражена цикличность с продолжительностью цикла, близкой к периоду обращения Юпитера (11.9 года).

В работах ряда авторов [1, 2 и др.] утверждалось, что годичное движение Земли происходит вокруг центра масс Солнечной системы. При этом в случае несовпадения его с центром Солнца величина суммарной годичной глобальной инсоляции остается неизменной, но распределение инсоляции по сезонам года изменяется. Для максимального смещения Солнца изменение инсоляции, обратно пропорциональной квадрату расстояния, должно было бы состав-



лять около 2%. Данный эффект связывался авторами работ [1, 2] с возможными климатическими изменениями, продолжительность цикла которых совпадает с характерным временем движения Солнца относительно центра масс.

Целью нашей работы является показать неверность подобных утверждений и продемонстрировать, что смещение Солнца относительно центра масс Солнечной системы не приводит к какому-либо заметному изменению глобальной инсоляции в разные сезоны года.

Движение тел Солнечной системы относительно ее центра масс

В настоящее время не подлежит сомнению, что возмущения орбиты Земли притяжением других тел Солнечной системы способны вызывать заметные изменения климата. Как было впервые показано Миланковичем [5], вызываемые этими возмущениями изменение угла наклона плоскости эклиптики к плоскости небесного экватора, движение перигелия земной орбиты и изменение ее эксцентриситета приводят к изменениям климата северного и южного полушарий на временной шкале в десятки и сотни тысяч лет. Результаты более поздних исследований данной проблемы рассмотрены в монографии Монина [6]. Существуют также и короткопериодические возмущения земной орбиты. Однако относительно небольшая величина этих возмущений не позволяет до настоящего времени выявить их связь с климатическими изменениями.

Один из основных факторов, способных повлиять на климат Земли, – вариация солнечной постоянной. По многолетним данным атмосферных наблюдений, изменения этой величины обнаружены достаточно уверенно и прослежена их связь с циклом солнечной активности [3], но эти изменения составляют около 0.1% и достаточно малы для заметного влияния на климат. Таким образом, если бы влияние смещения Солнца от центра масс Солнечной системы на распределение инсоляции по сезонам реально существовало, то оно могло бы стать решаю-

щим фактором короткопериодических изменений климата.

Известно, что положение центра масс системы N притягивающих друг друга материальных точек с массами m_i в некоторой выбранной системе координат определяется вектором \vec{r} , равным

$$\vec{r} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^N m_i}, \quad (1)$$

где \vec{r}_i – вектор i -й материальной точки в данный момент времени.

Известно также, что для замкнутой системы материальных точек центр масс неподвижен или может перемещаться только прямолинейно и равномерно [4]. В любом случае выбором соответствующей инерциальной системы координат можно добиться выполнения условия $\vec{r} = \text{Const}$, тогда как векторы всех точек системы изменяются со временем. В этом и только в этом смысле можно говорить о том, что любая материальная точка системы движется относительно ее центра масс.

Перейдя от идеальной системы материальных точек к реальной Солнечной системе, мы также можем считать, что ее центр масс неподвижен. В этом случае совершенно справедливо утверждение, что любое тело системы, например Луна, движется относительно этого центра. Но это вовсе не означает, что при этом наш спутник не движется относительно центра масс системы Земля – Луна. Аддитивность выражения (1) позволяет нам выделить центр масс любых двух точек системы и рассматривать его как новую материальную точку с массой равной сумме масс выбранных объектов, входящую в систему из $N-1$ точки. При этом положение центра масс системы не изменяется. Поэтому, с учетом характерного времени движений, правильным будет утверждать, что Земля совершает годичное движение вокруг центра масс системы Солнце – Земля, который, в свою очередь, перемещается в пространстве под влиянием притяжения всех остальных тел Солнечной системы. Учитывая, что отношение масс Солнца и Земли равно приблизительно 330000, можно считать, что центр масс системы Солнце – Земля практически совпадает с центром Солнца. В этом случае смещение Солнца относительно центра масс Солнечной системы не должно заметным образом повлиять на распределение инсоляции по сезонам года.

Проведенные рассуждения, вообще говоря, не являются достаточно строгими. Под влиянием планетных возмущений Земля движется в пространстве по незамкнутой траектории, и говорить об ее обращении вокруг Солнца можно лишь довольно условно. Однако степень влияния смещения Солнца от центра масс на распределение инсоляции можно оценить достаточно точно, рассмотрев реальное движение Земли с использованием численных методов небесной механики.

Расчет сезонной инсоляции для экстремальных значений смещения Солнца относительно центра масс Солнечной системы

Наиболее точное описание движений тел Солнечной системы достигается современной небесной механикой с использованием численного интегрирования дифференциальных уравнений движения при учете возмущений от всех массивных тел (включая и ряд астероидов), а также релятивистских эффектов. Для решения нашей задачи мы использовали доступный в сети Интернет генератор эфемерид HORIZONS (<http://ssd.jpl.nasa.gov/cgi-bin/eph/>). Он разработан Лабораторией реактивного движения НАСА (JPL, NASA) на основе численной теории DE-406/LE-406 и позволяет рассчитывать положение центра массы планеты с погрешностью, не превышающей 25 м [7]. Такая точность более чем достаточна для наших целей.

В качестве первого этапа мы рассчитали расстояния центра Солнца от центра масс Солнечной системы Δ на начало каждого года за последние 30 лет. Значения этих расстояний, выраженные в астрономических единицах и округленные с точностью до пятого знака после запятой, приведены в табл. 1. Как видно из табл. 1, за рассмотренный интервал времени наблюдались большие изменения Δ , достигавшие максимального значения 0.00975 а.е. в 1983 г. и минимального значения 0.00071 а.е.

Таблица 1
Изменение расстояния центра Солнца от центра масс Солнечной системы Δ (в астрономических единицах)
за последние 30 лет

Дата	Δ , а.е.	Дата	Δ , а.е.	Дата	Δ , а.е.
1974	0.00322	1984	0.00961	1994	0.00634
1975	0.00278	1985	0.00904	1995	0.00744
1976	0.00308	1986	0.00803	1996	0.00823
1977	0.00411	1987	0.00658	1997	0.00866
1978	0.00545	1988	0.00478	1998	0.00870
1979	0.00678	1989	0.00276	1999	0.00836
1980	0.00795	1990	0.00071	2000	0.00768
1981	0.00887	1991	0.00141	2001	0.00677
1982	0.00949	1992	0.00328	2002	0.00581
1983	0.00975	1993	0.00493	2003	0.00498

в 1990 г. Для этих двух лет мы провели оценку возможного изменения величины инсоляции в разные сезоны.

Для оценки возможного изменения инсоляции мы рассчитали количество энергии E , приходящее за сезон на площадку в 1 кв. м, ориентированную перпендикулярно направлению на Солнце и расположенную от него на расстоянии центра массы Земли. Проинтегрированный по спектру поток солнечного излучения на среднем расстоянии Земли от Солнца r_0 определяется солнечной постоянной S , величина которой была принята равной 1366.2 Вт м^{-2} . Тогда энергия E получается как интеграл

$$E = S \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{r_0}{r(t)} \right)^2 dt, \quad (2)$$

где $r(t)$ – мгновенное значение расстояния между центрами масс Солнца и Земли, t_1 и t_2 – моменты начала и конца сезона.

В качестве интервалов интегрирования естественно выбрать астрономические сезоны: зима (от момента зимнего солнцестояния предыдущего года до момента весеннего равноденствия), весна (от момента весеннего равноденствия до момента летнего солнцестояния), лето (от момента летнего солнцестояния до момента осеннего равноденствия) и осень (от момента осеннего равноденствия до момента зимнего солнцестояния).

Для численной оценки интеграла (2) использовалась процедура DAVINT из библиотеки ФОРТРАН-программ SLATEC, реализующая с двойной точностью метод Симпсона на неравномерной сетке. Моменты начала и конца сезонов брались из Астрономических ежегодников. Расстояния $r(t)$ для этих моментов и моментов начала каждого суток внутри сезона рассчитыва-

лись с помощью генератора эфемерид HORIZONS. Результаты расчетов, округленные с точностью до пятого знака после запятой, приведены в табл. 2. С целью оценки погрешности численного интегрирования мы провели расчет значения E для одного из сезонов на сетке с полусяточным шагом отсчетов расстояния и получили, что эта погрешность не превышает единицы последнего знака.

Таблица 2

Энергия E (ГДж), приходящая от Солнца на площадку в 1 кв. м на расстоянии центра массы Земли в разные астрономические сезоны при максимальном (в 1983 г.) и минимальном (в 1990 г.) смещении Солнца от центра масс Солнечной системы

Год \ Сезон	Зима	Весна	Лето	Осень
1983	10.77982	10.77977	10.78007	10.77976
1990	10.77969	10.77963	10.77952	10.77972

Анализ данных табл. 2 показывает, что энергия E , определяющая величину глобальной сезонной инсоляции, изменилась весьма незначительно. Максимальное изменение для астрономического лета составляет только 0.005% и, по-видимому, связано с долговременными изменениями параметров теории Миланковича за прошедшие семь лет.

Заключение

Проведенное нами рассмотрение проблемы и полученные численные оценки показывают, что движение Солнца относительно центра масс Солнечной системы не вызывает заметных изменений сезонной инсоляции и не может рассматриваться как причина короткопериодических колебаний климата.

Авторы выражают благодарность А.Б. Рыхлову, обратившему наше внимание на данный вопрос.

Поток солнечного излучения. М., 1991. 400 с.

1. Коваленко В.Д. Гелиоэнергетическая теория изменчивости климата и космическое будущее планеты Земля // Тр. Зап.-Сиб. регион. науч.-исслед. гидрометеорол. ин-та. 1990. № 93. С. 33–58.
2. Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Николаев В.Д., Пашестюк А.М. Эндогенная модель вековой изменчивости климата Земли // Тр. Среднеаз. регион. науч.-исслед. гидрометеорол. ин-та. 1990. № 133. С. 111–124.
3. Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В.

Библиографический список

1. Коваленко В.Д. Гелиоэнергетическая теория изменчивости климата и космическое будущее планеты Земля // Тр. Зап.-Сиб. регион. науч.-исслед. гидрометеорол. ин-та. 1990. № 93. С. 33–58.
2. Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Николаев В.Д., Пашестюк А.М. Эндогенная модель вековой изменчивости климата Земли // Тр. Среднеаз. регион. науч.-исслед. гидрометеорол. ин-та. 1990. № 133. С. 111–124.
3. Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В.