

АСТРОНОМИЯ, АСТРОФИЗИКА И КОСМОЛОГИЯ

11-летний цикл солнечной активности и конфигурации планет

В. П. Охлопков

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
(НИИЯФ МГУ). Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.
E-mail: ovpetrovich@yandex.ru*

Статья поступила 05.09.2013, подписана в печать 30.12.2014.

В настоящей работе использован введенный автором параметр — средняя разность гелиоцентрических долгот (СРД) планет Венеры, Земли и Юпитера. По минимальным значениям СРД (планеты находятся в соединении), а также по минимальным отклонениям планет от линии, проходящей через них и Солнце при расположении планет по разные стороны от Солнца, составлен индекс, однозначно описывающий 11-летний цикл солнечной активности.

Ключевые слова: средняя разность гелиоцентрических долгот планет, соединение планет, огибающая минимальных значений, частотные спектры, центр масс Солнечной системы, солнечная активность.

УДК: 523.2. PACS: 96.60.Q–.

Введение

Настоящая работа является продолжением исследований [1, 2] и посвящена поиску связей движения планет и проявлений солнечной активности. В работе [1] были представлены мои расчеты, где учитывались массы планет и их расстояния от Солнца. Расчеты были проведены для динамических параметров движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы (ЦМСС) — расстояние центра Солнца относительно центра масс солнечной системы, изменение углового момента Солнца относительно центра масс и ускорение Солнца от гравитационного воздействия планет (главная периодичность в них составляет 19.86 лет). Сопоставление этих параметров с солнечной активностью может на отдельных временных интервалах давать хорошее соответствие, но далее из-за различия периодов главных компонент фазы сопоставляемых рядов расходятся (в солнечной активности знакопеременный ряд имеет основной период 22 года). С динамическими параметрами движения Солнца относительно ЦМСС, рассчитанными по сочетаниям планет, в которых участвуют Юпитер и Сатурн, невозможно найти хорошего согласования 11-летнего и 22-летнего циклов солнечной активности.

Важным этапом в исследованиях солнечной активности была работа Жозе [3], в которой рассчитаны динамические параметры движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы. В работах [4–7] показано, что динамические параметры движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы не содержат в частотных спектрах 11-летней спектральной составляющей. Многие другие исследователи [8–13] в течение многих лет пытались найти с вышеперечисленными и другими динамическими параметрами связь солнечной активности.

Никулин [14] провел компьютерное моделирование по поиску моментов времени прохождения силовых линий межпланетного магнитного поля через несколько планет и обнаружил для этих моментов повышения

солнечной активности. Как считает Никулин, влияние планет на солнечную активность существует, но осуществляется не гравитационным воздействием, а электродинамическим.

После того как в середине XIX в. Р. Вольф сформировал индекс солнечной активности по пятнам на Солнце (числа Вольфа) и изучил его свойства, он выдвинул гипотезу, что солнечная активность вызывается приливным воздействием планет на Солнце [15]. Многие исследователи продолжили развивать приливную гипотезу солнечной активности [16–20]. В частности, Браун [16] предложил гипотезу о происхождении цикличности солнечной активности, по которой изменение активности происходит благодаря вихревым движениям в атмосфере Солнца, вызванным планетными приливными волнами. Детальным расчетам приливной волны на Солнце посвящены работы [20, 21]. Вуд [21] рассчитал приливную волну, вызываемую Венерой, Землей и Юпитером, для периода с 1800 по 2000 г. и показал, что имеются циклы как с хорошим соответствием максимума СА с максимумом прилива, так и с запаздыванием СА на несколько лет.

В работе [22] разработана физическая модель для описания зависящего от времени крутящего момента со стороны планет на несферический тахоклон и проведено сравнение соответствующего спектра мощности с реконструированной солнечной активностью по космогенным данным углерода ^{14}C и бериллия ^{10}Be . Найдено хорошее согласие между долговременными циклами в солнечной активности и периодичностями в планетном крутящем моменте. В работах [23, 24] также указывается на возможное планетное влияние на 11-летний цикл, в частности в [24] получены возмущения внутри вращающейся звезды, когда звезда ускоряется от орбитальных тел.

1. Планетные конфигурации

В работах [1, 2] мною введен параметр — средняя разность гелиоцентрических долгот планет (СРД).

Наилучшая связь солнечной активности (использованы числа Вольфа) получена для трех планет — Венеры, Земли и Юпитера. В [1, 2] была выделена огибающая минимальных значений СРД, которая имеет главную периодичность 22 года и которая хорошо описывает накоперенный ряд солнечной активности, который тоже имеет главную периодичность 22 года. Было показано, что экстремумы огибающей минимальных значений СРД планет Венеры, Земли и Юпитера хорошо согласованы с 11-летними циклами солнечной активности. В этих экстремумах наблюдаются линейные конфигурации планет Венеры, Земли и Юпитера как при их расположении по одну сторону от Солнца (соединения), так и при расположении по разные стороны от Солнца.

Для трех планет средняя разность гелиоцентрических долгот планет с долготами D_1 , D_2 и D_3 представляется выражением

$$ADL = \frac{|D_1 - D_2| + |D_1 - D_3| + |D_2 - D_3|}{3}. \quad (1)$$

При этом необходимо учитывать, что абсолютные значения разностей брались при следующем условии: если разность $\Delta > 180^\circ$, то надо брать $360 - \Delta$. Разности брались минимальные с учетом цикличности долготы (0–360 град). Например, если одна долгота равна 350 град, а другая долгота равна 10 град, то разность долгот равна 20 град, а не 340. Для минимальных значений ADL эта формула отражает соединения планет при их расположении по одну сторону от Солнца и на одной линии с ним.

Если планеты располагаются по разные стороны от Солнца, например две планеты с долготами D_1 и D_2 в соединении, а третья планета с долготой D_3 по другую сторону от Солнца, то параметр представляется в виде

$$ADLO = \frac{|D_1 - D_2| + (180 - |D_1 - D_3|) + (180 - |D_2 - D_3|)}{3}. \quad (2)$$

При минимальных значениях параметра ADLO все три разности в скобках минимальны, и это соответствует расположению планет по разные стороны от Солнца и на одной линии с ним.

На рис. 1 для пояснения расчета СРД в качестве примера для Венеры, Земли и Юпитера для периода с 1820 по 1840 гг. с шагом при расчете координат

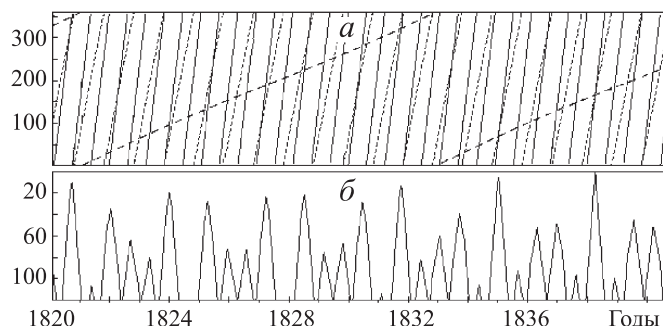


Рис. 1. Для Венеры (сплошная линия), Земли (пунктирная линия) и Юпитера (длинные штрихи) для периода с 1820 по 1840 г. показаны гелиоцентрические долготы (а) и средние разности этих долгот (СРД, шкала обратная) (б), шкалы по оси ординат в градусах

через 2 дня показаны долготы и средние разности долгот, где четко видны малейшие детали. Для трех планет имеются три разности, которые усредняются с равными весами. Как видно из рисунка, там где планеты располагаются на одной долготе или в узком секторе долгот (верхняя панель), параметр СРД имеет минимальные значения (нижняя панель). Для дальнейшей работы использовались точки перегиба, где СРД имеет наименьшие значения. На рис. 1 таких точек 9, и в этих точках планеты располагаются в небольших по долготе секторах и оказывают максимальное гравитационное воздействие на Солнце. Между точками с минимальными значениями СРД планеты расходятся в большой долготный сектор, где их гравитационное воздействие падает.

Были рассчитаны СРД (ADL) для интервала времени с 1000 по 2050 г. с шагом при расчете координат 2 дня. Расположение планет как на одной линии от Солнца и по одну сторону от него, т.е. с одинаковой долготой, так и в некотором секторе гелиодолгот будем называть соединением планет. Также для этого интервала времени были рассчитаны ADLO.

Поскольку в данном исследовании были рассчитаны моменты времени как для соединений трех планет, так и их расположений по разные стороны от Солнца, то для краткости описания введем обозначения различных конфигураций трех планет. Конфигурация K_0 — соединение трех планет (все три планеты располагаются по одну сторону от Солнца и на одной линии с ним). Конфигурация K_1 — соединение Венеры и Земли с расположением Юпитера по другую сторону от Солнца. Конфигурация K_2 — соединение Венеры с Юпитером и расположением Земли по другую сторону от Солнца. Конфигурация K_3 — соединение Земли с Юпитером и расположением Венеры по другую сторону от Солнца.

На рис. 2, а для периода с 1820 по 2050 г. представлены данные по СРД, ограниченные максимальными значениями 50 град. В отличие от рис. 1 здесь из-за большого количества данных и большого временного интервала широкие пики выглядят как линии. Из этого рисунка отчетливо видно, что минимальные значения СРД описывают четкую периодическую зависимость (имеется ввиду огибающая минимальных значений СРД). Эта огибающая минимальных значений СРД, ограниченная значениями 25 град, представлена на рис. 2, б. Более высокий уровень ограничения не представляет интереса, поскольку там планеты уже

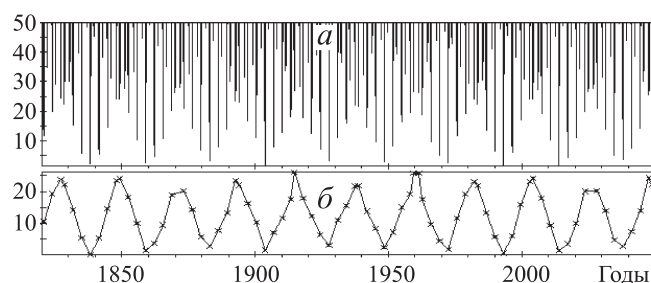


Рис. 2. Для интервала времени с 1820 по 2050 г.: а — средние разности гелиоцентрических долгот Венеры, Земли и Юпитера, ограниченные величиной 50 град, б — огибающая минимальных значений СРД, взятых с рис. 2, а с ограничением 25 град

располагаются в большом секторе долгот. Наиболее гладко огибающая выглядит при ограничении около 25 град. Аналогично ведет себя параметр $ADLO$ для конфигураций K_1 , K_2 и K_3 . Далее в этом исследовании будут использоваться только огибающие кривые минимальных значений СРД для всех четырех конфигураций.

2. Расчет планетного индекса солнечной активности

На столетнем временном интервале (1900–2000), который имеется и на рис. 2, покажем, как рассчитывался новый индекс солнечной активности. На рис. 3, *а* приведена огибающая минимальных значений СРД (ADL) для планет Венеры, Земли и Юпитера (сплошная линия, соединяющая крестики, конфигурация K_0 , основная периодичность в ней 22 года). Также здесь приведена огибающая минимальных значений СРД (ADLO) для конфигурации K_1 (кружочки). Как видим, обе зависимости протекают в фазе, но при самых минимальных значениях точки конфигурации K_1 располагаются между точками конфигурации K_0 (интервал между ними 1.6 года). На рис. 3, *б* также приведены огибающие минимальных значений СРД (ADLO) для конфигураций K_2 и K_3 (их точки чередуются с интервалом 1.6 года, основная периодичность в них 22 года), но эти огибающие находятся в противофазе с огибающими рис. 3, *а*. Максимальному гравитационному воздействию на Солнце соответствуют значения СРД, близкие к нулю — это линейные конфигурации планет.

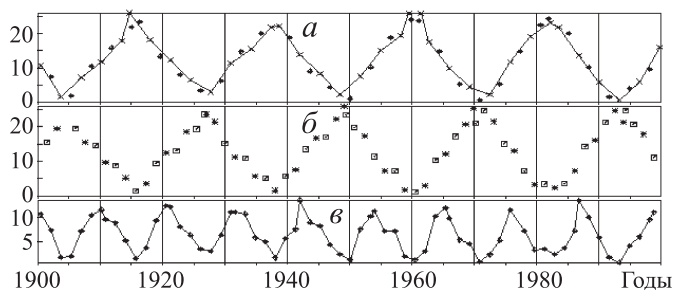


Рис. 3. *а* — огибающая минимальных значений СРД (ADL) для планет Венеры, Земли и Юпитера — сплошная линия, соединяющая крестики, конфигурация K_0 , кружочки — огибающая минимальных значений ADLO для конфигурации K_1 , *б* — звездочки — огибающая минимальных значений ADLO для конфигурации K_2 , квадраты — огибающая минимальных значений ADLO для конфигурации K_3 , *в* — индекс JEV

Совместим огибающие кривые всех четырех конфигураций (рис. 3, *а, б*). Поскольку они пересекаются на уровне около 15 град, этим уровнем и ограничимся. Получаем кривую в диапазоне значений от нуля до 15 град (рис. 3, *в*), основная периодичность в которой 11 лет. Таким образом из четырех конфигураций получаем планетный индекс солнечной активности, который имеет 11-летнюю периодичность. Для краткости изложения обозначим этот индекс как JEV (по первым буквам названий планет).

3. Сопоставления с солнечной активностью

На рис. 4, 5 проводится сопоставление индекса JEV с солнечной активностью за интервал времени с 1000 по 2013 г. (числа Вольфа, с 1000 г. — значения в максимумах и минимумах СА [25, 26], с 1500 г. — годовые значения [25, 26], с 1749 г. — средние квартальные значения [27]). Для количественного описания пятнообразования для прошлых эпох, когда не было инструментальных наблюдений солнечной активности, используются наблюдения за изменениями некоторых геопараметров, которые коррелированы с числами солнечных пятен. В первую очередь к ним относится частота появления полярных сияний. Используются также данные о космогенных изотопах: углерода ^{14}C , бериллия ^{10}Be и других, содержащихся в природных архивах (кольцах деревьев, полярных льдах и др.). Используя данные о вариациях геопараметров, преимущественно данные о полярных сияниях, Шове [25, 26] нашел значения следующих параметров пятнообразования на Солнце за прошлый период до начала телескопических наблюдений за Солнцем: среднегодовые значения чисел Вольфа начиная с 1500 г., а также данные о годах минимумов и максимумов 11-летних циклов пятнообразования начиная с 653 г. до н.э., с указанием ориентировочных значений чисел Вольфа в годы их максимумов.

На рис. 4 представлены данные индекса JEV и ряд солнечной активности Шове для периода с 1000 по 1500 г. На рис. 4, *а, в* — то же, что на рис. 3, *в* (индекс JEV), на рис. 4, *б, г* — солнечная активность (ряд Шове). При этом для ряда Шове имеются данные лишь для максимумов (приблизительные значения) и минимумов СА. Невзирая на ошибки ряда Шове, тем не менее циклы СА стоят на своих местах, и, как видим, имеется полное соответствие количества циклов СА и индекса JEV, хотя здесь имеются фазовые сдвиги экстремумов СА и индекса JEV. Аналогичная картина соответствия циклов СА и индекса JEV имеется и для временного интервала с 500 по 1000 г. (для этого интервала рисунок не приводим).

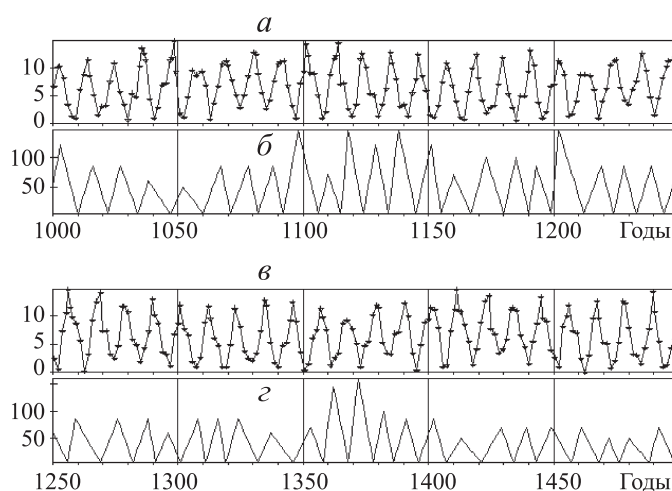


Рис. 4. Для периода с 1000 по 1500 г.: *а, в* — данные индекса JEV, *б, г* — ряд солнечной активности Шове

На рис. 5 представлены данные для периода с 1500 по 2013 г.: с 1500 по 1699 г. — среднегодовые значения

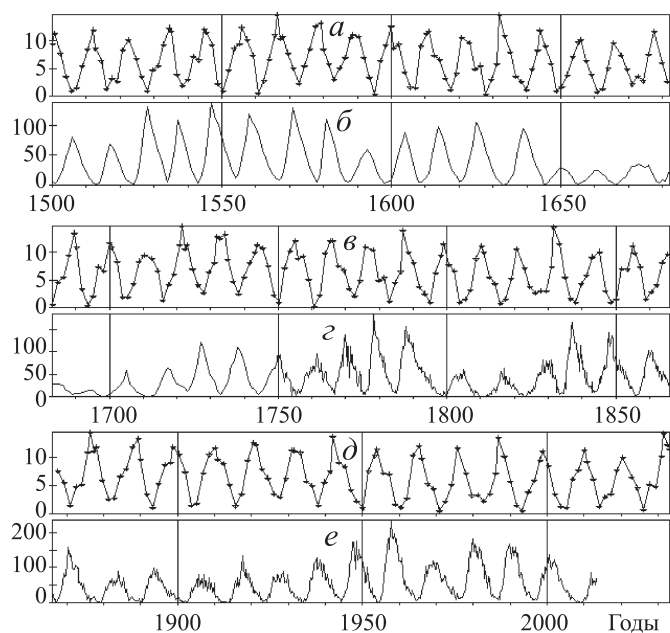


Рис. 5. Для периода с 1500 по 2030 г.: а, в, д — данные индекса JEV, б, г, е — ряд солнечной активности Шове (1500–1499 гг.) и числа Вольфа (1700–2013 гг.)

чисел Вольфа по данным Шове, с 1700 по 1748 г. — среднегодовые значения чисел Вольфа по инструментальным данным, с 1749 г. — среднеквартальные значения чисел Вольфа. Из этих рисунков хорошо видно, что количество максимумов СА четко соответствует количеству минимумов индекса JEV (минимальные значения индекса JEV соответствуют линейным конфигурациям планет как при их соединении, так и при расположении по разные стороны от Солнца). За интервал времени с 1500 по 2013 г. основные периодичности, полученные из спектрального анализа, в СА и в индексе JEV составляют соответственно 11.06 и 11.065 лет. За интервал времени с 1000 по 2013 г. основная периодичность и в СА и в индексе JEV составляет 11.07 лет.

По массиву индекса линейных конфигураций планет Венера, Земля и Юпитер (индекс JEV) для периода с 1000 г. (рис. 4, 5) длительности 11-летних циклов, найденные по минимальным значениям индекса, колеблются в пределах 9–13 лет, в солнечной активности по числам Вольфа соответствующий диапазон составляет 8–14 лет. Из рис. 4, 5 видно, что количество 11-летних циклов как по индексу JEV, так и по СА за 1000-летний временной интервал одинаково. Также одинаково количество 11-летних циклов и с 500 г. (в статье не представлен). Совпадение длительности средней периодичности за 1000-летний интервал с точностью до второго знака после запятой доказывает связь индекса JEV с 11-летним солнечным циклом.

4. Соотношение фаз индекса JEV и СА

Соотношение фаз индекса JEV и СА не остается постоянным. Для нахождения величин сдвигов между максимумами СА и индексом JEV проводился кросскорреляционный анализ следующим образом. Для СА был взят интервал в два цикла СА (270 мес), который коррелировался со сдвигом с ближайшими циклами JEV,

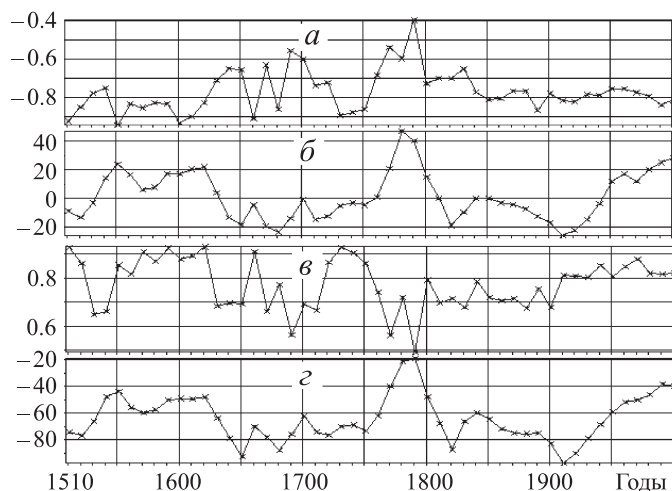


Рис. 6. Соотношения фаз индекса JEV и СА, полученные при кросскорреляционном анализе массивов продолжительностью 270 мес: а, в — коэффициенты корреляции; б — опережения–отставания СА от индекса JEV (месяцы) при отрицательной корреляции; г — отставание СА от индекса JEV (месяцы) при положительной корреляции

и выбирался максимальный отрицательный коэффициент корреляции и соответствующий сдвиг. Затем начало массива СА сдвигалось на 10 лет и расчет повторялся и т. д. На рис. 6, а, б показаны соответствующие расчеты. Хорошо видно, что имеются периоды, когда максимумы СА отстают от минимальных значений индекса JEV (линейных конфигураций трех планет) и когда опережают. Конечно, если полагать, что гравитационное воздействие при линейных конфигурациях планет Венера, Земля и Юпитер является спусковым механизмом для СА, то опережение СА не укладывается в этот механизм, и был проведен корреляционный анализ, когда минимальные значения индекса JEV коррелировались с минимумами СА (здесь имеем положительные коэффициенты корреляции) и соответствующий расчет приведен на рис. 6, в, г. Из рисунка видно, что минимумы СА отстают от минимальных значений индекса JEV от 20 до 95 мес. В данном варианте можно полагать, что гравитационное воздействие при линейных конфигурациях планет Венера, Земля и Юпитер является спусковым механизмом для начала цикла СА с запаздыванием от 20 до 95 мес. Величины запаздываний на рис. 6, б, г меняются с главной периодичностью около 205 лет.

Заключение

Современные модели солнечной активности предполагают, что зарождение и развитие солнечной активности происходит в пределах самого Солнца. Однако во многих случаях были зарегистрированы корреляции между индексами солнечной активности и планетными конфигурациями, но ни одного успешного физического механизма не было предложено, чтобы объяснить эти корреляции. Из энергетических соображений ясно, что планеты не могут быть непосредственной причиной солнечной активности.

В настоящей работе получен планетный индекс солнечной активности, который отражает линейные

конфигурации трех планет — Венеры, Земли и Юпитера. Этот индекс описывает 11-летний цикл солнечной активности. Значимыми являются минимальные значения индекса, поскольку они соответствуют линейным конфигурациям планет. При этом одним минимальным значениям индекса JEV соответствуют конфигурации, когда планеты находятся в соединении, а в соседние интервалы времени (через 1.6 года) наблюдаются соединения Венеры и Земли (Юпитер по другую сторону от Солнца, конфигурация K_1). Следующим минимальным значениям индекса JEV (через 11 лет) соответствуют конфигурации, когда планеты располагаются только по разные стороны от Солнца: одна конфигурация — соединение Венеры с Юпитером (Земля по другую сторону от Солнца, конфигурация K_2), другая конфигурация — соединением Земли с Юпитером (Венера по другую сторону от Солнца, конфигурация K_3). Следует отметить, что используя индекс JEV, можно прогнозировать моменты максимумов и минимумов солнечной активности на многие циклы в будущем.

Параметр JEV рассчитан для разных сочетаний планет, и только для планет Венера, Земля и Юпитер индекс их линейных конфигураций дает 11-летний цикл и хорошее соответствие с солнечной активностью. Отметим здесь следующее. Высота прилива на Солнце от планет, если прилив, создаваемый Землей принять за единицу, составляет: Меркурий — 0.96, Венера — 2.16, Земля — 1, Марс — 0.03, Юпитер — 2.26, Сатурн — 0.109, Уран — 0.0011, Нептун — 0.00064. Из этих данных видно, что наибольшее воздействие на Солнце оказывают планеты Венера, Земля и Юпитер, поскольку только эти три планеты образуют 11-летние линейные конфигурации с максимальным гравитационным воздействием на Солнце. Меркурий не вписывается в эти конфигурации.

По современным представлениям о строении Солнца над его ядром, где идут термоядерные реакции, располагается зона лучистого переноса (0.2–0.7 радиуса Солнца), в которой отсутствуют макроскопические движения, а энергия из ядра переносится через переизлучение квантов. В верхнем слое — конвективной зоне (толщиной около 200 000 км) идут бурные процессы перемешивания плазмы, и перенос энергии происходит благодаря движению самого вещества. Между зонами лучистого переноса и конвективной существует переходный слой, называемый тахоклином. Выше уже упоминалась работа [22], в которой сделана попытка объяснить долговременные вариации СА соответствующими периодичностями в крутящем моменте планет, воздействующим на тахоклин.

Индекс JEV, отражающий линейные конфигура-

ции трех планет — Венеры, Земли и Юпитера — и описывающий 11-летний цикл солнечной активности, может служить индикатором гравитационного воздействия трех планет на тахоклин. Это гравитационное воздействие может послужить начальным импульсом (перемещение вещества, изменение физических параметров), который далее будет усилен при дальнейшей передаче энергии в верхние слои Солнца.

Список литературы

1. Охлопков В.П. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2012. № 4. С. 56.
2. Охлопков В.П. // Изв. РАН. Сер. физ. 2013. 77, № 5. С. 667.
3. Jose F.D. // Astron. J. 1965. 70. P. 193.
4. Хлыстов А.И. // Вестн. Киевск. ун-та. 1982. № 24. С. 61.
5. Хлыстов А.И. // Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга. 1991. 62. С. 111.
6. Хлыстов А.И., Долгачев В.П., Доможилова Л.М. // Биофизика. 1992. 37. № 3. С. 547.
7. Хлыстов А.И., Долгачев В.П., Доможилова Л.М. // Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга. 1995. 64. Ч. 1. С. 91.
8. Сурдин В.Г. Динамика звездных систем. М., 2001. С. 32.
9. Trellis M. // Compt. Rend. Acad. Sci. Paris. 1966. 262. P. 376.
10. Fairbridge R.V., Shirley J.N. // Solar Phys. 1987. 110. P. 191.
11. Charvatova I., Strejntik J. // Bull. Astron. Czech. 1991. 42. P. 90.
12. Прокудина В.С. // Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга. 1995. 64. Ч. 1. С. 145.
13. Охлопков В.П. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2011. № 6. С. 139.
14. Никулин И.Ф. // Циклы активности на Солнце и звездах. СПб., 2009.
15. Wolf R. // Astr. Mittheilungen. 1859. 8. P. 183.
16. Brown E.W. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1900. 60. P. 599.
17. Шостакович В.Б. // Тр. Иркутск. магн. обс. 1928. № 2–3.
18. Malberet J. // L'Astronomie. 1925. 39. P. 503.
19. Clayton H.H. // Smith. Misc. Coll. 1947. 106. Publ. 3870. P. 1.
20. Condon J.J., Schmidt R.R. // Solar Phys. 1975. 42. P. 529.
21. Wood K.D. // Nature. 1972. 240. P. 91.
22. Abreu J.A., Beer J., Ferriz-Mas A. et al. // Astron. and Astrophys. 2012. 548. A88. P. 1.
23. Charbonneau P. // Nature. 2013. 493. P. 613.
24. Wolff C.L., Patrone P.N. // Solar Phys. 2010. 266. P. 227.
25. Shove D.J. // J. Geophys. Res. 1955. 60. № 2. P. 127.
26. Shove D.J. Sunspots cycles. Stroudsburg: Hutchinson Ross. Publ. 423. 1983.
27. http://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/INTERNATIONAL.

The 11-year cycle of solar activity and configurations of the planets**V. P. Okhlopkov***D. V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University,
Moscow 119991, Russia.**E-mail: ovpetrovich@yandex.ru.*

In this paper a parameter was used, viz., the average difference between the heliocentric longitudes (ADL) of the planets Venus, Earth, and Jupiter. For the minimum ADL (the planets are in conjunction), as well as at the minimum deviation of the planets from a line passing through them and the Sun at the location of the planets on opposite sides from the Sun, an index was composed that uniquely describes the 11-year cycle of solar activity.

Keywords: the average difference of heliocentric longitudes of planets, conjunction of planets, envelope curve of minimum values, frequency spectra, center of mass of the Solar system, solar activity.

PACS: 96.60.Q-.

Received 5 September 2013.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 3(2014).

Сведения об авторе

Охлопков Виктор Петрович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-52-33; e-mail: ovpetrovich@yandex.ru.