9-ДНЕВНЫЕ ВАРИАЦИИ TSI – ОТРАЖЕНИЕ ГЛУБИННЫХ ПРОЦЕССОВ ВБЛИЗИ СОЛНЕЧНОГО ЯДРА?

Ефремов В.И., Парфиненко Л.Д., Соловьев А.А.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

DO THE 9-DAY VARIATIONS OF TSI REFLECT THE DEEP PROCESSES NEAR THE SOLAR CORE?

Efremov V.I., Parfinenko L.D., Solov'ev A.A.

Central astronomical observatory at Pulkovo of RAS, St. Petersburg, Russia

The global oscillations of the Sun were studied according to Total Solar Irradiance (TSI) data. Synchronous series of observations obtained by TSI VIRGO and SORCE/TIM are processed. It was found that in the low-frequency oscillatory spectrum of Sun, as a star, besides the modes of 8–10 and 36–38 hours, there is the main 9-day mode. It is a stable independent mode; it is not an overtone of the rotation mode of the Sun, the period of which varies from 27 to 34 days. In our opinion, this stable 9-day mode may be associated with the oscillations of g-modes near the solar core [Fossat et al., 2017].

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-161-164

1. Введение

Рассматриваются глобальные колебания Солнца в широком диапазоне периодов на основании исследований временных вариаций полной солнечной радиации (Total Solar Irradiance, TSI). Эти вариации влияют на климат Земли, поэтому их изучение является важной исследовательской задачей. Спутниковые наблюдения показали, что количество солнечной энергии, получаемой верхней частью атмосферы Земли, меняется. На масштабах солнечного цикла эти изменения незначительны, порядка 0.1%, но на коротких интервалах вариации TSI заметно больше. Нас в данной работе интересуют не случайные изменения TSI, вызываемые солнечными пятнами, факелами, вспышками и пр., а возможные периодические пульсации TSI в диапазоне периодов от нескольких часов до нескольких сотен часов.

2. Наблюдательный материал

Мы используем данные, полученные космическим аппаратом the Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE). Для контроля привлекались также данные прибора Variability of Solar Irradiance and Gravity Oscillations (VIRGO), предназначенного для исследований солнечной постоянной и гравитационных колебаний. Он установлен на спутнике SOHO. Обработывались ежедневные данные монитора TIM полного солнечного излучения (TSI). TIM измеряет полную солнечную радиацию с абсолютной точностью 0,035%. Относительные изменения TSI измерялись с точностью

0,001% в год [Kopp et al., 2011]. В качестве наблюдательного материала для поиска 9-дневной моды в рядах изменения TSI были использованы несколько произвольно выбранных участков из общей записи TSI. Подходящими для нашей работы являются ряды с длительностью порядка 5–10 исковых периодов, т.е. 50–100 дней (2–3 месяца).

3. Результаты

Приведем пример наблюдения монитора TIM длительностью $T = 80$ дней, 5.04.2017 – 25.06.2017 г. $N = 320$ pts (points of time series), каденция ряда = 6 часов, а период ожидаемой моды $P = 9$ дней ($n = 36$ pts). Общий вид временного изменения потока TSI представлен на рис. 1.

Рис. 1. Общий вид временного изменения потока TSI.

Для выявления спектрального состава выбранных временных рядов мы использовали программу CaterPillar – SSA. Это программа спектрального сингулярного разложения временного ряда по собственным функциям. Программа позволяет раскладывать исходные ряды на тренд, колебания (периодики) и шум без задания модели ряда. Главные компоненты разложения могут быть выделены, визуализированы и упорядочены по возрастанию их вклада в исходный ряд.

Корреляционная матрица позволяет группировать компоненты разложения в независимую колебательную моду процесса. На рис. 2 приведена матрица корреляций для первых 16 восстановленных компонент ряда. Корреляции изображены в 21-ой цветовой серой шкале от 0 до 1 (шкала справа). Существенным фактором является независимость компонент, входящих в группу, которая определяется матрицей корреляций.

Теперь, когда корреляционная матрица получена, можно восстановить вид искомой колебательной моды. Фильтруя тренд и шум в соответствии с видом матрицы корреляций, мы получаем искомую моду и ее периодограмму (рис. 3). Здесь же, на рис. 3 справа, кроме периодограммы ряда для данных SORCE/TIM (каденция 6 часов) приведена периодограмма для синхронных наблюдений 5.04.2017 – 25.06.2017 потоков, полученных

VIRGO (каденция 1 час). Компонент 27.5 дней отфильтрован. Периодограмма показывает, что мода состоит из трех компонент с периодами 4.7, 6.6, 9 дней, среди которых 9-ти дневная мода является доминантной, а две другие лишь незначительно ее модифицируют.

Рис. 2. Видно, что группы компонент по диагонали матрицы, собранные в соответствии с распределением собственных чисел разложения, образуют независимые (ортогональные) моды. Компоненты с $n \geq 7$ образуют группу шума.

Рис. 3. Слева представлена 9-ти часовая мода. Справа – две периодограммы. Нижняя – для данных SORCE/TIM, верхняя – для данных VIRGO.

В качестве дополнения метода SSA, для исследуемых временных рядов, описывающих изменения потока TSI, нами выполнено вейвлет преобразование (рис. 4). Видна стабильность 9-ти суточной моды за время наблюдения.

Рис. 4. Результаты вейвлет-преобразования.

Стандартное отклонение (SD) для моды 9 дней равно 0.12, для моды 27–34 дня, обусловленной вращением Солнца, оно значительно выше – 3.66. Это говорит о том, что мода 9 дней является независимой, а не обертоном моды вращения Солнца, период которой сильно меняется из-за дифференциальности вращения Солнца.

4. Выводы

Исследование глобальных колебаний Солнца по данным Total Solar Irradiance показало, что в низкочастотном спектре колебаний Солнца, как звезды, присутствует доминантная 9-ти суточная мода. Возможно, эти колебания связаны с 9-ти дневной g-модой ядра Солнца, обнаруженной недавно в работе Fossat et al. [2017].

Работа поддержана РФФИ(№18-02-00168) и РНФ(№15-12-20001).

Литература

- Fossat E. et al.* Asymptotic g modes: Evidence for a rapid rotation of the solar core // *Astron. & Astrophys*, 2017, 604, A40. DOI:10.1051/0004-6361/201730460
- Kopp, Greg; Lean, Judith L.* A new lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance // *Geophysical Research Letters*, 2011, V. 38, Issue 1, Cite ID L01706, DOI: 10.1029/2010GL045777.