СВЯЗЬ ВАРИАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПЯТНА И ЯРКОСТИ ЕГО ТЕНИ ПРИ ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ ПЯТЕН

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

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

RELATIONSHIP BETWEEN THE VARIATIONS OF SUNSPOT MAGNETIC FIELD AND THE BRIGHTNESS OF ITS UMBRA FOR THE LONG-TERM OSCILLATIONS OF SUNSPOTS

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

Central (Pulkovo) astronomical observatory of RAS, St. Petersburg, Russia

In the long-period oscillations of sunspots the time-variations of magnetic field and the variations of their umbral brightness change in the anti-phase regime: when the spot as a whole shifts up, its magnetic flux tube expands, the magnetic field decreases, and the brightness of the umbra increases slightly; and vice versa, when the magnetic tube of a spot goes down, its field increases slowly and the umbral brightness decreases. This process is fully consistent with the Bierman's idea and the theoretical model of shallow sunspot.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-161-164

1. Введение

В течение многих лет мы изучаем долгопериодические колебания солнечных пятен (см. [1, 2] и др.). Важный итог этих исследований – установлена эмпирическая зависимость периода низкочастотных колебаний солнечного пятна от напряженности его магнитного поля (рис. 1).

Второй важнейший результат состоит в доказательстве того, что при долгопериодических колебаниях тень пятна ведет себя как единое целое. Так, в [2, 3] было показано, что вследствие сохранения потока поля через пятно, площадь его тени уменьшается при возрастании поля (трубка пятна погружается в более глубокие слои) и увеличивается при уменьшении поля (силовая трубка пятна приподнимается и расширяется).

Оба эти результата полностью соответствуют теоретической модели мелкого пятна [4]. Еще одним доказательством того, что тень пятна в долгопериодических колебаниях изменяется как целое, было бы установление связи между вариациями магнитного поля пятна и вариациями поля яркости его тени. В соответствии с идеей Бирмана [5] низкая температура пятна обусловлена подавлением конвективного переноса сильным вертикальным полем, поэтому следует ожидать, что, как и в случае с площадью тени, вариации магнитного поля пятна будут находиться в противофазе с вариациями яркости его тени: при уменьшении напряженности поля его тормозящее действие на конвекцию слегка ослабнет, и тогда яркость тени повы-

сится. При возрастании поля, наоборот, подавление конвекции усилится, и интенсивность излучения тени упадет.

Выявлению этого эффекта и посвящена данная работа.

2. Связь параметров

Будем рассматривать взаимосвязь двух параметров солнечного пятна: F – поток интенсивности излучения (далее – просто поток) с единицы площади и B – напряженность вертикального магнитного поля. Любой параметр пятна можно представить как сумму его квазипостоянной и переменной частей:

$$P(t) = P_{01} + P_{02} + \delta P(t),$$

где P_{01} – изменение параметра за счет проекционных эффектов, P_{02} – изменение его за счет возможных относительно медленных эволюционных процессов и $\delta P(t)$ – флуктуационная или колебательная составляющая временного ряда изменения данного параметра. Первые два компонента объединяются в понятие «тренд» и снимаются при обработке рядов. В отличие от работ, где исследовались взаимозависимости глобальных параметров стабильного, не подверженного колебаниям солнечного пятна, мы хотим найти связь колебательных компонент его параметров, а именно:

$$\delta F = f(\delta B).$$

Установление характера этой связи важно для проверки концепции долгопериодических колебаний солнечного пятна «как целостного» объекта в модели «неглубокого пятна», развиваемой нашей группой.

Рис. 1. Зависимость периода низкочастотных колебаний пятна от напряженности магнитного поля (нижняя кривая, мода M1). Такую зависимость даёт и теоретическая модель. Верхняя кривая, M2, отражает колебания пятна, возбуждаемые внешними толчками. Их период не зависит от магнитного поля. Жирные точки – ожидаемые значения периодов для пятна с магнитным полем $B = 2.3$ кГс.

3. Обработка синхронных наблюдений SOHO и SDO

На рис. 3 представлены изменения потока и магнитного поля в пятне. Тренды удалены. Представлена только мода M2 с периодом ~40 часов. Ожидаемая мода собственных колебаний пятна M1 с периодом 16–18 часов, также присутствовала и в магнитном поле, и в потоках. Но для неё ясной противофазности выявить не удалось. Возможно, это связано с плохим

временным разрешением ($\Delta t = 6$ часов), но скорее с амплитудными соотношениями этих мод для конкретного пятна. Часто амплитуда моды $M2 > M1$, но иногда, - наоборот.

Рис. 2. Для этого пятна с $B = 2.3$ кГс имеются данные и SOHO, и SDO. Ожидаемые периоды, согласно рис. 1, 16-18 и 40-41 час.

Рис. 3. Временной ход потока тени F и магнитного поля B по данным SOHO для периода моды $M2$. Противофаза процессов очевидна с $R = -0.81$

Рис. 4. Пример антикорреляции изменений магнитного поля B и потока F для моды $M2$ (36–40)h по данным SDO. Эффект здесь очевиден.

Рассмотрим данные SDO. Хотя они имеют более высокое пространственное и временное разрешения, чем SOHO, «прямое сравнения рядов» не дало результатов. Орбитальный артефакт, присущий этой станции, резко усложнил задачу. Выяснилось, что поток от тени пятна сильно отягощен паразитной компонентой с периодом в 24 часа, даже в фотосферных участках он тоже присутствует. Сравнение потоков от произвольно выбранных фотосферных участков с орбитальной скоростью станции (Obs_Vr) показало практически 100% скоррелированность процессов. Доплер-скорость на станции, измеряемая (также как и магнитное поле) через параметры Стокса: $V_d = (V_{lcp} + V_{rcp})/2$, порождает артефакты во временных рядах. Поток оказался функцией от « Vr ».

Однако результата можно достичь, если сравнивать не исходные ряды, а главные моды их разложения: M1(17h) и M2 (40h). M2 – это отклик на толчки со стороны супергрануляции, а M1 и другие – это собственные моды колебания пятна. Наличие синхронности в моде сигнала для разных участков пятна удалось визуализировать с помощью метода Singular Value Decomposition (SVD), реализованного в программе CATTERPILLAR [6].

Вывод

В долгопериодических колебаниях солнечных пятен, при которых пятно в целом испытывает квазипериодические вертикальные смещения, усиление магнитного поля при опускании пятна вниз вызывает понижение яркости его тени. При уменьшении магнитного поля (подъем пятна) наблюдается обратный эффект – рост яркости его тени. Этот процесс соответствует идее Бирмана о торможении конвекции магнитным полем и описывается моделью неглубокого солнечного пятна [4].

Литература

1. Efremov V.I., Parfinenko L.D., Solov'ev A.A. // Solar Physics. 2010. Vol. 267. Pp. 279-293.
2. Efremov V.I., Solov'ev A.A., Parfinenko L.D. et al. // Astrophys. & Space Science. 2018. 363. № 3. (Article: 61), pp. 1-14.
3. Korolkova O.A., Efremov V.I. // Geomagnetism & Aeronomy, 2019, Vol. 59, issue 7, pp.
4. Solov'ev, A., Kirichek, E. // Astrophys. & Space Science, 2014, Vol. 352, pp.23-42.
5. Bierman L.V. // Astr. Ges., т. 76, p. 194, 1941.
6. Golyandina, N., Nekrutkin, V., & Zhigljavsky, A. Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques, London: Chapman & Hall/CRC, 2001.