

## **ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ПЯТНА**

**Живанович И., Соловьев А.А., Миллер Н.О.**

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

## **LONG-PERIOD OSCILLATIONS OF THE MAIN PARAMETERS OF THE SUNSPOT**

**Zhivanovich I., Solov'ev A.A., Miller N.O.**

*Main (Pulkovo) observatory of RAS, St. Petersburg, Russia*

**<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-107-110>**

*An algorithm for automatically constructing long-term (up to 9 days) timeseries of changes in the main parameters of sunspots has been developed. These timeseries include the strength of the magnetic field and the brightness in the center of the sunspot, the area of the sunspot umbra, the strength of the magnetic field and the brightness at the boundary between the umbra and penumbra of the sunspot.*

*The resulting timeseries were studied using Fourier analysis and the SSA method. As a result, periods of oscillations of the strength of the magnetic field and the brightness in the center of the sunspot and at the boundary between the umbra and penumbra of the sunspot and the area of sunspot umbra were obtained.*

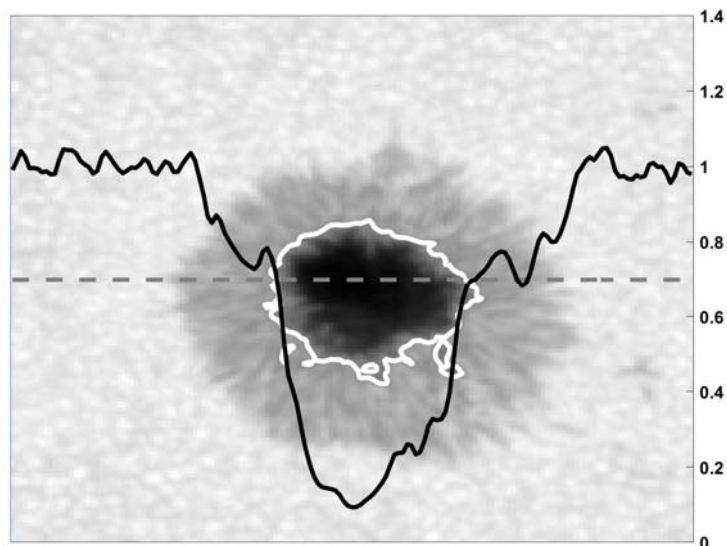
*The antiphase nature of the change of the strength of the magnetic field and the area of the sunspot umbra indicates that the physical nature of the oscillations obtained are the vertical displacements of the sunspot with periods from 15 to 30 hours.*

В работе исследованы колебания основных физических параметров солнечных пятен: напряженность магнитного поля и интенсивность в континууме в центре солнечного пятна, и на границе между тенью и полутенью, а также площадь тени пятна. Для исследования необходимо получить временные ряды указанных параметров с большой длительностью по времени и получаемых в одинаковые моменты времени. По этой причине в качестве исходных данных были выбраны наблюдения, выполненные на инструменте HMI на борту космического аппарата SDO [1–3], данные которого позволяют получать одномоментные наблюдения магнитного поля и интенсивности в континууме. Эти наблюдения обладают высоким пространственным разрешением (порядка 1 угловой секунды) и высоким временным разрешением (12 минут). Важным преимуществом космического аппарата является непрерывность наблюдений.

В качестве объекта изучения было взято пятно в активной области NOAA 12995, выбранные временные интервалы наблюдений этого солнечного пятна таковы: 2022.04.20 21:00 – 2022.04.29 15:00.

Следующим этапом исследований было автоматическое построение временных рядов для указанных физических параметров солнечного пятна. Для определения границы между тенью и полутенью солнечного пятна

строились карты с градиентом измеряемой величины (интенсивности или напряженности магнитного поля) для каждого момента времени, затем определялись те области карты, где градиент был максимален. Таким образом, была получена карта с изображением границы солнечного пятна.



**Рис. 1.**

Пример применения такого способа определения границы тени и полутени пятна дан на рисунке 1, где представлено изображение исследуемого солнечного пятна в интенсивности, белой линией показана определенная граница между тенью и полутенью. Черной сплошной линией на рисунке 1 показан профиль интенсивности в солнечном пятне, полученный вдоль линии, проходящей через центр пятна, и показанной на рисунке пунктирной серой линией. После определения положения границы тени и полутени солнечного пятна в каждый момент наблюдений строились временные ряды по измерениям напряженности магнитного поля и интенсивности в континууме вдоль полученной границы, площади внутри определенной границы. Также были получены временные ряды с напряженностью магнитного поля и интенсивностью в континууме в центре.

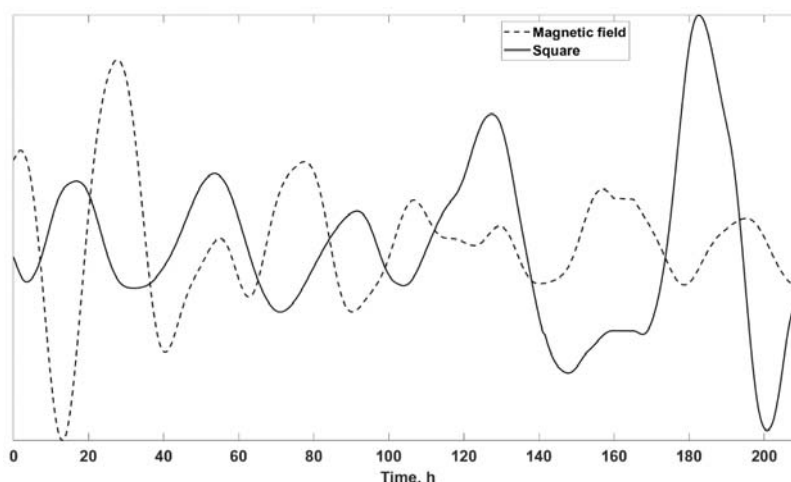
Далее найденные временные ряды исследовались для определения периодов вариаций измеренных значений физических параметров. Для этого были использованы два различных метода: а именно фурье-анализ и метод SSA («Гусеница») [4]. При применении последнего метода временные ряды раскладывались на несколько компонент, в том числе на тренд и гармоники колебаний. В таблице представлены полученные периоды колебаний для физических параметров в исследованном пятне, а именно для значения напряженности магнитного поля и интенсивности в континууме в центре пятна (измерялось двумя способами – по 1 пикселю в центре пятна и по маске из 9 пикселей в центре пятна), на границе между тенью и полутенью пятна и его площадь.

Все периоды, приведенные в таблице, указаны в часах.

**Таблица.**

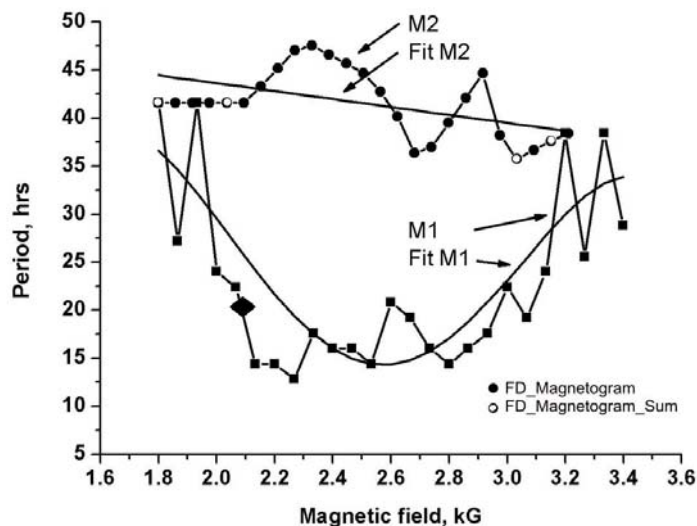
Параметр	Периоды Фурье	Периоды SSA «Гусеница»
Интенсивность в центре пятна	51.2, 25.6, 15.8, 13.2, 12	51.2, 25.6, 15.8, 12.8
Магнитное поле в центре пятна	37.2, 24.1, 20.5, 12.4	41, 25.6, 20.4, 12.8
Интенсивность в центре пятна (по маске из 9 пикселей)	51.2, 25.6, 22.8, 19.5, 15.8, 11.4	51.2, 25.6, 20.4, 15.8, 12, 11.4
Магнитное поле в центре пятна (по маске из 9 пикселей)	34.1, 24.1, 20.5, 13.7, 12.4	34.2, 25.6, 20.4, 13.6, 12
Интенсивность на границе пятна	45.5, 31.5, 19.5, 17.1, 7.6	41, 34.2, 18.6, 17, 7.6
Магнитное поле на границе пятна	68.2, 51.2, 25.6, 20.5, 15.8, 12.4	68.2, 51.2, 25.6, 20.4, 15.8, 12.8
Площадь тени пятна	58.5, 20.5, 7.2	51.2, 20.4, 7.4

Рассмотрение периодов в исследуемых временных рядах основных физических параметров солнечного пятна позволяет судить о важных особенностях устройства солнечных пятен. Так, если рассматривать колебания с периодом около 20 часов, то можно обнаружить, что изменения магнитного поля и площади происходят в противофазе. Этот эффект продемонстрирован на рисунке 2, где из исходных временных рядов напряженности магнитного поля и площади были взяты те компоненты из разложения методом SSA, в которых был обнаружен период, близкий к 20 часам. Наличие такого противофазного характера колебаний может свидетельствовать о вертикальных смещениях солнечного пятна как единого целостного объекта.



**Рис. 2.**

Следует отметить, что период около 20 часов хорошо соответствует диаграмме, полученной в работе [5] и представленной на рисунке 3. Для данного пятна пара значений периода и напряженности магнитного поля и отмечена на диаграмме черным ромбом (рис. 3).



**Рис. 3.**

На этой диаграмме приведены результаты длительных измерений колебаний магнитного поля пятен, полученные в лаборатории физики Солнца ГАО РАН [5]. Нижняя кривая M1 интерпретируется как отражение собственных колебаний пятна, и характерная для неё зависимость периода колебаний пятна от напряженности его магнитного поля хорошо соответствует теоретической модели «неглубокого» солнечного пятна [6]. Верхняя ветвь периодов M2 отражает, по-видимому, случайные возмущения, испытываемые пятном со стороны супер-гранул, поскольку характерные для этой ветви периоды близки к времени жизни супер-конвективных ячеек. По этой причине явной зависимости периода колебаний от магнитного поля пятна на ветви M2 не наблюдается.

### Литература

1. *Pesnell W., Thompson B., Chamberlin P.* // *Solar Physics*, 2012, V. 275, p. 3-15
2. *Schou J., Scherrer P., Bush R., et al.* // *Solar Physics*, 2012, V. 275, p. 229-259
3. *Hoekosema J.T., Yang Liu, Hayashi Keiji, et al.* // *Solar Physics*, 2014, V. 289, p. 3483-3530
4. *Golyandina N., Nekrutkin V., Zhigljavsky A.* // *Analysis of time series structure: SSA and related techniques*, Chapman & Hall/CRC, 2001
5. *Efremov V.I., Parfinenko L.D., Solov'ev A.A.* // *Solar Physics*, V. 267, issue 2., p. 279-293
6. *Solov'ev A.A., Kirichek E.A.* // *Astrophys. & Space Sci.*, 2014, V 352, p. 23-42