

**ВАРИАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
В ТЕНИ ОДИНОЧНЫХ И МАГНИТНО-СВЯЗАННЫХ ПЯТЕН
ПРИ ИХ ПРОХОЖДЕНИИ ПО ДИСКУ СОЛНЦА**

**Загайнова Ю.С.¹, Файнштейн В.Г.², Обридко В.Н.¹,
Руденко В.Г.², Анфиногентов С.А.²**
¹*ИЗМИРАН, Москва, Троицк, Россия*
²*ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия*

**MAGNETIC FIELD VARIATIONS IN UMBRA OF SINGLE AND
MAGNETICALLY CONNECTED SUNSPOTS DURING THEIR PAS-
SAGE ACROSS THE SOLAR DISK**

**Zagainova Iu.S.¹, Fainshtein V.G.², Obridko V.N.¹,
Rudenko G.V.², Anfinogentov S.A.²**
¹*IZMIRAN, Moscow, Troitsk, Russia*
²*ISTP, Irkutsk, Russia*

We study the time variations in maximum and mean values of magnetic induction as well as minimum and average angles between the field direction and the radial direction from the center of the Sun in the umbra of single sunspots and magnetically connected leaders and followers during their passage across the solar disk. Dynamics of the area of these sunspots is also analyzed. We establish correlations between these parameters measured at different instants of time. Using the active region NOAA 11330 as an example, we show that the evolution of magnetic features of the umbra of magnetically connected leaders and followers can be complicated.

1. Введение

Магнитное поле в тени солнечных пятен подвержено вариациям на различных масштабах времени. В ряде работ такие вариации изучались в пределах одного или нескольких циклов солнечной активности [1]. Предметом исследований являются также колебания магнитного поля, существующие в солнечных пятнах [2]. В некоторых работах вариации магнитных свойства пятен исследовались в процессе формирования активных областей (АО) [3]. В то же время, известно относительно немного исследований изменений магнитных характеристик отдельных пятен в процессе их эволюции: от возникновения до исчезновения. Довольно детальное исследование выполнено в работе [4], где анализировалось изменение поля и площади тени пятен за время их жизни – 55 и 30 суток.

Цель настоящей работы – получить новые сведения об особенностях изменения магнитных свойств тени отдельных солнечных пятен (как одиночных, так и входящих в группы пятен) в период времени от их возникновения до исчезновения при прохождении по диску Солнца.

2. Данные и методы их анализа

Исследована динамика характеристик магнитного поля и других свойств тени 4-х одиночных солнечных пятен (АО NOAA 11340 – 11343) и сложная эволюция магнитно-связанной пары из ведущего и замыкающего пятен в АО NOAA 11330, при их прохождении по солнечному диску.

Положение пятен и площадь их тени определялись по изображениям Солнца, полученным в континууме инструментом SDO/HMI (<http://jsoc.stanford.edu/ajax/RecordSetHelp.html>). Реальная площадь тени пятна находилась как $S = S_{\text{obs}}/\cos(\gamma)$ и выражалась в миллионных долях полусферы (МДП), где S_{obs} – наблюдаемая площадь, γ – угол между осью «Солнце – Земля» и радиусом из центра Солнца в центр тени пятна. Характеристики магнитного поля находились по данным векторных измерений поля инструментом SDO/HMI (<http://hmi.stanford.edu/>); пространственное разрешение – 0.5", временное разрешение – 12 минут. При этом для получения корректных данных для всех компонентов поля должна быть решена проблема « π -неопределенности» направления поперечной компоненты поля. В нашей работе эта проблема решалась с помощью метода, предложенного в работе [5], для которого характерна высокая скорость и точность решения, а также возможность его использования вблизи лимба.

Анализировались следующие характеристики магнитного поля: максимальное B_{max} и среднее $\langle B \rangle$ значение магнитной индукции, а также минимальный α_{min} и средний угол $\langle \alpha \rangle$ между направлением поля и положительной нормалью к поверхности Солнца. Угол α находился из соотношения $\cos(\alpha) = |B_r|/B$, где B_r и B – радиальная компонента и модуль магнитной индукции в точке измерения поля. Величина B_r находилась с помощью соотношения, включающего измеряемые значения B , угла δ между направлением поля и лучом зрения и азимута ψ (угла, измеряемого в плоскости неба против часовой стрелки между направлением столбцов массива ПЗС-матрицы и проекцией вектора поля на эту плоскость).

3. Результаты

На рис. 1 для сравнения показаны зависимости от времени B_{max} и S для двух одиночных пятен. Видно, что обе эти характеристики меняются со временем, в среднем, синхронно, как до достижения максимального значения, так и в период их последующего уменьшения. Это принципиально отличается от результатов работы [4], согласно которым после достижения максимальных значений синхронность между изменением B и S исчезает.

Одно из фундаментальных результатов исследования свойств солнечных пятен – обнаружение положительной корреляции между площадью S и магнитной индукцией B в тени [1, 6]. В работе [7] по векторным измерениям поля магнитографом SDO/HMI впервые были получены зависимости между максимумом и средним значением магнитной индукции в пределах

тени и площадью тени отдельно для ведущих и замыкающих магнитно-связанных пятен, наблюдаемых вблизи центрального меридиана. Здесь речь идет о зависимостях, полученных для выборок из множества разных пятен, наблюдаемых на разных фазах эволюции. Анализ показал, что и для одиночных пятен существует связь измеренных в них в разное время параметров V_{\max} и $\langle B \rangle$ с площадью тени S . На рис. 2 (А, В) это иллюстрируется для одного пятна в NOAA 11343.

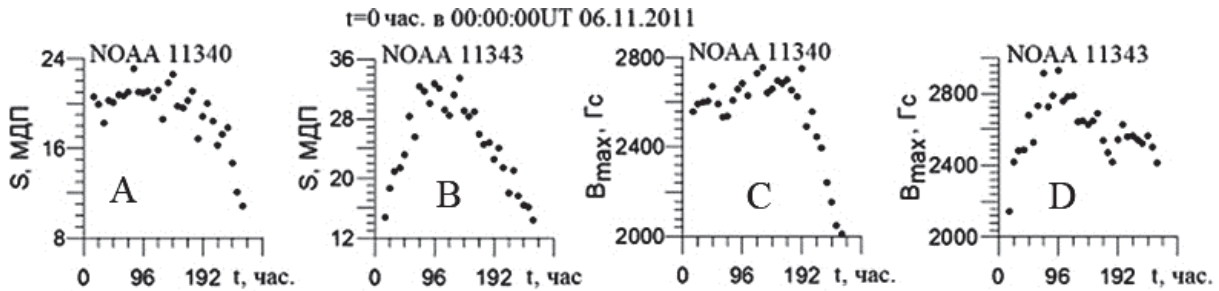


Рис. 1. Зависимости $V_{\max}(t)$ и $S(t)$ для двух одиночных пятен NOAA 11340 и 11343.

На рис. 2 (С, D) сопоставлена зависимость $V_{\max}(S)$ для ведущих пятен из магнитно-связанных пар пятен (С), наблюдаемых вблизи центрального меридиана [7], и аналогичная зависимость для одиночного пятна в АО NOAA 11340 за время его прохождения по диску Солнца (D). Из рисунка следует, что для $S > 10$ МДП обе зависимости «похожи». Кроме этого, для каждого рассмотренного одиночного пятна обнаружена отрицательная корреляция между V и значениями углов α_{\min} и $\langle \alpha \rangle$ в месте измерения поля, а также между этими углами и площадью тени S . Это согласуется с аналогичными зависимостями, полученными для ведущих пятен из выборки магнитно-связанных пар пятен, наблюдаемых в разное время вблизи центрального меридиана [7].

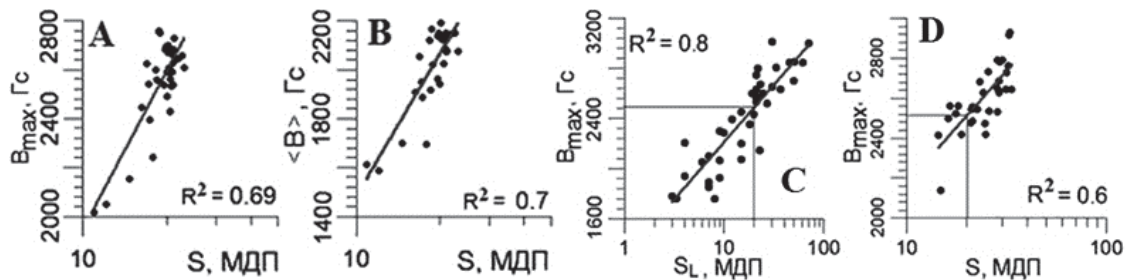


Рис. 2. Зависимости $V_{\max}(S)$, $\langle B \rangle(S)$ для одиночных пятен NOAA 11340 (А,В) и 11343 (D) и для ведущих пятен, магнитно-связанных с замыкающими $V_{\max}(S_L)$ (С).

Изучена сложная эволюция АО NOAA 11330 при ее движении по диску Солнца (рис. 3). На начальном этапе (рис. 3 А–С) часть магнитного потока из ведущего пятна, уходит севернее в замыкающие пятна соседней АО 11325. Со временем эта АО исчезает, и весь магнитный поток из ведущего пятна в NOAA 11330 уходит в замыкающее пятно этой же АО (рис. 3 D). Позже исчезают и замыкающие пятна в этой АО, и магнитный поток из ведущего пятна снова перераспределяется (рис. 3 Е, F). Движение по диску

Солнца NOAA 11330 сопровождается изменением зависимости от долготы магнитных характеристик тени и ее площади, как ведущего, так и замыкающего пятен, а также к изменению характера связи между различными параметрами в их тени. На рис. 4 (А, В) показано, что до исчезновения NOAA 11325 $\langle B_L \rangle$ растет, а $\langle a_L \rangle$ падает. А после её исчезновения $\langle B_L \rangle$ продолжает рост, но $\langle a_L \rangle$ тоже растет (рис. 4 С, D). В замыкающих пятнах получилось как для одиночных пятен: $\langle a_F \rangle$ растет, когда $\langle B_F \rangle$ и S_F падают. Рассмотренный пример показывает, что силовые линии из тени ведущего пятна не связывают только ведущее и замыкающее пятна, а магнитный поток из ведущего пятна перераспределяется по широте в пределах $\pm 60^\circ$ и более, формируя, возможно, несколько магнитных трубок.

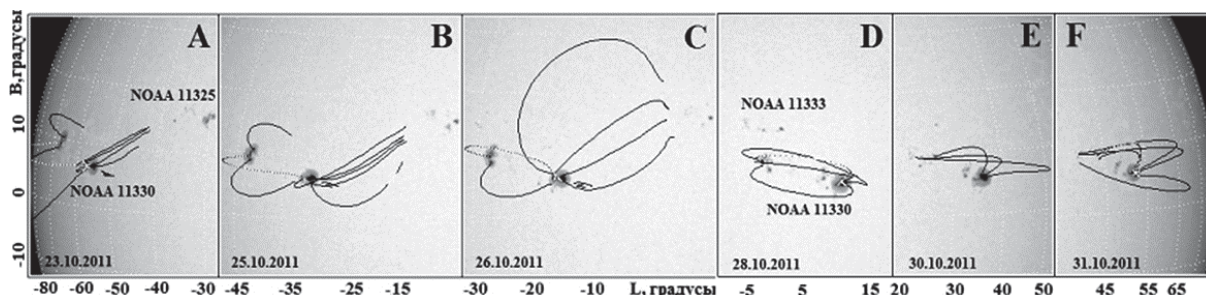


Рис. 3. Динамика магнитного комплекса активности из АО 11325 и 11330.

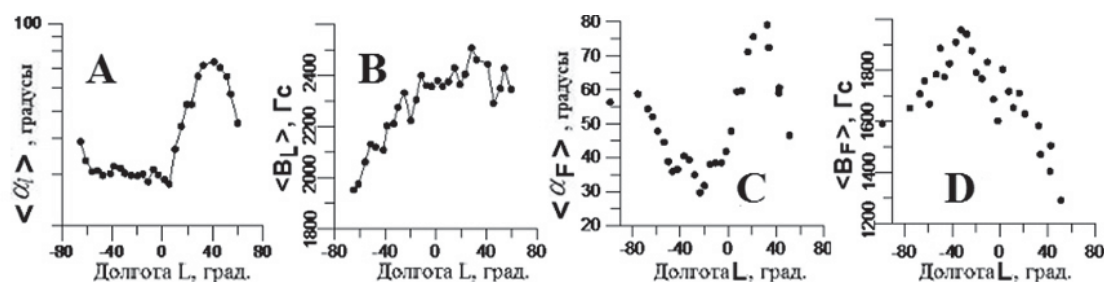


Рис. 4. Вариации магнитных свойств пятен NOAA 11330 по долготе L.

Авторы благодарят команды SDO/AIA и SDO/HMI за возможность свободного использования данных этих инструментов.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 14-02-00308 и № 15-02-01077.

Литература

1. Pevtsov A.A., Bertello L., Tlatov A.G., Kilcik A., Nagovitsyn Y.A., Cliver E.W. Solar Physics, 2014, 289, 593.
2. Rueedi I., Solanki S.K., Stenflo J.O., Tarbell T., Scherrer, P.H. A&A, 1998, 335, L97.
3. Григорьев В.М., Ермакова Л.М., Хлыстова Ф.И. Астрон. журнал, 2012, 89, № 11, 967.
4. Cowling T.G. The growth and decay of the sunspot magnetic field, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 1946, 106, 218.
5. Rudenko G.V. and Anfinogentov S.A. Solar Physics, 2014, 289, 1499.
6. Брей Р., Лоухед Р. Солнечные пятна. 1967. М.: Мир, 385 с.
7. Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г., Обридко В.Н. Геомагн. Аэрон., 2015. 55, № 1, 15.