

КОЛЕБАНИЯ И СТРУКТУРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ МАГНИТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА СОЛНЦЕ

¹П.В. Стрекалова, ²А. Риехокайнен, ¹Ю.А. Наговицын, ^{1,2}В.В. Смирнова

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Университет Турку, Финляндия

auriga-lynx@yandex.ru

OSCILLATIONS AND STRUCTURAL EVOLUTION OF SMALL-SCALE MAGNETIC FORMATIONS ON THE SUN

¹P.V. Strekalova, ²A. Riehoainen, ¹Yu.A. Nagovitsyn, ^{1,2}V.V. Smirnova

¹Central (Pulkovo) Astronomical Observatory RAS, Saint-Petersburg, Russia

²University of Turku, Turku, Finland

Аннотация. Были проанализированы длинные квазипериодические колебания мелкомасштабных магнитных структур, с периодами в диапазоне 100–200 мин наблюдаемых на солнечной фотосфере, а также в трех УФ-спектральных линиях (1600, 1700 и 304 Å). Проведено исследование взаимосвязи между значениями магнитного поля, времени жизни и периодов длинных квазипериодических колебаний мелкомасштабных магнитных структур. Основной целью работы был подробный анализ структурной и временной эволюции мелкомасштабных магнитных структур, наблюдаемых в солнечной атмосфере. Структурная эволюция объектов прослеживалась в течение их жизни. Время жизни каждой структуры было разделено на три фазы: фаза роста, квазистабильная фаза и фаза распада. Длинные квазипериодические колебания с периодами в диапазоне 100–200 мин были обнаружены в течение квазистабильной фазы жизни структур. Получены зависимости между временем жизни и максимальным значением магнитного поля исследуемых объектов, а также между временем жизни и периодами колебаний. Обнаружены связи между магнитными образованиями в фотосфере и яркими структурами — факельными образованиями в ультрафиолетовых линиях 1600, 1700 и 304 Å. Те же периоды колебаний интенсивности были определены в анализе временных рядов этих линий.

Ключевые слова: магнитное поле Солнца, колебания, солнечные магнитные структуры, солнечные факелы.

Abstract. Long quasi-periodic oscillations of small-scale magnetic structures observed on solar photosphere as well as at three UV spectral lines (1600, 1700, and 304 Å) are analyzed. The study of the relations between the values of the magnetic field, the lifetime, and the period of long quasi-periodic oscillations of small-scale magnetic structures was done. The detailed analysis of the structural and the temporal evolution of small-scale magnetic structures observed in solar atmosphere was the main goal of this work. Structural evolution of small-scale magnetic formations was traced during the life-time. The lifetime of each structure was divided into three phases: the growth phase, the quasi-stable phase, and the destruction phase. Long quasi-periodic oscillations with periods in range of 100–200 minutes were found during the quasi-stable phase of the lifetime of structures. The dependencies between the lifetime and the maximum value of the magnetic field of small-scale magnetic structures, as well as, between the lifetime and the periods of oscillations were obtained. The relations between the magnetic formations at the photosphere and the bright structures at 1600, 1700, and 304 Å UV lines were found. The same periods of oscillations were defined in time-series analysis of these lines.

Keywords: solar magnetic field, oscillations, solar magnetic structures, solar faculae.

Введение

Солнечная активность тесно связана с существованием магнитных полей и их динамических свойств. Множество работ посвящено поиску и интерпретации колебаний солнечных пятен с периодами от 3–5 мин до нескольких часов [Bogdan, 2000; Nagovitsyn, 2017]. Временные вариации элементов факельных полей также изучались в разных спектральных линиях [Chelpanov et al., 2016]. Однако колебательный спектр мелкомасштабных магнитных структур (пор, изолированных факелов) с характерным размером около 5–10 угл. сек. и значением магнитного поля в диапазоне 200–1000 Гс изучались значительно меньше по сравнению с солнечными пятнами и связанными с ними факельными полями. Основной целью данного исследования является изучение структурной эволюции и квазипериодических вариаций мелкомасштабных магнитных элементов.

Обработка данных и основные результаты

В работе использованы магнитограммы по лучу зрения и карты распределения интенсивности в УФ линиях 1600, 1700 и 304 Å, получаемые с помо-

щью инструментов HMI и AIA, установленных на космическом аппарате SDO. Время наблюдений: 06.07.2013 23:00–07.07.2013 12:00 UT. На первом этапе определялось время жизни исследуемых структур, которое было визуально разделено на три стадии: начало формирования, квазистабильная фаза и фаза распада. На рис.1 частично показана структурная эволюция объекта с начальными координатами x , y [41, 664] и максимальным по модулю значением магнитного поля 688 Гс. Время жизни данной структуры определялось визуально, когда значение ее магнитного поля на магнитограмме хотя бы в два раза превышало фон. Оно составило 27 ч. Первые два изображения на рис. 1 показывают фазу формирования объекта, следующие два — квазистабильную фазу, когда не было заметно значительных структурных изменений, и последние два изображения демонстрируют начало фазы распада, после которой объект сливается с фоном. Для 30 исследованных объектов время жизни было определено в диапазоне от 8 до 33 ч.

По данным о структурной эволюции был построен временной ряд максимальной напряженности магнитного поля объекта с шагом 45 с (рис. 2). Ква-

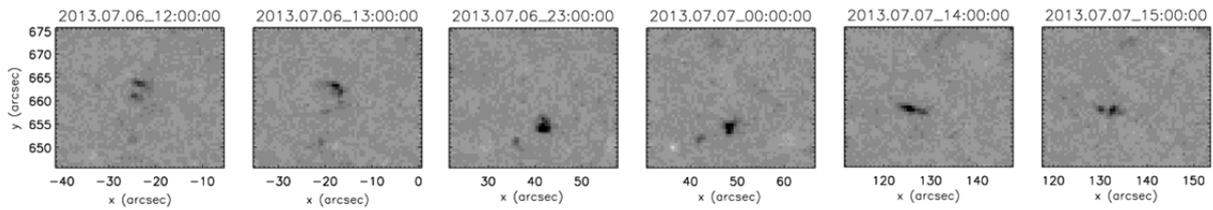


Рис. 1. Структурная эволюция магнитного поля элемента. Частично показаны основные фазы

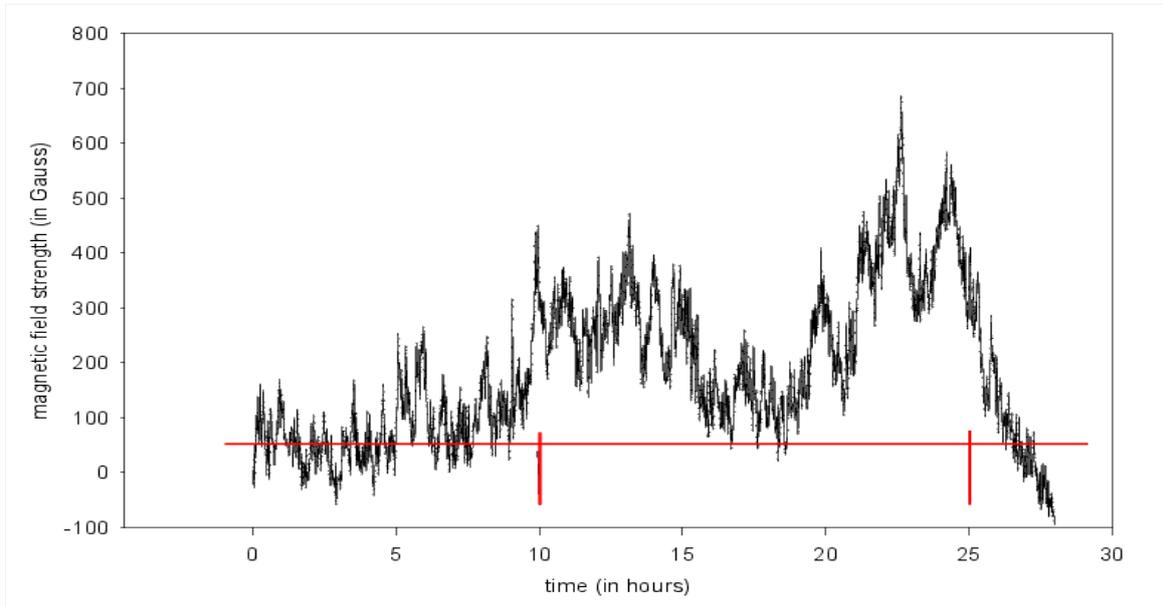


Рис. 2. Временной ряд максимального значения магнитного поля элемента для полного времени жизни. Красными рисками отмечена квазистабильная фаза жизни

квазистабильная фаза структурной эволюции элементов изучалась на предмет выявления квазипериодических колебаний максимального значения магнитного поля, а также, и интенсивности в УФ линиях, где шаг по времени составлял 48 с. Временной ряд анализировался методом Empirical Mode Decomposition [Huang et al., 1998] и с помощью вейвлет-преобразования. Данный анализ был проведен для 30 выбранных объектов. Были выявлены периоды от 18 до 200 мин. Наиболее интересным для интерпретации является мало исследованный ранее диапазон периодов 100–200 мин. Значения периодов колебаний для магнитного поля и интенсивности в линиях оказались схожи, что указывает на взаимосвязь физических процессов, влияющих на динамику данных объектов на разных уровнях солнечной атмосферы. Наиболее хорошо прослеживается связь магнитного поля и интенсивности в УФ линиях объектов при сопоставлении одинаковых по пространству сечений (рис. 3). На рис. 3 представлен пример мгновенных профилей сечений для одного из исследуемых объектов. Здесь дополнительно использовались данные об интенсивности излучения в континууме, получаемые с инструмента HMI. Можно видеть наличие магнитного подавления излучения в континууме. Этот эффект был обнаружен начиная со значений магнитного поля 200 Гс. Также заметно усиление интенсивности в линиях над магнитной структурой.

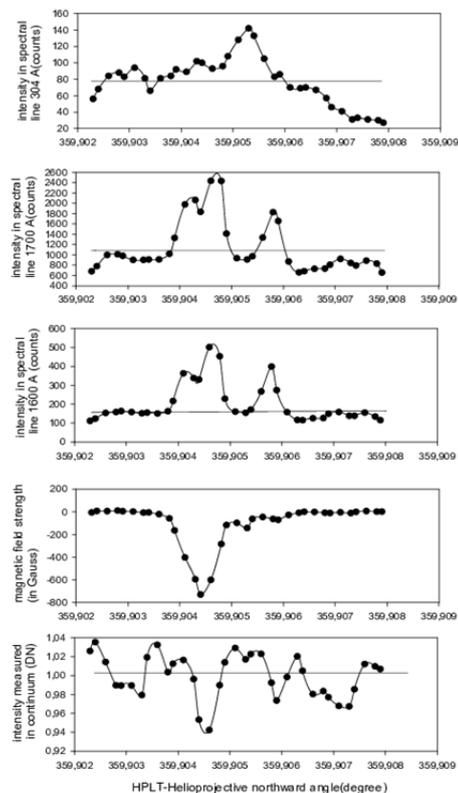


Рис. 3. Профили сечений структуры в магнитном поле, в УФ линиях 1600, 1700 и 304 Å

По полученным результатам были построены зависимости времени жизни и продолжительности квазистабильной фазы от максимальной напряженности магнитного поля исследуемых магнитных структур (рис. 4, *a*). Видна зависимость между полным временем жизни структур и их максимальным значением магнитного поля. Зависимость квазистабильной фазы от магнитного поля выражена слабее. На рис. 4, *b* показано распределение максимальных периодов колебаний во всех исследуемых диапазонах от напряженности магнитного поля. Видно отсутствие жесткой зависимости.

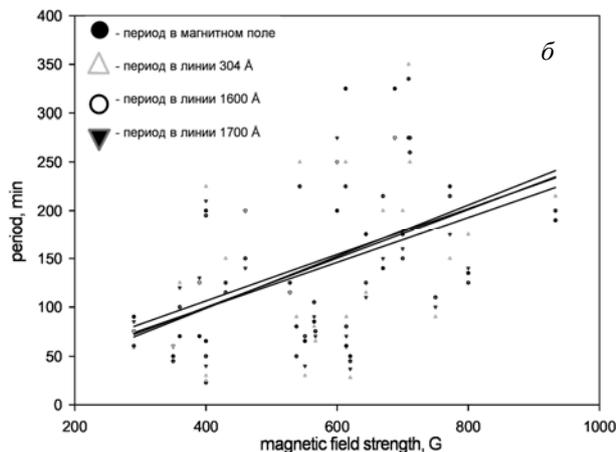
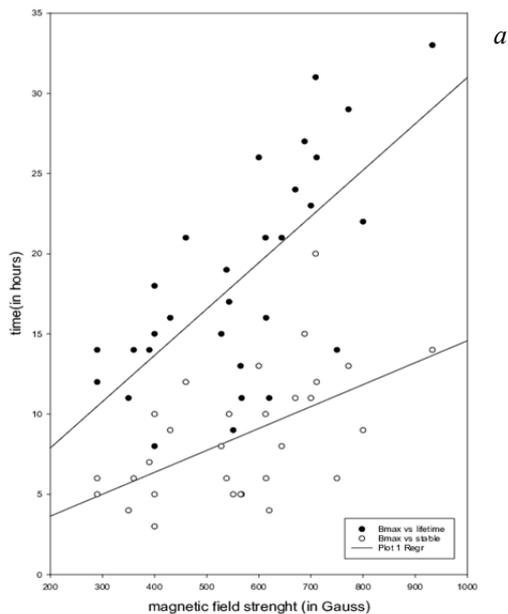


Рис. 4. Зависимость полного времени жизни (черные кружки) и квазистабильной фазы (белые кружки) от максимального значения магнитного поля тридцати структур (*a*); зависимость периодов колебаний от максимального значения магнитного поля (*b*)

Заключение

Проанализирована структурная эволюция 30 мелкомасштабных магнитных элементов. Установлено время жизни для каждого элемента. Показана взаимосвязь между магнитным полем элементов и усилением яркости в УФ линиях над ними. Показано, что при большем значении максимального магнитного поля время жизни больше. Обнаружено магнитное подавление излучения в континууме для исследованных объектов. Исследованы временные вариации максимального значения магнитного поля элементов и значений интенсивности излучения в линиях на квазистабильной фазе. Получены длинные квазипериодические колебания в диапазоне периодов 100–200 мин. Даны указания на то, что собственные колебания магнитного поля исследуемых структур не являются основной причиной возникновения длинных периодов.

Список литературы

- Bogdan T. Sunspot Oscillations and Seismology // Enc. of Astr. and Astroph. 2000. article 2299.
- Chelpanov A.A., Kobanov N.I., Kolobov D.Y. Influence of the magnetic field on oscillation spectra in solar faculae // Sol. Phys. 2016. V. 291, iss. 11. P. 3329–3338.
- Huang N.E., Zheng S., Long S.R., and 7 co-authors. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis // Proc. R. Soc. L. Ser. A. 1998. V. 454. P. 903–995.
- Nagovitsyn Y.A., Pevtsov A.A., Osipova A.A. Long-term variations in sunspot magnetic field-area relation // Astronomische Nachrichten. 2017. V. 338, iss 1. P. 26–34.