

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ЭВОЛЮЦИИ МАГНИТНОГО КОМПЛЕКСА АКТИВНОСТИ, ВКЛЮЧАЮЩЕГО АО NOAA 11944 И NOAA 11946, ПРИ ЕГО ПРОХОЖДЕНИИ ПО ДИСКУ СОЛНЦА

Загайнова Ю.С.¹, Обридко В.Н.¹, Файнштейн В.Г.², Руденко Г.В.²

¹*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, Троицк, Россия*

²*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*

ON SOME FEATURES OF THE EVOLUTION OF THE MAGNETIC ACTIVITY COMPLEX INCLUDING AR NOAA 11944 AND NOAA 11946 AS IT PASSES ACROSS THE SOLAR DISK

Zagainova Yu.S.¹, Obridko V.N.¹, Fainshtein V.G.², Rudenko G.V.²

¹*N.V. Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the RAS, Moscow, Troitsk, Russia*

²*Institute of Solar-Terrestrial Physics of the SB of the RAS, Irkutsk, Russia*

The evolution of the properties of a magnetic activity complex (MAC) was studied as it passed across the solar disk at the period (03–12).01.2014. The MAC consisted of two magnetically linked active regions (AR): AR NOAA 11944 of S-hemisphere and NOAA 11946 of N-hemisphere. It was revealed that during the period (04.01–10.01) leading sunspots of these AR were linked by loop structures in the UV range and connected by magnetic field lines passing through the solar equator. Also during the analyzed period various forms of solar activity were recorded in the MAC. We constructed the time dependences of unsigned magnetic fluxes $F(t)$ of sunspot umbrae separately for each polarity for each AO and for sunspot umbrae of MAC. The change in magnetic flux $F(t)$ over time is compared with the change in the total area of sunspot umbrae $S(t)$. Differences in the nature of the change in $F(t)$ and $S(t)$ in the period 10.01–12.01 are found.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-115-118>

Введение

При анализе солнечных явлений уже много лет используется такое понятие, как Комплекс Активности (КА). Разные группы исследователей в разное время вкладывали в это понятие разный смысл. В монографии [1] перечислены работы, в которых использовался термин КА, где под КА предложено понимать совокупность нескольких активных областей (АО), объединенных общим магнитным полем, наблюдаемых на Солнце в течение многих оборотов. КА отводится роль основных звеньев цепи, связывающие локальные поля с глобальной организацией солнечной активности и общим магнитным полем Солнца. Язев С.А. [2] дал следующее определение КА – это долгоживущие магнитные образования, представляющие собой физические системы из АО, одновременно и последовательно возникающих поблизости друг от друга. Показано, что для КА характерно длительное пятно-образование в одном и том же месте солнечной поверх-

ности на протяжении нескольких солнечных оборотов, где последовательно и одновременно возникает серия АО, объединенных единым магнитным полем. В работе [3] дан обзор эволюции понятия КА и предложена новая концепция глобальных комплексов активности (ГКА) на Солнце, объединяющих в рамках единого понятия объекты глобальных и локальных полей. ГКА включает в себя не только АО, но и корональные дыры. В работе [4] введено понятие магнитного комплекса активности (МКА) – это часть ГКА, включающая одновременно длительно (от нескольких дней до $\sim 1/2$ оборота Солнца) наблюдаемые на поверхности Солнца АО с группами пятен, тени которых связаны силовыми линиями магнитного поля. В данной работе исследована эволюция свойств МКА при его прохождении по диску Солнца (03–12).01.2014. МКА состоял из двух магнитно-связанных АО: АО NOAA 11944 в Южном полушарии и NOAA 11946 в Северном полушарии Солнца. Выявлено, что в период (04.01–10.01) головные пятна этих АО были соединены силовыми линиями магнитного поля через солнечный экватор.

Данные и методы их анализа

1) По данным наблюдений SOHO и SDO выделялись корональные петельные структуры, связывающие АО. 2) Находились силовые линии магнитного поля с основаниями в тени пятен, связанных петельными структурами АО, из расчетов магнитного поля над поверхностью Солнца по данным инструмента SOLIS (NSO) в потенциальном приближении с помощью оригинальной программы с использованием Bd-технологии в рамках модели «потенциальное поле – поверхность источника» [5]. Определяли даты, когда АО в МКА связаны силовыми линиями поля. 3) Определяли по данным GOES и HESSI Flare List характеристики солнечных вспышек в МКА https://hesperia.gsfc.nasa.gov/hessidata/dbase/hessi_flare_list.txt и каталога SolarMonitor <https://solarmonitor.org/index.php?date=20140107>. 4) Анализировали появление корональных выбросов массы (КВМ) в МКА с использованием каталогов КВМ https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/HALO/ и «гало» КВМ https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/. 5) Определяли в зависимости от времени суммарную площадь тени пятен МКА по данным SDO/AIA <http://jsoc.stanford.edu/ajax/exportdata.html> и параметры магнитного поля $\alpha(t)$, $B(t)$ в тени солнечных пятен МКА с использованием векторных измерений поля SDO/HMI <http://jsoc.stanford.edu/ajax/exportdata.html>, здесь α – угол между направлением вектора магнитной индукции $\mathbf{B}$ и направлением положительной нормали к поверхности Солнца $\mathbf{n}$, $B = |\mathbf{B}|$. Проблема неопределенности направления поперечной компоненты магнитного поля решалась с помощью метода, предложенного в работе [5].

Результаты

На рис. 1 показан анализируемый МКА для трех соседних моментов времени.

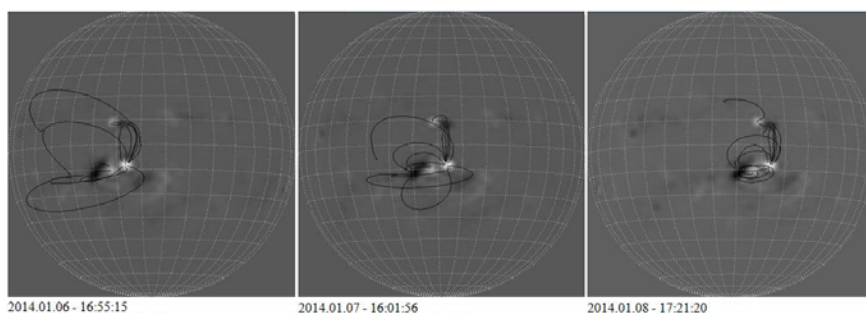


Рис. 1. Иллюстрация МКА вблизи центрального меридиана для трех моментов времени. Ниже экватора АО NOAA 11944, выше – АО 11946. Областям белого цвета соответствует положительная полярность радиального магнитного поля, темным областям – отрицательная полярность радиального магнитного поля. Кривые черные линии – рассчитанные силовые линии магнитного поля.

Мы исследовали изменение со временем следующих свойства МКА при его прохождении по диску Солнца (см. рис. 2): 1) магнитного потока из тени пятен каждой полярности в каждой АО в МКА; 2) полного магнитного потока из тени всех пятен МКА $F(t)$; 3) площади тени всех пятен МКА $S(t)$; 4) количество и характеристики солнечных вспышек в мягком и жестком рентгеновском диапазонах; 5) количество и характеристики «гало» и лимбовых КВМ с источниками в МКА. Отметим, что в предыдущий и в последующие обороты Солнца этот МКА не наблюдался, поэтому по виду зависимостей на рис. 2. выделили 3 этапа: этап зарождения до ~06.01, этап пика развития и завершающий этап после ~09.01. Видна хорошая корреляция между исследуемыми параметрами на большом интервале времени с 04.01 по (9–10).01. Далее соответствие установить сложно: при монотонном падении $F(t)$, на зависимости $S(t)$ видны три максимума. Сравнивая $F(t)$ и $S(t)$ после 9.01 и учитывая формулу для магнитного потока, можно предположить, что на завершающем этапе, и/или происходит уменьшение/дробление крупных пятен ($S > 10$ МДП); и/или появляется новая выборка большого числа малых пятен ($S \leq 10$ МДП); и/или происходит изменение конфигурации магнитного поля в МКА, когда силовые линии поля более прижаты к поверхности Солнца, что характерно для слабых полей.

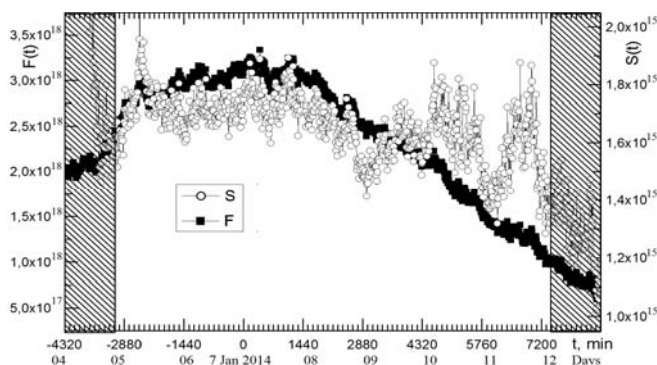


Рис. 2. Изменение со временем суммарного магнитного потока из тени всех пятен МКА и площади $S(t)$ тени всех пятен МКА в период (03 – 11).01.2014. Заштрихованы участки графиков, где из-за проекционных эффектов велика погрешность определения значений исследуемых параметров в тени пятен.

На рис. 3 показано изменение со временем $F(t)$ в тени пятен каждой полярности отдельно для каждой АО МКА. Из рис. 3 следует, что $F(t)$ в

каждой группе пятен немонотонно возрастает, достигает максимального значения и, затем, уменьшается. Обращает на себя внимание поведение $F(t)$ в замыкающих пятнах АО 11944, где магнитный поток раньше, чем в других случаях, достигает максимального значения, а затем уменьшается, выходя на квази-плато. Отметим также, что в АО 11946 в период с $\sim(8-10).01$ поток $F_{1946F}(t)$ из тени замыкающих пятен принимает большие значения, чем $F_{1946L}(t)$ из ведущих пятен этой АО. Похоже, преимущественно в замыкающих частях АО МКА происходят значимые трансформации пятен, определяющие ход $F(t)$ и $S(t)$, особенно на завершающем этапе.

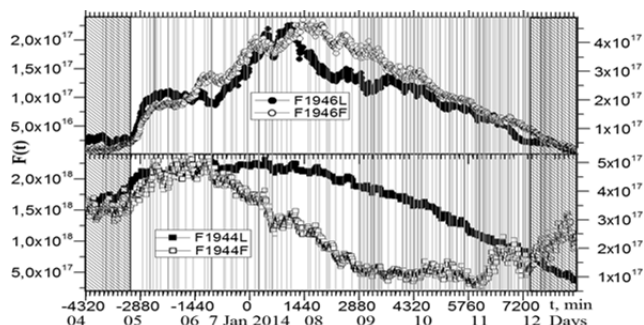


Рис. 3. Верхний график построен для АО 11946, нижний график – для АО 11944. Вертикальными линиями отмечены моменты солнечных вспышек в жестком рентгеновском диапазоне. Треугольники относятся к головным пятнам, круги – к замыкающим пятнам.

За период наблюдений (03-12).01.2014 года в МКА было зарегистрировано множество солнечных вспышек с разным рентгеновским баллом, но, преимущественно, класса С. Мощные вспышки с баллом Х зарегистрированы не были. В жестком рентгеновском диапазоне в МКА зарегистрировано не менее 206 вспышек различной мощности, причем частота их появлений зависит от этапа развития МКА. Так, отметим увеличение плотности вертикальных линий на рис. 3, т.е. числа вспышек, начиная с 09.01. Это можно интерпретировать так, что в МКА на завершающем этапе происходят частые магнитные пересоединения, причем мелкомасштабные. А 08.01 есть период, когда вспышек вообще не было, и этот период приходится на максимум значений магнитного потока, т.е. на пик развития МКА. КВМ типа «гало» в МКА зарегистрированы не были. Однако наблюдались два гало-КВМ со вспышками М и Х класса вблизи нейтральной линии между МКА и АО 11943, т.е. не в МКА, а в ГКА. При нахождении МКА вблизи солнечного лимба наблюдалось относительно немного лимбовых КВМ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства Науки и Высшего Образования Российской Федерации.

Литература

1. Обридо В.Н. Солнечные пятна и комплексы активности. – М., Наука. – 1985.
2. Язев С.А. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д. ф.-м. н., специальность - 01.03.03, Иркутск, 2012, 23 с.
3. Обридо В.Н., Б.Д. Шельтинг // *Астрономический Журнал*, 2013, Т. 90, №10, p. 857.
4. Загайнова Ю.С., В.Г. Файнштейн, В.Н. Обридо, Г.В. Руденко // *Астрономический журнал*, 2022, Т. 99, № 2, с. 1005.
5. Rudenko G.V. // *Solar Phys.*, 2001, V. 198, p. 5.
6. Rudenko G.V. and S.A. Anfinogentov // *Solar Phys.*, 2014, V. 289, p. 1499.