Uzbek Journal of Physics
25(1), 26-32, 2023. DOI: https//doi.org/ 10.52304/.v25i1.402

Частотно-временной анализ мелкомасштабных магнитных биполей в 23 и 24 циклах

Е.П. Миненко*

Астрономический институт Академии наук Республики Узбекистан, ул. Астрономическая 33, 100052, Ташкент, Узбекистан

Received 21.12.2022, revised 27.02.2023

* Corresponding author:e-mail minenkoekaterina@mail.ru, Phone: +998 93 383 49 53

Анализируя данные с инструмента MDI (Michelson Doppler Imager), мы исследуем изменения числа мелкомасштабных магнитных биполей (МБ), как часть солнечной активности, в течение полного 23-х и первой половины 24-х солнечных циклов. Наличие периодических вариаций дополнительно проверяется применением вейвлет-анализа. Вейвлет спектры временного профиля числа МБ (с уровнем магнитного потока 20 и 30 Гаусс) показали явную 11-летнюю периодичность согласно цикличности течения солнечной активности.

Ключевые слова: Солнце, магнитные поля, мелкомасштабный магнитный биполь, солнечная активность, солнечные пятна, вейвлет-анализ.

By analyzing MDI (Michelson Doppler Imager) data, we investigate changes in the number of small-scale magnetic bipoles (MBs) as a part of solar activity, in 23 and half 24 solar cycles. The presence of periodic variations is further checked by applying a wavelet analysis. The wavelet spectra of the time profile of the MB number (with level of magnetic flux 20 and 30 Gauss) showed a clear 11-year periodicity to the cyclicity of the solar activity flow.

Keywords: Sun, magnetic fields, small-scale magnetic bipole, solar activity, sunspot, wavelet analysis.

I. Введение

Несмотря на то, что изучение свойств и характеристик магнитных биполярных структур (биполей) ведется уже более полувека, остается ещё много нерешенных вопросов, которые представляют интерес для изучения топологии солнечных магнитных полей. Ещё с 1960-х годов было замечено, что мелкомасштабные магнитные поля, не связанные с солнечными пятнами, наблюдаются по всему диску Солнца [1, 2]. Идентифицируемый на спектромагнитограммах Солнца, магнитный биполь (МБ) представляет собой мелкомасштабное компактное образование, состоящее из пары магнитных элементов отрицательной и положительной (N–S) полярности. Средний размер мелкомасштабного МБ не превышает 15–30 угловых секунд. Число зарождающихся в день мелкомасштабных биполей может достигать нескольких сотен. Время жизни составляет 1–2 дня. Возникающие биполи в линии Hα, названные эфемерными активными областями, подробно описаны в работе [3]. Они, в дополнение к распадающимся солнечным пятнам, вносят весомый вклад в общую напряженность магнитного поля на Солнце. Эфемерные области являются биполями малого размера, порядка 0.1 кв.град. или 15 $Мм^2$, для сравнения активные области солнечных пятен имеют размеры 2.5 кв.град. (373 $Мм^2$) и выше [4]. Зачастую наблюдаются эфемерные биполярные области с типичным размером 30 000 км и со средним суммарным магнитным потоком в 10^{19}–10^{20} Мкс (максвелл) [3, 5].

Мелкомасштабные биполи можно наблюдать как яркие рентгеновские (ЯРТ) или корональные яркие точки (КЯТ) в рентгене и ультрафиолетовом

излучении [5-12]. Отождествление с КЯТ и ЯРТ вполне обосновано, т.к. это одна и та же структура, наблюдаемая в разных фильтрах [10, 13]. С другой стороны, ассоциация КЯТ и МБ не всегда однозначна; наблюдения показали, что не всем наблюдаемым КЯТ могут соответствовать МБ. Примерно в 10% случаях КЯТ ассоциируются с униполярными магнитными структурами [8, 14-15]. Частично это может быть объяснено «эффектом видимости» [16], но в основном это может быть связано с эволюцией магнитной структуры и конфигурацией магнитных полей в каждом отдельно взятом случае. Возникновение КЯТ напрямую зависит от эволюции биполярной структуры и может пойти несколькими путями: возникновение (всплытие) новых полярностей – эфемерные активные области; аннигиляция магнитных потоков противоположной полярности; сближение и расхождение полярностей. Отмечено, что не всем мелкомасштабным биполям, проявляющим себя как эфемерные активные области, соответствует очевидная КЯТ (половина всех рассмотренных случаев). Найдена линейная зависимость между суммарным потоком МБ и временем жизни яркой точки [5]. Чаще КЯТ ассоциируют с исчезающим магнитным биполем вследствие сближения и аннигиляции полярностей [6-9, 11]. Было найдено, что только 24% КЯТ возникают вследствие появления МБ, в то время как 76% происходят в результате случайного столкновения и аннигиляции магнитных потоков противоположной полярности [17]. Этот факт согласуется с более ранними исследованиями, где было найдено, что 40 из 52 КЯТ (т.е. 77%) ассоциировались с исчезающими МБ, и лишь небольшая часть с зарождающейся магнитной биполярной структурой [8].

Корональные яркие точки, разделяются на два типа: КЯТ спокойной короны, которые образовались в результате случайныхстолкновений магнитных потоков противоположной полярности, и КЯТ активных областей, которые ассоциируются с зарождением и ростом МБ [18]. Было установлено, что изменение числа ярких КЯТ активных областей имеет высокую степень корреляции с изменением числа солнечных пятен – основного индекса солнечной активности, в то время как для числа тусклых КЯТ спокойного Солнца наблюдается антикорреляция [19].

Подобная зависимость от солнечного цикла для МБ небольшого размера не столь однозначна. Ранее отмечалось, что для фотосферных биполей не прослеживается вариаций в числе с течением цикла [20]. Более того, было найдено, что число фотосферных и хромосферных МБ с низким уровнем магнитного потока (1-5 Гаусс) возрастает в минимуме солнечного цикла и резко падает при максимуме, что не отмечается для МБ с уровнем магнитного потока выше 5 Гс [21]. Найдено, что фактически в 70% случаев лидирующая полярность мелкомасштабного МБ соответствует лидирующей полярности в данном полушарии Солнца, установленным по пятнам, что укладывается в общую картину магнитной природы солнечной активности. Вблизи экватора и полюсов распределение лидирующей полярности носит более случайный характер [22]. Мелкомасштабные биполи нового цикла появляются за 2.5–3 года до солнечного минимума [23].

Общепринята ассоциация локальных магнитных полей с активными областями. В частности, для биполей, являющихся результатом распада активных областей, наблюдается та же тенденция. Отсюда следует, что МБ тоже должны показывать долгопериодические временные и широтные вариации по аналогии с циклическими изменениями солнечной активности. Поэтому целью настоящей работы являлся поиск на основе вейвлет-анализа временных и пространственных закономерностей в вариации среднемесячного числа МБ в зависимости от фазы циклов солнечной активности.

II. Использованные данные и методы исследования

В работе использованы фотосферные магнитограммы, полученные на инструменте MDI орбитальной станции Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) в период с 21 апреля 1996 г. по 11 апреля 2011 г [24]. Этот период приходится на полный 23 солнечный цикл и начало 24 цикла, т.е. данные покрывают моменты двух солнечных минимумов и одного максимума. MDI – фотосферные магнитограммы полного диска Солнца, полученные в спектральной линии Ni I 6768, имеют размер 1024 на 1024 пикселей, пространственное разрешение 1.25 угловые секунды на пиксель и частоту кадров 96 минут. Рассмотрено изменение среднемесячного числа мелкомасштабных МБ напряженностью 10, 20 и 30 Гаусс в течение 23 и 24 циклов солнечной активности. Вследствие того, что в данных содержалось значительное число поврежденных магнитограмм и имелись пробелы (отсутствовали данные за промежутки от 1 до 3 месяцев) [25],

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

потребовалась предварительная обработка, в результате которой среднемесячные значения числа МБ были сглажены по двум ближайшим значениям.

Разработанная нами автоматическая процедура определения МБ позволяет идентифицировать структуру по следующим критериям: уровень напряженности магнитного поля, положение МБ от центра диска, диаметр (в пределах от 5 до 55.2 угловых секунд) и удаленность потоков друг от друга. Пример работы программы по идентификации МБ приведен на рис. 1.

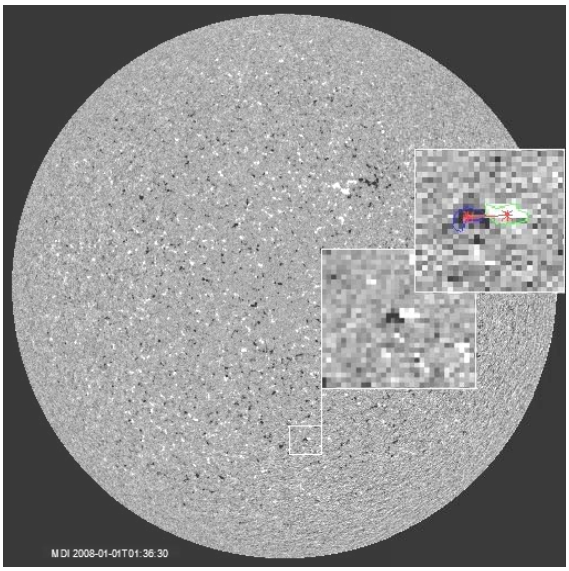


Рисунок 1. Пример идентификации мелкомасштабного МБ на MDI–магнитограмме.

Для распознавания мелкомасштабных МБ использовался алгоритм, описанный в [12, 20]. Алгоритм основан на выборке близких ядер (центра масс) магнитных потоков противоположной полярности. Процедура состояла в следующем: нахождение центров магнитных потоков положительной и отрицательной полярности в пределах заданных параметров, оконтуривание, подсчет значения магнитного потока, запись координат. Для положительных ядер на расстоянии в пределах от 5.5 до 48.3 угловых секунд происходит поиск отрицательных ядер с потоком приблизительно с равными значениями. Затем выполняется обратная процедура: для отрицательных элементов ищутся положительные, с приблизительно равным потоком. Если эта пара находится в первой и во второй выборке, то биполь найден, и он удаляется из списка, и выборка продолжается. Далее полярности рассматриваются как единый биполь, программа считает усредненные гелиокоординаты для центра биполя. Для выбранных биполей были определены следующие параметры: широта и долгота, удаленность центров полярностей друг от друга, угол наклона магнитной оси к экватору, значения позитивного и негативного потоков. Ось проводилась от центра ведущего (западного) пятна к центру хвостового (восточного) пятна.

На следующем этапе были получены широтно-временные изменения частотных спектров для числа магнитных биполей с использованием вейвлет-преобразования функции Морле. В данной работе был использован непрерывный вейвлет-анализ с базисным вейвлетом $\psi(t, a)$ в виде комплексной функции Морле 6-го порядка [26]. Работа выполнена полностью автоматически с помощью программ, написанных нами на платформе IDL 8.1 с использованием библиотеки Solar Soft (SSW).

Для анализа связи изменения числа МБ с периодичностью солнечной активности были использованы среднемесячные значения чисел солнечных пятен S_n по данным Международного центра индексов солнечных пятен в Брюсселе (SIDC, RWC Belgium, World Data Center for the Sunspot Index, Royal Observatory of Belgium, SILSO, Sunspot Index and Long-term Solar Observations, http://sidc.be/silso).

III. Описание и анализ результатов

Как известно, магнитное поле Солнца, на больших масштабах, можно аппроксимировать полем магнитного диполя. Ось этого диполя меняет свое направление на противоположное с периодом около одиннадцати лет. Генерация магнитных полей происходит в тонком слое у дна зоны конвекции, где турбулентная конвекция сочетается с изменением скорости вращения, глобальными циркуляциями и пограничными слоями, что приводит к созданию магнитного поля динамо-процессами. Поля поднимаются к поверхности Солнца, где они представлены большим разнообразием элементов активности, наблюдаемых в солнечной атмосфере. Для описания циклов активности предложены различные индексы, которые описывают всевозможные наблюдаемые явления, модулированные солнечным циклом.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

Для нахождения зависимости числа МБ с циклом солнечной активности в нашей работе проведено сравнение изменения числа солнечных пятен и числа мелкомасштабных МБ. Получены соответствующие коэффициенты корреляции (см. таблицу).

Таблица. Коэффициент корреляции Пирсона (для данных с 21 апреля 1996 г. по 11 апреля 2011 г.).

№	Сравниваемые параметры	Коэффициент корреляции
1.	МБ (10 Гс.) и S_n	0.099
2.	МБ (20 Гс.) и S_n	0.358
3.	МБ (30 Гс.) и S_n	0.587

III.1. Корреляционная зависимость

Предварительные результаты анализа изменения числа мелкомасштабных МБ с течением цикла солнечной активности показали, что в целом среднемесячное число фотосферных биполей определенного размера и напряженности остаётся постоянным с 23 до начала 24 солнечного цикла (рис. 2). Значения коэффициентов корреляции изменения числа МБ с уровнем силовой характеристики магнитного потока в 10 и 20 Гс, с вариациями S_n несущественны: 10 Гс – 0.099, 20 Гс – 0.358470 соответственно. Этот результат согласуется с выводами, полученными в более ранних исследованиях для фотосферных биполей с силой потока в 20 Гс.

Ранее было найдено, что изменение числа фотосферных биполей остается постоянным и не зависит от цикла солнечной активности [20]. С другой стороны, наблюдается корреляционная зависимость в случае изменения среднемесячного числа МБ 30 Гс и среднемесячного значения международных чисел солнечных пятен (S_n), значение коэффициента корреляции 0.586976. Возможно, МБ 30 Гс и выше подобны эфемерным активным областям, имеющим положительную корреляцию с циклом солнечных пятен [7, 27].

В то же время на графике изменения среднемесячного числа МБ можно отметить спады в 1996 году, в районе 1998 и к концу исследуемого периода. Первый скачок является следствием разности получаемых данных. Первые 2.5 года миссии SOHO качество получаемых данных аппаратом MDI постепенно ухудшалось. После потери связи с аппаратом почти на 3 месяца последующей перенастройкой и модернизацией программного обеспечения в 1998 году практически удалось решить эту проблему [25]. Второй, более плавный спад к концу исследуемого периода частично может являться следствием того, что с августа 2010 года инструмент MDI вернулся к режиму два снимка в день с длительными перерывами в наблюдениях. В апреле 2011 года наблюдения были остановлены

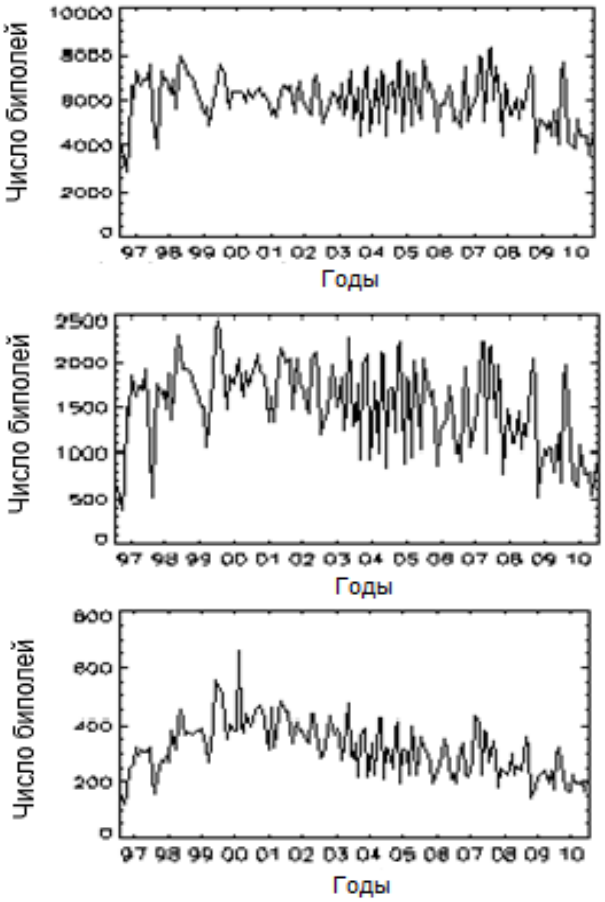


Рисунок 2. Графики изменения среднемесячного числа МБ (сверху вниз – 10, 20 и 30 Гаусс).

III.2. Вейвлет-анализ

Использование вейвлет-анализа позволяет получить двумерную диаграмму изменения спектральной плотности по времени, что дает в результате более глубокий анализ вариаций измеренной величины не только по частоте (в отличие от спектра мощности Фурье), но и за любой промежуток времени.

Ранее с помощью метода непрерывного вейвлет преобразования были исследованы долгопериодические вариации ряда чисел Вольфа и данных солнечной постоянной для периода с 01.01.1979 по 10.06.2004 гг. [28]. В результате для

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

различных временных интервалов было выявлено три периода: Сделано следующее заключение, что хорошо выделяется три периода в одиннадцатилетнем цикле: 9.4 года для промежутка 1749–1800 гг., 11.2 года для промежутка 1800–1900, 10.5 лет для промежутка 1900–2005.

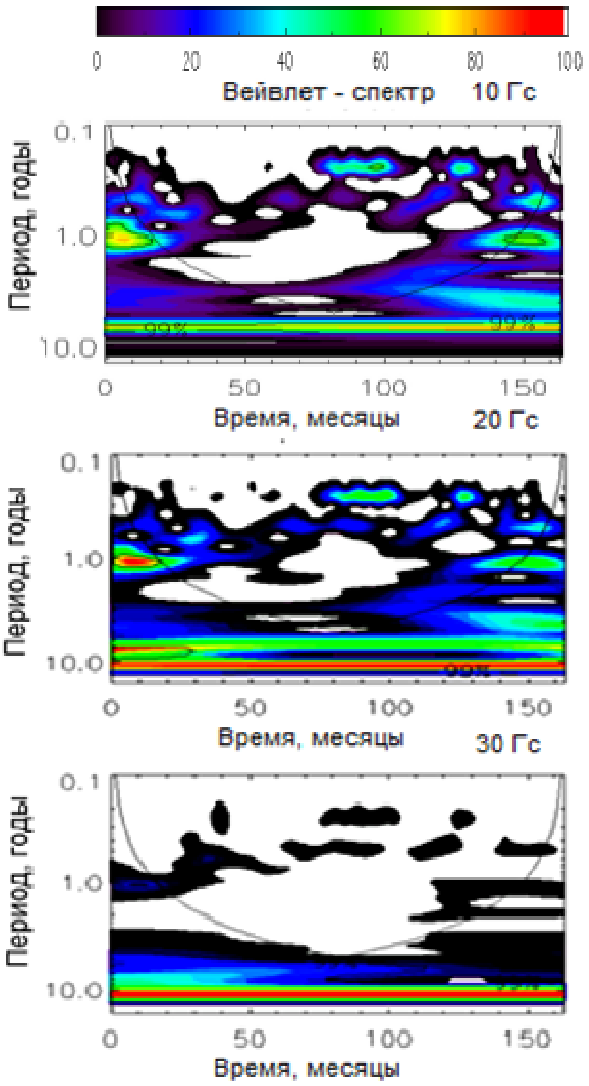


Рисунок 3. Вейвлет-спектры временного профиля числа МБ (сверху вниз – 10, 20 и 30 Гаусс).

На рис. 3 представлены результаты вейвлет-анализа по функции Морле для изменения среднемесячного числа МБ. Вейвлет-преобразование изображено в виде двумерной диаграммы время-спектральная плотность (как функция периода) с использованием цветовой гаммы для выделения обнаруженных периодических зависимостей. Для удобства оценка мощности вейвлет-спектров МБ дана в процентах. Приведенная цветовая шкала показывает, что наиболее значимая информация содержится при высоких амплитудах, отмеченных красно-оранжевой гаммой. Более низкие значения спектральной мощности обозначены синим цветом, промежуточные значения выделены зеленым и желтым цветом. В этой работе частота считается значимой, когда она показывает уровень достоверности выше 99% в вейвлет-спектре. Черной линией представлены границы проверки этого критерия.

Применение вейвлет-спектра для изучения изменения среднемесячного числа МБ по времени с магнитным потоком 10 Гс (рис. 3), показало слабовыраженный период порядка 7 лет, который постепенно угасает к середине и вновь усиливается к концу 23 цикла. Более ярко выражен 7-летний период в 24-м цикле, постепенно усиливаясь к середине цикла. Также наблюдаются два квазипериодических интервала продолжительностью 1 год и 4 года (первый в 23 цикле, второй, менее выраженный, в первой половине 24 цикла). Характерный период порядка одного года фиксируется вейвлет-анализом для рядов чисел Вольфа и солнечной постоянной (1.09 и 1.07 соответственно) [28]. Также годовой период фиксируется и в более ранних исследованиях, где найдено, что годовая периодичность отчетливо видна на вейвлет-спектрах чисел Вольфа и солнечной постоянной в периоды повышенной солнечной активности [29].

В случае вейвлет-спектра с уровнем магнитного потока 20 Гаусс явно выделяются три периода: порядка одного года, 7 и 11 лет. Также отмечается, как и в случае МБ 10 Гаусс, четырехлетний период.

Вейвлет-спектр временного профиля среднемесячного числа мелкомасштабных МБ с уровнем магнитного потока в 30 Гаусс показывает 11-летний период.

IV. Заключение

Найдено, что число МБ с уровнем 10 и 20 Гс не зависит от цикла солнечной активности (значения коэффициентов корреляции незначительны). Данный результат полностью согласуется с более ранними исследованиями для МБ с уровнем 20 Гс [20].

Для вейвлет-спектров МБ с уровнем магнитного потока 10 и 20 Гс характерен период порядка одного года, что отмечалось и раньше в исследовании таких основных индексов солнечной

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

активности, как солнечная постоянная и число Вольфа [28, 29].

С другой стороны, результаты оценки спектральной плотности как функции периода в случае вейвлет-спектров показали, что одиннадцатилетняя цикличность отмечается для изменения среднемесячного числа фотосферных МБ с уровнем напряженности магнитного поля 20 и 30 Гс.

Возможно, это может свидетельствовать о двух типах МБ. Было предложено разделение биполярных структур на два типа [30]: мелкомасштабные магнитные поля, связанные с активными областями (>25 Гс) и спокойного Солнца (<25 Гс), и только для изменения магнитного потока первого типа (связанного с активными областями) найдена зависимость с солнечным циклом [30].

Приведенные выше сравнения методов, на наш взгляд, хорошо иллюстрируют преимущества непрерывного вейвлет-анализа, который позволяет не только выявить определенный период в данной временной последовательности, но анализировать его изменение во времени.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках программы научно-исследовательских работ Астрономического института АН РУз на 2020–2024 годы по теме: «Изучение различных проявлений солнечной активности, их характера и взаимосвязи».

Автор благодарит коллективы проектов SOHO и Международного центра индексов солнечных пятен в Брюселле за предоставленные данные. Автор выражает благодарность Ш.А. Эгамбердиеву за ценные замечания и советы.

Метаданные

Time-frequency analysis of small-scale magnetic bipoles variations over cycles 23 and 24

E.P. Minenko

Ulug Beg Astronomical Instiute, Uzbekistan Academy of Sciences, Astronomicheskaya 33, 100052, Tashkent, Uzbekistan

By analyzing MDI (Michelson Doppler Imager) data, we investigate changes in the number of small-scale magnetic bipoles (MBs) as a part of solar activity, in 23 and half 24 solar cycles. The presence of periodic variations is further checked by applying a wavelet analysis. The wavelet spectra of the time profile of the MB number (with level of magnetic flux 20 and 30 Gauss) showed a clear 11-year periodicity to the cyclicity of the solar activity flow.

Keywords: Sun, magnetic fields, small-scale magnetic bipole, solar activity, sunspot, wavelet analysis

Литература (References)

[1] N.R.Jr. Sheeley. Astrophysical Journal **144**, 723-732 (1966). https://doi.org/10.1086/148651

[2] J. Harvey. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, **83**, No.495, 539-549 (1971). https://doi.org/10.1086/129171

[3] K.L. Harvey, S.F. Martin. Solar Physics **32**, No.2, 389-402 (1973). https://doi.org/10.1007/BF00154951

[4] K.L. Harvey, C. Zwaan. Solar Physics **148**, No.1, 85-118 (1993). https://doi.org/10.1007/BF00675537.

[5] L. Golub, A.S. Krieger, J.W. Harvey, G.S. Vaiana. Solar Physics **53**, No.1, 111-121 (1977). https://doi.org/10.1007/BF02260212

[6] K.L. Harvey. “Solar cycle variation of ephemeral active regions” In: The Hydromagnetics of the Sun: Proceedings of the Fourth European Meeting on Solar Physics (SEE N85-25091 14-92), p. 235-236 (Noordwijkerhout, The Netherlands, 1-3 October 1984).

[7] K.L. Harvey. Ausrtralian Journal of Physics (ISSN 0004-9506) **38**, 875-883 (1985). https://doi.org/10.1071/PH850875

[8] K.L. Harvey. “Observations of X-Ray Bright Points” Magnetic Reconnection in the Solar Atmosphere. Edited by R.D Bentley and J.T. Mariska. Astronomical Society of the Pacific Conference Series **111**, 9-18 (1996).

[9] D.F. Webb, J.D. Moses. Advances in Space Research **10**, No.9, 185-190 (1990). https://doi.org/10.1016/0273-1177(90)90226-P

[10] D.F. Webb, S.F. Martin, D. Moses, J.W. Harvey. Solar Physics **144**, No.1, 15-35 (1993). https://doi.org/10.1007/BF00667979

[11] D. Moses et al. Astrophysical Journal **430**, 913-924 (1994). https://doi.org/10.1086/174461

[12] D.W. Longcope, C.C. Kankelborg, J.L. Nelson and A.A. Pevtsov. Astrophysical Journal **553**, 429-439 (2001). https://doi.org/0.1086/320667

[13] I. Sattarov, A.A. Pevtsov, U. Begimqulov, C. Sherdonov, M. Saidalieva. “Statistical Study of X-ray and EUV Bright Points”, In ASP Conference Series, Current Theoretical Models and Future High-Resolution Solar Observations: Preparing for ATST (ISBN: 1-58381-129-X), **286,** p.393 (USA, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2003).

[14] N.V. Karachik, E.P. Minenko, I. Sattarov, A.A. Pevtsov, C.T. Sherdonov. Astronomische Nachrichten **335**, No.10, 1037 (2014). https://doi.org/10.1002/asna.201412130

[15] E.P. Minenko, N.V. Karachik, I. Sattarov, A.A. Pevtsov. Astronomy Letters, **40**, No.8, 510-518 (2014). https://doi.org/10.1134/S1063773714080064

[16] K. Nakakubo, H. Hara. Advances in Space Research **25**, No.9, 1905-1908 (2000). https://doi.org/10.1016/S0273-1177(99)00621-3

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

[17] K. Ueda, R. Kano, S. Tsuneta, H. Shibahashi. Solar Physics **261**, No.1, 77 (2010). https://doi.org/10.1007/s11207-009-9482-y
[18] I. Sattarov, A.A. Pevtsov, N.V. Karachik, C.T. Sherdonov. Advances in Space Research **39**, No.11, 1777-1780 (2007). https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.01.050
[19] C.T. Sherdanov, E.P. Minenko, A.M. Tillaboev, I. Sattarov. "Two Types of Coronal Bright Points in the 24-th Cycle of Solar Activity", In: The Sun: New Challenges. Astrophysics and Space Science Proceedings (ISBN 978-3-642-29416-7), **30**, 197 (Berlin, Heidelberg, Springer, 2012). https://doi.org/10.1007/978-3-642-29417-4_18
[20] I. Sattarov, A.A. Pevtsov, A.S. Hojaev, C.T. Sherdonov. Astrophysical Journal **564**, No.2, 1042-1047 (2002). https://doi.org/10.1086/324306
[21] Е.П. Миненко, И. Саттаров, Ч.Т. Шерданов, С.П. Ильясов. Доклады АН РУз No.1, 35-37 (2016).
[22] E.P. Minenko, I. Sattarov, In: International Conference: "Stellar Atmosphere" Meeting 15, pp. 24-25 (Russia, St. Petersburg, Pulkovo Observatory, 2014).
[23] K.L. Harvey. "The Cyclic Behavior of Solar Activity". In: Proceedings of the National Solar Observatory Sacramento Peak (12-th Summer Workshop, ASP Conference Series **27**, 335-367, USA, San Francisco, 1992).
[24] P.H. Scherrer, et al. Solar Physics **162**, No.1-2, 129-188 (1995). https://doi.org/10.1007/BF00733429
[25] F. Clette, et al. The Radiometric Calibration of SOHO (ESA SR-002, ISSI Scientific Report Series), p. 121-134 (Bern: ISSI, 2002).
[26] Ch. Torrence, G.P. Compo. Bulletin of the American Meteorological Society **79**, No.1, 61-78 (1998). https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2
[27] S.F. Martin, K.L. Harvey. Solar Physics **64**, No.1, 93-108 (1979). https://doi.org/10.1007/BF00151118
[28] E.V. Kononovich, I.V. Mironova, V.A. Baturin. Electronnyi nauchnyi jurnal «Issledovano v Rossii», 1704-1715 (2006). http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/182.pdf
[29] R.C. Willson, A.V. Mordvinov. Geophysical Research Letters **26**, No.24, 3613-3616 (1999). https://doi.org/10.1029/1999GL010700
[30] K.L. Harvey. "Measurements of Solar Magnetic Fields as an Indicator of Solar Activity Evolution". In: Proceedings of the Workshop on the Solar Electromagnetic Radiation Study for Solar Cycle **22**, 113-129 (USA, Boulder, CO, 1992).

Кичик масштабли магнит биполларнинг 23 ва 24 цикларда частота ва вақт бўйича таҳлили

Е.П. Миненко

Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Астрономия институти, Астрономическая кўч 33, 100052, Тошкент, Ўзбекистон

MDI (Michelson Doppler Imager) маълумотларини таҳлил қилиш орқали, биз қуёш фаоллигининг 23 цикли давомида ва 24 циклнинг биринчи ярми учун, кичик масштабли магнит биполлар (МБ) сонининг ўзгаришини ўргандик. Даврий ўзгаришлар мавжудлиги вейвлет таҳлили ёрдамида қўшимча равишда текширилди. МБ (20 ва 30 Гауссли магнит оқими)нинг частота-вақт бўйича намоён бўлиши ва қуёш фаоллиги ўртасида тўғримослик топилди.МБ вейвлет спектри (20 ва 30 Гаусс) 11 йил даврига ега еканлиги кўрсатилган.

Калит сўзлар: Қуёш, магнит майдонлар, кичик масштабли магнит бипол, қуёш фаоллиги, қуёш доғлари, вейвлет-таҳлили.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.