

УДК 523.98

УНИКАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС АКТИВНОСТИ НА РУБЕЖЕ 2006–2007 гг.

¹М.Ю. Савинкин, ^{1,2}В.И. Сидоров, ^{1,2}С.А. Язев

UNIQUE COMPLEX OF ACTIVITY AT THE TURN OF 2006–2007

M.Yu. Savinkin, V.I. Sidorov, S.A. Yazev

Рассмотрена модель комплекса активности (КА) на Солнце, наблюдавшегося на рубеже 2006–2007 гг. Согласно модели, КА развивался на базе крупномасштабной конвективной ячейки, достигавшей дна конвективной зоны.

The model is considered of the Sun's complex of activity (CA) that was observed at the turn of 2006–2007. According to this model, CA developed on the basis of the large-scale convection cell that reached the convective zone bottom.

На рубеже 2006–2007 гг. на Солнце наблюдался комплекс активности (КА), отличавшийся рядом уникальных характеристик [1]. Его основу составило долгоживущее пятно, наблюдавшееся на протяжении почти пяти солнечных оборотов и за это время практически не смещавшееся в экваториальной системе координат. Эволюция и свойства КА описаны в [1]. Появление новых ядер внутри полутени сопровождалось серией крупных вспышек [2], нетипичных для предминимальной фазы цикла солнечной активности.

Природа КА традиционно привлекает интерес исследователей. В настоящей работе развивается гипотеза о том, что КА, как правило, формируются на основе крупномасштабных конвективных ячеек [3], возможно, простирающихся от фотосферы до дна конвективной зоны [4]. При этом потоки плазмы на периферии ячейки направлены вниз; вблизи дна движение направлено к центру ячейки. Вследствие вмороженности магнитного поля (МП) в центре ячейки у ее «дна» происходит концентрация МП. Магнитная плавучесть ускоряет последовательное всплывание вещества с петлями МП в центре ячейки. В результате здесь на фотосферном уровне и выше развивается КА, как правило, включающий в себя несколько активных областей, которые последовательно либо одновременно формируются в центральной зоне ячейки. Общий характер описанных движений не противоречит данным о поле скоростей в глубине конвективной зоны, полученным методами гелиосейсмологии [5].

Предполагается, что рассматриваемый КА на предминимальной фазе цикла солнечной активности сформировался на основе такой конвективной ячейки в условиях симметричного и однородного МП без возмущающих структур по соседству. Подчиняясь конвективным движениям, МП на периферии ячейки «тонет», концентрируясь вблизи центра ячейки на ее дне. Это поле обладает высокой степенью круговой симметрии, что и определяет особенности данного КА. Структура МП близка к дипольной, его напряженность максимальна вблизи оси симметрии, совпадающей с осью магнитного диполя ячейки. Восходящее движение плазмы, имеющее максимальную скорость вблизи вертикальной оси, закручивает силовые линии вокруг нее, что приводит к дополнительному локальному усилению поля. В результате в центре ячейки образуется вертикальный канал быстрого подъема плазмы со дна конвек-

тивной зоны (скоростной «лифт»). Здесь плазма с вмороженным МП движется быстрее вследствие магнитной плавучести. При повышении скорости подъема канал сужается. Магнитная структура подобна «дереву», в котором можно выделить вертикальный «ствол» и окружающую его «крону» с более сложной структурой. Можно выделить три области ячейки (рис. 1): центральная часть – «ствол» с униполярным МП без существенной непотенциальной составляющей; внешняя квазицилиндрическая оболочка – «крона», содержащая поле с большой непотенциальной составляющей, и остальной объем ячейки с относительно слабыми полями. Структура центральной зоны и цилиндрической оболочки в ячейке показана на рис. 2.

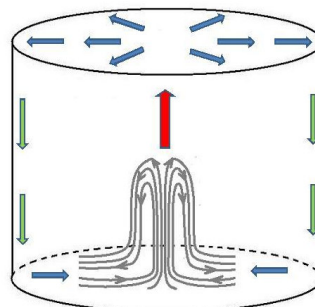


Рис. 1. Движения в симметричной крупномасштабной конвективной ячейке на предминимальной стадии цикла солнечной активности. Толстые стрелки показывают направление движения вещества, тонкие – направление магнитного поля.

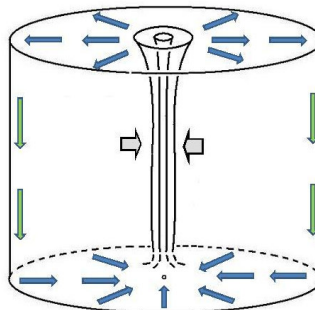


Рис. 2. Структура «лифта» в центре ячейки: центральная униполярная зона и охватывающая ее квазицилиндрическая оболочка. Здесь происходит всплывание концентрированных МП, в центральной зоне – преимущественно потенциального, в цилиндрической оболочке – преимущественно непотенциального.

Длительное сохранение вертикальной структуры поля в центральной части позволяет предположить, что плотность энергии поля превышает плотность энергии тангенциальных движений плазмы. В результате поле здесь преимущественно потенциально.

Поле цилиндрической оболочки образовано из множества последовательно и одновременно всплывающих мелкомасштабных петель со значительной непотенциальной составляющей поля, обусловленной близкими значениями плотности энергии для МП и для тангенциальных движений плазмы. Здесь (и только здесь) часть энергии конвективных движений трансформируется в непотенциальную энергию МП. Всплытие и растекание плазмы с вмороженным полем в цилиндрической оболочке на фотосферном уровне проявляется на магнитограммах как движение наружу от центра пятна магнитных элементов обеих полярностей (moving magnetic features, или ММФ). Кажущаяся аннигиляция пар ММФ противоположной полярности объясняется в рамках такой модели подъемом закрученных по спирали магнитных петель в корону (рис. 3). При выходе поля в корону происходит накопление непотенциальной энергии в корональных петлях и последующее ее высвобождение в серии мощных солнечных вспышек. Высыпание энергичных частиц вдоль линий МП из короны на хромосферу во время вспышек проявляется только на тех участках хромосферы, через которые непотенциальная энергия МП вышла в корону. Этим объясняется известный факт, что в большинстве случаев вспышечная эмиссия не заходит в центр тени пятна (здесь поле в основном потенциально).

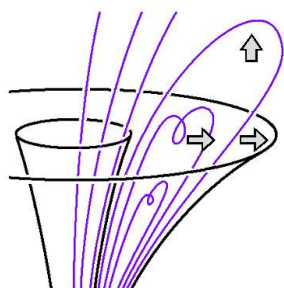


Рис. 3. Всплытие петель МП в цилиндрической оболочке. Пересечение спиральными силовыми линиями уровня фотосферы приводит к кажущемуся исчезновению пар магнитных элементов разного знака.

В предлагаемой схеме всплывающее в цилиндрической оболочке МП является своеобразным «лифтом» для энергии, захваченной при его движении. Высокая степень симметрии структуры распределения МП во всем объеме ячейки приводит к формированию устойчивого канала выхода непотенциальной энергии МП в корону. Большая скорость выхода энергии из компактной цилиндрической оболочки в корону создает условия для генерации мощных солнечных событий.

Неподверженность КА дифференциальному вращению в рамках такой схемы предположительно связана с высокой устойчивостью крупномасштабной конвективной ячейки, достигающей дна конвективной зоны и практически не смещающейся в кэррингтоновской системе координат. Не исключено, что формирование такой ячейки связано с затравочными неоднородностями на уровне тахоклина. Данный КА можно рассматривать как рафинированный случай эволюции КА на предминимальной фазе цикла в отсутствие влияния соседних структур.

Работа поддержана программой Минобрнауки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы», проект РНП 2.2.3.1.4833.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савинкин М.Ю., Язев С.А. Последний комплекс активности 23 цикла солнечной активности // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды X Конференции молодых ученых «Современные проблемы в астрофизике и физике космической плазмы». Иркутск, 17–23 сентября 2007. Иркутск, 2008. С. 242–245.
2. Ишков В.Н. Обзор состояния солнечной активности, геоэффективных явлений и их воздействий на околоземное космическое пространство на период 03–10.12.2006 // www.izmiran.ru
3. Simon G.W., Weiss N.O. Supergranules and the Hydrogen Convection Zone, *Z. // Zeitschrift fur Astrophys.* 1968. V. 69. P. 435–450.
4. Язев С.А., Сидоров В.И. Феномен комплексов активности на Солнце // Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике. Труды X Конференции молодых ученых «Современные проблемы в астрофизике и физике космической плазмы». Иркутск, 17–23 сентября 2007. Иркутск, 2008. С. 65–71.
5. Косовичев А.Г. Гелиосейсмология // Известия Крымской астрофизической обсерватории. 2007. Т. 103, № 2. С. 130–142.

¹Астрономическая обсерватория ГОУ ВПО ИГУ, Иркутск

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск