ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНЫХ И СПОКОЙНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ДВУХ УРОВНЯХ АТМОСФЕРЫ СОЛНЦА

Андреева О.А.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

EVOLUTIONARY CHARACTERISTICS OF ACTIVE AND QUIET FORMATIONS IN TWO LEVELS OF THE SOLAR ATMOSPHERE

Andreeva O.A.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

The paper analyzes the latitudinal-temporal changes in magnetic fields in the photosphere and solar formations such as active regions, coronal holes and floccules in the upper chromosphere of the Sun. The 14 intervals of magnetic fields in the range from -1500 to 1500 G were considered. The research is based on two types of solar observations obtained at the Kitt Peak Observatory (USA) in nearly three solar cycles: from January, 1 1977 to September, 30 2003. These are synoptic maps of intensity of the longitudinal magnetic field vector of the Sun and observations of the solar chromosphere in the He I 1083 nm line. In the course of the study, it was possible to identify the relationship between changes in photospheric magnetic fields and solar formations in the upper chromosphere of the Sun.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-31-34

В атмосфере Солнца, многомасштабной и очень динамичной системе, постоянно происходят сложные явления, обуславливающие его многогранную активность. Известно, что существует взаимосвязь явлений, возникающих внутри Солнца, на поверхности и в верхних слоях его атмосферы. Из-за действия механизма динамо в конвективной зоне Солнца происходит усиление магнитных полей (МП). Структурный характер всей солнечной атмосферы, ее активность от фотосферы до горячей короны и течения солнечного ветра в межпланетной среде определяются взаимодействием МП с полем скоростей вещества. Все это приводит к многообразию наблюдаемых активных солнечных структур. Целью данной работы было выявление взаимосвязи изменений фотосферных МП и солнечных образований в верхней хромосфере Солнца.

Данные наблюдений и методы

Для наших исследований на уровне фотосферы мы пользовались синоптическими картами напряженности продольного вектора магнитного поля Солнца. Поскольку нет возможности измерять магнитные поля в хромосфере, для этой работы мы использовали наблюдения в линии He I 1083 нм, позволяющей выйти в верхние слои солнечной атмосферы (2000–3000 км над поверхностью Солнца), а с помощью ее эквивалентной шири-

ны выделить наиболее характерные солнечные образования на уровне хромосферы.

Таким образом, нами были проанализированы два вида синоптических карт за 26 лет наблюдений полученных в обсерватории Китт Пик с января 1977 г. по сентябрь 2003 г. Исследуя их, мы надеялись найти общие моменты и различия в динамике явлений, происходящих двух слоях атмосферы Солнца.

Анализируя синоптические карты, мы рассматривали 14 интервалов напряженностей магнитного поля – 7 значений модулей этих интервалов: $>0 \div \leq 5$; $>5 \div \leq 10$; $>10 \div \leq 20$; $>20 \div \leq 50$; $>50 \div \leq 200$; $>200 \div \leq 700$; $>700 \div \leq 1500$), и 4 интервала эквивалентных величин, характерных для некоторых типов хромосферных солнечных образований: активные области (АО) $2 < W \leq 10$; флоккулы $1.05 < W \leq 2$; невозмущенные области $0.95 < W \leq 1.05$; корональные дыры (КД) $0.1 < W \leq 0.95$, $0.05 < (1-W) \leq 0.9$). К обоим видам исходных данных был применен алгоритм фильтрации (для МП по 14 выбранным интервалам напряженности; для хромосферных солнечных структур по 4-м, вышеуказанным, типам). Далее внутри каждой 5-ти градусной широтной зоны для каждого градуса долготы были найдены значения: суммарного относительного потока МП для каждого из 14 интервалов напряженности и суммарной эквивалентной ширины для каждого из 4-х видов хромосферных образований. Полученные временные ряды для отдельных карт, соответствующих одному кэррингтоновскому обороту (27, 2753 сут.) объединялись в ряды для всего наблюдательного материала за 26 лет. Примеры таких временных рядов представлены на рис. 1(а,б).

Рис. 1.

Здесь показано изменение со временем суммарного относительного потока МП N полярности в четырех пятиградусных широтных интервалах: (а) с напряженностью от 5 до 10 Гс; (б) с напряженностью от 50 до 200 Гс. На панели (б) видно как хорошо проявляется цикличность на низких ши-

ротах и ее отсутствие на широте 60 градусов, для КД очень слабовыраженная цикличность на широте 20 градусов и хорошо заметна переполюсовка на более высоких широтах рис. 1а.

Рис. 2.

На рис. 2 приведены изменения со временем суммарных эквивалентных ширин внутри пятиградусных широтных зон для КД (а) и для АО (б). Для АО четко видны изменения широтного распределения W в течение трех 11-летних солнечных циклов (21-го, 22-го и 23-го): появление активности в начале цикла на высоких широтах и постепенное понижение широт возникновения активных областей к концу цикла. Для КД, в полярных областях циклы почти не видны, но при приближении к экватору наблюдается уменьшение суммарной эквивалентной ширины в минимумах активности.

Далее мы более детально рассматривали широтно-временное распределение фотосферных и хромосферных образований. Сравнивали поведение слабых магнитных полей из интервала $[0;20]$ Гс (рассматривая 3 более узких интервала $[0;5]$ $[5;10]$ $[10;20]$) с КД (HeI 1083 nm) и более сильных

магнитных полей [50;200] Гс с АО. Кроме того, применив Фурье-анализ, по методике описанной нами ранее в работах [1, 2], мы сопоставили дифференциальность вращения фотосферных МП и солнечных структур в хромосфере, выявив некоторые эволюционные характеристики.

Результаты

В работе проведен анализ широтно-временных изменений МП в фотосфере и таких солнечных образований как АО, КД и флоккулы, по наблюдениям их в верхней хромосфере Солнца почти за 3 солнечных цикла. В ходе исследования удалось выявить взаимосвязь изменений фотосферных МП и солнечных образований в верхней хромосфере Солнца:

- Несмотря на то, что корональные дыры слабо проявляются в фотосферных МП, связь КД с ними существует – во время переполюсовки полярные КД отсутствуют или уменьшаются, тогда, как практически все остальное время они присутствуют.
- Наибольшее скопление приэкваториальных КД приходится на конец предыдущего, начало следующего цикла (для 20–21 и 22–23) и они практически отсутствуют между 21–22 циклами.
- Для сильных полей ярко выражена цикличность как в фотосфере, так и в хромосфере. Солнечные образования в хромосфере охватывают более широкий широтный диапазон.

В результате сопоставления дифференциальности вращения фотосферных МП и солнечных образований в хромосфере, были выявлены следующие эволюционные характеристики:

- Как вращение МП слабой и сильной напряженности, так и вращение хромосферных структур существенно различаются по набору значимых периодов вращения, по их широтному распределению и северо-южной асимметрии вращения.
- Для обоих слоев атмосферы Солнца характерно наличие одного и того же периода вращения для выбранного вида образования на разных широтах и разные периоды присутствуют на одной широте.
- Дифференциальность вращения для сильных МП в 3 и более раз превышает дифференциальность вращения хромосферных солнечных образований (АО). Для слабых МП и КД разница в дифференциальности вращения менее выражена.

Использованные в настоящей работе данные NSO/Kitt Peak получены при кооперации NSF/NOAO, NASA/GSFC и NOAA/SEL.

Литература

1. Андреева О.А., Зельк Я.И., Степанян Н.Н. // Изв. Крымск. астрофиз. Обс. 2006, Т.102, С.84-98.
2. Зельк Я.И., Степанян Н.Н., Андреева О.А. // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». 2006. №3 май-июнь. С. 102-117.