

Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2003. 140 с. (Тр. УАФО; Т.7, вып.7). ISBN 5-7442-1159-4.

Представлены статьи, посвященные исследованию солнечной активности и солнечно-земных связей. В некоторых из них рассмотрена структура магнитного поля в районах расположения активных образований (вспышек, волокон). В нескольких работах исследованы солнечные вспышки и связанные с ними образования в атмосфере Солнца по данным наблюдений в оптическом, радио-, ближнем инфракрасном и рентгеновском диапазонах спектра. Изучение спектров солнечных пятен дало свидетельство в пользу существования зависимости между площадями солнечных пятен и напряженностями их магнитных полей. Статистический анализ большого массива данных о солнечных пятнах позволил обнаружить временные и пространственные колебания наклона осей биполярных групп пятен. Исследование спектра мощности вариаций крупномасштабного магнитного поля Солнца показало, что он имеет резонансную структуру, зависящую от экваториальной симметрии магнитного поля. Вращение комплексов активности исследовано на основе анализа вариаций радиоизлучения Солнца на волне 10,7 см. Изучению солнечно-земных связей посвящена статья, в которой рассматривается связь вариаций тропосферной температуры в Приморском крае с солнечным циклом.

Для научных работников и студентов, специализирующихся в области солнечной и солнечно-земной физики.

Solar activity and its influence on the Earth. Vladivostok: Dalnauka, 2003. 140 p. (Transactions of Ussuriisk Astrophysical Observatory; Vol.7, Issue 7). ISBN 5-7442-1159-4.

The collection contains the articles concerning investigation of solar activity and solar-terrestrial connections. A series of papers describes structure of magnetic field in the region where active formations (flares, filaments) are located. Several works deal with investigation of solar flares and associated formations in the solar atmosphere which were observed in the optical, radio, near IR, and X-ray ranges of the wavelength spectrum. A study of the sunspot spectra gave evidence for existence of the relationship between areas of sunspots and intensity of their magnetic fields. Statistical analysis of a rich data set of sunspots made it possible to detect temporal and spatial variations of the axial tilt angles of the bipolar spot groups. An investigation of the power spectrum of the large-scale magnetic field showed that the spectrum is resonant in nature, and that it depends on the equatorial symmetry of the magnetic field. Rotation of the complexes of activity is studied by analysing variations of solar radio flux at 10.7 cm. An article concerning solar-terrestrial connections is presented which consider the relationship between variations of tropospheric temperature in Primorsky Region and solar cycle.

The articles are addressed to scientists and students who specialize in fields of solar and solar-terrestrial physics.

Редакционная коллегия: А.Б. Баранов, Г.И. Корниенко,
Д.В. Ерофеев (отв. редактор)

Рецензенты: А.Г. Суханов, В.М. Никифоров

Утверждено к печати Ученым советом Уссурийской астрофизической обсерватории

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В РАЙОНЕ МАЛЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

Солнечные вспышки могут изменять физические условия в межпланетной среде и магнитосфере Земли, поэтому среди солнечных активных процессов занимают особое место. Их мощность существенно различается: энерговыделение крупных солнечных вспышек достигает 10^{33} эрг, а энергия микровспышек оценивается величиной 10^{25} эрг. Тем не менее малые вспышки составляют подавляющее большинство явлений этого класса, т. е. именно они являются типичным процессом. Соответственно механизм вспышки прежде всего должен объяснить особенности малых и маломощных процессов этого типа.

Целью данной работы было изучение свойств магнитного поля в районах активной области, непосредственно прилегающих к местам активной области (АО), где происходили малые солнечные вспышки.

Объектом исследования являлась активная область N 135 СД июня 1984 г., хорошо известная по итогам кооперативных программ наблюдений и отдельным исследованиям.

Материалом для исследования служили карты полного вектора магнитного поля, полученные в ИСЗФ СО РАН 23 июня 1984 г., H_{α} -фильтрограммы и фотогелиограммы Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН, а также материалы, опубликованные в работе [3]. Всего использовалось пять карт, данные о которых приведены ниже. Здесь в первой графе буквой В обозначена вспышка, буквой К – карта. Во второй графе приведено время вспышки по [3] и временной интервал, в котором была записана карта магнитного поля. Моменты получения карт и наблюдения вспышек приведены в хронологическом порядке:

В	2 ^h 00 ^m
К	5 ^h 30 ^m –5 ^h 56 ^m
В	6 ^h 00 ^m
К	5 ^h 58 ^m –6 ^h 22 ^m
В	6 ^h 30 ^m
К	6 ^h 22 ^m –7 ^h 15 ^m
В	7 ^h 46 ^m
К	8 ^h 06 ^m –8 ^h 26 ^m
В	9 ^h 18 ^m
К	10 ^h 20 ^m –10 ^h 49 ^m
В	10 ^h 40 ^m

На рис.1 показана плотность распределения малых вспышек на карте, полученной в момент времени 8^h06^m–8^h26^m. Более темные области соответствуют местам, где чаще появлялись узлы вспышек, а градация – числу повторений от 1 до 5. Наибольшее число повторений – 5 – отмечено черным цветом.

На рис.2 приведена карта вертикальной к солнечной поверхности составляющей магнитного поля для этого же момента времени, полученная пересчетом компонент вектора поля с учетом гелиографического положения группы в систему координат, связанную непосредственно с ее положением на поверхности Солнца.

На рис.1 несложно видеть две основные особенности пространственного распределения вспышек. Первая – повторяемость вспышек в одних и тех же местах активной области. Вторая – наличие зоны избегания, где вспышек не было весь период наблюдений, но которая находится в области, окруженной вспышками. Собственно говоря, обе эти особенности были отмечены в [3], но в этой подробнейшей работе не рассматривалась их возможная связь со структурой магнитного поля. По этой причине мы сочли важным рассмотреть связь пространственного распределения вспышек с особенностями магнитного поля, определяемыми эмпирическим путем, из анализа вектора напряженности магнитного поля \mathbf{H} . Прежде всего это расположение малых вспышек относительно нулевой линии

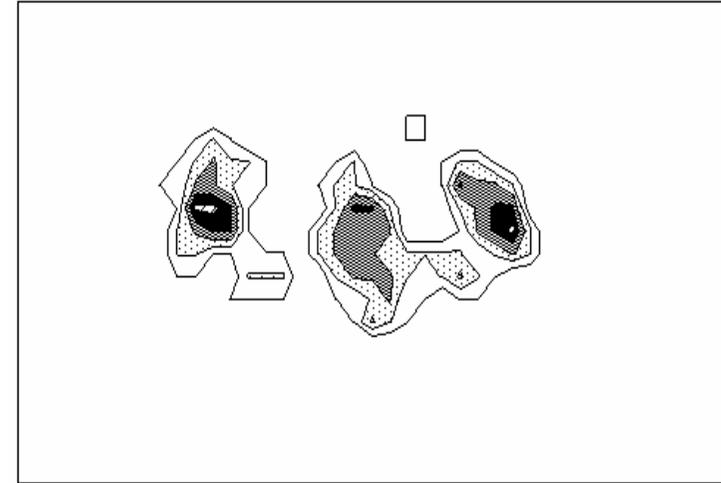


Рис. 1. Пространственная плотность распределения микровспышек. Показано пять градаций, последняя из которых обозначена белым цветом внутри черного фона

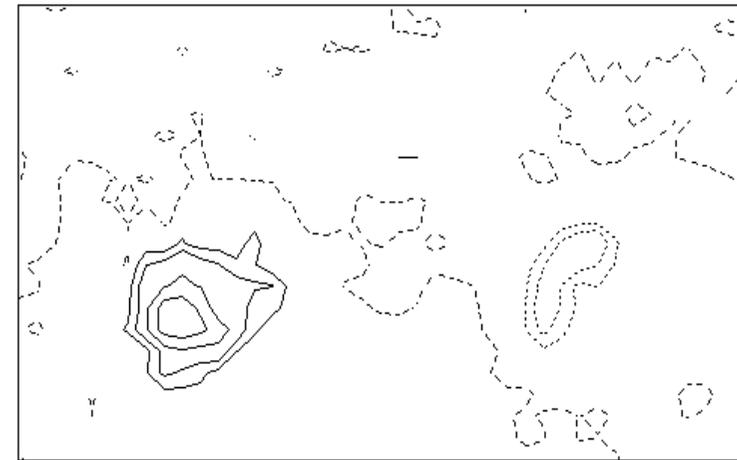


Рис.2. Карта вертикальной составляющей магнитного поля. Изолинии соответствуют значениям 200, 400, 800 и 1600 Э

продольного поля $H_z = 0$. Вторым часто используемым параметром – градиент вертикальной составляющей магнитного поля, определяемый из уравнения $\text{div}\mathbf{H} = 0$:

$$\frac{\partial H_z}{\partial z} = -\frac{\partial H_x}{\partial x} - \frac{\partial H_y}{\partial y}. \quad (1)$$

И наконец, вполне определенную информацию может дать изучение распределения вертикальной составляющей электрического тока

$$j_z = c (dH_y/dx - dH_x/dy)/4\pi. \quad (2)$$

Указанные величины позволяют выявить определенные особенности объемной структуры магнитного поля, и поэтому представляется целесообразным рассмотреть их поведение вблизи мест локализации вспышек.

Результаты анализа сведены в табл.1–4. В первых графах таблиц приведено название анализируемого параметра, во вторых – число отмеченных случаев. В третьих графах показано число случаев, когда микровспышка находится от нулевой линии рассматриваемого параметра на расстоянии меньше 4" или непосредственно на нулевой линии. Четвертая и пятая графы отражают число случаев удаления микровспышек от нулевой линии анализируемого параметра на расстояние, указанное в заголовках таблиц.

Рассмотрение приведенных в табл.1–3 данных позволяет сделать определенные выводы.

Так, частота случаев, когда расстояние между узлом микровспышки и нулевой линией продольного поля не превышала 8", что составляло перед началом микровспышки 86%, во время наблюдения микровспышки 83%, после микровспышки 74%, то есть практически одинаковые величины. Если же ограничиться расстоянием $\leq 4''$, то соответствующие частоты составляют 71%, 67% и

Таблица 1

Расстояние от нулевых линий указанных параметров до узлов микровспышек. Ситуация перед началом микровспышек

Параметр	Число случаев	< 4"	4"- 8"	>8"
H_z	21	15	3	3
$\text{Grad}_z H_z$	21	20	-	1
j_z	21	19	-	2

Таблица 2

Расстояние от нулевых линий указанных параметров до узлов микровспышек. Ситуация во время наблюдения микровспышек

Параметр	Число случаев	< 4"	4"- 8"	>8"
H_z	12	8	2	2
$\text{Grad}_z H_z$	11	11	-	-
j_z	11	10	1	-

Таблица 3

Расстояние от нулевых линий указанных параметров до узлов микровспышек. Ситуация после наблюдения микровспышек

Параметр	Число случаев	< 4"	4"- 8"	>8"
H_z	19	9	5	4
$\text{Grad}_z H_z$	19	17	1	1
j_z	19	18	-	1

Таблица 4

Положение нулевых линий указанных параметров относительно области без вспышек

Параметр	Число случаев	< 4"	4"- 8"	>8"	Внутри области
H_z	5	2	2	1	-
$\text{Grad}_z H_z$	5	2	1	-	2
j_z	5	4	1	-	-

53%. Налицо тенденция "ухода" нулевой линии поля после вспышки от ее узла, что может говорить в пользу некоторой перестройки поля в результате вспышки.

Анализ поведения вертикального градиента поля показывает, что частота случаев, когда его нулевая линия располагалась в непосредственной, $<|4''|$, близости от узла микровспышки, велика и примерно одинакова для всех этапов ее развития (95%, 100 и 90% соответственно).

Поведение вертикальной составляющей электрического тока сходно с вышерассмотренным: частота случаев расположения узлов микровспышки вблизи нулевой линии этой величины значительна на всех трех этапах эволюции (90%, 91 и 90% соответственно).

Полученные результаты позволяют описать некоторую качественную картину поведения магнитного поля во время развития микровспышки.

Прежде всего подтверждается известный факт возгорания узлов микровспышек вблизи нулевой линии продольного поля. Кроме того, возгорание происходит там, где близки к нулю градиенты вертикальных составляющих напряженности магнитного поля и электрического тока.

Сказанное означает, что микровспышка происходит в области, где магнитное поле на всех уровнях атмосферы остается поперечным. Кроме того, подобное поведение величины j_z (см. формулу (1)) означает, что поперечные составляющие поля вблизи микровспышек либо мало меняются в горизонтальной плоскости, либо между ними в данной точке пространства сохраняется вполне определенное соотношение.

После микровспышки ситуация в основном остается прежней, однако в месте возгорания микровспышки происходит некоторая перестройка магнитного поля, следствием которой является то, что нулевая линия смещается на расстояние порядка $4''$. Иными словами, после микровспышки в данном месте активной области предвспышечная ситуация сохраняется, но смещается в место, находящееся вблизи происшедшего события.

В этом случае становится понятным показанная на рис.1 пространственная плотность распределения микровспышек. Смещение

последующей вспышки на небольшую величину относительно предыдущей приводит к определенному совмещению пространственного положения микровспышек. Образовавшееся в результате наложения всех отмеченных случаев "колечко" показывает определенную траекторию перемещения по поверхности АО места предвспышечной ситуации. Судя по работам, в которых анализировались лучевые скорости и морфологические особенности данной АО [2–4], это перемещение происходит вдоль границы супергранулы.

Другую особенность полученной картины можно отметить, пользуясь приведенной в книге Э.Приста [5] моделью малой солнечной вспышки. Рассматривая схему вспышки, приведенную на рис.10.7 книги мы видим, что в рамках этой модели можно предполагать, что в результате микровспышки происходит либо некоторое изменение формы магнитной петли, либо деформация поверхности токового слоя. Таким образом, полученные нами результаты не противоречат указанной гипотезе.

И, наконец, в табл.4 данной статьи приведены соответствующие результаты для области без вспышек, находящейся внутри кольца, образованного микровспышками. Отметим, что эта картина более отчетливо выражена на рис.2 работы [2], где приведены зарисовки положения микровспышек, чем на нашем рис.1, показывающем плотность их распределения.

Поскольку карт использовано всего 5, то какие-либо статистические закономерности мы выявить не можем. Тем не менее, учитывая значительные по сравнению с узлами микровспышек размеры области, можно и здесь сделать определенные выводы. Из пяти случаев в двух нулевая линия продольного поля находится у границы области ($\leq |4''|$), в двух – на небольшом ($4''-8''$) расстоянии и в одном – на расстоянии $>8''$. Другого в этом случае ожидать трудно, поскольку область зажата в кольце вспышечно-активных площадок, однако существенным нам представляется то обстоятельство, что анализ табл.4 показывает, что нулевые линии градиента вертикальной составляющие магнитного поля находятся вблизи либо внутри

области. Это тоже понятно, так как область находится в окружении площадок с поперечным полем, где величина градиента H_z близка к нулю, т. е. продольная составляющая поля не меняется с высотой, и соответственно, в ней существует та же самая ситуация. Интересно, что нулевые линии j_z находятся в непосредственной близости от границ области, не вторгаясь в нее. Возможно, это свидетельство неоднородности по поверхности области поперечных составляющих поля.

Подводя итоги работы, следует отметить, что полученные здесь результаты позволяют сделать определенные выводы о структуре магнитного поля и механизме вспышки. Однако нами, как и в других аналогичных работах, использована далеко не вся информация, которую дают карты вектора магнитного поля. Представляется перспективным рассчитать величины векторов тока \mathbf{j} и электромагнитной силы \mathbf{F} , используя предположение о том, что на более высоком уровне солнечной атмосферы магнитное поле близко к потенциальному или бессилому. В этом случае, рассчитав с помощью уравнения (1) величину продольной составляющей поля на более высоком уровне, можно восстановить на нем структуру поля. В результате мы будем располагать информацией, достаточной для расчета векторов \mathbf{j} и \mathbf{F} , что позволит иметь дополнительные данные для построения модели микровспышки.

Данная работа частично выполнена в рамках ФЦНТП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники” по теме “Исследование солнечной активности и ее проявлений в околоземном пространстве и земной атмосфере”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.В., Григорьев В.М. Связь эволюции группы солнечных пятен и структуры электромагнитных сил // Структура и динамика солнечной короны. Тр.международ. конф. по физике Солнца. Троицк, 1999. С. 26-31.
2. Боровик А. В. Малые солнечные вспышки в активной области №135 СД 23 июня 1984 г. // Астрономический циркуляр. 1985. № 1413. С. 2-4.
3. Боровик А. В., Григорьев В. М. и др. Эволюция активной области СД №135 в июне 1984 г. и ее связь с крупномасштабными магнитными полями на Солнце // Тр. астроном. обсерватории Скалнате Плесо. 1986. Т. 15. С. 211-242.

4. Григорьев В. М., Селиванов В. Л. Структура и динамика конвективных движений в активной области во время ее возникновения и развития // Астрономический циркуляр. 1985. № 1412. С. 1-3.

5. Прист Э. Р. Солнечная магнитогиродинамика. М.: Мир, 1985. 592 с.