

параметра (рисунк, в). То же можно сказать о поведении среднего значения Δf_m , ход которого показан на *рисунке* штриховой линией.

ВЫВОДЫ

Вариации от цикла к циклу индекса d содержат значительную флуктуационную компоненту, связанную со случайным разбросом параметров групп пятен. Случайные флуктуации индекса d , вероятно, определяют и вариации высоты цикла в будущем. Три параметра, влияющие на поведение индекса d , – средняя площадь группы S_e , число групп N_e , образовавшихся за один цикл в широтной зоне ниже 10° , и расстояние между магнитными полюсами групп по широте Δf_e – имеют разный характер эволюции. Вариации S_e малы и не играют существенной роли, эволюция N_e происходит на шкале времени в несколько десятков лет и имеет главным образом динамический характер, а Δf_e претерпевает значительные случайные флуктуации от цикла к циклу. Таким образом, вариации высоты цикла примерно в равной степени обусловлены динамическим поведением числа групп пятен и случайными флуктуациями расстояний по широте между полюсами групп. Эти флуктуации, вероятно, обусловлены воздействием на всплывающие магнитные петли турбулентных течений в конвективной зоне Солнца [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерофеев Д.В. О связи между пятенной активностью в соседних 11-летних циклах // Солнечная активность и её влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2004. С. 37-52. (Тр.УАФО; т.8, вып. 8).
2. Carbonneau P., Dikpati M. Stochastic fluctuations in a Babcock-Leighton model of solar cycle // *Astrophys. J.* 2000. V. 543. P. 1027-1043.
3. Erofeev D.V. An observational evidence for the Babcock-Leighton dynamo scenario. // *Proc. IAU Symp.* 223. 2004. P. 97-98.
4. Langcote D.W., Fisher G.H. The effect of convection zone turbulence on the tilt angles of magnetic bipoles // *Astrophys. J.* 1996 V. 458. P. 380-390.
5. Ossendrijver M. The solar dynamo. // *Astron. Astrophys. Rev.* 2003. V. 11. P. 287-367.
6. Wang Y.-M., Nash A.G., Sheeley N.R. Magnetic flux transport on the Sun // *Science.* 1989. V. 245. P. 712.

Д.В. Ерофеев, А.В. Ерофеева

СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ БИПОЛЯРНЫХ ГРУПП ПЯТЕН

В настоящей работе исследуются статистические распределения максимальных наблюдаемых площадей групп пятен S , расстояний между магнитными полюсами групп d и расстояний между полюсами групп по широте Δf . Первые два параметра – неотрицательные величины, а последний взят с таким знаком, что если лидирующий полюс группы пятен расположен ближе к экватору, чем хвостовой, то Δf положительно, а в противном случае – отрицательно. Вышеназванные параметры представляют интерес в двух отношениях. Во-первых, они характеризуют дипольный магнитный момент групп пятен (полный момент группы приблизительно пропорционален произведению Sd , а величина $S\Delta f$ даёт его меридиональную составляющую), а он, по-видимому, играет важную роль в генерации солнечного цикла [1–3]. Во-вторых, эти параметры (и производный от них параметр – угол наклона оси группы пятен), вероятно, несут информацию о свойствах тороидального магнитного поля в основании конвективной зоны и процессе его переноса к поверхности Солнца [4, 6].

ДААННЫЕ РАЗНЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ И ИХ СРАВНЕНИЕ

Для исследования используются данные обсерваторий Mount Wilson (далее MWO) с 1917 по 1985 г. и Kodaikanal (KO) с 1906 по 1987 г. (взяты с сайта [8]), а также Уссурийской астрофизической обсерватории (УАФО) за период с 1956 по 2001 г. Первые два набора данных созданы по методике Р. Говарда [5,7], который предложил находить положения магнитных полюсов каждой группы пятен путём определения средневзвешенных по площадям координат пятен, расположенных в ведущей и хвостовой частях группы. Данные фотосферного патруля УАФО обрабатывались более простым спо-

собом: в каждой группе выбирались, как правило, два главных пятна, расположенных в её лидирующей и хвостовой части, и их координаты брались в качестве координат магнитных полюсов группы. В некоторых случаях (большие сложные группы) измерялись координаты трёх или более пятен, тогда положения одного или обоих полюсов получены усреднением координат нескольких пятен. В набор данных УАФО не включены мелкие группы пятен с максимальной площадью менее 20 м. д. п.

Ввиду наличия данных разных обсерваторий, в частности полученных разными методами, имеет смысл начать исследование с их сравнения. Для этого, во-первых, фотогелиограммы УАФО за несколько месяцев 1979 г. были обработаны методом Говарда и результаты были сопоставлены с измерениями обычным методом. Диаграммы рассеяния для суточных значений параметров d и Δf показаны на *рис.1*. Как можно видеть, между данными измерений, полученными двумя методами, имеется существенная корреляция (коэффициенты корреляции 0,68 для d и 0,75 для Δf), однако метод Говарда даёт заметно меньшие значения размеров групп. Для средних за прохождение группы параметров, которые мы исследуем в настоящей работе, коэффициенты корреляции несколько выше (0,72 для d и 0,78 для Δf). Мы рассчитали линейные регрессии для параметров, измеренных разными способами, пользуясь «методом перпендикулярных расстояний», который лучше всего подходит для сопоставления данных, имеющих сравнимые по величине случайные погрешности. Этот метод основан на минимизации среднего квадрата расстояний от экспериментальных точек до аппроксимирующей прямой, причём расстояния измеряются вдоль нормалей к последней. При этом среднеквадратичное отклонение точек от прямой является мерой случайных погрешностей данных. Таким образом, получено, что обычно применяемый в УАФО метод даёт для d и Δf значения приблизительно на 45 % большие, чем метод Говарда, а стандартные ошибки d и Δf составляют 1,0 и 0,5° соответственно.

Сравнение данных разных обсерваторий в определённой степени затрудняется тем, что они представлены в разной форме, и необходимо проводить взаимное отождествление групп пятен, что не всегда даёт однозначный результат. Поэтому для сравнения исполь-

зовались только надёжно отождествлённые группы (около 30 % от их общего числа). Сопоставление данных MWO и КО показало, что коэффициенты регрессии у параметров d и Δf практически не отличаются от 1 и устойчивы во времени (их оценки для периодов 1917–1955 гг. и 1956–1985 гг. совпадают в пределах погрешностей). Коэффициент регрессии между измеренными максимальными площадями групп, однако, изменяется со временем приблизительно на 25 %, хотя в среднем он близок к 1. При этом среднее значение S довольно устойчиво во времени по данным КО, но существенно изменяется по данным MWO, откуда можно сделать вывод о том, что система площадей пятен MWO менее устойчива. Оценки случайных ошибок d и Δf дают 1,02 и 0,54° соответственно, а ошибка определения S составляет в среднем 130 м. д. п.

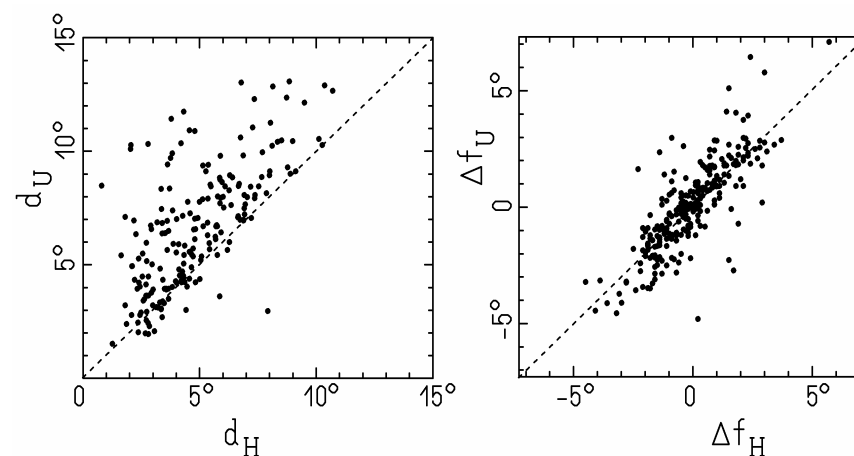


Рис.1. Сравнение параметров групп пятен по данным фотосферного патруля УАФО (обозначены индексом U) и измеренных по методу Говарда (помечены индексом H)

Сравнение данных УАФО и двух других обсерваторий показало, что параметры d и Δf по измерениям УАФО завышены по сравнению с КО и MWO почти вдвое, т. е. даже больше, чем следует из описанного выше прямого сравнения измерений, сделанных разными методами. Кроме того, имеется систематическое превыше-

ние на 40 % максимальных площадей групп пятен, измеренных в УАФО, по сравнению с данными двух других обсерваторий. Эти систематические отличия, однако, легко устраняются введением соответствующих нормировочных коэффициентов; ниже мы используем данные, приведённые в систему обсерватории Kodaikanal. При этом статистические распределения исследуемых параметров по данным трёх обсерваторий оказываются практически одинаковыми, за исключением распределения параметра d в области его малых значений (в этом случае различие, вероятно, связано с отсутствием данных о мелких группах в каталоге УАФО).

СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГРУПП

Статистические распределения $P(X)$ (где X – один из трёх исследуемых параметров) рассчитаны как числа попаданий X в ячейки с центрами X_i , размеры которых ΔX_i выбирались прогрессивно возрастающими для того, чтобы обеспечить достаточно большие числа заполнения ячеек в крыльях распределений. Следует отметить, что вообще количественное исследование формы полученных распределений имеет смысл только в отношении их крыльев и периферийных частей их ядер. Действительно, ошибки измерений приводят к некоторому “размыванию” распределений в тех областях, где последние имеют острые пики. Кроме того, распределения площадей и размеров групп в области их малых значений искажаются наблюдательной селекцией (небольшие короткоживущие группы часто пропускаются при наблюдениях).

Для исследования формы найденных распределений подходящей оказалась аппроксимация $P(X)$ трёхпараметрической экспоненциальной функцией

$$P(X) = a \exp\left(-\frac{x^n}{b^n}\right), \quad (1)$$

которая сводится к степенной функции, если взять логарифм P . В формуле (1) $x=|X-X_0|$, а X_0 – мода распределения. Для неотрицательных величин S и d мода принята равной нулю, а для знакопеременной величины Δf она определялась по положению максимума рас-

пределения, причём аппроксимация вида (1) рассчитывалась отдельно для его левого и правого крыла. Очевидно, что значение нормировочного коэффициента a в формуле (1) практически интереса не представляет, а наиболее интересен безразмерный параметр n , который описывает форму распределения (в частности, $n=2$ соответствует распределению Гаусса, а $n=1$ – распределению Лапласа).

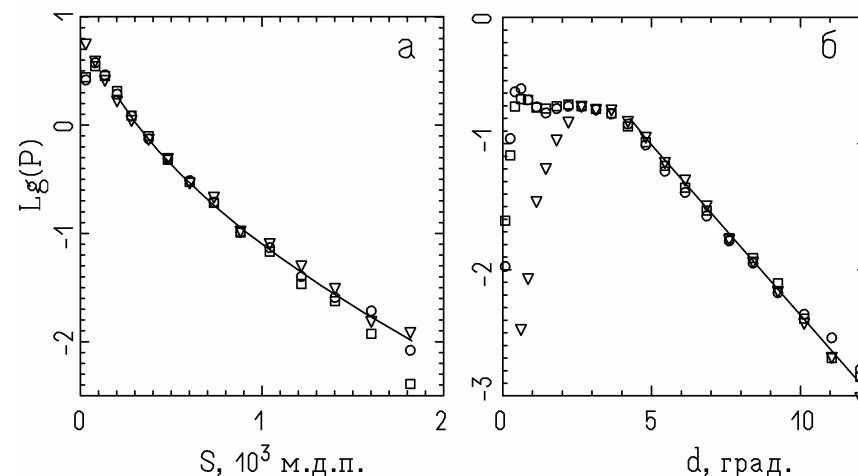


Рис.2. Статистические распределения параметров групп пятен: а – максимальных площадей S , б – расстояний между магнитными полюсами d . Кружки соответствуют данным КО, квадраты – МВО, треугольники – УАФО; сплошная линия – аппроксимация с помощью формулы (1)

Распределения исследуемых величин строились для трёх интервалов широты f : $|f| < 10^\circ$, $10^\circ < |f| < 18^\circ$ и $|f| > 18^\circ$. Однако у параметров S и d широтная зависимость распределений оказалась хотя и ощутимой по небольшому изменению дисперсий, но весьма слабой, поэтому ниже рассматриваются их распределения, построенные для всей зоны пятен.

Распределение максимальных площадей групп пятен $P(S)$ показано в логарифмическом масштабе на рис. 2, слева. Как можно видеть, после приведения данных трёх обсерваторий в одну систему они дают практически одинаковые распределения $P(S)$, за исключе-

нием интервала $S < 100$ м. д. п., где, очевидно, становится заметным эффект наблюдательной селекции групп пятен. Формула (1) хорошо аппроксимирует распределение $P(S)$ при $S > 200$ м. д. п. и следующих значениях параметров: $n = 0,53 \pm 0,05$, $b = (0,042 \pm 0,002) \cdot 10^3$ м. д. п.

Распределение расстояний между магнитными полюсами групп пятен $P(d)$ показано справа на *рис. 2*. После приведения данных трёх обсерваторий в одну систему их распределения $P(d)$ хорошо согласуются в области $d > 2^\circ$, однако в области малых размеров групп данные УАФО показывают значительное отличие от данных КО и МВО. Это обстоятельство, очевидно, связано с наблюдательной селекцией групп пятен, а отчасти, возможно, с различием в методике обработки данных. Интересно отметить, что по данным КО и МВО $P(d)$ имеет «плато» в интервале от $1,5$ до 4° и дополнительный узкий пик вблизи значения $d = 0,7^\circ$ (около 8000 км в линейном масштабе). При $d > 4,5^\circ$ распределение $P(d)$ хорошо описывается формулой (1) с параметрами $n = 0,91 \pm 0,08$, $b = 1,39 \pm 0,20^\circ$.

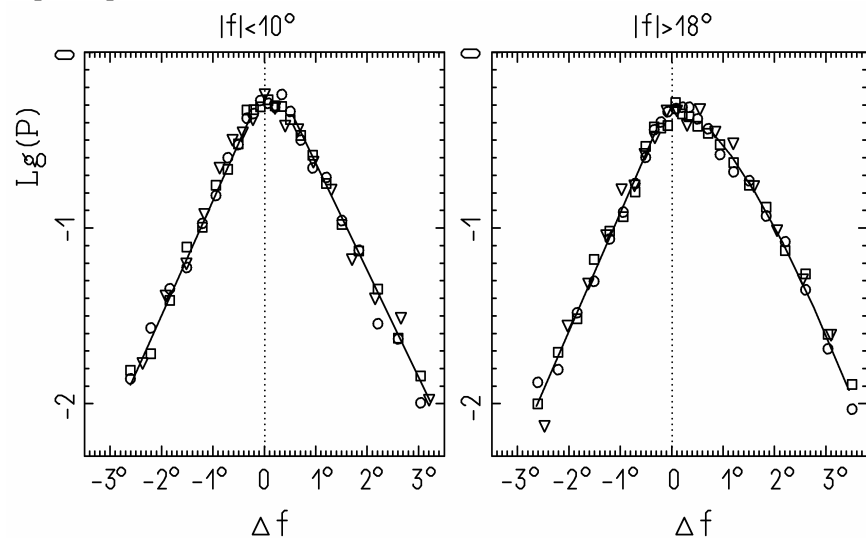


Рис. 3. Статистические распределения расстояний по широте между магнитными полюсами групп пятен, для приэкваториальной (слева) и высокоширотной (справа) частей зоны пятен. Обозначения см. на *рис. 2*

Распределение расстояний по широте между полюсами групп пятен $P(\Delta f)$ оказалось существенно зависящим от широты центров групп. На *рис. 3* для сравнения показаны распределения, построенные для приэкваториальной области ($|f| < 10^\circ$) и верхней части зоны пятен ($|f| > 18^\circ$). На самых низких широтах, $|f| < 10^\circ$, распределение $P(\Delta f)$ почти симметрично относительно своей моды Δf_0 , которая, однако, несколько сдвинута вправо от нулевого значения Δf . При этом на расстояниях более $0,4^\circ$ относительно Δf_0 $P(\Delta f)$ хорошо аппроксимируется распределением Лапласа (зависимость (1) при $n=1$): для его левого крыла получена оценка $n = 0,96 \pm 0,08$, а для правого $n = 1,06 \pm 0,07$. Наличие «закругленной» вершины у $P(\Delta f)$ обусловлено, по крайней мере отчасти, случайными ошибками измерений, которые должны приводить к некоторому «размыванию» острого пика распределения (согласно приведённым выше оценкам ошибка измерения Δf составляет около $0,5^\circ$).

С ростом широты распределение $P(\Delta f)$ становится заметно асимметричным, причём главным образом за счёт изменения своего правого крыла. Действительно, левое крыло $P(\Delta f)$ во всех широтных зонах близко соответствует формуле Лапласа (оценки дают $n=1$ с точностью около 0,1), тогда как у его правого крыла $n = 1,32 \pm 0,04$ в зоне широт $10-18^\circ$ и $n = 1,47 \pm 0,06$ на широтах выше 18° . Кроме того, у правого крыла распределения $P(\Delta f)$ значение параметра b с ростом широты увеличивается почти вдвое, от $0,8$ до $1,4^\circ$. В результате среднее значение Δf возрастает с увеличением широты главным образом за счёт деформации правого крыла распределения, при этом мода распределения изменяется в значительно меньшей степени.

ВЫВОДЫ

Распределения всех трёх исследованных характеристик групп пятен сильно отличаются от распределения Гаусса, по сравнению с которым они имеют медленно спадающие («тяжёлые») крылья.

Распределения максимальных площадей групп пятен S и расстояний между их полюсами d сильно отличаются по форме друг от друга. Это обстоятельство существенно в том плане, что оба параметра, S и d , используются в качестве меры абсолютного магнитного

потока групп пятен. Различие формы их распределений свидетельствует о том, что в этом качестве они не равноценны.

Распределение расстояний по широте между полюсами групп пятен изменяется с широтой, причём в основном за счёт возрастания его асимметрии. Возрастание с увеличением широты среднего значения Δf происходит в основном также за счёт роста асимметрии распределения, а не сдвига его моды. Заметим, что в модели всплывающих магнитных петель среднее значение Δf не равно нулю и возрастает с широтой из-за влияния силы Кориолиса [4], а случайные флуктуации Δf вызваны независимым эффектом – воздействием турбулентных течений в конвективной зоне [6]. Результаты настоящей работы, однако, говорят о зависимости среднего значения Δf от поведения случайных флуктуаций этого параметра.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ерофеев Д.В.* О связи между пятенной активностью в соседних 11-летних циклах // Солнечная активность и её влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2004. С. 37-52. (Тр. УАФО; т. 8, вып. 8).
2. *Dikpati M., Charbonneau P.* A Babcock-Leighton flux transport dynamo with solar-like differential rotation. // *Astrophys. J.* 1999. V. 518. P. 508-520.
3. *Erofeev D.V.* An observational evidence for the Babcock-Leighton dynamo scenario. // *Proc. IAU Symp.* 223. 2004. P. 97-98.
4. *Fan Y., Fisher G.H., McClymont A.N.* Dynamics of emerging active region flux loops // *Astrophys. J.* 1994. V. 436. P. 907-928.
5. *Howard R.F.* Axial tilt angles of sunspot groups // *Solar Phys.* 1991. V. 136. P. 251-262.
6. *Langcote D.W., Fisher G.H.* The effect of convection zone turbulence on the tilt angles of magnetic bipoles // *Astrophys. J.* 1996. V. 458. P. 380-390.
7. *Sivaraman K.R., Gupta S.S., Howard R.F.* Measurement of Kodaikanal white-light images. IV. Axial tilt angles of sunspot groups // *Solar Phys.* 1999. V. 189. P. 69-83.
8. ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/.

А.В. Ерофеева, И.С. Гусева, Г.И. Корниенко, И.О. Ващук

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ НА 40-САНТИМЕТРОВОМ ДВОЙНОМ АСТРОГРАФЕ УССУРИЙСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

40-сантиметровый двойной астрограф Уссурийской обсерватории был установлен в 1991 г. и долгое время практически не использовался из-за ряда технических неисправностей и отсутствия необходимых для наблюдений фотоматериалов. Астрограф имеет объективы диаметром 40 см и фокусным расстоянием 300 см. В штатном режиме при съемке на фотопластинки размером 30×30 см астрограф обеспечивает поле зрения 6×6 град. и предназначен, прежде всего, для астрометрических наблюдений объектов солнечной системы. Результаты исследования характеристик астрографа приведены в работе [1].

До 2004 г. на астрографе проводились эпизодические наблюдения различных объектов Солнечной системы, чаще всего комет. Результаты исследования короткопериодических колебаний блеска кометы Хэйла–Боппа приведены в работе [2]. Во всех этих наблюдениях регистрация осуществлялась на цифровую камеру ST–6 фирмы «Santa Barbara Instrument Group», USA. Матрица камеры содержит 375×242 элементов и имеет линейные размеры 8,6×6,5 мм. При установке камеры в прямом фокусе телескопа поле зрения составляет лишь около 7 угловых минут, что существенно ограничивает круг задач, которые можно решать на данном инструменте.

В конце 2004 г. нами были предприняты усилия по модернизации телескопа с целью включения его в работу по ряду отечественных и международных наблюдательных программ. Это обусловлено тем, что на огромной территории восточной части России нет оптических инструментов, способных наблюдать такие объекты, как, например, искусственные спутники Земли. Большую помощь в подготовке инструмента и начала наблюдений оказали сотрудники ГАО РАН, ИКИ РАН и КраО. Осенью 2004 г. проведены пробные на-