

УДК 523.6; 523.98

Солнечная активность и ее влияние на Землю (Ежегодник Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН), вып. 13. – Владивосток: Дальнаука, 2010. 116 с.

В сборнике представлены статьи, посвященные исследованию различных аспектов физики Солнца: методики и интерпретации измерений солнечных магнитных полей, статистических характеристик пятенной активности, эруптивных процессов в солнечных активных областях, поведения флуктуаций межпланетного магнитного поля.

Сборник статей предназначен для научных работников и студентов, специализирующихся в области астрономии и геофизики, а также для тех, кто интересуется воздействием космических факторов на Землю.

Solar activity and its influence on the Earth (Annual of Ussuriisk Astrophysical Observatory of FEB RAS), issue 13. – Vladivostok: Dalnauka, 2010. 116 p.

The articles included in this issue concern different problems of solar physics: the methods and interpretation of the solar magnetic field measurements, statistics of sunspot activity, physics of eruptive processes in active regions, and behaviour of fluctuations of the interplanetary magnetic field.

The collection of the articles is addressed to scientists and students who specialize in fields of astronomy and geophysics, and to those who take interest in influence of cosmic factors on the Earth.

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

Рецензенты: Л.А. Плюснина, В.П. Севрюк

Утверждено к печати Ученым советом
Уссурийской астрофизической обсерватории

© УАФО ДВО РАН, 2010

© Дальнаука, 2010

УДК 523.982

*В.П. Бабий**, *В.М. Ефименко**, *В. Г. Лоцицкий**

НЕОБЫЧНОСТЬ ЦИКЛОВ АКТИВНОСТИ №№ 17 и 18 В ОТНОШЕНИИ ДИАМЕТРОВ НАИБОЛЬШИХ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Изучаются интегральные и дифференциальные распределения диаметров солнечных пятен в семи последних 11-летних циклах солнечной активности. Найдено, что в интегральных распределениях в диапазоне диаметров 50–90 Мм показатель распределения α в среднем равен 6.0 и не зависит от чисел Вольфа, однако в большинстве циклов (в четырех из семи) зависит от фазы цикла: он больше на фазе роста, имеет промежуточное значение в фазе максимума и минимален на спаде активности. Иначе ведут себя три цикла, а именно №17, 18 и 22, в которых параметр α либо не меняется с фазой цикла, либо эти изменения отличны от указанных выше. Оказалось, что циклы № 17 и 18 «аномальны» также в том отношении, что в них наблюдались наибольшие за последние 80 лет солнечные пятна – с диаметром до 140–180 Мм. Высказано три предположения о природе этих гигантских пятен: а) возможно, их появление связано с изменением скорости дифференциального вращения Солнца; б) эти пятна представляют собой некий отдельный статистический ансамбль, образующийся в спорадически возникающей дискретной области конвективной зоны; в) возможно, это всплывающие на поверхность «куски» реликтового магнитного поля солнечного ядра.

ВВЕДЕНИЕ

Изучению статистических особенностей солнечной активности посвящено очень много работ (см. напр. [2, 4, 6–8]). Тем не

* Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, г. Киев, Украина

менее, в опубликованных работах недостаточно полно освещен вопрос статистики диаметров солнечных пятен, включая их интегральные и дифференциальные распределения. В сущности, это простейший подход в анализе статистических ансамблей, который, однако, при его параметризации позволяет сделать определенные выводы о тождественности или отличии физических условий в разных случаях формирования элементов ансамбля.

Напомним, что дифференциальная и интегральная функции распределения могут быть получены следующим образом. Предположим, в некотором ансамбле имеются элементы с разными характеристиками (например, диаметрами d_i), причем соответствующие количества N_i этих элементов различны при разных d_i . Поскольку каждая из характеристик d_i находится из наблюдений всегда с некоторой погрешностью, целесообразно для уменьшения ошибок провести усреднение – например, построив гистограмму распределения количества элементов N_i по параметру d_i . Такая гистограмма, где в определенные интервалы значений $d_i + \Delta d_i$ будут попадать соответствующие количества элементов ΔN_i , и есть дифференциальное распределение для данного ансамбля.

Индивидуальные гистограммы для разных ансамблей могут быть весьма различными – симметричными, асимметричными, узкими, широкими и пр., и чтобы описать их каким-нибудь одним параметром, рассматривают зависимость типа

$$N \propto x^{-\alpha}, \quad (1)$$

где N – количество элементов с параметрами d_i , которые не меньше значения $(d_i)_{\min} \equiv x$.

Фактически это означает, что каждый раз мы суммируем (интегрируем) количество всех элементов, которые на дифференциальной зависимости по оси абсцисс попадают в область справа от x .

Если, в частности, мы имеем очень узкое распределение типа δ -функции, то тогда для все значений x , которые по оси абсцисс находятся справа от этого распределения, будем иметь сначала $N = 0$, а потом, при меньших значениях, $N = \text{const} = \text{const} \times x^0$, т.е. тогда $\alpha = 0$. Если же дифференциальное распределение является широким, то

тогда α будет существенно отличаться от нуля, притом тем больше, чем более широкой является гистограмма дифференциального распределения. Таким образом можно составить представление о мере дисперсности (неодинаковости характеристик) данного ансамбля.

Для интегрального распределения энергий оптических солнечных вспышек было найдено значение $\alpha = 0.77$ [5].

Близкое к этому значение получено и для энергий красных вспыхивающих звезд типа UV Cet [3]. По мнению автора [5], это свидетельствует об общности физической природы процессов на Солнце и вспыхивающих звездах.

Такая точка зрения представляется не бесспорной. Действительно, различных статистических ансамблей может быть невообразимое множество, тогда как величина α заключается в относительно небольших пределах, скажем, $0 \div 10$. Ясно, что некоторые совершенно различные по физической природе ансамбли могут иметь совпадающие или почти одинаковые величины α . Поэтому одинаковость или близость величин α для разных ансамблей еще не доказывает тождественность их физической природы.

Иное дело, если мы рассматриваем *один и тот же процесс* или явление. Тогда неодинаковость параметра α должна отражать не только изменение статистики ансамбля, который представляет это явление или процесс, но и, весьма вероятно, изменение физики этого процесса или тех условий, при которых этот процесс протекает.

Соответствующий статистический анализ диаметров солнечных пятен в четырех последних циклах (№№ 20–23) сделан в работе [1]. Оказалось, что величина α не зависит от чисел Вольфа, но показывает изменение с фазой цикла: в большинстве циклов (исключая цикл № 22) она максимальна в начале цикла, имеет промежуточное значение в максимуме и минимальное – на фазе спада. Авторами [1] высказано предположение, что поскольку циклы №№ 22 и 23 образуют хейловскую пару 22-летнего цикла, некоторая своеобразность изменения параметра α в цикле № 22 могла быть предвестником нарушения правила Гневышева-Оля в последующем цикле № 23. В случае подтверждения такого предположения, открывалась возможность для более надежных прогнозов нечетных циклов. Это, однако, следовало проверить на дополнительном материале наблюдений. В

настоящей работе с этой целью анализируются новые данные, включающие семь 11-летних циклов, с 17-го по 23-й.

МАТЕРИАЛ НАБЛЮДЕНИЙ И ЕГО ОБРАБОТКА

Были использованы такие данные о диаметрах солнечных пятен:

- а) бюллетень „Солнечные данные“;
- б) данные, выставленные на интернет-сайте Пулковской обсерватории (<http://www.gao.spb.ru/database/>);
- в) <http://solar.science.msfc.nasa.gov/greenwich/> – Гринвичский каталог

Сначала строились зависимости для солнечных пятен всех диаметров больше 10 Мм (т.е. 10 тысяч км). Для пятен недалеко от лимба (но не ближе 20° по гелиодолготе) учитывалось проекционное сокращение их диаметров. Пятна, которые находились еще ближе к лимбу, не учитывались.

При работе с базами данных оказалось, что для наибольших пятен в группах имеются в каталогах готовые площади. Учитывая это, была построена (по правильным пятнам) калибровочная зависимость между площадью пятен (в миллионных долях полусферы) и их диаметрами (в Мм). Это ускорило обработку, поскольку позволило по площади пятна находить его диаметр без непосредственных измерений на гелиограммах (что делалось вначале).

При обработке данных выяснилось, что если для определения параметра α строить зависимость (1) с логарифмическим масштабом по осям абсцисс и ординат, то линейный участок (необходимый для определения этого параметра), приходится в большинстве случаев на диапазон значений 50–90 Мм, соответствующий очень большим (видимым визуально без телескопа) солнечным пятнам. В области меньших и больших значений диаметров d имеют место нелинейные «завалы» на зависимостях, которые не позволяют найти здесь какое-нибудь конкретное значение α (Рис. 1).

Рис. 2 демонстрирует изменение показателя α с фазой цикла. Видно, что в данном случае (в цикле № 21) наклон линейных участков меняется монотонно при переходе от начала цикла к его концу.

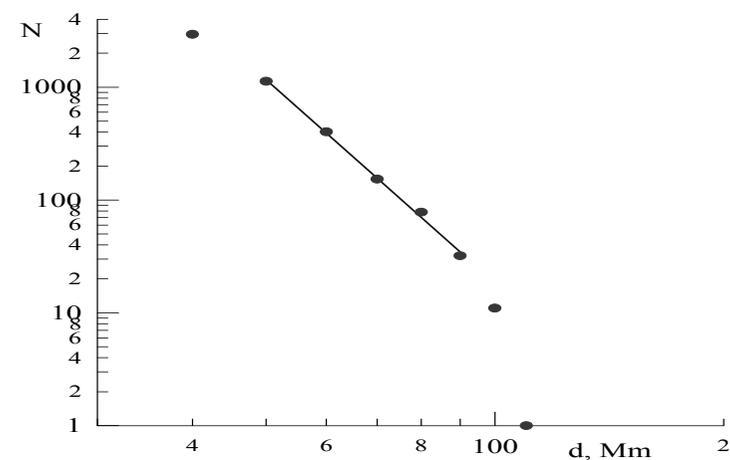


Рис. 1. Интегральная зависимость для диаметров солнечных пятен всего 21-го цикла. Здесь и на рис. 2 по оси абсцисс отложены диаметры пятен в мегаметрах (Мм), а по оси ординат – суммарное количество пятен, имеющих указанный или больший диаметр

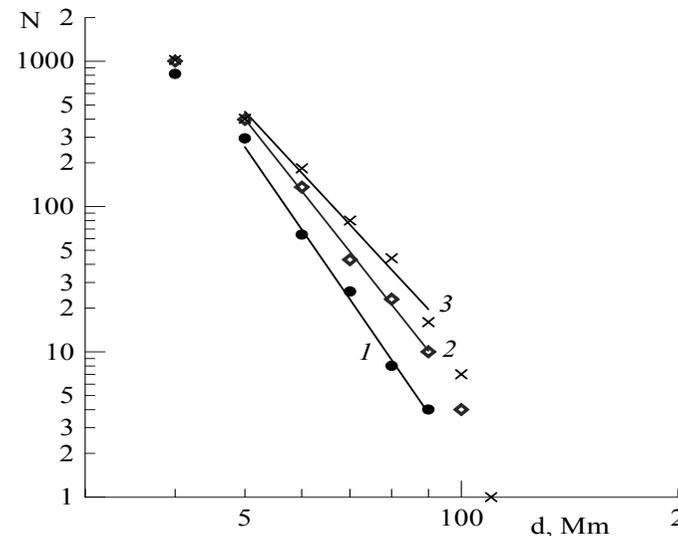


Рис. 2. Сравнение интегральных распределений для различных фаз 21-го цикла; 1 – фаза роста, 2 – максимума, 3 – спада активности

Всего для каждого цикла (как видно из рис. 1 на примере цикла № 21) было проанализированы данные о нескольких тысячах пятен, а для всех семи циклов – около 30000 пятен.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ЦИКЛОВ №№ 17–23

Полученные значения параметра α для последних семи циклов представлены на рис. 3. Видно, что большинство циклов (а именно, циклы №№ 19, 20, 21 и 23) имеют качественно аналогичные изменения параметра α , тогда как циклы №№ 17, 18 и 22 – оригинальные, не похожие на другие циклы.

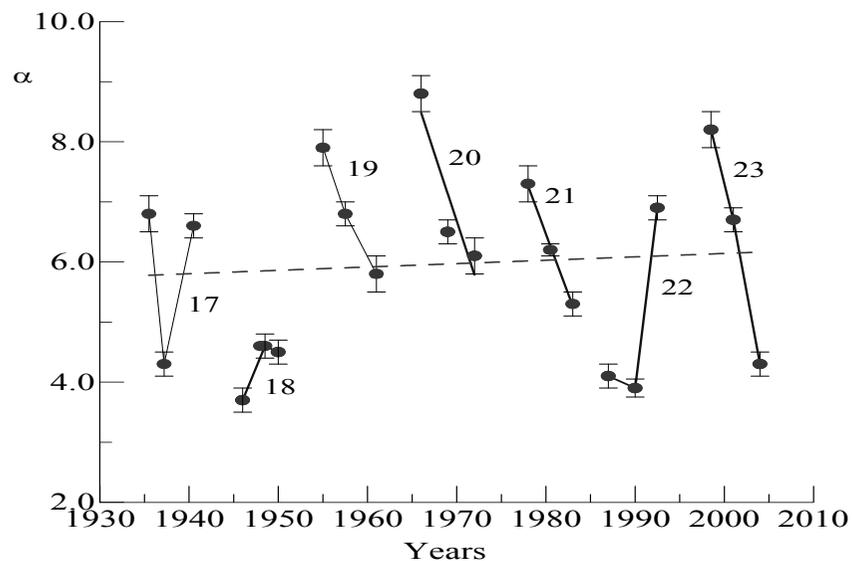


Рис. 3. Сравнение показателей интегрального распределения α для всех семи циклов (цифрами 17–23 указаны номера соответствующих циклов). Штриховой линией представлен линейный тренд

В четырех условно «нормальных» циклах величина α изменяется с фазой 11-летнего цикла монотонным образом, в целом уменьшаясь с фазой цикла.

В «аномальных» циклах параметр α ведет себя иначе:

а) в цикле № 18 все три значения α (для фазы роста, максимума и спада) значительно ниже среднего $\alpha \approx 6.0$ и близки к $\alpha \approx 4$. Кроме того, этот цикл начинается не с большего, а с меньшего значения α ;

б) цикл № 22 также начинается, по существу, с наименьшего (в этом цикле) значения $\alpha \approx 4$. Максимальное значения параметра достигается не в начале цикла, а в его конце;

в) цикл № 17 имеет весьма низкое значение параметра (также $\alpha \approx 4$) в его максимальной фазе. Изменение параметра α в этом цикле немонотонно: сначала параметр уменьшается, а затем растет.

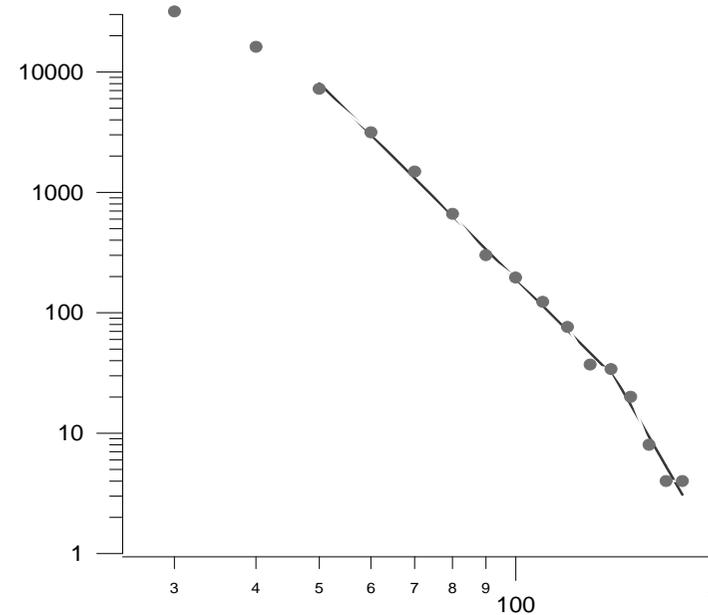


Рис. 4. Интегральная зависимость для циклов 17–23 (см. текст). По оси абсцисс – диаметр пятен в мегаметрах (Мм), по оси ординат – количество пятен. Формат данных по оси абсцисс таков: 3 соответствует 30 Мм, 7 – 70 Мм, 100 – 100 Мм, а 2 (крайнее значение справа) – 200 Мм

Еще одна особенность интегральных распределений состоит в том, что если построить суммарную зависимость для всех семи циклов, то фактически на ней выделяются два линейных участка: в области диаметров 50–140 Мм и в области 140–180 Мм (Рис. 4).

Таким образом, на этой зависимости нелинейный «завал» в области особо больших пятен почему-то исчезает, так что вполне можно определить два значения параметра α : а) $\alpha \approx 5.3$ для пятен диаметра 50–140 мм и б) $\alpha \approx 10.5$ для особо больших пятен диаметра 140–180 мм. То есть, для вторых пятен параметр α примерно в 2 раза больше, чем для первых. Это наводило на мысль, что среди суммы всех пятен действительно мог быть еще один статистический ансамбль с другим параметром распределения α .

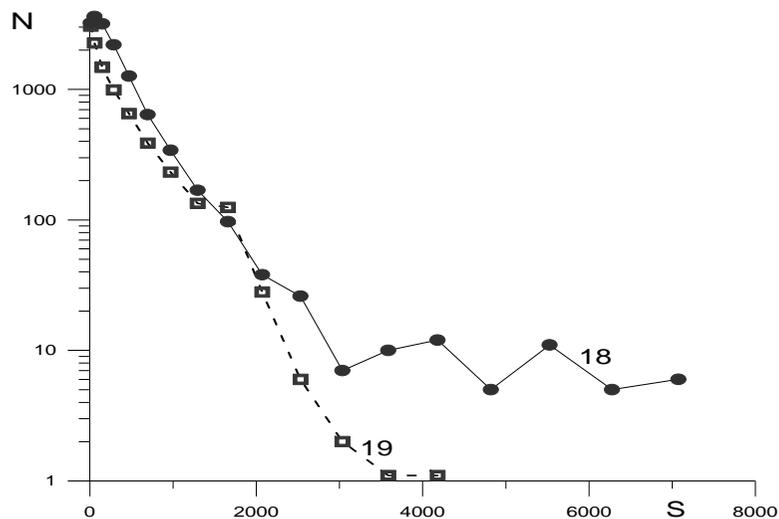


Рис. 5. Сравнение дифференциальных распределений для циклов №№ 18 и 19. По оси абсцисс – площадь пятен в миллионных долях полусферы (м.д.п.)

Наличие этого второго ансамбля хорошо прослеживается и по дифференциальным распределениям. Для примера на рис. 5 показано сопоставление таких распределений для двух циклов хейловской пары, а именно № 18 и № 19. Видно, что в диапазоне площадей $S =$

0–2000 м.ч.п. оба цикла отличаются мало, но для больших пятен (особенно в диапазоне $S = 4000–7000$ м.д.п.) – весьма существенно. В частности, здесь цикл № 18 имеет такие большие пятна, которых в цикле № 19 вообще не было.

ИЗМЕНЕНИЕ ДИАМЕТРОВ НАИБОЛЬШИХ ПЯТЕН СО ВРЕМЕНЕМ

Интересную особенность солнечной активности в XX ст. подметил В.Н.Ишков [4]: он обнаружил, что в 18 цикле (1944–1954 гг.) возникали аномально большие пятна – с площадью около 6000 миллионных частей полусферы (м.ч.п.), тогда как в других циклах за последние 100 лет площадь пятен не превышала 3000–4000 м.д.п.

Поскольку цикл № 18 попадает в число «аномальных» по рассмотрению параметра α (см. выше), было более детально изучено изменение диаметров наибольших пятен от цикла к циклу.

Оказалось, что если брать не максимальные за год значения (как в работе В.Н.Ишкова), а за месяц, то имеем зависимость, представленную на рис. 6. Из нее видно, что наибольшие пятна с площадью свыше 6000 м.ч.п. возникали не в одном цикле, а в двух: № 17 и 18. На третьем месте в этом отношении стоит цикл № 22 – тот же самый, который в рассмотрении параметра α также проявил себя как «аномальный».

Интересно также, что цикл № 19 – наиболее мощный по числам Вольфа в вековом цикле – почти никак не проявил себя среди других циклов по максимальной площади пятен: в нем максимальная площадь пятен только в один месяц была близка к 4000 м.ч.п. Видно, что наибольшие по размерам пятна были в такие годы: 1939, 1946, 1947 и 1989.

Заметно также, что кривые изменений площадей солнечных пятен не имеют такой очевидной и красивой асимметрии, как кривые чисел Вольфа. Максимальные по размерам пятна возникали на фазе максимума или спада циклов, но никогда – на фазе минимума.

Таким образом, данные прямых измерений диаметров подтверждают, что по крайней мере два цикла, а именно №№ 17 и 18, были

несколько необычными. Построенные для них дифференциальные и интегральные зависимости явно указывают на особенность типа второй моды в области особо больших пятен с диаметрами 140–180 Мм. Эта вторая мода выделяется и по показателю α , и непосредственно – по появлению особо больших пятен на временной зависимости (Рис. 6).

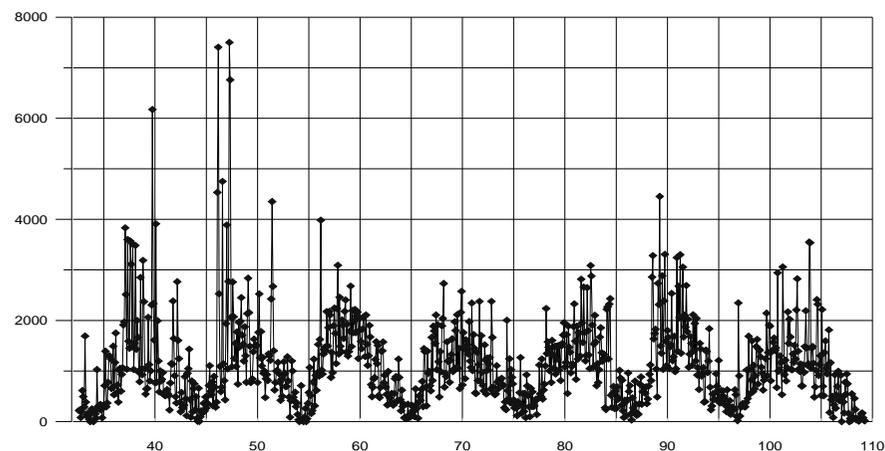


Рис. 6. Площади наибольших за месяц солнечных пятен (по оси ординат, в м.ч.п.) для семи последних солнечных циклов. Данные по оси абсцисс представлены в таком формате: 40 соответствует 1940 г., 100 – 2000 г., 110 – 2010 г. и т.д.

ВЫВОДЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для последних семи циклов (№№ 17–23) найдено, что в интегральных распределениях в диапазоне диаметров 50–90 Мм показатель распределения α в среднем равен 6.0 и не зависит от чисел Вольфа. В большинстве циклов (в четырех из семи) величина α зависит от фазы цикла следующим образом: она больше на фазе роста, имеет промежуточное значение в фазе максимума и минимальна на спаде активности. Иначе ведут себя три цикла, а именно №17, 18 и 22, в которых параметр α либо не меняется с фазой цикла, либо эти

изменения отличны от указанных выше. Оказалось, то циклы № 17 и 18 «аномальны» также в том отношении, что в них наблюдались наибольшие за последние 80 лет солнечные пятна – с диаметром до 140–180 Мм.

Создается впечатление, что в «аномальных» циклах №№ 17, 18 и 22 существовали два статистических ансамбля солнечных пятен: обычные пятна и гигантские. По-видимому, это были не совсем независимые ансамбли, точнее, первый ансамбль как-то зависел от второго. Действительно, параметр α в «аномальных» циклах, определенный по пятнам диаметра 50–90 Мм (т.е. по обычным пятнам), изменялся с фазой цикла иначе, чем в «нормальных» циклах. Представляется более вероятным, что если бы это были совсем физически независимые ансамбли, появление второго ансамбля (гигантских пятен) не изменяло бы статистику обычных пятен.

Обратим внимание на то, что показатель распределения α для обычных пятен в годы «аномальных» циклов был в целом меньше, чем в годы нормальных циклов (Рис. 3). Но ведь меньшая величина параметра α указывает на более узкое дифференциальное распределение, то есть меньший разброс диаметров пятен. Отсюда напрашивается такой вывод. Очевидно, поднимающиеся из недр Солнца на поверхность гигантские пятна частично «засасывали» в себя обычные пятна, как бы очищая конвективную зону от мелких концентраций магнитного потока. Это и приводило к большей однородности ансамбля обычных пятен, выразившееся в снижении параметра α .

С чем могло быть связано появление гигантских пятен? Здесь можно предположить следующее.

1. Возможно, их появление связано с резкими изменениями углового вращения Солнца. В работе [8] показано, что в нечетных циклах среднее значение скорости экваториального вращения больше, чем в четных циклах. Использовались Гринвичские (1879-1976) и NOAA (1977-2002) данные о группах пятен. Резкие уменьшения обнаружены от цикла 13 к циклу 14 ($0.017 \mu\text{rad s}^{-1}$), от цикла 17 к циклу 18 ($0.008 \mu\text{rad s}^{-1}$) и от цикла 21 к циклу 22 ($0.016 \mu\text{rad s}^{-1}$). На основании этого делается вывод о том, что в эти периоды времени происходили резкие изменения дифференциального вращения

Солнца. Поскольку в настоящей работе также найдены особенности в распределениях пятен в 17, 18 и 22 циклах, то это может быть следствием таких изменений дифференциального вращения Солнца.

2. Возможно, эти особо большие пятна образовались в дискретной области конвективной зоны, где условия генерации сильных магнитных полей существенно отличаются от обычных. При подъеме соответствующих магнитных комплексов на поверхность, они при прохождении через толщу конвективной зоны частично меняли статистику обычных пятен (как предположено выше).

3. Особо большие пятна могут быть своеобразными кусками «реликтовых» магнитных полей солнечного ядра, всплывающих на поверхность транзитом сквозь зону лучистого переноса и конвективную зону.

На данный момент, по-видимому, еще рано судить, какая из этих гипотез представляется более вероятной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабій В.П., Лозицький В.Г. Особливості інтегрального розподілу діаметрів сонячних плям у 20-23 циклах сонячної активності // Вісник Київського нац. ун-ту ім. Т.Шевченка. Астрономія. – 2009. – Вип. 45. – С. 43–46.
2. Витинский Ю.И., Конецкий М., Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 296 с.
3. Гершберг Р.Е. Вспыхивающие звезды малых масс. – М.: Наука, 1978. – 127с.
4. Ишков В.Н. Двадцать третий цикл солнечной активности // Земля и Вселенная. – 2001. – № 2. – С. 3–12.
5. Курочка Л.Н. Распределение по энергиям 15000 солнечных вспышек // Астрон. журн. – 1987, Т. 64, № 2. – С.
6. Обридко В.Н. Солнечные пятна и комплексы активности. – М.: Наука, 1985. – 256 с.
7. Соловьев А.А., Наговицын Ю.А. Развитие диффузионной модели солнечного цикла: новый взгляд на структуру и природу хэйловской магнитной пары // Труды IX Пулковской Международной конференции по физике Солнца “Солнечная активность как фактор космической погоды”, ГАО РАН, Санкт-Петербург, 4-9 июля 2005 г. – С. 447–452.
8. Javaraiah J. Prediction of strengths of long-term variations in sunspot activity // Solar Phys. – 2003. – Vol. 212. – P. 23–49.

УДК 523.98

А. В. Баранов, Л. Ф. Лазарева

АНАЛИЗ ПРОФИЛЕЙ КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛИНИЙ Fe I 609.365 и 609.437 нм В СПЕКТРАХ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Для измерения магнитного поля в пятнах часто используют линии с малым фактором Ланде g , в частности Fe I $\lambda\lambda$ 609.37 ($g=0.33$, линия 1) и 609.42 ($g=-0.25$ нм, линия 2). Они показывают в пятне расщепление одного знака. Для анализа этого эффекта выполнено интегрирование уравнений переноса излучения. Изменение температуры с τ полагалось равным $\Theta(\tau) = \Theta_p(\tau) + \Delta\Theta$ в модели пятна Книра. Форма g_v -профилей зависит от $\Theta(\tau)$ и при определенных условиях они могут показать расщепление другого знака. Причина – структура расщепления линии: ((-11, 0), -7, 4, 15)/6 с интенсивностью компонент ((6, 4), 6, 3, 1)/20 соответствует линии излучения. Если же профили заданы формулами Унно, магнитное поле продольно, $\mu = \cos\theta = 1$, $\beta_0 \gg 1$ имеем $g_v = 0.5[1/(1 + \eta_r) - 1/(1 + \eta_l)]$, η_l и η_r – отношения коэффициентов поглощения в группах σ_+ и σ_- -компонентов к коэффициенту поглощения в непрерывном спектре. Если для самого слабого из σ_- -компонент линии $\eta_0 > 10$, то «солнечное» значение $g \approx 0.6$. Кажущийся рост g в 2 раза отмечен и для линии 1.

Большинство исследователей физических условий в солнечной атмосфере предпочитают использовать, при измерении напряженности магнитного поля H и лучевых скоростей V_z , спектральные линии с большим фактором Ланде. Однако оптимальным подобный выбор является не всегда. Так, для широко используемых линий Fe I 525.02 и 630.25 нм в магнитографических измерениях возникают определенные сложности использования калибровочной кривой при измерениях напряженности магнитного поля в солнечном пятне, возникающие из-за смещения точки максимальной крутизны профиля линии по отношению к щели магнитографа. По той же причине