

УДК 523.98

## Пространственное распределение солнечных вспышек в первой половине 23 цикла солнечной активности

З.С. Ахтемов<sup>1</sup>, В.Г. Файнштейн<sup>2</sup>, Н.Н. Степанян<sup>1</sup>, Г.В. Руденко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», 98409, Украина, Крым, Научный  
*nataly@crao.crimea.ua*

<sup>2</sup> ИСЗФ СО РАН, 664033, Российская Федерация, Иркутск  
*vfain@iszf.irk.ru*

Поступила в редакцию 19 декабря 2011 г.

**Аннотация.** Рассмотрены H-альфа вспышки, сопровождавшиеся рентгеновским излучением мощностью  $f \geq 10^{-6} \text{ w m}^{-2}$ . За первую половину 23 цикла солнечной активности (1997–2000 гг.) зарегистрирована 2331 вспышка. Удельная мощность рентгеновского излучения вспышек монотонно возрастает в 2 раза от минимума цикла к его максимуму. Число вспышек в каждом обороте Солнца растет со временем немонотонно и непропорционально относительному числу солнечных пятен.

Для всего временного интервала можно выделить несколько долготных интервалов с повышенной вспышечной активностью. Они существуют 5–10 оборотов. Долготные распределения вспышек и границ секторных структур крупномасштабного магнитного поля существенно различаются. Это подтверждает существование двух типов нулевых линий. Первый определяется активными областями, а второй – крупномасштабными структурами со слабым магнитным полем. Вспышки концентрируются у хейловских нулевых линий первого типа.

THE SPATIAL DISTRIBUTION OF SOLAR FLARES IN SOLAR CYCLE 23, by Z.S. Akhtemov, V.G. Fainshtein, N.N. Stepanian, G.V. Rudenko. The H-alpha flares accompanied by X-radiation are examined. The analysis of a change of some flare characteristics during the first half of the cycle 23 was carried out. For the first half of solar cycle 23 (1997–2000) 2331 flares accompanied by X-ray emission with the power  $f \geq 10^{-6} \text{ w m}^{-2}$  have been registered. The power of X-radiation of the mean flare increased by a factor of 2 monotonically from the minimum of cycle to its maximum. The number of flares in each solar rotation is disproportionate to the relative number of sunspots. For the entire time interval it is possible to isolate several longitudinal intervals with the increased flare activity. They exist during 5–10 rotations. The longitudinal distributions of flares and boundaries of sector structures are distinguished considerably. This confirms the existence of two types of zero lines. The first type is determined by active regions, the second type – by the large-scale structures with the weak magnetic field. Flares are concentrated near Hale's zero-lines of the first type.

**Ключевые слова:** Солнце, вспышки, секторная структура

---

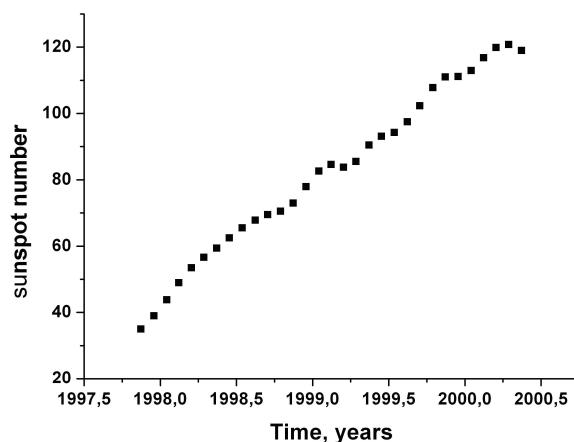
## 1 Введение

Последние два года группой сотрудников НИИ «КрАО» (Украина) и ИСЗФ (Россия) выполняется проект «Влияние места возникновения солнечных образований на их эволюцию». Вышли из печати статьи Перебейнос и др. (2011), Файнштейна и др. (2011), Малашук и др. (2011). Основой проекта являются наблюдательные данные разного типа за 23 цикл солнечной активности и расчеты крупномасштабного магнитного поля в атмосфере Солнца на высотах от фотосферы до поверхности источника за это же время.

В работе Файнштейна и др. (2011) найдено два типа нулевых линий крупномасштабного магнитного поля. Они различаются по времени жизни, скорости вращения и высоте распространения. Сделан вывод о природе возникновения обоих типов нулевых линий. Один тип определяется активными областями, а второй – слабым (фоновым) магнитным полем. В вышеназванных работах рассмотрена также связь пятен и корональных дыр с нулевыми линиями обоих типов.

Настоящая работа выполнена в рамках этого же проекта. Изучение вспышек проведено на материалах наблюдений и расчетов для первой половины 23 цикла от минимума активности в 1997 г. до максимума 2000 г. Это соответствует кэррингтоновским оборотам от CR1929 по CR1961. Для представления о размахе изменения активности в течение этого времени на рис. 1 дано сглаженное изменение относительных чисел солнечных пятен за этот период, взятое на сайте Королевской обсерватории Бельгии (<http://sidc.oma.be/sunspot-data>).

Каждая точка на графике – среднее за месяц значение относительного числа солнечных пятен (чисел Вольфа в старой терминологии).



**Рис. 1.** Изменение относительных чисел солнечных пятен с 1997 по 2000 гг.

Вопрос о пространственном распределении вспышек имеет давнюю историю. Итог этих исследований подведен в монографии Витинского (1983). Кратко его можно сформулировать так: по наблюдениям в линии H-альфа за достаточно длительный период получено, что вспышки возникают в широтной зоне существования групп солнечных пятен. Долготное распределение вспышек достаточно равномерное. Это относится ко всем вспышкам вне зависимости от их балла. Наиболее сильные вспышки показывают некоторую концентрацию к активным долготам, определенным по группам пятен за длительный интервал времени. Кроме того, наблюдается концентрация сильных вспышек к хейловским границам секторов крупномасштабного

магнитного поля. Последнее кажется тривиальным. Ведь вспышки в основном возникают в активных областях, магнитное поле которых разделено хейловской границей (граница между хвостовой и ведущей полярностью в активной области). В 23 цикле в северной полусфере это были границы перехода от «-» магнитного поля к «+» полю («-/»-граница) при движении по долготе от  $0^\circ$  к  $360^\circ$ . В южной полусфере хейловская граница «+/-».

В настоящей работе рассмотрены Н-альфа вспышки, сопровождавшиеся рентгеновским излучением. Проведен анализ изменения со временем их энергетических характеристик. Изучена связь вспышек с нулевыми линиями крупномасштабного магнитного поля, рассчитанного для высот от фотосферы до поверхности источника на высоте 2.5 радиуса Солнца. Проведено сравнение долготного распределения вспышек с секторной структурой магнитного поля Солнца.

## 2. Изменение со временем энергетических характеристик вспышек

Для решения этой задачи было рассмотрено рентгеновское излучение, связанное с конкретными солнечными вспышками, наблюдавшимися в линии Н-альфа, координаты этих вспышек и активных областей, в которых они произошли.

Данные по вспышкам взяты на сайте SWPC ([www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/warehouse.html](http://www.swpc.noaa.gov/ftpmenu/warehouse.html)).

Из архивных файлов выбирались вспышки типа FLA (оптические вспышки, наблюдаемые в Н-альфа), сопровождаемые рентгеновским излучением классов С, М и Х (тип XRA – X-ray event from SWPC's Primary or Secondary GOES).

Если принять, что  $f$  – плотность потока излучения в  $\text{wm}^{-2}$  с длиной волны в пределах 0.1–0.8 nm, то для классов С, М, и Х интервалы  $f$  следующие:

$$10^{-6} \leq f < 10^{-5} \text{ для класса С, } 10^{-5} \leq f < 10^{-4} \text{ для класса М и } f \geq 10^{-4} \text{ для класса Х.}$$

На основе выбранных данных составлены таблицы вспышек для кэррингтоновских оборотов CR1929–CR1961, включающие: дату, время начала рентгеновского события, широту и долготу места вспышки, класс и величину плотности потока рентгеновского излучения, сопровождавшего вспышку. В дальнейшем вычислялась и вписывалась в эту таблицу гелиографическая широта и долгота активной области, в которой произошла вспышка.

По плотности потока излучения вспышки были разбиты на 2 класса: сильные ( $f > 5 * 10^{-6}$ ) и слабые ( $10^{-6} \leq f \leq 5 * 10^{-6}$ ).

В нашем случае понятие слабой вспышки относительно, так как есть вспышки более слабые, с плотностью потока рентгеновского излучения  $f < 10^{-7}$  (класс А) и  $10^{-7} \leq f < 10^{-6}$  (класс В).

В рассмотрении вошли 2331 вспышка. Из них 308 сильных вспышек и 910 слабых вспышек в N-полусфере, 325 сильных и 788 слабых в S-полусфере за период с 02.11.1997 по 19.04.2000.

На рис. 2 представлено число вспышек этих двух классов в каждом обороте в N-полусфере для всего рассмотренного интервала времени.

Как видно на этих графиках, число вспышек мало меняется от начала цикла до оборота CR1938. Затем в оборотах CR1939–CR1945 наблюдается резкое возрастание числа вспышек. Это относится как к сильным вспышкам, так и к слабым. В дальнейшем колебания числа вспышек от оборота к обороту находятся в пределах от 15 до 60 для слабых вспышек и от 5 до 25 для сильных. Монотонный рост числа вспышек со временем не наблюдается. Хотя относительное число пятен за время от оборота CR1929 до CR1961 монотонно росло и увеличилось в три раза.

Была определена средняя по обороту мощность потока излучения, приходящаяся на одну вспышку. Для N-полусферы она представлена на рис. 3.

Если не учитывать данные за обороты 1930, 1939, 1943, когда произошли аномально сильные вспышки, то от минимума до максимума активности наблюдается рост удельной мощности излучения вспышек обоих классов в 2 раза.

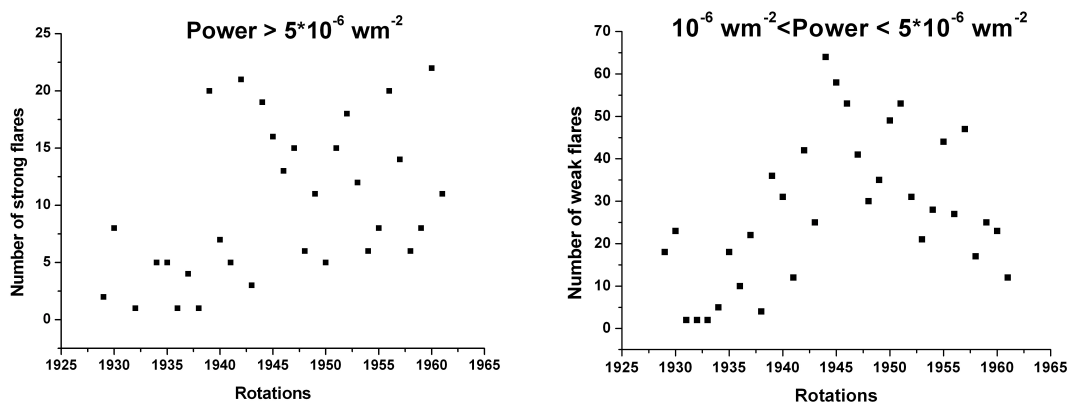


Рис. 2. Число сильных ( $f > 5 \cdot 10^{-6}$ ) и слабых ( $10^{-6} \leq f \leq 5 \cdot 10^{-6}$ ) вспышек в каждом обороте в N-полусфере

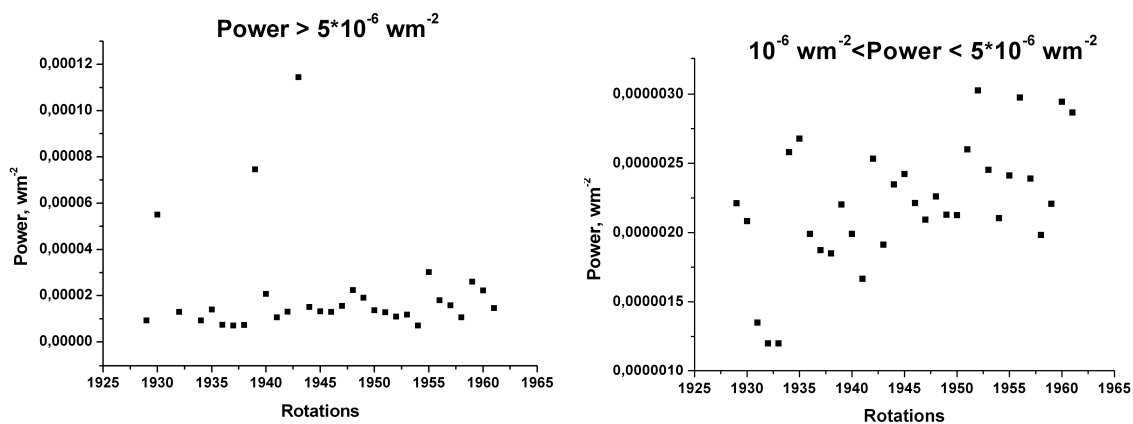


Рис. 3. Средняя по обороту мощность потока излучения, приходящаяся на одну вспышку в N-полусфере

Изменение со временем суммарной мощности излучения вспышек в одном обороте представлено на рис. 4. На нем виден скачок суммарной мощности вблизи оборота CR1938 для вспышек с  $f > 5 \cdot 10^{-6}$  и всплеск около CR1945 для вспышек с  $10^{-6} \leq f \leq 5 \cdot 10^{-6}$ , как и на графиках для числа вспышек. Остальное время суммарная мощность практически не меняется.

Из рассмотрения мощности излучения вспышек в пределах двух классов можно сделать следующие выводы.

- Средняя в обороте мощность рентгеновского излучения, приходящаяся на одну вспышку, возрастает от минимума цикла к его максимуму монотонно в 2 раза. Исключение составляют обороты 1930, 1939 и 1943 в начале цикла (рис. 3).
- Число вспышек в каждом обороте Солнца растет немонотонно и непропорционально относительному числу пятен.

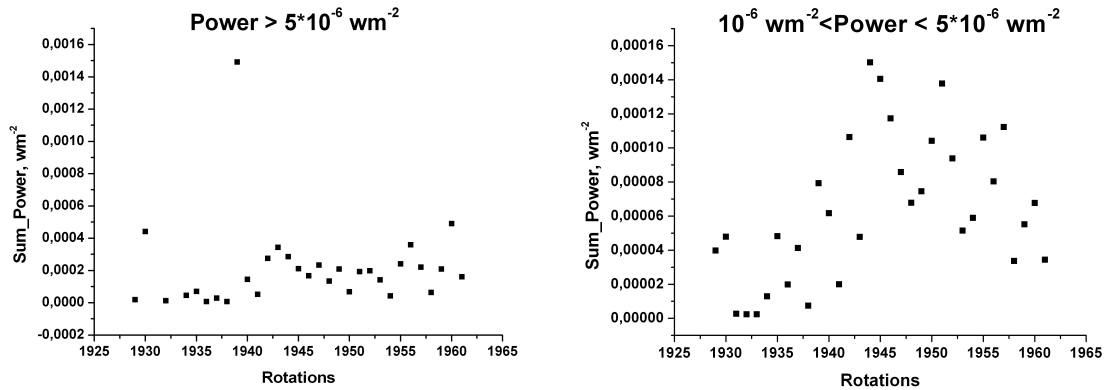


Рис. 4. Изменение со временем суммарной мощности излучения вспышек в одном обороте

### 3. Изменение со временем пространственного распределения вспышек

По данным таблицы, описанной выше, для каждого кэррингтоновского оборота были построены синоптические карты вспышек. Пример такой карты дан на рис. 5.

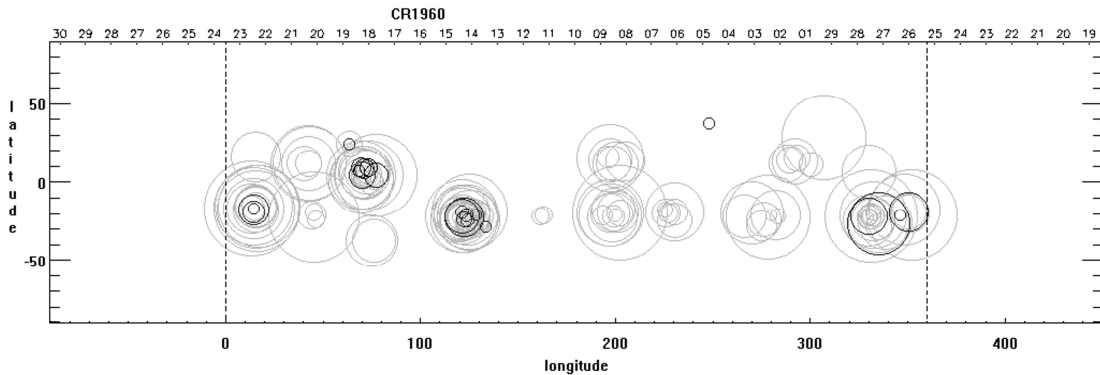


Рис. 5. Синоптическая карта одного оборота CR 1960 (25.02.2000 – 23.03.2000) с нанесенными данными о вспышках. Контрастность окружностей характеризует класс рентгеновского излучения вспышки. Слабая контрастность – С-вспышки, средняя – М и сильная – Х. Радиус окружности пропорционален мощности потока рентгеновского излучения в данном классе мощности

На всех картах такого типа видно, что вспышки рассмотренной нами мощности сосредоточены в отдельных вспышечных центрах. В большинстве случаев такие центры совпадают с активными областями. Они, в свою очередь, группируются в более крупные структуры, занимающие по долготе  $30^{\circ}$ – $50^{\circ}$ . Условно назовем их активными центрами. Мы не претендуем на совпадение этих активных центров с центрами активности, введенными в работах Банина, Язева (1991) и Банина и др. (1991).

Пространственное распределение солнечных вспышек...

Число вспышечных центров в каждом обороте растет с развитием цикла. Но даже в максимуме цикла оно невелико. На рис. 6 приведено изменение числа вспышечных центров со временем в N- и S-полусферах.

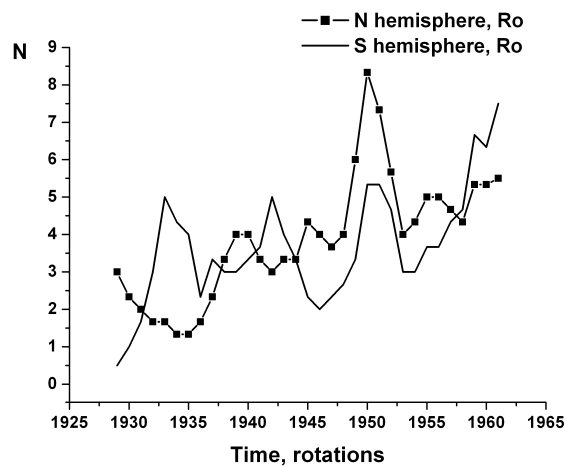


Рис. 6. Изменение со временем числа вспышечных центров в N- и S-полусферах

Как видно из этого рисунка, количество вспышечных центров в N- и S-полусферах по-разному меняется со временем.

Долготное распределение вспышек определялось отдельно для сильных и слабых вспышек в N- и S-полусферах. Были рассмотрены распределения как числа вспышек, так и их мощности.

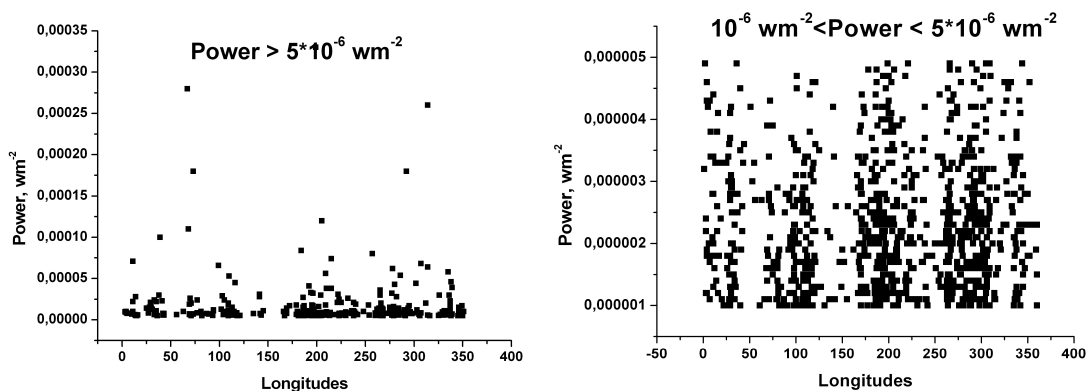


Рис. 7. Распределение мощности сильных и слабых вспышек: по долготе в N-полусфере за 33 оборота

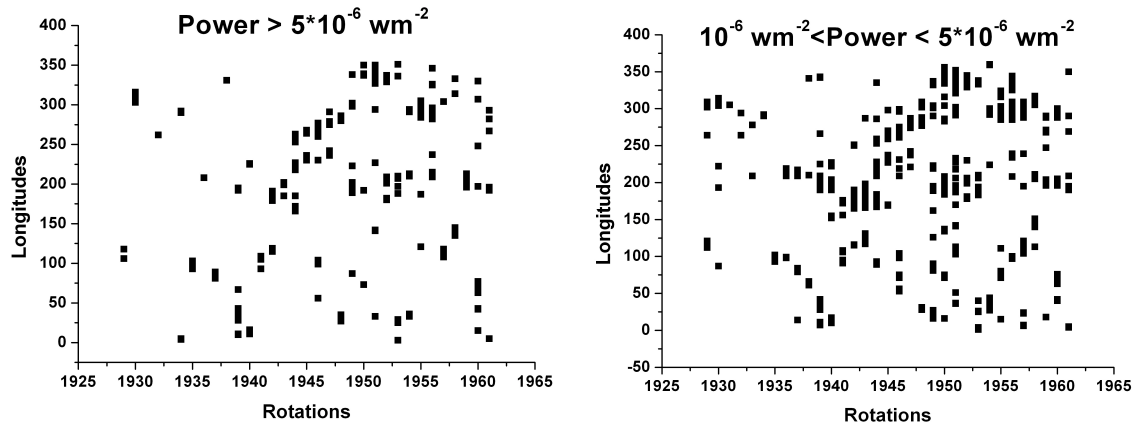


Рис. 8. Изменение со временем долготного распределения вспышек в N-полусфере

Мы не будем говорить об активных долготах в общепринятом смысле. В монографии Витинского (1983) активной долготой называется интервал долгот в  $30^{\circ}$ – $40^{\circ}$ , в котором суммарное число событий (в нашем случае вспышек) за длительное время, сравнимое с длиной цикла, существенно превышает число событий в среднем на всех долготах. Обзор литературы об активных долготах для более поздних лет дан Плюсниной (2010). В частности, в ее работе говорится о существовании активных долгот в течение десяти циклов. Мы же рассматриваем временной интервал в половину цикла. Долготу назовем активной, если на ней вспышечные центры существовали не менее пяти оборотов подряд.

Распределение мощности вспышек: по долготе за все 33 оборота для N-полусферы представлено на рис. 7.

На графиках рис. 7 хорошо видна неравномерность распределения вспышек по долготе. Особенно хорошо это видно для слабых вспышек. Причем увереннее можно говорить не об активных, а о пассивных долготах. Можно выделить 4 интервала долгот с центрами  $50^{\circ}$ ,  $150^{\circ}$ ,  $250^{\circ}$  и  $330^{\circ}$ , в которых вспышек заметно меньше, чем на остальных долготах. Самая большая зона отсутствия вспышек наблюдается вокруг долготы  $150^{\circ}$ . Все эти интервалы просматриваются и для сильных вспышек.

Изменение со временем долготного распределения вспышек было определено отдельно для сильных и слабых вспышек без учета мощности конкретных вспышек.

Результат для N-полусферы дан на рис. 8.

Анализ распределений слабых вспышек по долготе в первой половине 23 цикла в N-полусфере позволяет сделать следующие выводы:

- Все время от минимума цикла до его максимума большинство вспышек возникало в области долгот  $160^{\circ}$ – $350^{\circ}$  (840 из 910 в N-полусфере).
- Нет активных долгот, существовавших весь рассматриваемый период.
- Можно выделить 7 активных центров, существовавших около 6 оборотов. Большинство из них вращалось с кэррингтоновским периодом (27.25 дней), один с периодом 27.9 дней и один с периодом 26.75 дней. Подробнее о них:
  - До оборота CR1935 можно отметить постоянную активность на долготы  $300^{\circ}$  в течение 6 оборотов.
  - В обороте CR1935 возникло два вспышечных центра на долготах  $100^{\circ}$  и  $220^{\circ}$ . Первый из них вращался в течение 6 оборотов с периодом 27.9 суток. Это на 0.7 суток

больше, чем кэррингтоновский период. Второй вспышечный центр (на долготе  $220^\circ$ ) существовал до оборота CR1940 и вращался с кэррингтоновским периодом 27.25 суток.

- В области долгот  $160^\circ$ – $240^\circ$ , начиная с оборота CR1935, существовало 5 активных центров. Время жизни каждого не превышало 6 оборотов. Занимаемые интервалы долгот лежат в пределах  $20^\circ$ – $60^\circ$ . Период обращения всех центров кэррингтоновский.
- В обороте CR1944 на долготе  $250^\circ$  возникает активный центр. Он существует в течение 7 оборотов. Его период обращения меньше кэррингтоновского (26.75 суток).
- Начиная с оборота 1950, наблюдаются еще 2 активных центра на долготах  $340^\circ$  и  $300^\circ$ . Они существуют 5 и 7 оборотов соответственно и вращаются с кэррингтоновским периодом.

Сильные вспышки возникали во всех этих активных центрах.

#### 4. Связь вспышек с магнитным полем на разных высотах в атмосфере Солнца

##### 4.1. Определение магнитного поля на разных высотах

Исходным материалом для этой части работы послужили ежедневные магнитограммы полного диска Солнца, полученные в обсерватории Китт-Пик. По ним проводились расчеты магнитного поля в короне в потенциальном приближении с использованием Vd-технологии (Руденко, 2001). Суть этой технологии заключается в том, что при решении задачи Лапласа для потенциала магнитного поля, в качестве граничного условия на всей видимой поверхности Солнца используется «мгновенное» (усредненное лишь за время измерения магнитограммы) распределение измеряемой продольной компоненты магнитного поля (Vd-компоненты). Метод позволяет получать «мгновенные» распределения магнитного поля над видимой поверхностью Солнца до поверхности источника – сферы радиусом  $R_S = 2.5R_\odot$  ( $R_\odot$  – радиус Солнца). Нами использованы расчеты для семи высот, представленных в табл. 1.

**Таблица 1.** Высоты в атмосфере Солнца, для которых проведены расчеты магнитного поля

Обозначение	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Высота, $R_\odot$	1	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50

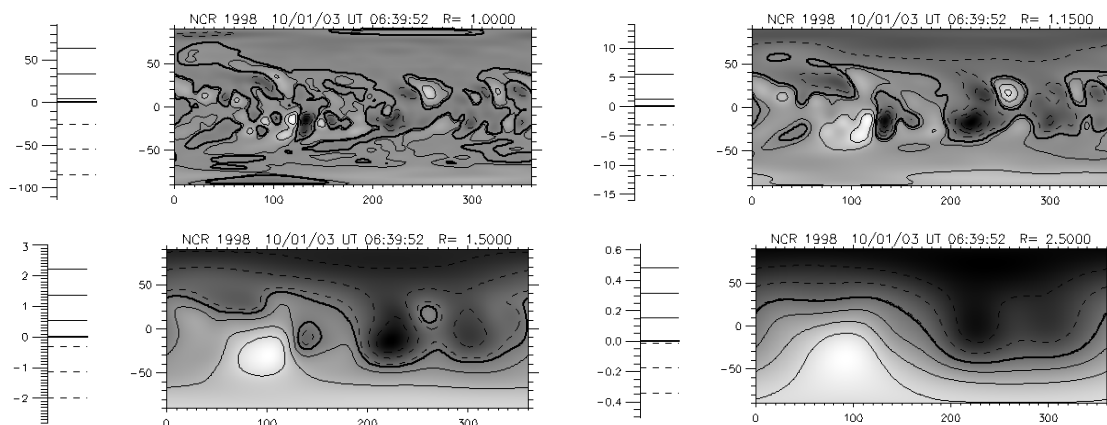
Для каждого оборота Солнца по ежедневным наблюдениям были построены синоптические карты от уровня фотосферы ( $H = R_\odot$ ) до  $H = 2.5 R_\odot$ . Пример таких карт дан на рис. 9.

##### 4.2. Сопоставление вспышек с нулевыми линиями магнитного поля на разных высотах

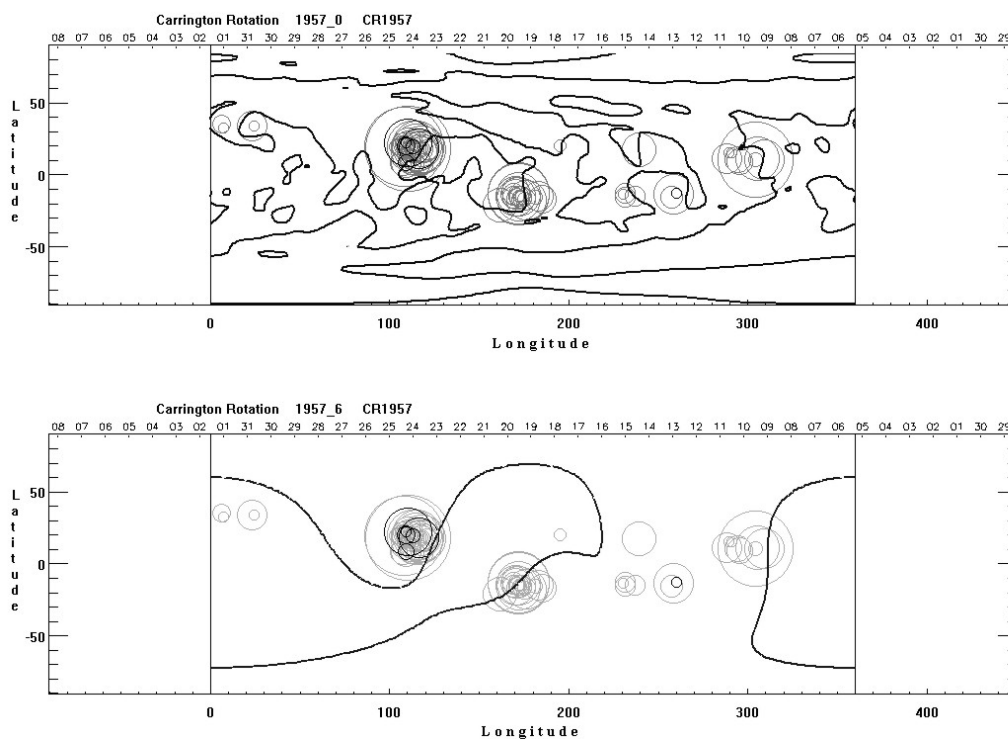
Синоптические карты вспышек накладывались на синоптические карты магнитного поля, построенные для каждой высоты. На рис. 10 показаны такие карты одного оборота на двух высотах.

Для каждой высоты было подсчитано число вспышек, совпадающих с точностью до  $10^\circ$  с нулевыми линиями магнитного поля. Результат подсчета для N- и S-полусфер показан на рис. 11 для всего рассмотренного временного интервала.



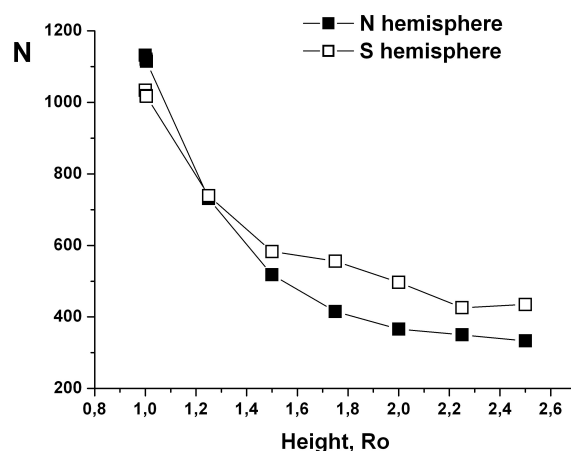


**Рис. 9.** Синоптические карты одного оборота Солнца. На них показаны нейтральная линия (черная жирная линия) и изолинии нескольких значений магнитного поля для высот  $1R_{\odot}$ ,  $1.25R_{\odot}$ ,  $1.5R_{\odot}$ ,  $2.5R_{\odot}$



**Рис. 10.** Синоптические карты магнитного поля одного оборота на высотах  $H = R_{\odot}$  и  $H = 2.5R_{\odot}$  с нанесенными на них синоптическими картами вспышек того же оборота. Черные линии – нулевые линии магнитного поля, центры окружностей – вспышечные центры (обозначения классов рентгеновского излучения на рис. 5)

Вопрос о возможном объяснении эффекта уменьшения с высотой связи групп пятен с нулевыми линиями рассматривался в работе Перебейнос и др. (2011). Одной из причин несовпадения групп пятен с нейтральной линией магнитного поля на поверхности источника является отклонение пояса стримеров от радиального направления по мере удаления от поверхности Солнца (Еселевич и Еселевич, 2002). На поверхности источника конфигурация нейтральной линии повторяет конфигурацию пояса стримеров на этом расстоянии (Уилкокс и Хандхаузен, 1983; Еселевич и др., 1999). Большинство рассмотренных нами вспышек относятся к предмаксимальной и максимальной фазам солнечного цикла. В это время стримеры практически радиальны. Так что можно говорить о реальном уменьшении числа совпадений вспышек с нулевыми линиями на больших высотах.



**Рис. 11.** Изменение с высотой числа вспышек в N- и S-полушариях, связанных с нулевыми линиями магнитного поля

Сравнение с аналогичным графиком из работы Перебейнос и др. (2011) показало, что на больших высотах вспышки теснее связаны с нулевыми линиями, чем группы пятен.

#### 4.3. Сопоставление долготного распределения вспышек с секторной структурой магнитного поля

Для определения секторной структуры Солнца в широтном интервале существования вспышек была проведена следующая операция. На всех синоптических картах отдельно для каждого полушария и каждой высоты находились долготные распределения средних полей, полученных при осреднении карт по широте в интервале  $0^{\circ}$ – $40^{\circ}$ . Область вдоль долготы, занятую средним полем одного знака, назовем сектором. Точки, в которых поле равно нулю – границами секторов. Во всех случаях отдельно фиксировались точки перехода поля при росте долготы от «+» к «-» (граница «+/-») и от «-» к «+» (граница «-/+»).

Определенные таким образом сектора практически совпадают с реальными структурами фоновых полей на больших высотах. Подробно методика построения секторов и их изменение в 23 цикле изложены в работе Файнштейна и др. (2011). Расположение границ секторов двух типов («+/-» и «-/+») на высотах от  $1.25 R_{\odot}$  до  $2.5 R_{\odot}$  в N-полушарии представлено на рис. 12.

Как видим, многие границы не достигают высоты  $1.5 R_0$ . Об этом свидетельствуют одинокие точки соответствующие высоте  $1.25 R_0$ .

На графики, представленные на рис. 12, были наложены долготные распределения сильных и слабых вспышек. На рис. 13 показан результат такого наложения долгот сильных вспышек на границы секторов « $-/+$ » и « $+/-$ » в N-полусфере. Напомним, что граница « $-/+$ » в N-полусфере в 23 цикле является хейловской границей.

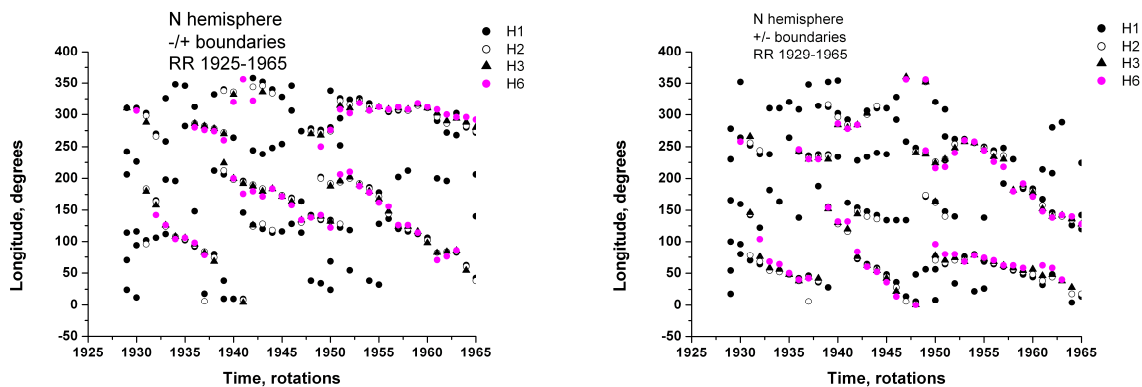


Рис. 12. Границы секторов « $+/-$ » и « $-/+$ » на высотах от  $1.25 R_0$  до  $2.5 R_0$  в N-полусфере

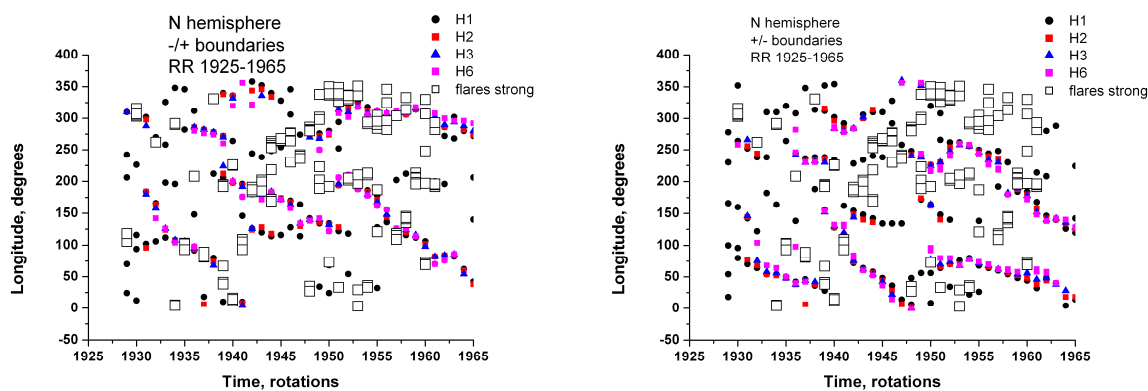


Рис. 13. Долготные распределения сильных вспышек в N-полусфере, наложенные на распределения границ секторов. Левый рисунок « $-/+$ » границы, правый « $+/-$ » границы на высотах  $1.25-2.5 R_0$  (H1–H6) в N-полусфере

Рассмотрение подобных графиков показывает, что вспышки в основном появляются вблизи долгоживущих хейловских границ секторов, распространяющихся на большие высоты. При подсчете совпадений вспышек с « $-/+$ » и « $+/-$ » границами секторов в N-полусфере получено, что из 308 вспышек 80 % лежат в пределах  $10^\circ$  по долготе от хейловской границы (« $-/+$ »). Вблизи границы « $+/-$ » располагаются лишь 3 % вспышек.

Пространственное распределение солнечных вспышек...

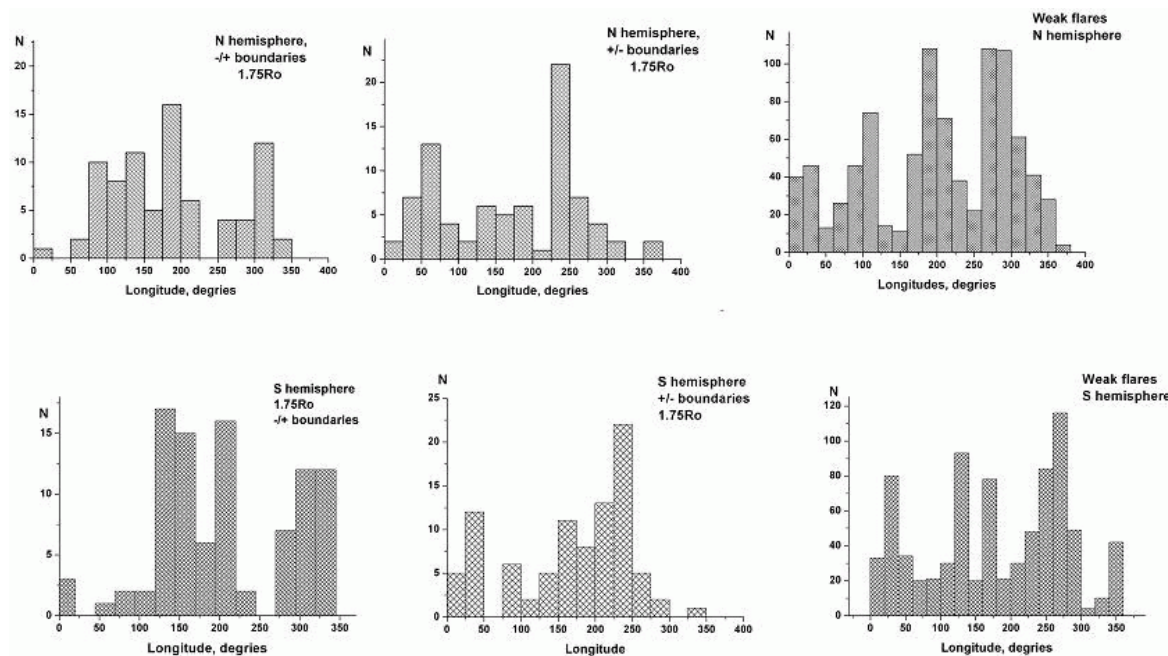
Но далеко не на всех хейловских границах секторов наблюдаются вспышки. Например, на левом графике рис. 13 видно, что на границе, существовавшей с оборота CR1940 по CR1952 на долготах  $140^{\circ}$ – $150^{\circ}$ , нет ни одной сильной вспышки.

Количественно это подтверждается сравнением гистограмм долготных распределений «+/-» и «-/+» границ и слабых вспышек (см. рис. 14).

Распределение вспышек по долготе существенно отличается от распределений как хейловских секторных границ, так и границ с обратными знаками. В частности, в N-полусфере минимум вспышек на долготе  $150^{\circ}$  соответствует довольно большому числу границ секторов «+/-» и «-/+».

Отмеченное выше преобладание вспышек на долготах более  $160^{\circ}$  в N-полусфере сопровождается меньшим количеством границ секторов на этих долготах. Так, на долготах  $L \leq 175^{\circ}$  расположено 35 % вспышек, 65 % границ «-/+» и 50 % границ «+/-».

Это подтверждает полученный нами ранее вывод (Файнштейн и др., 2011) о наличии двух типов нулевых линий. Один тип в основном определяется активными образованиями. Второй тип определяется крупномасштабными структурами со слабым магнитным полем. Эти два типа различаются скоростями вращения, временем жизни и высотной стратификацией.



**Рис. 14.** Долготные распределения числа секторных границ и вспышек в N- и S-полусферах (верхний ряд и нижний ряды соответственно) на высоте  $1.75 R_{\odot}$ . Левый рисунок – границы «-/+», средний – границы «+/-», правый – слабые вспышки

Таким образом, сделанный ранее многими авторами вывод (Витинский, 1983) о преимущественной концентрации вспышек вблизи хейловских границ секторов должен быть уточнен. Мы предлагаем следующую формулировку. Вспышки концентрируются у хейловских границ, определяемых активными областями. С границами крупномасштабных образований обоих типов («-/+» и «+/-») вспышки не связаны.

## 5. Результаты и выводы

Перечислим кратко полученные нами результаты и сделанные из них выводы.

- За первую половину 23 цикла с 1997 до 2000 гг. (CR1929–CR1961) вспышек с мощностью  $f>10^{-6}$   $\text{wm}^{-2}$  было 2331. Из них 1218 вспышек произошло в N-полусфере, 1113 – в S-полусфере.
- Вспышечная активность в каждом обороте сосредоточена в нескольких центрах. Число центров в обороте невелико.
- Число вспышек в каждом обороте Солнца растет со временем немонотонно и непропорционально относительному числу пятен (от 0 до 50 для слабых вспышек и от 0 до 20 для сильных).
- Средняя в обороте мощность рентгеновского излучения, приходящаяся на одну вспышку, возрастает от минимума цикла к его максимуму монотонно в 2 раза. Исключение составляют обороты 1930, 1939 и 1943 в начале цикла.
- Суммарная мощность вспышек за оборот возрастает в 2 раза.
- В числе вспышек и в суммарной мощности за оборот наблюдается резкое увеличение около оборота CR1940.
- Нет одной активной долготы, существующей все время роста активности.
- Для всего временного интервала можно выделить несколько долготных интервалов с повышенной вспышечной активностью. Выделяется зона с пониженной активностью ( $L = 150^\circ$ ).
- Активные долготы существуют 5–10 оборотов.
- Долготные распределения вспышек и границ секторных структур существенно различаются.
- Подтверждено наличие двух типов нулевых линий. Первый определяется активными областями, а второй – крупномасштабными структурами со слабым магнитным полем.
- Вспышки концентрируются у хейловских нулевых линий первого типа.

## Литература

- Банин В.Г., Язев С.А. // Солнечные данные. 1991. № 2 С. 78.  
 Банин В.Г., Язев С.А., Хмыров Г.М. // Солнечные данные. 1991. № 3. С. 116.  
 Витинский Ю.И. // Солнечная активность. М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. лит. 1983. С. 192.  
 Еселевич, Еселевич (Eselevich V.G., Eselevich M.V.) // Solar Phys. 2002. V. 208. P. 5.  
 Еселевич и др. (Eselevich V.G., Fainshtein V.G., Rudenko G.V.) // Solar Phys. 1999. V. 188. P. 277.  
 Малащук и др. (Malashchuk V.M., Rudenko G.V., Stepanian N.N., Fainshtein V.G.) // Bull. Crimean Astrophys. Observ. 2011. V. 107. P. 60.  
 Перебейнос и др. (Perebeynos V.A., Stepanian N.N., Fainshtein V.G., Rudenko G.V.) // Bull. Crimean Astrophys. Observ. 2011. V. 107. P. 51.  
 Плюснина (Plyusnina L.A.) // Solar Phys. 2010. V. 261. P. 223.  
 Руденко (Rudenko G.V.) // Solar Phys. 2001. V. 198. P. 5.  
 Уилкокс и Хандхаузен (Wilcox J.M., Hundhausen A.J.) // J. Geophys. Res. 1983. V. 88. P. 8095.  
 Файнштейн и др. (Fainshtein V.G., Stepanian N.N., Akhtemov Z.S., Rudenko G.V., Silakova E.V.) // Bull. Crimean Astrophys. Observ. 2011. V. 107. P. 51.