

В.В. Касинский¹

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ АНИЗОТРОПИЯ
ХРОМОСФЕРНЫХ ВСПЫШЕК В «КОРОЛЕВСКОЙ»
ЗОНЕ ПЯТЕН И ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ
«БАБОЧЕК» В ОДИННАДЦАТИЛЕТНИХ
ЦИКЛАХ СОЛНЦА**

Широтно-временные векторные диаграммы вспышек за циклы № 17–20 показывают глобальную анизотропию вспышек в системе координат пятен [4–6]. Широтное смещение вспышек $R\phi$ всегда направлено к центру диаграммы «бабочек». Величина анизотропии (R) увеличивается к периферии диаграммы. В случае внутреннего источника энергии пространственное распределение вспышек, усредненное по большому числу, должно быть изотропным, $R(j, t) = 0$. Следовательно, в «королевской» зоне пятен присутствует внешний агент. Центр зоны Шпёрера служит источником глобальных возмущений для вспышек. Эти возмущения «провоцируют» вспышку, когда они достигают группу пятен на другой широте ϕ . Долготные смещения вспышек показывают эффект аберрации. Вспышки высокоширотных групп имеют положительный « $+\lambda$ -сдвиг» (к западу), в то время как низкоширотные группы – отрицательный « $-\lambda$ -сдвиг» (к востоку). Эффект аберрации дает скорость вспышечного возмущения порядка 1–2 км/с.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наиболее полно изучены сильные вспышки (баллов 2 и 3). Яркие детали вспышек напоминают вытянутые яркие ленты [1]. Хорошо изучена двухленточная структура (протонные вспышки) по обе стороны от нулевой линии магнитного поля. Все это говорит о неслучайной связи сильных вспышек с магнитными полями пятен [1, 2].

¹ 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ИрГТУ, E-mail: kasinsvv@yandex.ru.

Эти хорошо известные факты не относятся к слабым вспышкам (субвспышкам). Субвспышки составляют около 90% всех вспышек. Возникает вопрос: каким образом можно исследовать точечные изолированные образования (субвспышки) с той же степенью полноты, что и сильные вспышки? Результат зависит от исходного материала. С 1934 г. МАС издает специальный бюллетень (начало «Бюллетень» № 45, 1939) «Quarterly Bulletin of Solar Activity» [15], содержащий следующие данные: станция, дата, время начала, максимума вспышки, ее гелиографические координаты φ (широта) и λ (долгота), площадь вспышки в миллионных долях диска (м.д.д.) и т.д. Следует отметить, что в каталоге [15] и «сильные» (большие), и слабые вспышки есть точечные образования с фиксированными координатами (φ , λ). В этом смысле методики обработки сильных и слабых вспышек не различаются. Различить их можно только по признаку площади. Здесь принимается, что условно «сильные» вспышки каталога [15] имеют $S \geq 50$ м.д.д.

Так как все вспышки в [15] есть точечные образования, то их можно охарактеризовать положением относительно центра группы пятен. Разность положений «пятно – вспышка» является некоторым вектором R [4, 5]. Рассчитав R для определенных интервалов времени и широты и нанеся результаты на координатную плоскость «широта–время», получим векторную диаграмму «бабочек» вспышек $R(\varphi, t)$.

В случае, если эта разность (R), усредненная по всем вспышкам в группе близка к нулю, процесс вспышкообразования можно считать случайным. В случае, если эта разность не равна нулю (есть значимая асимметрия), результат следует признать неслучайным, требующим адекватного объяснения.

Распределение $R(\varphi, t)$ сначала было исследовано в солнечных циклах № 17–19 [5, 6] и далее распространено на цикл № 20 [7, 8]. В данной работе исследуется степень асимметрии распределения вспышек относительно центра группы пятен как для слабых вспышек за период 1955–1970 г., так и для условно «сильных» вспышек, наблюдавшихся в эпоху 1980–1983 г.

Векторные диаграммы вспышек интерпретируются автором настоящей работы с точки зрения внешнего триггерного механизма вспышек. Предполагается, что из центра диаграммы $R(\varphi, t)$ – «шпё-

ровского» эпицентра – исходит некоторое возмущение, которое по достижении групп пятен возбуждает вспышки.

ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ ШИРОТНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ВСПЫШЕК

Степень асимметрии положения вспышек относительно центра группы можно характеризовать расстоянием R «пятно–вспышка» [4, 5]. Усредняя расстояние R всех вспышек, зафиксированных в одной группе пятен, получим величину R как «вектор» среднего расстояния вспышек от центра этой группы φ_s . Затем, усредняя R по всем группам в некотором интервале на « φ – t »-диаграмме, мы получим широтно-временную диаграмму $R(\varphi, t)$ – векторную диаграмму вспышек. Распределение $R(\varphi, t)$ сначала было исследовано в циклах № 17–19 [5, 6] и далее распространено на цикл № 20 [7].

Построение векторной диаграммы вспышек заключается в определении положения каждой вспышки относительно координаты центра группы. Широта группы φ_s практически не меняется [1, 2]. Зная φ_s , определим среднее смещение вспышек по широте в группах пятен:

$$R(\varphi, t) = \frac{1}{N} \sum_1^N \frac{1}{n} \sum (\varphi_i - \varphi_s), \quad (1)$$

где φ_s – широта активной области, φ_i – широта вспышки по [15]. Величина $\Delta\varphi = \varphi$ в (1) усредняется сначала по всем n вспышкам в группе, а затем по всем N группам в интервале диаграммы с шагом $\Delta\varphi = 5^\circ$ по широте и поквартально во времени t . Сначала векторные диаграммы были построены в циклах № 17–19 [6]. Мы рассмотрим векторную диаграмму сначала на примере циклов № 19 и № 20.

Количество всех вспышек баллов 1+, 2 и 3, вошедших в обработку, насчитывает 16 470 в северном полушарии и 11 300 в южном за период 1954–1964 г. (цикл № 19). Как видно из рис. 1, высокоширотные и низкоширотные зоны пятен дают смещения вспышек, направленные в центр диаграммы «бабочек». Таким образом сам процесс вспышкообразования выделяет середину диаграммы «бабочек», область максимальной частоты появления пятен, где расположен «шпё-

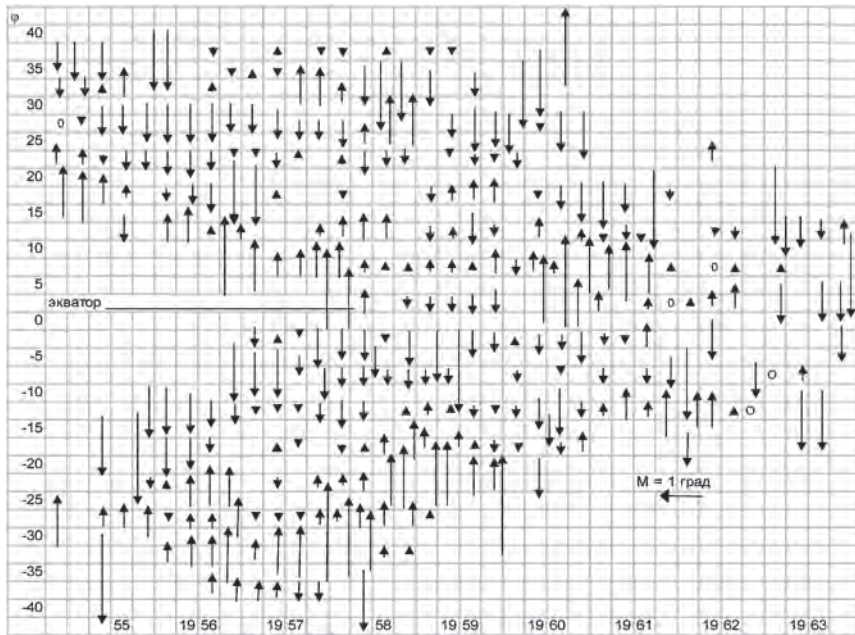


Рис. 1. Векторная диаграмма широтных смещений вспышек в 19-м цикле с разрешением 5° по широте и один квартал по времени. По оси абсцисс – годы (1955–1963). Справа дан масштаб векторов (1 градус). Кружки и ноли – места нулевых векторов

еровский» эпицентр [3]. То есть картина распределения $\mathbf{R}(\varphi, t)$ носит далеко не случайный характер.

Векторная диаграмма «бабочек» в 20-м цикле (3060 вспышек) качественно не отличается от диаграммы цикла № 19 (рис. 2). Из векторной диаграммы видна основная тенденция: каждое крыло «бабочки» делится на примерно две половины, в которых векторы \mathbf{R} направлены преимущественно к центру. Максимальные смещения наблюдаются на периферии « φ - t »-диаграммы. В центре $\mathbf{R} \rightarrow 0$. Таким образом, можно сказать, что вспышечная активность пятен не изотропна в широтном направлении и степень анизотропии (R) нарастает к периферии диаграммы. Изотропия дислокаций вспышек (условие $R = 0$) наблюдается только в центральных частях диаграммы.

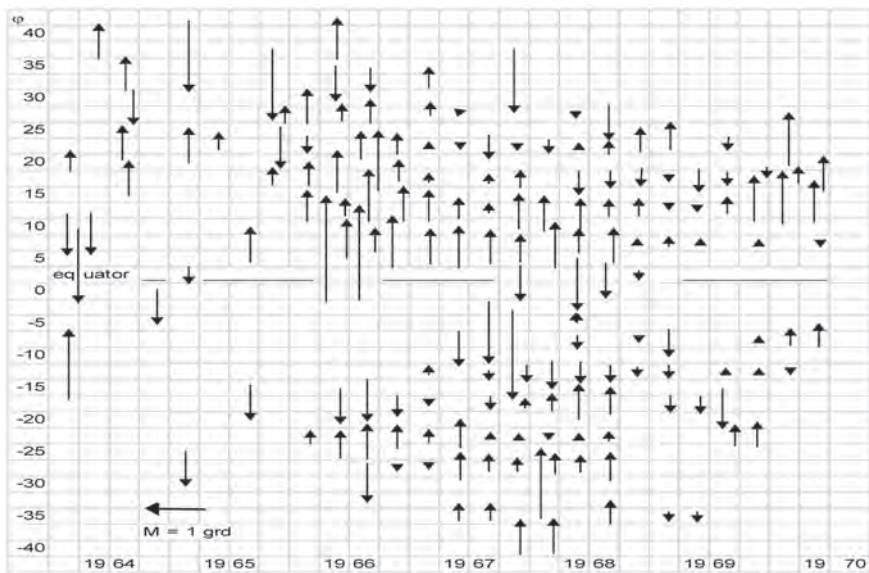


Рис. 2. Векторная диаграмма широтных смещений вспышек в 20-м цикле с разрешением 5° по широте и один квартал по времени. По оси абсцисс – годы (1964–1970 гг.). Слева дан масштаб векторов (1 град)

«Центростремительную» тенденцию можно подтвердить количественно. Для этого было проведено усреднение смещений вспышек R вдоль 5° -градусных широтных зон в интервале $\pm 0-40^\circ$ в каждом полушарии. Величина сдвига $R = f(\varphi)$ для вспышек всех баллов (1+, 2, 3) по полушариям по 5° -градусным широтным интервалам показана в таблице. В таблице в столбцах 1–4 представлены соответственно: середина широтного интервала, величина вектора R в северном полушарии в гелиографических градусах (с указанием стандартного отклонения), величина вектора R в южном полушарии и суммарная величина R для двух полушарий.

Поскольку векторные диаграммы северного и южного полушарий подобны, для уменьшения флуктуаций $R(\varphi, t)$ эти диаграммы были усреднены с получением одного крыла диаграммы (последний столбец в таблице). Как видно, на высоких широтах величина R отрицательна, в то время как вблизи экватора она положительна. В

**Средние расстояния вспышек от центров групп пятен
в 5-градусных широтных зонах**

$\varphi, ^\circ$	R (N), град	R (S), град	R (N+S), $^\circ$
37,5	-0,345±0,052	-0,469±0,069	-0,39
32,5	-0,214±0,044	-0,482±0,036	-0,287
27,5	-0,342±0,023	-0,26±0,016	-0,252
22,5	-0,171±0,018	-0,332±0,021	-0,238
17,5	-0,275±0,016	-0,72±0,016	-0,196
12,5	-0,02±0,016	0,347±0,018	0,14
7,5	0,289±0,020	0,387±0,025	0,327
2,5	0,048±0,048	0,407±0,045	0,241

середине диаграммы ($\varphi \sim 18^\circ$) R меняет знак. Таким образом подтверждена центростремительная тенденция смещения вспышек относительно центров групп для каждого полушария (табл. 1).

На рис. 3 приведен тренд широтного смещения вспышек для суммы двух полушарий (учтены все вспышки баллов 1+, 2, 3). Отметим, что вспышки балла 1+ относятся к слабым (субвспышки) по старой классификации и составляют около 80%.

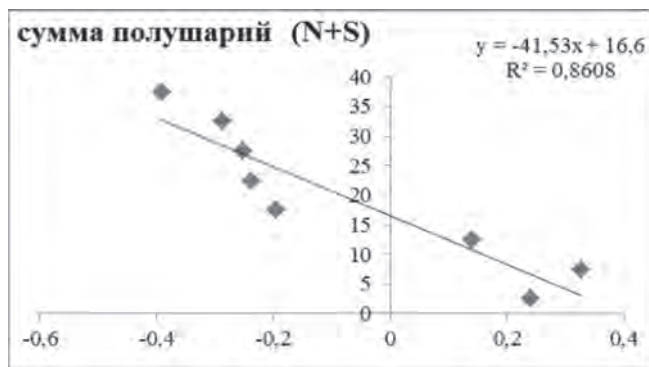


Рис. 3. Тренд смещения вспышек R для суммы диаграмм двух полушарий. Учтены вспышки баллов (1+, 2, 3). По вертикали – гелиоширота, по горизонтали – смещение вспышек (в градусах). В правом верхнем углу приведено уравнение регрессии и R^2 – достоверность аппроксимации (квадрат коэффициента корреляции)

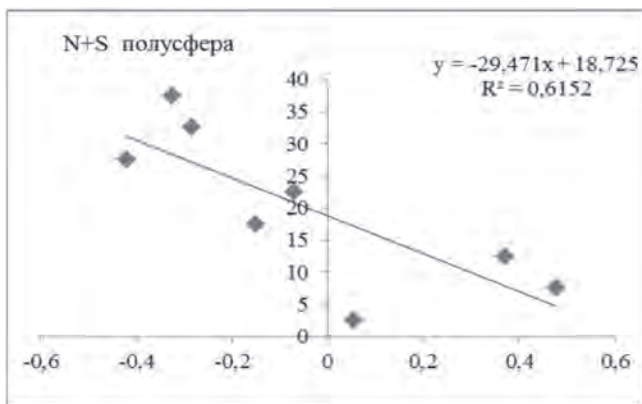


Рис. 4. Тренд смещений вспышек R для суммы диаграмм двух полушарий (сильные вспышки баллов 2+, 3), цикл № 19. Обозначения такие же, как на рис. 3

В цикле № 19 были построены векторные диаграммы отдельно для больших вспышек баллов $\geq 2, 3$. Эта выборка включает 3243 вспышки в северном полушарии и 2374 вспышки в южном, за период 1954–1964 г. Векторная диаграмма «сильных» вспышек показывает ту же картину, что и для слабых вспышек (рис. 1, 2).

На рис. 4 приведен тренд R-смещения вспышек как среднее по двум полушариям (только вспышки баллов 2, 3). Он подтверждает тренд, полученный ранее для слабых вспышек (рис. 3). Видно, что центростремительная тенденция R-вектора сильных вспышек выражена в меньшей степени (достоверность $R^2 = 0,62$), чем для слабых ($R^2 = 0,86$).

Наиболее простая интерпретация центростремительной тенденции R-вектора вспышек на « ϕ - t »-диаграмме является следующей. Можно предположить, что из «шпёреровского» эпицентра исходят некоторые возмущения, которые, распространяясь по всем широтам, вызывают соответствующие сдвиги вспышек (рис. 1, 2). Из приведенных выше данных следует, что центр векторной диаграммы выделен самим процессом вспышек и физически значим. Он служит вероятным источником глобального триггерного возмущения вспышек. Это возмущение и «провоцирует» вспышку в той точке (группе пятен),

которой оно достигает в результате распространения от некоторой средней широты φ_0 до данной широты группы φ .

ДИАГРАММЫ ШИРОТНО-ДОЛГОТНЫХ СМЕЩЕНИЙ ВСПЫШЕК (1980–1983)

Поскольку пятна в разных широтных зонах имеют разные скорости вращения, высокоширотные пятна будут отставать от возмущения, в то время как экваториальные – упреждать, что приведет к сдвигам вспышек по долготе противоположного знака. Высокоширотные зоны пятен будут показывать положительные смещения вспышек относительно центров групп пятен по долготе $R_\lambda > 0$ (западный сдвиг), а низкоширотные зоны – отрицательный (восточный) сдвиг вспышек. Такие противоположные $\pm R_\lambda$ сдвиги на высоких и низких широтах могут быть интерпретированы как эффект долготной аберрации вспышек [12].

Так как в данных каталогов (например, Solar Geophysical Data) моменты времени для вспышек и групп пятен не совпадают, необходимо приведение долготы группы на момент времени вспышки. Для этого необходимо знать угловую скорость $\omega(\varphi)$ группы. По данным SGD [16], зная расстояние группы от центрального меридиана (CMD) и время ее наблюдения (UT), можно определить среднюю угловую скорость группы за время прохождения по диску Солнца $\langle \omega(\varphi) \rangle$. Тогда, зная момент прохождения группы через центральный меридиан t (CM), определим положение группы на момент вспышки t_i путем переноса центра группы с угловой скоростью $\langle \omega(t) \rangle$ на момент вспышки по формуле:

$$\lambda_s = \langle \omega(t) \rangle (t_i - t(\text{cmp})). \quad (2)$$

Таким образом, если $\lambda(t)$ – координата вспышки, отсчитываемая «от центрального меридиана», то положение вспышки относительно центра группы определяется по (3):

$$\Delta \lambda_i = \lambda_i - \lambda_s. \quad (3)$$

Угловая скорость находилась по вспышкам. Так как вспышки транслируют движение группы, имея ряд координат $\lambda(t_i)$ и моменты t_i

по [15], можно найти угловую скорость группы ω_s . Среднее долготное смещение вспышек R_λ по отношению к группе пятен рассчитывалось по формуле:

$$R_\lambda(\varphi, t) = \langle \Delta\lambda \rangle = (1/N) \sum \sum (\lambda_i - \lambda_s), \quad (4)$$

где λ_i – долгота вспышки, λ_s – долгота группы, приведенная к моменту вспышки согласно (2), N – общее число вспышек в интервале диаграммы. Суммирование и усреднение (4) делается сначала по всем вспышкам в группе (индекс i), а затем по всем группам (индекс s) в интервале диаграммы получим $R_\lambda(\varphi, t)$.

Теперь мы рассмотрим векторные диаграммы вспышек на фазе максимума 21-го цикла (1980–1983 гг.) для относительно больших и умеренных вспышек. Под умеренными вспышками здесь понимаются такие выбранные из Бюллетеня [15] вспышки, видимая площадь которых превышает 30–50 м.д.д.. Всего было обработано 6700 вспышек в 773 группах пятен (30%).

На рис. 5 приведена векторная диаграмма вспышек за 1980–1983 гг. с усреднением по годам и по 10-градусным широтным интервалам. Приведены как широтные $\Delta\varphi$, так и долготные $\Delta\lambda$ смещения вспышек. Рассмотрение диаграммы (рис. 5) позволяет сделать следующие выводы.

1. В эпицентре диаграммы смещение $R\varphi$ стремится к нулю ($R \rightarrow 0$). То есть имеет место тенденция к изотропии распределения вспышек относительно групп пятен. Это особенно заметно в северном ($\sim 15^\circ$) полушарии (1981–1983 гг.). Наоборот, с удалением от эпицентра диаграммы величина $|R|$ растет, достигая максимума $\sim 1,5^\circ$ на периферии диаграммы, что заметно для широт 30° и более.

2. На высоких широтах преобладает отрицательный сдвиг $R_\varphi < 0$ (к экватору), а на низких – положительный ($R_\varphi > 0$) сдвиг к полюсу. Таким образом, подтверждается центростремительная тенденция анизотропии вспышек, ранее обнаруженная в [4–6].

3. Наблюдаются противоположные долготные «E-W»-сдвиги на высоких и низких широтах, что особенно заметно в северном полушарии.

Векторная диаграмма для сильных вспышек (рис. 5) подтверждает основные особенности векторных диаграмм, построенных ранее

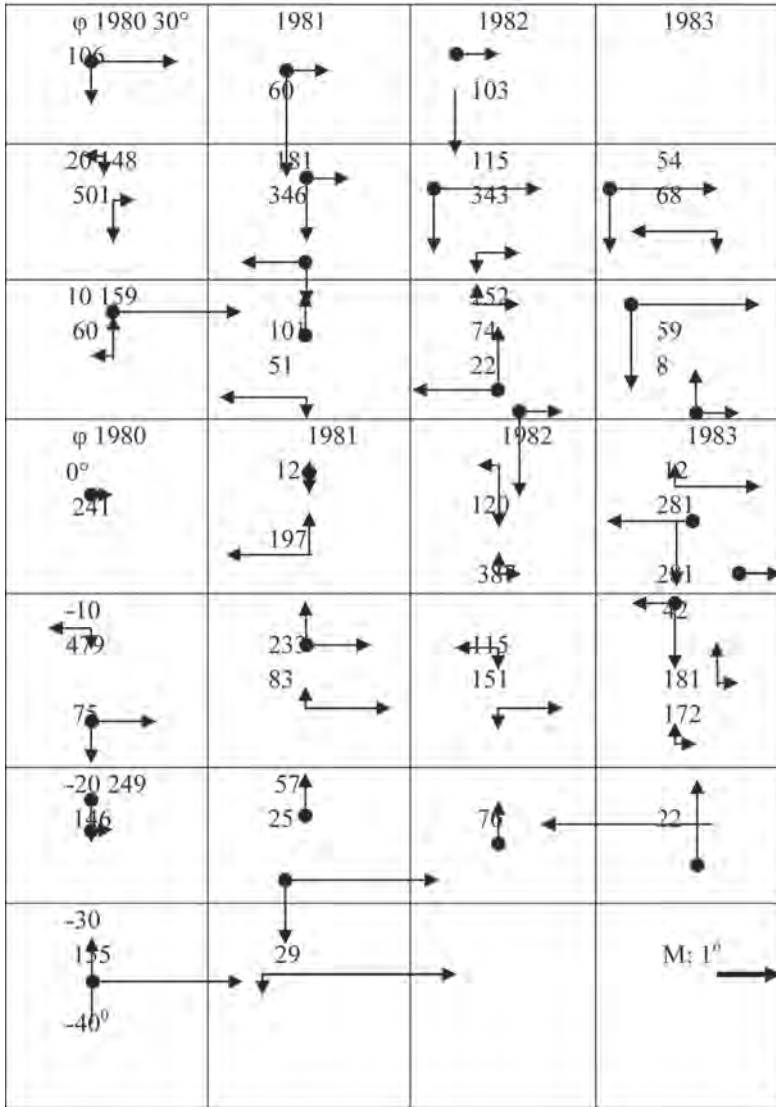


Рис. 5. Векторная диаграмма смещений вспяшек с усреднением за годичный интервал. По оси абсцисс – годы (1980–1983, обозначены сверху). По оси ординат – гелиоширота (значения приведены слева). Цифры в ячейках – число вспяшек, по которым производилось усреднение

для слабых субвспышек (рис. 1, 2). Количественным подтверждением приведённых выводов служит рис. 6, который показывает широтные смещения вспышек в зависимости от широты группы по выборке 1713 вспышек (1980–1981 гг.). Четко видна центростремительная тенденция смещения вспышек. На широтах 20–25° смещение отрицательно (к экватору), а на низких широтах (5–10°) – положительно (к полюсу). Приведено уравнение регрессии и уровень достоверности аппроксимации, $R^2 = 0,94$ (квадрат коэффициента корреляции x и y).

Поскольку группы пятен принадлежат к различным зонам дифференциального вращения Солнца, то высокоширотные пятна будут «отставать» от возмущения, в то время как экваториальные – «упреждать» возмущения. Высокоширотные пятна должны показывать положительный $R > 0$ (западный сдвиг), а низкоширотные зоны – отрицательный $R < 0$ (восточный) сдвиг. Регулярная картина долготных смещений вспышек относительно пятен ($\pm R_\lambda$) интерпретируется в рамках эффекта аберрации [8]. Рисунок 7 показывает долготные смещения вспышек в зависимости от широты группы по данным 6100 вспышек (сумма полушарий).

В данной работе также построены векторные диаграммы вспышек на фазе роста 22-го цикла (1987–1992 гг.) на более представительном материале из Solar Geophysical Data [16, 17]. Использовались таблицы координат вспышек «H-Alpha Solar Flares» (comprehensive)



Рис. 6. График широтного смещения вспышек за 1980–1981 гг. (1713 вспышек). По горизонтали – широта, по вертикали – смещения вспышек. Дано уравнение регрессии, R^2 – достоверность аппроксимации (квадрат корреляции)

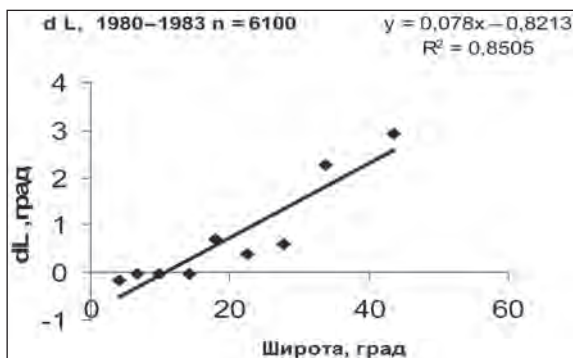


Рис. 7. Долготные смещения вспышек за 4 года (1980–1983). Видно, что на широтах 40–20° смещение положительно, а на низких (0–10°) – отрицательно. Дано уравнение регрессии, R^2 – достоверность аппроксимации (квадрат корреляции)

и групп пятен «Sunspots Groups» (prompt). Всего обработано 17 023 вспышки. Методика получения $R(\varphi, t)$ сводится к расчетам по вышеприведенным формулам (1)–(4). Сначала определялось положение вспышек в 5-градусных широтных интервалах за 18 кварталов начиная с первого (июль–сентябрь 1987). Далее для уменьшения флуктуаций $R(\varphi, t)$ диаграммы северного и южного полушарий были усреднены с получением одного крыла диаграммы. Затем из величин $R(\varphi, t)$ соседних кварталов были получены взвешенные полугодовые средние значения $R(\varphi, t)$, приведенные на рис. 8.

Как видно из диаграммы, долготные смещения вспышек имеют взаимно противоположные направления смещений вспышек на высоких и низких широтах в 1988, 1989 и 1990 гг. Соответствующие векторы соединены наклонным пунктиром. Они дают типичную картину абберационного эффекта.

Абберационный эффект основан на двух факторах: на конечной скорости триггерного возмущения V , идущего от центра диаграммы, и переносного смещения групп пятен на данной широте φ , в которых наблюдаются вспышки. Известно, что угол абберации β имеет вид [9]:

$$\operatorname{tg} \beta = V / C, \quad (5)$$

где V – скорость наблюдателя, C – скорость волны (или возмущения). В нашем случае $V = V(\varphi) - V(\varphi_0)$, где φ – широта вспышки, φ_0 – ши-

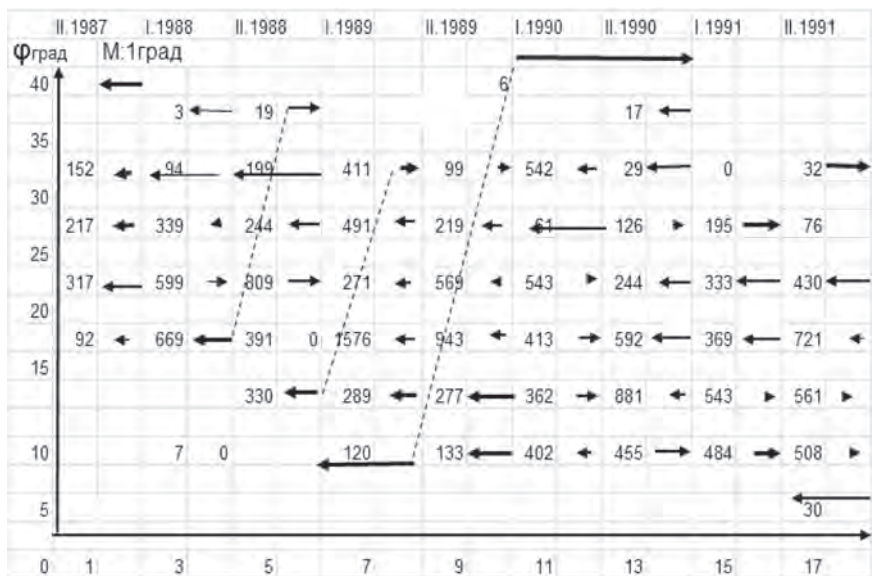


Рис. 8. Диаграмма долготных смещений вспышек (полугодовые средние). Цифрами обозначено число вспышек в данном интервале широт и времени. В левом верхнем углу – масштаб вектора

рота источника возмущения. Согласно рис. 3, смещение R составляет $\sim 1^\circ$ на широте 0° и $+3^\circ$ на широте 40° . Принимая $\varphi - \varphi_0 = 15^\circ$, имеем $\text{tg } \beta \sim 0,1$. Это соответствует углу абберации $\sim 6^\circ$. Полагая $\varphi_0 = 15^\circ$ и $\varphi = 30^\circ$ для периферии и подставляя соответствующие суточные угловые скорости по стандартной модели вращения Солнца в (5), получим оценку $C \approx 1,6$ км/с и $C \approx 2$ км/с соответственно. Скорость триггерных возмущений составляет 1–2 км/с в соответствии с ранее полученными результатами [8, 12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На рис. 9 приведена полная векторная диаграмма вспышек (годовые средние, сумма двух полушарий). В соответствующих клетках даны числа вспышек, по которым проведены усреднения. Как

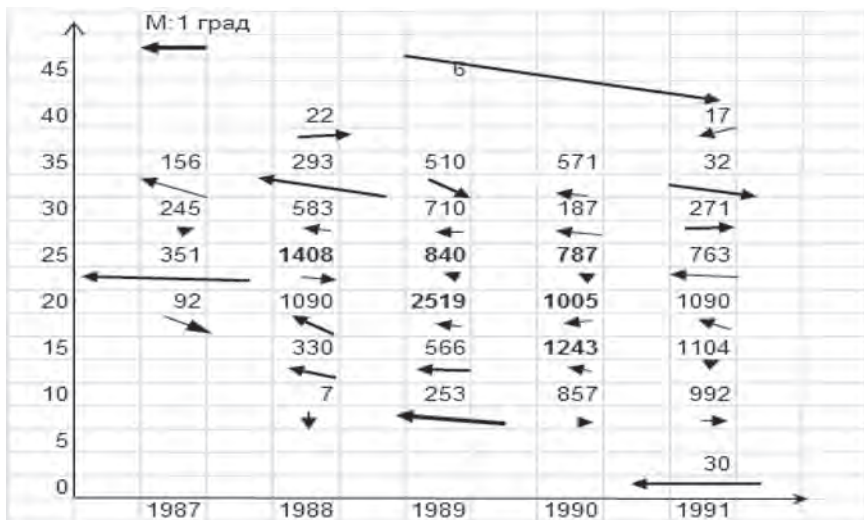


Рис. 9. Годовые средние смещения вспышек за 1987–1991 гг. Дана сумма двух полушарий

видно, долготные смещения намного больше широтных, что и следовало ожидать. Заметен также краевой эффект – уменьшение $R(\varphi, t)$ в центре диаграммы и рост на периферии. Краевой эффект также легко объясняется, исходя из изложенного глобального триггерного механизма вспышек. Векторные широтно-временные диаграммы вспышек являются новым индексом солнечной активности $R(\varphi, t)$ для исследования процессов хромосферных вспышек, который выявляет причинную связь последних с «первичными» индексами (группами пятен) [3].

Можно сделать следующие выводы.

Центральная зона пятнообразования на диаграмме «бабочек» (линия Шпёрера) является выделенной для вектора вспышек $R(\varphi, t)$. В эпицентре диаграммы смещение R_φ стремится к нулю ($R \rightarrow 0$), то есть имеет место тенденция к изотропизации распределения вспышек. По краям диаграммы R достигает максимальных значений $\approx 1-1,5^\circ$.

В соответствии с принципом относительности в физике систематические смещения вспышек в группах в направлении на центр диаграммы «бабочек» указывают на действие дополнительных сил, от-

личных от магнитных. Следовательно, в пространстве «королевской зоны» пятен должно действовать некоторое кинетическое возмущение, исходящее от «шпёреровского» эпицентра.

Предположительно, в качестве кинетического агента может фигурировать низкоскоростной тип возмущения (типа Бруцека [11]). В качестве моделей возмущения можно принять либо модель «солитонов» [10, 12], либо модель волн «цунами» от всплывающих магнитных полей [9, 14].

Долготные диаграммы вспышек R_{λ} обнаруживают эффект долготной аберрации вспышек. По углу аберрации ($\sim 6-8^\circ$) получена скорость триггерного возмущения вспышек порядка 1–2 км/с.

В связи с обнаруженной анизотропией вспышек (векторные диаграммы «бабочек») не исключено, что существующие модели вспышек требуют существенной переработки и модификации с учетом внешнего триггера или внешнего источника энергии во вспышках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ален К.У. Астрофизические величины. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. С. 300.
2. Брей Р., Лоухед Р. Солнечные пятна / под ред. В.Е. Степанова. М.: Изд-во Мир, 1967. С. 383.
3. Витинский Ю.И., Конецкий М., Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М.: Наука, 1986. 295 с.
4. Касинский В.В. О пространственной асимметрии распределения вспышек относительно солнечных пятен // Солнечные данные. 1968. № 1. С. 104–108.
5. Касинский В.В. Собственные положения хромосферных вспышек в двух 11-летних циклах активности // Солнечные данные. 1973. № 7. С. 77–86.
6. Касинский В.В. Пространственная когерентность солнечных вспышек и широтно-временная структура некоторых индексов активности в 17–19 циклах // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. М.: Наука, 1988. Т. 79. С. 25–40.
7. Касинский В.В. Пространственная когерентность хромосферных вспышек на диаграмме широта-время в 17–20 циклах активности // Атмосфера Солнца, межпланетная среда, атмосфера планет / под ред. Р.А. Гуляева. М., 1989. С. 116–125.
8. Касинский В.В. Долготная асимметрия (абerrация) вспышек относительно центров групп пятен на диаграмме широта-время и ее интерпретация // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. Новосибирск: ВО Наука, 1994. Вып. 102. С. 152–160.

9. *Касинский В.В.* Грануляция, волны и нестационарные процессы в атмосфере Солнца // Результаты наблюдений и исследований в период МГСС, Сибирь и Дальний Восток. М.: Наука, 1967. Вып. 4. С. 44–60.

10. *Могилевский Э.И.* Структуризация вспышко-активной области и солитонная модель первичного источника энергии и вещества в солнечных вспышках // Кинематика и физика небесных тел. Киев, 1986. № 2. С. 75–82.

11. *Смут Г., Смут Э.* Солнечные вспышки. М.: Мир, 1966. С. 426.

12. *Фисенко М.И.* Волновые процессы в ближнем ИК-диапазоне Солнца, предшествующие солнечным вспышкам // Солнечная активность ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 115–120. (Тр. УАФО; т. 9, вып. 9).

13. *Kasinsky V.V.* The spatial anisotropy of flares with respect to sunspot groups and vector butterfly diagrams in solar activity cycles 17–20 // Astronomical and astrophysical transactions. Gordon and Breach sci. publishers. 1999. Vol. 17, issue 5. P. 341–350.

14. *Kasinsky V.V., Krat V.A.* On the solar tsunami // Solar Physics. 1973. Vol. 31. P. 219–228.

15. Quarterly Bulletin on solar activity. Publication Tokio Astronomical Obs. UNESCO. Vol. 22 (1980)–vol. 25 (1983). P. 1–69.

16. Solar-Geophysical data comprehensive reports. Comprehensive reports, Boulder, Colorado. 1987. № 509. 1990. № 551. P. II.

17. Solar-Geophysical data comprehensive reports. Prompt reports, Boulder, Colorado. 1987. № 521. 1991. № 547. P. I.