УДК 523.98

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ АНИЗОТРОПИЯ ХРОМОСФЕРНЫХ ВСПЫШЕК В ЗОНЕ ПЯТЕН И ПРОБЛЕМА ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ ВО ВСПЫШКАХ

Касинский В.В.

ИрГТУ, Иркутск, e–meil: vkasins@ yandex. ru

Построена векторная диаграмма «бабочек» (ВДБ) по данным средних положений 6700 умеренных вспышек (1980-1983 гг.). Вектор $R(\varphi, t)$ выявляет глобальную пространственную анизотропию вспышек по отношению к группам пятен. Широтная компонента R направлена к центру ВДБ, что указывает на существование возмущения, исходящего из центра. Долготная компонента R имеет характер E-W сдвигов. В рамках триггерного сценария в качестве первичного источника энергии вспышек следует рассматривать внешнее кинетическое возмущение со скоростью 1–2 км/с.

Ключевые слова: анизотропия вспышек, векторные диаграммы, внешний источник энергии вспышек

THE SPATIAL ANISOTROPY OF FLARES IN THE SUNSPOT ARIA, VECTOR DIAGRAMS AND PROBLEM THE EXTERNAL SOURCE OF ENERGY OF FLARES

Kasinskii V.V.

IrGTU, Irkutsk, e-mail: vkasinsvv@ yandex. ru

Data on the mean position of moderate flares (6700) used to construct the vector «butterfly» diagram (VBD), 1980-1983. Vector $R(\varphi, t)$ reveals the global spatial anisotropy of the flares with respect to sunspot groups. The latitudinal component of R is always directed to the centre of the VDD which indicates that there exists some disturbance originates from the diagram centre. The longitudinal component of R has a character of E-W shifts. In terms of triggering scenario of flares the originally source of flare's energy should be considered as an external kinetic disturbance with the velocity of order of 1-2 km / c.

Keywords : flare's anisotropy, vector diagram, external source of energy of flares

Как известно, 11-летний солнечный цикл иллюстрируется диаграммой «бабочек», построенной Маундером (1914 г.). Диаграмма представляет собой широтное распределение частоты встречаемости солнечных пятен. Причём середина «φ–*t*»-диаграммы проявляется максимальной частотой пятен [1]. Сама диаграмма носит скалярный характер. Векторные диаграммы вспышек вскрывают новые, неизвестные ранее стороны вспышечного процесса [1, 2]. Они указывают на источник возмущения вспышек – середину «φ–*t*»-диаграммы и определяют скорость возмущающего агента.

Предыдущие результаты [3, 4] были получены по всем вспышкам, включая субвспышки, составляющие более 95% всех вспышек. В данной работе построены векторные диаграммы для относительно больших вспышек балла ($1 \le B \le 3$) и субвспышек с измеримой площадью $S > 20$ м.д.п (миллионных долей полусферы). Число таких вспышек составляет 24% за 1981 г. Это исключает вспышечный «фон», координаты вспышек которого измерены с меньшей точностью.

Всего было обработано около 6700 вспышек в 773 группах пятен на фазе спада 21-го цикла (1980-1983 гг.). Векторные диаграммы «широта-время» (φ, *t*) вспышек циклов 17-20, выявляют пространственную анизотропию вспышек [7]. Вектор $R(\varphi, t)$ показывает среднее положение вспышек в системе координат групп-пятен. Вектор $R(\varphi, t)$ выделяет два типа направлений на «φ–*t*»-диаграмме. Широтное смещение вспышек имеет «центростремительную» тенденцию, указывая на середину диаграммы «бабочки». Долготные смещения вспышек имеют противоположные направления для высокоширотных и низкоширотных групп. Долготные смещения «*E–W*» интерпретируются как эффект аберрации вспышечного агента [4]. По эффекту аберрации определяется скорость триггерного «агента» ~1-2 км/с.

Методика построения векторных диаграмм вспышек дана в [1-3]. Среднее широтное смещение центра вспышек по отношению к группе пятен рассчитывалось по формуле

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

где φ_i – широта вспышки; φ_S – широта центра группы; а N – число вспышек в группе пятен; n – число групп пятен в выбранном интервале диаграммы. Суммирование в (1) ведется дважды, сначала по всем вспышкам в данной группе (i), а затем по всем группам (s) в интервале диаграммы (5°·2 оборота Солнца). Точность определения R будет выше для групп с большим числом вспы-

шек (N) и числом групп (n). В табл. 1 приведено распределение вспышек по годам и по полушариям – всего 6680 вспышек. В последней строке приведены числа Вольфа. Заметно преобладание числа вспышек в южном полушарии.

Таблица 1

Распределение вспышек по годам и по полушариям

	1980	1981	1982	1983	Всего
N полушарие	1131	739	979	189	3038
S полушарие	1245	748	849	802	3644
Всего ($N + S$)	2376	1487	1828	991	6682
Число Вольфа	155	140	116	67	

Долготное положение вспышки относительно этого пятен определяется путем переноса центра группы с угловой скоростью ω_S на момент вспышки по формуле:

$$\Delta\lambda = \lambda(t_i) - \omega_S[(t_i - t(CM)]. \qquad (2)$$

Здесь $\lambda(t_i)$ – долгота вспышки по [8]; ω_S – угловая скорость группы (s); $t(CM)$ – момент прохождения группы через центральный меридиан (СМ). Далее $\Delta\lambda$ усредняется дважды, сначала по всем вспышкам в данной группе (i), а затем по всем группам (s) в интервале диаграммы. Для нахождения ω_S применялся двойной подход. В случае, когда число вспышек в группе было небольшим, $N \leq 5$, принималась стандартная угловая скорость вращения по Алену $\omega(\varphi)$ [5]. Во всех остальных случаях по координатам $\lambda(t_i)$ вспышек рассчитывалась средняя угловая скорость группы ω_S группы по каталогу «Eruptions Chromosphere» [8].

На рис. 1 приведена вектор-диаграмма вспышек за 1980–1983 гг. с усреднением по годам. Приведены как широтные $\Delta\varphi$ так и долготные $\Delta\lambda$ смещения вспышек. Внимательное рассмотрение векторной диаграммы позволяет сделать следующие выводы.

1. В эпицентре диаграммы смещение R уменьшается ($R \geq 0$). То есть имеет место тенденция к изотропии распределения вспышек относительно групп пятен. Это особенно заметно в северном (~ 15°), полушарии (1981-83 гг.). Наоборот, с удалением от эпицентра диаграммы величина |R| растёт, достигая максимума ~ 1,5° на периферии диаграммы, что особенно заметно для широт 30° и более.

2. На высоких широтах преобладает отрицательный сдвиг R_φ (к экватору), а на низких – положительный ($R_\varphi > 0$) сдвиг к полюсу. Таким образом, подтверждается «центростремительная» тенденция анизотропии вспышек, ранее полученная в [3].

3. Наблюдаются противоположные долготные «E-W» сдвиги на высоких и низких широтах, что особенно заметно в северном полушарии. В целом векторная диаграмма для сильных вспышек (см. рис. 1) подтверждает основные особенности векторных диаграмм, построенных ранее для слабых вспышек [3, 4].

Количественным подтверждением приведённых выводов служит рис. 2, который показывает широтные смещения вспышек в зависимости от широты группы по данным 1713 вспышек (1980–1981 гг.). Четко видна «центростремительная» тенденция смещения вспышек. На широтах 20–25° смещение отрицательно (к экватору), а на низких (5–10°) – положительно (направление к полюсу). Приведено уравнение регрессии и уровень достоверности аппроксимации $R^2 = 0{,}94$. «Центростремительный» характер смещения вспышек (см. рис. 2) легко объяснить, если считать, что от эпицентра диаграммы исходит некоторое кинетическое возмущение, которое в другой группе пятен дает вспышку.

Из предыдущего следует, что центр векторной диаграммы выделен самим процессом вспышек, т.е. физически значим. Он служит в качестве источника глобального возмущения вспышек. Это возмущение «провоцирует» вспышку в той точке (группе пятен), которой оно достигает в результате распространения от некоторой средней широты φ° до данной широты группы φ. Поскольку группы пятен принадлежат к различным зонам вращения (дифференциальное вращение Солнца), то высокоширотные пятна будут «отставать» от возмущения, в то время как экваториальные «упреждать» возмущения. Это приведет к сдвигам вспышек по долготе противоположного знака. Высокоширотные пятна будут показывать положительный $R > 0$ (западный сдвиг), а низкоширотные зоны – отрицательный $R < 0$ (восточный) сдвиг. Регулярная картина долготных смещений $\pm R_\lambda$ вспышек относительно пятен интерпретируется в рамках эффекта аберрации [4].

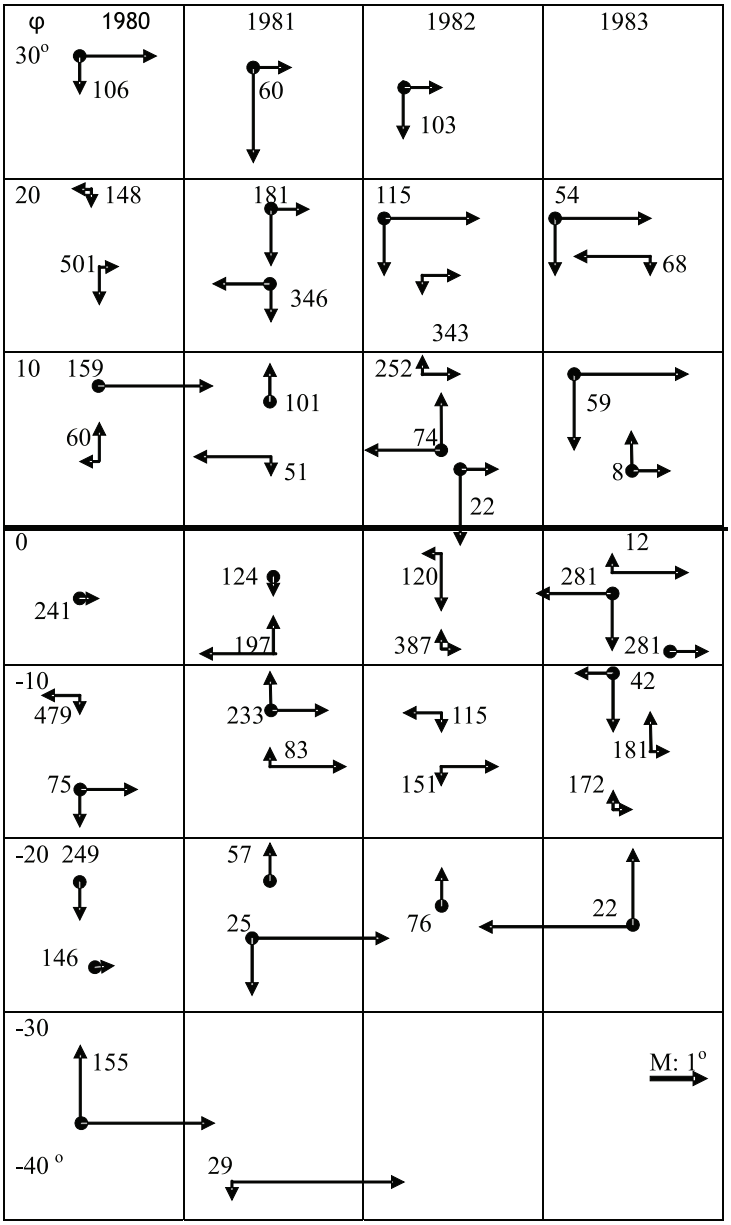

Рис. 1. Векторная диаграмма смещений вспышек с усреднением за годичный интервал. По оси абсцисс – годы (1980-1983). По оси ординат гелио – широта. Цифры в ячейках – число вспышек усреднения

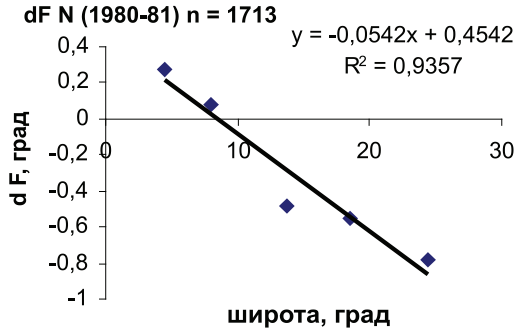

Рис. 2. График широтного смещения вспышек за 1980–1981 гг. (1713 вспышек). На широтах 20-25° смещение R отрицательно, а на низких широтах (5–10°) – положительно

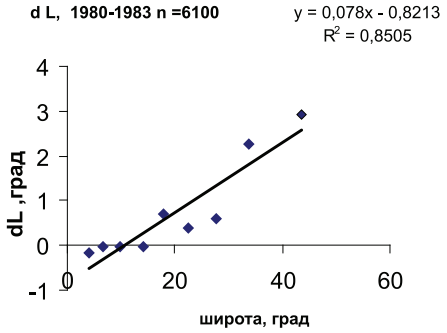

Рис. 3. Долготное смещение вспышек за 4 года 1980-1983 гг., (6100 вспышек). Видно, что на широтах 40–20° смещение положительно (к западу), а на низких (0–10°) отрицательно (к востоку)

Рис. 3 показывает долготные смещения вспышек в зависимости от широты группы по данным 6100 вспышек (1980–1983 гг.). Видно, что на широтах 40–20° смещение положительно (направлено к западу), а на низких (0–10°) отрицательно (к востоку).

Аберрационный эффект основан на двух факторах – на конечной скорости возбуждения V, идущего от центра диаграммы и переносного смещения групп пятен на данной широте φ, в которых наблюдаются вспышки. Известно, что угол аберрации света β имеет вид [5]:

$$\mathrm{tg}\beta = V/C, \qquad (3)$$

где V скорость наблюдателя; C – скорость света (возмущения). В нашем случае $V = V(\varphi) - V(\varphi_o)$, где φ – широта вспышки, φ_o – широта источника возмущения. Согласно рис. 3 смещение R составляет − 1° на широте 5° и + 2° на широте 30°. Тогда, принимая $\varphi - \varphi_o = 15°$, имеем tg β ~0,1. Это соответствует углу аберрации ~ 6°. Подставляя соответствующие суточные угловые скорости по моделям вращения Солнца [5], получим С ~1–2 км/с.

В табл. 2 приведена сводка коэффициентов надежности R^2, корреляции R и чисел вспышек, по которым рассчитывались уравнения регрессии (см. рис. 2). В скобках в столбце N (%) приведен процент вспышек от полного числа N, вошедших в обработку. В строках 7–9 показаны соответствующие параметры регрессии для попарно объединенных годов. Как видно из табл. 2, широтный сдвиг вспышек в N – полушарии выявляется с большей надежностью, чем в южном, где коэффициенты корреляции больше 0,7 только для 1982-1983 гг. Однако и в южном полушарии этот эффект заметен.

Таблица 2

Коэффициенты достоверности R^2 и числа вспышек N для широтных сдвигов

	N полушарие		S – полушарие	
Год	R^2 (R)	N (%)	R^2 (R)	N (%)
1980	0.56 (0,75)	974 (100 %)	0.46 (0,68)	1004 (100 %)
1981	0,97 (0,985)	688 (95 %)	0,26 (0,52)	694 (93 %)
1982	0,89 (0,94)	887 (92 %)	0,57 (0,76)	849 (100 %)
1983	–	189 (100 %)	0,53 (0,73)	768 (98 %)
1980-1981	0,936 (0,97)	1713 (100 %)		
1981-1982	0,96 (0,98)	1475 (91 %)		
1982-1983			0,74 (0,86)	1739 (99 %)

Возникает вопрос – какова возможная природа возмущающего агента вспышек? Бруцеком давно обнаружен невидимый кинетический агент в хромосфере, возмущающий волокна и передвигающийся со скоростями 1–10 км/с [6]. В теории несжимаемой жидкости доказывается, что скорость волн на поверхности равна

$$V = \sqrt{g/k},$$

где $k = 2\pi/\lambda$, λ – длина волны. Для Солнца $g = 0{,}274$ км/с^2. Реальные размеры субвспышек не превышают масштаба λ ~ 1000 км. Высота от основания конвективной зоны до хромосферы 300 км, а высота однородной атмосферы на уровне температурного минимума H ~ 100 км. Волны, для которых λ >> H, называются длинными и их фазовая скорость приближается к $V = \sqrt{gH}$,. Для H = 100–1000 км, получим, V = 5–10 км/с – что порядка скорости триггерного возмущения по данным долготной аберрации вспышек. Таким образом, длинные гравитационные волны в температурном минимуме хромосферы подходящая кандидатура для триггера вспышек. Для мощных вспышек балла 2, 3 в качестве триггеров должны выступать более сильные возмущения. В качестве таковых могут выступать магнитогидродинамические «солитоны», как первичные источники энергии и вещества во вспышках [9]. Вспышки на лимбе Солнца часто выглядят как возвышения, купола или конусы, что может быть результатом волн – «солитонов» [7].

Другим мощным возмущением могут быть медленные гравитационные волны типа «цунами» [10].

Граничная частота гравитационных волн в хромосфере

$$\omega_g \sim g/V_o, \quad g = 274 \text{ м/с}^2,$$

V_o – скорость звука (7 км/с) составляет $1{,}75\cdot10^{-2}$ с$^{-1}$ (период 6 минут). Так как длительности τ вспышек составляют 5–60 минут, то $\omega < \omega_g$, что соответствует внутренним гравитационным волнам (горизонтальное распространение) [11].

Анизотропия вспышек по отношению к центру группы пятен затрагивает вопрос об однородности и изотропности пространства королевской зоны пятен. Очевидно, что в случае внутреннего источника энергии вспышек пространственное положение вспышек не должно зависеть (при большом усреднении) от положения группы пятен на «φ, *t*» диаграмме. Тем более оно не должно зависеть от направления на центр диаграммы – «бабочки», который является центром пятно – образования. В применении к пятнам, как системам координат, в которых возникают вспышки, это означает, что все положения пятен на диске Солнца и различные направления, должны быть эквивалентны, $R(\varphi, t) \rightarrow 0$. Как показывает векторная диаграмма (см. рис. 1) это не имеет места.

Выводы

1. Анализ распределения вспышек в группах пятен показывает, что центр векторной диаграммы $R(\varphi, t)$, выделен самим вспышечным процессом и физически значим для вспышек. Он является вероятным источником глобального «триггерного» возмущения вспышек на «φ–*t*»-диаграмме.

2. Тот факт, что вспышки показывают сильную пространственную асимметрию ($R \neq 0$) налагает дополнительные ограничения на механизм явления вспышек. В соответствии с принципом относительности в механике внутренняя анизотропия процесса вспышек на «φ–*t*»-диаграмме указывает на действие дополнительных факторов, отличных от магнитных, в системе координат пятен. Таким фактором является внешний кинетический «агент» или «триггер» вспышек.

3. В связи с обнаруженной пространственной анизотропией вспышек (векторные диаграммы) не исключено, что существующие модели вспышек, требуют переработки и модификации с учетом внешнего источника энергии во вспышках. В качестве такого источника энергии могут выступать магнитогидродинамические волны, «солитоны», [7] и гравитационные волны типа «цунами» или внутренние гравитационные волны [10, 11].

Список литературы

1. Касинский В.В. О пространственной асимметрии распределения вспышек относительно солнечных пятен // Солнечные данные. – 1968. – №1. – С. 104–108.

2. Касинский В.В. Собственные положения хромосферных вспышек в двух 11-летних циклах активности // Солнечные данные. – 1973. – №7. – С. 77–86.

3. Касинский В.В. Пространственная когерентность солнечных вспышек и широтно-временная структура некоторых индексов активности в 17-19 циклах // Сб. Исслед. по геомагнетизму, аэрономии и физ. Солнца. – М.: Наука, 1988. – Т. 79. – С. 25–40.

4. Касинский В.В. Долготная асимметрия (аберрация) вспышек относительно центров групп пятен на диаграмме широта-время и её интерпретация // Исслед. по геомагн., аэрономии и физ. Солнца. – Новосибирск: ВО «Наука», 1994. – Вып. 102. – С. 152–161.

5. Ален К.У. Астрофизические величины. – М.: Изд-во Ин. лит., 1960. – С. 300.

6. Смит Г., Смит Э. Солнечные вспышки. – М.: Мир, 1966. – 426 С; С. 91, С.97.

7. 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.

8. Quarterly Bulletin on Solar Activity // Publication Tokio Astronom. Obs. UNESCO. – Vol. 22 (1980) – Vol. 25 (1983). – P. 1–69.

9. 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, 1999. – Vol. 17. issue 5. – P. 341–350.

10. Kasinsky V.V., Krat V.V. On the solar tsunamy // Solar Physics. – 1973. – Vol. 31. – P. 219–228.

11. Gibson E.G. The Quiet Sun // NASA. – Washington, 1973. – P. 185.