

УДК 523.64-355

**С. А. Борисенко, Л. М. Шульман**

Головна астрономічна обсерваторія НАН України  
03680, МСП, Київ, вул. Академіка Заболотного 27

**Сонячна активність в листопаді — грудні 1985 р.  
та її вплив на швидкі варіації інтенсивності  
в спектральних лініях комети Галлея**

*Розглянуто можливість впливу сонячної активності на формування високоамплітудних швидких варіацій в спектральних лініях  $C_2$  комети Галлея. Добові числа сонячних плям та потоки протонів з енергіями понад 1 МеВ зіставлено зі спектральними варіаціями цих смуг. Показано, що комета в періоди спостережень проектувалась на активну область Сонця, але швидкі варіації інтенсивності спектральних ліній в основному збігаються в часі лише з потоками сонячних протонів з енергіями не більше 4 МеВ. Побудовано алгоритм взаємно кореляційного аналізу для дискретних рядів спостережень з прогалинами, отримані коефіцієнти взаємної кореляції, взаємно кореляційні функції та фур'є-спектри для усіх серій спектральних спостережень комети Галлея, що були проведені в рамках програми СОПРОГ у листопаді—грудні 1985 р.*

*СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ В НОЯБРЕ — ДЕКАБРЕ 1985 Г. И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА БЫСТРЫЕ ВАРИАЦИИ В СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЯХ КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ, Борисенко С. А., Шульман Л. М. — Рассмотрена возможность влияния солнечной активности на формирование высокоамплитудных быстрых вариаций в спектральных линиях кометы Галлея. Суточные числа солнечных пятен и потоки протонов с энергиями более 1 МэВ сопоставляются со спектральными вариациями этих полос. Показано, что комета в период наблюдений проектировалась на активную область, но быстрые вариации интенсивности спектральных линий совпадают во времени только с потоками солнечных протонов с энергиями не более 4 МэВ. Построен алгоритм взаимно корреляционного анализа для дискретных наблюдений с промежутками, получены коэффициенты взаимных корреляций, взаимно корреляционные функции и фурье-спектры для всех серий спектральных наблюдений кометы Галлея полученных в рамках программы СОПРОГ в ноябре—декабре 1985 г.*

*SOLAR ACTIVITY IN NOVEMBER — DECEMBER 1985 AND ITS EFFECT ON THE FAST VARIATIONS IN THE SPECTRAL LINES OF COMET HALLEY, by Borysenko S. A., Shulman L. M. — A possibility that solar flares cause high-amplitude fast variations of spectral lines in Comet*

*Halley is considered. Daily numbers of solar spots and proton fluxes with energies more than 1 MeV are compared with spectral variation of these lines. It is shown that in the observation periods the comet was projected onto an active region of the Sun, but, among all the kinds of solar activity, chiefly the solar proton flows with energies less than 4 MeV coincide in time with fast intensity variations in the spectral lines. An algorithm of cross-correlation analysis of discrete sampling series with gaps is built, average cross-correlation coefficients are calculated. Cross-correlation functions and Fourier spectra which were obtained within the scope of the SOPROG program in November-December of 1985 are presented.*

## ВСТУП

Відомо чимало робіт [1, 6] в яких детально досліджено вплив сонячної активності на інтегральний блиск комети. Давно відомо, що в спектрах комет епізодично спостерігаються швидкі варіації інтенсивності спектральних смуг, проте з'ясування механізму впливу сонячної активності, зокрема корпускулярного випромінювання Сонця на поведінку окремих спектральних ліній часто залишалось поза увагою. Не було достатньої кількості якісних спектральних спостережень, не говорячи вже про динамічну спект-

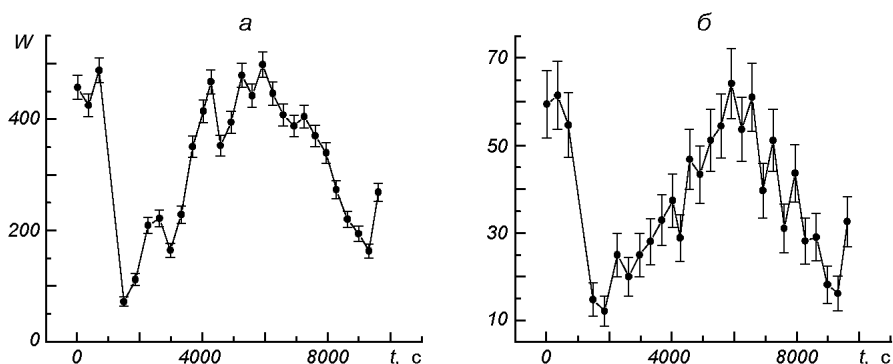


Рис. 1. Відносна інтенсивність лінії  $C_2 \lambda 468.35$  нм комети Галлея 13 листопада 1985 р. для ядра (а) та для коми (б)

роскопію. Попередні публікації з цього приводу [4] показують, що ці процеси не зумовлені похибками спостережень (рис. 1).

Для дослідження впливу сонячної активності на варіації інтенсивності окремих спектральних ліній ми використали дані про наявність активних областей на Сонці, їхнє розташування, добові і погодинні індекси сонячної та геомагнітної активності, отримані з різних космічних апаратів, зокрема IMP-8. Дані взято з Інтернет-сайту

[http://nssdsfc.nasa.gov/omniweb/html/ow\\_data.html](http://nssdsfc.nasa.gov/omniweb/html/ow_data.html)

## ШВИДКІ ВАРІАЦІЇ ІНТЕНСИВНОСТЕЙ ЛІНІЙ В СПЕКТРІ КОМЕТИ

На рис. 2 подано варіації інтенсивностей окремих яскравих ліній  $C_2$  (список у табл. 1) для навколяядерної області та областей в комі. Розглядається відносна спектральна інтенсивність  $W(t, \lambda) = I(t, \lambda)/S(\lambda)$ , де  $I(t, \lambda)$  — зареєстрований фотострум,  $S(\lambda)$  — чутливість сканера у відносних одиницях.

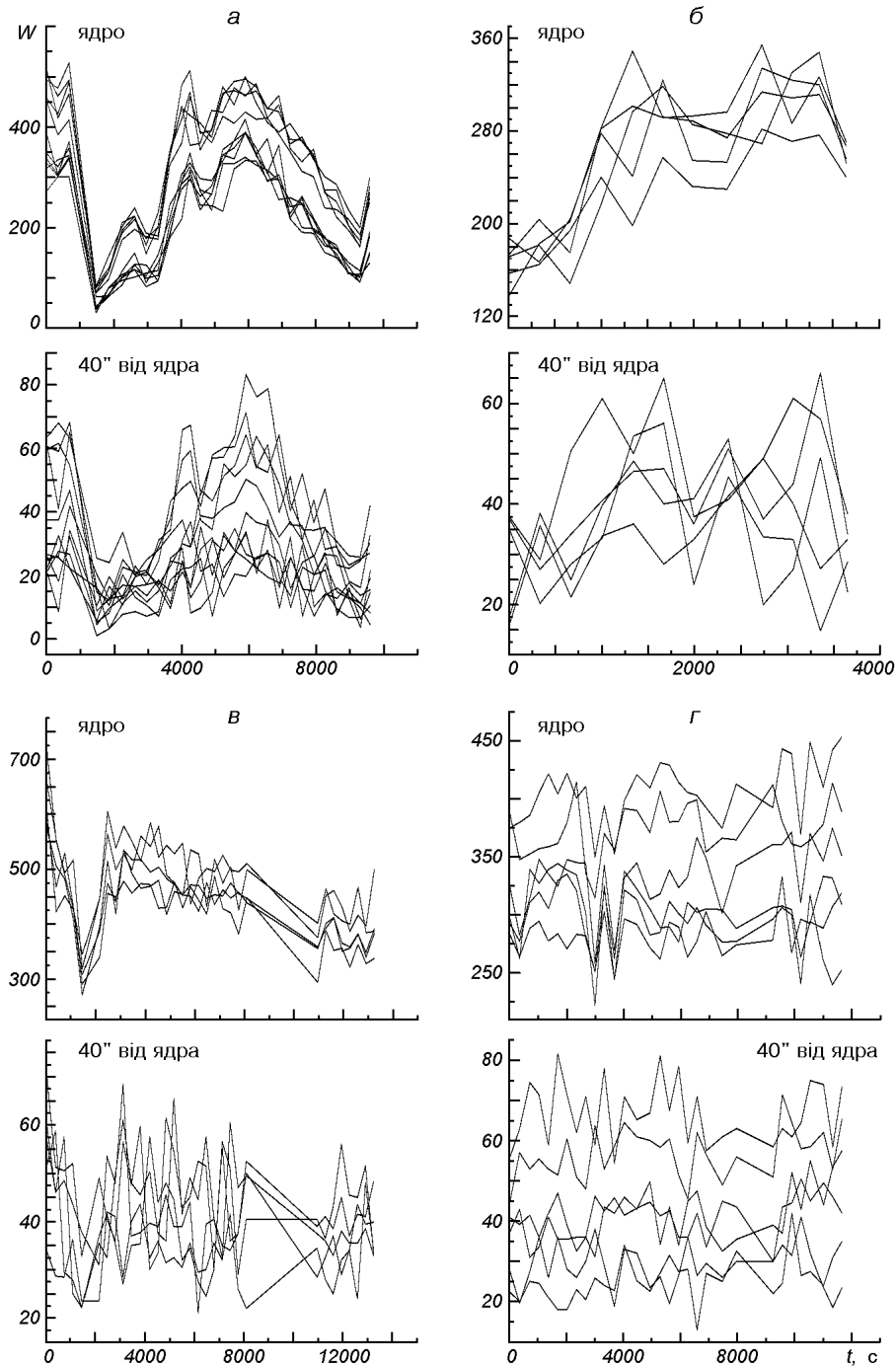


Рис. 2. Варіації інтенсивності окремих ліній  $C_2$ : 13—15 листопада (а—б); 9 (в) грудня 1985 р.

Аналізувалися дві групи спостережень: 13—15 листопада (ядро та кома на відстані  $40''$ ) та 9—13 грудня (кома на відстанях  $4''$  та  $36''$ ). Всі серії спостережень показали суттєву кореляцію між лініями у ядрі та в комі, хоча для коми через меншу інтенсивність відчувається відносно більша зашумленість.

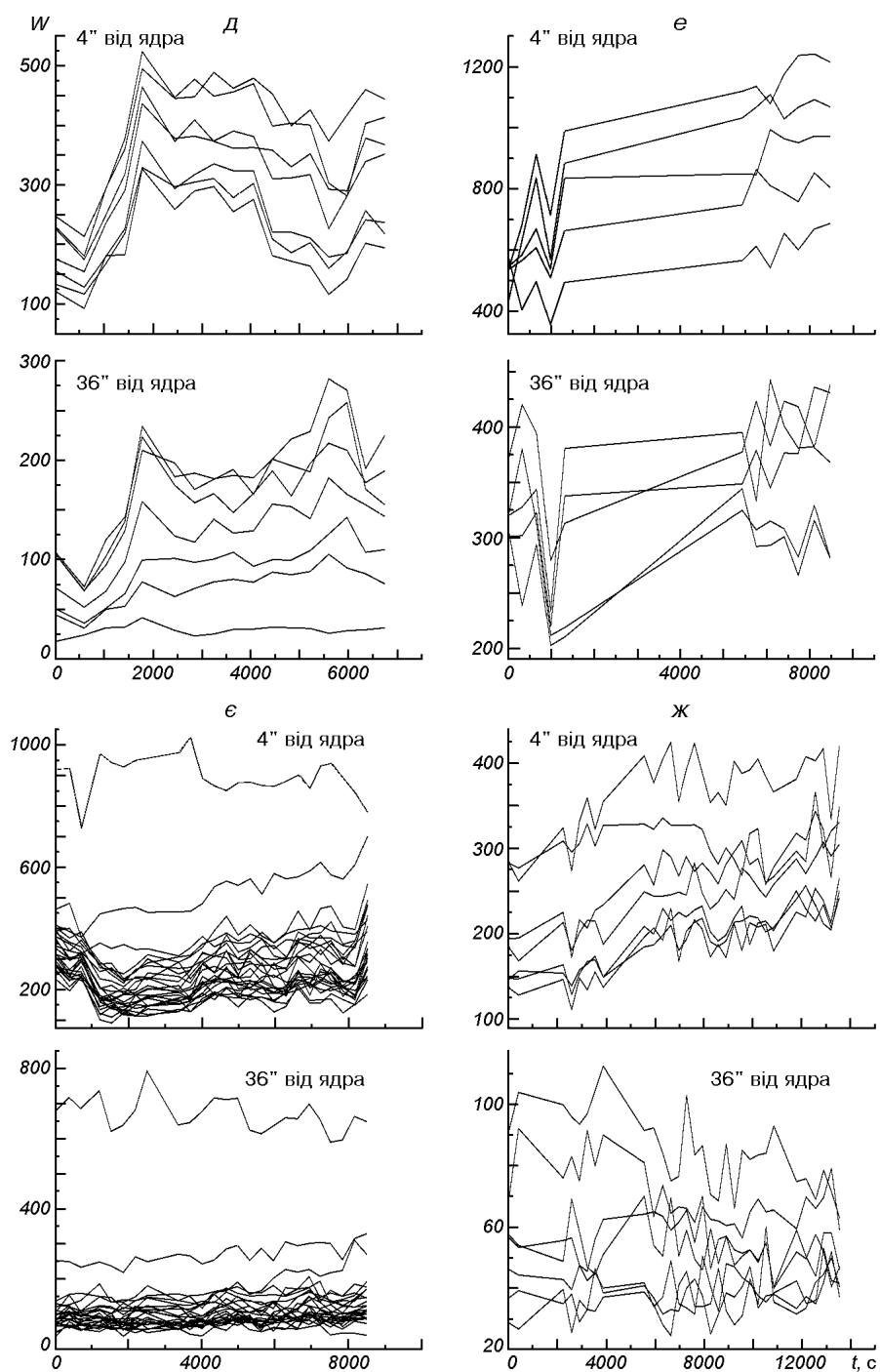


Рис. 2 (продовження). Варіації інтенсивності окремих ліній  $C_2$ : 10 (д, е), 11 (є) і 13 (ж) грудня 1985 р.

Відносна спектральна інтенсивність 13 листопада змінювалась більш ніж у шість разів; тоді ж спостерігалися найвищі коефіцієнти кореляції. В інші дні маємо помірні кореляції. Серія від 10 грудня якісно нагадує серію за 13 листопада.

Таблиця 1. Список досліджуваних ліній C<sub>2</sub>

13 листопада	14 листопада	15 листопада	9 грудня	10 грудня	11 грудня	13 грудня
468.35	468.35	468.35	561.60	561.60	468.35	500.65
469.50	469.50	469.50	563.35	563.35	469.50	501.40
470.25	470.25	470.25	597.70	597.70	470.25	501.80
471.30	471.30	471.30	599.60	599.60	471.30	502.25
473.50	473.50	473.50	602.00	602.00	473.50	503.35
500.60			603.30	603.30		503.90
501.40			612.00	612.00		515.20
501.80						515.65
502.25						516.50
503.35						549.15
503.90						549.70
						550.05
						550.55
						551.30
						552.35
						552.65
						553.50
						553.85
						554.40
						556.40
						556.85
						558.25
						559.30
						559.50
						561.60
						563.35

Характерні часи зміни інтенсивностей спектральних ліній для всіх серій є різними, причому наявні як короткотривалі (20—40 хв), так і довготривалі (1—2 год) варіації [4].

**ВИВЧЕНІ ІНДЕКСИ СОЛЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ**

Для розгляду було взято такі показники сонячної активності: 1) кількість плям на сонячному диску, 2) потоки протонів з енергіями від 1 MeV і більше. На 1985 р. припадає мінімум сонячної активності, і в листопаді—грудні її загальний рівень був не досить високий. Проте відмічалися два сплески — 11 листопада та 5 грудня. Як видно з рис. 3, потоки протонів з енергією понад 4 MeV не зазнавали суттєвих змін в дні спостережень, тому їхнього зв'язку з різкими змінами інтенсивностей ліній практично немає. В той же час сплеск активності Сонця 11 листопада, очевидно, став причиною різких змін інтенсивностей ліній 13 листопада).

На варіації кометних ліній можуть впливати не лише потоки частинок високих енергій, які поширюються від Сонця майже прямолінійно і досягають відстані, де знаходилась комета (1.75 а. о.), менш як за годину. Звичайні корпускулярні потоки (сонячний вітер) мають спіральну форму відповідно до секторної структури міжпланетного магнітного поля. Таким чином, плазма сонячного вітру мала б досягти комети із запізненням у десятки хвилин і в точці, яка не проектується на джерело сонячної плазми.

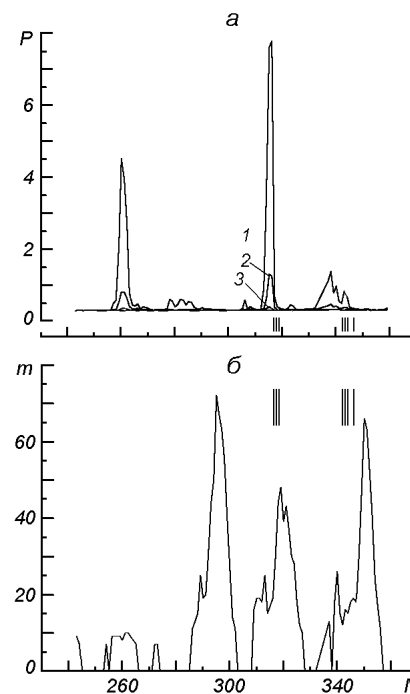


Рис. 3. Варіації показників сонячної активності у 1985 р. (N — номер доби): а — потоки протонів з енергіями 1...2 MeV (крива 1), 2...4 MeV (2) та понад 4 MeV (3) у довільних одиницях; б — кількість плям на диску. Вертикальними штрихами показано дні спостережень комети

Для перевірки можливості впливу частинок високих енергій треба з'ясувати, на яку область Сонця проектувалася комета. Для проектування використовувались загальновідомі формули переходу від геоцентричних прямокутних екваторіальних координат комети  $X, Y, Z$  до геліоцентричних прямокутних екваторіальних координат  $x, y, z$ :

$$\begin{aligned}x &= X - X_{\odot}, & y &= Y - Y_{\odot}, \\z &= Z - Z_{\odot},\end{aligned}$$

де  $X_{\odot}, Y_{\odot}, Z_{\odot}$  — прямокутні геоцентричні координати Сонця, взяті із щорічника [2] на епоху 1986.0.

В свою чергу, прямокутні координати комети визначаються як

$$\begin{aligned}X &= \Delta \cos \delta \cos \alpha, \\Y &= \Delta \cos \delta \sin \alpha, \\Z &= \Delta \sin \delta,\end{aligned}$$

де  $\alpha, \delta$  — геоцентричні екваторіальні координати комети,  $\Delta$  — відстань комети від Землі. Прямокутні геліоцентричні координати комети можна виразити через геліографічні:

$$\begin{aligned}x &= r \cos \varphi \cos \lambda, \\y &= r \cos \varphi \sin \lambda, \\z &= r \sin \varphi,\end{aligned}$$

де  $\lambda, \varphi$  — геліографічна довгота та широта,  $r$  — відстань комети від Сонця. Звідси можна отримати геліографічні координати:

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{y}{x}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}.$$

На рис. 4 подані зображення Сонця, а в табл. 2 вказано активні ділянки з волокнами, числа Вольфа  $W$ , довгота  $L_0$ , відлік широти  $D$ , загальна кількість  $S$  плям та пор. Проекція комети позначена зірочкою. Комета 13 листопада проектувалася на диск Сонця поблизу активної області, коли в спектральних лініях спостерігались високоамплітудні зміни. Внаслідок обертання Сонця проекція швидко віддалялася від активної ділянки — тут маємо помірну активність ліній. Груднева серія спостережень проведена через 26 днів, тобто приблизно одним обертом Сонця пізніше, тому комета знову проектувалася на ту саму активну область [8, 9].

Потоки протонів з досліджуваними енергіями генеруються у надфотосферних шарах атмосфери Сонця. Тому важливо дослідити стан корони, зокрема наявність та характеристики корональних дірок.

Таблиця 2. Керрінгтонівські координати проекцій комети на диск Сонця та інші обставини спостережень

Дата, 1985	$L_0$ , град	$D$ , град	$S$	$W$
13.11	96	+3	114	40
14.11	82	+3	204	49
15.11	69	+3	433	58
09.12	113	+0	0	0
10.12	100	+0	115	15
11.12	86	+0	113	19
13.12	60	-1	59	15

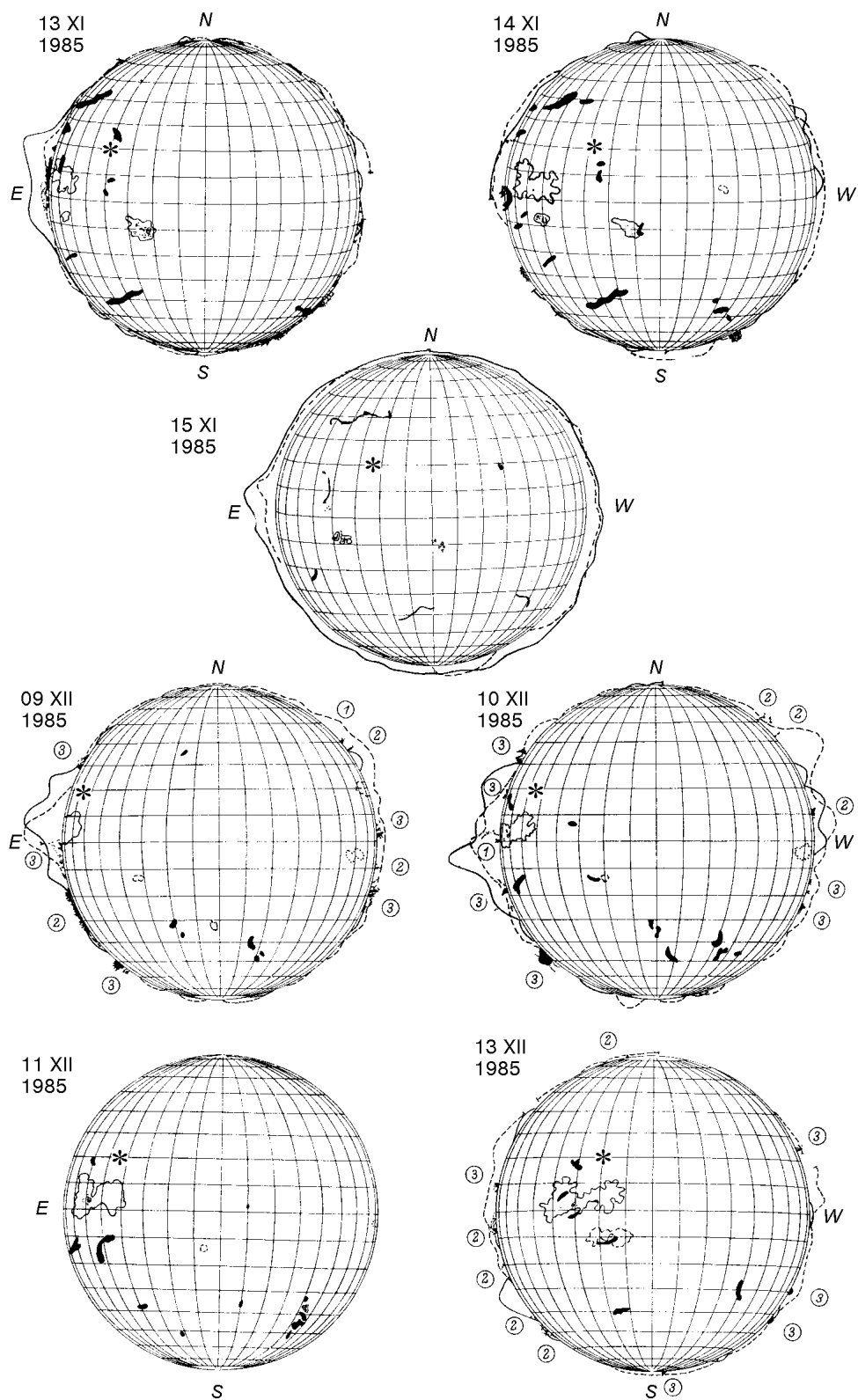


Рис. 4. Положення проєкцій комети Галлея на диск Сонця в листопаді — грудні 1985 р. (див. табл. 2)

Таблиця 3. Опис корональних дірок в листопаді—грудні 1985 р.

Керінгтонівський оберт 1669			Керінгтонівський оберт 1770		
Широта	Довгота	Розмір	Широта	Довгота	Розмір
Полярні дірки					
S51	229	18×87	N54	336	12×57
N55	084	10×47	N47	154	18×48
N55	073	10×47	N55	084	10×47
N55	096	10×48	S51	229	18×87
N55	320	10×110	S49	234	22×76
S54	260	12×151	N55	096	10×48
			N55	320	10×110
			N53	155	14×50
Екваторіальні дірки					
N06	131	20×10	N17	023	15×17
N17	023	15×17	N12	018	14×21
N11	132	23×8			
N11	013	12×8			

В табл. 3 приведено основні параметри корональних дірок близько 13 листопада та близько 10 грудня 1985 р. (відповідно 1769 та 1770 керінгтонівський оберт) в полярних та екваторіальних областях Сонця згідно з каталогом корональних дірок (сайт Мексиканського центру досліджень Сонця [ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/CORONA](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/CORONA)) [11]. Видно, що найближчі до проекції комети корональні дірки були досить протяжними, неправильної форми. Як зазначено вище, близькість проекції комети до активних областей на поверхні Сонця необхідно для опромінення комети високоенергетичними частинками, але корпускулярні потоки викривляються внаслідок дії сонячного магнітного поля та сил Коріоліса. Тому заряджені частинки можуть відхилитися на деякий кут. Для досліджуваних частинок з енергіями 1—4 MeV кут відхилення може становити кілька десятків градусів.

Оскільки ми досліджуємо оптичні спектри комети Галлея, слід зауважити, що ані жорстка фотонна радіація, ані частинки (протони та електрони) високих енергій не здатні безпосередньо збуджувати молекулярні емісії у видимому діапазоні через те, що переріз таких процесів дуже малий. Проте механізм збудження оптичних емісій можливий. Взаємодія пилу, наявного в атмосфері комети, з корпускулярною та жорсткою фотонною радіацією, могла бути джерелом вторинних електронів та квантів з енергіями, для яких переріз збудження молекул більший. Ця можливість заслуговує на детальніше вивчення, яке виходить за рамки нашої роботи.

Швидкі варіації в спектрах комети Галлея наприкінці листопада 1985 р. відмічено також іншою групою спостерігачів (М. С. Дементьев та ін.), хоча про значне збільшення їхньої амплітуди в ці дні не повідомляється. Можливо через те, що в цей час сонячна активність була досить низькою [8].

#### КОЕФІЦІЄНТИ ВЗАЄМНИХ КОРЕЛЯЦІЙ

Дослідження варіацій методом, що використовувався в нашій роботі [4], проводилося з припущенням, що дані спектральні ряди є стаціонарними [5]. Насправді в природі ми маємо справу з локально стаціонарними рядами, що описують локально-пуассонівський процес, для якого функція розподілу або густина ймовірності того, що за проміжок часу  $\Delta t$  буде зареєстровано  $N$  фотонів, дається виразом



$$P(N, dt) = \frac{[k(t)dt]^N}{N!} e^{-k(t)dt},$$

де  $k(t)$  — середня кількість квантів, що її приймає прилад за одиницю часу, тобто частота надходження квантів. Для звичайного стаціонарного процесу Пуассона частота надходження є сталою величиною, але пуассонівський процес має ту властивість, що сукупність двох пуассонівських процесів є також процесом Пуассона, тому даний вираз справедливий для  $dt \rightarrow 0$ , елементарно узагальнюється на випадок змінної частоти, тобто на випадок нестационарного процесу:

$$P(N, \Delta t) = \frac{1}{N!} \left[ \int_{t_0}^{t_1} k(t)dt \right]^N \exp \left[ - \int_{t_0}^{t_1} k(t)dt \right], \quad (1)$$

де  $\Delta t = t_1 - t_0$ .

Досліджуваний процес є послідовністю експозицій, кожна з яких почалася в момент  $t_{i,b}$ , закінчилася в момент  $t_{i,e}$ , і за цей проміжок часу  $t_{i,e} < t < t_{i,b}$  лічильник нарахував  $N_i$  фотонів. Моменти впорядковані за схемою

$$t_{i,b} < t_{i,e} < t_{i+1,b} < t_{i+1,e},$$

де  $i = 1, 2, \dots, n-1$ , якщо послідовність вимірювань складається з  $n$  експозицій.

Попри те, що локально-пуассонівський процес є нестационарним, поняття емпіричної оцінки середнього значення  $k$  за проміжок спостережень має сенс, і останнє може бути обчислене за формулою

$$\langle k \rangle = \lambda = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}, \quad (2)$$

де

$$\Delta t_i = t_{i,e} - t_{i,b} \quad (3)$$

є тривалість  $i$ -ї експозиції. У знаменнику формули (2) стоїть не тривалість періоду спостережень  $T = t_{n,e} - t_{1,b}$ , а сума всіх експозицій  $T_S = \sum_{i=1}^n \Delta t_i$ , яка менша від  $T$  за рахунок прогалів між експозиціями.

Послідовність відліків  $N_i$  можна відцентрувати, тобто зсунути ряд на величину середнього відліку з урахуванням варіацій тривалості експозицій, тобто на  $\langle N_i \rangle = \langle k \rangle \Delta t_i$ . Маємо

$$\tilde{N}_i = N_i - \langle N_i \rangle. \quad (4)$$

Середнє у часі значення цієї величини дорівнює нулю.

Для запису нееквідистантного ряду з прогалинами та варіацією експозиції скористаємось прямокутною фільтруючою функцією

$$E_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t_{i,b} < t < t_{i,e}, \\ 0, & \text{якщо } t \notin (t_{i,b}, t_{i,e}). \end{cases} \quad (5)$$

Тоді можна записати сигнал, що підлягає аналізу, у вигляді

$$S(t) = \sum_{i=1}^n N_i E_i(t). \quad (6)$$

Хоча формально прямокутна функція дорівнює нулю поза прямокутником, не можна вважати, що справжнє значення швидкості надходження квантів дорівнює нулю в усіх паузах лічильника квантів. Кінцевою метою аналізу є встановлення властивостей функції  $k(t)$ , яка відома нам у вигляді інтегралів в межах кожної експозиції:

$$N_i = \int_{t_{i,b}}^{t_{i,e}} k(t) dt = \bar{k}_i \Delta t_i. \quad (7)$$

Нас цікавитиме дисперсія функції  $k(t)$ , тобто величина

$$\sigma_k^2 = \int_{t_{1,b}}^{t_{n,e}} [k(t) - \langle k \rangle]^2 dt = \sum_{i=1}^n [\bar{k}_i - \langle k \rangle]^2 \Delta t_i. \quad (8)$$

Розкриваючи дужки та використовуючи (2) маємо

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \frac{N_i^2}{\Delta t_i} - 2\langle k \rangle \sum_{i=1}^n N_i + \langle k \rangle^2 T_s = \sum_{i=1}^n \frac{N_i^2}{\Delta t_i} - \langle k \rangle^2 T_s. \quad (9)$$

Цей вираз характеризує дисперсію всього ряду спостережень. Її не треба плутати з дисперсією окремого відліку

$$\sigma_i^2 = \langle (N_i - k_i \Delta t_i)^2 \rangle = N_i. \quad (10)$$

Слід звернути увагу на те, що величина  $\sigma_k^2$  має розмірність  $c^{-1}$ , а  $\sigma_i^2$  — безрозмірна. Інтервали навколо вимірних значень, що приведені на рис. 1, відповідають  $\sigma_i = \sqrt{N_i}$ .

Розглянемо два локально-пуассонівські процеси. У випадку зіставлення двох спектральних емісій в одному й тому ж динамічному спектрі має місце одна й та ж послідовність експозицій. Далі буде враховано цю обставину, хоча й усі результати легко узагальнити на випадок, коли обидва процеси реєструвались різними приладами, тобто послідовності експозицій різні. Отже маємо:

$$S_1(t) = \sum_{i=1}^n N_{1i} E_{1i}(t), \quad (11)$$

$$S_2(t) = \sum_{i=1}^n N_{2i} E_{2i}(t), \quad (12)$$

де  $E_{1i} = E_{2i}$ . Метою аналізу є обчислення взаємно кореляційної функції обох процесів, тобто інтегралу

$$K_{1,2}(\tau) = \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} k_1(t) k_2(t + \tau) dt \quad (13)$$

де верхня і нижня межа інтегрування визначаються величиною  $\tau$ , а також всім набором  $E$ -функцій. Моделі ряду спостережень, що визначена формулами (11) та (12), відповідають такі  $k$ -функції:

$$k_{1,2}(t) = \sum_{i=1}^n \frac{N_i^{(1,2)}}{\Delta t_i^{(1,2)}} E(t_{ib}, t_{ie}). \quad (14)$$

Підстановка цього виразу в інтеграл (13) дає подвійну суму

$$\begin{aligned} K_{1,2}(\tau) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{N_i^{(1)} N_j^{(2)}}{\Delta t_i \Delta t_j} \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} E(t_{ib}, t_{ie}, t) E(t_{ib}, t_{ie}, t + \tau) dt = \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{N_i^{(1)} N_j^{(2)}}{\max(\Delta t_i, \Delta t_j)} \text{Trap}_{ij}(\tau), \end{aligned} \quad (15)$$

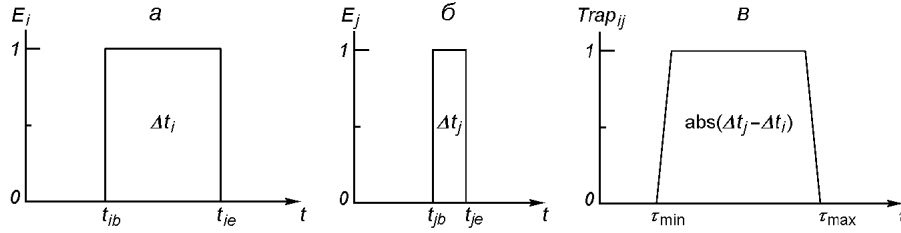


Рис. 5. Трапецієвидна функція  $Trap_{ij}(\tau)$  двох прямокутників

де кожен інтеграл обчислюється в межах перекриття двох зсунутих один відносно другого прямокутників, які зображують обидві ( $i$ -ту та  $j$ -ту) експозиції.

У знаменнику (15) стоїть величина більшого з двох інтервалів  $\Delta t_i$  та  $\Delta t_j$ . Символом  $Trap$  у виразі (15) позначено трапецієвидну функцію, графік якої зображено на рис. 5. Ця функція аналітично описується в такий спосіб:

$$Trap_{ij}(\tau) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \tau < \tau_{\min,ij}, \\ \frac{\tau - \tau_{\min,ij}}{\min(\Delta t_i, \Delta t_j)}, & \text{якщо } \tau_{\min,ij} \leq \tau < \tau_{\min,ij} + \min(\Delta t_i, \Delta t_j), \\ 1, & \text{якщо } \tau_{\min,ij} + \min(\Delta t_i, \Delta t_j) \leq \tau \leq \tau_{\max,ij} - \min(\Delta t_i, \Delta t_j), \\ \frac{\tau_{\max,ij} - \tau}{\min(\Delta t_i, \Delta t_j)}, & \text{якщо } \tau_{\max,ij} - \min(\Delta t_i, \Delta t_j) < \tau \leq \tau_{\max,ij}, \\ 0, & \text{якщо } \tau > \tau_{\max,ij}. \end{cases} \quad (16)$$

де

$$\tau_{\min,ij} = t_{jb} - t_{ie},$$

$$\tau_{\max,ij} = t_{je} - t_{ib}.$$

У випадку, коли  $\tau_{\min} \geq \tau_{\max}$ , необхідно поміняти місцями  $\tau_{\min}$  та  $\tau_{\max}$  в (16).

З виразів (15) та (16) випливає, що наявні спостереження дають змогу обчислити кроскореляційну функцію на інтервалі

$$\tau_{\min,n1} < \tau < \tau_{\max,n1}.$$

Крос- та автокореляційна функція, які даються виразом (13), є нецентрованими. Щоб отримати центровані функції, потрібно замінити (13) іншим виразом:

$$K_{1,2}^{(c)}(\tau) = \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} [k_1(t) - \langle k_1 \rangle] [k_2(t + \tau) - \langle k_2 \rangle] dt = K_{1,2}(\tau) - \langle k_1 \rangle \langle k_2 \rangle T_S,$$

де середні значення  $\langle k_1 \rangle$  та  $\langle k_2 \rangle$ , а також сумарна тривалість усіх експозицій  $T_S$  визначені вище.

Для отримання коефіцієнта кореляції обох процесів потрібно центроване значення кореляційної функції нормувати, тобто поділити на добуток  $\sigma_1 \sigma_2$ . Маємо

$$K_{1,2} = \frac{K_{1,2}(0) - \langle k_1 \rangle \langle k_2 \rangle T_S}{\sigma_1 \sigma_2}, \quad (17)$$

де

Таблиця 4. Середні коефіцієнти взаємної кореляції  $K$  між лініями  $C_2$  та оцінки ймовірності випадкового характеру кореляційних зв'язків  $p$

Область	13 листопада	14 листопада	15 листопада	9 грудня	10 грудня	11 грудня	13 грудня
$K$							
Ядро	0.965	0.840	0.866	0.366	0.919/0.878	0.748	0.760
Кома	0.748	0.108	0.093	0.187	0.452/0.549	0.295	0.0001
ядро—кома	0.787	0.382	0.403	0.185	0.536/0.483	0.308	-0.094
$p$							
Ядро	0.013	0.085	0.044	0.156	0.038/0.066	0.088	0.076
Кома	0.083	0.285	0.175	0.173	0.193/0.200	0.183	0.180
ядро—кома	0.0719	0.247	0.148	0.173	0.173/0.221	0.181	0.178

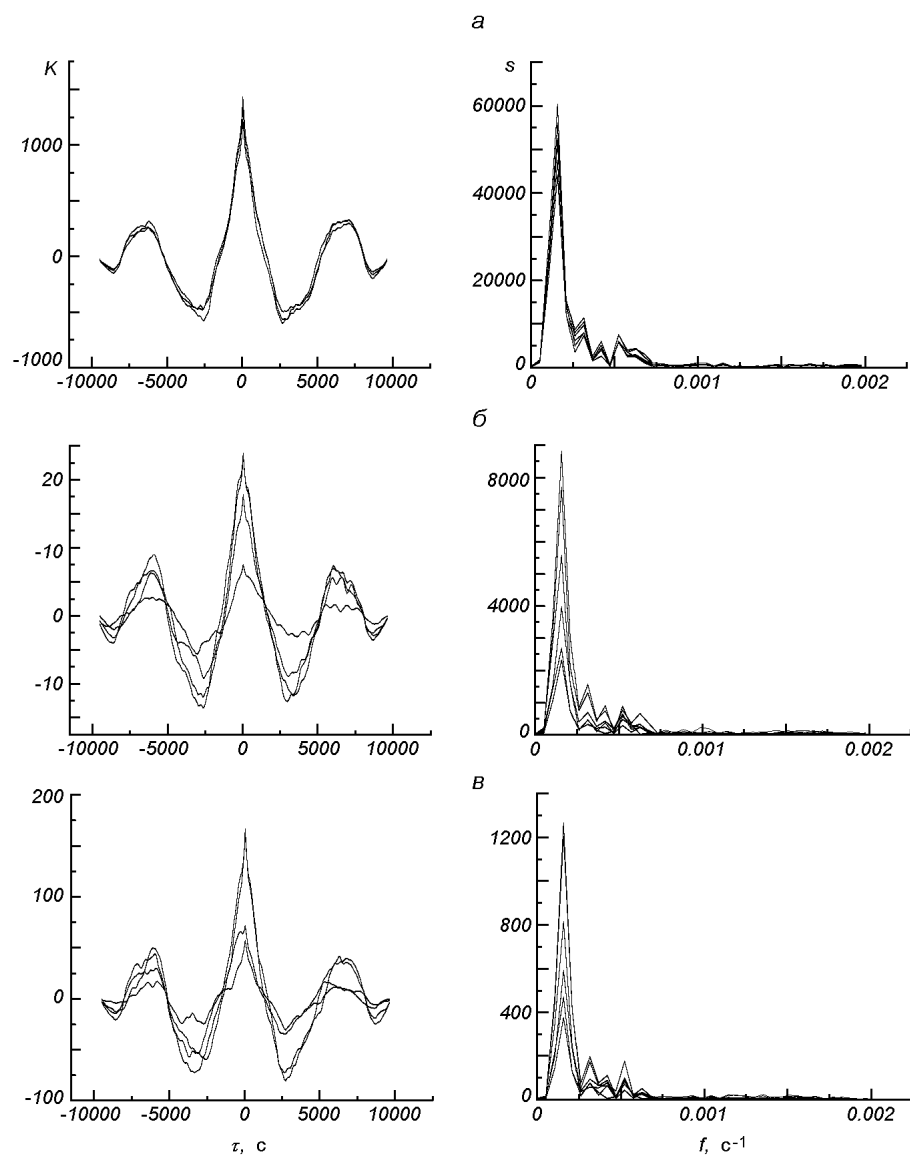


Рис. 6. Взаємно кореляційні функції  $K$  та спектральні густини  $s$  ліній  $C_2$  для високоамплітудних варіацій:  $a$  — для ядра,  $б$  — для коми,  $в$  — між ядром і комою

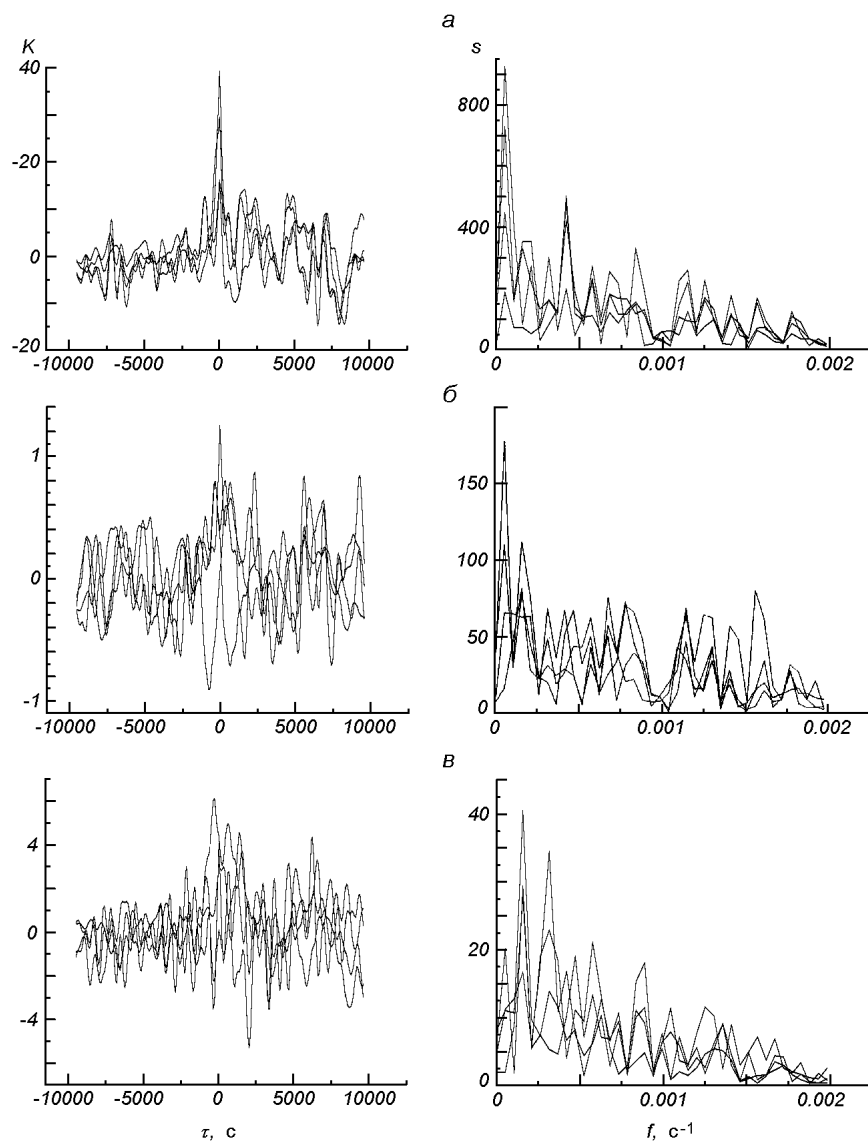


Рис. 7. Взаємно кореляційні функції  $K$  та спектральні густини  $s$  ліній  $C_2$  для низькоамплітудних варіацій:  $a$  — для ядра,  $b$  — для коми,  $v$  — між ядром і комою

$$\sigma_{1,2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(N_i^{1,2})^2}{\Delta t_i} - \langle k_{1,2} \rangle^2 T_s} . \quad (18)$$

Середні значення мають розмірність квант/с, дисперсії та кореляційні функції — розмірність квант<sup>2</sup>/с; коефіцієнт кореляції — величина безрозмірна.

В табл. 4 подані середні коефіцієнти взаємних кореляцій  $K$  для всіх ночей спостережень, а також оцінки ймовірності випадкового характеру кореляційних зв'язків  $p$ , обчислені за формулою:

$$p = \frac{1 - K^2}{\sqrt{n}},$$

де  $n$  — об'єм вибірки згідно з [10].

Відмічається значне підвищення коефіцієнтів у дні, коли спостері-

гаються високоамплітудні варіації. Для спокійного періоду, коли значних змін амплітуди варіацій немає, ці коефіцієнти (особливо для коми) близькі до нуля.

На рис. 6 подано вигляд взаємно кореляційних функцій та їхніх фур'є-спектрів, обчислених за наведеним вище методом, що типові для активного періоду, а на рис. 7 приведені відповідні графіки, що стосуються спокійного періоду кометної активності. Останні особливо нагадують результати для вузькосмугового стаціонарного білого шуму [7].

## ВИСНОВКИ

Як виявилось, фоновая сонячна активність не дає суттєвого внеску у швидкі варіації інтенсивностей окремих спектральних ліній. При відсутності потужних сонячних спалахів варіації, якщо вони є, повністю визначаються активними процесами в ядрі самої комети (викиди, вибухи і т. п.). Підвищення сонячної активності, особливо з викидом високоенергійних протонів, призводить до значних варіацій (потік зареєстрованих фотоелектронів збільшувався в 3—4 рази) у всіх без винятку лініях. При цьому коефіцієнти кореляцій між лініями близькі до 1.

Автори щиро вдячні співробітникам лабораторії фізики та астрономії низькотемпературних астрономічних об'єктів ГАО НАНУ за активну участь в обговоренні результатів.

1. Андриенко Д. А., Ващенко В. Н. Кометы и корпускулярное излучение Солнца. — М.: Наука, 1981.—164 с.
2. *Астрономический ежегодник СССР на 1985 год.* — Л.: Наука, 1982.—Т. 64.—736 с.
3. *Астрономический календарь. Постоянная часть / Под ред. П. И. Бакулина.* — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962.—772 с.
4. Борисенко С. А., Назарчук Г. К., Шульман Л. М. Часові варіації інтенсивностей окремих спектральних ліній комети Галлея та дослідження їхніх кореляцій // *Кинематика и физика небес. тел.*—2000.—16, № 1.—С. 32—39.
5. Бендат Дж., А. Пирсол А. Применения корреляционного и спектрального анализа: Пер. с англ. — М.: Мир, 1983.—312 с.
6. Добровольский О. В. Кометы. — М.: Наука, 1966.—288 с.
7. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. — М.: Мир, 1982.—428 с.
8. *Солнечные данные. Бюллетень № 11.* Ноябрь, 1985 г. —Л.: Наука, 1985.—96 с.
9. *Солнечные данные. Бюллетень № 12.* Декабрь, 1985 г. — Л.: Наука, 1986.—96 с.
10. Щиголов Б. М. Математическая обработка наблюдений. — М.: Наука, 1969.—344 с.
11. McIntosh P. S. Atlas Stackplots. Report UAG-101, NOAA World Data Center for Solar-Terrestrial Physics, Boulder: UAG, 80303-3328, 1991.—188 p.

Поступила в редакцию 06.07.01