

---

МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ  
ПРИ ПРЕЗИДИУМЕ АКАДЕМИИ НАУК СССР

ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR  
SOVIET GEOPHYSICAL COMMITTEE

---



*РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРОЕКТАМ*

# КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

№ 25

МОСКВА 1988

Л.И. Дорман, Р. Галл, О.В. Гулинский, К. Кудела, Н.С. Каминер,  
И.Я. Либин, Н.В. Мырина, К. Отаола, Р.Е. Прилуцкий,  
Х. Перес-Пераса, М. Стеглик, К.Ф. Юдахин

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПО ДАННЫМ НЕЙТРОННОЙ И ИОНИЗИРУЮЩЕЙ КОМПОНЕНТ И ИХ СВЯЗЬ С АНИЗОТРОПИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.

Известно, что крупномасштабные флуктуации скорости солнечного ветра являются основным источником флуктуаций галактических космических лучей, наблюдаемых на Земле в диапазоне частот от  $10^{-7}$  до  $10^{-4}$  Гц. Исследования спектральных характеристик флуктуаций космических лучей (от часовых до двухнедельных), выполненные различными авторами [1-5], позволили выявить ряд интересных закономерностей. В работе О. Филисетти [2] по данным наблюдений в 1973-1974 гг. (с помощью лунного телескопа и экранированных десятисантиметровым слоем свинца ионизационных камер на станциях Уанкайо и Фридрихсбург, а также нейтронных мониторов станций Клаймакс, Дип Ривер и Уанкайо) исследованы крупномасштабные флуктуации космических лучей в диапазоне частот  $0,9 \div 1,3 \times 10^{-6}$  Гц. Получена однозначная связь наблюдаемых флуктуаций (с амплитудами порядка 1,5-3,5% для различных приборов) с двухсекторной структурой межпланетного магнитного поля, что хорошо согласуется с результатами теоретических расчетов А. Оуэнса [6]. Расчеты флуктуаций интенсивности космических лучей в диапазоне частот от  $10^{-6}$  до  $10^{-4}$  Гц [3-5] показали, что по крайней мере от частот  $2 \times 10^{-5}$  до  $5 \times 10^{-4}$  Гц спектры хорошо описываются степенным законом  $P(f) \sim A \cdot f^{-\gamma}$ , где  $\gamma$  меняется от 1,5 до 3,5-4,2 в зависимости от состояния межпланетной среды, наличия рекуррентных возмущений в среде и спектра неоднородностей межпланетного магнитного поля. Последнее крайне существенно, поскольку еще в 1970 г. Дж. Сари и Н. Несс [7] показали, что в интервале частот от  $1,4 \times 10^{-4}$  до  $2,3 \times 10^{-6}$  Гц спектр магнитных неоднородностей описывается степенным законом с показателем  $\nu = 5/3$  (в более высокочастотной области  $\nu = 2,0$ ), а связь между спектрами флуктуаций космических лучей и межпланетного магнитного поля в достаточной степени однозначна [6]. Существенно, что при исследованиях и расчетах крупномасштабных флуктуаций космических лучей необходимо [8] учитывать продольную составляющую  $B_{||}$  межпланетного магнитного поля, флуктуации которой с периодами 6,75; 9; 13,5; 27 суток больше чем на порядок превышают поперечную составляющую ММП  $B_{\perp}$ . Исследование спектров мощности флуктуаций ММП с периодами от 40 минут до нескольких суток показывает значительное падение амплитуды колебаний  $B_{||}$ , хотя и в этом случае такие колебания могут обеспечить флуктуации космических лучей с амплитудами порядка 0,2-0,3% в высокочастотной области спектра.

1. Многочисленные расчеты спектральных характеристик космических лучей, выполненные по пятиминутным, часовым, двухчасовым и среднесуточным значениям интенсивности нейтронной, лунной и ионизи-

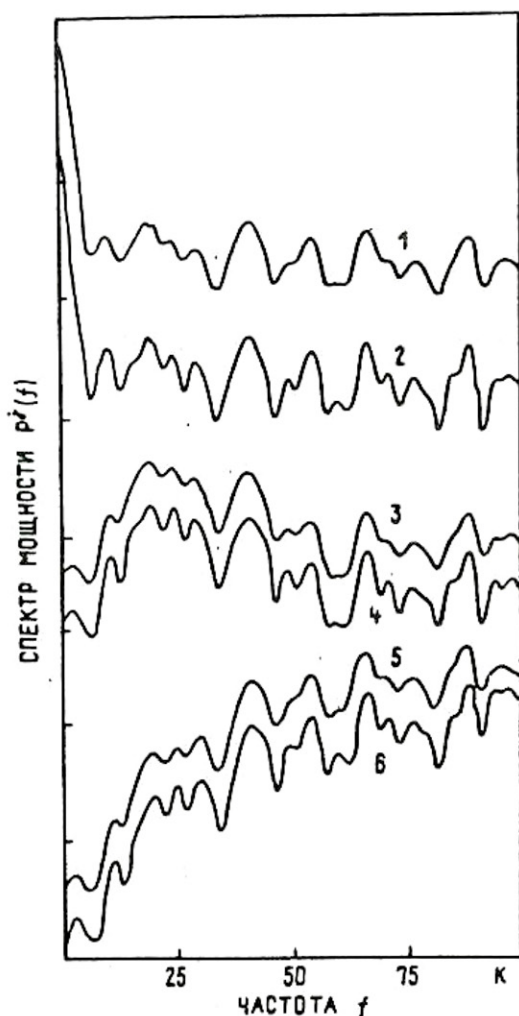


Рис. 1. Спектры мощности флуктуаций КЛ для спокойных периодов по данным сцинтилляционного телескопа ИЗМИРАН (с окнами Тьюки-кривые 1,3,5 и Парзена - кривые 2,4,6) для исходных (кривые 1,2) и фильтрованных рядов данных

рующей компонент космического излучения [9-11] показали сложную, быстро меняющуюся картину этих колебаний. На рис. 1 приведен спектр флуктуаций интенсивности ионизирующей компоненты космических лучей по данным сцинтилляционного супертелескопа ИЗМИРАН [12], характерный для спокойного состояния межпланетной среды. Отмечаем обилие спектральных линий незначительных амплитуд (не превышающих 90%-ного доверительного интервала) практически на всех частотах от  $1,6 \times 10^{-4}$  вплоть до  $7 \times 10^{-6}$  Гц. Аналогичный анализ флуктуаций, выполненный для примерно тех же периодов (1979-1984 гг.) в области частот от  $1,4 \times 10^{-4}$  до  $8 \times 10^{-6}$  Гц, выполненный в различное время (рис. 2) показывает наличие для спокойных периодов колебаний длительностью порядка 160 и 200 минут и 420 ми-

нут перед возмущениями межпланетной среды. 160 и 200-минутные колебания в этом случае сохраняются, хотя и с меньшими амплитудами. Усиление семичасовых флуктуаций космических лучей с одновременным подавлением флуктуаций 160-минутных связано по-видимому с флуктуациями межпланетного магнитного поля в межпланетных ударных волнах [9], проходящих к Земле, и процессами ускорения космических лучей этими волнами. Особенно хорошо такая перестройка заметна для спектральных характеристик флуктуаций космических лучей в области частот от  $2 \times 10^{-4}$  до  $2 \times 10^{-5}$  Гц: на рис. 3 приведены мгновенные спектры, вычисленные по данным станции Кергелен за 20 сентября 1977 года перед форбуш-понижением 22 сентября. Из рисунка хорошо видна динамика перехода от спектра без всяких особенностей (кривые 1-3), к спектру с явно выраженными пиками (кривые 6-8), в частности с пиком на частоте  $8 \times 10^{-4}$  Гц, который полностью диссипировался за 24 часа до форбуш-понижения. При этом хотелось бы отметить существенное укрупнение спектра в области частот меньших  $5 \times 10^{-5}$  Гц: проведенные расчеты показателей наклонов спектров в области частот  $10^{-5} \leq f \leq 10^{-4}$  Гц выявили изменение  $\gamma$  от -1,6 для кривых 1,2 до значений -3,8 для кривых 12-14, то есть еще за сутки до начала форбуш-понижения 22 сентября.

К сожалению картина в области низких частот не всегда бывает

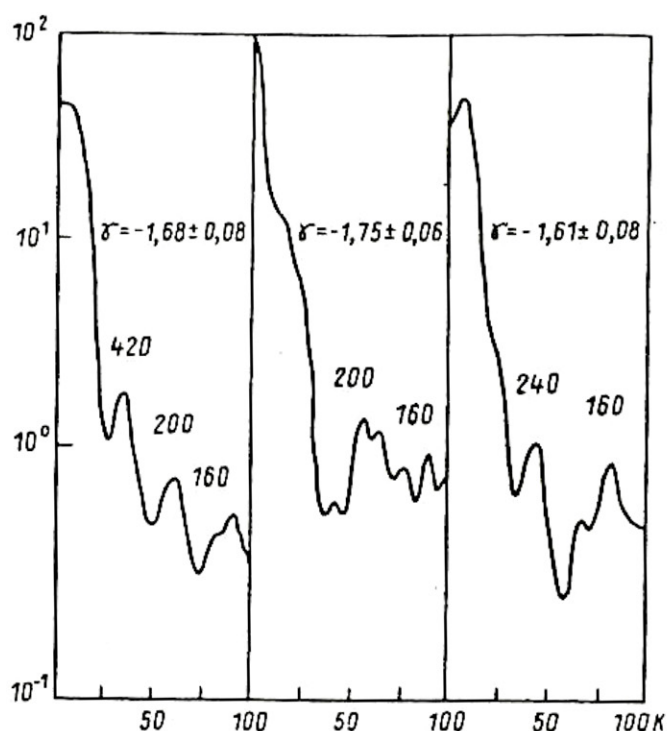


Рис. 2. Спектры флуктуаций интенсивности КЛ для возмущенных и спокойных периодов по данным сцинтилляционного телескопа ИЗМИРАН

столь однозначной: процесс перестройки спектров протекает практически всегда, но существенно по-разному для различных периодов. На рис. 4 приведены мгновенные спектры для сентябрьского форбуш-понижения 1977 г. по данным ст. Утрехт: перестройка спектров началась практически за двое суток до начала возмущения межпланетной среды в окрестности Земли почти в то же время, что и для станции Кергелен, тем не менее, показатели наклона изменялись в существенно меньших пределах от 1,2 до 2,4, к тому же в отличие от станции Кергелен за 18 часов до форбуш-понижения наблюдалось явное смещение статистически значимого пика в область низких частот. Последний эффект довольно часто наблюдается в данных высокоширотных мониторов [11, 12] и сравнительно редко для среднеширотных установок.

Таким образом, при распространении космических лучей в межпланетном пространстве возникают характерные флуктуации космических лучей, спектры мощности которых перестраиваются перед возмущениями межпланетной среды во всем частотном диапазоне [3-5]. Механизмы такой перестройки для различных частотных диапазонов существенно различны [1], поэтому представляет интерес исследовать возможные варианты такой перестройки спектров для разного рода возмущений межпланетной среды и сопоставить полученные экспериментальные спектры с аналогичными спектрами, вычисленными теоретически из различных моделей [6].

2. Значительный интерес для изучения спектров в низкочастотном диапазоне представляет исследование флуктуаций, связанных с рекуррентными высокоскоростными потоками солнечного ветра. Время жизни высокоскоростного потока (ВСП), связанного с корональной дырой, может меняться от менее одного солнечного оборота ( $\leq 27$  суток) до 10-20 и более оборотов. Но ВСП, существующий в течение такого длительного

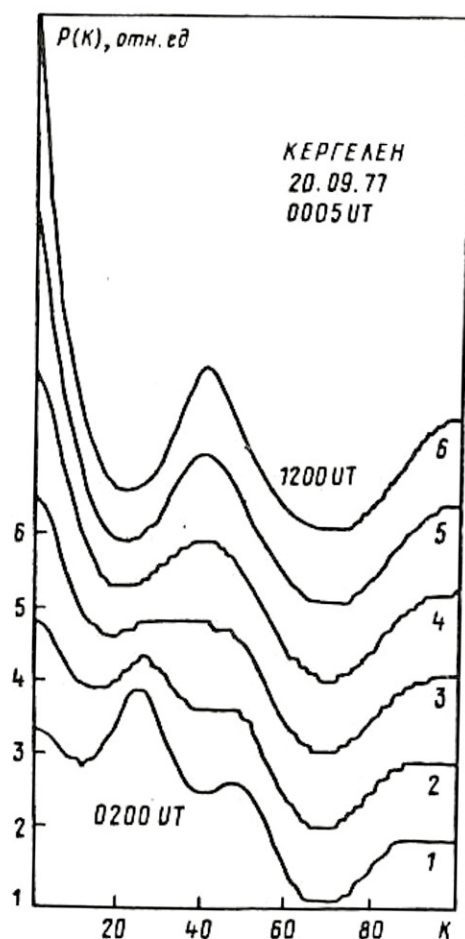
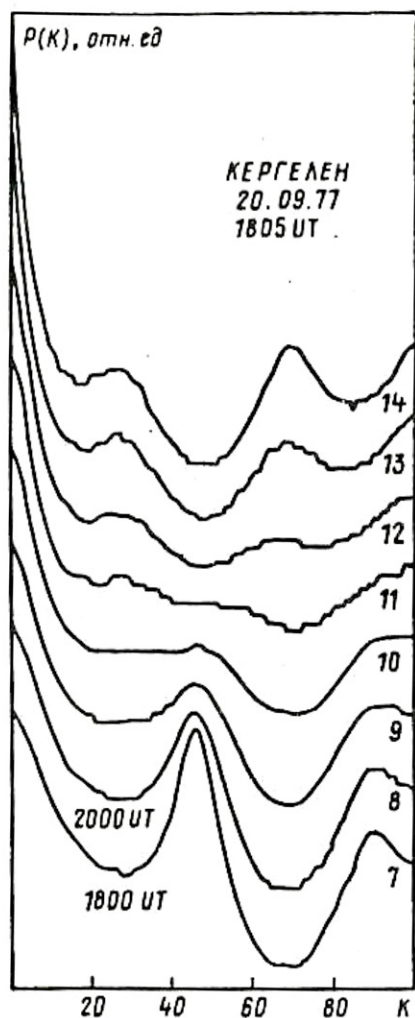


Рис. 3. Мгновенные спектры флуктуаций по данным нейтронного монитора станции космических лучей Кергелен

времени, не является чем-то неизменным. Размеры и расположение корональных дыр в солнечной короне меняются с течением времени, в соответствии с этим должны эволюционировать как рекуррентные ВСП, так и флуктуации космических лучей, с этими ВСП связанные.

Поперечные размеры ВСП на орбите Земли достигают  $3 \cdot 10^{13}$  см и при средней напряженности магнитного поля в потоке порядка 5 нТл максимальная энергия частиц, на которые может эффективно воздействовать поток составляет  $5 \cdot 10^{10} \div 5 \cdot 10^{11}$  эВ. Таким образом, по крайней мере, в нейтронной компоненте эффекты, связанные с ВСП, должны быть хорошо выражены.

Поэтому важное значение имеет исследование флуктуаций КЛ внутри ВСП. Для этого анализировались данные за 1973–1974 гг. – годы спада солнечной активности, – когда наблюдались большое число долгоживущих ВСП. Исследование поведения крупномасштабных флуктуаций КД внутри ВСП проводилось по данным нейтронной компоненты космических лучей станции Дип Ривер. Внутри ВСП, при его пересечении скорость плазмы быстро меняется. Вблизи краев потока, особенно вблизи лидирующего края, скорость искажается вследствие взаимодействия ВСП со спокойным солнечным ветром. Поэтому флуктуации рассчитыва-

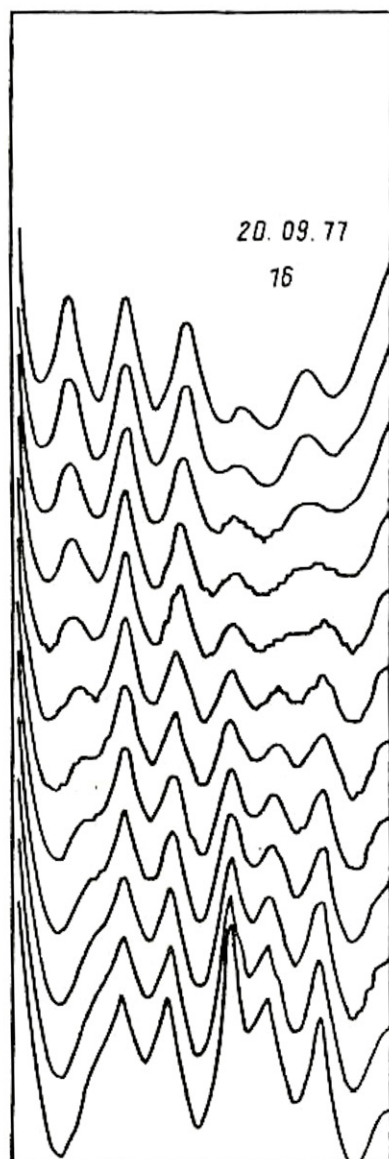
Рис. 4. Мгновенные спектры флуктуаций КЛ по данным НМ-64 СКЛ Утрехт

лись для дней, когда Земля находилась внутри ВСП. Все ВСП были разбиты на три группы в зависимости от значения максимальной скорости: I с максимальной скоростью меньше  $600 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ , II —  $600\text{--}700 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$  и III — со скоростью больше  $700 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ . Значения амплитуд, фаз и показателей наклона спектров крупномасштабных флуктуаций вычислялись как для каждой группы в отдельности, так и для всей выборки в целом.

Исследование первой и второй гармоник суточной вариации по используемой методике показывают, что внутри ВСП амплитуды обеих гармоник суточной вариации на 20–25% больше, чем в спокойном солнечном ветре; фаза 1-ой гармоники в ВСП смещается на более ранние часы (смещение порядка одного часа), фаза второй гармоники на более поздние (смещение порядка 1,3 часа). Рассмотрение этих изменений отдельно для трех групп с различными скоростями ВСП согласуется с этими результатами: с увеличением среднего значения  $V_{\text{max}}$  в потоках амплитуды 1 и 2 гармоники возрастают, фазы смещаются как и для всей выборки.

Аналогичную изменчивость от скорости потоков продемонстрировали и более высокочастотные флуктуации: семичасовые, трехчасовые и т.д. Действительно, степень однородности магнитного поля в ВСП связана со скоростью плазмы в них: чем больше скорость, тем меньше изменчивость поля в потоке  $\sigma_B$ . Если предположить, что величина  $\sigma_B$  характеризует число магнитных неоднородностей в ВСП, то приходим к выводу, что с увеличением скорости потока возрастает регулярность поля внутри ВСП.

На рис. 5 показано, что изменялись максимальная скорость солнечного ветра  $V_{\text{max}}$  в рекуррентном ВСП и ширина потока  $\Delta t$  с мая по октябрь 1973 г. (а) при регистрации их в восьми последовательных пересечениях Землей потока. Видно, что при первом появлении ВСП  $V_{\text{max}} = 600 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ . Для остальных потоков начальное значение  $V_{\text{max}}$  менялось от 500 до  $620 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ . При последующих появлениях ВСП  $V_{\text{max}}$  быстро растет и достигает максимума в третьем обороте ( $\sim 750 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ ), а затем плавно уменьшается до  $V_{\text{max}} \sim 575 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$  в конце жизни потока. (Сходным образом ведет себя и  $\Delta t$ ). На рис. 5б, в (для того же рекуррентного ВСП) приведено поведение среднеквадратичного отклонения модуля полного вектора магнитного поля в потоке  $\sigma_B$ , показателя дифференциального энергетического спектра формулы понижения  $U_f$  и показателя спектра мощности флуктуаций космических лучей в диапазоне частот от  $1,4 \times 10^{-4}$  до  $10^{-6}$  Гц. Все эти



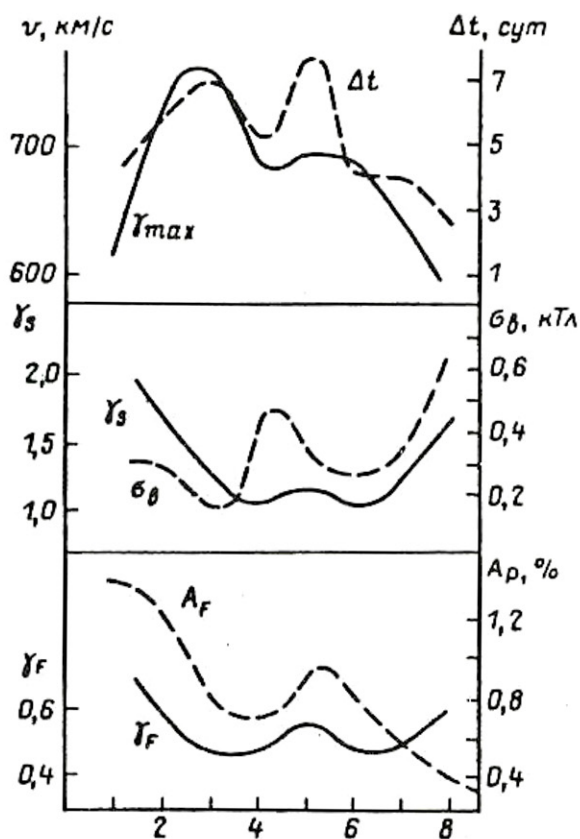


Рис. 5. Изменение параметров высокоскоростных потоков и спектральных характеристик космических лучей в восьми пересечениях Земли ВСП

параметры могут в какой-то степени характеризовать степень нерегулярности магнитного поля в потоке. Из рис. 5б, в следует, что наиболее характерной особенностью изменений  $\sigma_{\theta}$ ,  $\gamma_F$  и  $\gamma_s$  является уменьшение их значений от первого к третьему оборотам, с последующим возрастанием от шестого к восьмому; появление сильных флуктуаций в средней части существования потока; все три параметра меняются в противофазе с  $V_{max}$  и  $\Delta t$ . Величина показателя спектра мощности флуктуаций космических лучей  $\gamma_s$  меняется в течение всего времени существования ВСП от  $\gamma_s = 1,0$  до  $\gamma_s = 1,9 \pm 0,2$ . Характерно, что с

ростом  $V_{max}$  и  $\Delta t$  спектр флуктуаций космических лучей становится более жестким за счет ослабления спектра в высокочастотном диапазоне, что указывает на значительные изменения в спектре неоднородностей магнитного поля в ВСП [13].

Полученные результаты показывают, что параметры рекуррентных ВСП и связанные с ними крупномасштабные флуктуации космических лучей изменяются со временем не случайным образом, а обнаруживают четко выраженные закономерности. Следовательно, при изучении рекуррентных ВСП необходимо учитывать как длительность этих потоков, так и динамику поведения флуктуаций внутри самих потоков.

3. Изменения в спектральных оценках крупномасштабных флуктуаций начинают происходить, как правило, за 1-3 суток до прихода возмущений межпланетной среды к Земле, что приблизительно соответствует времени распространения ударной волны от Солнца до орбиты Земли [1]. Поэтому, естественной представляется попытка объяснить изменения в спектрах флуктуаций и их динамику изменениями потока частиц, отраженных от фронта приближающейся ударной волны. Структура магнитного поля перед распространяющимся в межпланетной среде возмущением считается неизменной. Наблюдаемые в рамках такого подхода изменения спектра мощности флуктуаций будут следствием увеличения жесткости энергетического спектра анизотропии, наблюдаемой в спокойном солнечном ветре, с отраженным, более мягким потоком частиц, направленным в практически противоположную сторону. (Такое предположение хорошо согласуется с результатами экспериментальных расчетов флуктуаций космических лучей (см. [2-4], раздел

1,2 настоящей работы). Из работ В. Козлова [9, 11] видно, что в высокочастотной области  $f \geq 10^{-4}$  Гц. наблюдается усиление флуктуаций перед возмущениями, что приводит к уменьшению показателя спектра  $\gamma$  при степенном описании типа  $\sim f^{-\gamma}$  от значений  $-1,5 \div -2,0$ , до положительных значений  $\gamma$ . При этом, как указывалось ранее, спектр в области частот меньших  $10^{-4}$  ведет себя противоположным образом,  $\gamma$  меняется от  $-1,2$  до  $-3,8$ , напоминая движения крыльев бабочки с ядром в области частот порядка  $3 \times 10^{-4}$  Гц. Согласно работам А. Оуэнса [6] спектр мощности флуктуаций космических лучей, нормированный к квадрату средней интенсивности потока, может быть представлен в виде:

$$\frac{P_H(f)}{n_0^2} = \frac{P^B(f)}{B_0^2} C(f, \mu, R) \cdot \delta_{||}^2$$

где  $P_1^B(f)$  – спектр мощности ММП,  $\delta_{||}$  – проекция анизотропии космических лучей на направление магнитного поля,  $C(f, \mu, R)$  резонансная функция, графики которой (вычисленные для двух значений жесткости  $R_1$  и  $R_2$  приведены на рис. 6а). Кривая 1 и 2 для значений  $R_1$  и  $R_2$ , кривая 3 – вид резонансной функции, усредненной по энергиям. При увеличении жесткости спектра анизотропии растет относительный вклад частиц высоких энергий (кривая 2), что приводит к увеличению наклона спектра в области низких частот и уменьшению наклона в области высоких частот  $f \geq 10^{-4}$  Гц. за счет увеличения влияния с одной стороны, пологих “хвостов” функции  $C(f, \mu, R)$  для больших жесткостей, с другой, роста вклада пуассоновского шума в спектральные оценки.

Для исследования возможностей интерпретации перестройки спектров мощности флуктуаций космических лучей на Земле в процессе распространения ударных волн в межпланетной среде были проведены численные расчеты ожидаемых изменений спектра для сферической ударной волны  $\theta = \pi$  в точке наблюдения, расположенной на силовой линии, проходящей через центр фронта  $\theta = 0$ . [14]. Скорость движения фронта полагалась порядка  $7 \cdot 10^7$  см  $\cdot$  с $^{-1}$ , отношение поперечного коэффициента диффузии к продольному

$$\chi_{\perp} / \chi_{||} \sim R^{-2}$$

Выбор последнего параметра в достаточной степени произволен, однако, его использование не оказывает существенного влияния на качественную картину. При расчетах использовались коэффициенты связи нейтронного монитора, косинус пичч-углового распределения полагался порядка 0,5.

На рис. 6 б–г приведены графики резонансной функции, отражающие изменение спектра мощности флуктуаций космических лучей при неизменной структуре межпланетного магнитного поля и вычисленные теоретические изменения показателя спектра  $\gamma$  (рис. в, д, е, ж соответственно). Случаи б–г отличаются значениями анизотропии  $\gamma$  отраженных частиц: (б)  $A_{отр} = A_{спек}$ , и (г)  $A_{отр} = 4 A_{спек}$ . Кривая 1 соответствует спектру мощности в спокойные периоды, кривые 2 и 3 за 24 и 12 часов до



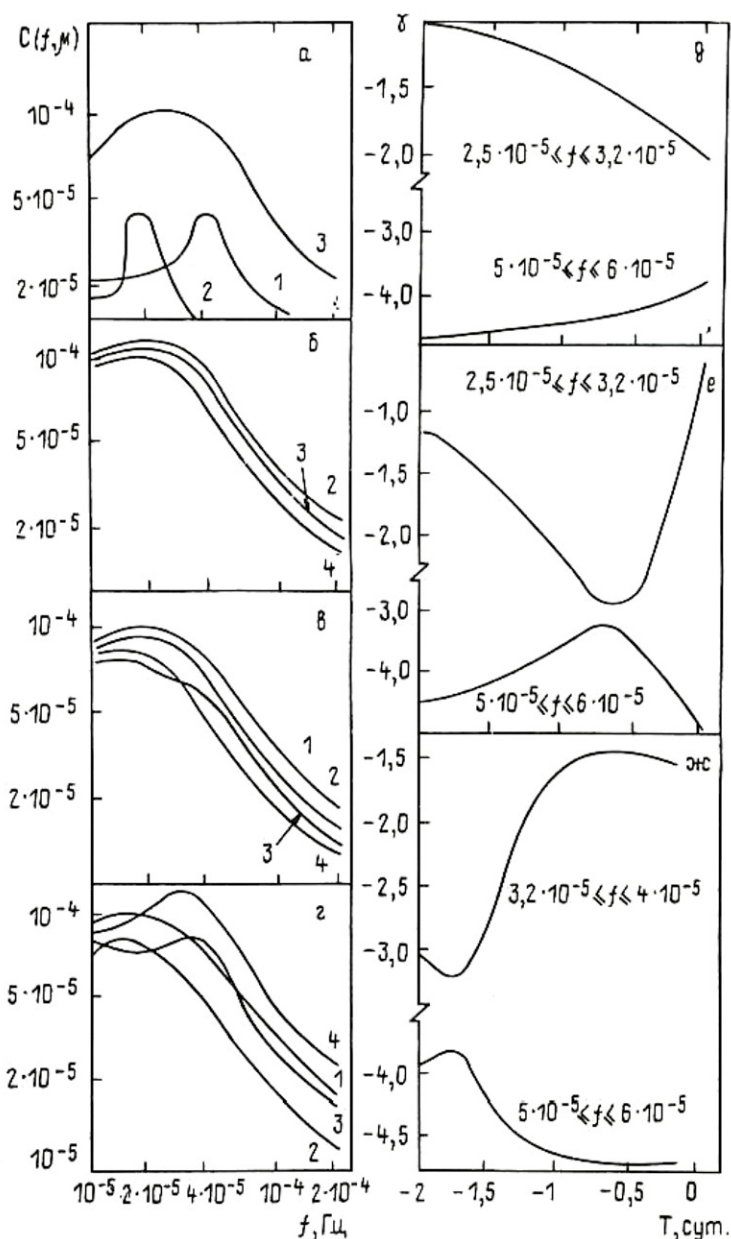


Рис. 6. Изменение резонансной функции спектров флуктуаций КЛ для различных значений анизотропии (а-г); поведение показателя спектра мощности флуктуаций КЛ для тех же событий (б - малая анизотропия, в - средняя, г - максимальное значение)

прихода ударной волны, кривая 4 непосредственно перед приходом ударной волны к Земле. (В случае малой анизотропии наблюдается постепенное увеличение спектра мощности флуктуаций космических лучей на частотах меньших  $5 \times 10^{-5}$  Гц и уменьшение на частотах больших  $10^{-4}$ , что хорошо согласуется с примерно 70 процентами всех рассмотренных авторами случаев [1], причем амплитуда изменения показателя наклона спектра также хорошо согласуется с экспериментальными наблюдениями наклонов [1]. В случае (в) и (г) картина более сложная: амплитуды спектров мощности возрастают лишь в некоторых частотных диапазонах, более сложным образом ведут себя и показатели наклонов. Тем не менее, сопоставление полученных результатов с экспериментальными

оценками динамики поведения спектров показывает хорошее совпадение в примерно 20-25 процентах случаев и следовательно различие в поведении спектров во многом по-видимому обусловлено различными значениями анизотропии в момент перестройки спектров.

При наблюдениях на различных станциях, кроме того, картина будет смещаться по оси частот в ту или иную сторону из-за различных асимптотических направлений прихода частиц, соответствующих разнымpitch-углам.

4. Таким образом, рассчитанные изменения формы спектра крупномасштабных флуктуаций находятся в хорошем согласии со спектральными характеристиками, вычисленными экспериментально по данным нейтронной и ионизирующей компонент станций КЛ Утрехт, Кергелен, Москва и Ломницкий штит, что позволяет сделать вывод (по характеру поведения кривых) о различном вкладе анизотропии в перестройку спектров космических лучей, наблюдаемых на Земле.

Однозначные выводы пока сделать сложно, тем не менее, если перед приходом ударной волны наблюдается значительный поток частиц с мягким спектром, для больших и малых значений анизотропии перестройка спектров будет происходить различным образом. В результате приборы, имеющие различные коэффициенты связи, будут видеть различные направления вектора анизотропии, что приведет к изменениям во взаимном фазовом спектре перед приходом ударной волны к Земле. Следует отметить также значительную роль, которую играют рекуррентные высокоскоростные потоки при расчетах спектров мощности флуктуаций космических лучей. Не являются ли не укладывающиеся в рамки выявленных закономерностей динамики поведения флуктуаций [1-12] события результатом прохождения Земли через рекуррентные ВСП. Ответ могут дать лишь систематические наблюдения флуктуационных явлений в космических лучах по данным нескольких установок хотя бы в течение нескольких лет, причем такие наблюдения целесообразно проводить как в низкочастотном, так и в высокочастотном диапазонах.

### Abstract

The spectra describing powers of the cosmic ray fluctuations for a low-frequency range from the data of neutron and ionizing components of the cosmic radiation on the Earth are calculated. Variants are estimated theoretically restructuring spectra before disturbances of the interplanetary medium and for quiet periods under various values of anisotropy. It is shown that both the anisotropy and the crossing by the Earth of recurrent high-velocity fluxes have to be considered when studying fluctuation phenomena in the cosmic rays and their relation with processes in the interplanetary medium.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дорман Л.И., Либин И.Я. Короткопериодические вариации интенсивности космических лучей. – УФН. 1985; 145, № 3, с. 403–440.
2. Fillisetti O., Lovera G., Mussino V. Cosmic Ray 13 day oscillation and two-sector IMF. – Lett. Nuovo Cimento, 1982, v.35, № 10, p.327–330.
3. Дорман Л.И., Кудела К., Носов С.Ф. и др. Флуктуации интенсивности космических лучей в области частот  $10^{-6}$  –  $10^{-4}$  Гц. – Изв. АН СССР, сер. физ., 1983, т. 47, № 9, с. 1858–1860.
4. Блох Я.Л., Либин И.Я., Юдахин К.Ф. Флуктуации космических лучей на Земле во время солнечных вспышек. – Геомагнетизм и аэрономия, 1984, т. 24, № 6, с. 875–878.
5. Безродных И.П., Кузьмин В.А. О флуктуациях космических лучей вблизи границы сектора. – В кн.: Пробл. НТИ Якутского филиала СО АН СССР. – Якутск, 1982, с. 17–19.
6. Owens A.J. Cosmic Ray scintillation. 2. General theory of interplanetary scintillation. – J. Geophys. Res., 1974, v. 75, № 2, p. 895–903.
7. Sari J.V., Ness N.F. Power spectral studies of the IMF. – Acta Phys. Acad. Sci. Hungar., 1970, v. 29, № 2, p. 373–378.
8. Tolba M.F., Pomerantz M.A., Duggal S.P., Owens A.J. 27-day variations in the IMF components and the cosmic ray anisotropies. – Proc. XVII-th ICRC, Paris, France, 1981, v. 4, p. 2, p. 52–55.
9. Kozlov V.I. About the turbulence structure of the large-scale solar wind. – Preprint Moscow State University, 1981, p. 24.
10. Gulinsky O.V., Dorman L.I., Prilutsky R.S. Spectral analysis of cosmic ray fluctuations. – Proc. XIX-th ICRC, La Jolla, Ca., 1985, v. SH-5, p. 908–910.
11. Козлов В.И. Турбулентные пульсации магнитного поля в ударных волнах. – Геомагнетизм и аэрономия, 1981, т. 21, № 6, с. 1115–1117.
12. Безродных И.П., Кузьмин В.А., Козлов В.И. и др. Динамика частотного спектра флуктуаций ММП и космических лучей. – Геомагнетизм и аэрономия, 1982, т. 22, № 6, с. 1016–1018.
13. Дорман Л.И., Каминер Н.С., Кузьмичева и др. Вариации космических лучей, связанные с эволюцией параметров рекуррентного высокоскоростного потока солнечного ветра. – Геомагнетизм и аэрономия, 1985, т. 25, № 6, с. 1000–1002.
14. Дорман Л.И., Либин И.Я., Юдахин К.Ф. Роль анизотропии в формировании статистически значимых флуктуаций космических лучей. – Геомагнетизм и аэрономия, 1986, т. 26, № 1, с. 86–89.