

**Кудрявцев М.И., Логачев Ю.И.,
Морозов О.В., Свертилов С.И.**

**КРАТКОВРЕМЕННЫЕ ВОЗРАСТАНИЯ
ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ
С ЭНЕРГИЯМИ >80 кэВ НА
ОРБИТАХ СТАНЦИИ «МИР» В
НИЗКОШИРОТНЫХ ($L < 2$) ОБЛАСТЯХ**

Препринт НИИЯФ МГУ 2005-8/774

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА

**Кудрявцев М.И., Логачев Ю.И.,
Морозов О.В., Свертилов С.И.**

**КРАТКОВРЕМЕННЫЕ ВОЗРАСТАНИЯ
ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ
С ЭНЕРГИЯМИ >80 кэВ НА
ОРБИТАХ СТАНЦИИ «МИР» В
НИЗКОШИРОТНЫХ ($L < 2$) ОБЛАСТЯХ**

Препринт НИИЯФ МГУ 2005-8/774

УДК 891.53.21.31

ББК

Kudryavtsev M.I., Logachev Yu.I., Morozov O.V., Svertilov S.I.

E-mail: sis@coronas.ru

THE SHORT-TIME INCREASINGS OF THE FLUXES OF ELECTRONS WITH ENERGIES >0.08 MeV AT THE MIR STATION ORBITS ON THE LOW-LATITUDE ($L < 2$) REGIONS.

Preprint INPH MSU 2005-8/774

Abstract

The properties of the short-time (duration less than 1 min) increasings of the fluxes of electrons with energies >0.08 MeV those were being observed during the GRIF experiment on board the "Spectr" module of "Mir" orbital station are presented in this manuscript. The measurements were made with number of instruments included X-ray and gamma-ray spectrometers as well as detectors of electrons, protons and nuclei with large and small geometric factor, that allowed to measure high charge particle fluxes in the Earth's radiation belts as well as low electron fluxes at the regions near the geomagnetic equator. As the result of more than 1.5 years observations it was obtained that short-time sub-relativistic electron flux increasings are detected not only in the near-Earth space regions which are well-known as a precipitation zones ($1.7 < L < 2.5$), but at the low-latitudes up to the geomagnetic equator ($L < 1.1$) also. The two types of electron flux increasings were revealed. There are quite regular peaks of intensity, which were repeated on the consequent orbits and the peaks, which were local in time. The last ones may be connected with the electron flux increasings on the given drift shell. The results of measurements indicated on that duration of the detected increasings rather small – up to 20-30 s. Thus, in the case of the high intensity such electron fluxes increasings can be the source of imitations in the detectors of hard X-rays and gamma-rays of astrophysical phenomena such as cosmic gamma-ray bursts.

**Кудрявцев М.И., Логачев Ю.И., Морозов О.В., Свертилов С.И.
КРАТКОВРЕМЕННЫЕ ВОЗРАСТАНИЯ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ
С ЭНЕРГИЯМИ >80 кэВ НА ОРБИТАХ СТАНЦИИ «МИР»
В НИЗКОШИРОТНЫХ ($L < 2$) ОБЛАСТЯХ**

Препринт НИИЯФ МГУ 2005-8/774

Аннотация

В работе представлены характеристики кратковременных (длительностью менее 1 мин) возрастаний интенсивности счета электронов с энергиями >0.08 МэВ, наблюдавшихся в низкоширотных ($L < 2.0$) областях околоземного пространства в ходе эксперимента ГРИФ на модуле "Спектр" космической станции "Мир". Измерения проводились с помощью комплекса аппаратуры, включавшей рентгеновский и гамма-спектрометры, а также детекторы электронов, протонов и ядер с большим и малым геометрическими факторами, что позволило регистрировать потоки заряженных частиц как в области радиационных поясов Земли, так и в областях, близких к геомагнитному экватору. В результате более чем 1.5 лет наблюдений было показано, что кратковременные возрастания интенсивности счета электронов субрелятивистских энергий регистрируются не только в областях околоземного пространства, известных как «зоны высыпаний» ($1.7 < L < 2.5$), но и в низкоширотных областях, вплоть до геомагнитного экватора ($L < 1.1$). Были выделены два типа возрастаний темпа счета электронов – пики интенсивности, более или менее регулярные, повторяющиеся на последовательных витках орбиты и локальные по времени. Последний тип возрастаний может быть обусловлен кратковременными возрастаниями потоков электронов на данной дрейфовой оболочке. Результаты измерений показали, что длительность регистрируемых возрастаний интенсивности может быть довольно короткой – вплоть до 20-30 с. Поэтому в случае большой амплитуды такие возрастания интенсивности счета электронов могут имитировать в детекторах жесткого рентгеновского и гамма-излучения астрофизические события типа космических гамма-всплесков.

© Кудрявцев М.И. и др., 2005

© НИИЯФ МГУ, 2005

1. Введение.

Вариации темпа счета энергичных заряженных частиц, например, электронов, наблюдающиеся в ходе измерений на космических аппаратах могут быть обусловлены временными эффектами, связанными с различными возмущениями геомагнитного поля, вызывающими сход захваченных и квазизахваченных частиц с траекторий, соответствующих стационарному полю, а также отражать пространственную структуру потоков. В частности, возрастания интенсивности, регистрируемые, на орбитальных космических аппаратах, как правило, связаны с пересечением спутником областей пространства с повышенной концентрацией частиц.

Следует отметить, что вариации интенсивности счета электронов с энергиями в десятки – сотни кэВ наблюдаются в основном в областях внешней магнитосферы и внешнего радиационного пояса, а на малых высотах - в высокоширотных районах вблизи зоны полярных сияний. В то же время потоки электронов во внутреннем поясе ($L < 2.5$) на небольших высотах довольно стабильны [1]. Это объясняется тем, что в магнитоспокойные эпохи геомагнитное поле во внутренней магнитосфере можно с хорошей степенью точности считать дипольным, а движение некоторые типов захваченных частиц, в частности электронов, – адиабатическим. Такие частицы будут совершать движения, обусловленные сохранением адиабатических инвариантов, и в стационарном случае область устойчивого захвата будет заполнена частицами, находящимися на дрейфовых оболочках, характеризуемых определенным диапазоном значений параметра L [2]. К области устойчивого захвата примыкают зоны, так называемого, квазизахвата, в которых частицы могут стационарно находиться на замкнутых дрейфовых оболочках относительно непродолжительное время. В областях, близких к внешней магнитосфере ($L > 5$), квазизахват обусловлен попаданием электронов на траектории вдоль незамкнутых силовых линий [3]. Во внутренней магнитосфере ($L < 1.5$) по аналогии можно рассматривать квазизахваченными те частицы, которые при окончании дрейфового оборота попадают в область Южно-Атлантической магнитной аномалии и там существенно меняют характер движения. По видимому, именно в области Южно-Атлантической аномалии наиболее эффективно реализуются механизмы переноса частиц из радиационного пояса во

внутреннюю область квазизахвата.

Несмотря на относительно высокую стабильность потоки электронов во внутренней магнитосфере могут испытывать вариации. В частности, в узком диапазоне значений L (шириной порядка несколько десятых) иногда наблюдается резкое возрастание интенсивности [4]. Такие вариации, как правило, могут быть связаны с сильными геомагнитными возмущениями и «высыпаниями» из радиационных поясов. Наиболее часто такие явления наблюдаются на широтах более 50° [5-7].

В плане экспериментального исследования потоков электронов во внутренней области квазизахвата следует отметить обнаружение в эксперименте на спутнике OHZORA в диапазоне высот 350-800 км низкоширотных зон регистрации повышенного счета электронов с энергиями $E_e = 0.19 - 3.2$ МэВ. Эти зоны соответствуют $L = 1.71 \pm 0.16$, наблюдающиеся в них потоки электронов интерпретируются авторами эксперимента OHZORA как высыпания из внутреннего радиационного пояса [8].

Помимо результатов, полученных на спутнике OZHORA, высыпания исследовались еще в ряде экспериментов. Так, узкие возрастания, обусловленные высыпающимися электронами с энергиями 35-318 кэВ наблюдались в эксперименте на спутнике OVI-14 в диапазоне значений $L = 1.5 - 2.0$ [9]. По данным измерений на спутнике P78-1 в энергетическом спектре (0.13-2.8 МэВ) квазизахваченных электронов, высыпающихся из внутреннего радиационного пояса в области $L = 1.65$, были обнаружены пики, соответствующие регистрации моноэнергетических частиц [10]. Кроме того, на высотах порядка 600 км в энергетическом спектре (68-1120 кэВ) электронов, высыпающихся из внутреннего радиационного пояса в конус потерь ($L = 1.5-1.85$), были также зарегистрированы узкие пики, соответствующие значениям энергии, которые уменьшались с увеличением L [11]. Впоследствии была обнаружена неплохая корреляция между интенсивными высыпаниями на малых L и величиной потоков захваченных частиц, регистрируемых на геостационарной орбите (то есть во внешнем электронном поясе) [12].

В ходе измерений на спутнике SAMPEX (высота орбиты 520×675 км, наклонение 81.7°) регистрировались резкие возрастания интенсивности релятивистских электронов (0.15-3.5 МэВ) в областях пространства, соответствующих

дрейфовым оболочкам $L \sim 1.3-1.4, 1.6-1.8$ [13], а также относящимся к внешнему радиационному поясу ($2.5 \leq L \leq 5$) [14]. Последние возрастания интерпретируются авторами эксперимента как результат ускорения электронов во внешней магнитосфере вследствие воздействия на нее скоростных потоков солнечного ветра. В некоторых случаях возрастания потоков электронов прослеживались вплоть до $L \sim 2.5$ (так называемый зазор между внутренним и внешним поясом), что согласно [14] свидетельствует о глобальном характере ускорительных процессов в магнитосфере.

Что касается низкоширотных областей, примыкающих к геомагнитному экватору ($L < 1.5$), то, как следует из теории адиабатического движения, раствор конуса потерь стремится к 90° при $L \rightarrow 1$, в результате чего на высотах менее 400-500 км в низкоширотных областях кроме зоны Южно-атлантической аномалии не должны наблюдаться стабильные потоки заряженных частиц. В то же время известно, что на дрейфовых оболочках с малыми значениями L наблюдались долговременные устойчивые потоки электронов, образованные в результате высотных ядерных взрывов, осуществленных в США и СССР в конце 50-х – начале 60-х годов XX века. Так, в результате высотного ядерного взрыва Starfish (9 июля 1962 г.) наблюдались значительные потоки электронов с энергиями ≥ 5 МэВ в области с $L = 1.2 - 1.6$ и вблизи $L = 1.8$ [15, 16]. При этом, по данным эксперимента на спутнике Inguine-1 значимые потоки электронов наблюдались в областях $1.175 < L < 1.195$, $0.19 \text{ Гс} < B < 0.22 \text{ Гс}$ и $L = 1.25$, $0.18 \text{ Гс} < B < 0.22 \text{ Гс}$ в ноябре 1962 г., то есть спустя 4 месяца после момента инъекции [17], хотя предсказываемое теорией характерное время жизни квазизахваченных релятивистских электронов в таких областях не должно существенно превосходить их дрейфовый период, составляющий порядка минут [3].

На сегодняшний день, после того как искусственные радиационные пояса распались, имеется относительно мало данных о естественных потоках захваченных или квазизахваченных электронов высоких энергий в низкоширотных областях под внутренним радиационным поясом. Это обусловлено малыми величинами потоков, что требует использования детекторов с достаточно большим геометрическим фактором, в то время как большинство проведенных экспериментов было ориентировано на изучение

очень больших потоков захваченных частиц именно в радиационных поясах, для чего использовались в основном детекторы с малым геометрическим фактором ($\sim 0.1 - 1.0 \text{ см}^2 \text{ ср}$), что соответствует уровню значимой регистрации потоков $\sim 10\text{-}20 \text{ част/см}^2 \text{ с ср}$ (для диапазона энергий десятки – сотни кэВ) [9-11]. Вследствие этого наиболее полная информация о потоках электронов высоких энергий получена для областей околоземного пространства, непосредственно примыкающих к ЮАА, то есть к внутреннему радиационному поясу, где эти потоки наиболее велики. Как известно, в различных экспериментах в районе ЮАА на высотах $\sim 400 \text{ км}$ регистрировались потоки ультрарелятивистских электронов (с энергиями $> 20 \text{ МэВ}$) на уровне $\geq 2 \times 10^3 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ ср}^{-1}$ [18]. При этом в приэкваториальных областях, примыкающих к ЮАА, были измерены потоки ультрарелятивистских электронов ($E_e = 50\text{-}200 \text{ МэВ}$), во много раз превышавшие уровень, характерный для электронов альбедо: в 40 раз для области $L = 1.1 - 1.3$, $B = 0.20 - 0.22 \text{ Гс}$, в 3 раза для области $L = 1.0 - 1.1$, $B = 0.28 - 0.38 \text{ Гс}$ [18].

Для других низкоширотных областей околоземного пространства регулярные длительные наблюдения потоков электронов высоких энергий на уровне чувствительности, который был бы существенно выше, чем достигнутый в измерениях для районов вблизи ЮАА, до недавнего времени не проводились. Имеются лишь данные отдельных измерений в нескольких космических экспериментах. Так, в 1994 г. в эксперименте на спутнике «Коронас-И» (круговая орбита, высота $\sim 500 \text{ км}$, наклонение 82.5°) были зарегистрированы устойчивые повышенные потоки электронов с энергиями $E_e = 0.5\text{-}1.3 \text{ МэВ}$ на дрейфовых оболочках, соответствующих $L \sim 1.3\text{-}1.6$ [19]. В областях, соответствующих $L \sim 1.3\text{-}1.5$, ~ 1.8 значимые потоки электронов с энергиями от 20 до 500 кэВ также измерялись в широком диапазоне высот (500-1300 км) на спутнике «Активный» в 1990-91 гг. [20]. Возрастания интенсивности счета электронов с энергиями 92-120 кэВ регистрировались на $L = 1.14$ в ходе измерений на спутнике «Ореол-3» [21]. Наконец, в ходе эксперимента с прибором «Спрут-5» на орбитальной станции «Мир» в районе геомагнитного экватора наблюдались спорадические потоки электронов с энергиями в диапазоне 0.075-1.2 МэВ [22, 23].

Таким образом, полученная к настоящему времени информация о пространственной структуре и динамике потоков электронов субрелятивистских и релятивистских энергий под радиационными поясами (высота менее 500 км) не полна и в определенной степени противоречива. Так, согласно авторам эксперимента на спутнике «Коронас-И», выявлена зависимость величин потоков электронов, регистрируемых на $L \sim 1.6$ от мирового времени [24]. В то же время, в эксперименте на спутнике «Активный» получены указания на то, что регистрируемые возрастания потоков электронов на $L \sim 1.4$ зависят от местного магнитного времени (MLT) [20, 22]. Согласно [22] для спорадических потоков субрелятивистских и релятивистских электронов, регистрируемых в районе геомагнитного экватора ($L < 1.2$) имеет ярко выраженная долготная зависимость: области регистрации электронов локализованы по долготе. Напротив результаты эксперимента NOAA/POES свидетельствуют о том, что весьма большие ($10^2 - 10^6$ част/см²с-ср) потоки электронов с $E_e > 30$ кэВ регистрируются на высотах ~ 820 км вблизи геомагнитного экватора ($1.03 < L < 1.2$) практически во всем диапазоне долгот вне ЮОА, причем их величины существенно зависят от уровня солнечной и геомагнитной активности [25].

На сегодняшний день нет также полной ясности относительно природы тех электронов высоких энергий, которые регистрируются в низкоширотных областях околоземного пространства вне радиационных поясов. Время жизни таких электронов составляет десятки минут - несколько часов [3], поэтому для объяснения существования устойчивых потоков электронов «под радиационными поясами» в течение более длительного времени требуется привлечение механизмов, которые бы обеспечили постоянную генерацию электронов в этих областях пространства. Некоторые авторы [26-28] связывают повышенные потоки электронов на дрейфовых оболочках $L < 1.5$ с высыпаниями из внутреннего радиационного пояса вследствие рассеяния (циклотронного резонанса) на электромагнитных волнах ОНЧ-диапазона (4 Гц – 0.5 МГц). В качестве источников таких волн рассматриваются как наземные ОНЧ-передатчики, так и различные природные явления, такие как землетрясения [22], тайфуны [22], грозовые разряды [13]. Проблема, однако, заключается в том, что циклотронное

резонансное рассеяние на ОНЧ-волнах эффективно обеспечивает питч-угловую диффузию, но для объяснения значимых потоков электронов в низкоширотных областях на относительно малых высотах в случае, если они обусловлены высыпаниями непосредственно из внутреннего радиационного пояса, необходимо привлекать радиальную диффузию, обеспечивающую перенос частиц поперек дрейфовых оболочек – с больших L , где их потоки велики, на меньшие L . Последнее, как нам представляется, может быть реализовано только в районе ЮАА.

Изучение характеристик потоков электронов с энергиями в десятки - сотни кэВ на низких высотах и широтах имеет значение не только для понимания динамики радиационных поясов и механизмов высыпаний электронов. Новые данные о потоках электронов в околоземном пространстве важны и для решения ряда прикладных задач, в частности, контроля радиационного фона во время космических миссий. Так, согласно [29], хотя вклад в поверхностную радиационную дозу электронов с энергиями в десятки-сотни кэВ, регистрируемых вне радиационных поясов на высотах 400-500 км, существенно ниже, чем приэкваториальных протонов близких энергий, его учет приводит к увеличению на 50% величин доз по сравнению со значениями, рассчитанными по стандартным моделям (АЕ8, например [30]), которые рассматривают, главным образом, захваченные частицы радиационных поясов.

В плане радиационных условий в космических экспериментах особо следует отметить важность информации о вариациях интенсивности счета сопутствующих заряженных частиц при рентгеновских и гамма- астрономических наблюдениях на околоземных космических аппаратах. Как известно, кратковременные высыпания субрелятивистских и релятивистских электронов могут имитировать (через генерацию тормозного излучения) космические гамма-всплески.

Вариации темпа счета энергичных заряженных частиц, например, электронов, наблюдающиеся в ходе измерений на космических аппаратах могут быть обусловлены как временными эффектами, связанными с различными возмущениями геомагнитного поля, вызывающими сход захваченных и квазизахваченных частиц с траекторий, соответствующих стационарному полю, так и отражать пространственную структуру потоков. В частности, возрастания

интенсивности, регистрируемые, на орбитальных космических аппаратах, как правило, связаны с пересечением спутником областей пространства с повышенной концентрацией частиц.

Вариации показаний детекторов, обусловленные возрастаниями интенсивности счета электронов с энергиями в десятки – сотни кэВ, которые наиболее «опасны» в плане имитаций космических гамма-всплесков, наблюдаются в основном в областях внешней магнитосферы и внешнего радиационного пояса, а на малых высотах - в высокоширотных районах вблизи зоны полярных сияний. Что касается низкоширотных областей околоземного пространства, то обычно полагают, что на дрейфовых оболочках, соответствующих малым L , особенно в районе геомагнитного экватора под радиационными поясами ($L < 1.5$) потоки электронов и, соответственно вариации интенсивности счета детекторов невелики. Поэтому вероятность имитаций гамма-всплесков в этих областях считается малой. В то же время, в виду отсутствия достаточно полной информации о пространственной структуре и динамике потоков электронов высоких энергий в низкоширотных областях околоземного пространства, представляется актуальным исследовать роль подобных имитаций и в области дрейфовых оболочек с $L < 1.5$.

2. Эксперимент.

С октября 1995 г. по июнь 1997 г. на модуле "Спектр" орбитальной станции "Мир" проводился многоцелевой эксперимент ГРИФ [31]. Орбита станции характеризовалась следующими параметрами: высота (400 км, период обращения ~90 мин и наклонение ~51°. Комплекс аппаратуры ГРИФ включал два детектора-спектрометра заряженных частиц (главным образом электронов и протонов):

- "Фон-1" (диапазоны энергий регистрируемых электронов $\Delta E_e = 0.04 - 0.08, 0.08 - 0.16, >0.2$ МэВ; диапазоны энергий регистрируемых протонов $\Delta E_p = 1.0 - 1.5, 1.5 - 3,0$ МэВ; геометрический фактор $\Gamma \sim 80$ см²·ср).
- "Фон-2" ($E_e > 0.04, >0.1$ МэВ, $\Delta E_e = 0.15 - 0.3, 0.3 - 1.5$ МэВ; $\Delta E_p = 2 - 5, 5 - 20, 20 - 50, 50 - 100, 100 - 200$ МэВ; $\Gamma \sim 0.7$ см²·ср).

Прибор "Фон-1" состоял из двух идентичных фосвич-детекторов, каждый из которых представлял собой тонкий (~50 мкм) слой сцинтиллятора CsI(Tl), напыленного на диск из пластмассового сцинтиллятора (на основе полистирола) толщиной 0.5 см и диаметром 8 см. Оба сцинтиллятора просматривались одним фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). Со стороны входного окна сцинтиллятор CsI(Tl) был закрыт тонкой алюминиевой фольгой (толщиной ~10 мкм). С целью повышения чувствительности прибора, формирования его направленности, а также для выравнивания энергетических потерь в сцинтилляторе CsI(Tl) частиц одной энергии, входные траектории падающих частиц были ограничены коллиматором, установленным над сцинтиллятором CsI(Tl) и фольгой из Al. Коллиматор обеспечивал попадания регистрируемых частиц на детектор в пределах ~30° от его оси.

Регистрация электронов и протонов, попадавших в поле зрения детектора, осуществлялась, в основном сцинтиллятором CsI(Tl). Защитная алюминиевая фольга толщиной ~10 мкм предохраняла детектирующий элемент от света, при этом в ней поглощались электроны с энергиями менее 0.04 МэВ и протоны и ядра с энергиями менее 1 МэВ/нуклон. Толщина слоя сцинтиллятора CsI(Tl) ~50 мкм соответствует полной длине пробега электронов с начальной энергией ~0.2 МэВ, и протонов и ядер с начальной энергией 3 МэВ/нуклон. Электроны и протоны больших энергий могли проникать сквозь слой сцинтиллятора CsI(Tl) и попадать в пластмассовый сцинтиллятор, что вызывало появление сигнала антисовпадений (пластмассовый сцинтиллятор также использовался в качестве активной защиты для исключения регистрации заряженных частиц, попадавших в детектор вне его поля зрения). Таким образом, полный энергетический диапазон регистрируемых электронов составлял от 0.04 МэВ до более чем 0.2 МэВ, причем в диапазоне от 0.04 МэВ до 0.2 МэВ регистрация осуществлялась по полному поглощению в CsI(Tl), а в диапазоне энергий свыше 0.2 МэВ по энерговыделениям в пластмассовом сцинтилляторе. Для протонов соответствующие диапазоны были 1 - 3 и >3 МэВ.

Разделение сигналов от пластмассового сцинтиллятора и CsI(Tl) было реализовано на основе анализа временной формы выходного сигнала ФЭУ методом фосвича, который основан на использовании различия времен высвечивания

CsI(Tl) (~1 мкс) и пластмассового сцинтиллятора (~10 нс). Идентификация электронов и протонов, регистрируемых сцинтиллятором CsI(Tl), осуществлялась путем амплитудного анализа выходных сигналов ФЭУ (в случае полного поглощения в слое CsI(Tl) энергосодержание протонов и ядер более чем на порядок превосходит энергосодержание электронов).

Прибор "Фон-2" состоял из двух идентичных пар полупроводниковых телескопов и двух пар счетчиков Гейгера (с уровнями пороговой энергии 0.04 и 0.1 МэВ). Каждый телескоп имел два "тонких" (0.02 см) – " ΔE " и один "толстый" (0.2 см) – " E " кремниевых детектора. Электроны и протоны разделялись с помощью стандартной антисовпадательной техники путем " $\Delta E/E$ " анализа. В качестве счетчиков Гейгера использовались стандартные торцевые счетчики СИ-19БГ, входное окно одного из которых было закрыто алюминиевой фольгой толщиной 50 мкм, что обеспечило более высокий уровень пороговой энергии.

Блоки детектирования приборов "Фон-1" и "Фон-2" были расположены снаружи станции. Оси приборов "Фон-1" и "Фон-2" были ориентированы вдоль главной оси станции, которая в штатном режиме была ориентирована в местный зенит. Оба прибора работали в режиме непрерывных измерений. В большинстве случаев выходные показания в каналах приборов (скорости счета) приборов передавались каждые 5 с., а в некоторых случаях - каждые 0.6 с.

В эксперименте также имелась возможность регистрировать электроны высоких энергий, вплоть до десятков МэВ, по их тормозному излучению. Для этого использовались данные всенаправленного гамма-спектрометра НЕГА (диапазон энергий регистрируемых гамма-квантов ($E_\gamma = 0.05 - 0.15, 0.15 - 0.5, 0.5 - 1.5, 1.5 - 5, 5 - 15, >15$ МэВ; эффективная площадь $S_{\text{эфф}} \sim 250 \text{ см}^2$), также входившего в состав аппаратуры ГРИФ [32]. Прибор состоял из четырех одинаковых блоков детектирования, установленных внутри гермоотсека станции. Каждый блок содержал сцинтиллятор - кристалл CsI(Tl) (диаметром 10 см и толщиной 10 см), который был помещен в антисовпадательный колпак из пластмассового сцинтиллятора толщиной 2 см. Оба сцинтиллятора просматривались одним ФЭУ. Исключение заряженных частиц, к которым относились события, сопровождавшиеся высвечиванием пластмассового сцинтиллятора, осуществлялось путем анализа формы

входного импульса ФЭУ (фосвич).

Временные зависимости средних за 5 с скоростей счета в выходных каналах приборов были записаны в единую базу данных космофизических экспериментов НИИЯФ МГУ «Коронас». Последующая обработка информации велась при помощи многопараметрической кроссплатформенной системы Axiom.CM, представленной на веб-сайте <http://www.coronas.ru/grif/data.htm>.

3. Результаты.

Основная информация о потоках электронов в областях, соответствующих $L < 2$ вне Южно-атлантической аномалии, в ходе эксперимента ГРИФ была получена с помощью прибора "Фон-1". Благодаря большому геометрическому фактору ($\sim 80 \text{ см}^2 \cdot \text{ср}$) он имел сравнительно высокую чувствительность: соответствующий аппаратурному фону 5σ -уровень значимой регистрации потоков электронов составлял $\sim 0.4 \text{ част./см}^2 \cdot \text{ср}$ в диапазоне энергий 80-160 кэВ и $\sim 1 \text{ част./см}^2 \cdot \text{ср}$ в диапазоне энергий $> 200 \text{ кэВ}$.

Изменение выходных показаний (скоростей счета) в каналах регистрации электронов прибора "Фон-1" вдоль орбиты соответствовало прохождению станцией «Мир» различных областей околоземного пространства. Минимум скоростей счета, соответствовавший уровню аппаратурного фона наблюдался при пересечении геомагнитного экватора. Помимо возрастной скорости счета, обусловленных пересечением траекторией станции зон захваченной радиации - Южно-атлантической аномалии ($L = 1.1 - 2.2$, $B < 0.3 \text{ Гс}$), а также отрогов внешнего радиационного пояса на высоких широтах ($L > 2.5$), во временном ходе скоростей счета электронов в каналах 80 - 160 и $> 200 \text{ кэВ}$ наблюдались структуры в виде симметричных относительно момента пересечения геомагнитного экватора, относительно широких пиков, соответствующих $L \sim 1.4$ и $L \sim 1.6-1.7$. Кроме того, малые, но вполне значимые потоки электронов ($0.2-0.5 \text{ част./см}^2 \cdot \text{ср}$ и $\sim 1 \text{ част./см}^2 \cdot \text{ср}$) регистрировались в диапазонах соответственно 80-160 и $> 200 \text{ кэВ}$ при $L < 1.2$. Причем в области $L \sim 1.07-1.10$ во временном ходе скоростей счета также прослеживалась структура, симметричная относительно геомагнитного экватора [33]. Наличие подобных структур, очевидно, связано с

пересечением орбитой станции дрейфовых оболочек, отличающихся повышенной концентрацией электронов.

Отбор кратковременных возрастаний интенсивности счета электронов осуществлялся по показаниям прибора "Фон-1" в канале 80-160 кэВ. В качестве критерия отбора использовалось условие: число отсчетов N_i за время экспозиции 5 с должно было превысить среднефоновое значение за этот же интервал времени более чем на 5σ , при этом количество таких экспозиций подряд не должно было превышать 12 (то есть отбирались только возрастания длительностью менее ~1 мин), кроме того, отбор осуществлялся только для участков орбиты, геомагнитные координаты которых соответствовали диапазону значений $L < 2$. Таким образом, исключались очень интенсивные возрастания скоростей счета в высокоширотных областях, связанные с внешним радиационным поясом. В районе Южно Атлантической аномалии (ЮАА) прибор "Фон-1", как правило, был перегружен большими потоками присутствующих там частиц, поэтому его показания в соответствующие интервалы времени также исключались из дальнейшего анализа. Информация о потоках заряженных частиц в районе ЮАА получалась с помощью других приборов комплекса аппаратуры ГРИФ, в основном прибора "Фон-2".

Расчет среднефоновых значений \bar{N}_i числа отсчетов для каждой текущей (i -ой) экспозиции осуществлялся методом скользящего среднего по ± 15 измерениям, примыкающим к данной экспозиции. В свою очередь, для определения σ использовались величины среднеквадратичного отклонения от \bar{N}_i значений N_i на том же интервале, охватывающем ± 15 измерений относительно данной экспозиции. Такой подход к определению критерия достоверности позволил не только отбирать события в областях, в которых фон был относительно стабилен, но также и выделять короткие возрастания на фоне плавных изменений скорости счета типа отмеченных выше относительно широких пиковых структур на $L \sim 1.1, 1.4, 1.6-1.7$.

Целью отбора кратковременных возрастаний интенсивности счета электронов в низкоширотных областях околоземного пространства, соответствующих значениям $L < 2$, вне ЮАА является изучение характеристик именно таких вариаций потоков электронов, которые могут приводить к увеличению темпа счета в выходных показаниях детекторов

рентгеновского и гамма-излучения, то есть имитировать космические гамма-всплески при относительно небольших средних потоках сопутствующих заряженных частиц. В зонах захваченной радиации детекторы рентгеновского и гамма-излучения, как правило, перегружены, и поиск каких-либо событий, связанных с астрофизическими явлениями, в их выходных показаниях смысла не имеет.

С использованием указанного выше критерия выделения кратковременных вариаций скорости счета субрелятивистских электронов данные прибора "Фон-1" были проанализированы за все время эксперимента для разных интервалов наблюдений: ноябрь 1995 г. – март 1996 г., октябрь 1996 г. - начало января 1997 г., июнь 1997. Всего во временных рядах скоростей счета в каналах регистрации электронов 80 - 160 и >200 кэВ прибора "Фон-1" было выделено более 100 возрастаний длительностью менее 1 мин. Для максимумов этих возрастаний были определены географические и геомагнитные (L , B - модель геомагнитного поля IGRF 1990 [34]) координаты места измерения.

Следует отметить, что все отобранные кратковременные возрастания интенсивности счета электронов представляют собой «пространственные» эффекты, поскольку они обусловлены пересечением областей пространства с повышенной концентрацией электронов на близких дрейфовых оболочках, характеризующихся достаточно узким диапазоном значений параметра L . Поскольку в качестве критерия отбора было выбрано условие, чтобы на временном ходе показаний прибора пик прописывался менее чем 12 точками, то есть длительность возрастания была <1 мин, «поперечные» размеры соответствующей области с повышенной концентрацией электронов должны быть менее (500 км (около 3° по широте)). Ключевым параметром, по которому можно осуществить селекцию отобранных возрастаний, является дрейфовый период, определяющий их время жизни на данной L -оболочке. Как было отмечено выше, для электронов субрелятивистских энергий (т.е. ~100 кэВ) время дрейфа составляет порядка десятков минут, то есть сопоставимо с орбитальным периодом станции. Таким образом, можно выделить две группы событий. Это повторяющиеся на нескольких последовательных витках структуры в виде относительно узких пиков, соответствующих примерно одним и тем же значениям L , а также всплески

интенсивности, которые видны только на одном витке и не воспроизводятся на соседних витках в областях с близкими геомагнитными координатами.

Пример возрастания первого типа приведен на рис. 1, на котором изображены временные зависимости потоков электронов с энергиями в диапазонах 80-160 и >200 кэВ, измеренные на трех последовательных витках орбиты. На этих кривых видна повторяющаяся на каждом витке структура временного хода интенсивности на интервалах $\sim 10^{\text{h}00^{\text{m}}} - 10^{\text{h}30^{\text{m}}}$ UT, $\sim 11^{\text{h}30^{\text{m}}} - 12^{\text{h}00^{\text{m}}}$ UT, $\sim 13^{\text{h}05^{\text{m}}} - 13^{\text{h}35^{\text{m}}}$ UT 1 декабря 1995 г. На этой структуре четко виден довольно узкий (длительностью ~ 50 с) повторяющийся на трех последовательных витках орбиты, пик, который соответствует $L \sim 1.91-1.96$. Следует отметить, что этот пик прослеживается в обоих каналах регистрации электронов прибора "Фон-1".

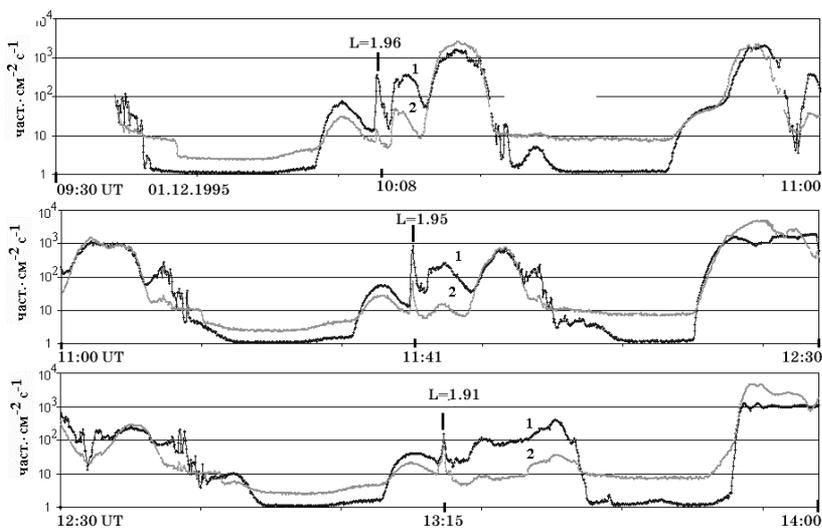


Рис. 1. Временные зависимости потоков электронов с энергиями 80-160 кэВ (кривая 1) и >200 кэВ (кривая 2), измеренные на трех последовательных витках орбиты станции «Мир» 1 декабря 1995 г. Отмечен пик, повторяющийся через интервал времени, примерно равный периоду обращения станции.

На рис. 2 приведен пример возрастания потока электронов, которое не повторяется на последовательных витках орбиты. Это возрастание было зарегистрировано

15 ноября 1996 г. в $\sim 9^{\text{h}}51^{\text{m}}$ UT на участке орбиты, соответствующем $L \sim 1.82$. Как видно из рисунка, на предыдущем и последующем витках в моменты времени, отстоящие от пика на величину орбитального периода, не прослеживаются какие-либо возрастания, сравнимые по интенсивности с отмеченным пиком, который прослеживается только в канале 80-160 кэВ.

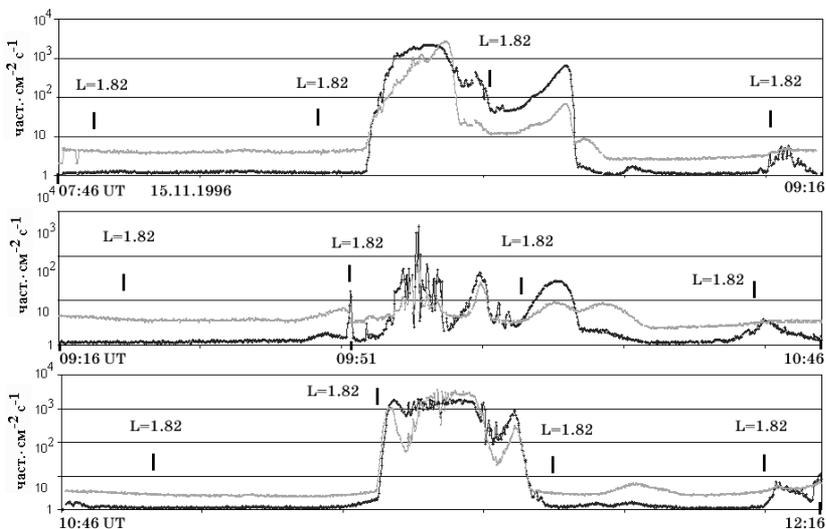


Рис. 2. Временные зависимости потоков электронов с энергиями 80-160 кэВ (кривая 1) и >200 кэВ (кривая 2), измеренные на трех последовательных витках орбиты станции «Мир» 15 ноября 1996 г. Отмечен пик, который прослеживается только на одном витке ($\sim 9^{\text{h}}51^{\text{m}}$) при пересечении дрейфовой оболочки $L = 1.82$ в южном полушарии, а также моменты пересечения этой L -оболочки на соседних витках в обоих полушариях.

Для дальнейшего анализа были отобраны самые интенсивные события, которые могут давать наиболее существенный вклад в имитации астрофизических событий в канале регистрации рентгеновского и гамма-излучения. В качестве дополнительного критерия отбора таких событий было выбрано условие превышения в максимуме возрастания среднефонового уровня более чем на 10σ . Кроме того, поскольку, как видно из рис.1 и рис. 2, относительно медленные вариации потоков, на фоне которых выделялись короткие

возрастания, могут быть достаточно интенсивными (особенно в областях пространства, соответствующих $L > 1.5$), отбирались также события, для которых пиковая интенсивность превышала $10 \text{ част./см}^2\text{с}$. Этот дополнительный отбор по абсолютной величине пиковой интенсивности позволил не потерять достаточно интенсивные возрастания на относительно больших широтах ($L > 1.5$), которые могли быть пропущены при отборе по критерию 10σ , из-за того, что в этих областях уровень фоновых

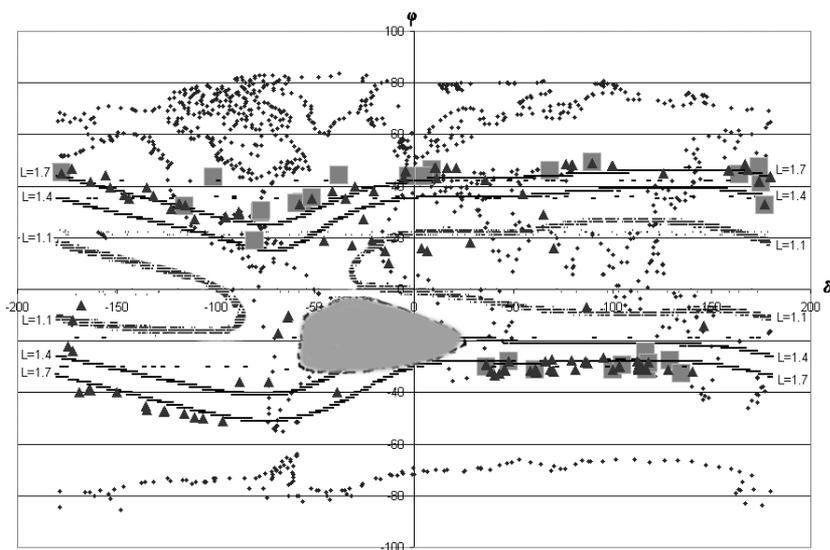


Рис.3. Географическое положение максимумов интенсивности во время регистрации кратковременных вариаций потоков электронов ($E_e = 80 - 160 \text{ кэВ}$). Треугольники – вариации, повторяющиеся при пересечении одной и той же дрейфовой оболочки на нескольких последовательных витках орбиты, квадраты – возрастания, зарегистрированные только на одном витке. Выделены проекции линий равных значений $L = 1.1, 1.4$ и 1.7 на высоте 400 км по данным IGRF 1990; φ - географическая широта, δ - географическая долгота. Серым цветом отмечена область пересечения орбитами станции «Мир» ЮАА. В пределах этой области интенсивность счета электронов с энергиями $E_e = 0.3 - 1.5 \text{ МэВ}$ превышала $15 \text{ см}^2\text{с}^{-1}\text{ср}^{-1}$.

потоков существенно выше, чем в приэкваториальных районах и, соответственно требуются большие пиковые интенсивности для удовлетворения указанному критерию. Все события, удовлетворившие рассмотренным выше условиям, отмечены на

рис. 3, который построен по данным, полученным за указанные выше интервалы наблюдений, охватывающие все время работы аппаратуры ГРИФ с октября 1995 г. по июнь 1997 г.. На этом рисунке изображена географическая карта поверхности Земли, на которую спроецированы координаты максимумов возрастаний, соответствующих как повторяющимся на последовательных витках орбиты (отмечены треугольниками), так и не повторяющимся (отмечены квадратами) пиков. Как видно из рис. 3, максимумы как повторяющихся, так и неповторяющихся пиков распределены практически однородно по долготе (естественно за исключением области ЮАА).

4. Обсуждение.

Как видно из рис. 3, большая часть выделенных повторяющихся максимумов интенсивности электронов (обозначены на рис. 3 треугольниками) сосредоточены вдоль линий одинаковых значений L , как в южном, так и в северном полушарии. В основном это относится к тем возрастаниям, которые регистрировались в областях, соответствующих относительно большому $L = 1.7 - 1.9$. Пример возрастаний, изображенных на рис. 1, показывает, что поскольку интервалы времени, через которые повторяются отмеченные на рисунке пики (соответствующие почти одинаковым значениям L) примерно равны орбитальному периоду, появление подобных пиков может быть обусловлено пересечением одной и той же области с повышенной концентрацией электронов, расположенной в рассматриваемом случае в северном полушарии. Поскольку повторяющиеся максимумы интенсивности, как видно из рис. 3, группируются вдоль линий, соответствующих близким значениям L , пространственное распределение положений этих максимумов, по-видимому, действительно отражает сечение орбитой станции дрейфовых оболочек, на которых наблюдаются относительно стабильные потоки захваченных или квазизахваченных электронов. При этом наиболее контрастно короткие возрастания, отражающие пространственную структуру радиационного пояса электронов, как видно из рис. 1, проявляются в северном полушарии. Это может быть связано с особенностями конфигурации геомагнитного поля, обусловленными смещением центра геомагнитного диполя относительно центра Земли.

Как видно из рис. 3, большинство отобранных возрастных относится к области оболочек с $L > 1.6$, то есть соответствует зоне высыпаний, наблюдавшихся в экспериментах на спутниках OHZORA, OVI-14 и др. При этом положения максимумов повторяющихся пиков занимают области, соответствующие практически всему диапазону значений L , в пределах которого осуществлялся отбор ($1 < L < 2$), а неповторяющиеся пики прослеживаются, в основном в областях, для которых $L > 1.35$.

Следует отметить, что разделение событий на повторяющиеся и неповторяющиеся в определенной мере является условным, поскольку отсутствие соответствующих пиков на соседних витках может быть обусловлено неоднородностями в долготном распределении высоты точек отражения, а не временем жизни электронов на данной дрейфовой оболочке. Тем не менее, наличие или отсутствие на последовательных витках орбиты пиков интенсивности, относящихся к одной дрейфовой оболочке (или совокупности близких дрейфовых оболочек), может быть использовано для оценки времени жизни высыпающихся электронов. Как следует из факта регистрации повторяющихся пиков, это время может составлять несколько часов, то есть по порядку величины оно сопоставимо или превышает дрейфовый период электронов с энергиями ~ 100 кэВ. Возрастания интенсивности, неповторяющиеся на последовательных витках орбиты, в тех случаях, когда они действительно отражают локальное по времени возрастание потока на данной L -оболочке, свидетельствуют о том, что время жизни высыпающихся электронов может быть меньше периода дрейфа, то есть такие электроны достаточно быстро гибнут в остаточной атмосфере.

Как известно вероятность гибели захваченной или квазизахваченной частицы в остаточной атмосфере определяется высотой точки отражения, которая в свою очередь зависит от величины питч-угла на геомагнитном экваторе, то есть время жизни частиц задается их питч-угловым распределением и раствором, так называемого, конуса потерь на данной дрейфовой оболочке [3]. Таким образом, разные значения времени жизни высыпающихся электронов отражают особенности их питч-угловых распределений, на которые влияют возмущения геомагнитного поля. В порядке гипотезы здесь следует отметить, что геомагнитные возмущения,

приводящие к высыпаниям относительно долгоживущих частиц могут быть опосредованно связаны с теми же событиями во внешней магнитосфере, которые являются причиной резких возрастаний потоков ультрарелятивистских электронов, наблюдавшихся в эксперименте на спутнике SAMPEX на дрейфовых оболочках вплоть до $L \sim 2$ [13, 14]. По крайней мере, характерное время таких возрастаний (~ 10 ч) сопоставимо с временем существования повторяющихся пиков. В отличие от этого высыпания, которые дают неповторяющиеся возрастания, характеризуются более короткими характерными временами – ≤ 1.5 ч. То есть неповторяющиеся возрастания интенсивности обусловлены кратковременными вариациями потоков электронов на соответствующих дрейфовых оболочках, возникающими вследствие локальных возмущений геомагнитного поля.

Стабильные потоки электронов могут существовать на данной дрейфовой оболочке в тех случаях, когда их время жизни превышает дрейфовый период, то есть можно считать электроны захваченными. Такая ситуация реализуется в основном для оболочек с относительно большим L . Существование же таких потоков в низкоширотных областях (зонах квазизахвата), где время жизни электронов заведомо меньше дрейфового периода, требует предположить, что существуют постоянно действующие механизмы подпитки потоков на этих оболочках. В частности, заполнение некоторых L -оболочек в низкоширотных областях дипольного магнитного поля может быть обеспечено дрейфом с запада на восток электронов, выпадающих (вследствие рассеяния на остаточной атмосфере) вдоль восточной периферии ЮАА преимущественно на дрейфовые оболочки $L < 1.1$, $L \sim 1.3-1.5$ [33]. В виду малых значений средних величин потоков на этих L -оболочках, изменения интенсивности, отражающие особенности их пространственного распределения, характеризуются амплитудами, в основном, на уровне фоновых флуктуаций. Даже возрастания, удовлетворившие 10σ критерию отбора, характеризуются столь малыми потоками, что не позволяют проследить концентрацию максимумов интенсивности к конкретным L -оболочкам, также как и выделить линии, относящиеся к сопряженным областям в северном и южном полушариях. Поэтому возрастания интенсивности на $L < 1.5$, отмеченные на рис.3 как повторяющиеся, строго говоря, ими

не являются. Однако, поскольку они обусловлены изрезанностью временных профилей интенсивности вследствие мелкомасштабных пространственных вариаций потоков квазизахваченных электронов, эти возрастания отражают тонкую пространственную структуру относительно стабильных потоков, то есть по смыслу близки к тем повторяющимся пикам, которые прослеживаются на более высоких широтах и отражают пространственную структуру долгоживущих частиц в зоне высыпаний. Поэтому большинство возрастаний, относящихся к $L < 1.5$ были отмечены как «повторяющиеся».

Что касается заведомо неповторяющихся на последовательных витках орбиты, но достаточно интенсивных узких пиков, которые согласно данным эксперимента ГРИФ наблюдаются и на относительно низких широтах ($L < 1.5$) вне зоны высыпаний (см. рис. 3), то они, также как и возрастания в зоне высыпаний, по-видимому, отражают кратковременные (менее нескольких часов) вариации потоков электронов на соответствующих дрейфовых оболочках и обусловлены возмущениями геомагнитного поля. Следствием таких возмущений может быть дополнительная инжекция электронов в области ЮАА на близкие по L дрейфовые оболочки, вследствие чего возникают узкие области с повышенной концентрацией частиц, приводящие к неоднородностям в пространственном распределении квазизахваченных электронов.

Хотя, как следует из вышеизложенного, имеющиеся на сегодняшний день данные не позволяют достаточно надежно разделять временные и пространственные эффекты в вариациях потоков захваченных и квазизахваченных электронов на низких L -оболочках, результаты эксперимента ГРИФ позволяют сделать важный в плане анализа фоновой обстановки в гамма-астрономических экспериментах вывод о том, что весьма интенсивные возрастания потоков электронов, которые могут имитировать космические гамма-всплески, наблюдаются на довольно низких широтах – вплоть до $L \sim 1.35$. Примеры подобных возрастаний, относящихся к разным дрейфовым оболочкам, приведены на рис. 4 – рис. 6.

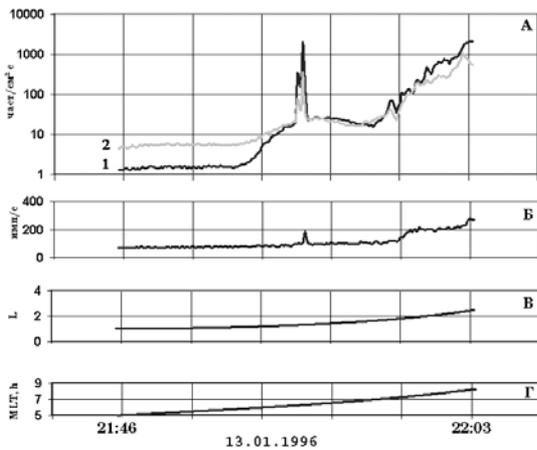


Рис. 4. Временные зависимости потоков электронов (панель а, 1 – диапазон 80-160 кэВ, 2 - >200 кэВ); скорости счета рентгеновских фотонов в диапазоне 25-50 кэВ спектрометра РХ-2 (панель б); параметра L (панель в) и геомагнитного местного времени MLT (панель г), зарегистрированные 13.01.1996 в интервале 21^h46^m - 22^h03^m UT.

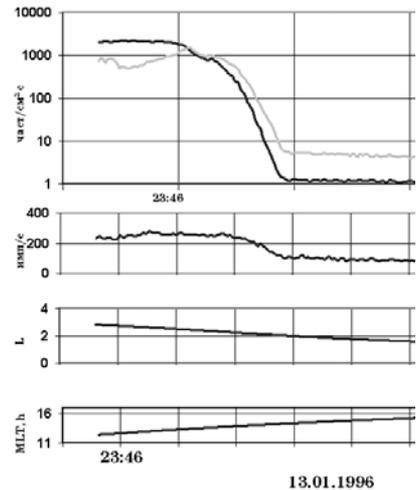


Рис. 5. Временные зависимости потоков электронов (панель а, 1 – диапазон 80-160 кэВ, 2 - >200 кэВ); скорости счета рентгеновских фотонов в диапазоне 25-50 кэВ спектрометра РХ-2 (панель б); параметра L (панель в) и геомагнитного местного времени MLT (панель г), зарегистрированные 13.01.1996 в интервале 23^h46^m - 23^h59^m UT.

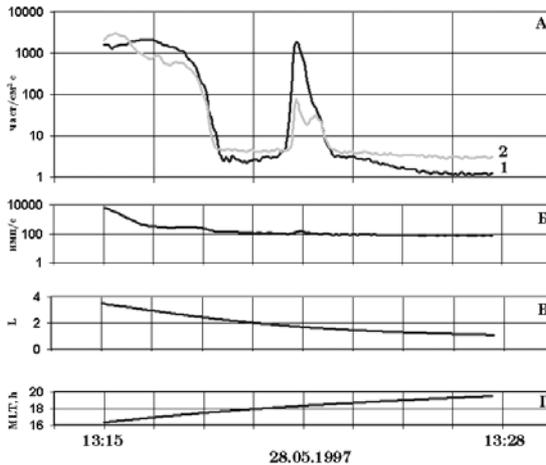


Рис. 6. Временные зависимости потоков электронов (панель а, 1 – диапазон 80-160 кэВ, 2 - >200 кэВ); скорости счета рентгеновских фотонов в диапазоне 25-50 кэВ спектрометра РХ-2 (панель б); параметра L (панель в) и геомагнитного времени MLT (панель г), зарегистрированные 28.05.1997 в интервале $13^{\text{h}}15^{\text{m}} - 13^{\text{h}}28^{\text{m}}$ UT.

Особенно следует отметить событие, изображенное на рис. 4. Как видно из рисунка, 13.01.1996 примерно в $21^{\text{h}}55^{\text{m}}$ UT имело место значительное возрастание интенсивности в каналах счета электронов 80-160 и >200 кэВ в низкоширотной области околоземного пространства ($L \sim 1.32$). Это возрастание потока электронов сопровождалось вполне значимым увеличением скорости счета в канале регистрации 25-50 кэВ рентгеновского спектрометра РХ-2. Длительность возрастания в рентгеновском канале составляла около 25 с, то есть это возрастание потока электронов вполне могло имитировать космический гамма-всплеск. Следует также обратить внимание на двухпиковую структуру возрастания интенсивности электронов, причем второй пик характеризуется существенно большей интенсивностью чем первый, в том числе и в более «жестком» канале >200 кэВ. И именно второй пик обеспечил имитацию всплеска в рентгеновском канале.

На рис. 5 изображено возрастание, зарегистрированное также 13.01.1996 в $(23^{\text{h}}56^{\text{m}}$ UT при пересечении оболочки $L \sim 1.48$. В отличие от события, представленного на рис. 4, это возрастание прослеживается только в канале 80-160 кэВ и его интенсивность существенно меньше (более чем на порядок), оно не дает какого-либо присчета в рентгеновском канале. Оно

характеризуется большей длительностью – около 2 мин и имеет относительно сложную многопиковую структуру.

Наконец, на рис. 6 приведен пример кратковременного возрастания потока электронов на $L \sim 1.75$. Это возрастание видно в обоих каналах регистрации электронов прибора "Фон-1", причем в канале >200 кэВ явно прослеживается двухпиковая структура. Интенсивность этого возрастания, в том числе и при больших энергиях достаточно велика. Оно обеспечивает дополнительный счет в рентгеновском канале 25-50 кэВ, амплитуда соответствующего «рентгеновского» всплеска (~ 50 имп/с) позволяет его выделить на 8σ уровне достоверности. Длительность возрастания потока электронов составила более 2 мин.

5. Заключение.

Рассмотренные примеры свидетельствуют о том, что неповторяющиеся на соседних витках кратковременные возрастания потоков электронов отличаются большим разбросом по амплитуде, разнообразием временных структур.

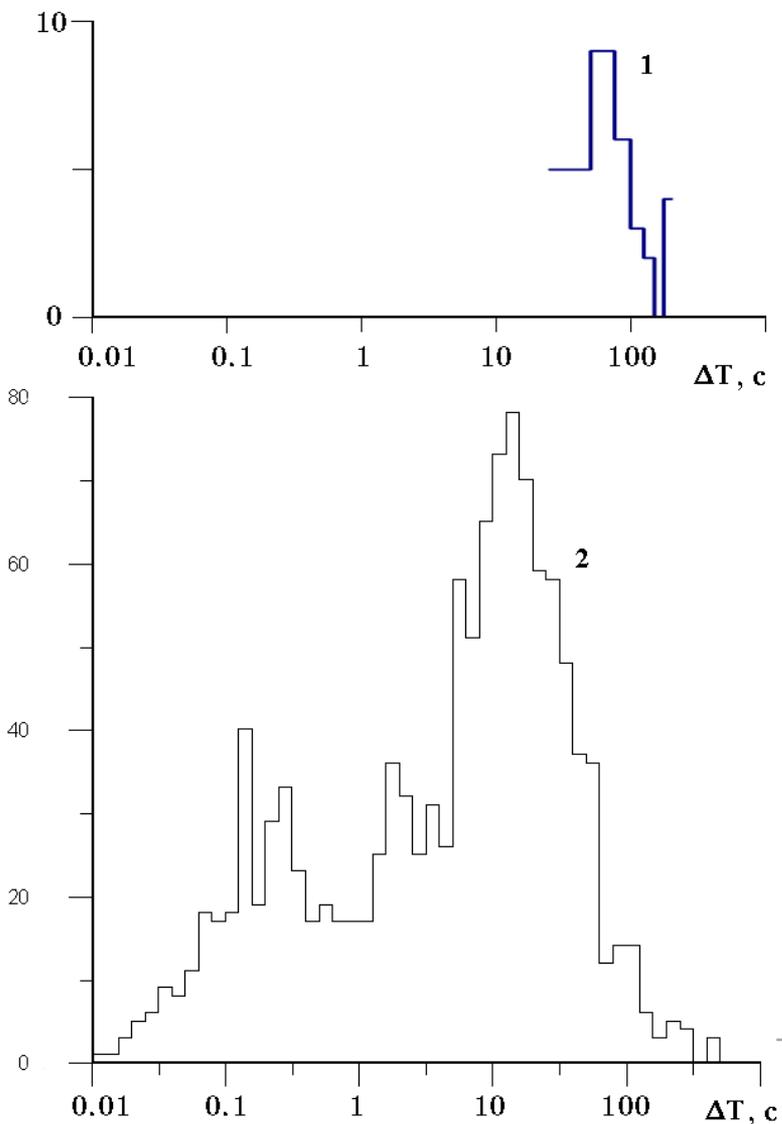


Рис. 7. Распределение по длительности неповторяющихся возрастных потоков электронов, наблюдаемых в околоземном космическом пространстве в низкоширотных областях ($L = 1.3-2.0$) – 1; распределение по длительности космических гамма-всплесков по данным эксперимента BATSE CGRO [25] – 2.

Они могут прослеживаться в различных областях околоземного пространства. На рис. 7 приведены распределения по длительности космических гамма-всплесков по данным эксперимента BATSE CGRO [35] и неповторяющихся на соседних витках интенсивных возрастаний потоков электронов по данным эксперимента ГРИФ. Видно, что хотя возрастания потоков электронов характеризуются в среднем большими длительностями, чем космические гамма-всплески, имеется вполне определенная область перекрытия длительности этих событий – от ~20 с и выше. Это означает, что возрастания потоков электронов субрелятивистских и релятивистских энергий, обусловленные, по-видимому, высыпаниями из радиационного пояса, вполне могут имитировать космические гамма-всплески в показаниях детекторов рентгеновского и гамма-излучения. То, что интенсивные возрастания потоков электронов наблюдаются даже в низкоширотных областях позволяет сделать вывод о том, что проблема имитаций астрофизических всплесков высыпаниями электронов актуальна практически во всех областях околоземного пространства.

Следует отметить, что при отборе космических гамма-всплесков по данным самого эксперимента ГРИФ использовалось условие: уровень потоков электронов в канале 80-160 кэВ не должен быть выше 25 част./см²с, что позволило надежно исключить имитации астрофизических событий возрастаниями потоков электронов типа тех, которые изображены на рис. 4, рис. 6. Возрастания, характеризуемые меньшими величинами потоков, как видно из рис. 5 не дают значимого присчета в рентгеновских каналах и потому не опасны в плане имитаций астрофизических событий.

Список литературы.

1. *Тверской Б.А.* «Динамика радиационных поясов Земли». М.: Наука. 1968. 224 с.
2. *McIlwain C.E.* "Magnetic coordinates". // *Space Sci. Rev.* 1966. V.5. P.585.
3. *Редерер Х.* «Динамика радиации, захваченной геомагнитным полем». М.: Мир. 1972. 192 с.
4. *Paulikas G.A., Freden S.C.J.* // *J. Geophys. Res.* 1964. V.69. P.1239.
5. *O'Brien B.J.* // *J. Geophys. Res.* 1962. V.67. P.3687.
6. *O'Brien B.J., Taylor H.* // *J. Geophys. Res.* 1964. V.69. P.45.
7. *Тверской Б.А.* "The main mechanisms of the Earth's radiation belts formation". // *Rev. Geophys.* 1969. V.7. P.219.
8. *Nagata K., Kohno T., Murakami H. et al.* "Electron (0.19-3.2 MeV) and proton (0.58-35 MeV) precipitations observed by OHZORA satellite at low latitude zones L = 1.6-1.8". // *Planet. Space Sci.* 1988. V.36. P.591-606.
9. *Vampola A.L., Kuck G.A.* *Geophys. Res. Lett.* 1978. V.83. P.2543.
10. *Imhoff W.L., Reagan J.B., Gains E.E.* *J. Geophys. Res.* 1978. V.84. P.4245.
11. *Imhoff W.L., Reagan J.B., Gains E.E., Anderson R.* *J. Geophys. Res.* 1983. V.88. p.8103.
12. *Imhoff W.L.* *Geophys. Res. Lett.* 1991. V.18. p.397.
13. *Blake J.B., Inan U.S., Walt M., Bell T.F., Bortnik J., Chenette D., Christian H.J.* *Journal Geophys. Res.*, 2001. V. 106, No.A12, p.29
14. *Baker D.N., Blake J.B., Callis L.B. et al.*, *Geophys. Res. Lett.* 1994. V.21. p.409.
15. *Van Allen J.A.* "Spatial distribution and time decay of the intensities of geomagnetically trapped electrons from the high altitude nuclear burst of July 1962", in "Radiation Trapped in the Earth's magnetic Field", ed. B.M. McCormac, D. Reidel. Publ. Co, Dordrecht, Holland, 1966. p.575.
16. *Schultz M., Lanzerotti L.J.* "Particle Diffusion in the Radiation

- Belts". Springer, Berlin, 1974. p.143.
17. McIlwain C.E. "Measurement of trapped electron intensities made by the Explorer satellite", in "Radiation Trapped in the Earth's Magnetic Field", ed. B.M. McCormac, D. Reidel. Publ. Co, Dordrecht, Holland, 1966, p.575.
 18. Galper A.M., Koldashov S.V, Mikhailov V.V., Voronov S.A.. Proc. 23 ICRC. 1993 V.3. p.825.
 19. Bashkirov V.F., Denisov Yu.I., Gotselyuk Yu.V., et al., Rad. Measur., 1999. V.30, p.537.
 20. Grigoryan O., Kubela K., Rothkaehl H., Sheveleva V., Adv. Space Res., 2004 в печати.
 21. Гальперин Ю.И., Гладышев В.А., Джорджио Н.В., Ларкина В.И., Могилевский М.М. Космич. Исслед. 1992. Т.20. С.89.
 22. Biryukov A.S., Grigoryan O.R., Kuznetsov S.N., et al., Adv. Space Res. 1996. V.17, No 10, p.189.
 23. Grigoryan O.R., Sinyakov A.V., Klimov S.I., Adv. Space. Res. 1997. V.20. p.389.
 24. Denisov Yu., Gotseluk Yu., Kuznetsov S., Myagkova I., Moscow, Russia. 1997. Abstracts, 1.38
 25. Dave Evans, Long-Lived Enhancements of 30 keV Electron Fluxes at Very Low L-values, Satellite Requirements Workshops, NOAA, SEC, Boulder, Co, USA
 26. Kennel C.F., Engleman F., Phys. Fluids, 1966. V.9. p.2377.
 27. Dungey J.W., Planet. Space Sci., 1963. V.11. p.591
 28. Cornwall J.M., Journal Geophys. Res., 1964. V.69. p.1251
 29. Getselev I., Grigoryan O., Nikitskiy V., Ryabucha S., Tchurilo I., Surface radiation doses on the board of "MIR" orbital station, Workshop "Space radiation environment modelling: new phenomena and approaches", Moscow, Russia. Abstracts. 1997. V.4. p.12
 30. Vette, J. I., NSSDC WDC-A-R&S. 1991. P.91
 31. Кудрявцев М.И., Панков В.М., Богомолов А.В. и др. "Эксперимент "ГРИФ-1" на модуле "СПЕКТР" ОКС "МИР": «Исследование рентгеновского, гамма- и нейтронного излучений солнечных вспышек, а также связи солнечной активности с динамикой потоков заряженных частиц в

- магнитосфере Земли". // Известия ВУЗов, сер. Радиофизика, Т.39. 1996. № 11-12. С.1539-1545.
32. *Богомолов А.В., Богомолов В.В., Денисов Ю.И. и др.* "Характеристики компонентов фонового гамма-излучения и нейтронов на орбитах станции "Мир"". // Космич. исслед. 2000. Т.38. С.377-387.
 33. *Богомолов А.В., Денисов Ю.И., Колесов Г.Я. и др.* "Потоки квазизахваченных электронов с энергиями >0.08 МэВ в околоземном пространстве". // Космические исслед. 2005. Т.33. С.
 34. *Fairfield D.H., Tsyganenko N.A., Usmanov A.V., Malkov M.V.* "A large magnetosphere magnetic field database". // J. Geophys. Res. 1994. V.99. P.11319-11326.
 35. *Meegan C.A., Pendleton G.N., Briggs M.S. et al.)* "Fourth BATSE gamma-ray bursts catalogue". // Astrophys. J. Suppl.. 1996. V.106. P.65.

**Кудрявцев Михаил Иванович, Логачев Юрий Иванович,
Морозов Олег Вячеславович, Свертилов Сергей Игоревич**

**КРАТКОВРЕМЕННЫЕ ВОЗРАСТАНИЯ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ
С ЭНЕРГИЯМИ >80 кэВ НА ОРБИТАХ СТАНЦИИ «МИР»
В НИЗКОШИРОТНЫХ ($L < 2$) ОБЛАСТЯХ**

Препринт НИИЯФ МГУ 2005-8/774
Работа поступила в ОНТИ

Издательство УНЦ ДО
ИД № 00545 от 06.12.1999

117246, Москва, ул. Обручева, 55-А, УНЦ ДО
т/ф (095) 718-65966, -7767, -7785 (комм.)
e-mail: izdat@abiturcenter.ru
<http://abiturcenter.ru/izdat>

Заказное. Подписано в печать 01.03.2005г. Формат 60x90/16
Бумага офсетная №2. Усл.п.л. 1.88
Тираж 50 экз. Заказ № 772

Отпечатано в Мини-типографии УНЦ ДО
<http://abiturcenter.ru/print>
в полном соответствии с качеством
предоставленного оригинал-макета