Анализ возрастаний потоков заряженных частиц в авроральных областях по результатам эксперимента ДЭПРОН

Семинар НИИЯФ ОКН

И.А. Золотарев, В.В. Бенгин, О.Ю. Нечаев,М.И. Панасюк, В.Л. Петров, И.В. Яшин, А.М. Амелюшкин

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics
M.V. Lomonosov Moscow State University

Всплески интенсивности

Временные серии данных показывают всплеск и прохождение отрогов пояса или аномалии

История исследования

Характерные публикации по теме возрастаний потоков частиц в высокоширотных областях:

1. Вернов С.Н., Чудаков А.Е.
   Исследования космических лучей и земного корпускулярного излучения при полетах ракет и спутников // УФН. 1960. № 4 (70). С. 585.
2. Базилевская Г.А., Калинин М.С., Квашнин А.Н., Крайнев М.Б., Махмутов В.С., Свиржевская А.К., Свиржевский Н.С., Стожков Ю.И., Балабин Ю.В., Гвоздевский Б.Б.
   Высыпания высокоэнергичных магнитосферных электронов и сопутствующие характеристики солнечного ветра // Геомагнетизм и Аэрономия. 2017. № 2 (57). С. 164–172.
3. **Dachev T. P., Tomov B. , Matviichuk Yu, Dimitrov Pl, Bankov N.**
   Relativistic electrons high doses at International Space Station and Foton M2/M3 satellites // Advances in Space Research. 2009. № 12 (44). С. 1433–1440.
4. Hendry, A. T., C. J. Rodger, M. A. Clilverd, M. J. Engebretson, I. R. Mann, M. R. Lessard, T. Raita, and D. K. Milling
   Confirmation of EMIC wave-driven relativistic electron precipitation // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2016. № 6 (121). С. 5366–5383.
5. Horne R. B., Glauert S. A., Meredith N. P., Boscher D., Maget V., Heynderickx D. , Pitchford D.
   Space weather impacts on satellites and forecasting the Earth’s electron radiation belts with SPACECAST // Space Weather. 2013. № 4 (11). С. 169–186.

Новизна нашего исследования заключается в оценке дозиметрических характеристик всплесков.

Если кто то из коллег осведомлен о публикациях дозиметрических характеристик описанных всплесков, мы будем очень благодарны за указание таких работ.

Истории изучения вопроса

Даже на небольших высотах, начиная от 300 км в интервале геомагнитных широт 55-70, наблюдается резкое возрастание интенсивности излучения и частицами, составляющими этот внешний радиационный пояс, являются электроны различных энергий, и поток с энергиями от 1 до 1 МэВ достигает 10^5см$^{-2}$сек$^{-1}$стер$^{-1}$ [Вернов С.Н. 1960]. Вернов выдвигает предположение о двух энергетически разобщенных группах электронов — с энергией в десятки кэВ и единицы МэВ.
Базилевская Г.А. в свои работах отмечает связь длительных периодов отрицательных значений B_z с высыпаниями высокоэнергичных электронов.

Figure 2. Map of the geographic locations of each detection of the 13 August 2013 EMIC-induced precipitation region.

Figure 7. (a) Plot showing the distribution of all observed EMIC waves at all magnetometers, in L-MLT space. L shell is shown from 0 to 10 increasing radially outward, while MLT is shown from 0 to 24 MLT, with magnetic midnight at the 6 o'clock position. (b) As in Figure 7a but showing only the IPDP-type EMIC wave events. (c) As in Figure 7a but only showing the non-IPDP EMIC wave events.

Высыпания электронов по данным POES, скорее всего вызваны волнами EMIC, обнаруживаемыми на поверхности;

EMIC-IPDP неоднократно срабатывал при MLT, совпадающим с обнаруженными на POES высыпаниями электронов;

Волны EMIC, обнаруженные при высыпаниях электронов, представляют собой в основном волны полосы IPDP.

Истории изучения вопроса

По сообщению Dachev T. P. [2009], измеренные абсолютные максимумы мощности дозы по релятивистским электронам:

304 мкГр/ч за защитой 1,75 г см-2, Foton M2

2314 мкГр/ч за защитой 0,71 г см2, экранируя в Foton M3

19 195 мкГр/ч за защитой менее 0,4 г / см2 на МКС (поток составляет 8363 см-2*с-1) .

Fig. 7. Comparison of REP data obtained on the ISS and the Foton M2/

План доклада

1. Описание прибора ДЭПРОН
2. Алгоритм обработки данных
3. Доступность данных и порядок наземной обработки
4. Результаты без всплесков
5. Статистика всплесков и их феноменология. Критерии отбора событий.
6. Географическое распределение всплесков
7. Связь с параметрами солнечной активности
8. Дозиметрические характеристики всплесков

ДЭПРОН

Коэффициенты перехода от внутренних единиц к потоку и дозе. Схема расположения детекторов прибора и защиты вокруг них, минимальные энергии проникающих частиц.

ДЭПРОН - Дозиметр Электронов, ПРОтонов и Нейтральных частиц

1. Корпус — 1,9 мм алюминия, Д16т;
2. Бериллиевая бронза — фольга 50 мкм;

Детекторы:

- D1 Детектор — 0,3 мм кремний
- Ml Модератор — 0,3 мм алюминий
- D2 Детектор — 0,3 мм кремний
- D3 **He-3** счетчик
- D4 **He-3** с защитой 1 см оргстекла

Объемная модель

Схема расположения детекторов и защиты

Массовая защита по осям прибора, г·см-2 :

+ X	-X	+Y	-Y	+Z	-Z
1,1	4,0	>8,0	2,7	1,6	4,3

ДЭПРОН

Детекторная система

Наиболее чувствительный информационный параметр при работе ДЭПРОН — скорость счета детектора 1. Проведем оценку минимальной энергии заряженных частиц, к которым данный детектор чувствителен. Так как детектор закрыт сверху алюминиевой крышкой толщиной 2 мм, он должен быть чувствителен к протонам с энергией больше 20 МэВ и электронам с энергией больше примерно 0,5 МэВ, а также - возможно - к тормозному излучению. Порог дискриминации сигналов с детектора около 100 КэВ.
Пользуясь представленными зависимостями для уточненной минимальной толщины корпуса прибора, которая составляет 2,5 мм, что соответствует 0,65 г/см^2, была повышена предварительная оценка порога нижних энергий, которые способен регистрировать ДЭПРОН по электронам до 1 МэВ и по протонам до 20 МэВ. Для ядер гелия прибор чувствителен начиная с 90 МэВ.

Графики средних пробегов заряженных частиц для алюминия. Представлены величины:
“CSDA range” — глубина в приближении непрерывного замедления
“Projected range” — среднее значение глубины, на которую заряженная частица проникает в процессе замедления до остановки

ДЭПРОН

Чувствительность нейтронных счетчиков, мне кажется не нужна в этой презентации

Профили чувствительности нейтронных счетчиков, отражают отношение зарегистрированных в счетчиках нейтронов к потоку нейтронов, прошедших через объем счетчика. Эта величина соответствует функции чувствительности. Фактом регистрации нейтрона в детекторе при моделировании считалось энерговыделение в объеме заполняющего газа более 500 кэВ. При сравнении профилей чувствительности не защищенного и окруженного оргстеклом нейтронных детекторов можно заметить что пик чувствительности более защищенного детектора находится на 0,005 эВ, а для защищенного этот пик находится на 0,5 эВ энергии нейтронов.

Алгоритм обработки данных

Особенности алгоритма обработки данных для поиска всплесков

Временное распределение скорости счета в зарегистрированных всплесков. Общее число выделенных всплесков за время работы прибора ДЭПРОН достигает 90.

Были найдены и выделены возрастания скоростей счета в первом детекторе, превышающие по абсолютной величине 5000 отсчетов в секунду, что соответствует более 700 $с^{-1}$ $см^{-1}$ $стер^{-1}$. Такая величина скорости счета была выбрана исходя из быстродействия прибора ДЭПРОН.

Доступность данных

Доступность данных и порядок наземной обработки

В результате полугода работы прибора ДЭПРОН накоплено информации - 35 тысяч файлов бинарных данных, общим объемом 141 Мбайт.

Эти данные являются сжатыми и после распаковки в человеко-читаемый табличный вид представлены массивом файлов объемом 1,3 Гб, они собраны в файлы по дням года и осуществлена привязка данных к географическим и геомагнитным координатам.

Разделение участков траектории

Временные серии с выделением прохождений аномалии и отрогов внешнего пояса.
Далее разделение проводилось автоматически по геомагнитным координатам:

аномалия ($\mathrm{b} < 0.21$) и отроги внешнего пояса ($3 < \mathrm{L} < 7$), остальное — регулярный полет по орбите.

Результаты измерений дозиметра

Интегральные дозы

Интегральные суточные дозы в аномалии и в полярных областях. Каждая точка представляет один день.

Результаты измерений дозиметра

Максимальные мощности дозы

Максимальные мощности дозы в аномалии и в полярных областях. Каждая точка представляет один день. В этих результатах не проведено отделение всплесков, поэтому значительный разброс в полярных областях связан с накладывающимися всплесками. Именно этот разброс и привлекает наше внимание.

	Верхний детектор, мГр/ч	Нижний детектор, мГр/ч
Аномалия	5,1	3,8
Авроральная зона	26	3
ГКЛ	7,2	2,2

Результаты измерений дозиметра

Максимальные мощности дозы

Максимальные мощности дозы в аномалии и в полярных областях. Каждая точка представляет один день. Яркие точки —- полярные области, бледные— аномалия.

Статистика всплесков и их феноменология.

Особенности алгоритма обработки данных для поиска всплесков

Отбор всплесков интенсивности производился по превышению 5000 отсчетов в верхнем детекторе, что составляет 700 $\mathrm{c}^{-1}\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{sr}^{-1}$ (геометрический фактор около 2π). Такие величины скоростей счета характерны только для авроральных областей:

	Верхний детектор, $\mathrm{c}^{-1}\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{sr}^{-1}$	Нижний детектор, $\mathrm{c}^{-1}\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{sr}^{-1}$
Аномалия	112	66
Авроральная зона	2444	244
ГКЛ	733	45

Статистика всплесков и их феноменология.

Соотношение программного и аппаратного счетчиков

Величины повышенных потоков, зарегистрированных в первом полупроводниковом детекторе, в среднем в 30-100 раз выше, чем во втором детекторе и при одновременной регистрации в двух детекторах.

Слева: Соотношение программного и аппаратного счетчиков для моментов времени, в которые регистрировались всплески. Прямая на рисунке показывает соотношение, при котором все зарегистрированные частицы обработаны программой прибора. Каждая точка показывает интегральный счет за одну секунду.
Справа: Отношение счёта нижнего детектора к счету в верхнем детекторе, в зависимости от значений аппаратного счетчика. Всплески можно разделить на две группы по проникающей способности частиц.

Статистика всплесков и их феноменология.

Критерии отбора событий.

Распределение наблюдаемых всплесков по длительности.

Две трети всплесков имеют длительность менее 20 секунд, что дает предполагать, что характерные размеры областей повышенного счета — ̃150 км

Статистика всплесков и их феноменология.

Характерный всплеск 1

Временной профиль возрастания, зарегистрированный 2 Ноября 2016 года в 00:40 по мировому времени. Он отличается необычно высокой дозой во втором детекторе.

Статистика всплесков и их феноменология.

Характерный всплеск 2

Для всплеска, зарегистрированного в 2016-10-28 21:43:42 — 21:45:26 UTC поглощенная доза для верхнего детектора превышает 0,35 мГр, это максимальное значение для всех рассмотренных возрастаний. Данный всплеск отличается наибольшей по сравнению с другими всплесками продолжительностью - 105 секунд.

Всплеск

Аномалия

Географическое распределение всплесков

Распределение всплесков в геомагнитных координатах

Всплески наблюдаются в основном с 21 часа и по мере приближения к полночи их число уменьшается.

Распределение сильно отличается от MLT наблюдаемых при прохождениях авроральных областей.

Магнитное локальное время для зарегистрированных за все время всплесков.

Распределение пролетов авроральной области в геомагнитных координатах

Наблюдения различных значений магнитного локального времени в точках с координатами пролета спутника Ломоносов за период времени в одни сутки для полярных областей.

Связь с параметрами солнечной активности

Временное распределение зарегистрированных всплесков. Общее число выделенных всплесков за время работы прибора ДЭПРОН достигает 90.
Второй график показывает вариации индекса AE, при отрицательном Bz. Данные предоставлены сервисом OMNIweb.

Дозиметрические характеристики всплесков

Дозиметрические характеристики всплесков

Дозиметрические характеристики всплесков

Дозиметрические характеристики всплесков

Максимальные мощности дозы во всплесках, по сравнению с максимальными мощностями в полярных областях.

Синие точки представляют суточные максимумы для всплесков, а красные максимумы за весь день. На левом графике синие точки почти всегда накладываются на красные.

Дозиметрические характеристики всплесков

Суммарные мощности дозы за всплеск, по сравнению с интегральными суточными мощностями в полярных областях.

Дозиметрические характеристики всплесков

Суммарные мощности дозы за всплеск, по сравнению с интегральными суточными мощностями в полярных областях.

Дозиметрические характеристики всплесков

Вклад всплесков в суточную дозу в полярных областях

Заключение

1. Всплески наблюдаются в основном с 21 часа и по мере приближения к полночи их число уменьшается;
2. Наблюдаются ассиметрия ”утро-вечер”в регистрации всплесков;
3. Максимальные мощности дозы в время всплесков являются максимумами мощности дозы за день в полярной области для обоих детекторов;
4. Суточные дозы в авроральных областях испытывают увеличение более чем в 5 раз, совпадающее по времени с регистрацией всплесков;
5. Вклад в суточные дозы в авроральных областях от всплесков не превышает 25%.