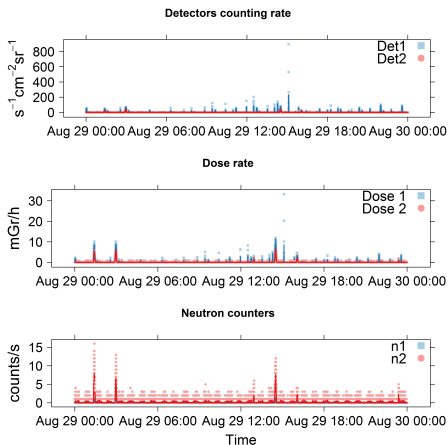




# Анализ возрастных потоков заряженных частиц в авроральных областях по результатам эксперимента ДЭПРОН

Семинар НИИЯФ ОКН

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



Временные серии данных показывают всплеск и прохождение отрогов пояса или аномалии

Характерные публикации по теме возрастных 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 Аэронавтика. 2017. № 2 (57). С. 164–172.
- ③ **Dachev T. P., Tomov B. , Matviichuk Yu, Dimitrov PI, 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  $10^5 \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1} \text{ стер}^{-1}$  [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 выпадениями высокоэнергичных электронов.

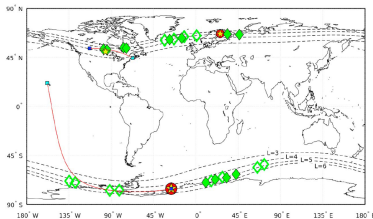


Figure 2. Map of the geographic locations of each detection of the 13 August 2013 EMIC-induced precipitation region.

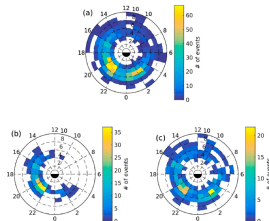


Figure 7. (a) Plot showing the distribution of all observed EMIC waves at all magnetometers, in L-MLT space. L shell is shown from 0 to 10 increasing radially outward, while MLT is shown from 0 to 24 MLT, with magnetic midnight at the 6 o'clock position. (b) As in Figure 7a but showing only the IPDP-type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

Волны EMIC, обнаруженные через POES-обнаруженное электронное осаджение, представляют собой в основном гелиевые полосы IPDPwaves

# 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<sup>-2</sup>, Foton M2

2314 мкГр/ч за защитой 0,71 г см<sup>2</sup>, экранируя в Foton M3

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

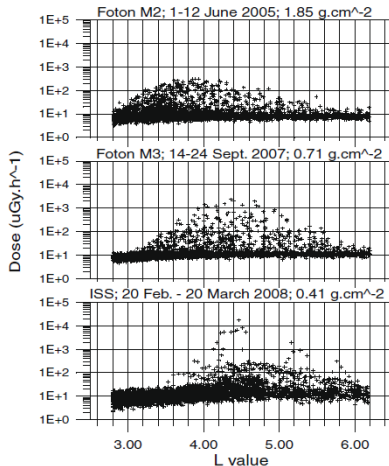


Fig. 7. Comparison of REP data obtained on the ISS and the Foton M2/

# 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

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

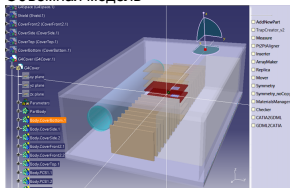
ДЭПРОН - Дозиметр Электронов, ПРОтонов и Нейтральных частиц

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

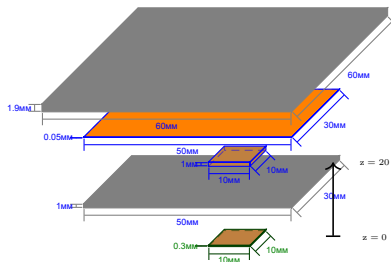
Детекторы:

- D1 Детектор — 0,3 мм кремний  
 M1 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

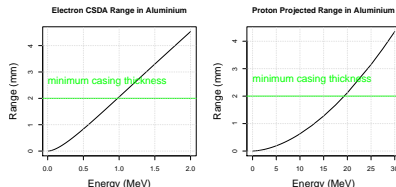


# ДЭПРОН

## 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<sup>2</sup>, 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.



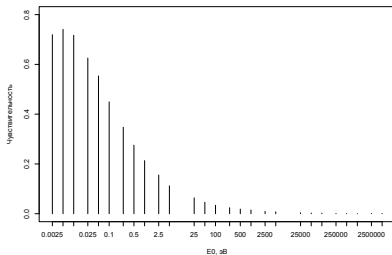
Графики средних пробегов заряженных частиц для алюминия. Представлены величины: “CSDA range” — глубина в приближении непрерывного замедления “Projected range” — среднее значение глубины, на которую заряженная частица проникает в процессе замедления до остановки



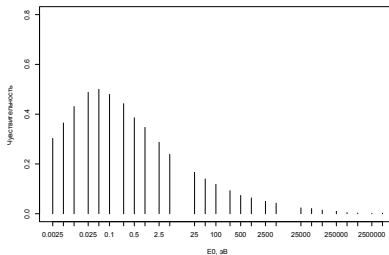
# ДЭПРОН

Чувствительность нейтронных счетчиков, мне кажется не нужна в этой презентации

Чувствительность первого нейтронного детектора Дэпрон



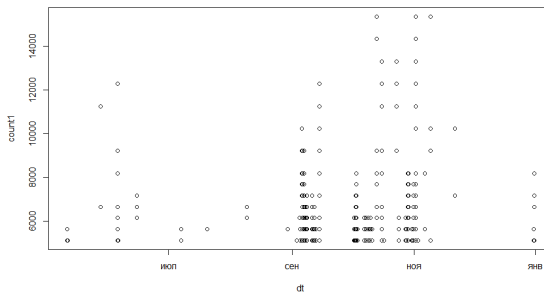
Чувствительность второго нейтронного детектора Дэпрон



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 всплесках. 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  $800 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-1} \text{ стер}^{-1}$ .

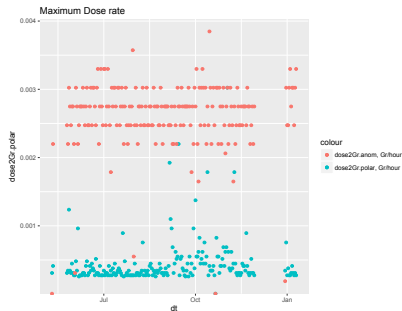
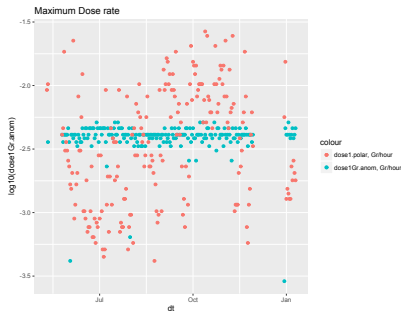
# Доступность данных

## 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.

## УВЕЛИЧИТЬ ПОДПИСИ КАРТИНОК

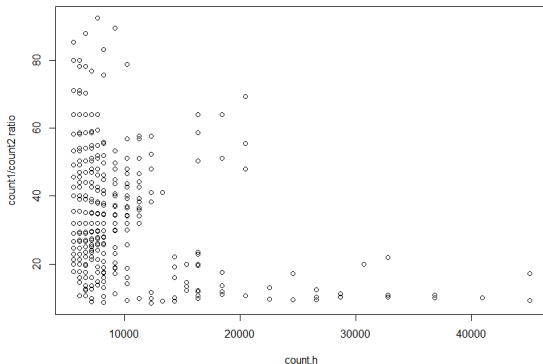


Максимальные мощности дозы в аномалии и в полярных областях. Каждая точка представляет один день. В этих результатах не проведено отделение всплесков, значительный разброс в полярных областях связан с накладывающимися всплесками.

# Статистика всплесков и их феноменология.

## Особенности алгоритма обработки данных для поиска всплесков

Отбор всплесков интенсивности производился по превышению 5000 отсчетов в верхнем детекторе.

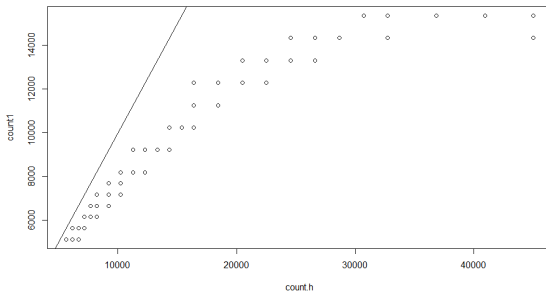


Отношение счёта нижнего детектора к счету в верхнем детекторе, в зависимости от значений  
аппаратного счетчика.

# Статистика всплесков и их феноменология.

## Соотношение программного и аппаратного счетчиков

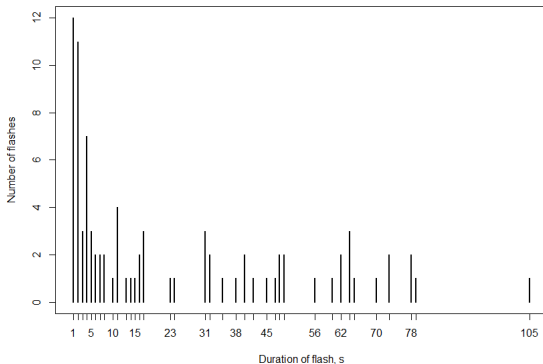
Величины повышенных потоков, зарегистрированных в первом полупроводниковом детекторе, в среднем в 30-100 раз выше, чем во втором детекторе и при одновременной регистрации в двух детекторах.



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.

# Статистика всплесков и их феноменология.

## Критерии отбора событий.

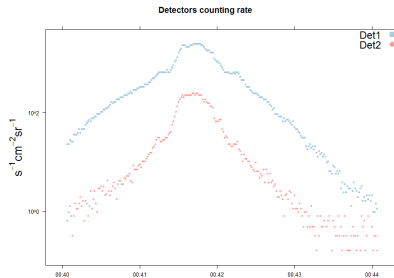
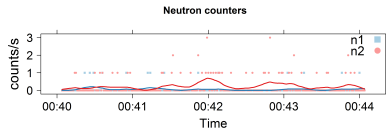
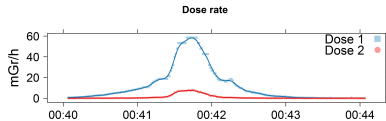
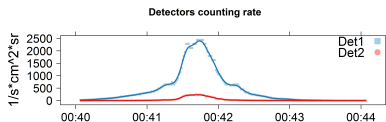


Распределение наблюдаемых всплесков по длительности.

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



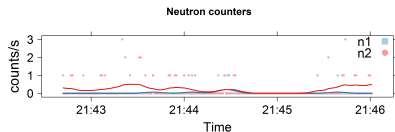
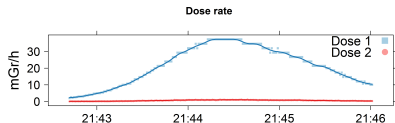
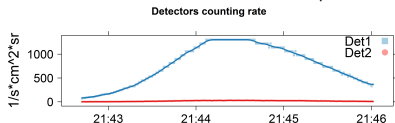
Временной профиль возрастания, зарегистрированный 2 Ноября 2016 года в 00:40 по мировому времени. Он отличается необычно высокой дозой во втором детекторе.



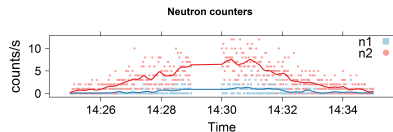
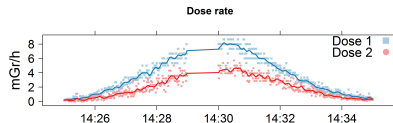
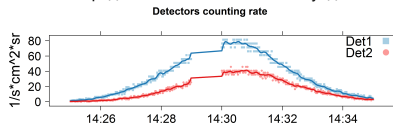
# Статистика всплесков и их феноменология.

## 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 возрастных. Данный всплеск отличается наибольшей по сравнению с другими всплесками продолжительностью - 105 секунд.

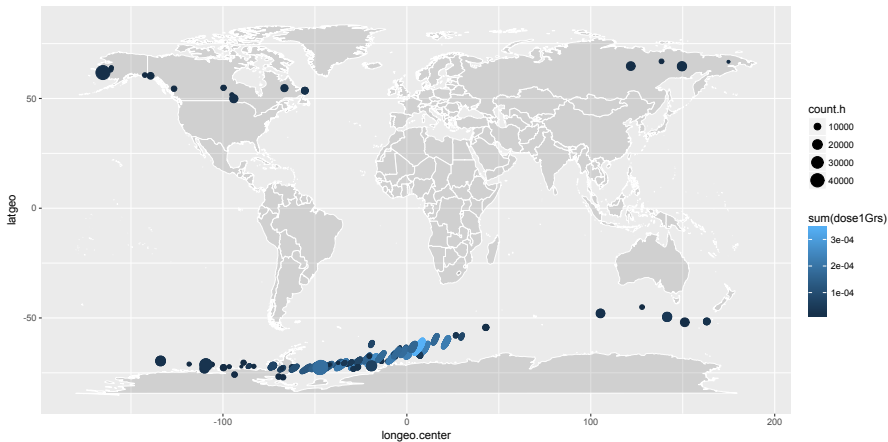


Всплеск



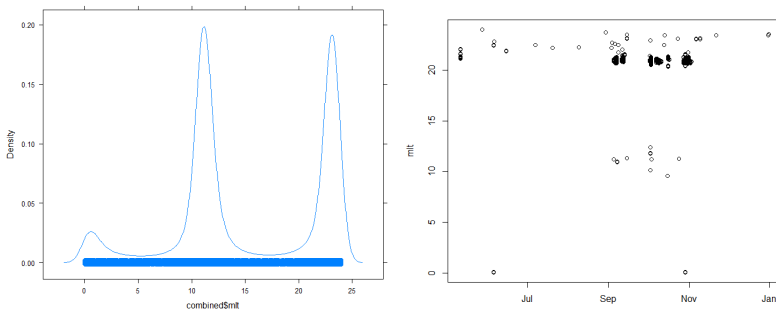
Аномалия

# Географическое распределение всплесков



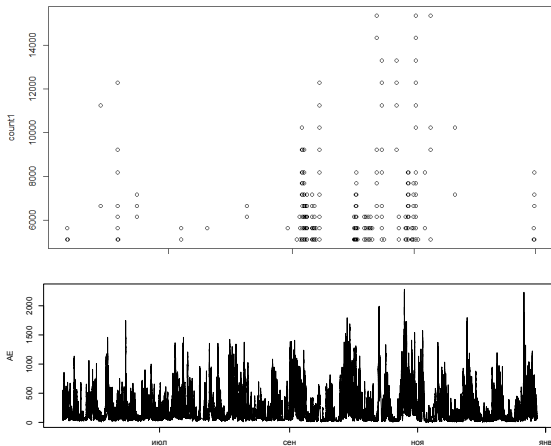
# Распределение всплесков в геомагнитных координатах

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



Слева: Плотность вероятности наблюдения различных значений магнитного локального времени в точках с координатами пролета спутника Ломоносов за период времени в одни сутки для полярных областей.  
Справа: Магнитное локальное время для зарегистрированных за все время всплесков.

# Связь с параметрами солнечной активности



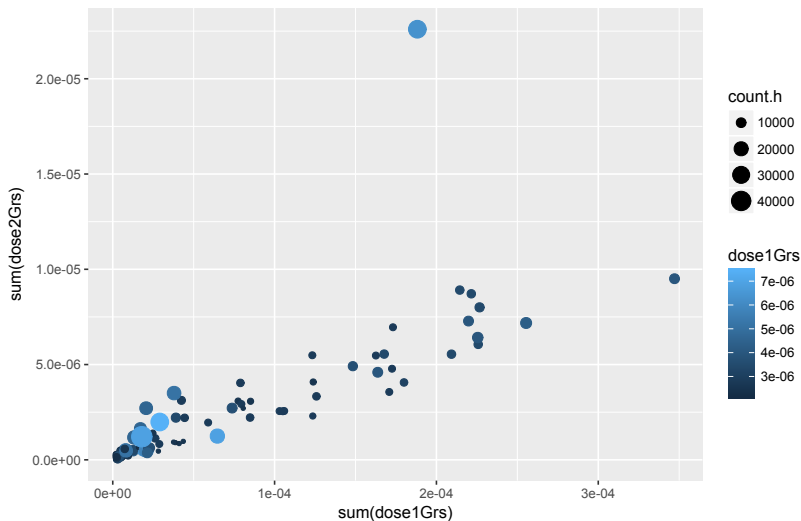
Временное распределение зарегистрированных всплесков. Общее число выделенных всплесков за время работы прибора ДЭПРОН достигает 90.

Второй график показывает вариации индекса AE, при отрицательном  $B_z$ . Данные предоставлены сервисом

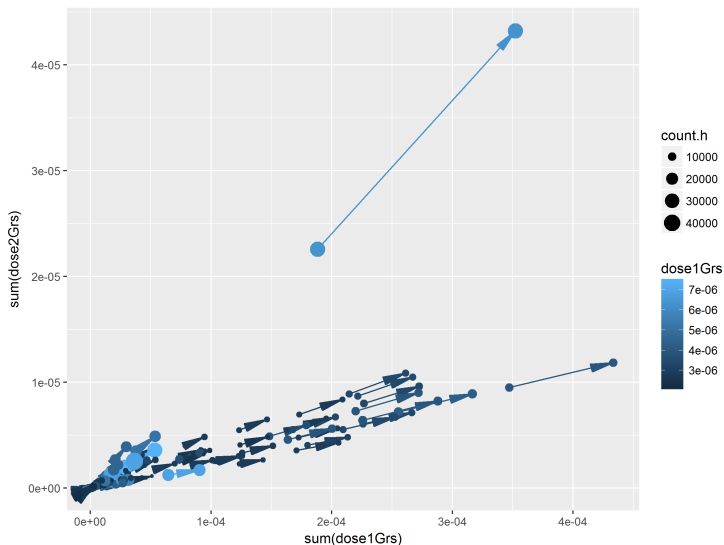
[OMNIweb](http://omniweb.gsfc.nasa.gov/).

SINP MSU

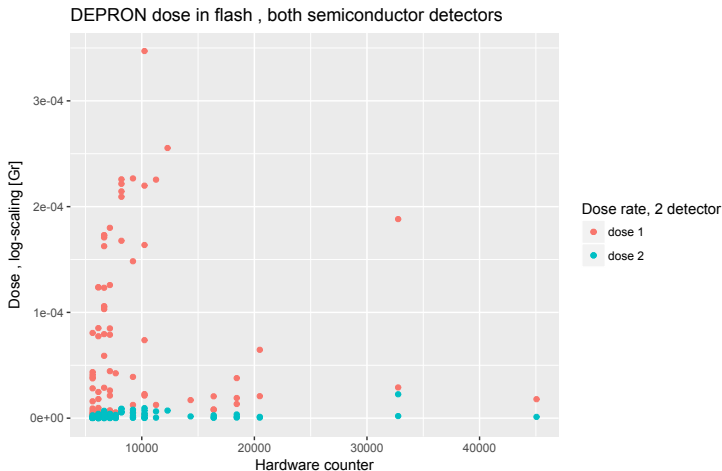
# Дозиметрические характеристики всплесков



# Дозиметрические характеристики всплесков



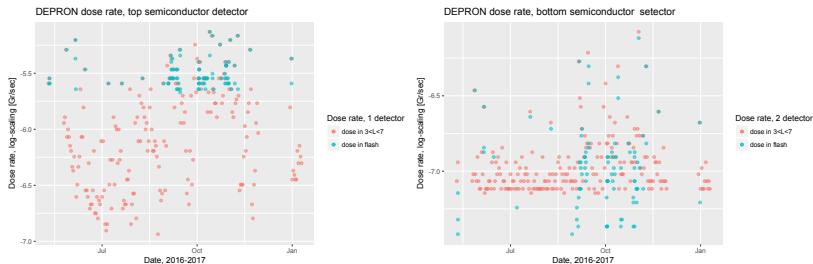
# Дозиметрические характеристики всплесков



# Дозиметрические характеристики всплесков

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

**НУЖНО ПРИВОДИТЬ ОДИН СУТОЧНЫЙ МАКСИМУМ ЗА ВСПЛЕ**



Синие точки представляют максимумы за один всплеск, а красные максимумы за один день. На левом графике синие точки почти всегда накладываются на красные.

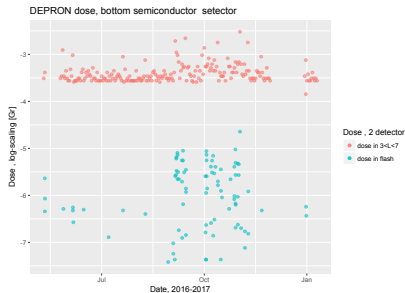
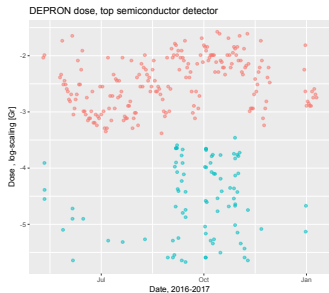
Поэтому можно обозначить «Вершинами айсберга», то как соотносятся максимальные мощности дозы во всплесках и за день. Для второго детектора такой характер наблюдается только для пятой части случаев.



# Дозиметрические характеристики всплесков

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

**НУЖНО ПРИВОДИТЬ СУТОЧНЫЕ ДОЗЫ ЗА ВСПЛЕСК**



Мы можем считать, что короткие всплески вносят существенный вклад в суммарную дозу в обоих детекторах. Этот вклад более значителен в полярных областях и достигает

одного порядка величины для верхнего детектора и половину порядка для нижнего детектора по поглощенной дозе

- ① Максимальные мощности дозы в время всплесков являются максимумами мощности дозы за день в полярной области для верхнего детектора.
- ② Суточные мощности дозы испытывают влияние от