



Лаборатория космических лучей  
предельно высоких энергий НИИЯФ МГУ



# Регистрация свечения аврорального овала в ближнем УФ диапазоне с помощью орбитального детектора ТУС

Климов П.А., Сигаева К.Ф., Калегаев В.В.  
НИИЯФ МГУ

37-я Всероссийская конференция по космическим лучам  
Москва, НИИЯФ МГУ, 2022



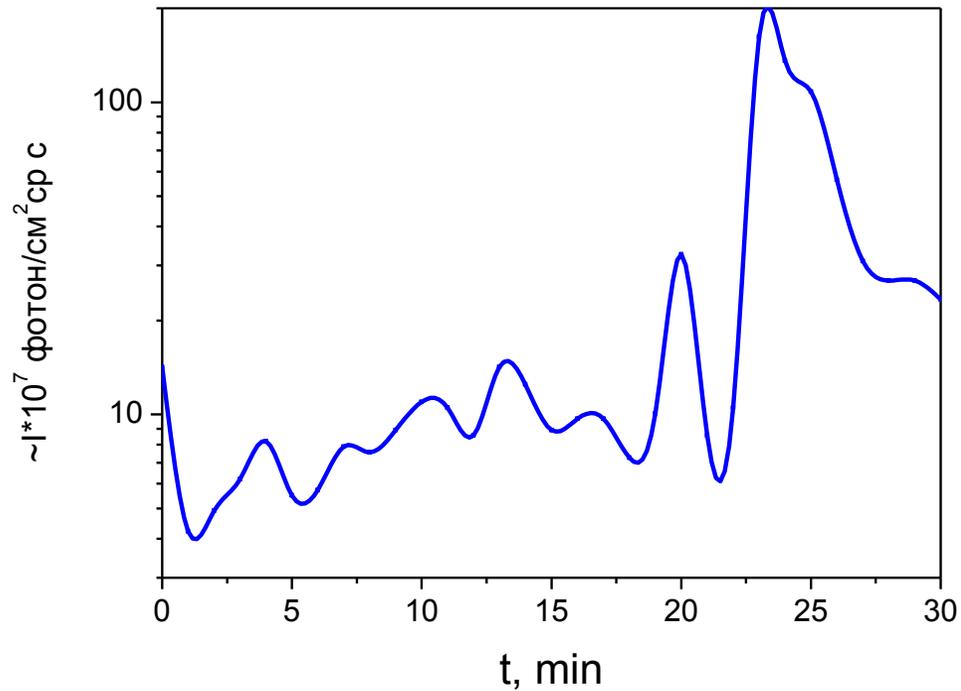
# Детектор КЛ ПВЭ «ТУС»

- ✓ Площадь зеркала  $\sim 2 \text{ м}^2$ . Обеспечивает высокую чувствительность детектора: порог обнаружения УФ излучения атмосферы составляет  $\sim 0,2 \text{ эрг/см}^2\text{с}$ .
- ✓ Фотодетектор - 256 фотоумножителей с электроникой, обеспечивающей регистрацию с временным разрешением 0,8 мкс.
- ✓ Поле зрения пикселя - 10 мрад ( $5 \times 5 \text{ км}$  на земле), общее поле зрения:  $80 \times 80 \text{ км}$ .
- ✓ Спектральный диапазон измерений: 300-400 нм

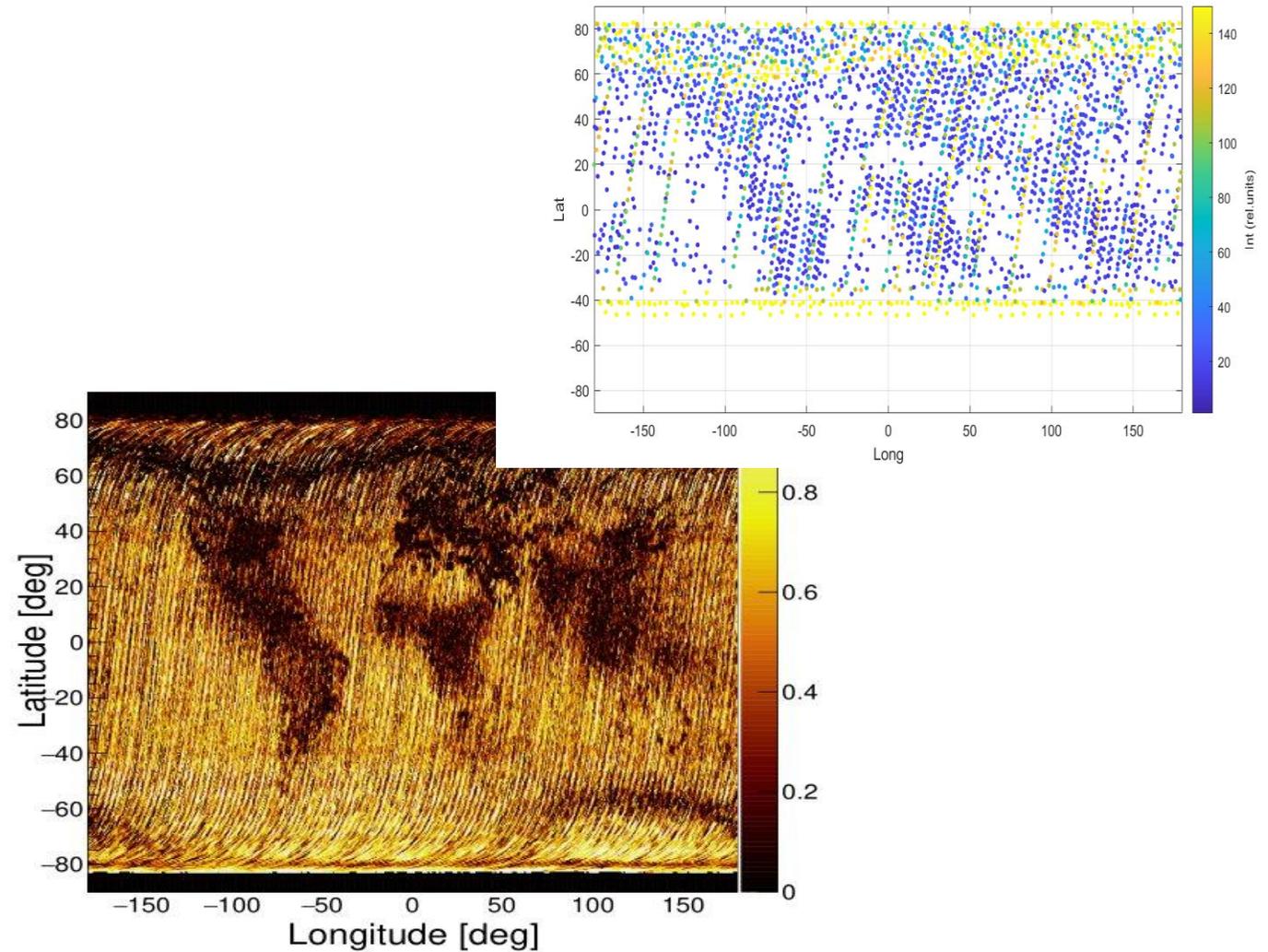


Режим работы	Временное разрешение	Длительность осциллограммы
EAS	$\tau_0 = 0,8 \text{ мкс}$	$\Delta T = 205 \text{ мкс}$
TLE-1	$\tau_1 = 25,6 \text{ мкс}$	$\Delta T = 6,6 \text{ мс}$
TLE-2	$\tau_2 = 0,4 \text{ мс}$	$\Delta T = 105 \text{ мс}$
<b>МЕТЕОР</b>	$\tau_3 = 6,6 \text{ мс}$	$\Delta T = 1,7 \text{ с}$

# Экспозиция «ТУС». Авроральный овал.



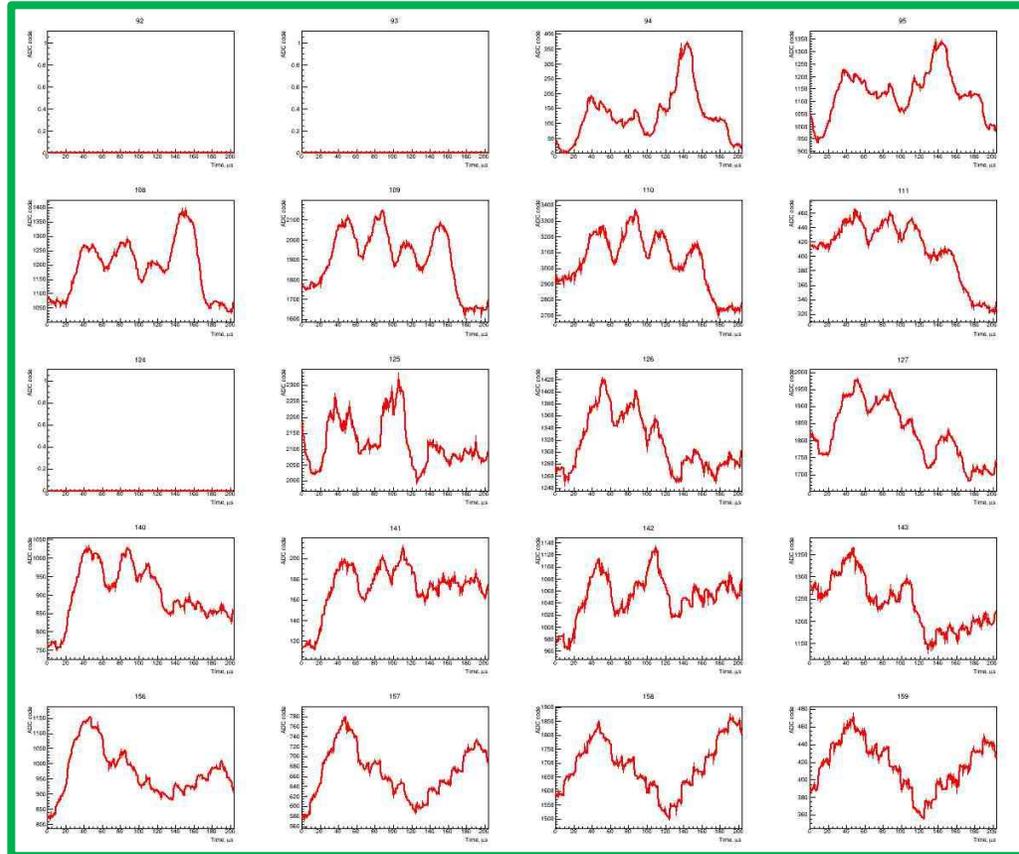
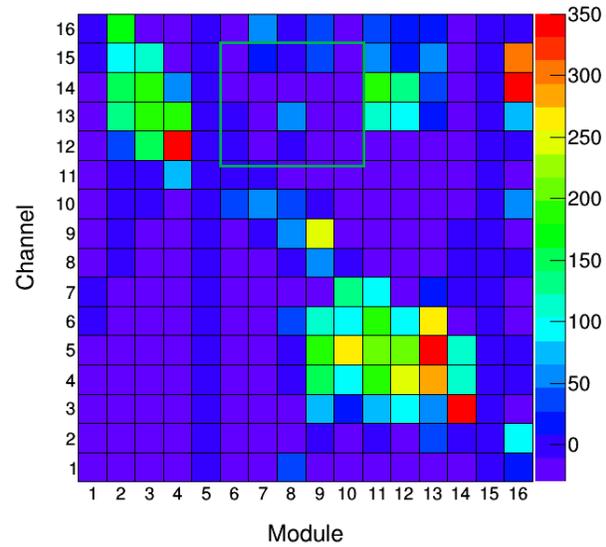
Пример вариации интенсивности УФ свечения вдоль траектории полета спутника



Доля активного времени в зависимости от географического положения триггеров над Землей.

# Пример события с пульсациями

EAS-20171110\_133118\_tick: 000



**Event**

**Date:** 10.11.2017,

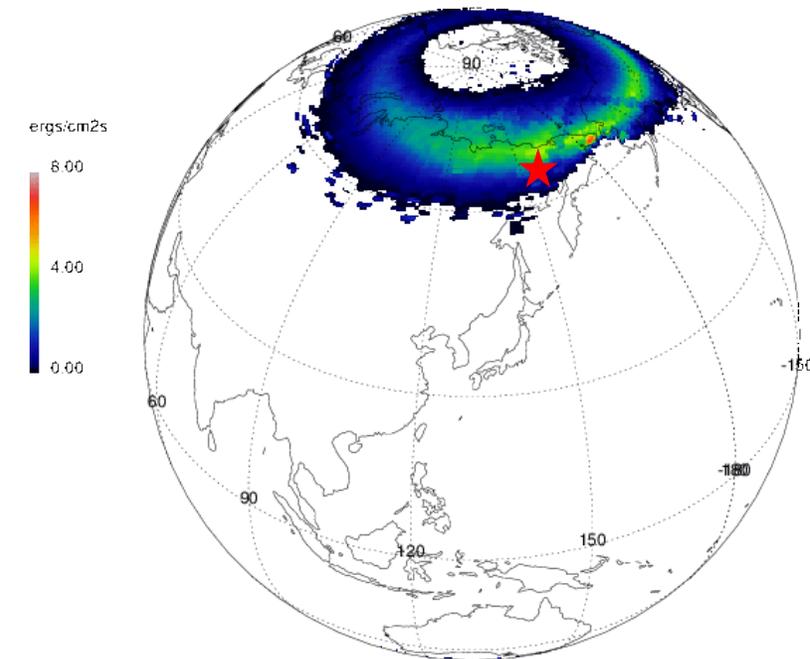
**Time:** 13-31,

**L=4.8**

**Lat:** 67.13

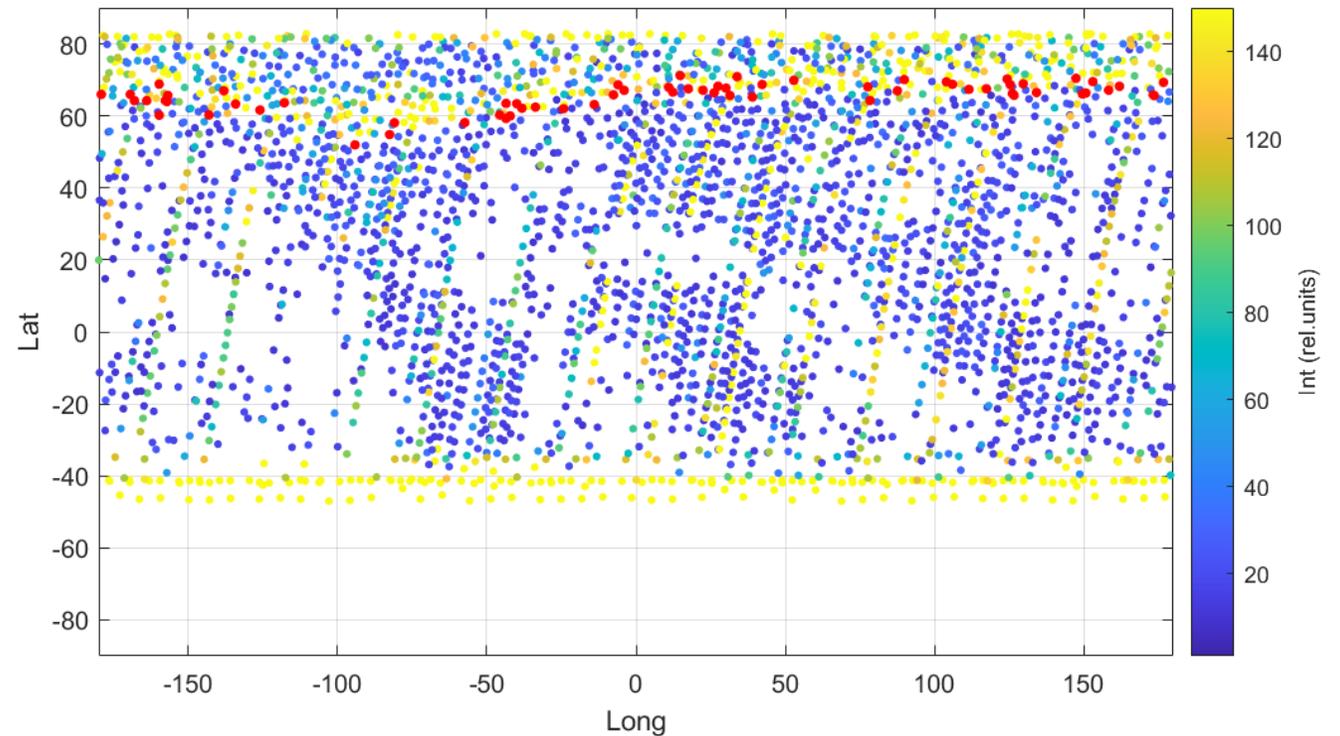
**Long:** 158.34

all,e+i 2017/11/10 13:25:00 33.7 GW  
ISS



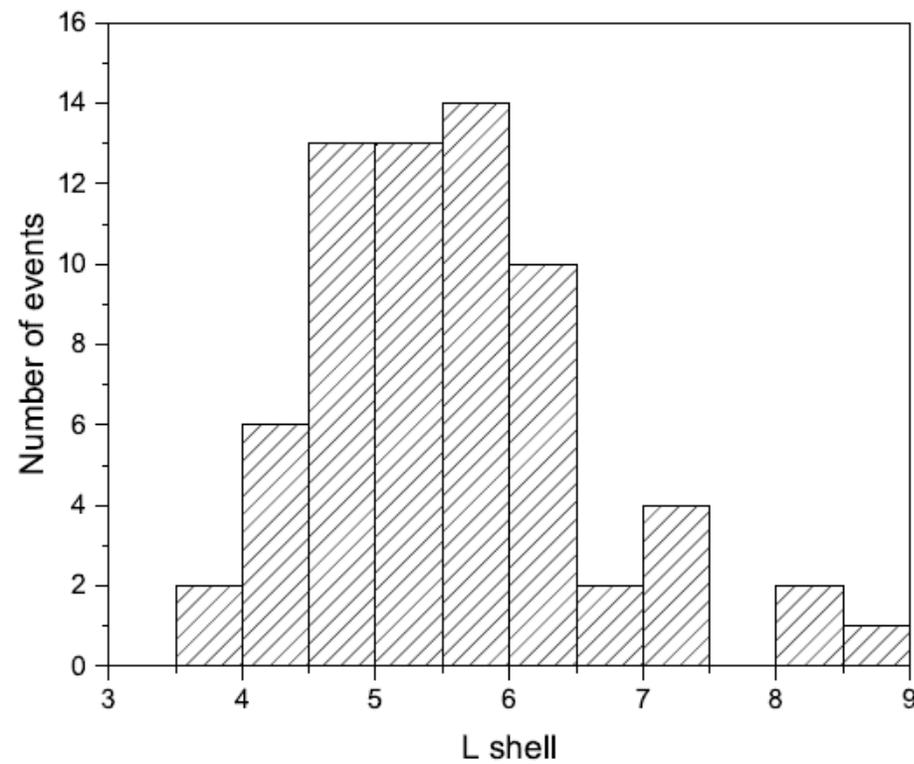
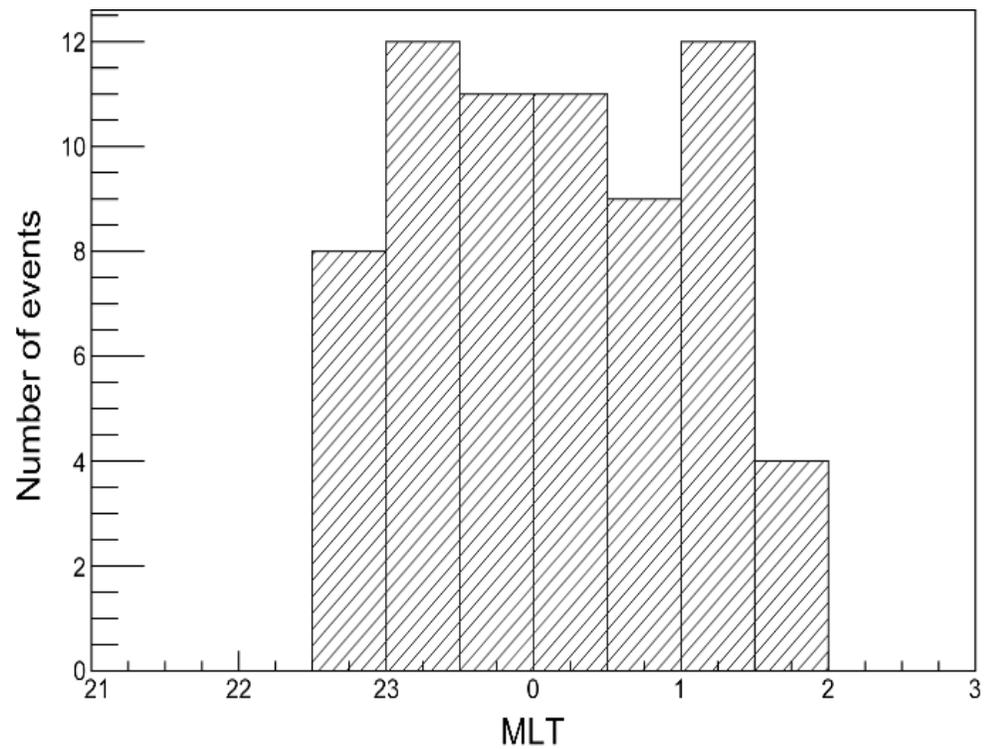
# Географическое расположение событий

	Дата	Число событий	События с пульсациями
1	26.12.2016-10.01.2017	3501	32
2	28.02.2017-21.03.2017	4368	2
3	08.11.2017-15.11.2017	2225	32

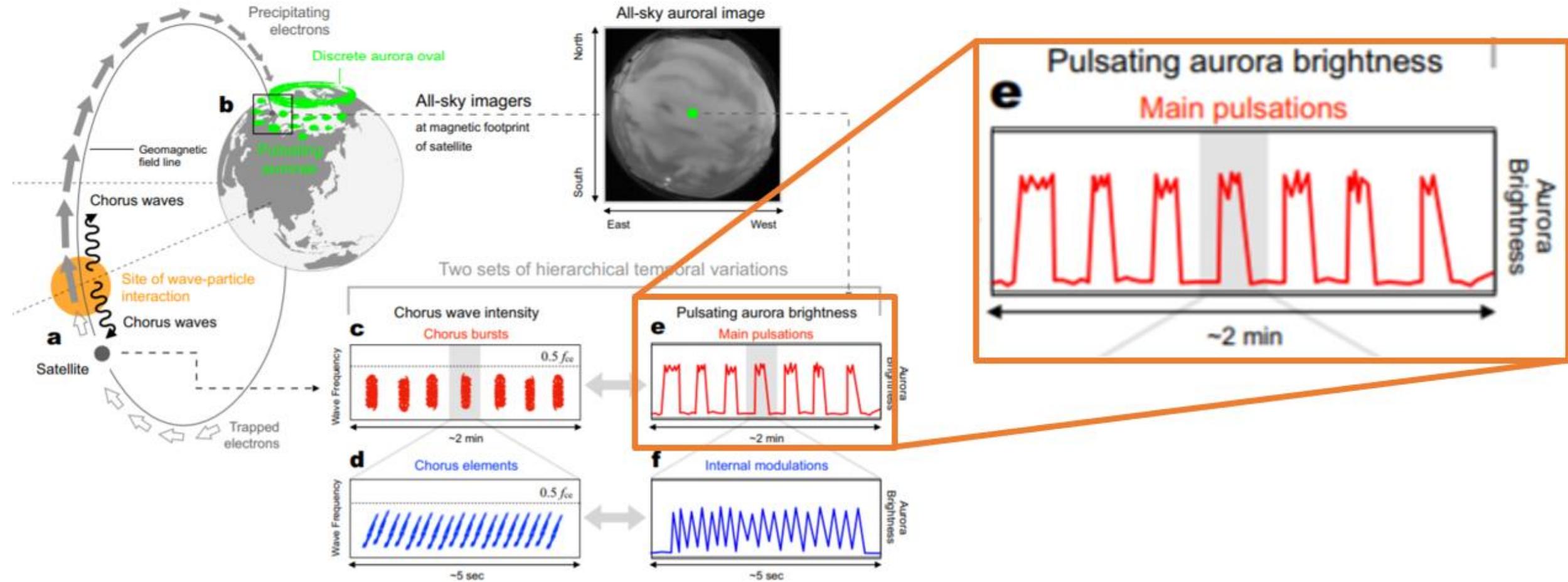


- ✓ Пульсации расположены в северном полушарии вдоль аврорального овала (52 - 71 с.ш.) и равномерно распределены по долготе.
- ✓ Регистрируются как над сушей, так и над океаном, что указывает на то, что источники событий не являются антропогенными.

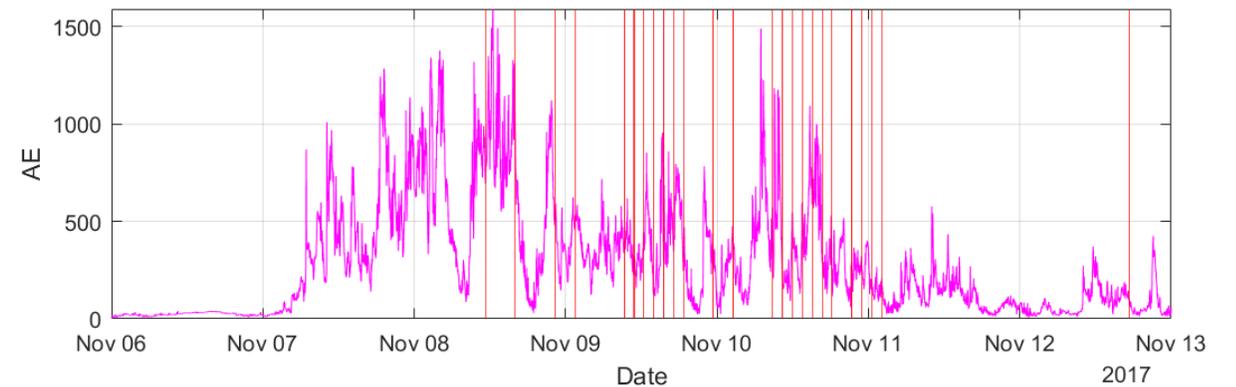
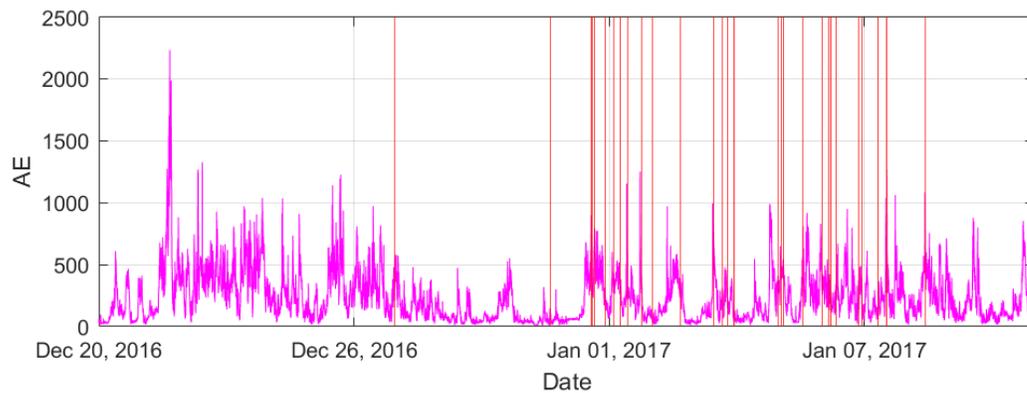
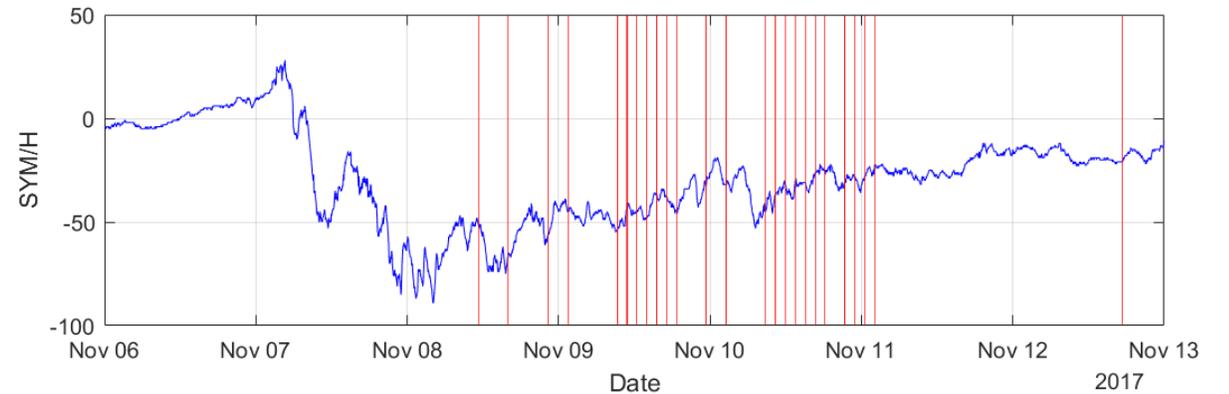
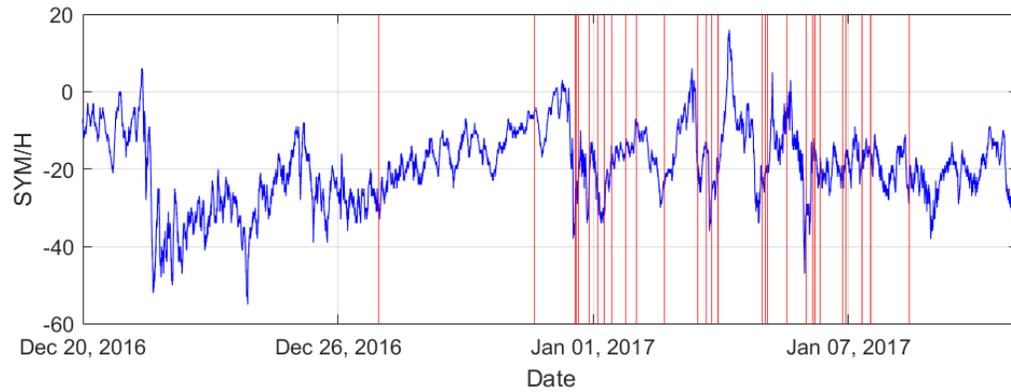
# Распределение событий по L и MLT



# Пульсирующие полярные сияния



# Анализ геомагнитной обстановки

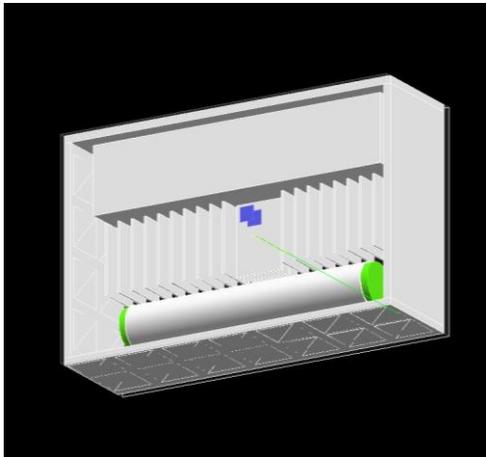


NUV pulsations are measured during so called **High-Intensity Long-Duration Continuous AE Activity (HILDCAA)**.

HILDCAA [Tsurutani, B.T., Gonzalez, W.D., 1987]: intervals of intense auroral activity characterized by peak AE intensities greater than 1000 nT and a minimum of two days duration where AE values do not drop below 200 nT for more than 2 hr at a time and occur outside the main phases of geomagnetic storms.

# Детекторы заряженных частиц на спутниках Ломоносов и МЕТЕОР-М2

ДЭПРОН



V. Benghin, Space Sci Rev (2018) 214:9

$D_1$  0,45 g/cm<sup>2</sup>  
 $E_{e^-}$  > 0,8 МэВ  
 $E_p$  > 20 МэВ

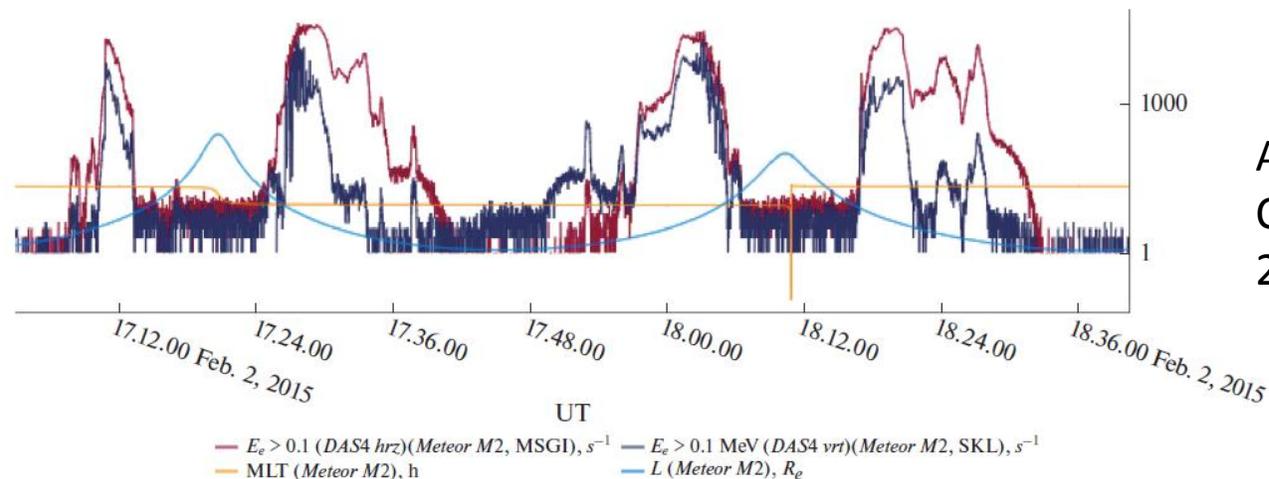
$D_2$  0,81 g/cm<sup>2</sup>  
 $E_{e^-}$  > 1,5 МэВ  
 $E_p$  > 25 МэВ

МЕТЕОР М2

Спутник на круговой солнечно-синхронной орбите высотой 825 км и наклоном 98,8°. Орбита спутника расположена в предполуденном–предполудном секторе местного времени.

В высоких широтах вертикальный детектор направлен примерно вдоль магнитного поля; в приэкваториальных широтах – ортогонально полю.

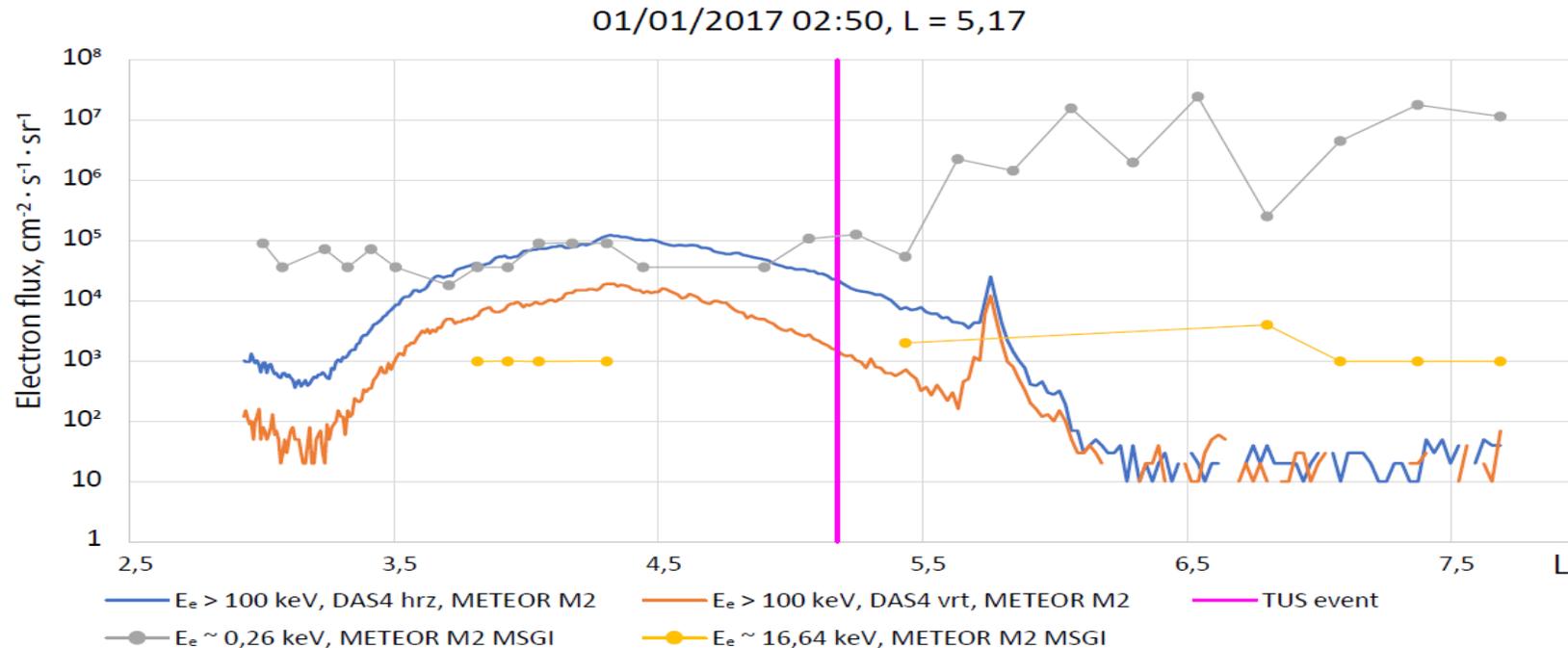
В высоких широтах горизонтальный детектор регистрирует в основном захваченные частицы, а вертикальный — высыпающиеся.



A. D. Kugusheva,  
 Cosmic Research,  
 2021, Vol. 59, No. 6

# Сравнение с данными МЕТЕОР М2

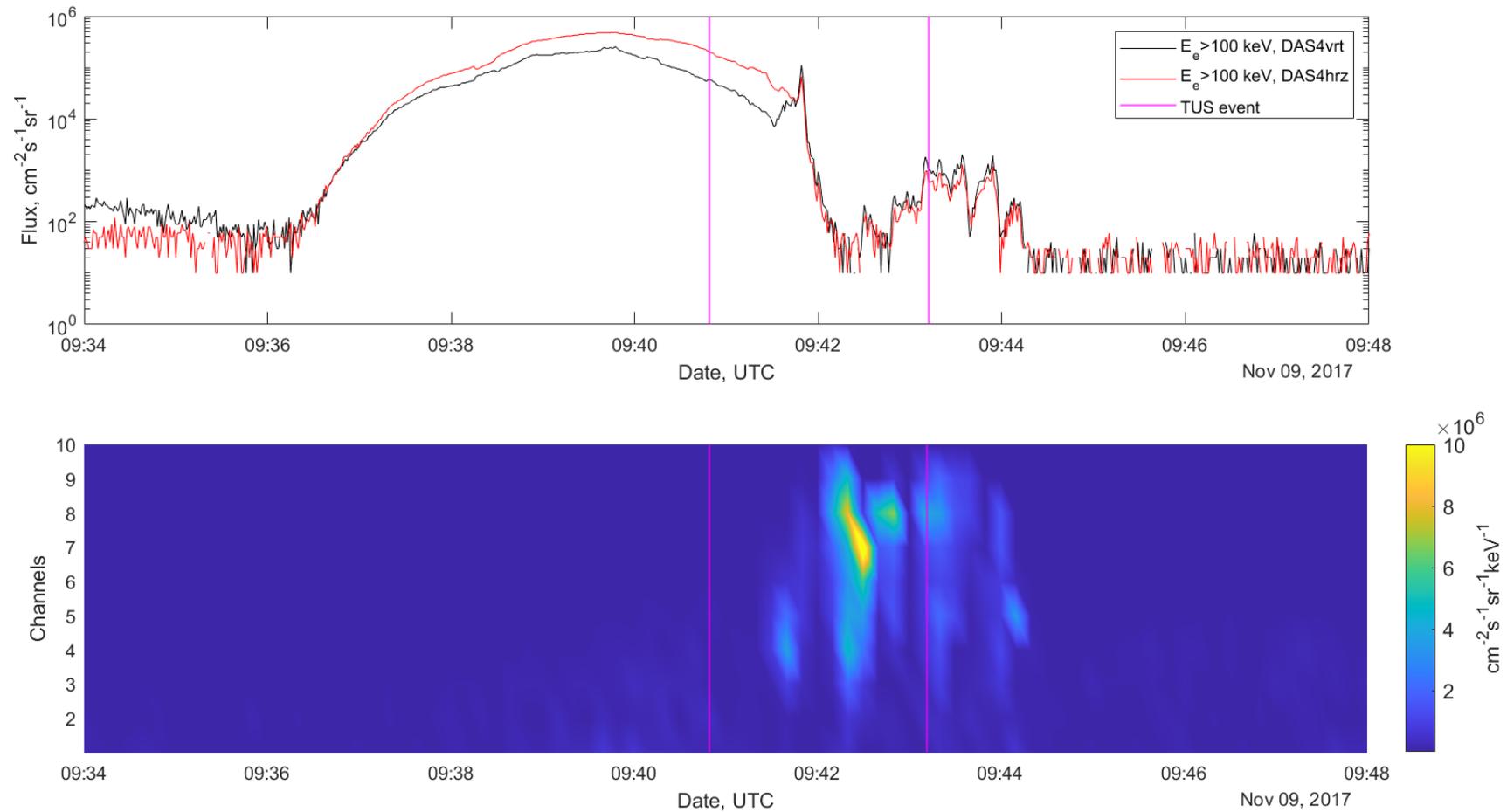
## Пример 1



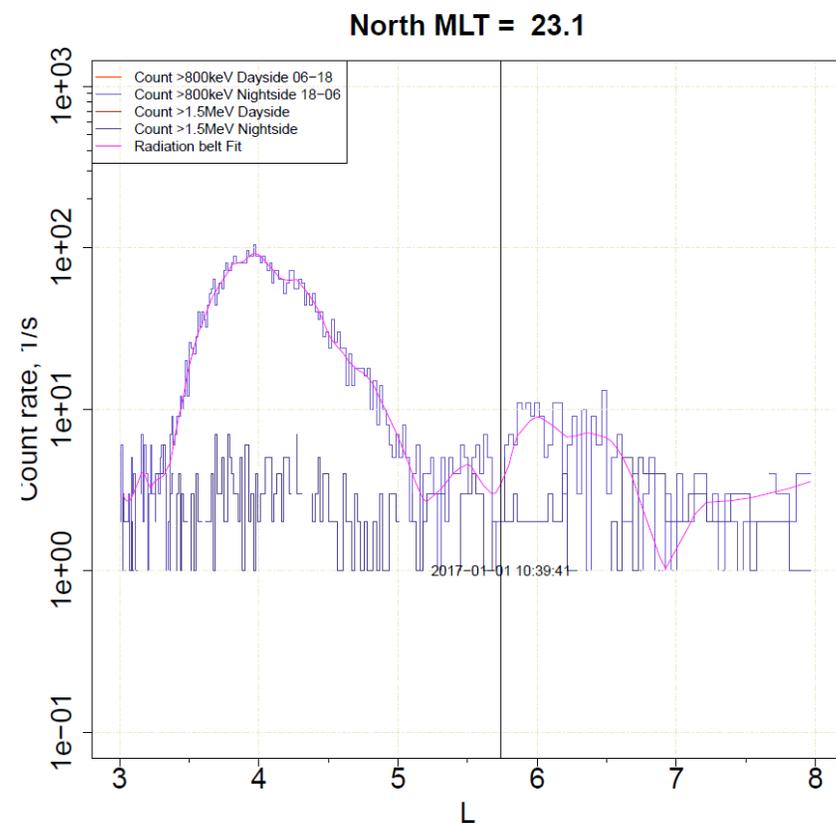
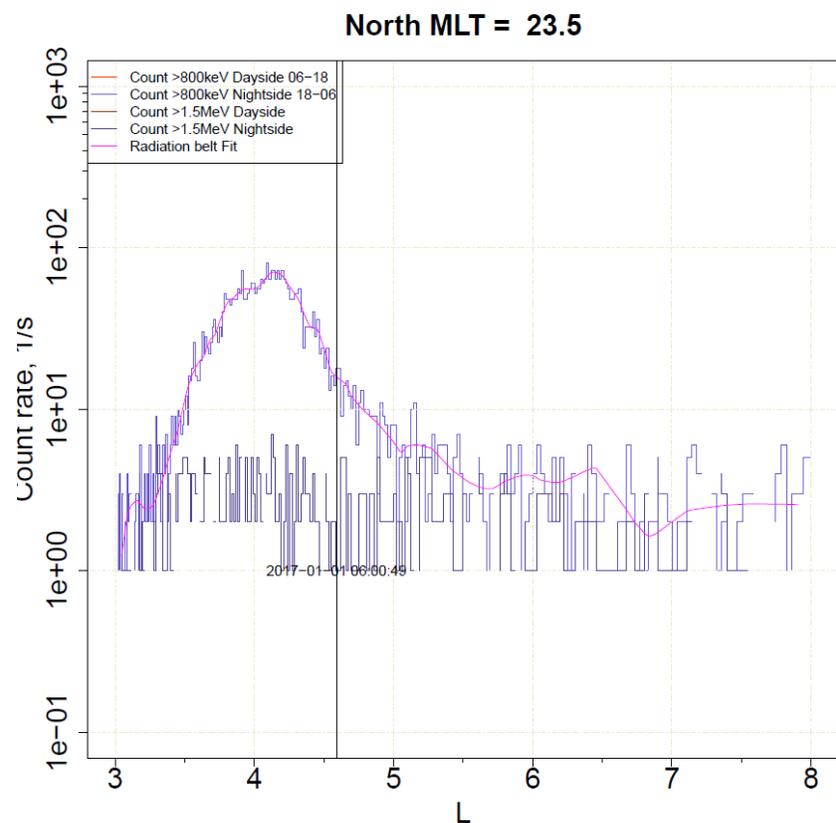
- ✓ Была выбрана орбита МЕТЕОР М2 с близкими UTC, MLT и пересечением одной оболочки L.
- ✓ Событие ТУС наблюдается вблизи максимума внешнего РПЗ (потока электронов с энергией 100 кэВ).
- ✓ Наблюдается изотропизация потока электронов, а также высокоэнергетический хвост на  $L \sim 6$ . Что указывает на интенсивное высыпание электронов.

# Сравнение с данными МЕТЕОР M2

## Пример 2

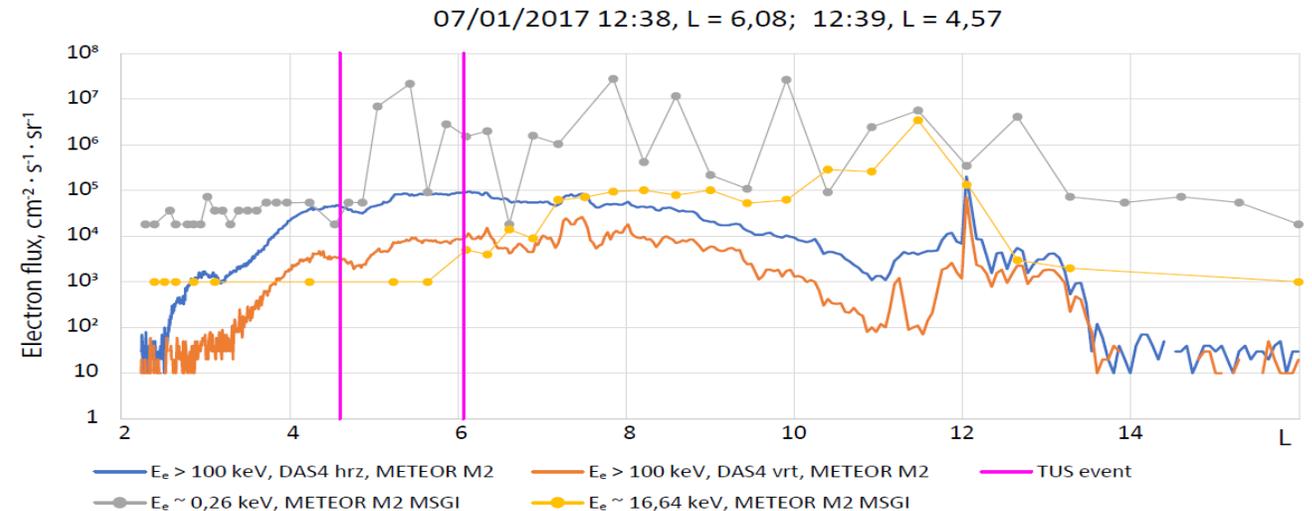
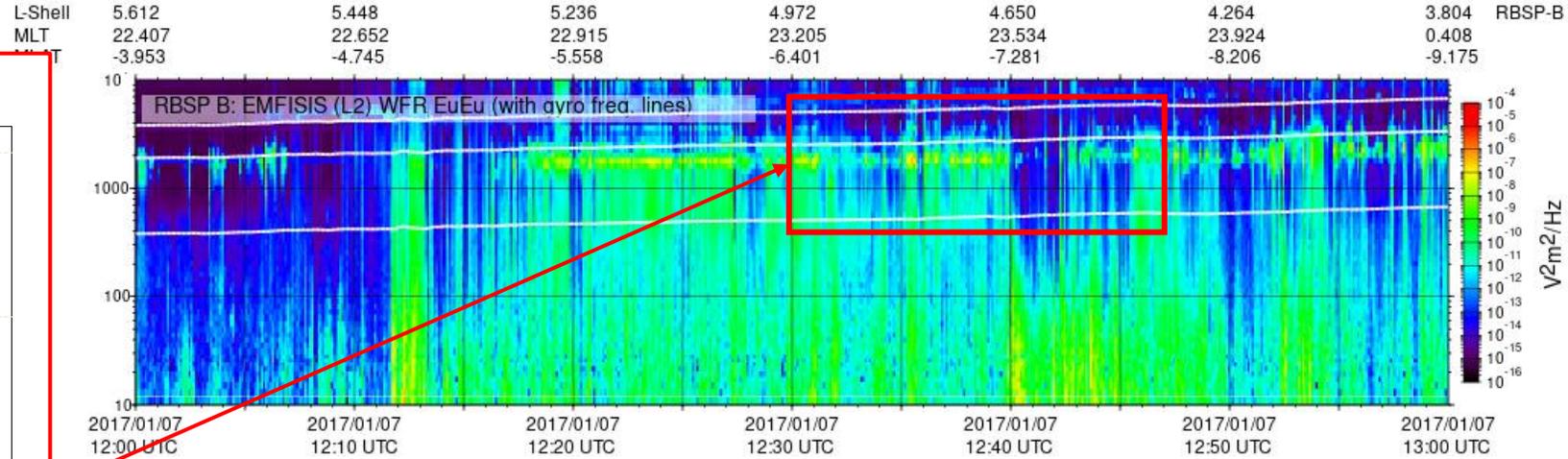
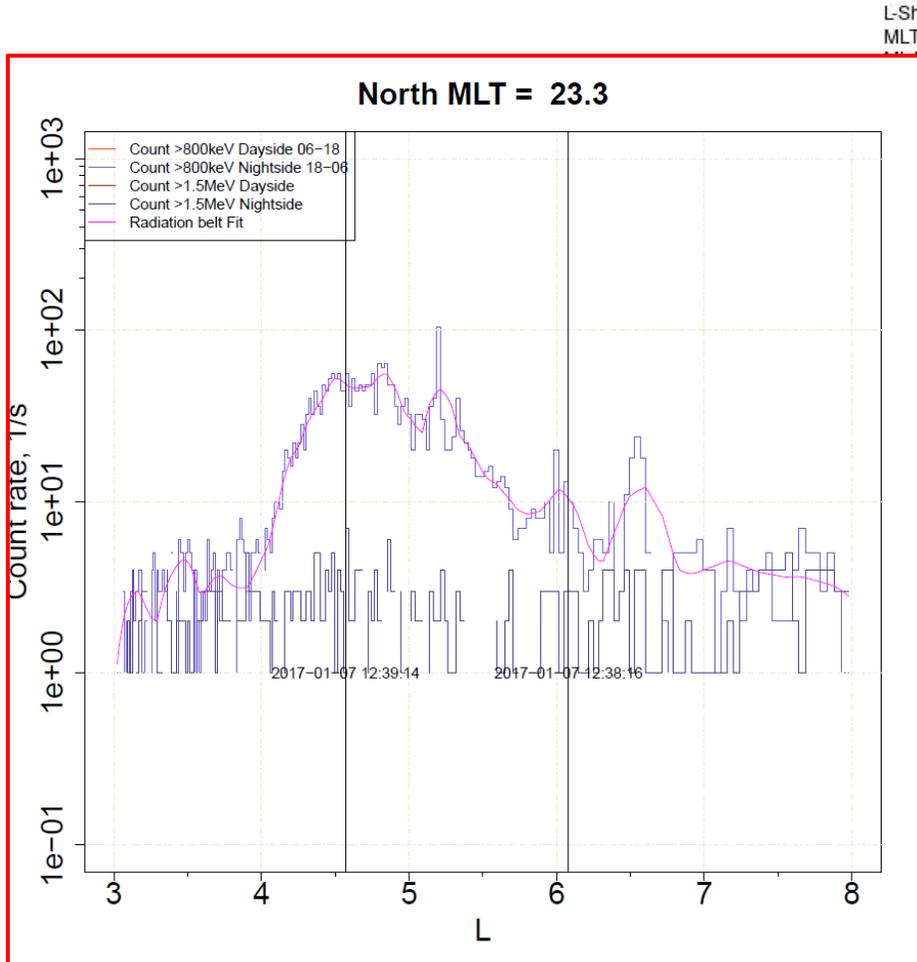


# Сравнение с данным ДЭПРОН

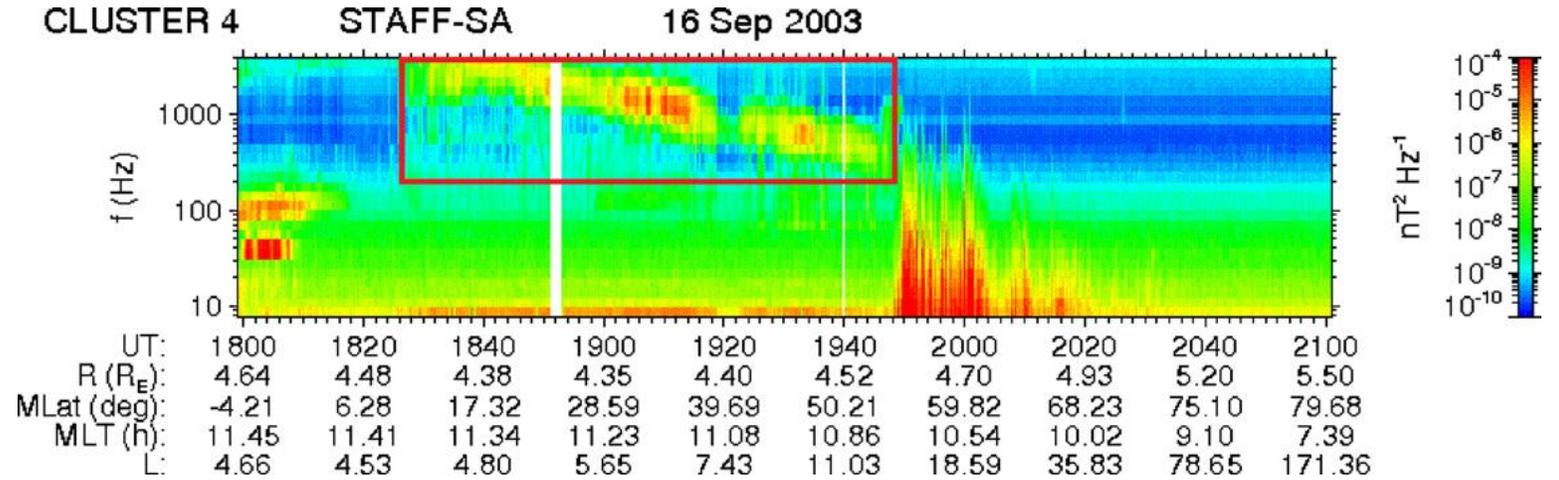
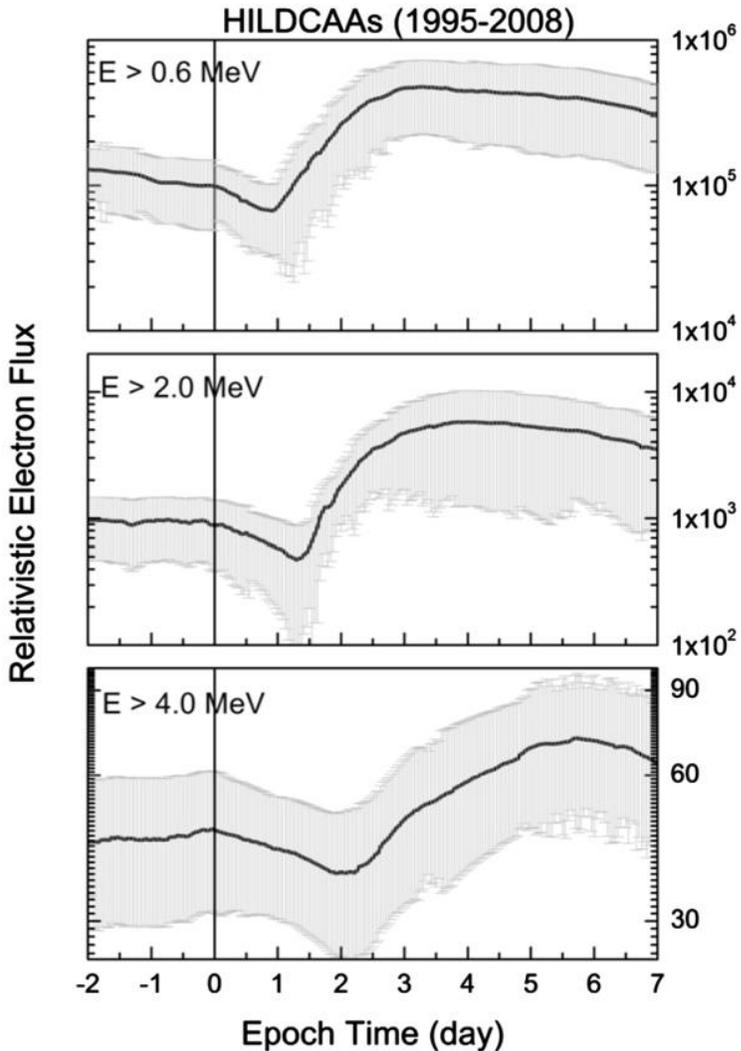


- ✓ Преимущество детектора DEPRON – одновременные измерения на одном спутнике. Но у него значительно более высокий порог (~800 кэВ).
- ✓ Те же особенности видны и в этом сравнении: событие ТУС наблюдается вблизи максимума внешнего РПЗ или в области высокоэнергетического хвоста на  $L \sim 6$ .

# События 07.01.2017 +RBSP data



# Discussion (I)



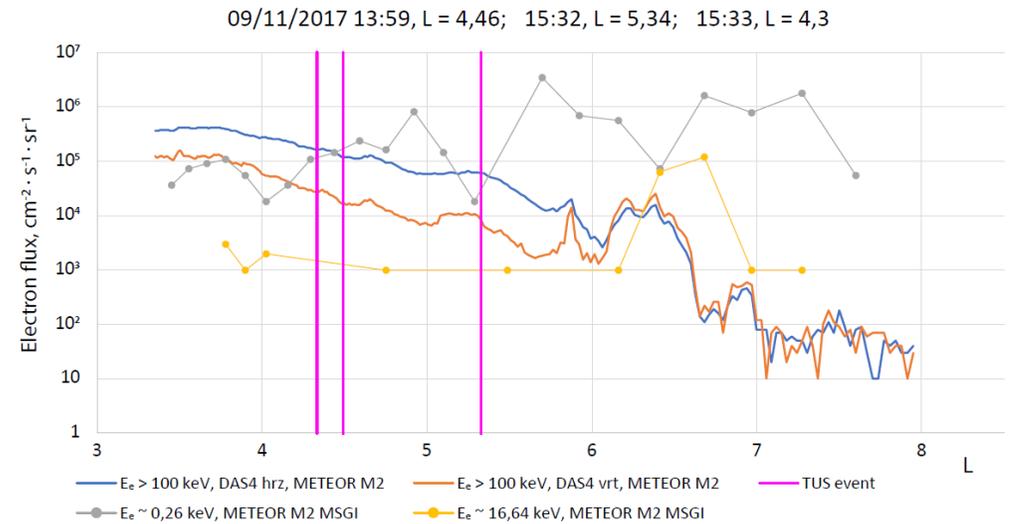
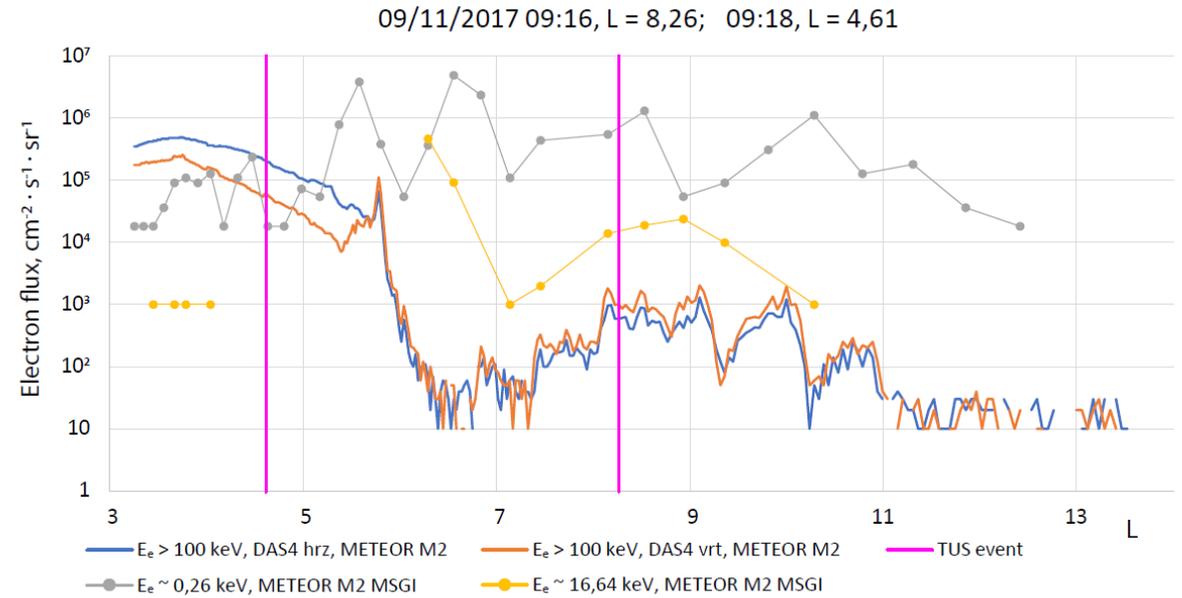
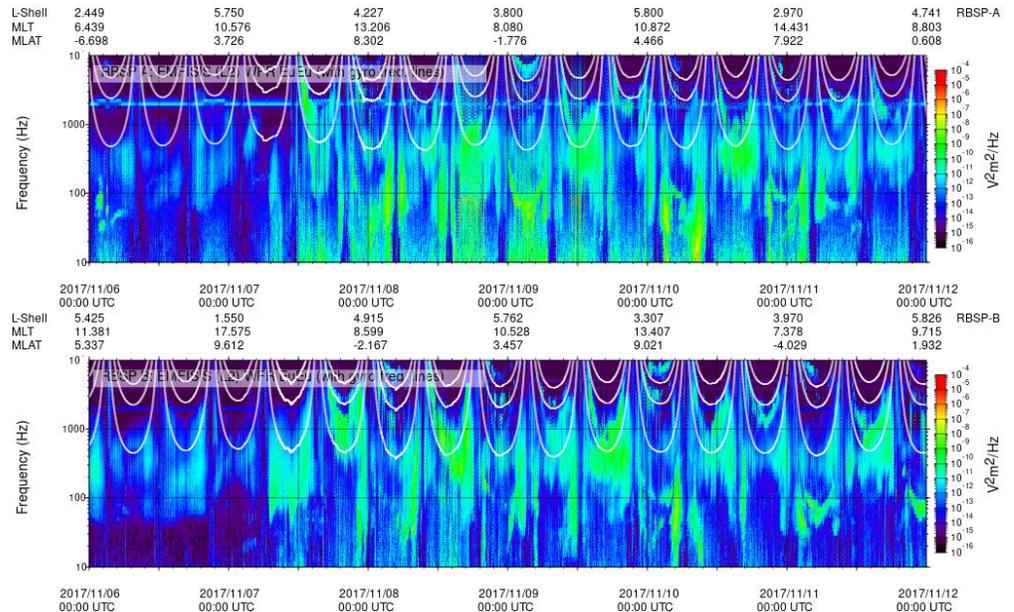
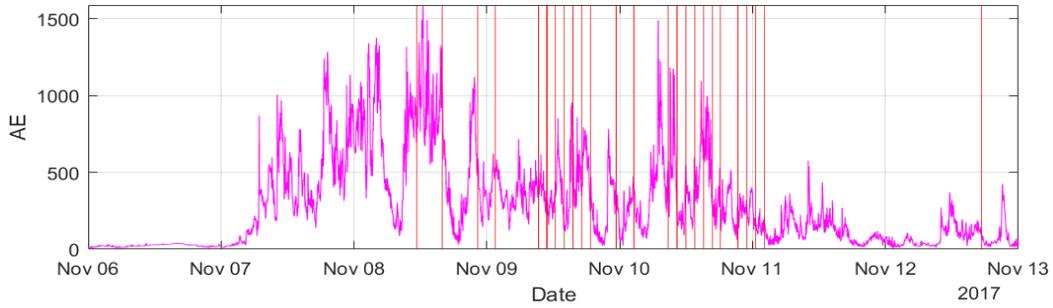
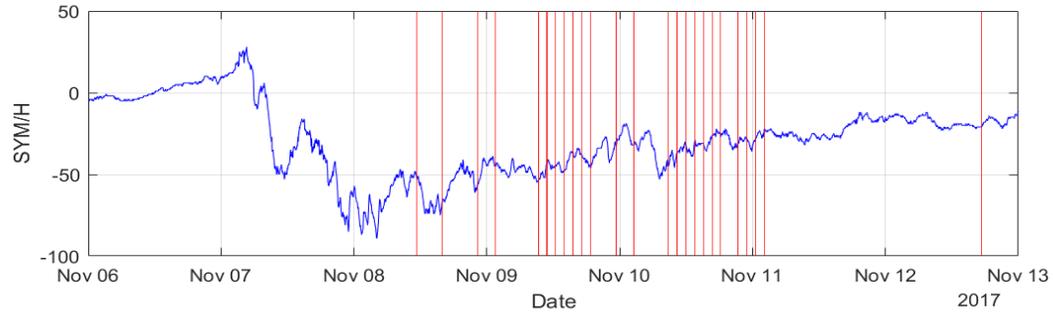
There is a strong relationship between relativistic electrons and HILDCAAs. Cluster-4 data is available for 16 HILDCAA events. Chorus was detected 100% of the time that Cluster-4 was in a proper location. HILDCAAs may therefore be a good proxy for continuous chorus generation in the  $00 < \text{MLT} < 12$  sector.

The HILDCAA intervals are well correlated with an enhancement of magnetospheric relativistic ( $E > 2 \text{ MeV}$ ) electron fluxes observed at geosynchronous orbit with a delay of  $\sim 1.5$  days from the onset of the HILDCAAs.

Vertical line corresponds to the initiation of HILDCAAs.

R. Hajra et al., ApJ, 2015, R. Hajra et al., GRL, 2014

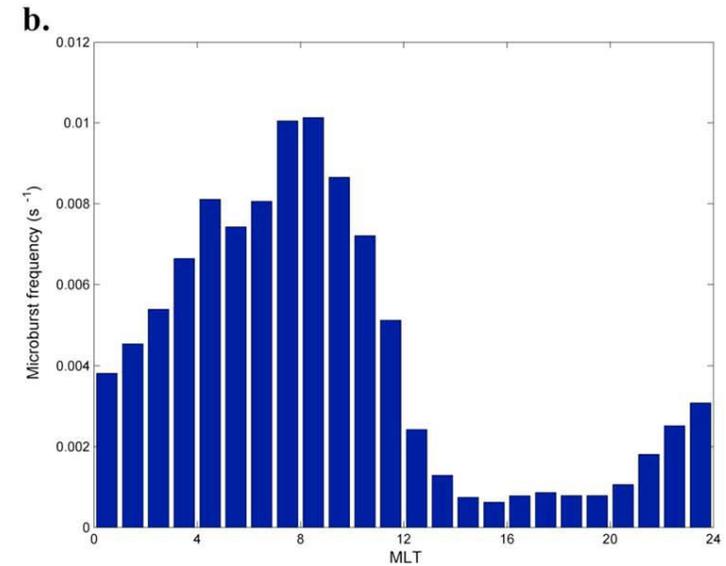
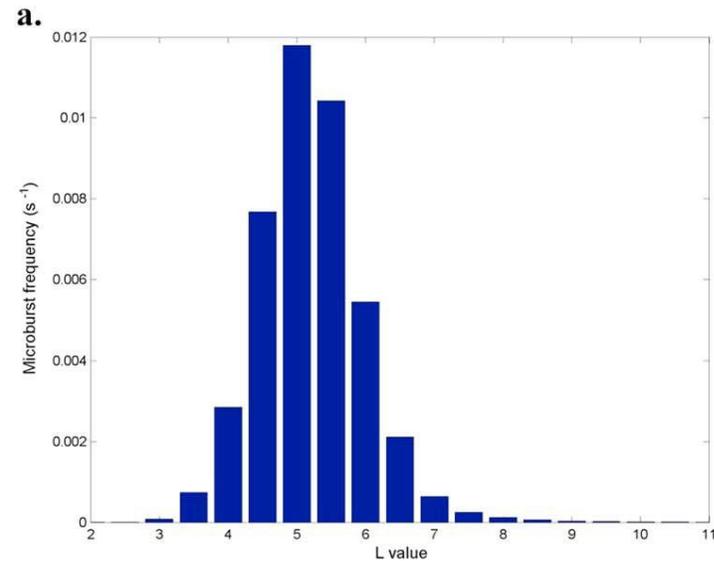
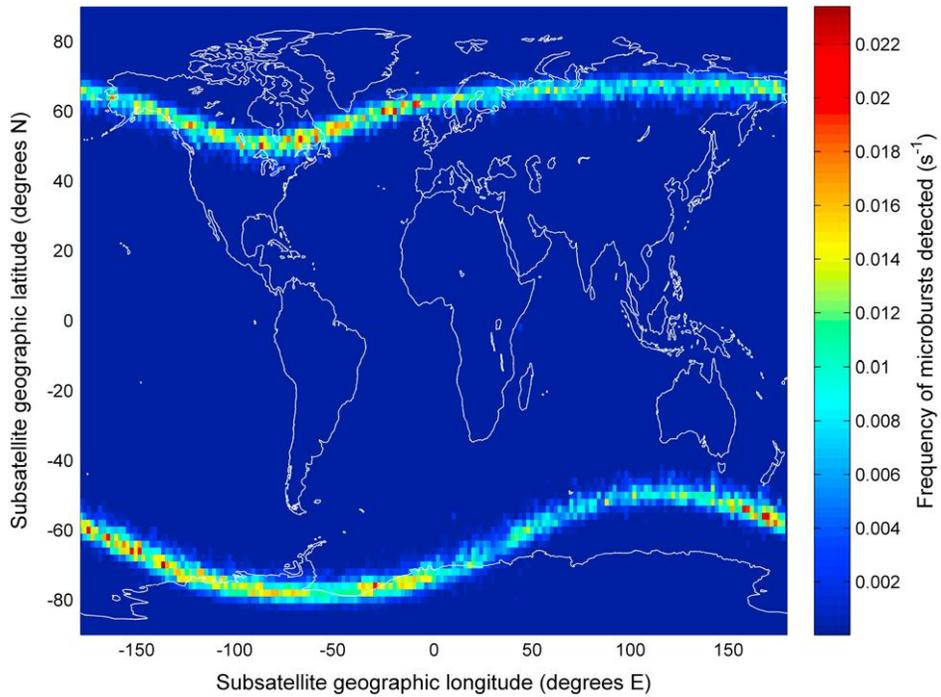
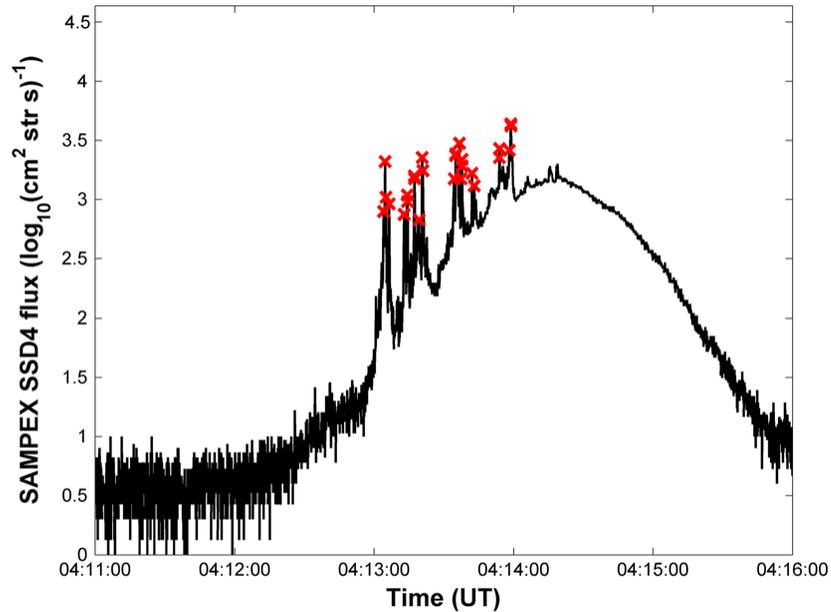
# Discussion (II)



# Discussion (III)

## SAMPEX Relativistic microbursts

Douma, E., C. J. Rodger, L. W. Blum, and M. A. Clilverd (2017), Occurrence characteristics of relativistic electron microbursts from SAMPEX observations, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 122, 8096–8107, doi:10.1002/2017JA024067.



# Заключение

- ✓ В ходе двух серий измерений детектором ТУС на борту спутника "Ломоносов" в декабре 2016 г. - январе 2017 г. и ноябре 2017 г. было зарегистрировано 64 события с пульсациями свечения ближнего УФ диапазона в субавроральной области.
- ✓ События зарегистрированы на  $L \sim 4-6$  и MLT 23 - 02.
- ✓ Оба периода были связаны с фазой восстановления умеренных магнитных бурь. Продолжительная авроральная активность в эти периоды позволяет рассматривать их как события типа HILDCAA (высокоинтенсивная, длительная, непрерывная AE-активность).
- ✓ Измерение потоков заряженных частиц, проведенное двумя ортогональными детекторами на борту спутника МЕТЕОР-М2 и детектором ДЭПРОН на спутнике Ломоносов, показали интенсивные высыпания электронов с энергиями 100-700 кэВ во время регистрации пульсаций.