



Лаборатория космических лучей
предельно высоких энергий НИИЯФ МГУ



Транзиентные световые явления в атмосфере Земли. Результаты спутниковых наблюдений

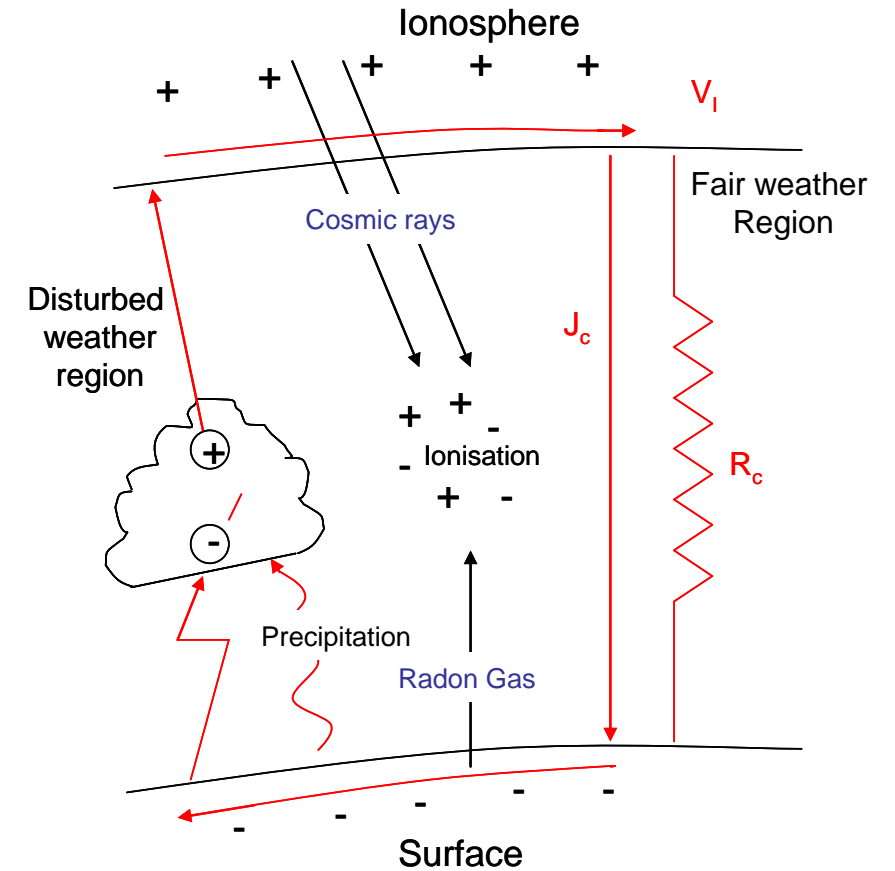
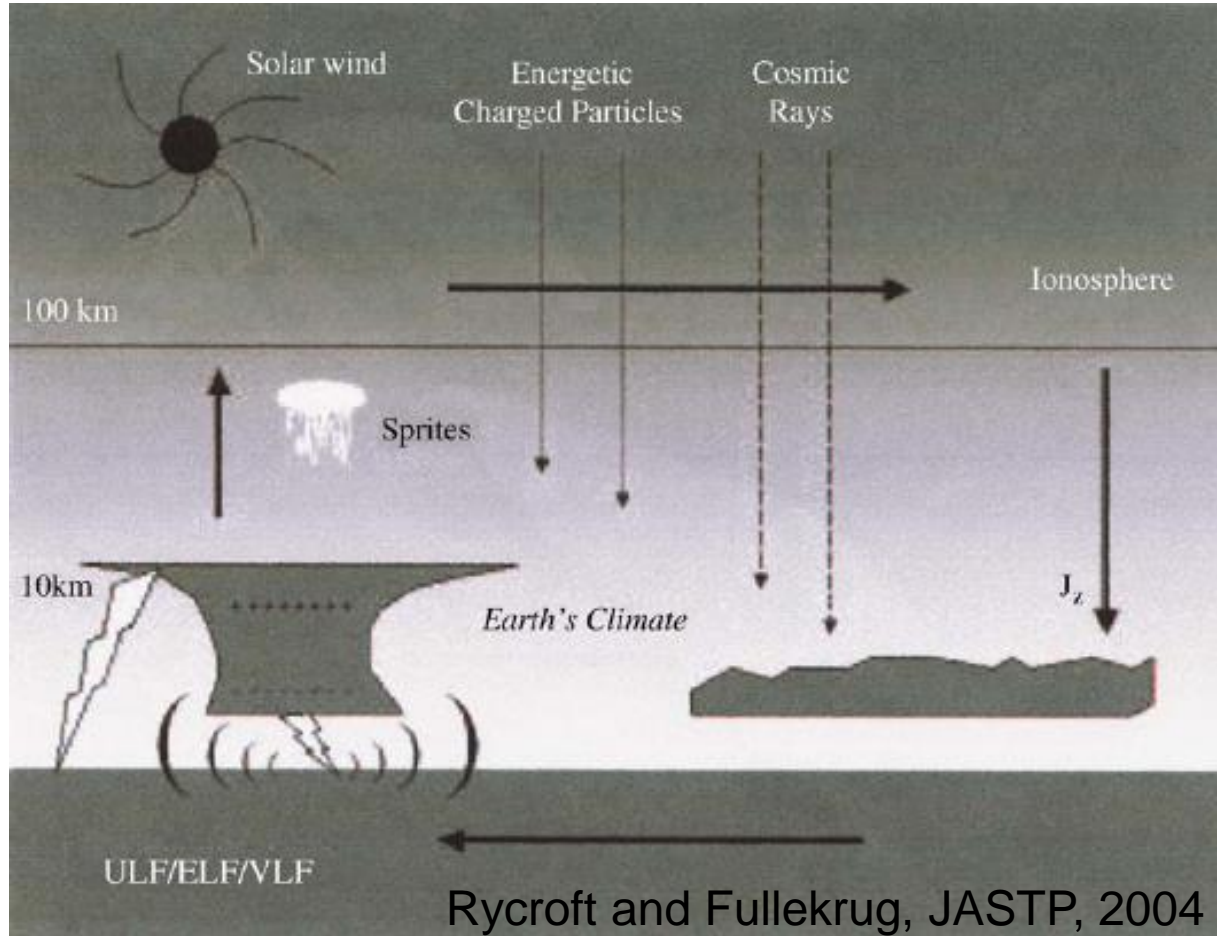
К.Ф.-М.Н. ЗАВ. ЛАБОРАТОРИЕЙ НИИЯФ МГУ

КЛИМОВ П.А.

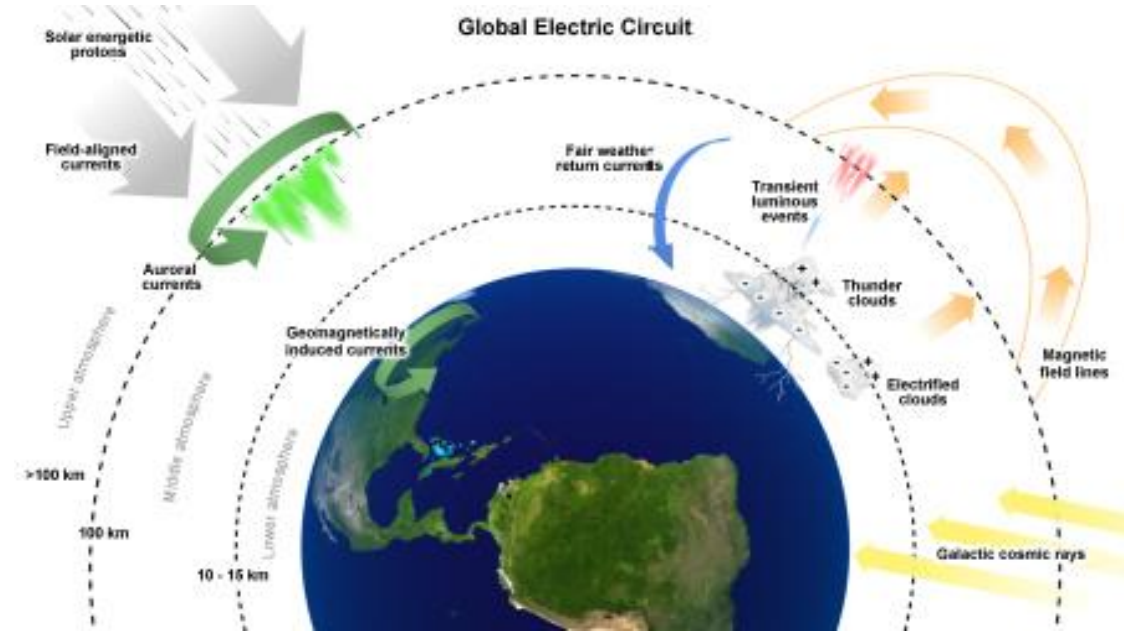
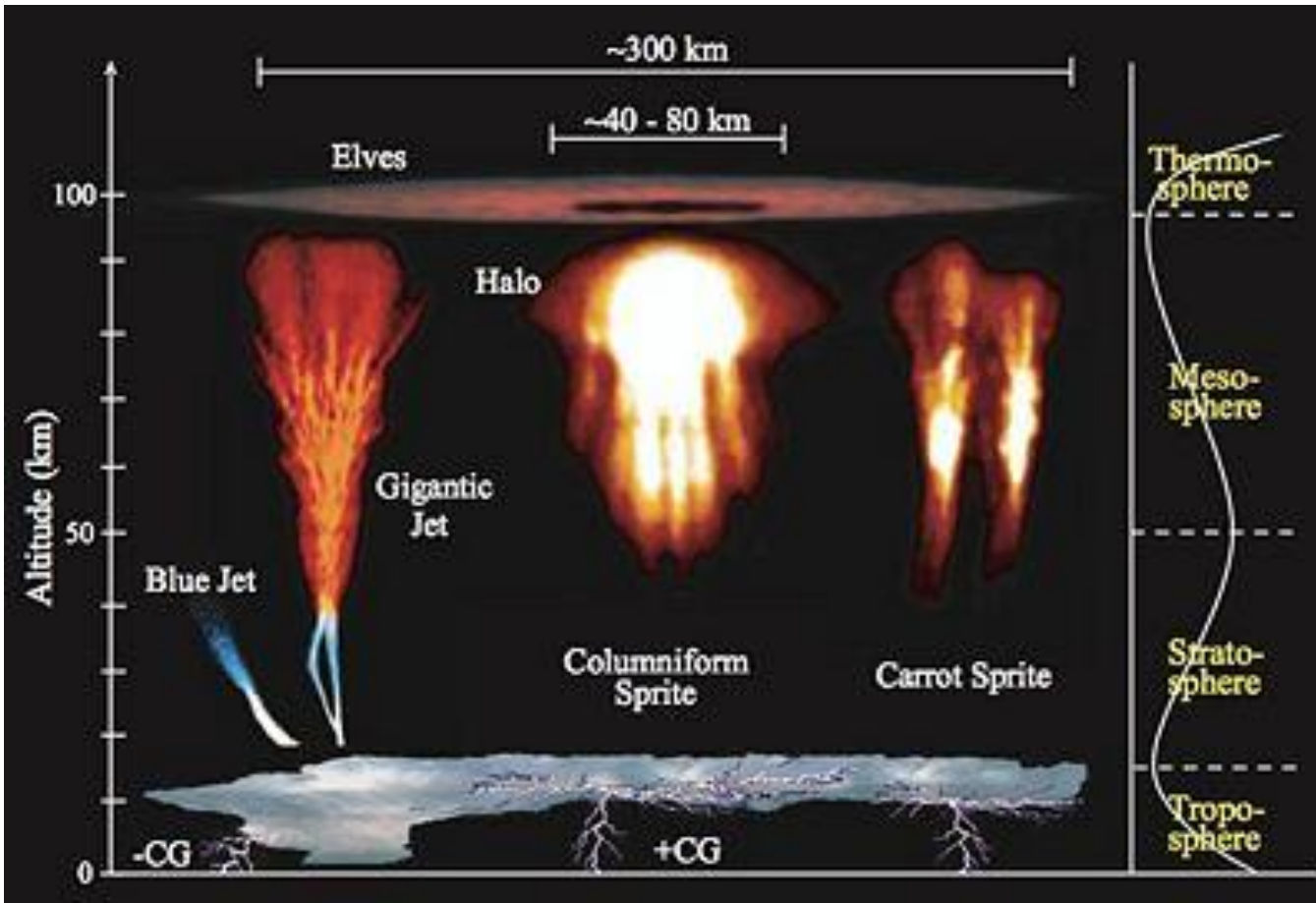
План

1. Транзиентные атмосферные явления
2. Спутниковые миссии по изучению транзиентного излучения атмосферы Земли
 1. ISUAL
 2. JEM-GLIMS
 3. Серия экспериментов МГУ: «Татьяна», Татьяна-2», «Вернов», «Ломоносов».
3. Некоторые результаты спутниковых экспериментов
4. Новые проекты

“Air and Space are one continuity”

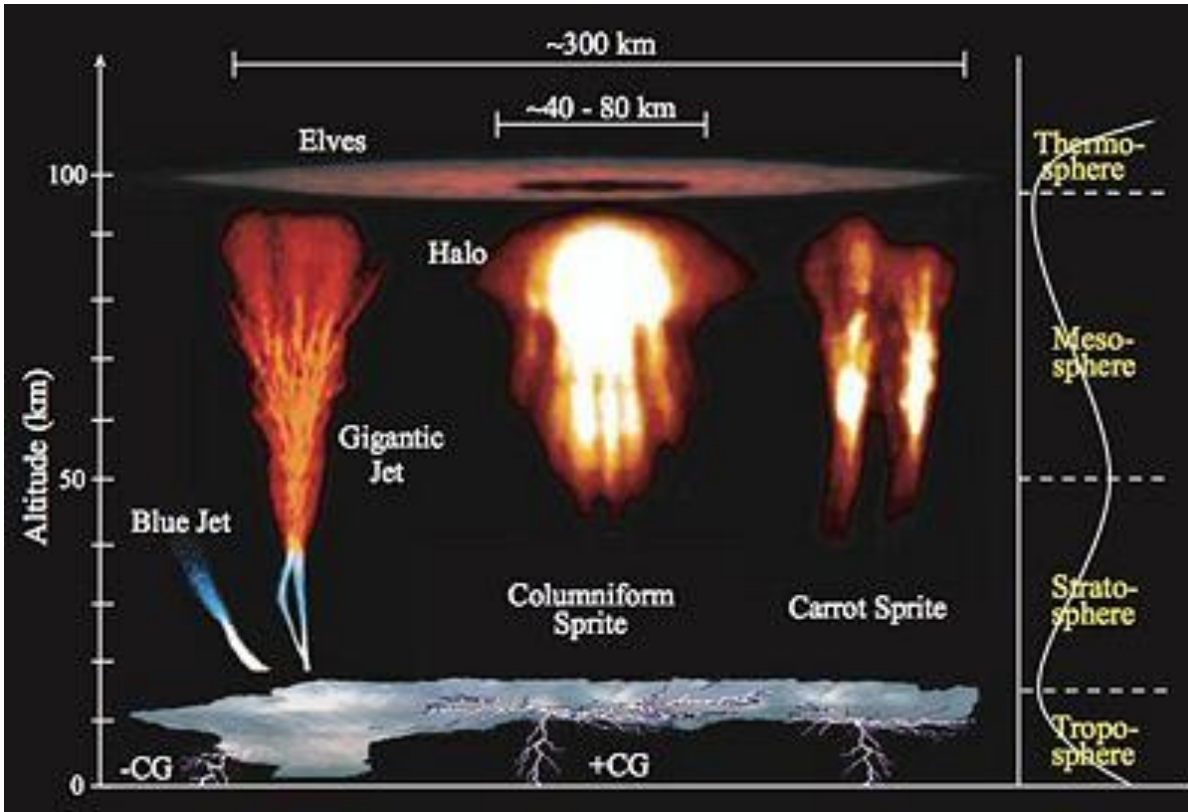


Транзиентные световые/атмосферные явления (TLE, TAE)



[UCAR Center for Science Education]

Феноменологическая классификация TLE



✓ *Red sprites* – крупномасштабное, быстрое свечение, происходящее над облаками, на высоте 50–90 км, излучение в основном в красном диапазоне. Горизонтальный размер – десятки километров, возникают в течение миллисекунд после разряда облако – земля и длится несколько десятков миллисекунд.

✓ *Blue jets* – происходят на меньших высотах, чем спрайты, видимое излучение преимущественно синего цвета, длительность ~100 мс.

✓ *Elves* – наиболее скоротечное явление (длительность меньше 1 мс) на высоте 100 км, горизонтальные размеры кольца 200-700 км. Считается, что вызваны электромагнитными импульсами от молний

✓ *Gigantic jets* – мощнейшие разряды высотой до 100 км.

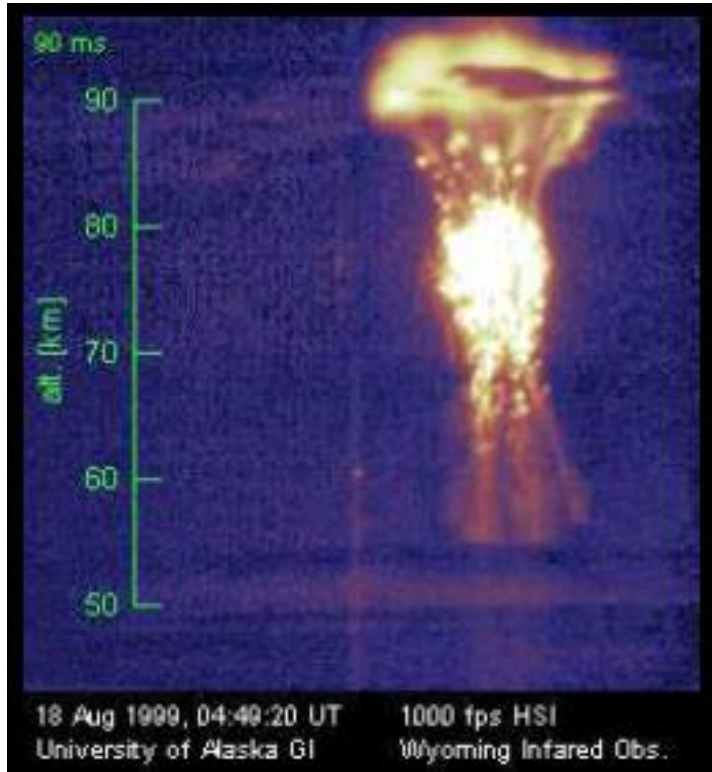
Первое оптическое изображение разряда над грозовым районом



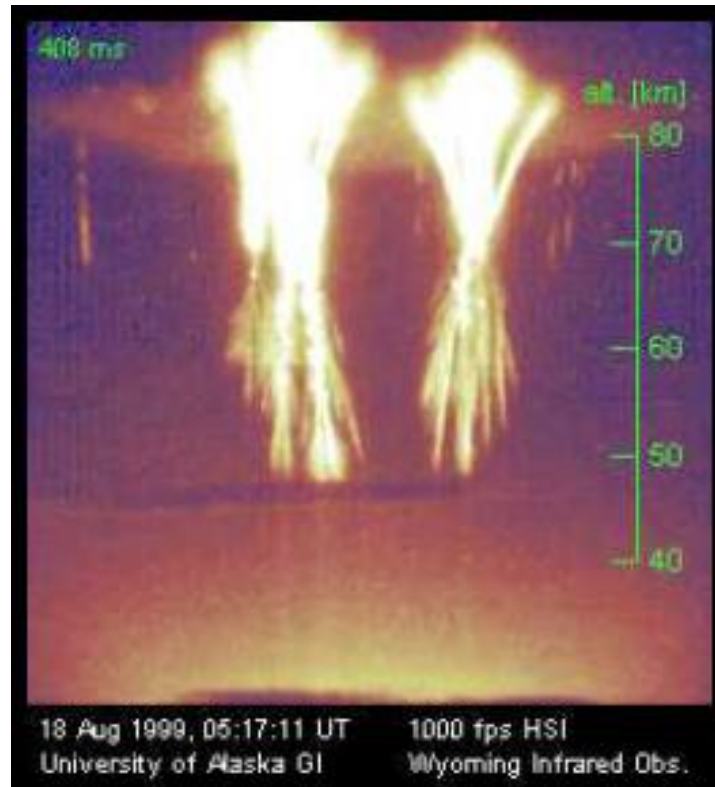
**O'Brian Observatory of the
University of Minnesota
July 6, 1989 4:14:22.**

Наземные наблюдения TLE (from Sentman)

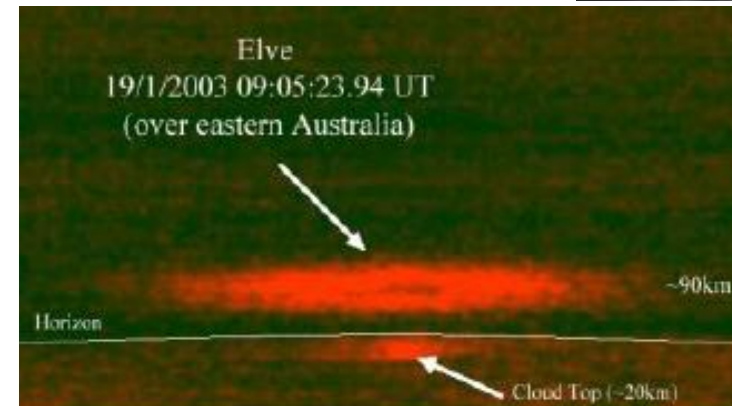
TLE могут иметь очень разнообразные формы!!!



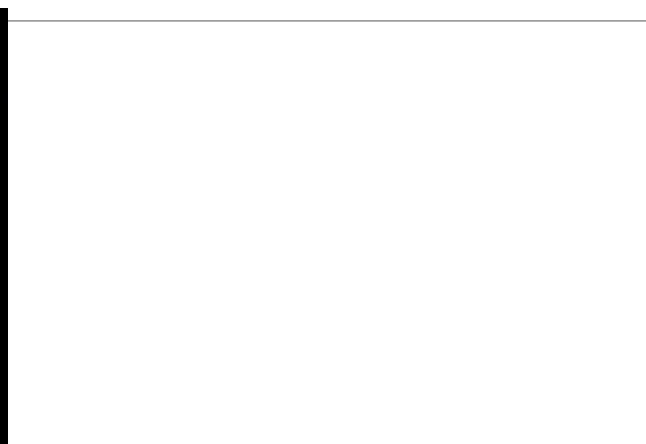
Carrot sprite



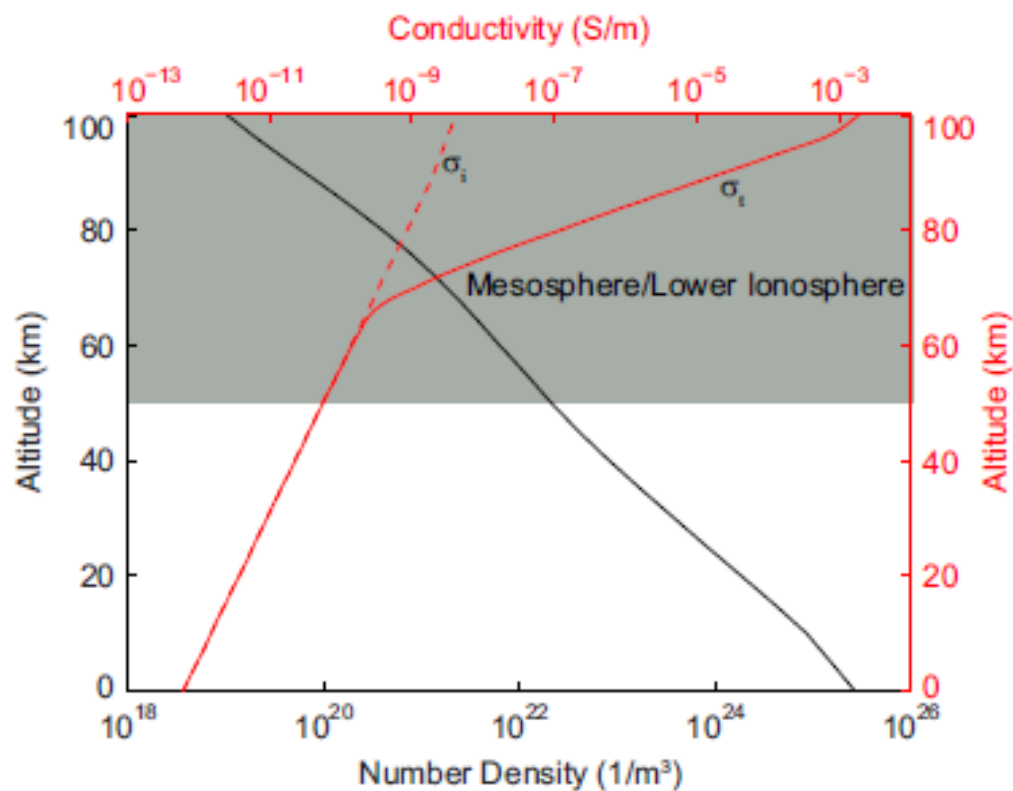
Jellyfish sprites



Примеры видеозаписей высокоатмосферных вспышек



Временные масштабы



Liu, JASTP, 2015

Время релаксации $\tau \sim 1/\sigma$

$H > 80$ км $\tau < 1$ мс

$H \sim 70$ км $\tau \sim 1 - 10$ мс

$H \sim 30$ км $\tau \sim 1$ с

Это в большой степени определяет характерное время развития разных TLE:

- ✓ ELVES - $\tau < 1$ мс
- ✓ Sprites - τ - десятки мс
- ✓ Jets - τ - сотни мс

ELVES (Emissions of Light and VLF perturbations due to EMP Sources [Fukunishi et al., 1995])

Elves occur at altitudes ~ 99 km spanning up to ~ 530 km horizontally

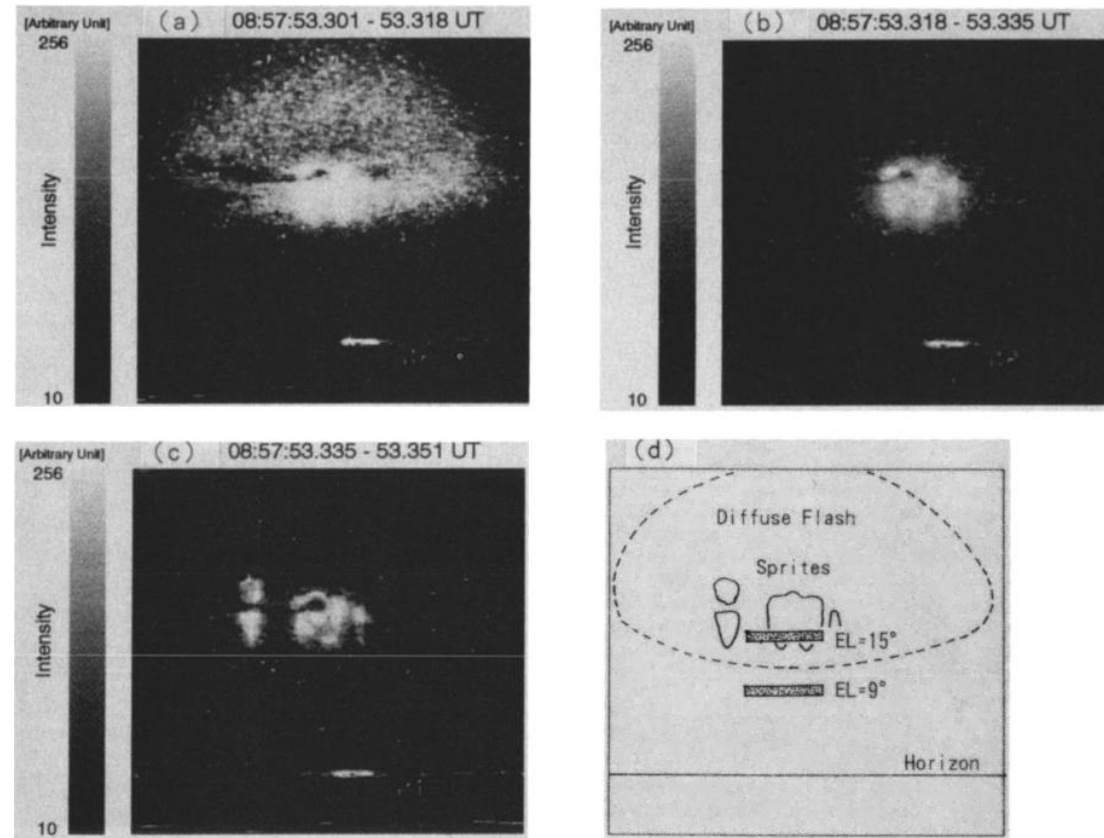
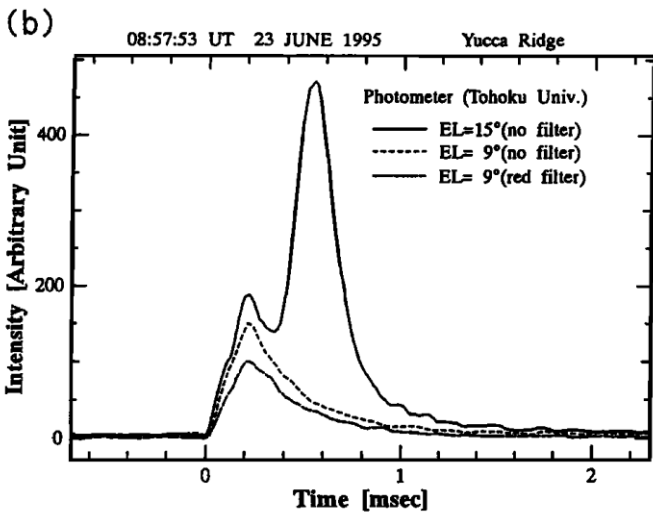
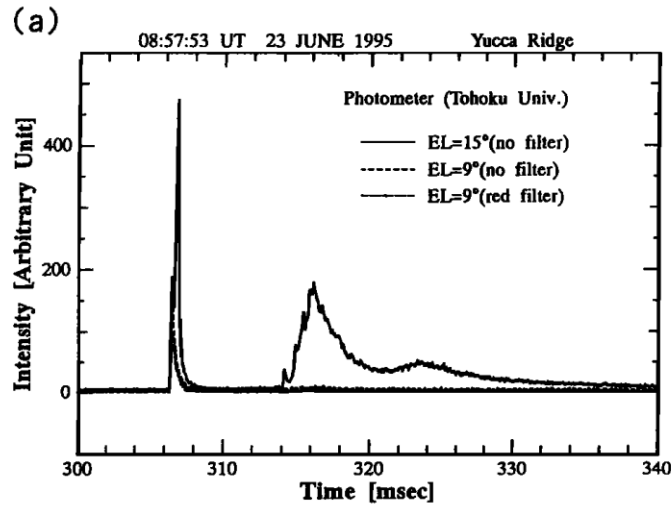


Figure 2. CCD camera images during the transient luminous event given in Figure 1. Three successive images taken at 17 ms intervals are shown in (a)-(c), while the fields of

view of the photometer are shown in (d). A narrow dark band seen inside the luminous region is a patch of clouds.

Figure 1. An example of lightning-induced transient luminous events observed at Yucca Ridge Field Station, Colorado. (a) Luminosity variations observed by a four-channel photometer during the 40 ms interval between 08h 57m 53.300s and 53.340s UT on June 23, 1995. (b) Enlarged display of photometer signals for the initial 3 ms interval.

ELVE mechanism

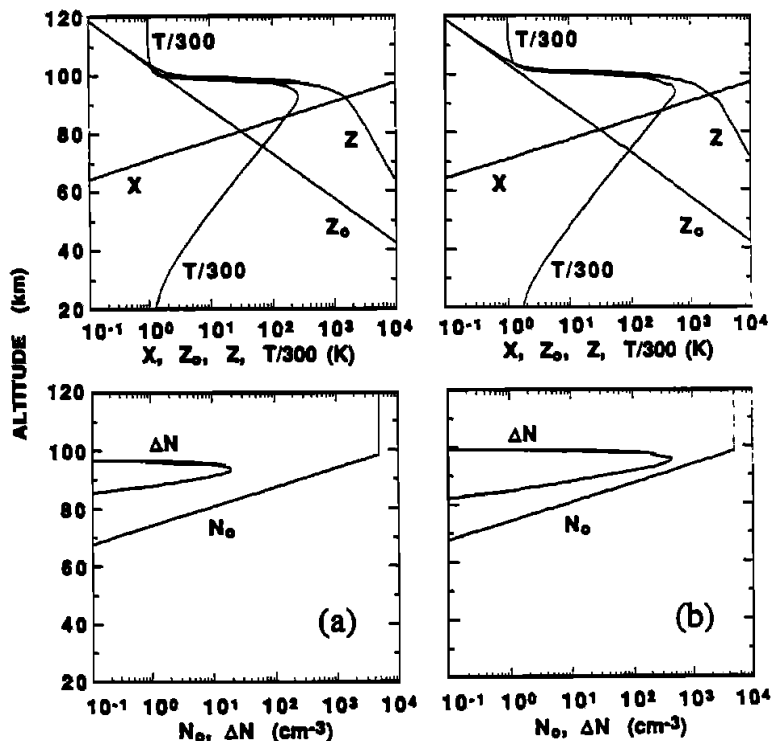
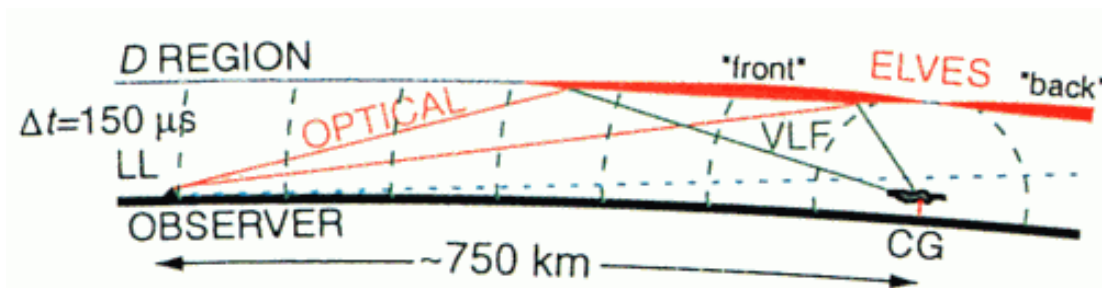


Fig. 2. (a) Results for 10 V/m 100-km range normalized intensity. The upper panel shows $X(h)$, $Z_o(h)$, ($X = \omega_p^2/\omega^2$, with ω_p and ω being the electron plasma and wave frequencies respectively, and $Z_o = \nu_o/\omega$), the electron temperature T , normalized to 300°K, and $Z(h) = \nu/\omega$. The lower panel shows the ambient electron density N_o and the ΔN that would result from a single ionization cycle. (b) Results for 20 V/m 100-km range normalized intensity.

The most likely source of elves is heating of the lower ionospheric electrons by the electromagnetic pulse (EMP) generated by the intense lightning discharge as has been previously suggested [C.P. Barrington-Leigh et al, JGR, 2001; Taranenko et al., 1992, 1993]. The observed time delay of 350 μ s from the onset of the first peak to the onset of the second peak in Figure 1 is interpreted by a model that the EMP propagation is upward and it takes this time to reach the lower ionospheric altitudes of 75-105 km.

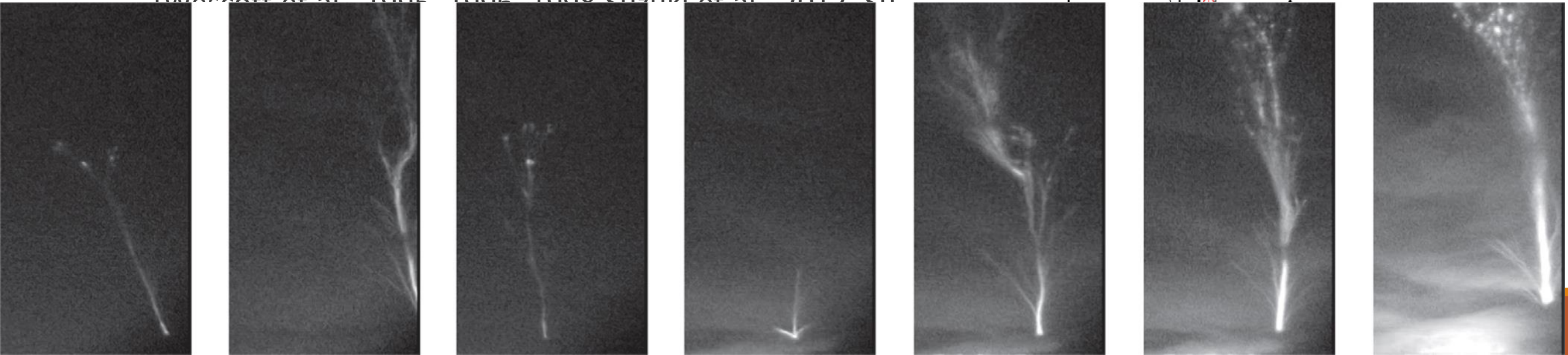
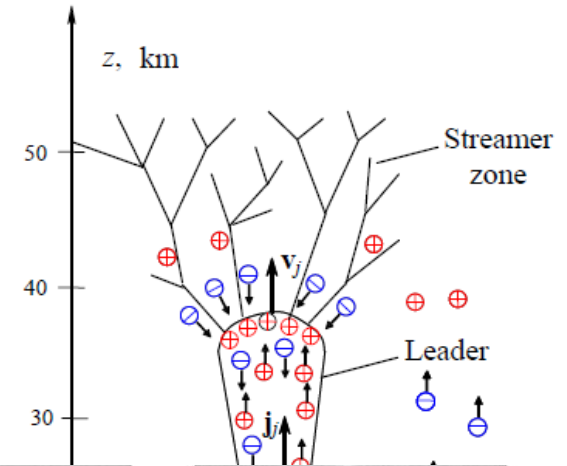


C.P. Barrington-Leigh et al, JGR, 2001

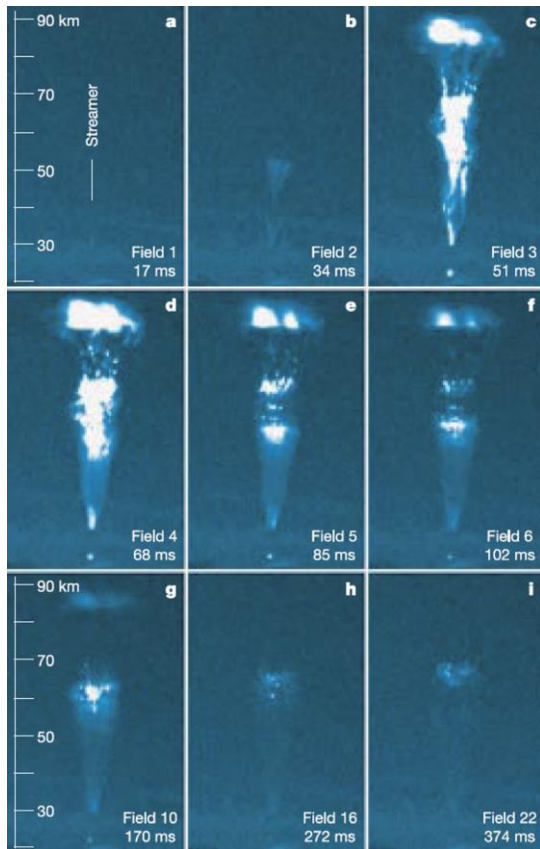
Jets (blue, gigantic, starters)

Восходящие электрические разряды от облаков до высот 25, 40 и 90 км.

Не имеют конкретной родительской молнии (в отличие от эльфов и спрайтов), но их возникновению предшествует повышенная внутриоблачная активность (повышенная частота внутриоблачных разрядов и молний облако-земля [Wescott et al., 1995, 1996, 1998; Suzuki et al., 2012; Su



Gigantic jet



Первое наблюдение в работе Su et al. (2003).

Различают три типа GJ:

I – развивается разряд по всей толще атмосферы

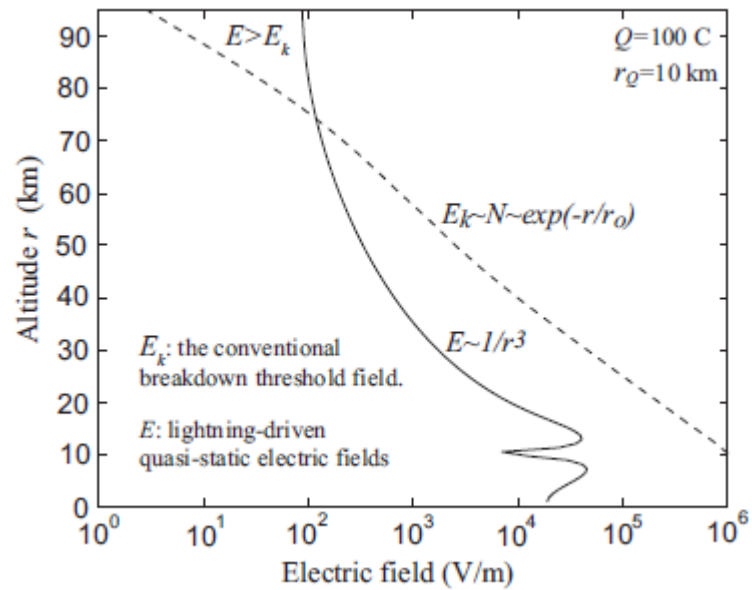
II – развивается из голубого джета

III – развивается после родительской молнии

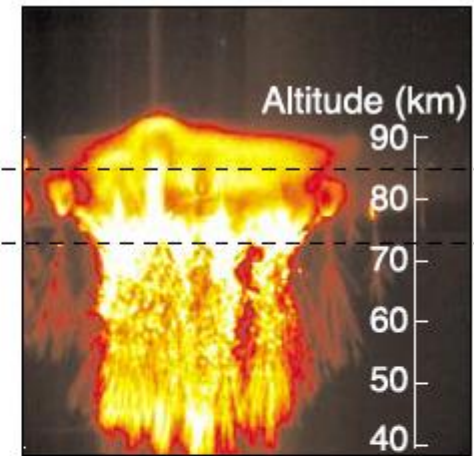
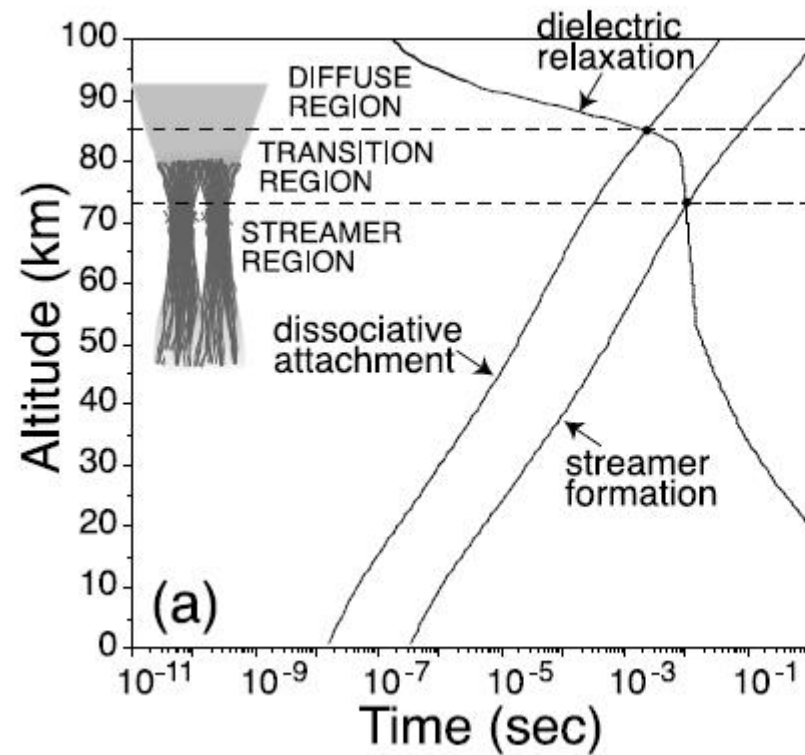
I и II не имеют родительской молнии

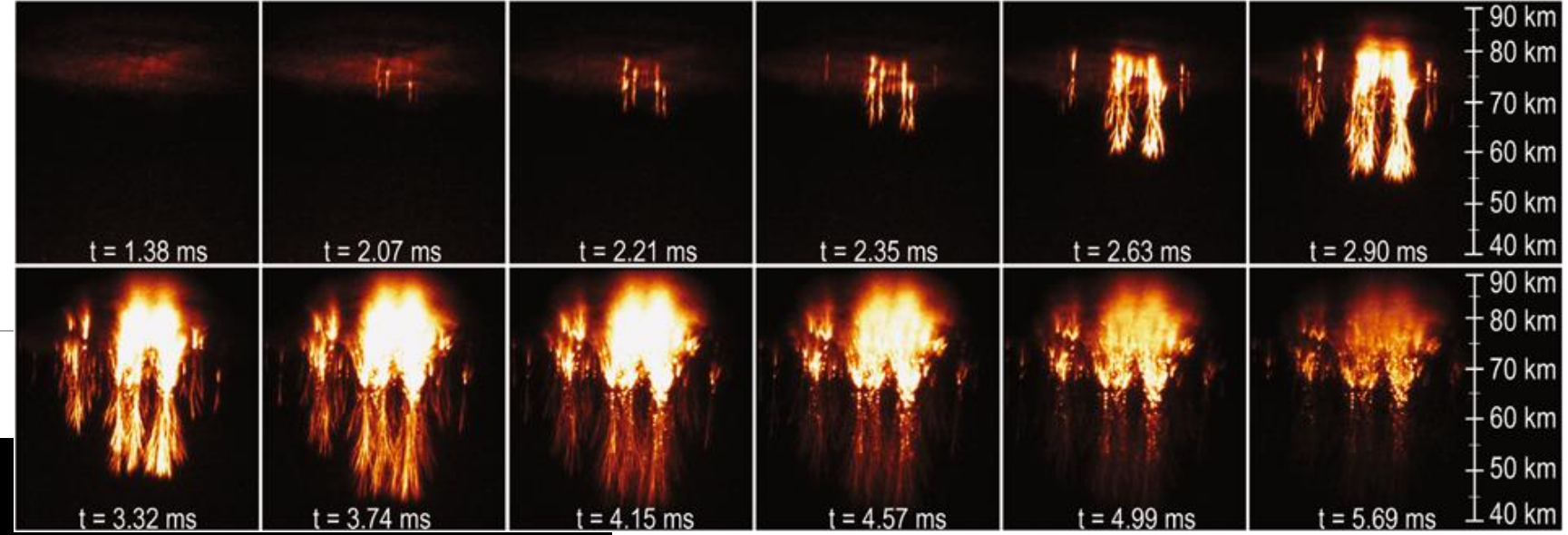
Su et al. (2003).

Sprites



Pasco, 2010





TLE и молнии лишь видимая часть сложных процессов в атмосфере Земли

Дальнейшие исследования (в частности, измерения на Compton Gamma Ray Observatory satellite (CGRO) [Fishman et al., 1994]) показали, что TLE являются частью более сложного явления в атмосфере, которое включает в себя

- ✓ Всплески рентгеновского и гамма излучения (TGFs),
- ✓ Интенсивное электромагнитное излучение в широком диапазоне (от 0.1 Гц - десятков МГц)
- ✓ Ускорение электронов до релятивистских энергий (до 30 МэВ).

Однако, ещё в 1925 году, как разряды в верхней атмосфере, так и сопровождающие их потоки заряженных частиц и гамма-квантов были предсказаны **Ч. Вильсоном** (нобелевский лауреат 1927 г.)

Wilson, C. T. R., The electric field of a thundercloud and some of its effects, *Phys.Soc. London Proc.*, 37, 32D, 1925.

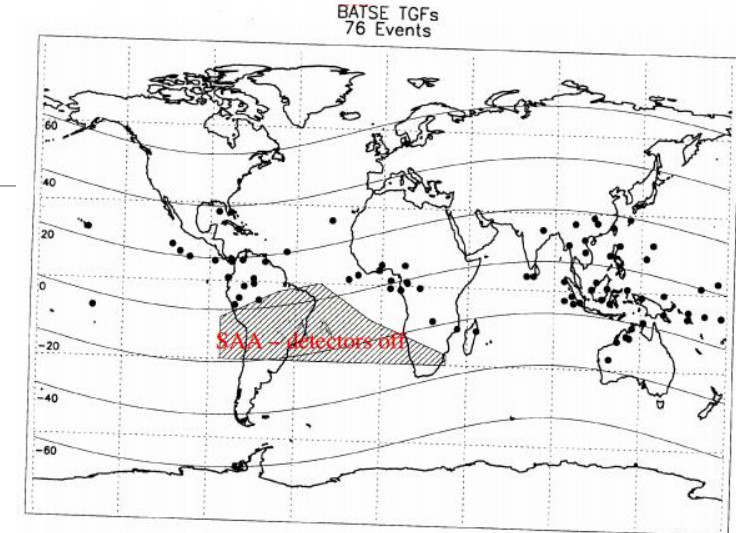
(1) The electric field of the cloud may cause ionization at great heights, the result being continuous or discontinuous discharge between the cloud and the upper atmosphere. (2) Discharge from pointed earthed conductors is likely to constitute an important part of the current between the ground and the base of a thundercloud, and the resulting ionization near the ground may be large. (3) By its accelerating action on particles the electric field of a thundercloud may produce extremely penetrating corpuscular radiation.



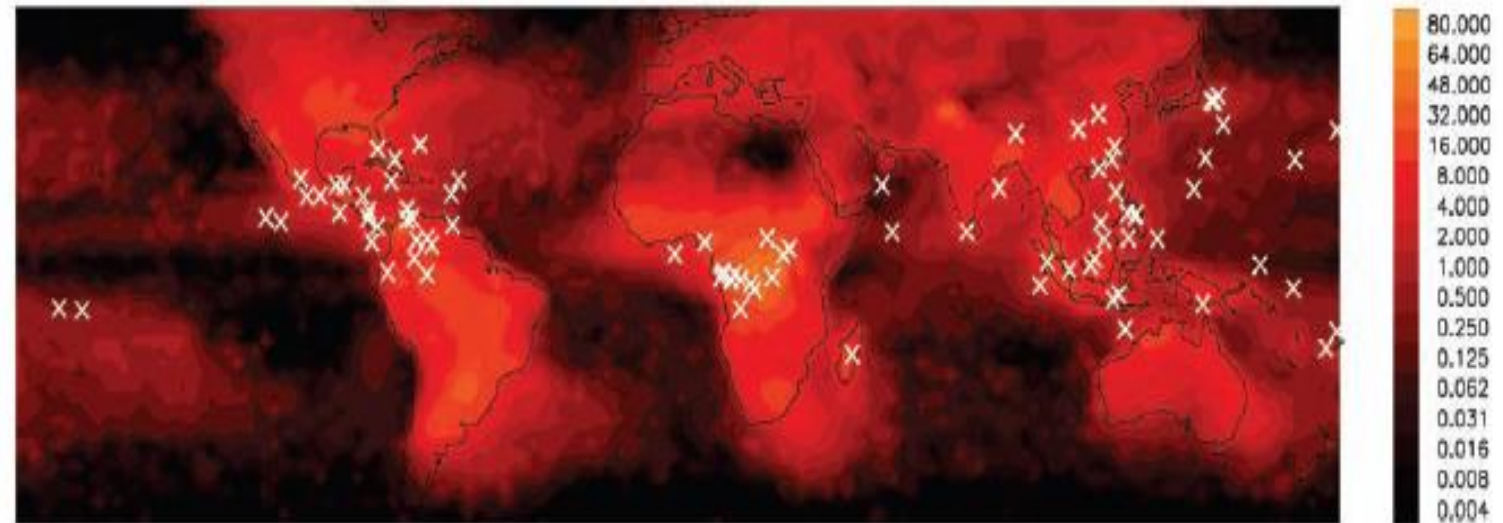
Terrestrial Gamma-Ray Flashes (TGF)

На борту орбитальной обсерватории CGRO (Compton Gamma Ray Observatory) в ходе выполнения эксперимента BATSE (Burst and Transient Source Experiment) в 1993 г. были зарегистрированы вспышки γ – излучения с энергией \sim МэВ, временем нарастания \sim 0,1 мс и длительностью \sim 2 мс.

(Fishman G.J., et al Discovery of Intense Gamma – Ray Flashes of Atmospheric Origin., Science, 264, 1313-1316, 1994.)

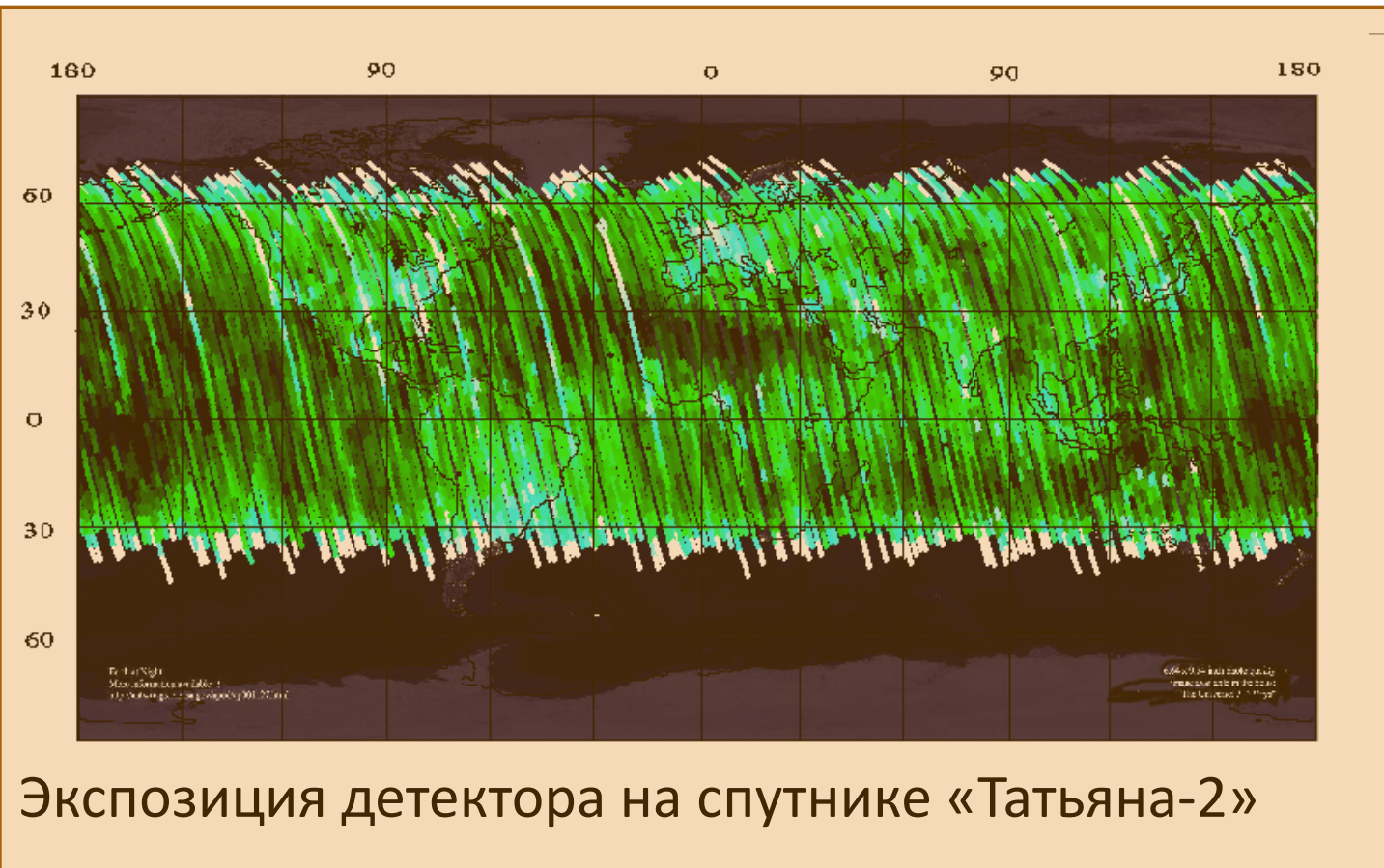


Smith D.M., Lopez L.I., Lin R. P., RHESSI
Terrestrial Gamma-ray Flashes

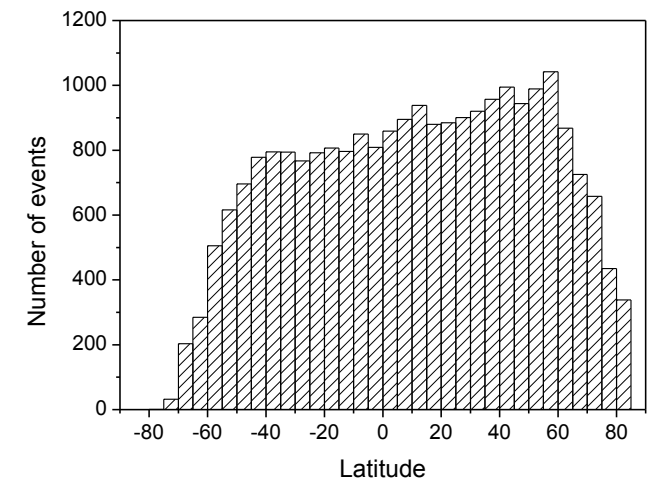
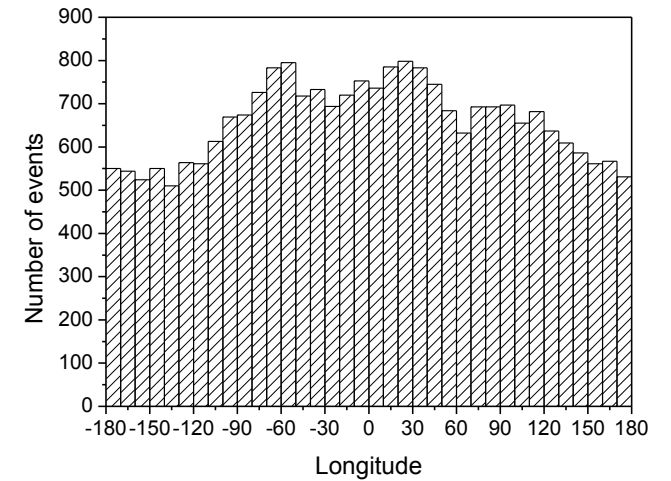


Преимущества спутниковых наблюдений

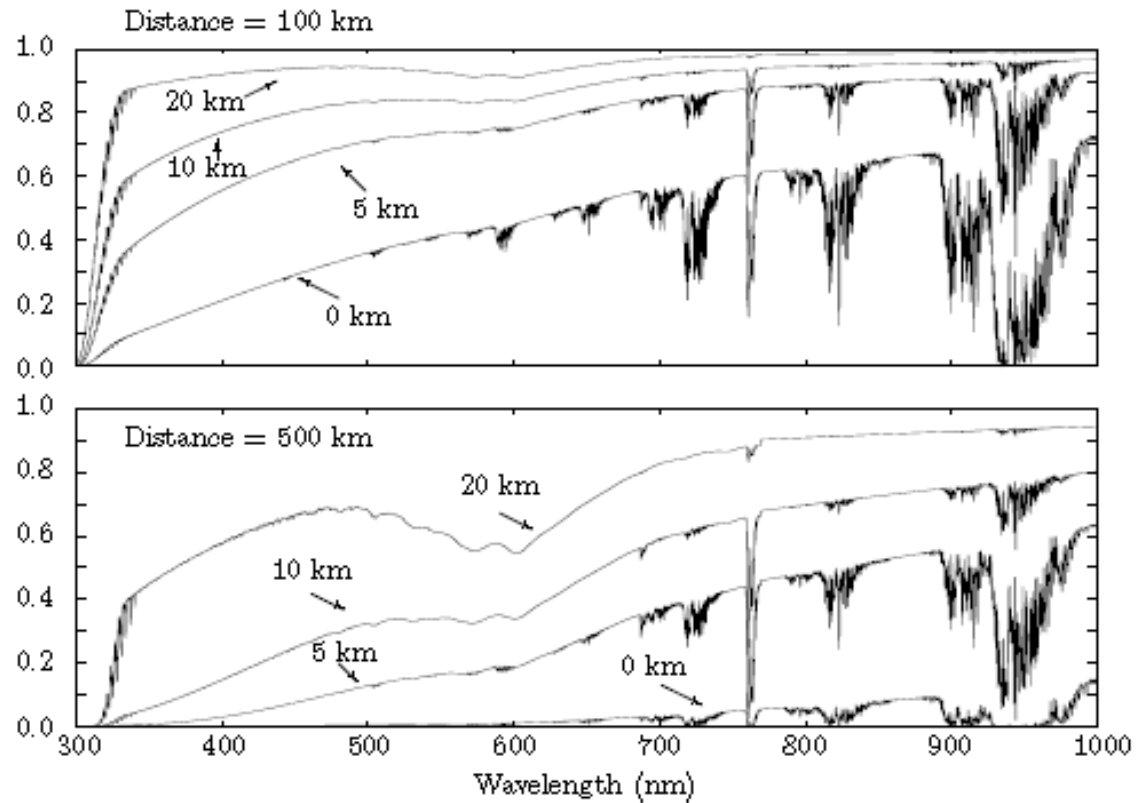
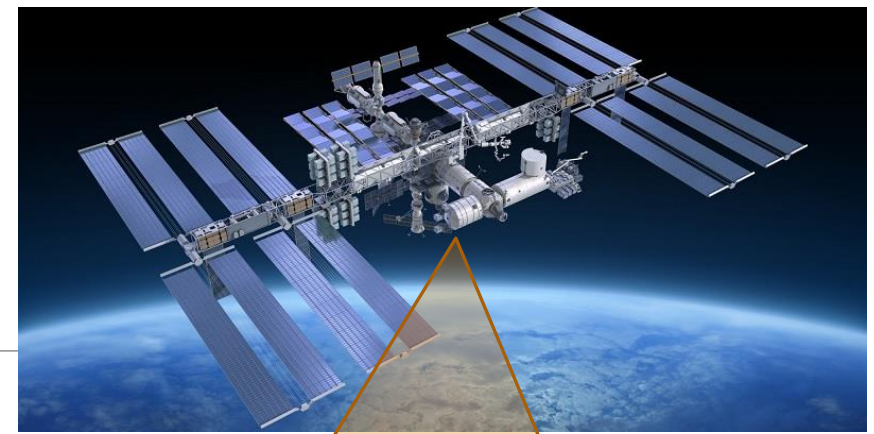
Экспозиция по всему Земному шару



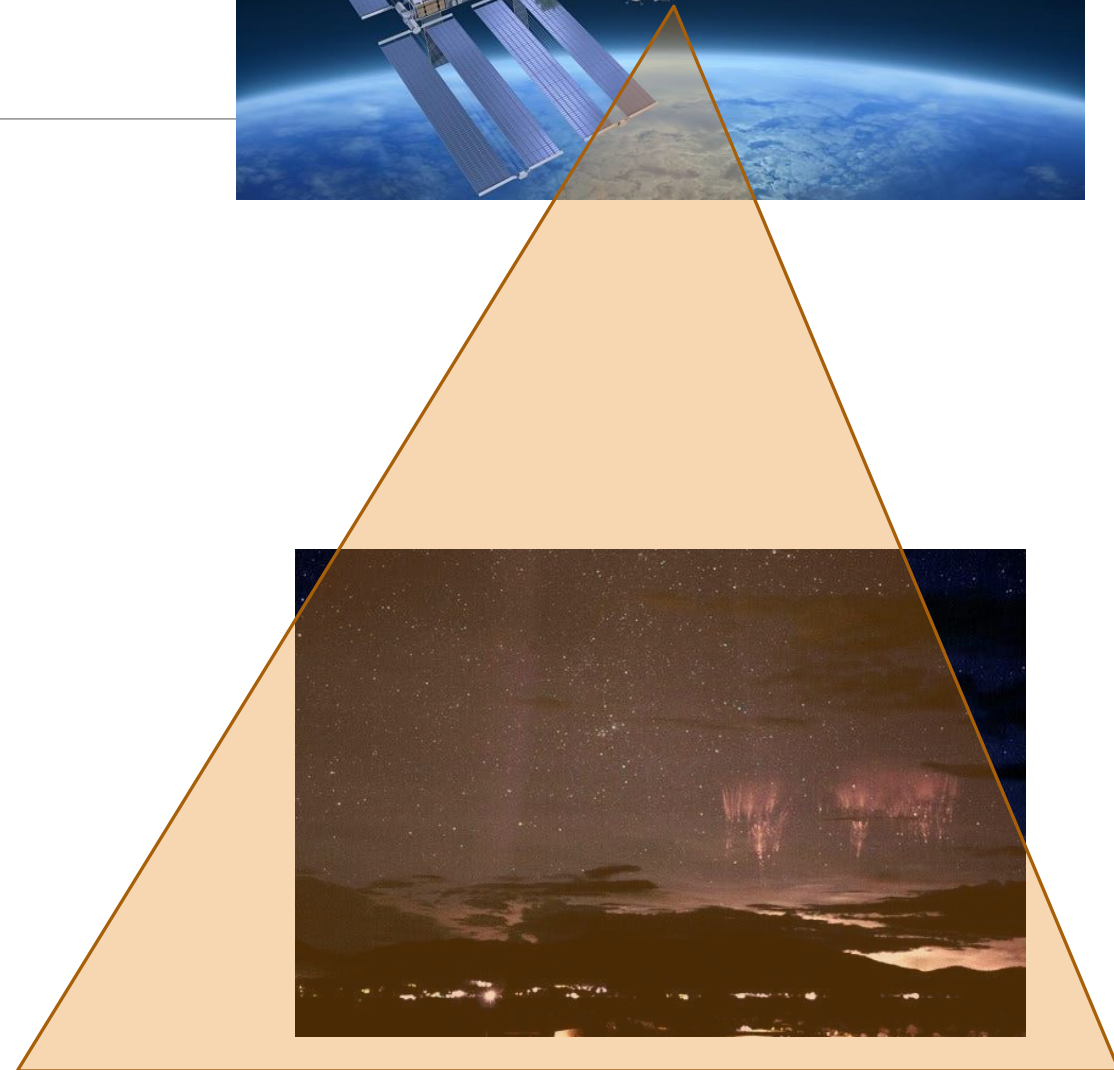
Экспозиция детектора «ТУС», 2016



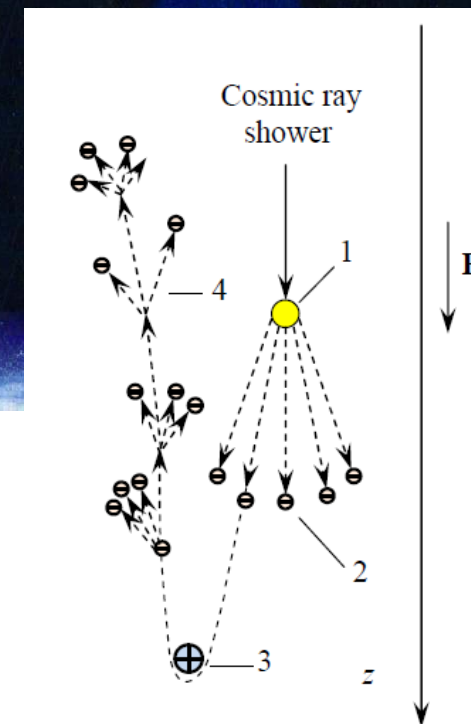
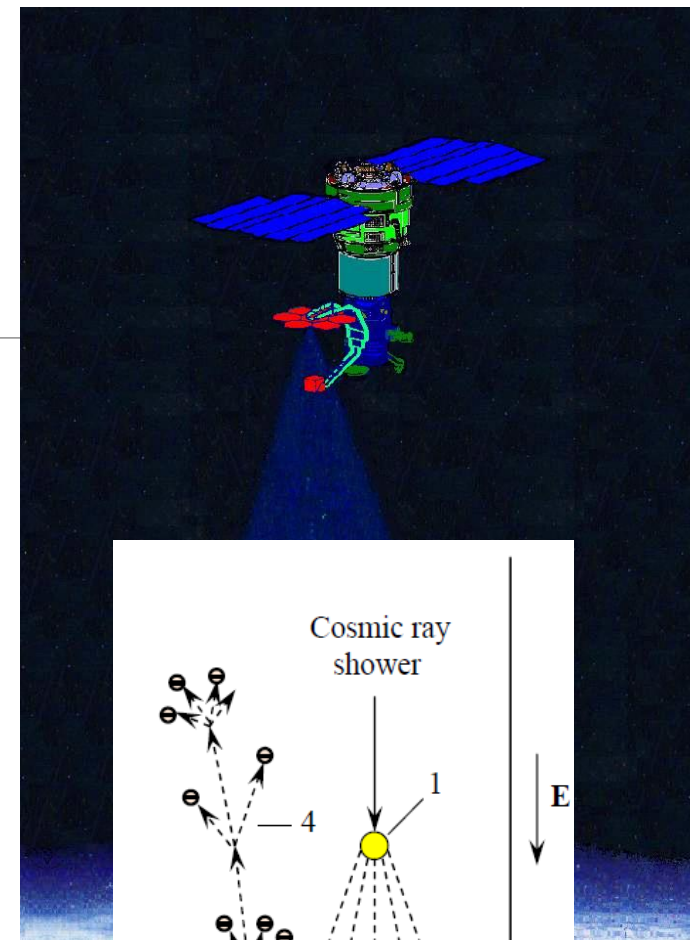
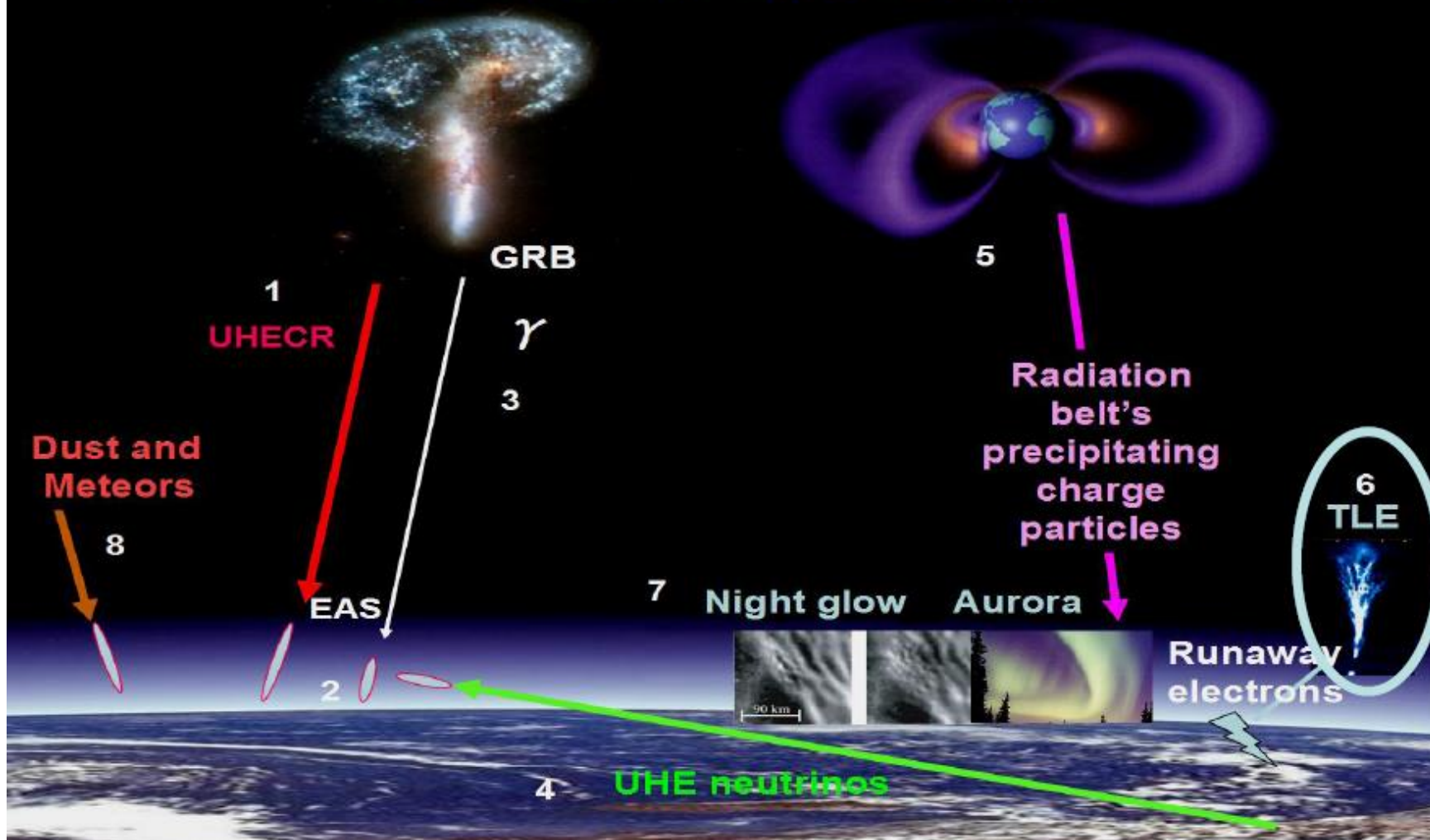
Спутниковые наблюдения. Преимущества



Прозрачность атмосферы, рассчитанная с помощью пакета программ MOSART для наблюдений с поверхности Земли.



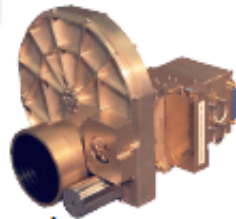
Earth's atmosphere as a target for the space emissions



Аппаратура научного комплекса ISUAL

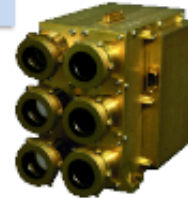
- 1) CCD камера, с временным интервалом измерения 29 мс,
- 2) Спектрофотометр с шестью каналами от УФ до ИК, временным разрешением 100 мкс,
- 3) Два матричных фотометра (многоканальные ФЭУ с фильтрами 270-450 нм и 530-650 нм, максимальное временное разрешение 50 мкс). Все детекторы направлены на лимб ночной атмосферы. Пространственное разрешение матричных фотометров составляет 12 км.

ICCD imager



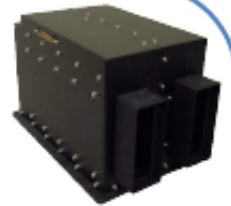
- FOV : 20° (H) × 5° (V)
- Recording six consecutive image frame for each trigger
- Frame integration time: 29ms
- Images reported here were taken through a 623 – 754 nm filter(N₂ 1P)

SpectroPhotometer (SP)



- FOV : 20° (H) × 5° (V)
- Time resolution : 0.1 ms
- Six channels with bandpasses:
 SP1: 150-290nm (FUV)
 SP2: 333.5-341.2nm (N₂ 2P)
 SP3: 387.1-393.6nm (N₂⁺ 1N)
 SP4: 658.9-753.4nm (N₂ 1P)
 SP5: 773.6-783.4nm (lightning O₁)
 SP6: 240-400nm (MUV)

Array Photometer (AP)



- FOV : 22° (H) × 3.6° (V)
- Time resolution :
 0.05ms for the first 20ms;
 0.5ms for the last 220ms.
- Dual 16-channel array photometers
 Blue band : 370-450nm
 Red band : 530-650nm

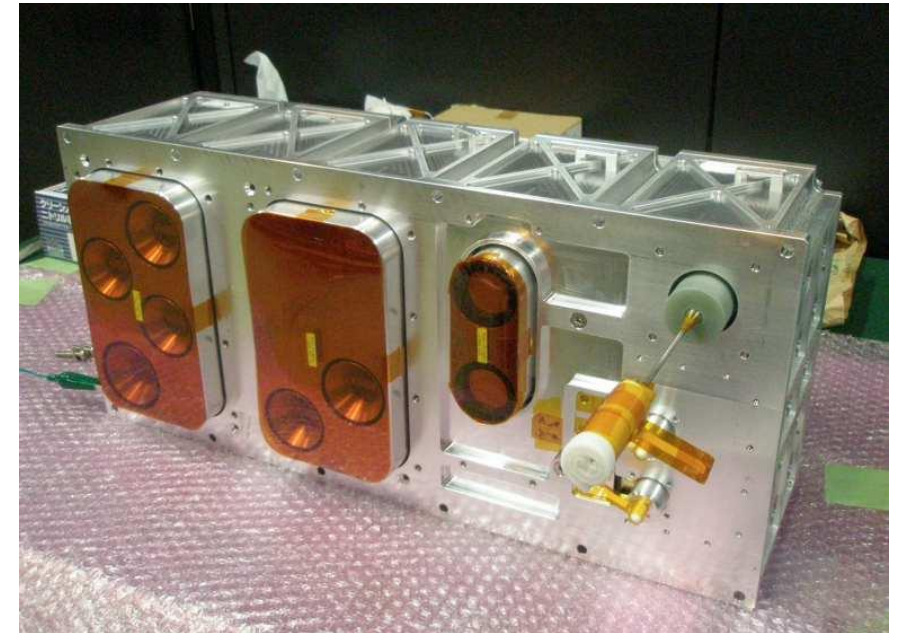
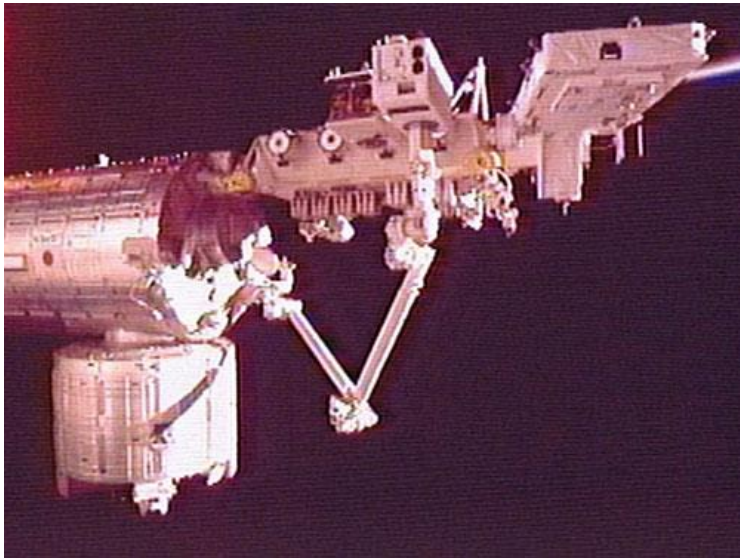
JEM-GLIMS (Global Lightning and Sprite Measurements)

The scientific goal of the JEM-GLIMS mission is to study the generation mechanism of transient luminous events (TLEs) and to identify the relationship between lightning, TLEs, and terrestrial gamma ray flashes (TGFs).

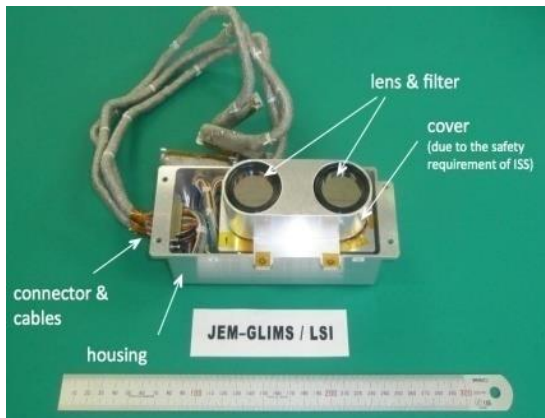
Установка JEM-GLIMS в составе Multi-mission Consolidated Equipment (MCE) на борту МКС.

Запущена 9 августа 2012

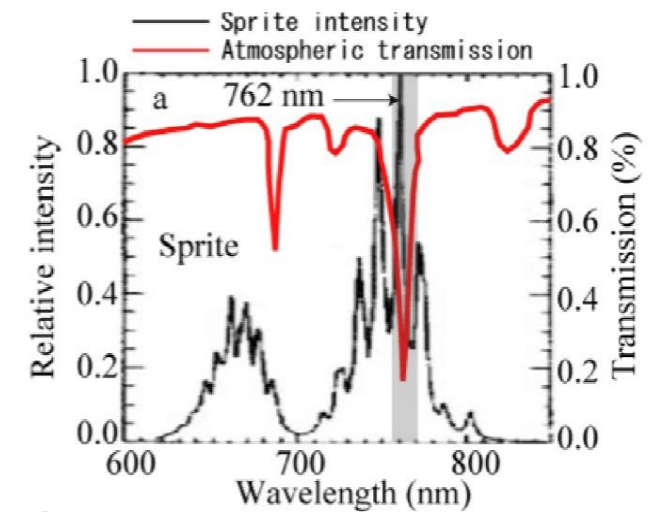
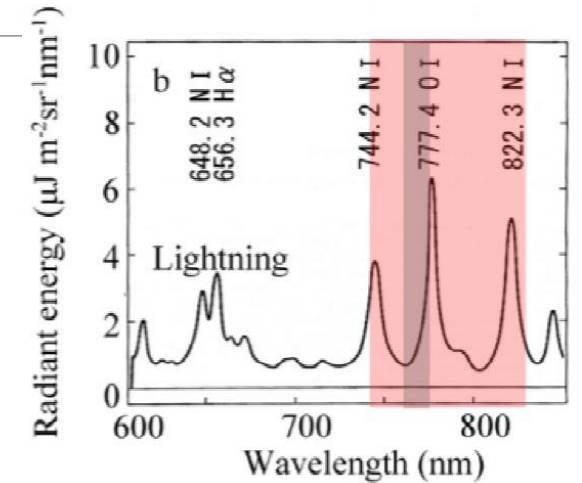
- 1) CMOS cameras at 740-830 nm and at 762 nm
- 2) Photometers at six different wavelengths
- 3) VHF interferometer from 70 to 100 MHz
- 4) VLF receiver from 1 to 40 kHz.



JEM-GLIMS (Global Lightning and Sprite Measurements)



Номер канала	Диапазон длин волн	Источник излучения
PH1	150–280 нм	N ₂ LBH
PH2	337±5 нм	N ₂ 2P(0,0)
PH3	762±5 нм	N ₂ 1P(3,1)
PH4	600-900 нм	N ₂ 2P(0,0)
PH5	316±5 нм	N ₂ 2P(1,0)
PH6	392±5 нм	N ₂ ⁺ 1N(0,0)



Пример измерения аппаратурой JEM-GLIMS

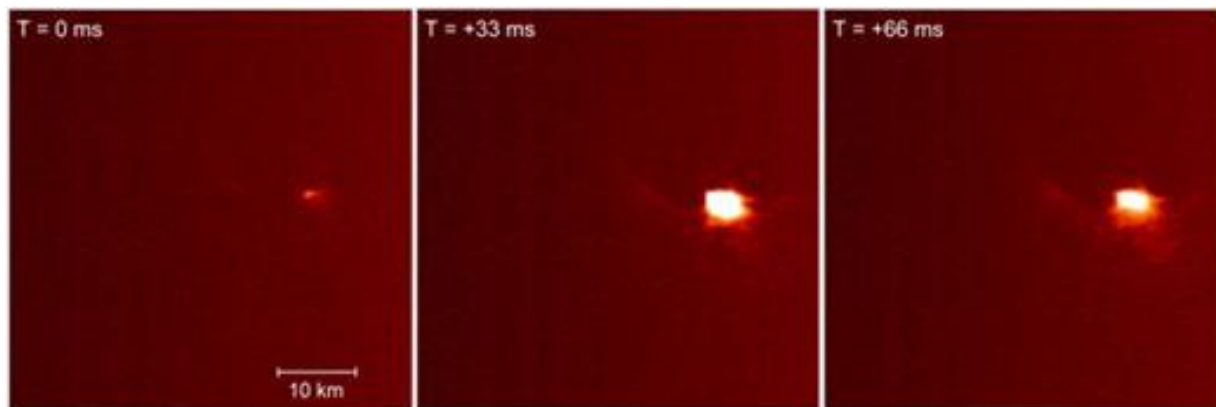
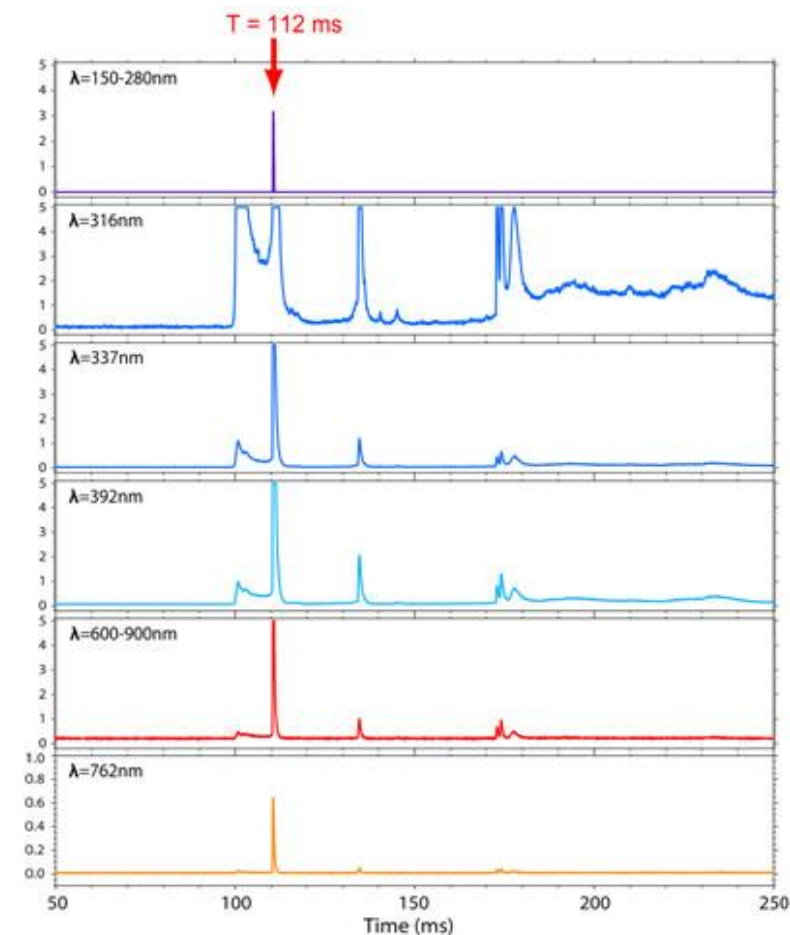


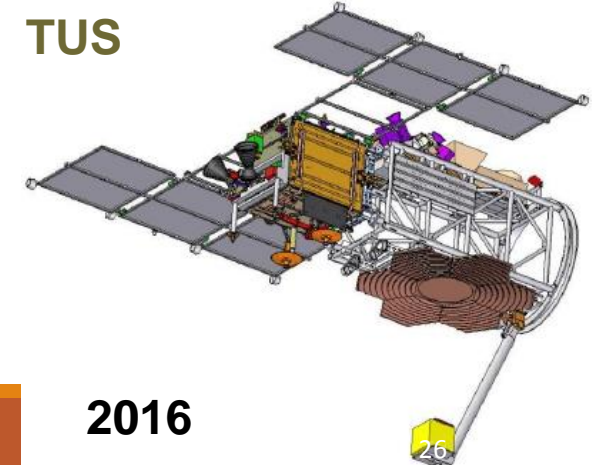
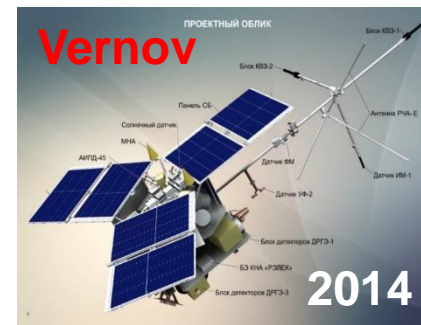
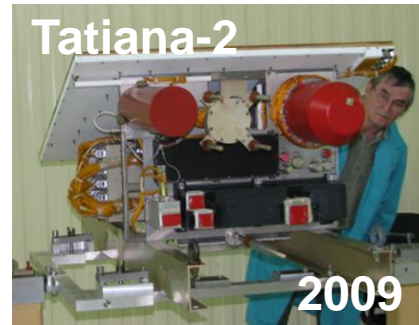
Рисунок с сайта JAXA:

http://iss.jaxa.jp/en/kiboexp/news/130131_jem_glims.html

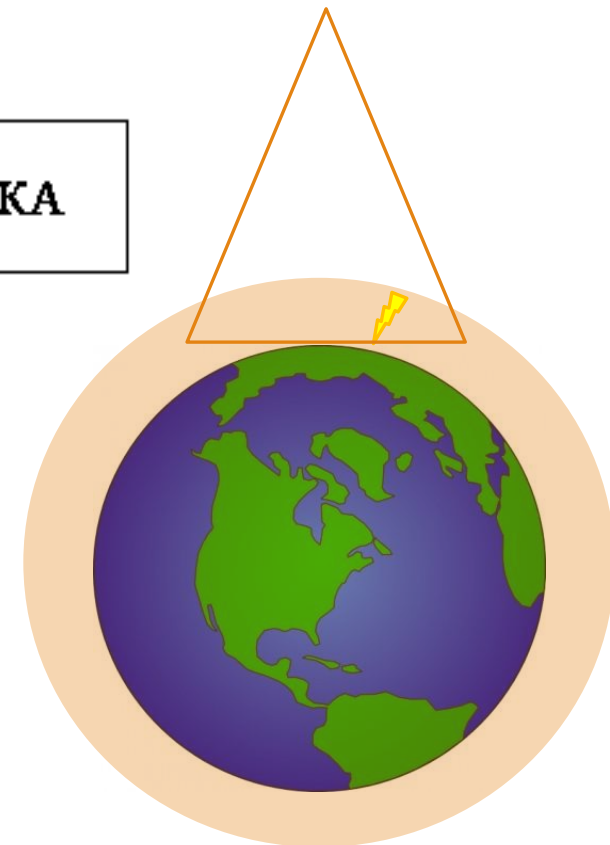
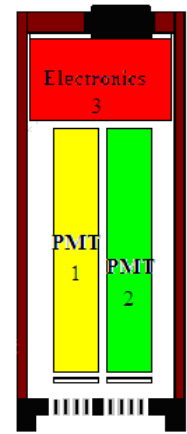
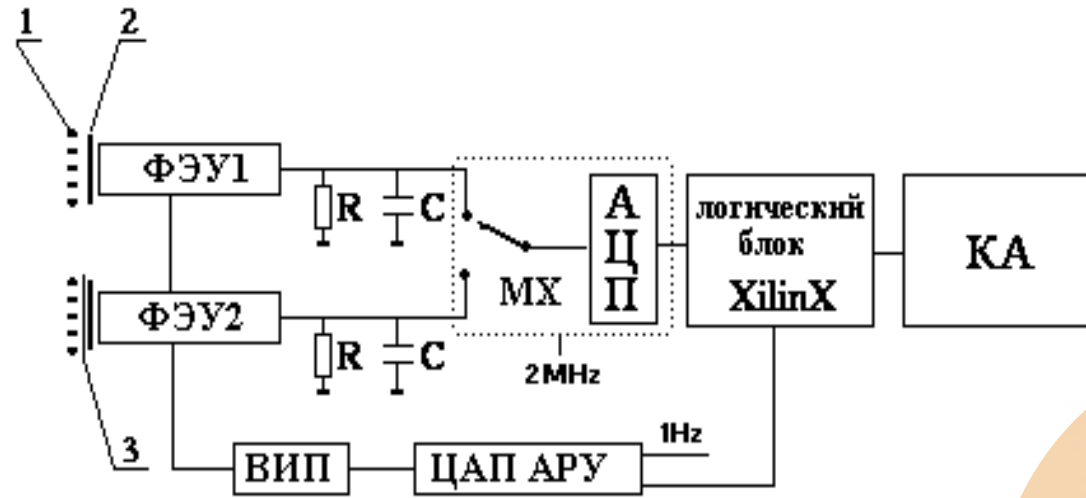
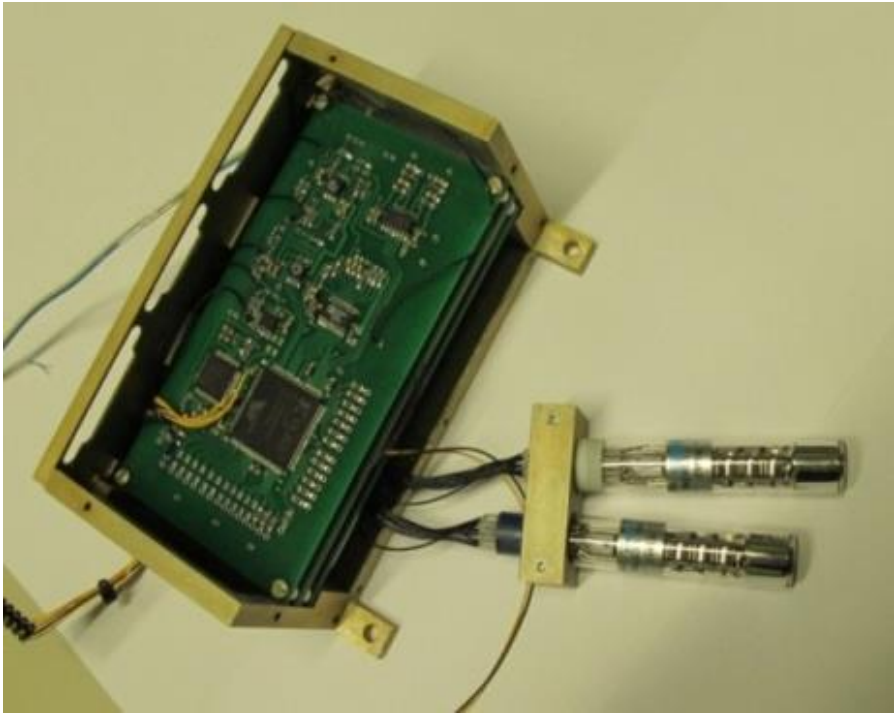


Детекторы УФ излучения на спутниках МГУ

	Tatiana-1	Tatiana-2	Vernov	TUS
Временное разрешение	16 мкс & 64мкс	1 мс	0.5 мс	0.8 мкс
Пространственное разрешение	-	-	-	5 км
Диапазон длин волн	240 - 400 нм	240 - 400 нм 600 - 800 нм	240 - 400 нм 600 - 800 нм	240 - 400 нм 600 - 800 нм
Апертура	0.4 см ²	0.4 см ²	0.4 см ²	~2 м ²

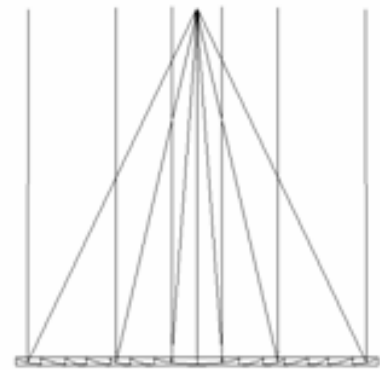
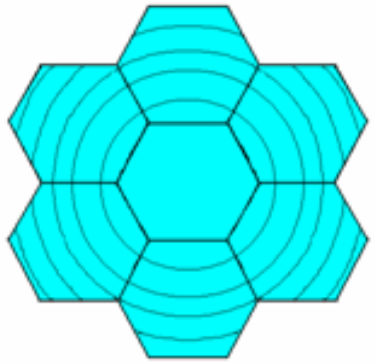


Детектор ДУФ

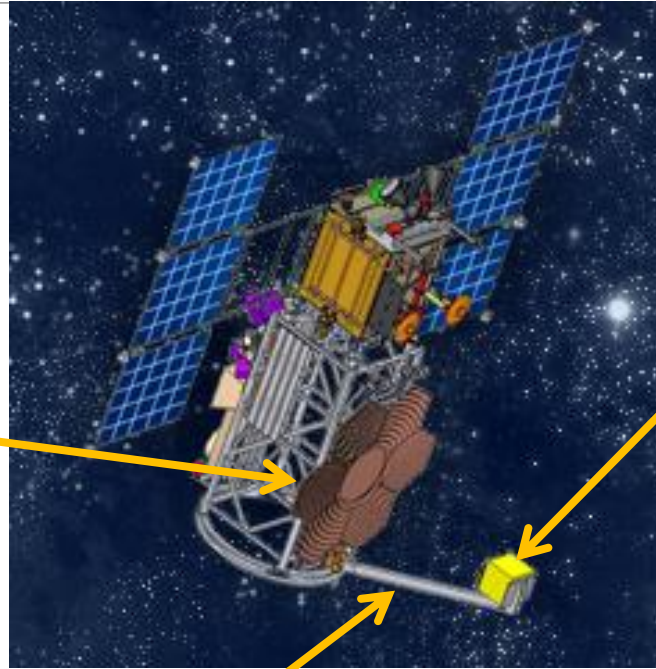


- ✓ Отбор событий: максимальное значение вспышки за период записи (1 виток – «Татьяна-1», 1 минута – «Татьяна-2», 4,5 с – «Вернов»).
- ✓ Отсутствует пространственное разрешение.

Детектор «ТУС» на спутнике «Ломоносов»

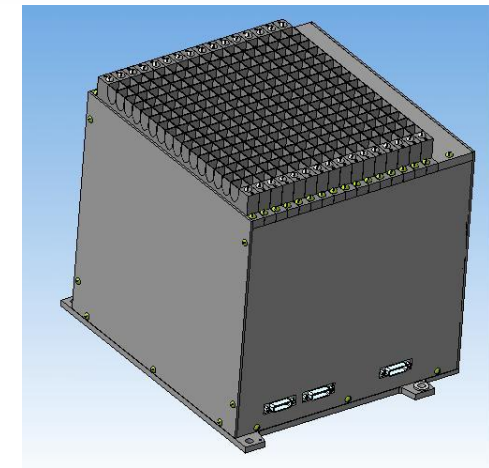
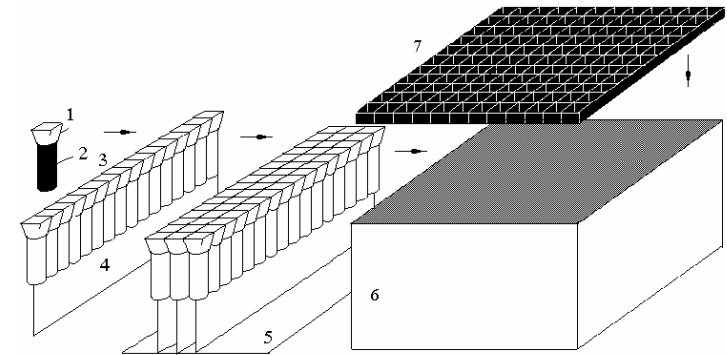


Зеркало-концентратор (СЗК)



Система отвода фотоприемника (СО ЭБФ)

Фотоприемник (ЭБФ)



Режимы работы детектора «ТУС»

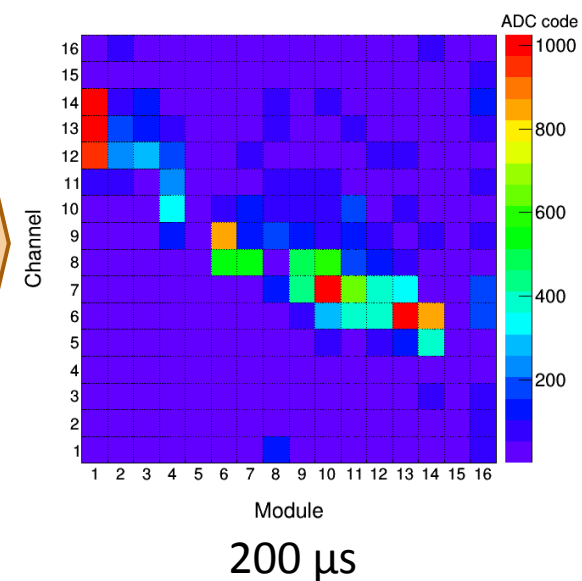
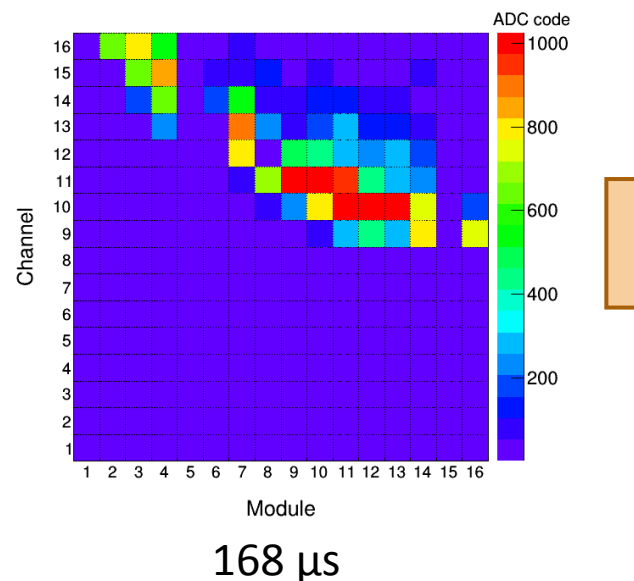
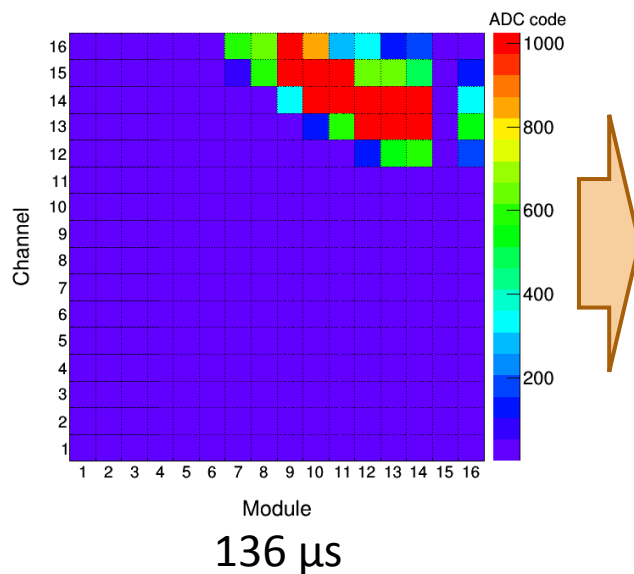
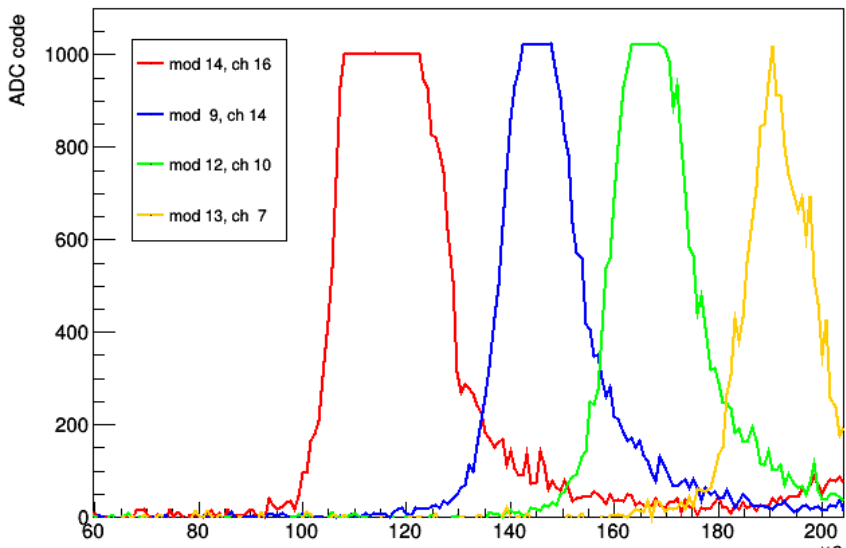
Явление	Временное разрешение	Время интегрирования (триггера)	Длина осциллограммы
ШАЛ	$\tau = \tau_0 = 0,8 \text{ мкс}$	$t = 2^4\tau = 12,8 \text{ мкс}$	$\Delta T = 256\tau = 205 \text{ мкс}$
Короткие ТАЯ*	$\tau = 2^5\tau_0 = 25,6 \text{ мкс}$	$t = 2^3\tau = 0,2 \text{ мс}$	$\Delta T = 256\tau = 6,6 \text{ мс}$
Длинные ТАЯ	$\tau = 2^9\tau_0 = 0,4 \text{ мс}$	$t = \tau = 0,4 \text{ мс}$	$\Delta T = 256\tau = 105 \text{ мс}$
Микро-метеоры	$\tau = 2^{13}\tau_0 = 6,6 \text{ мс}$	$t = 2^4\tau = 105 \text{ мс}$	$\Delta T = 256\tau = 1,7 \text{ с}$

* ТАЯ – транзиентные атмосферные явления

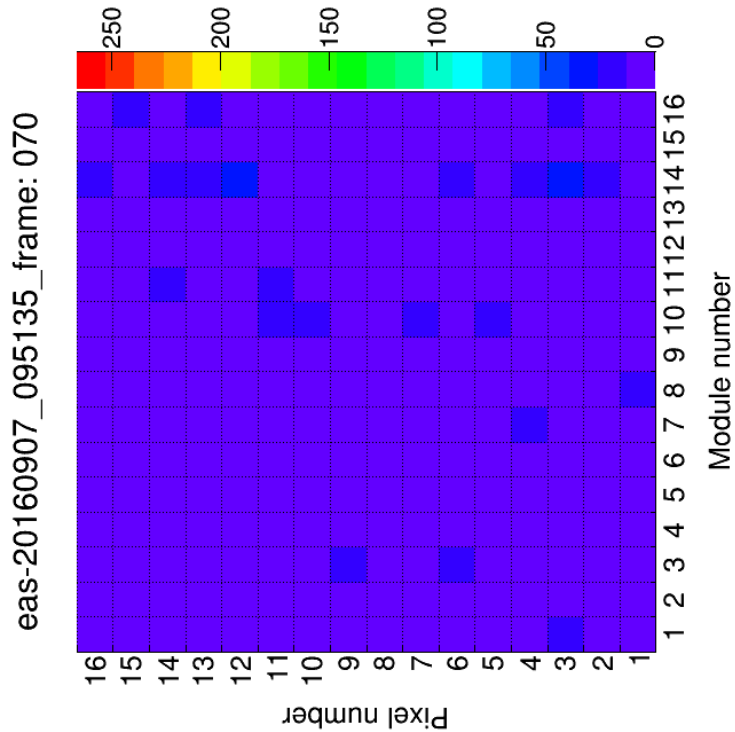
Пример события типа ELVE зарегистрированного детектором «ТУС»

Осциллограмма четырех каналов фотоприемника

*Карты каналов (изображения объекта) в разные
моменты времени*

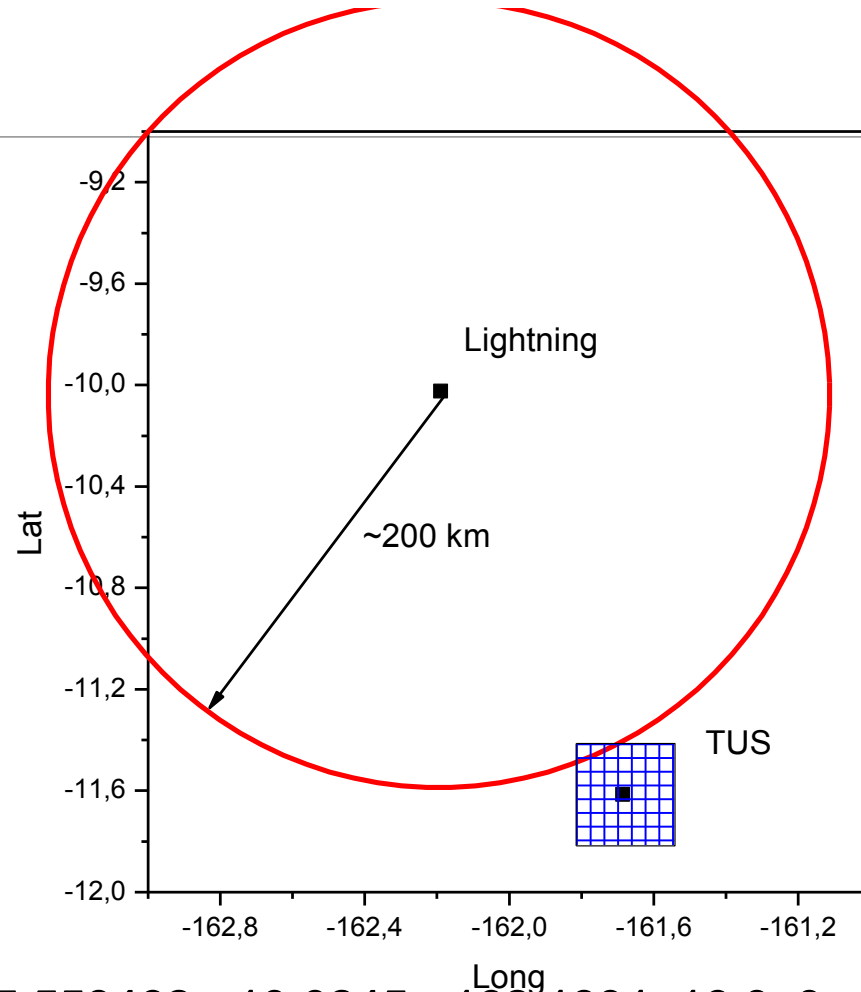


ELVE и сравнение с данными WWLLN



TUS event

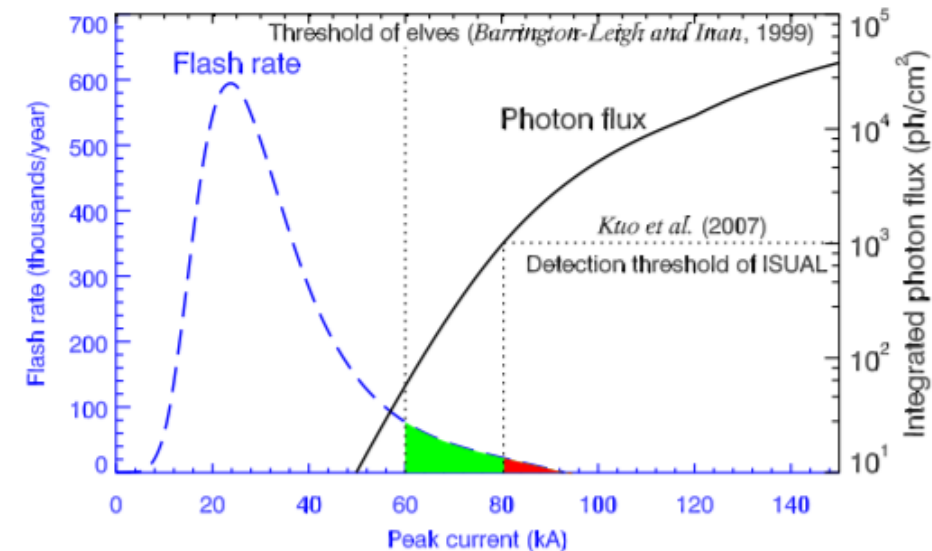
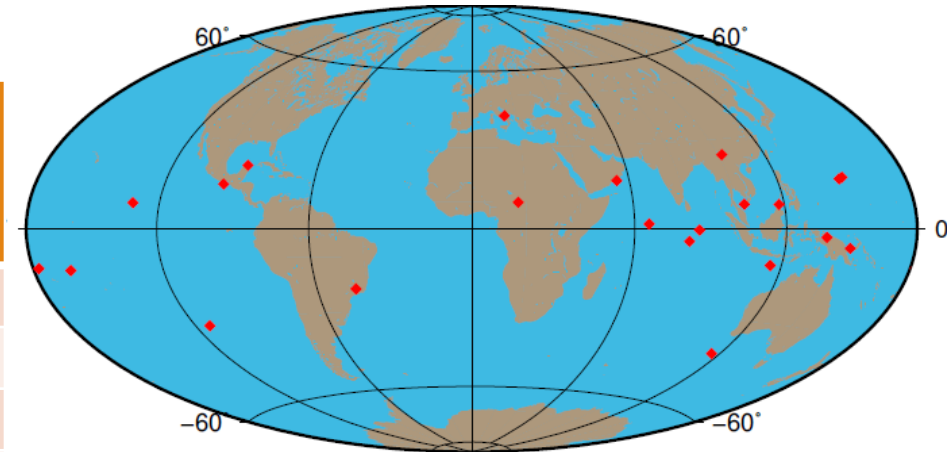
Lat Long
 -11.615 -161.685



2016/9/7,09:51:35.558462, -10.0245, -162.1891, 16.9, 9, 1237.17, 585.13, 5
There is a lightning near the TUS location.

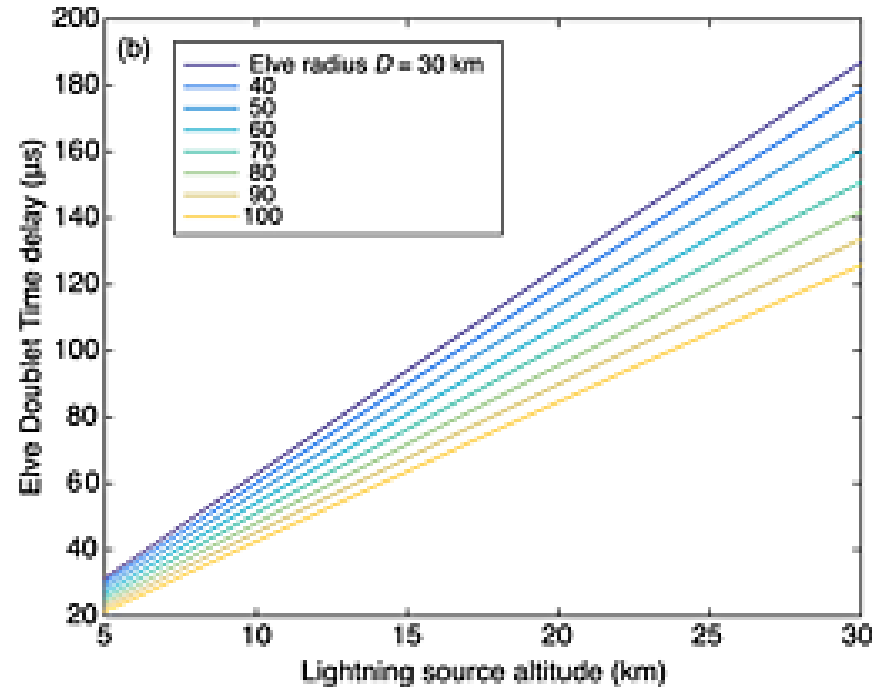
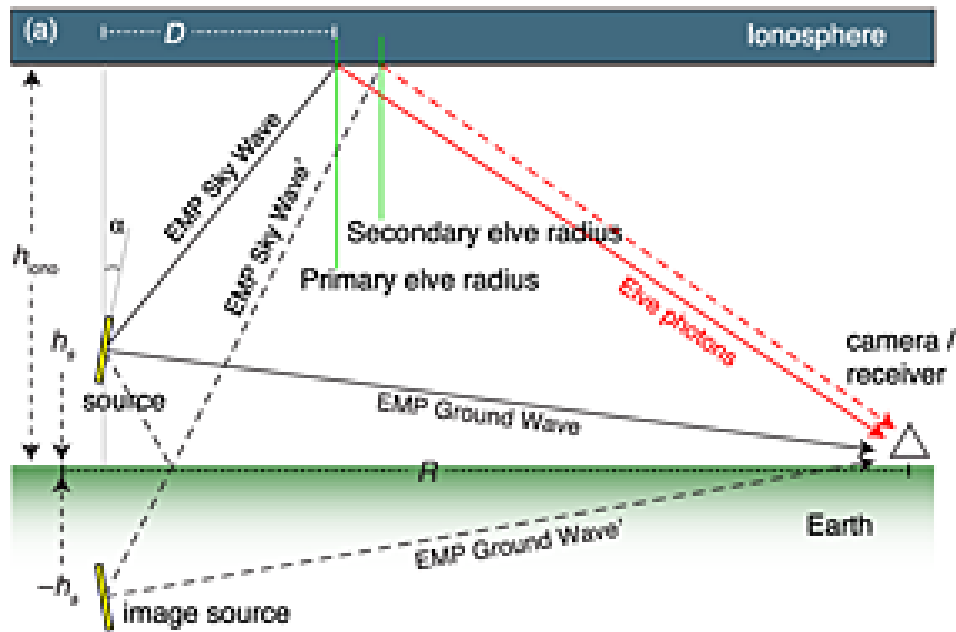
Географическое распределение событий

No	Date	Time (UTC)	Geographical coordinates (lat; long)	N_i	d , km	Polarity and peak current, kA
1	07.09.2016	09:51:35	-11.62; -161.69	8	163.6	+64.5
2	18.09.2016	22:06:48	9.66; 17.14	19	125.2	-135.1
3	18.10.2016	13:20:11	15.07; 149.26	1	218.3	-327.4
4	12.12.2016	15:20:20	-11.74; 115.30	9	137.2	+101.3
5	14.12.2016	01:55:08	-21.60; -44.78	5	217.3	-210.3
6	10.04.2017	13:06:59	-5.68; 148.404	20	90.7	-161.7
7	05.05.2017	17:23:10	-0.462; 84.791	9	243.5	-217.1
8	07.06.2017	19:29:38	17.181; 55.166	2	248	-171.7
9	14.06.2017	22:27:38	42.033; 14.909	7	165	-192.5
10	07.07.2017	15:13:12	7.794; 117.74	20	175.1	+132.4
11	04.08.2017	16:26:20	24.747; 101.527	5	96.6	-286.1
12	10.08.2017	10:42:09	-10.47; -177.163	7	275	+43.2
13	15.08.2017	14:49:24	-41.464; 115.897	1	92.4	-10.5
14	19.08.2017	17:31:58	-4.255; 81.087	4	389.2	-204.2
15	22.08.2017	05:03:24	21.698; -88.373	10	235.1	-120.2



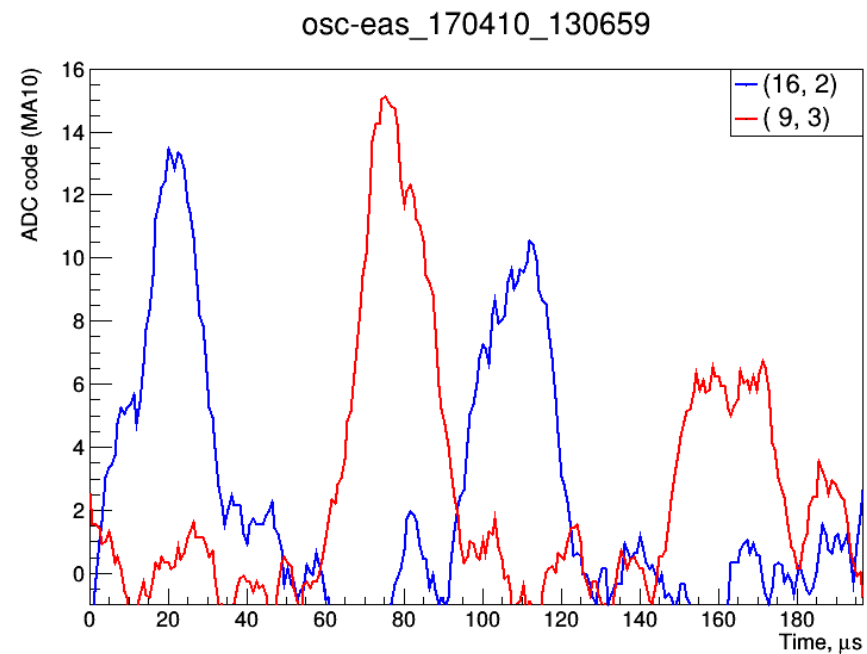
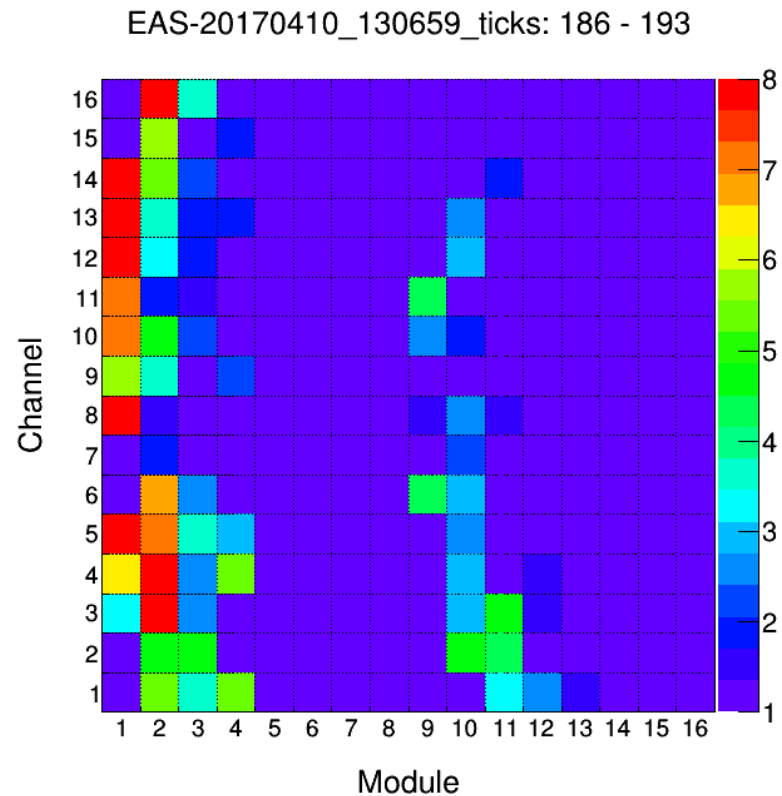
Chen et al. 2008

Elve doublets

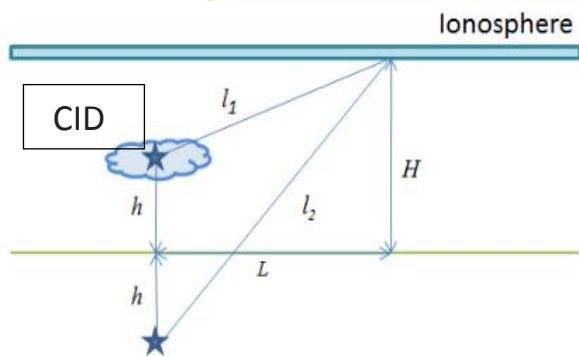
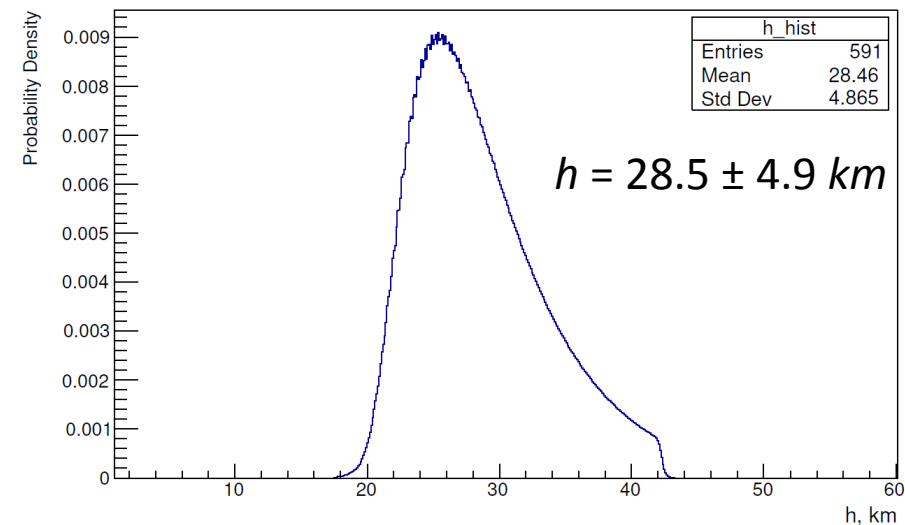
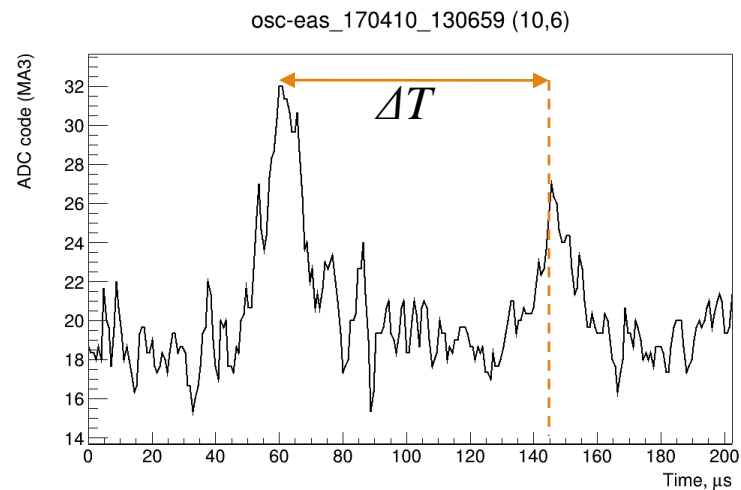
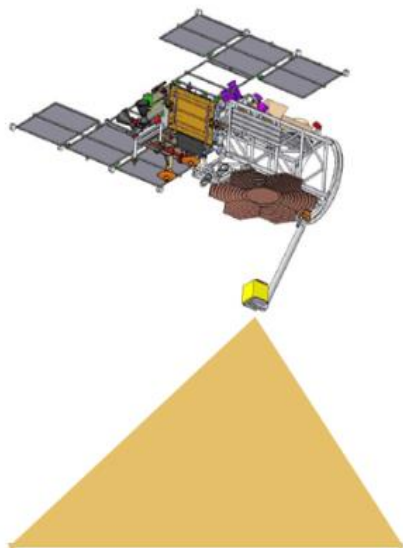


Marshall, R. A., C. L. da Silva, and V. P. Pasko (2015),
 Elve doublets and compact intracloud discharges, Geophys. Res. Lett., 42

Elve doublets. TUS data.

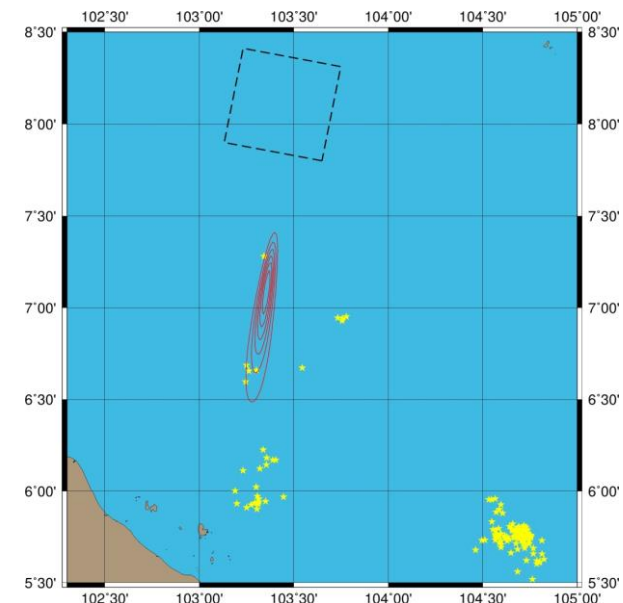


Определение высоты источника

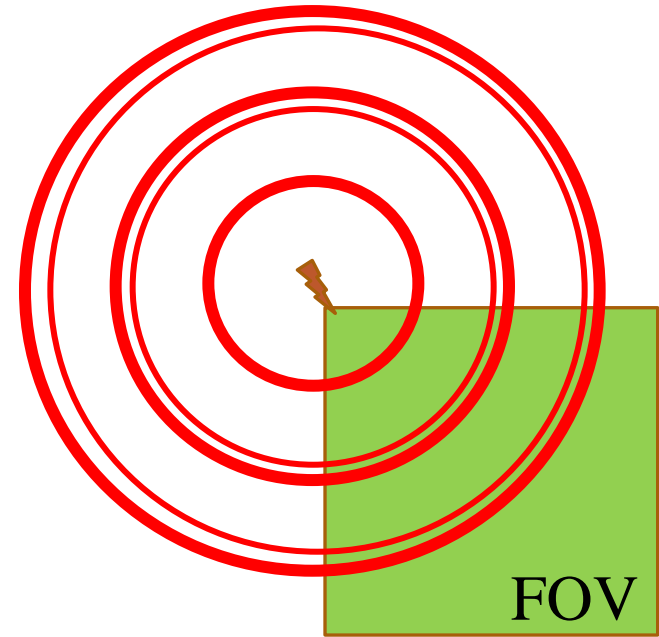
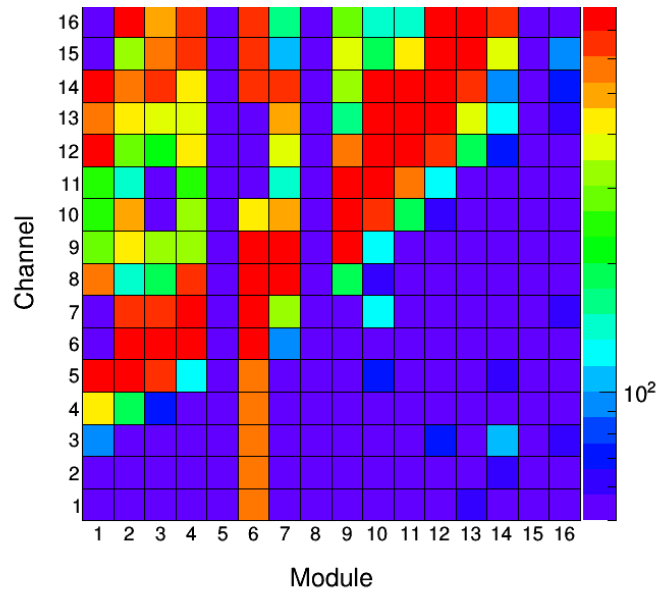
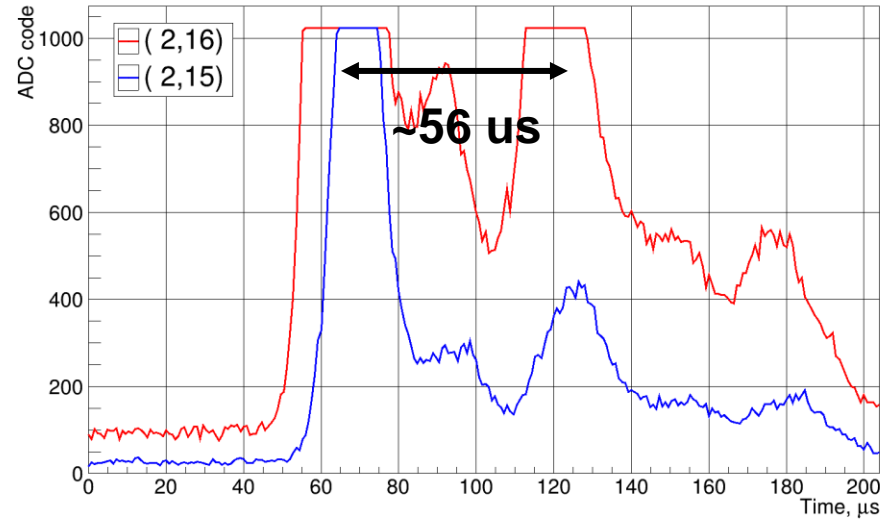
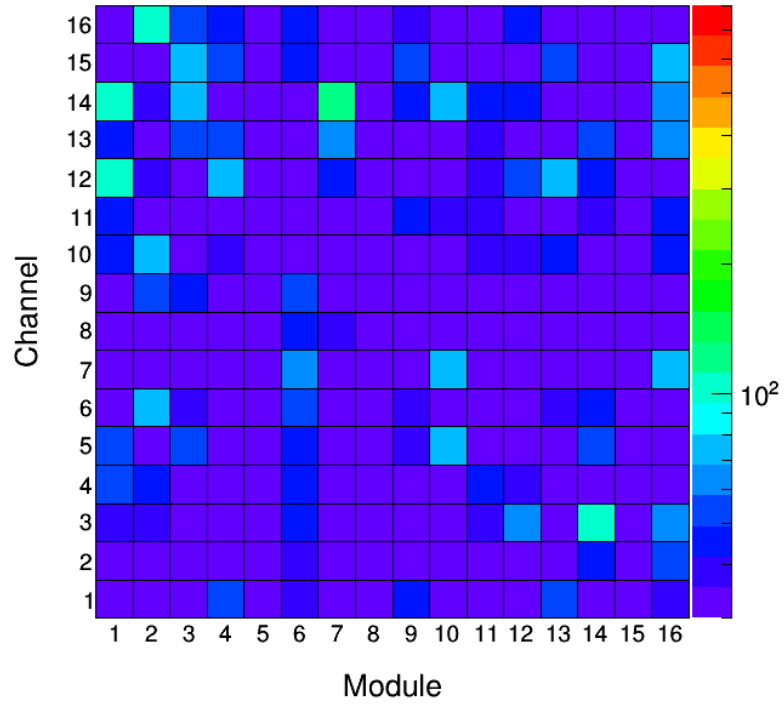


$$\Delta t = \frac{1}{c} \left(\sqrt{(H+h)^2 + L^2} - \sqrt{(H-h)^2 + L^2} \right)$$

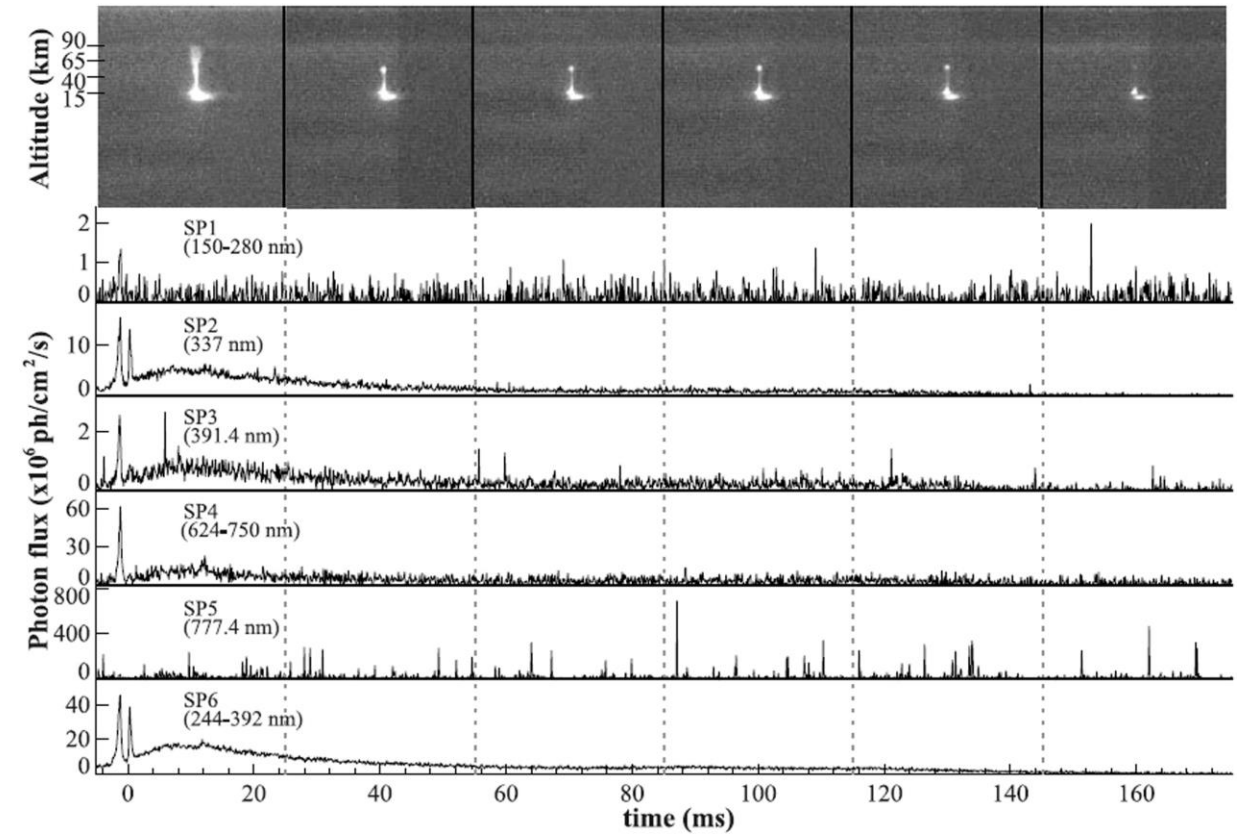
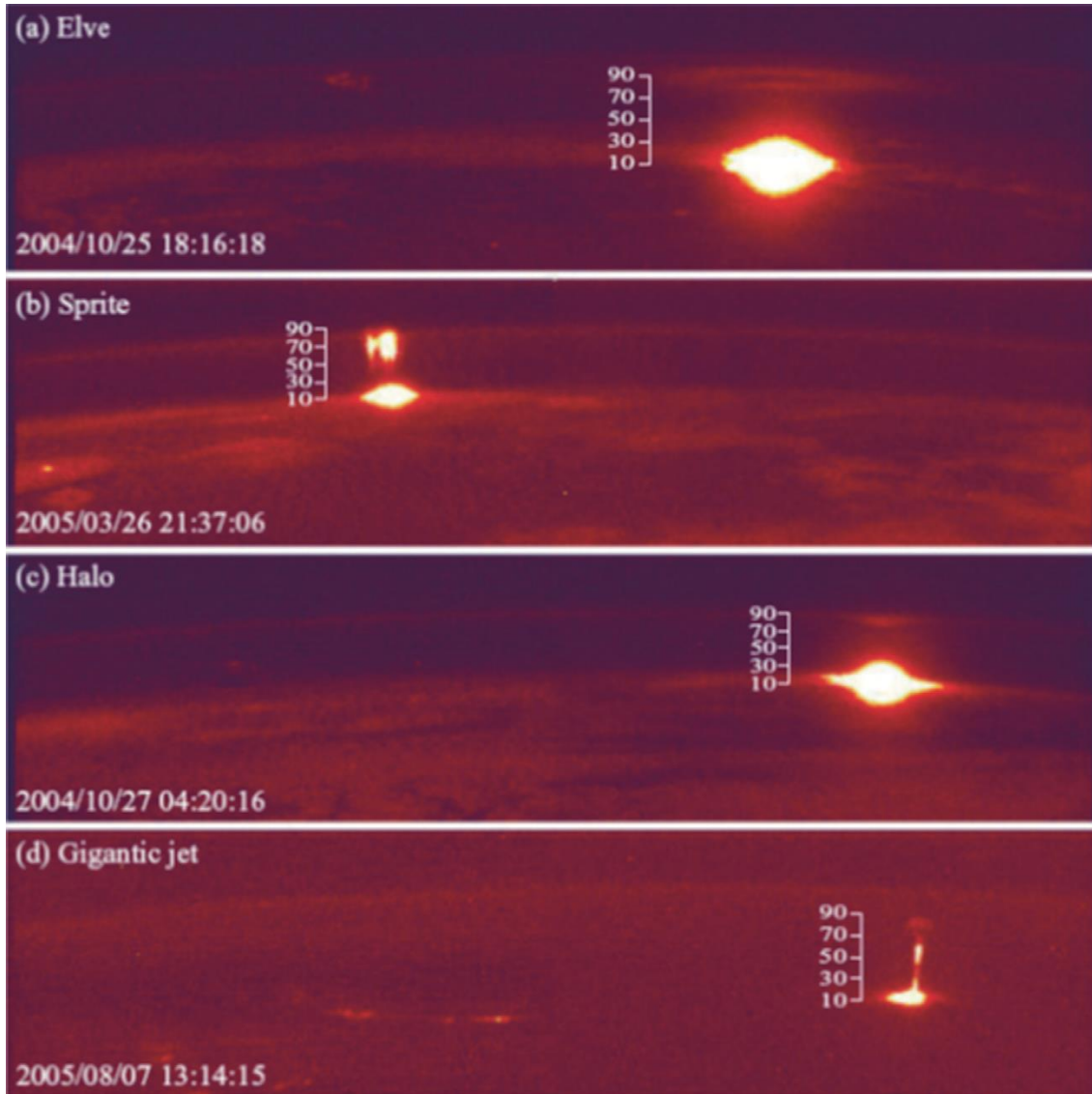
$$L = L(\text{lat}, \text{lon})$$



Многократный эльф

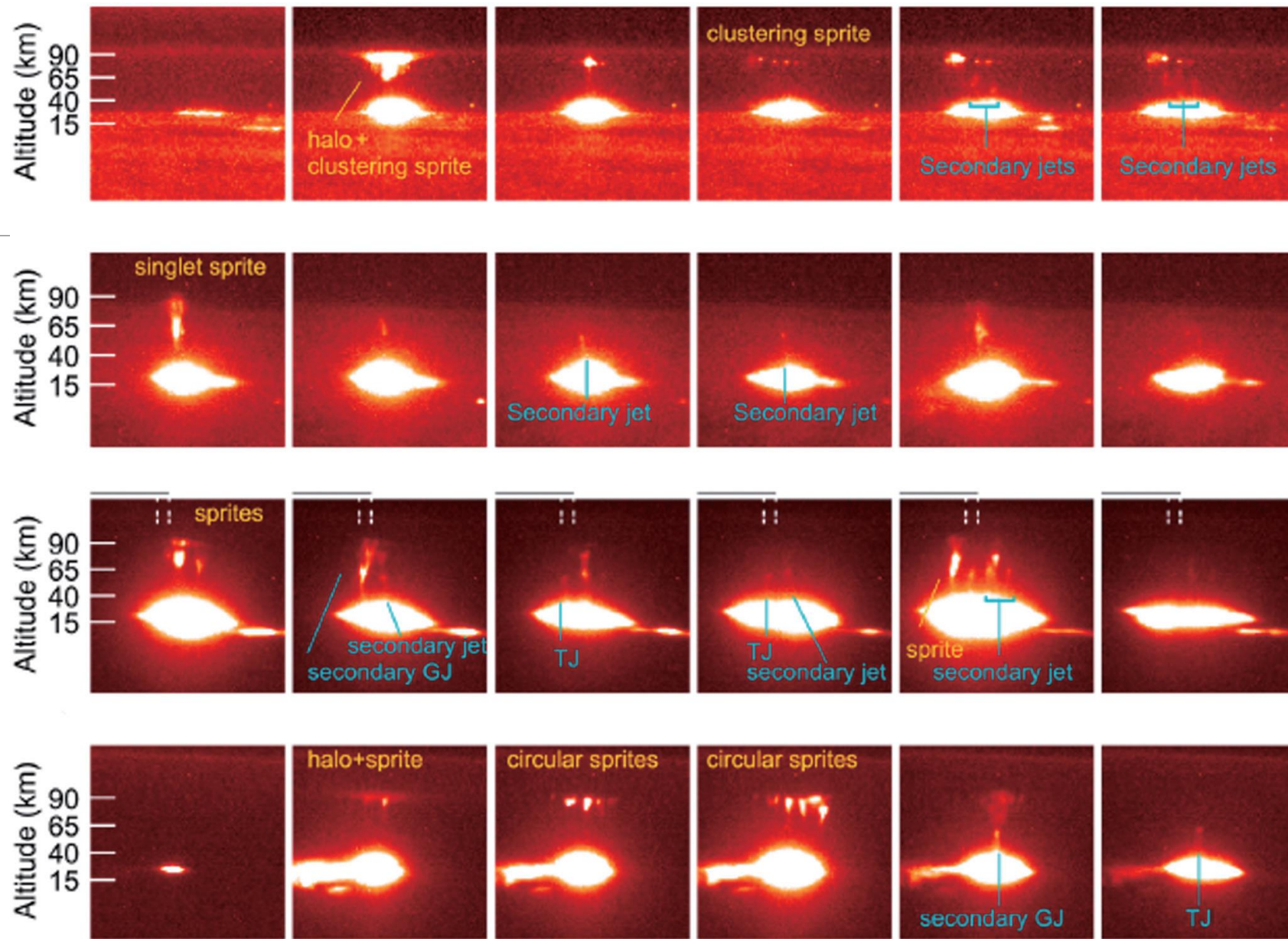


Примеры событий ISUAL разного типа

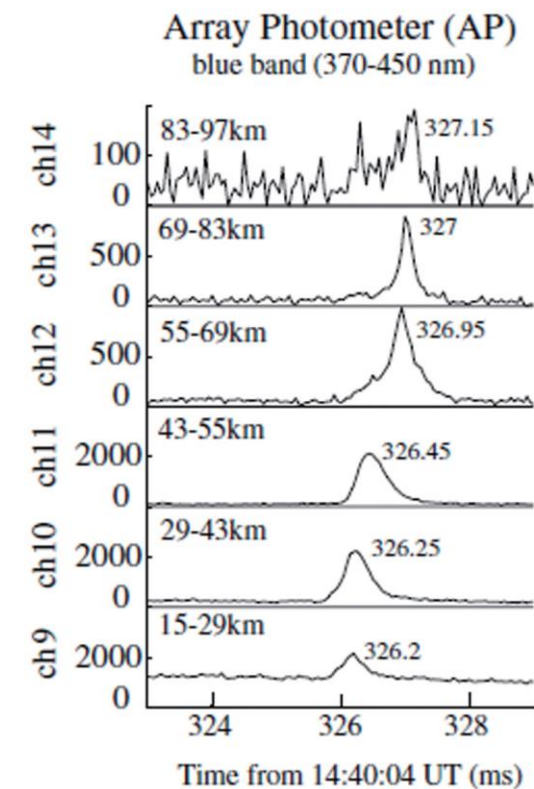
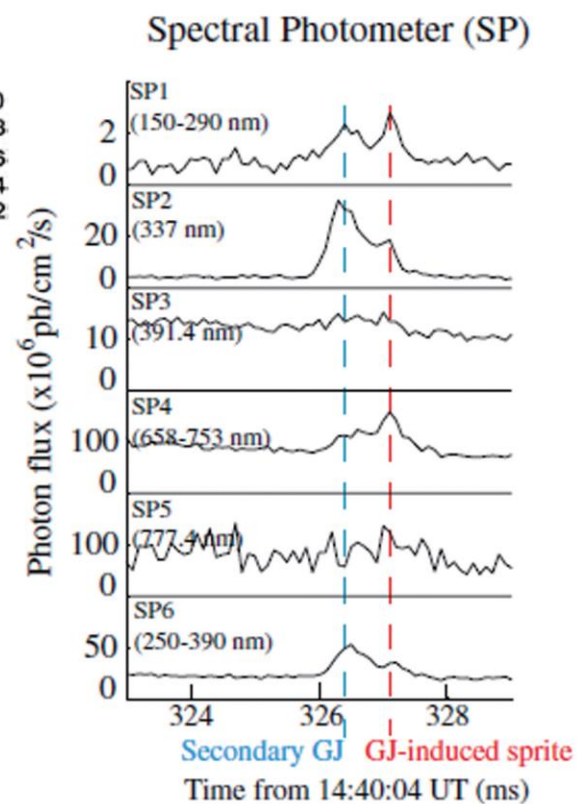
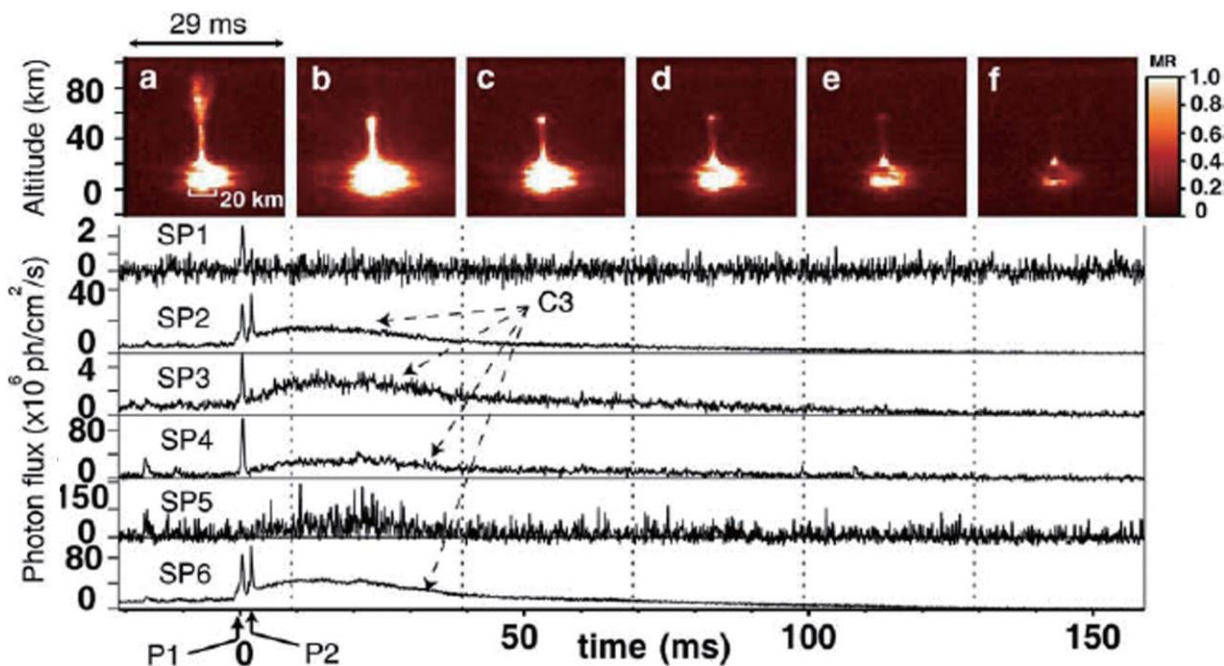
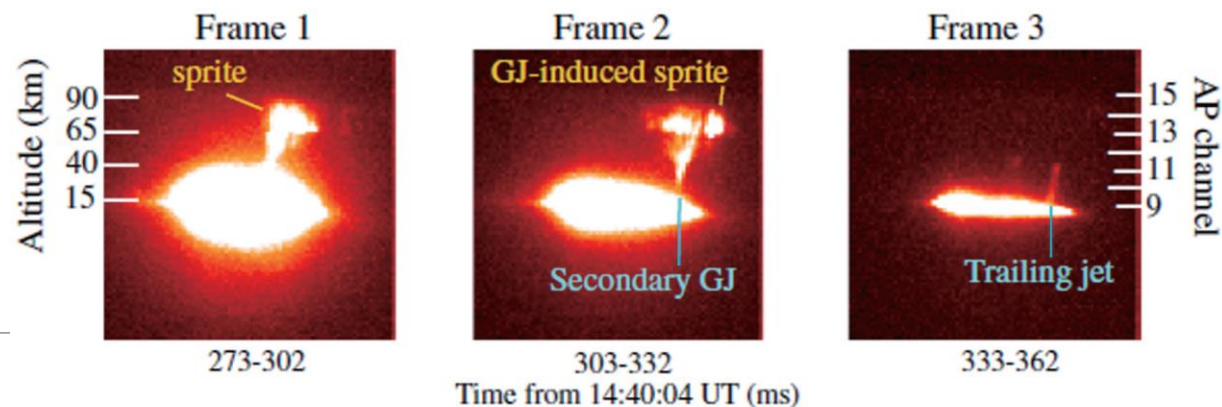


Terr. Atmos. Ocean. Sci., Vol. 28, No. 4, 525-544, August 2017

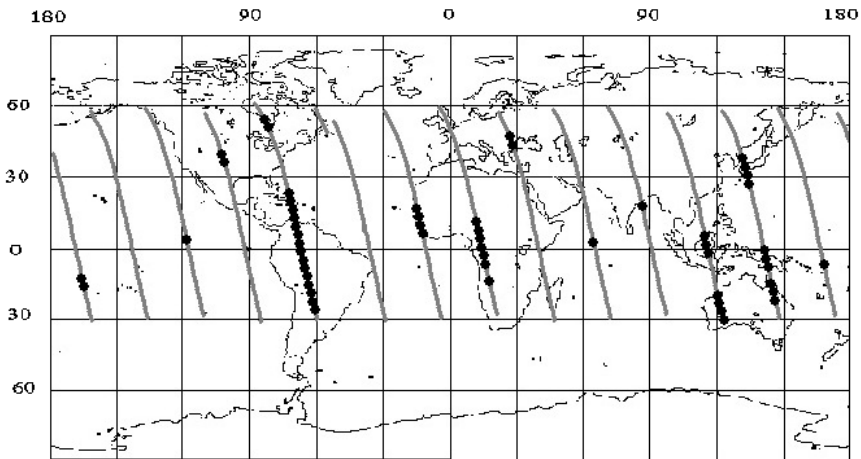
Серии TLE



Серии TLE

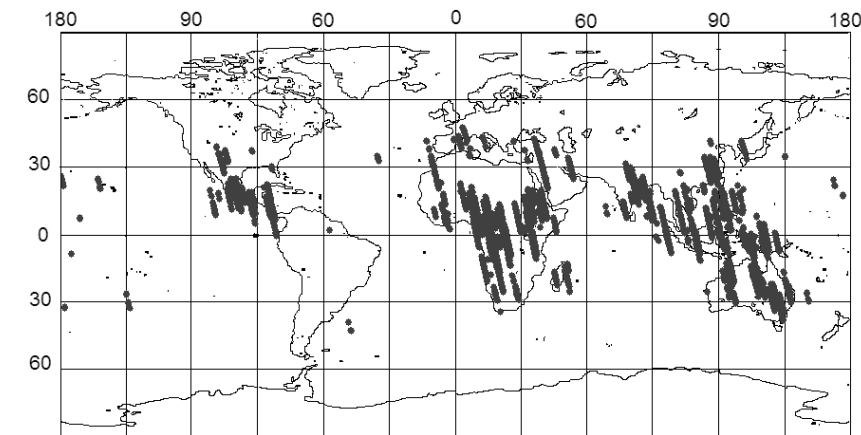


Серии вспышек на спутниках МГУ

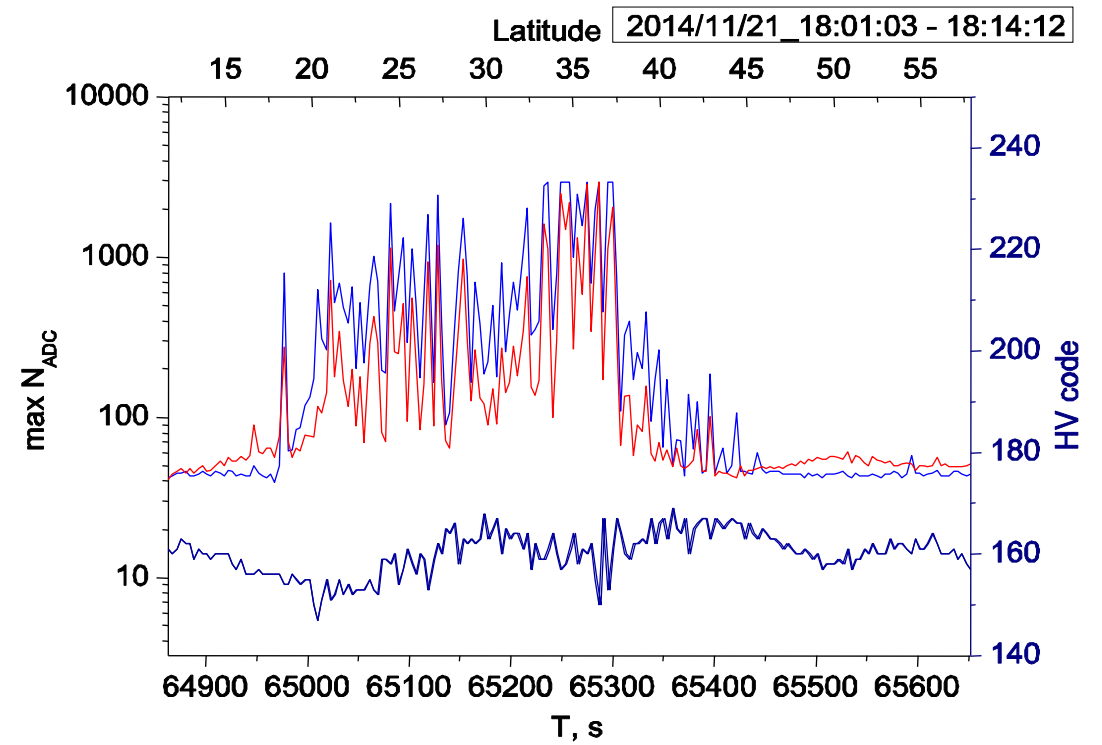


Пример данных измерения
за 1 день на спутнике
«Татьяна-2»

Серия УФ вспышек длительностью
более 400 с (>3000 км!)
Данные спутника «Вернов»

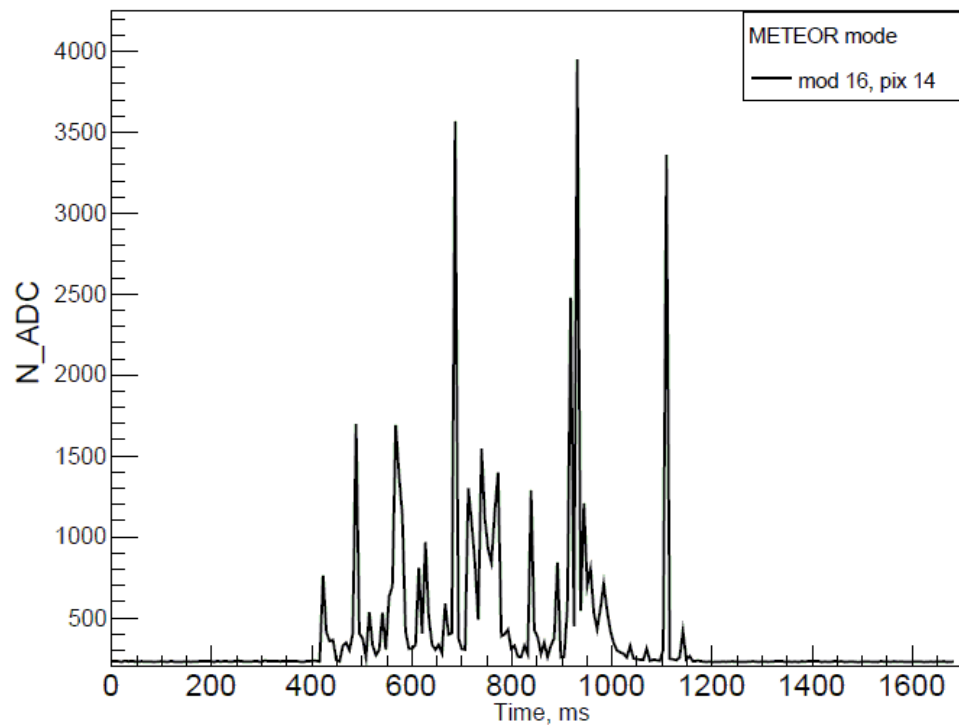


Серии вспышек измеренных
спутников «Вернов»



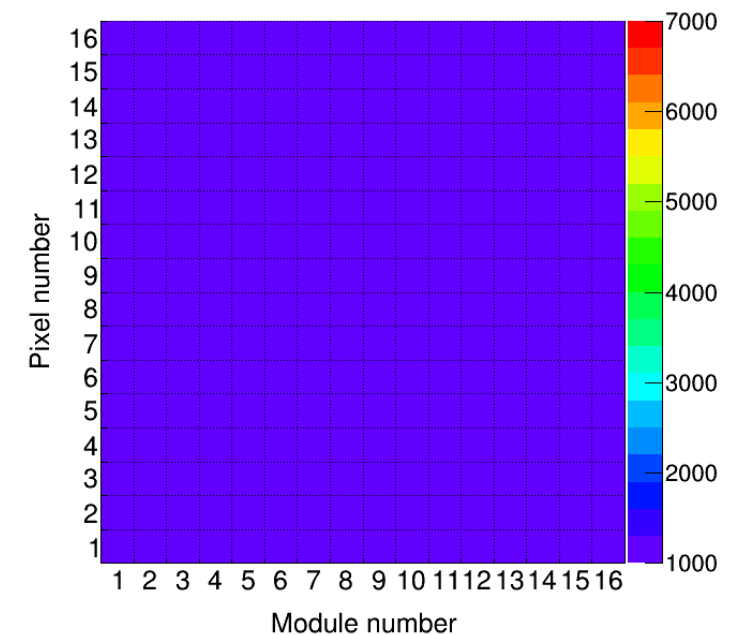
Измерение грозовой области детектором ТУС (временное разрешение 6.6 мс)

Digital Oscillogram



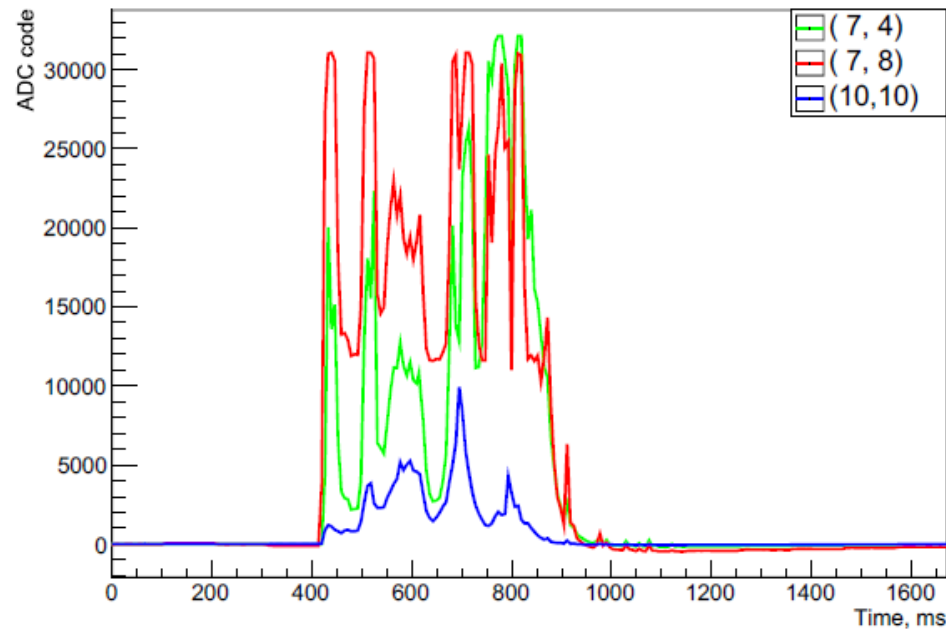
Короткие импульсы –
обратные удары молний*

eas-20170102_023937_frame: 100

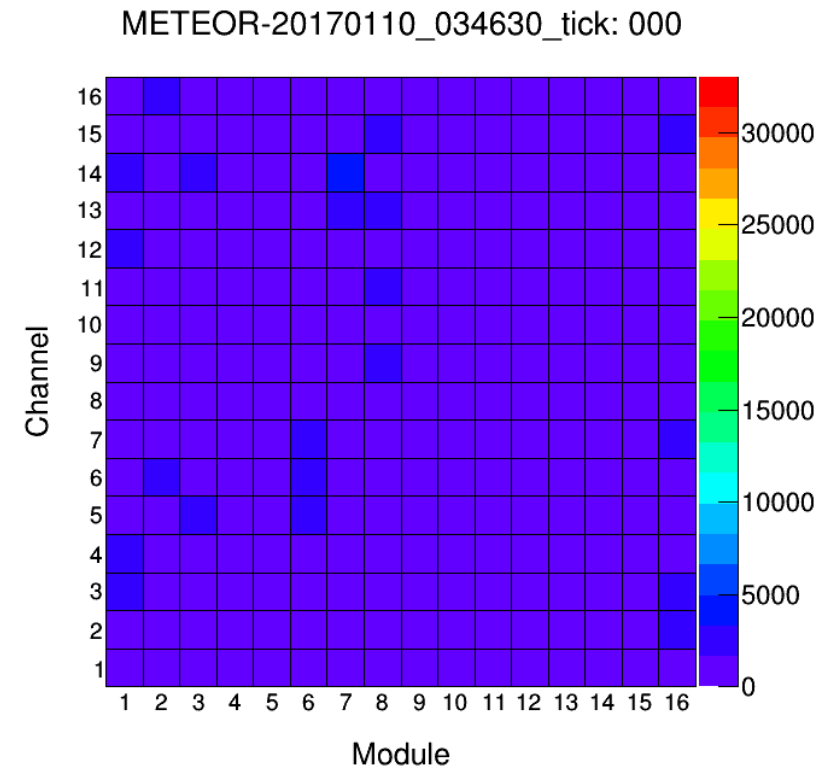


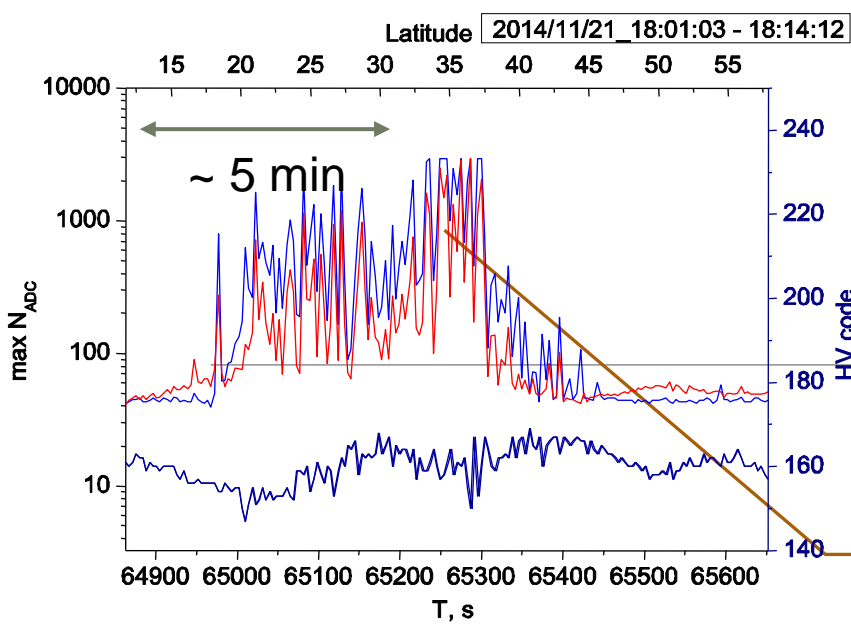
* Результат сравнения с данными сети Vaisala GLD360

Необычная серия вспышек

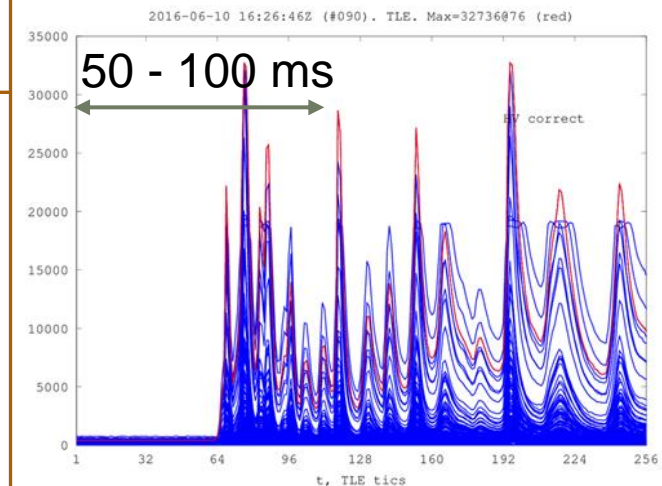
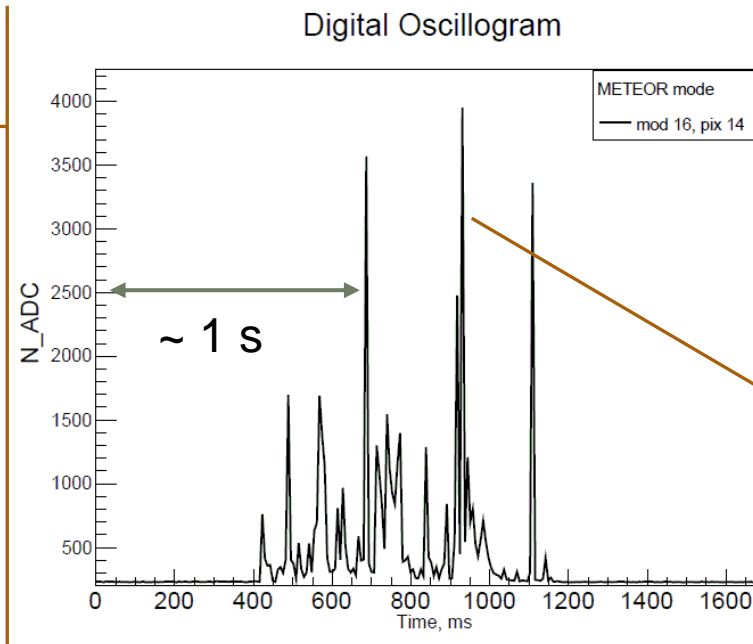


**No lightning in radius of 300 km
(Vaisala GLD360 data)!**





Серии вспышек в разных временных масштабах

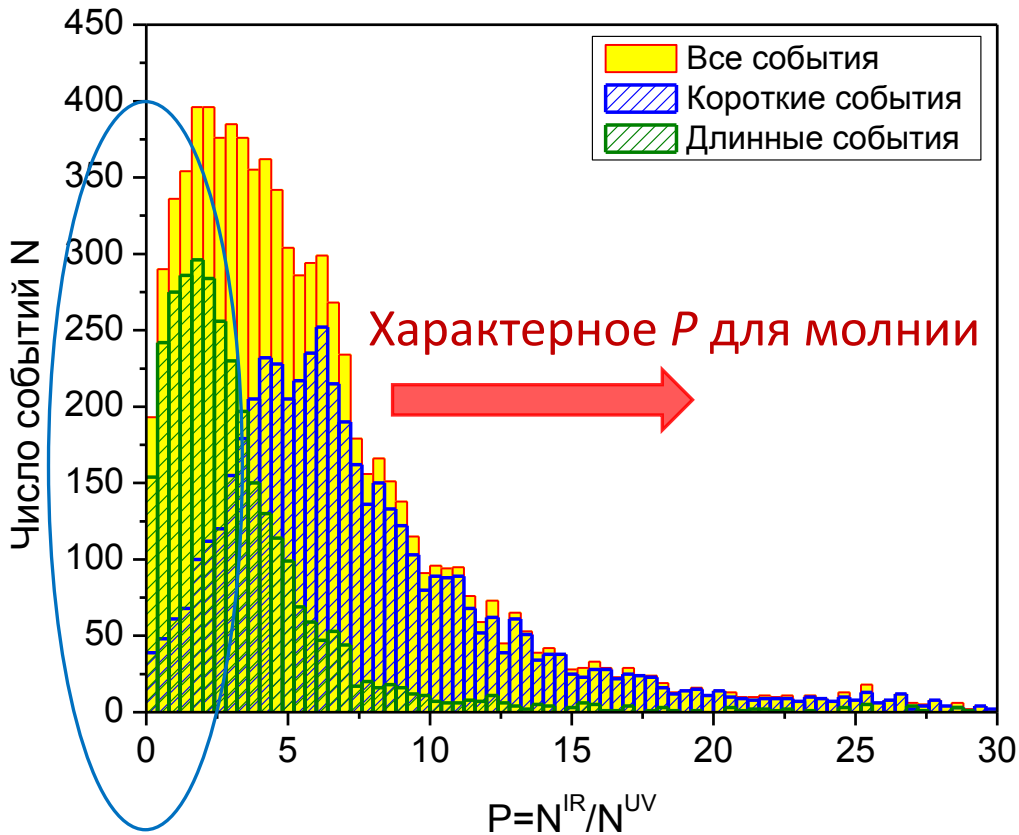


Интересно провести непрерывные наблюдения вдоль траектории спутника с высоким временным разрешением без триггера!

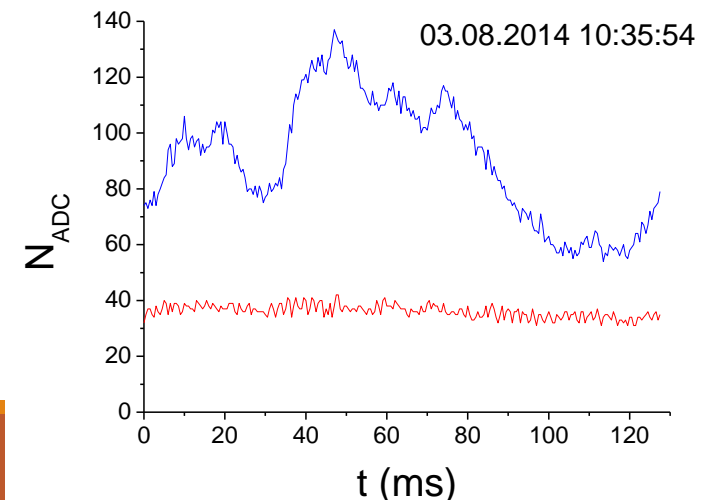
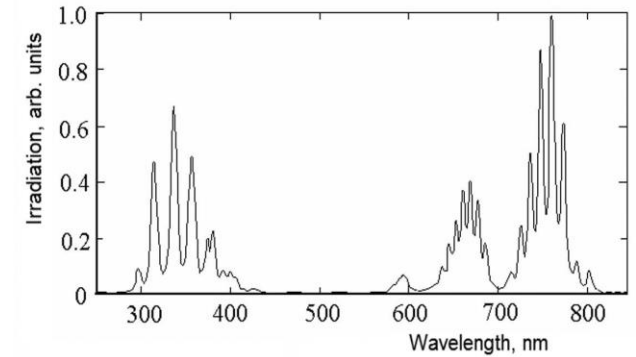
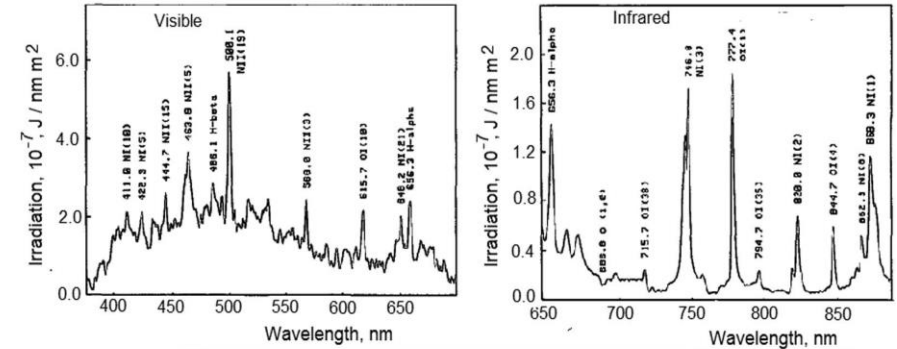
Спектральные характеристики

ВСПЫШЕК

Различие в спектрах излучения молний и ТАЯ (Orville, 1984 (верхний рис.) и Milikh et al. 1998) позволяет поставить задачу о разделении событий молний и ТАЯ.

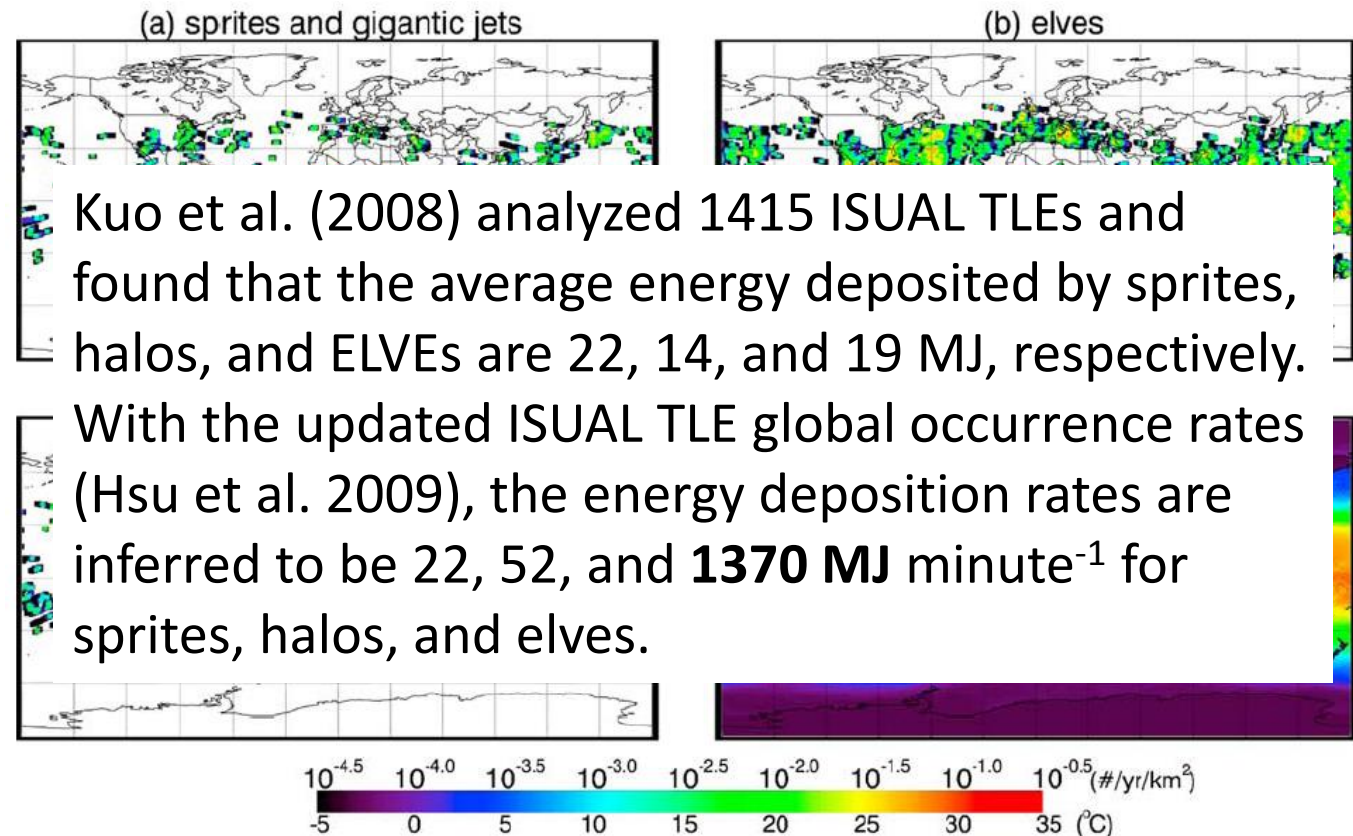


Отношение сигнала в краном и УФ каналах детектора на спутнике «Вернов»



Global distribution of TLEs and occurrence rates

- ✓ From the first four years (July 2004 - June 2008) of the ISUAL survey on the FORMOSAT-2 satellite, elves are found to be the most abundant type (**~80%**) of TLEs, whereas sprites and halos only combine to account for **~20%**, defying the impression gained from the ground TLE observation (Chen et al. 2008; Hsu et al. 2009).
- ✓ Among the TLEs, the distribution of sprites and halos closely resemble that of the CG lightning; while ~60% of elves were found to occur over the oceans.
- ✓ The ISUAL TLE observation rates for elves, sprites, halos and GJs are found to be 3.62, 0.47, 0.39, and 0.01 events per minute, respectively (Hsu et al. 2009).
- ✓ If take into account exposure and ISUAL thresholds the occurrence rate is **~70 events minute⁻¹**

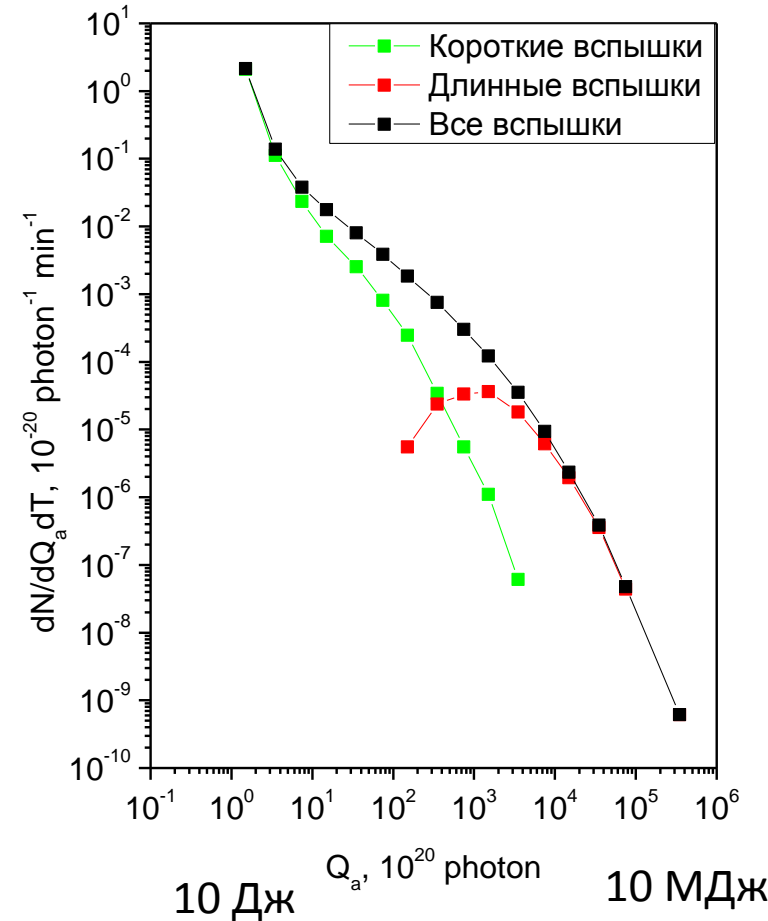
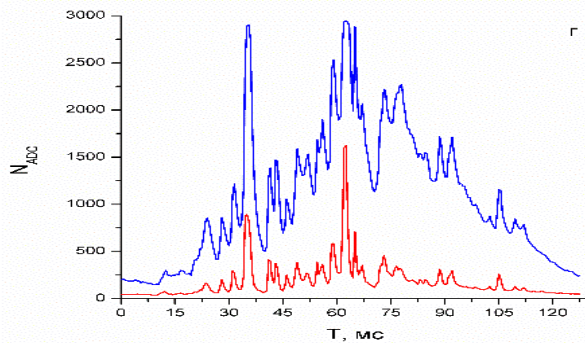


Распределение событий по числу фотонов (данные спутника Вернов)

Мерой энергии УФ вспышки является полное число фотонов:

$$Q_a = 4\pi H^2 \Omega \tau \frac{A}{M^B} \sum_{i=1}^{256} N_i,$$

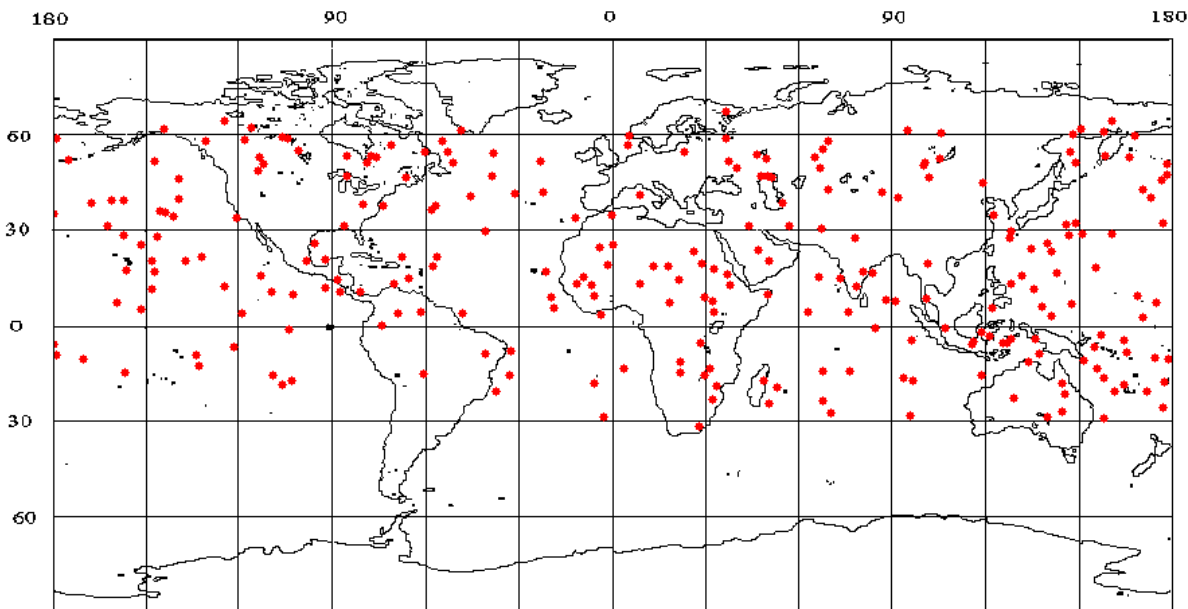
где H – высота орбиты спутника, Ω – телесный угол поля зрения детектора, τ – шаг АЦП по времени, M – код высокого напряжения на ФЭУ, N – код АЦП, A , B – калибровочные коэффициенты.



Распределение УФ вспышек по числу фотонов по данным спутника «Вернов» с учетом времени экспозиции (короткие события – с длительностью менее 3 мс).

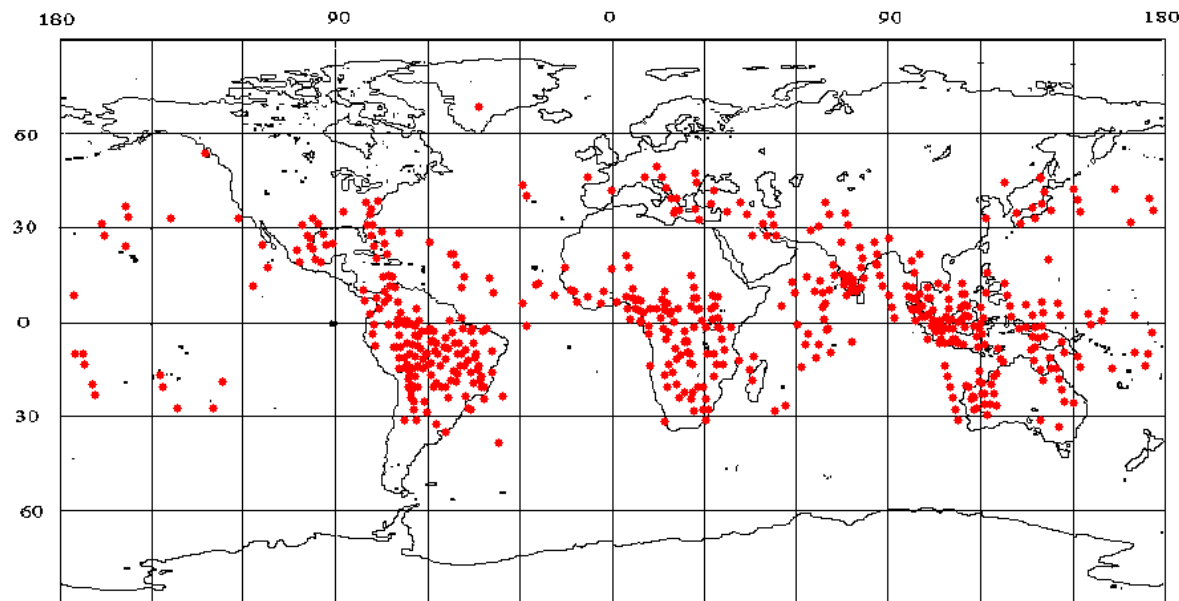
***Без учета диаграммы направленности детектора.**

Различие в географическом распределении событий низких и высоких энергий по данным спутника «Татьяна-2»



Географическое распределение вспышек с энергией за 1 мс больше 3кДж.

Географическое распределение с энергией за 1 мс меньше 1 кДж.



Необычные вспышки вне грозовых областей

Charman W., Jelley J. A search for pulses of fluorescence produced by supernovae in the upper atmosphere // Journal of Physics A: General Physics. 1972. vol. 5(5). p. 773-780.

Ogelman H. Millisecond time scale atmospheric light pulses associated with solar and magnetospheric activity // J. Geophys. Res. 1973. vol. 78, № 16. p. 3033-3039.

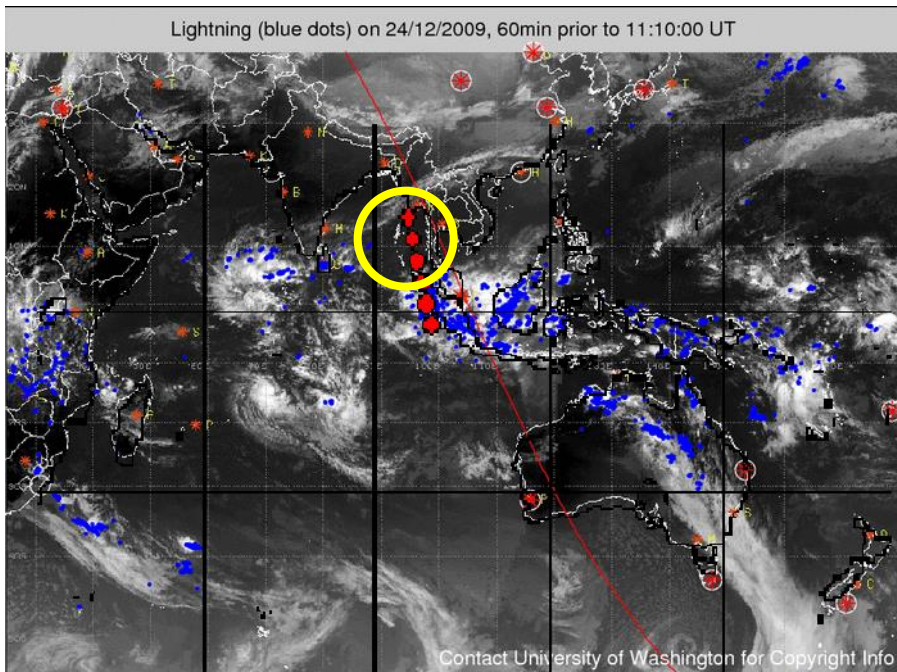
Nemzek R., Winckler J. Observation and interpretation of fast sub-visual light pulses from the night sky // Geophysical Research Letters. 1989. vol. 16 (9). p. 1015-1018.

А.В. Михалев, А.Б. Белецкий. Характеристики оптических вспышек в излучении ночной атмосферы по данным мультиспектральных фотометрических и телевизионных наблюдений // "Оптика атмосферы и океана", 2000, Т.13, N4, с.338-341.

Yair, Y., et al. (2005), Space shuttle observation of an unusual transient atmospheric emission, Geophys. Res. Lett., 32, L02801, doi:[10.1029/2004GL021551](https://doi.org/10.1029/2004GL021551).

YANG Jing, LU Gaopeng, DU Jian, PAN Weilin, 2014: Ground-Based Observations of Unusual Atmospheric Light Emissions. J. Meteor. Res., 28(4), 624-633, doi: 10.1007/s13351-014-3086-7

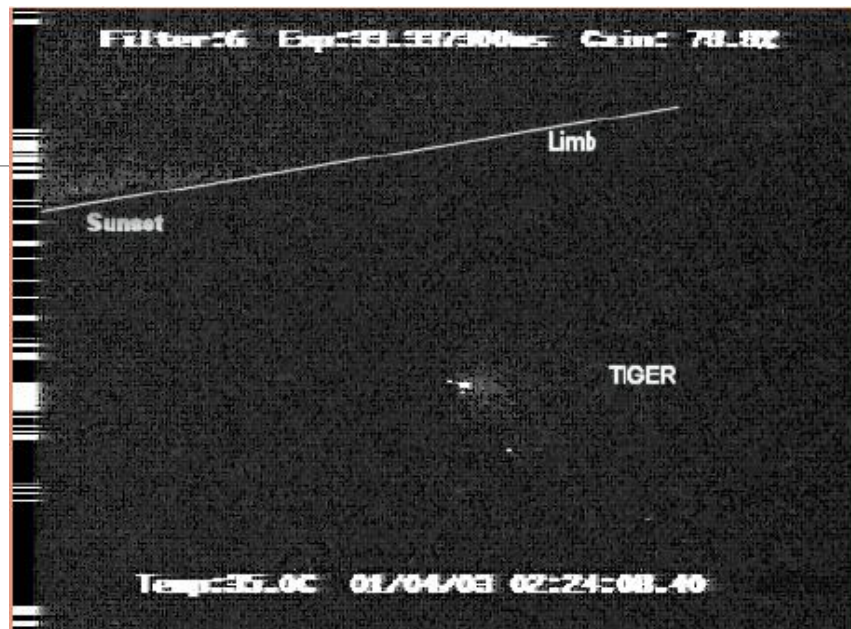
Необычные вспышки вне грозовых областей



«Татьяна-2»

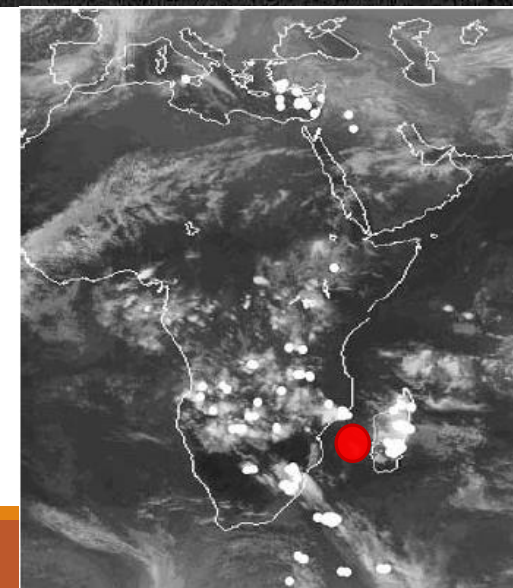
Garipov et al., JGR, 2013

doi:10.1029/2012JD017501



YAIR ET AL.: Space shuttle observation of an unusual transient atmospheric emission GRL, VOL. 32, L02801, doi:10.1029/2004GL021551, 2005

MEIDEX sprite Campaign, 2003) unusual transient event above Indian ocean – TIGER (Transient Ionospheric Glow Emission in Red). Nearest lightning – 0.23s before the event, distance > 1000 km



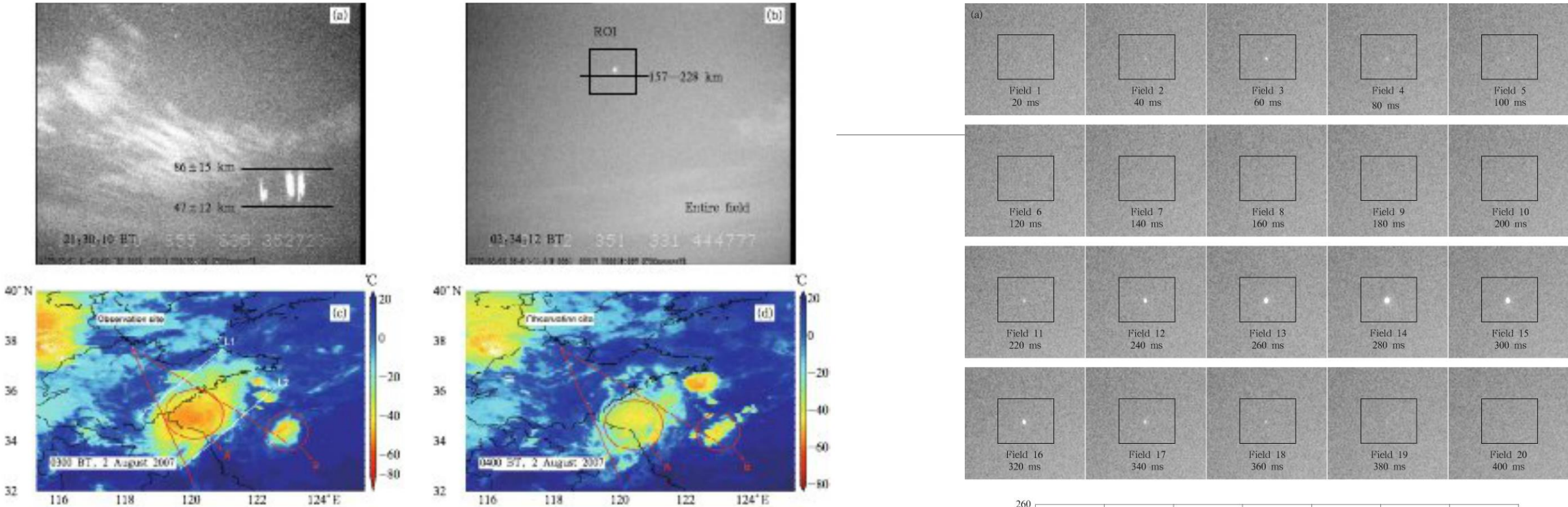
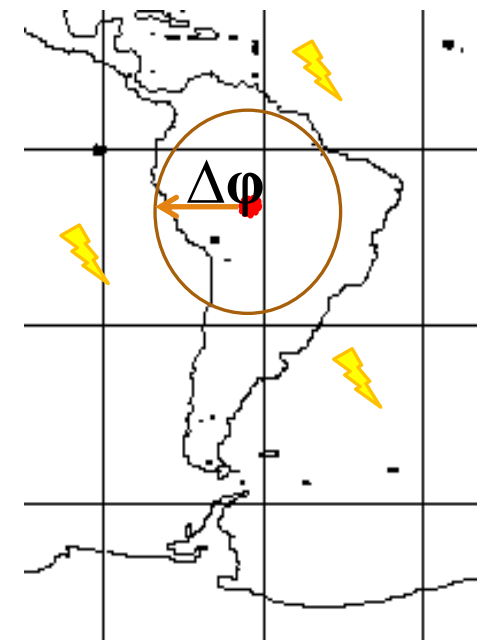


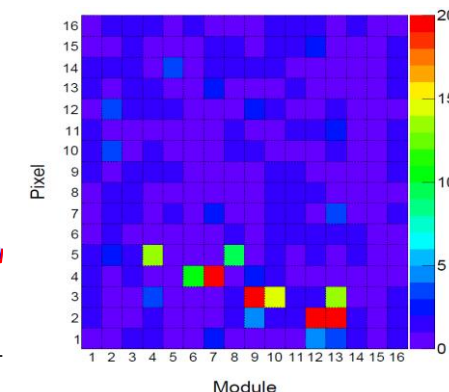
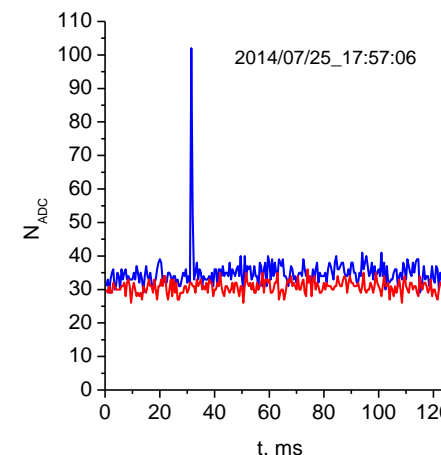
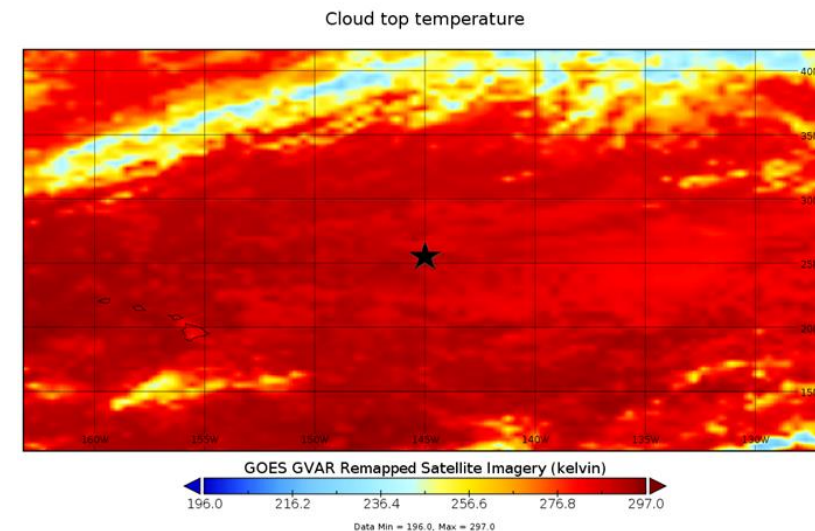
Table 1. Characteristics of four spot-like events

Time (BT) (hh:mm:ss)	Date	Estimated height (km)		Size of the event (km ²)		Size of the event (maximum illuminated pixels)	Duration (ms)
		Storm A	Storm B	Storm A	Storm B		
03:34:12	2 August 2007	157-228		36 × 39-51 × 56		51	400
03:05:38	20 July 2010	68-93	194-275	6 × 8-8 × 11	16 × 22-22 × 31	22	180
03:05:54	20 July 2010	70-96	200-283	8 × 10-11 × 14	24 × 30-33 × 41	40	160
03:23:48	25 July 2010	146-278		28 × 16-54 × 31		45	60

Отбор внегрозовых событий в данных спутника «Вернов»

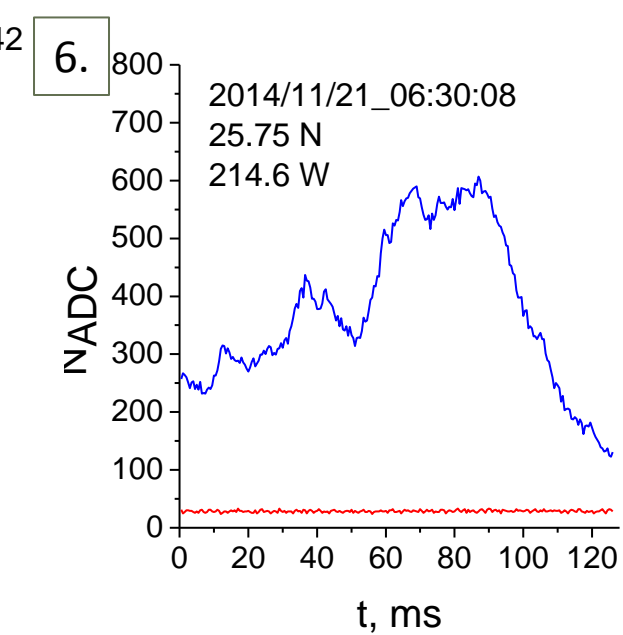
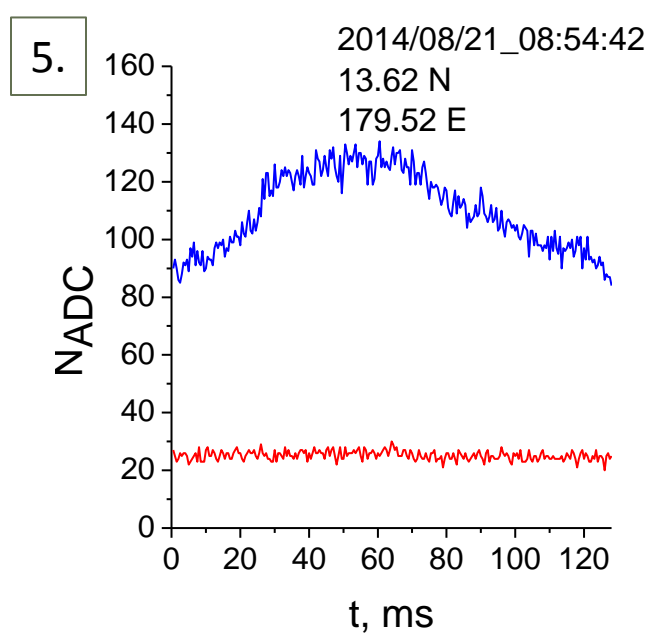
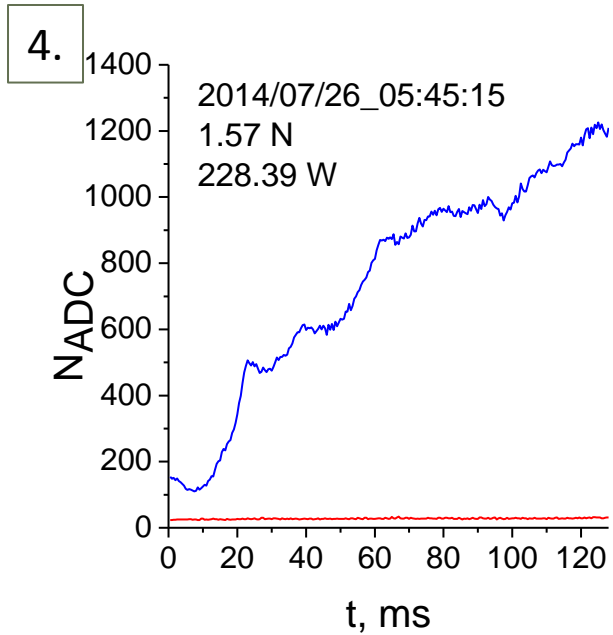
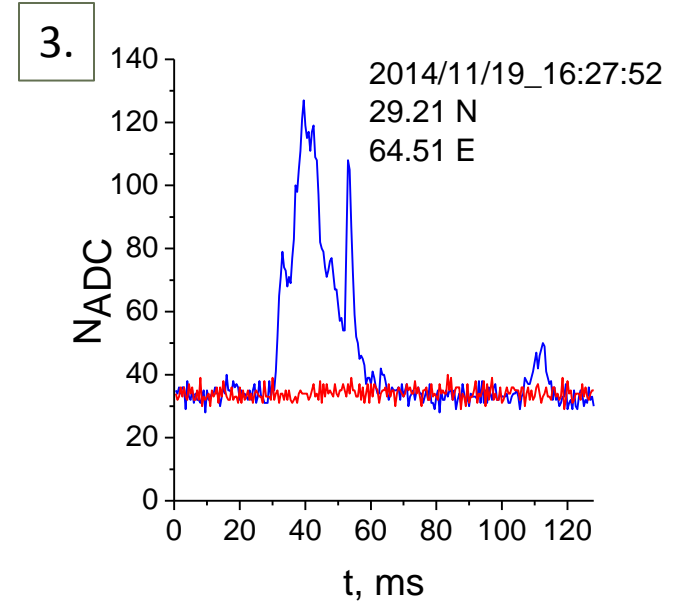
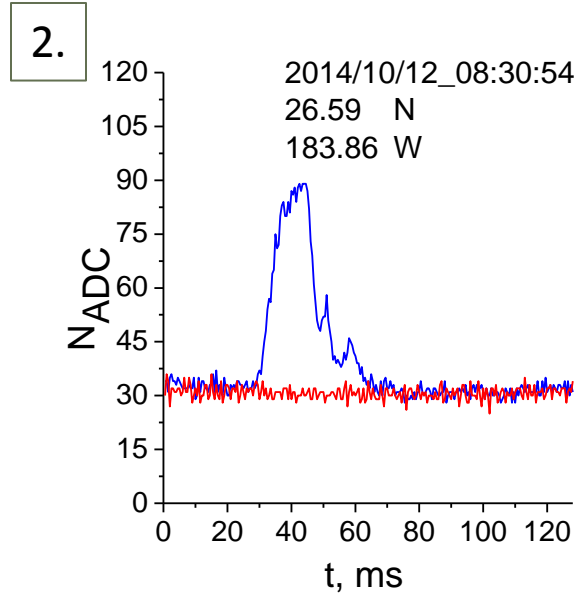
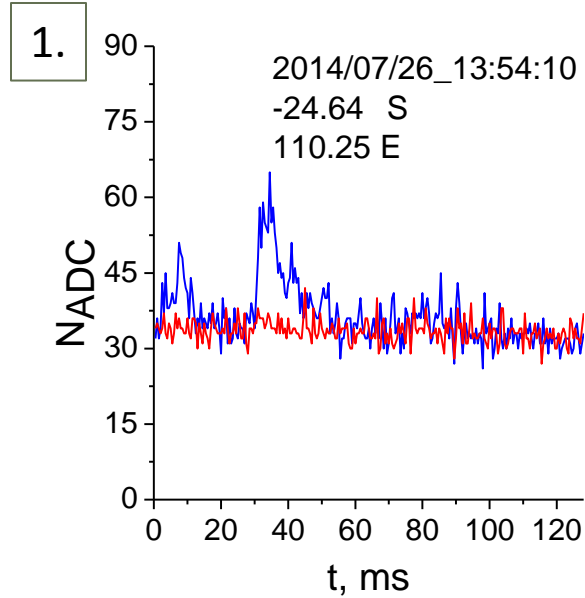


1. Анализ грозовой активности: сравнение с наземными сетями регистрации молний WWLLN, Vaisala GLD360
 - ✓ $\Delta\phi = 10^\circ$ (~1000 km!)
 - ✓ $\Delta t = \pm 30$ min.
2. Анализ облачного покрова в поле зрения детектора
3. Анализ спектрального состава излучения (с целью исключить события с большой долей сигнала в красном канале (молнии))
4. Анализ временной структуры сигнала (с целью исключить приборные эффекты)



P. A. Klimov *et al.*, "UV Transient Atmospheric Events Observed Far From Thunderstorms by the Vernov Satellite," in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 15, no. 8, pp. 1139-1143, Aug. 2018. doi: 10.1109/LGRS.2018.2830656

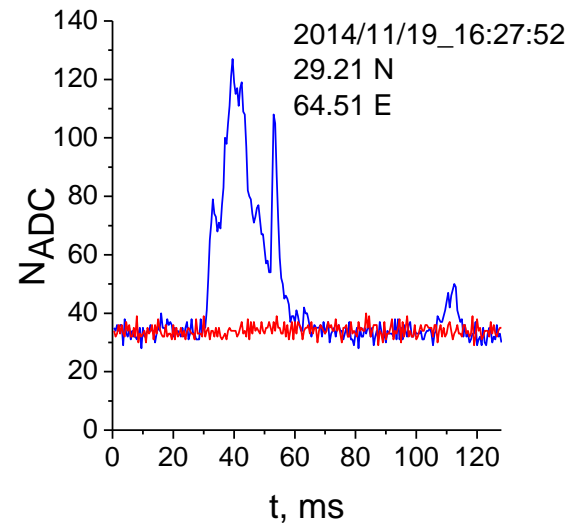
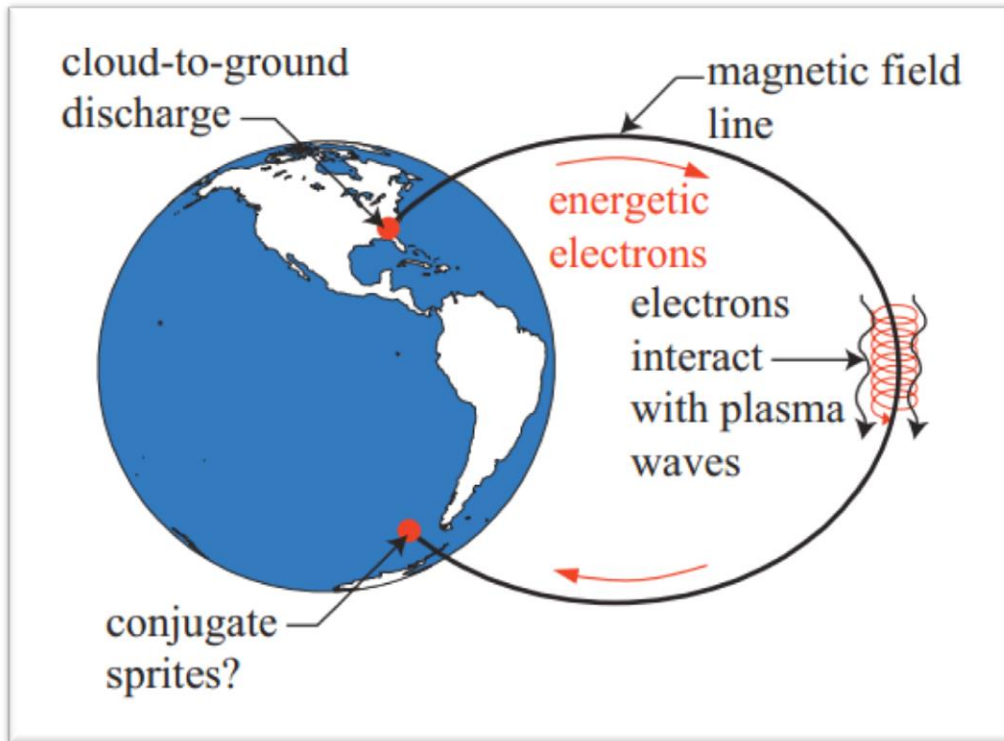
Внегрозовые события в данных спутника «Вернов»



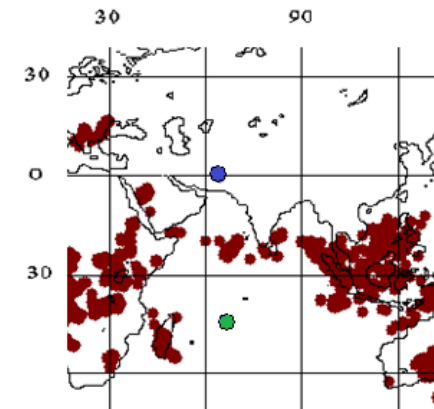
Проверка грозовой активности в сопряженной точке геомагнитного поля

Гипотеза связи TLE и молнии в магнитосопряженных точках [Lehtinen, 2001]

Нет молний и в сопряженной точке для УФ вспышек на спутнике «Вернов»!

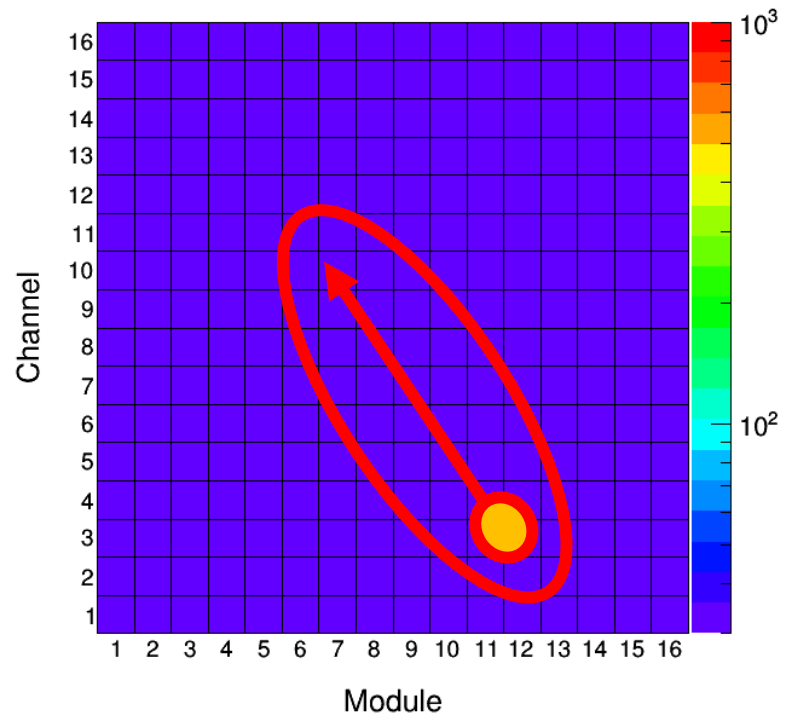


- УФ вспышка
- Сопряженная точка

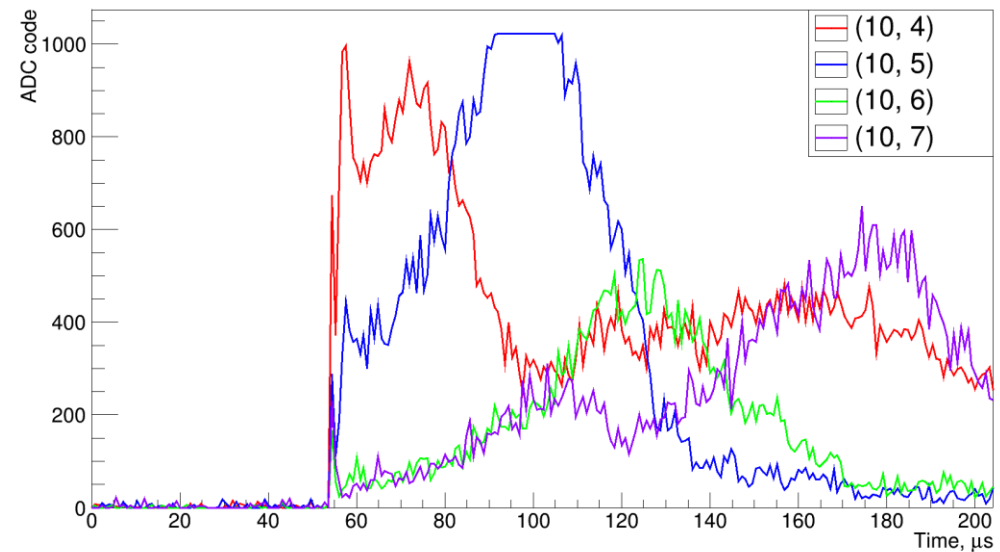


Примеры «загадок» в данных спутника Ломоносов

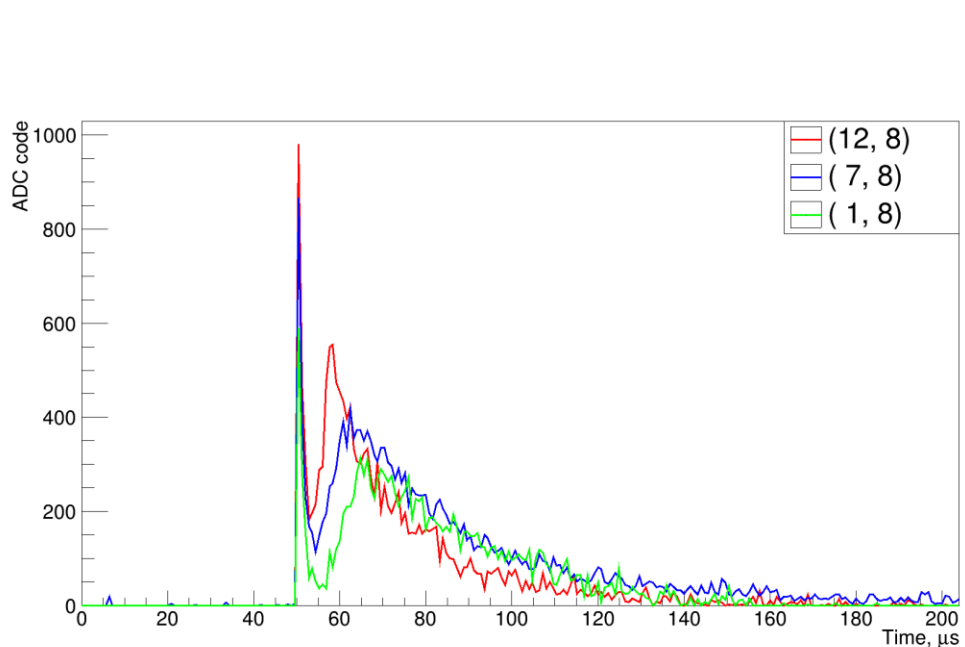
EAS-20160905_230528_tick: 050



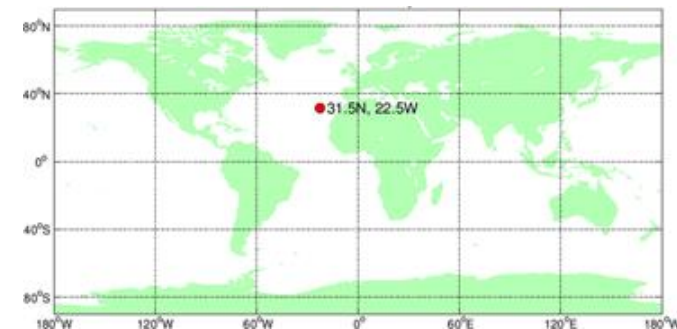
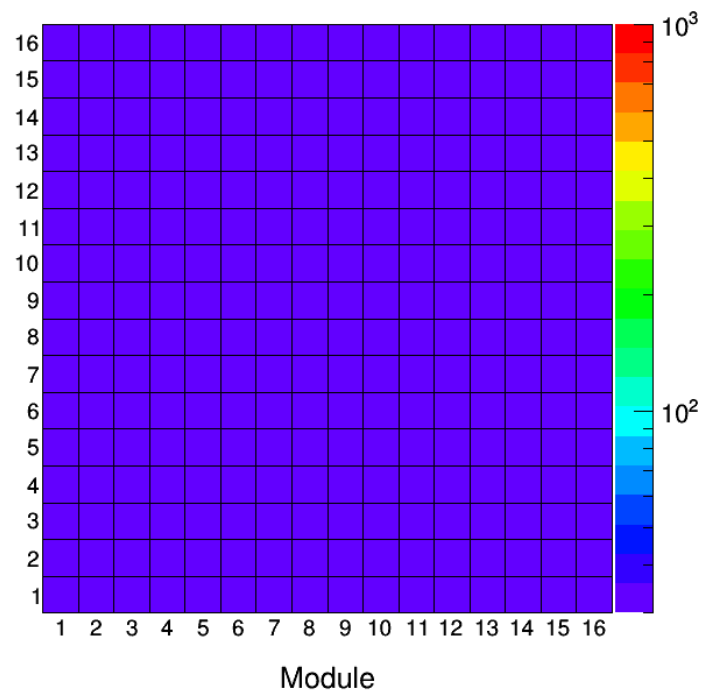
Мощная вспышка над Средиземным морем в отсутствие грозовой активности



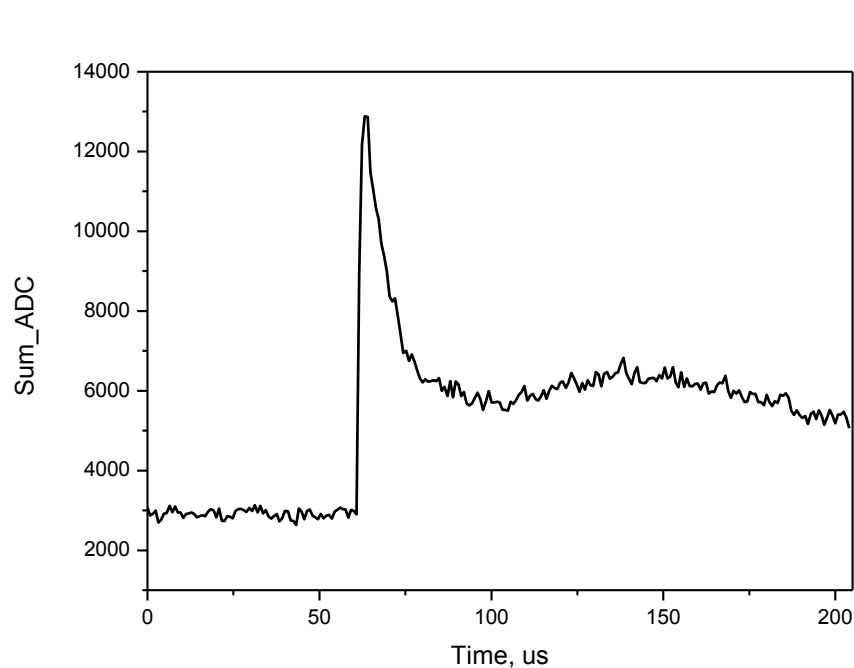
Внегрозовое событие над Атлантическим океаном



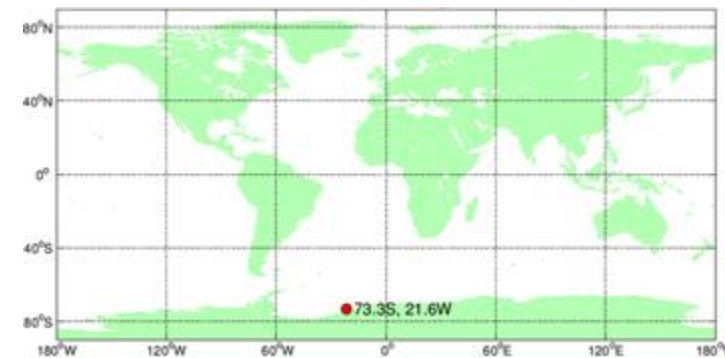
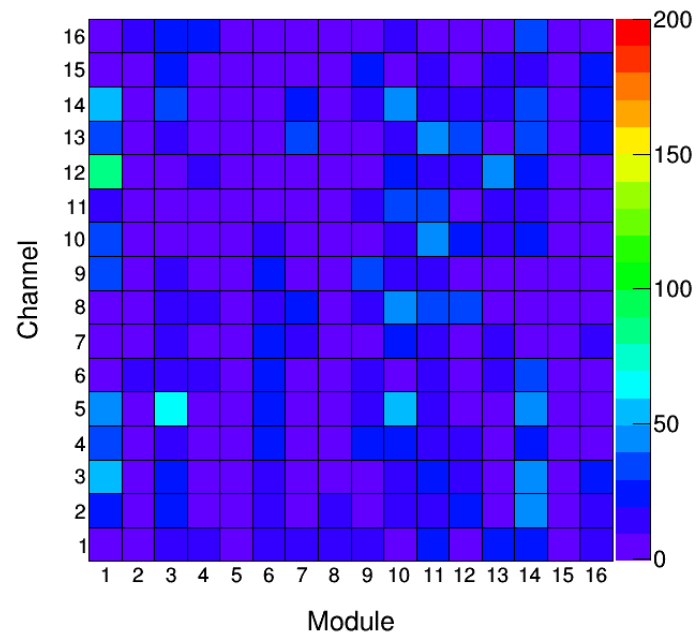
EAS-20170728_004707_tick: 050



Вспышка над Антарктидой



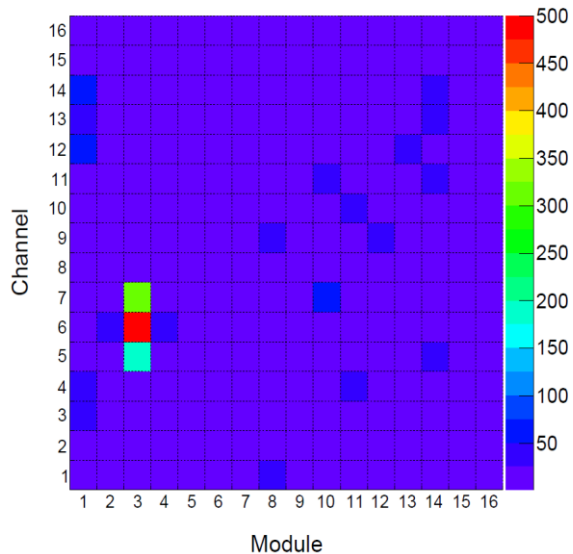
EAS-20170729_224551_tick: 050



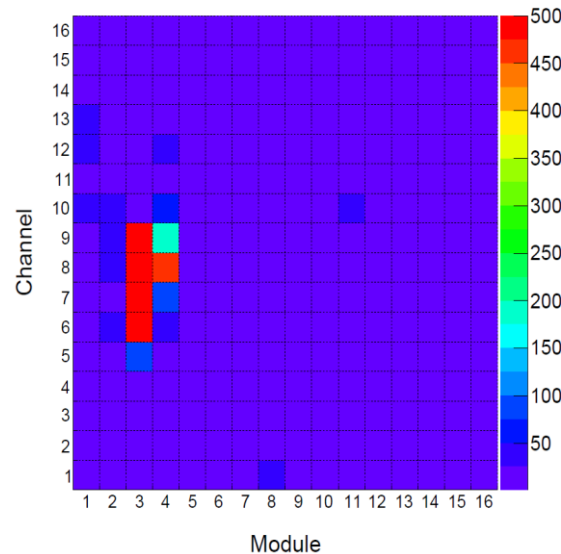
Есть молния в сопряженной точке
геомагнитного поля (данные
Vaisala GLD360)!

Над Индийским океаном

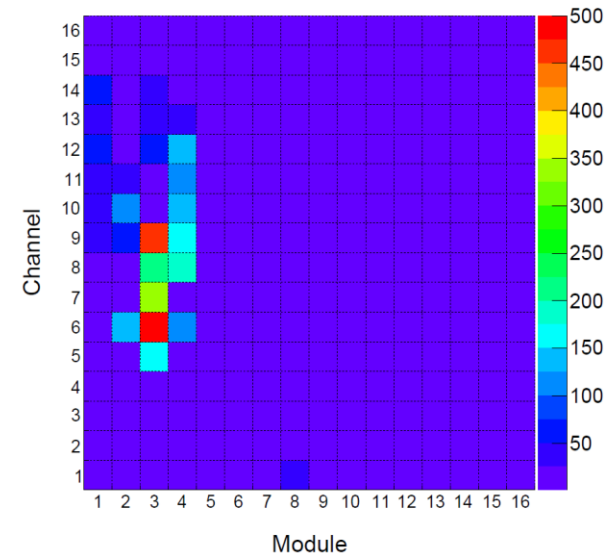
EAS-20170426_151956_tick: 070



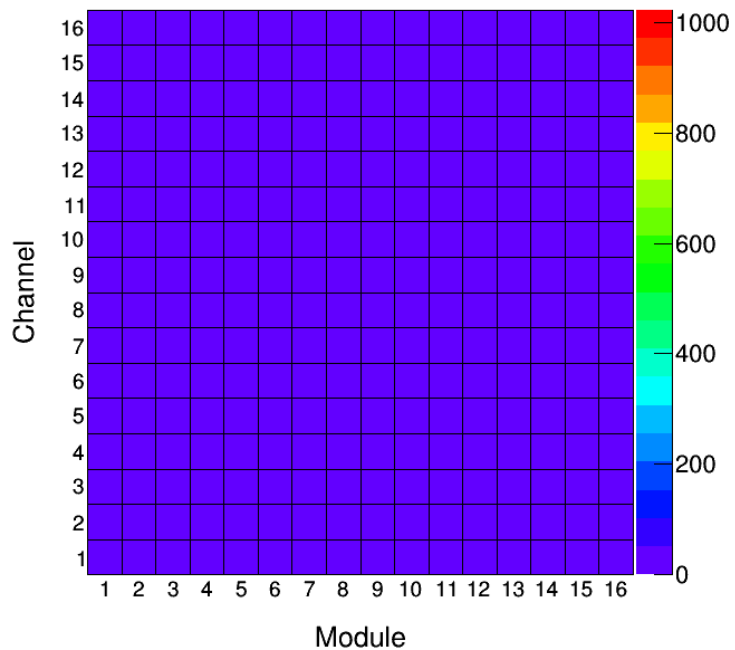
EAS-20170426_151956_tick: 140



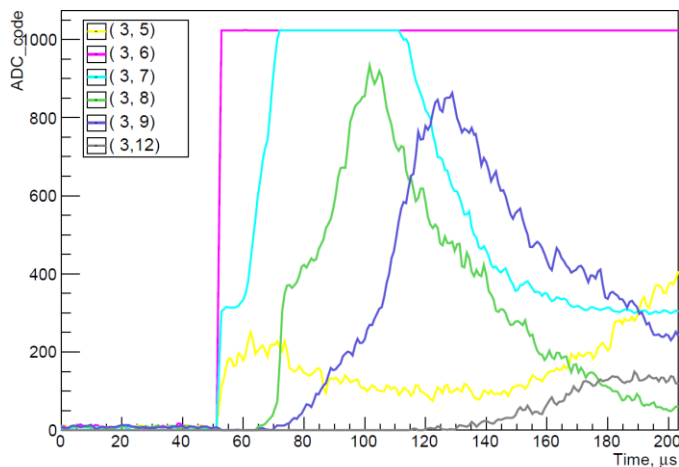
EAS-20170426_151956_tick: 205



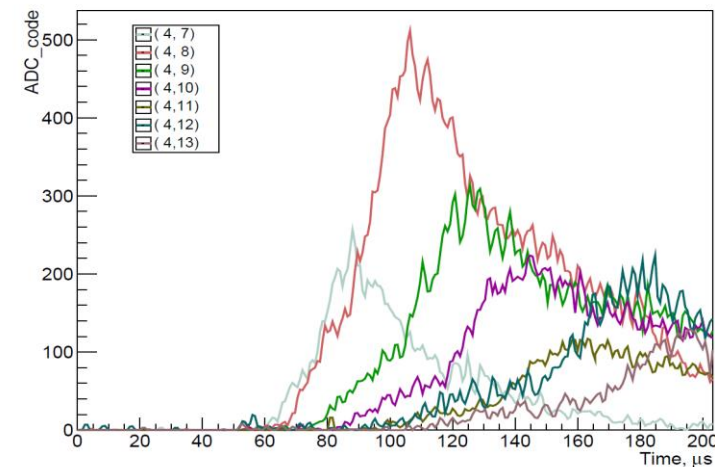
EAS-20170426_151956_tick: 000



170426_151956_3rd Module



170426_151956_4th Module





Космический эксперимент «УФ атмосфера» (Mini-EUSO)

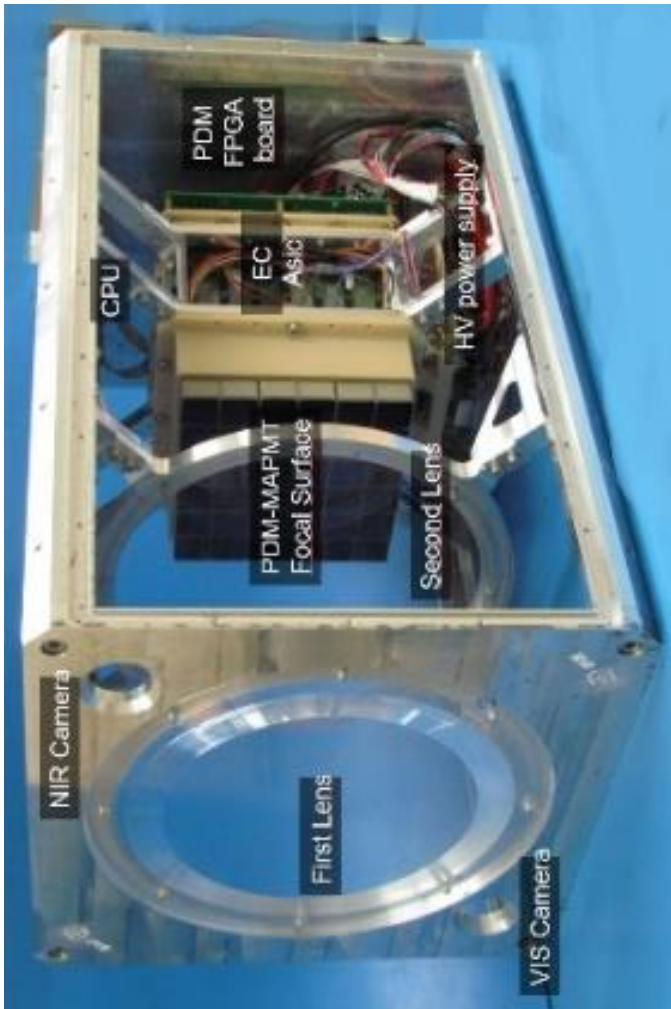


岩澤 駿
SHUN IWASAWA

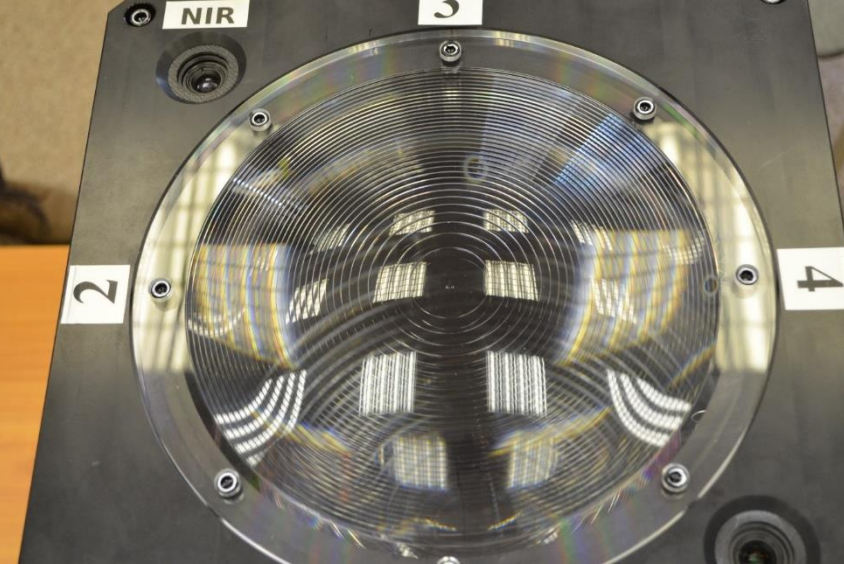


Основные технические параметры НА

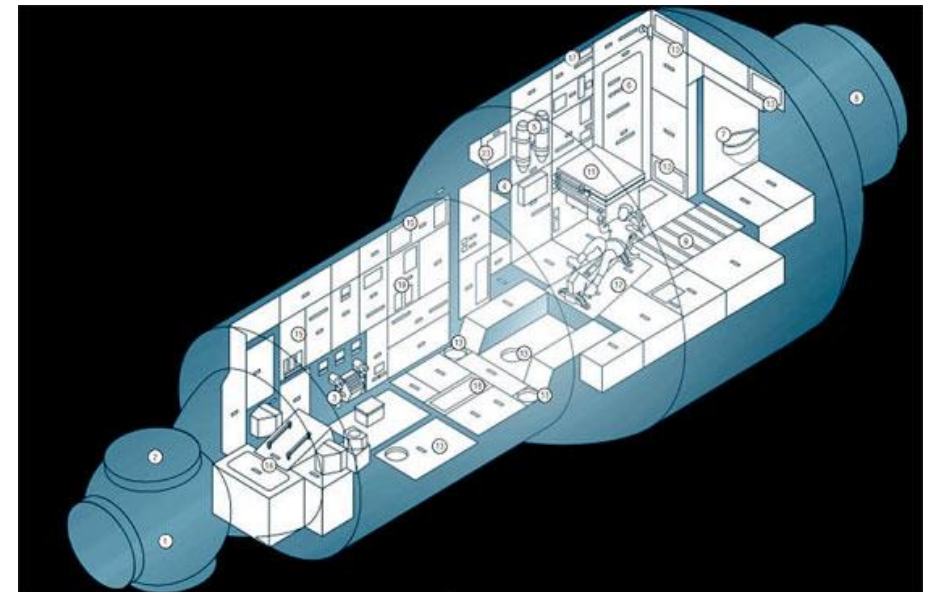
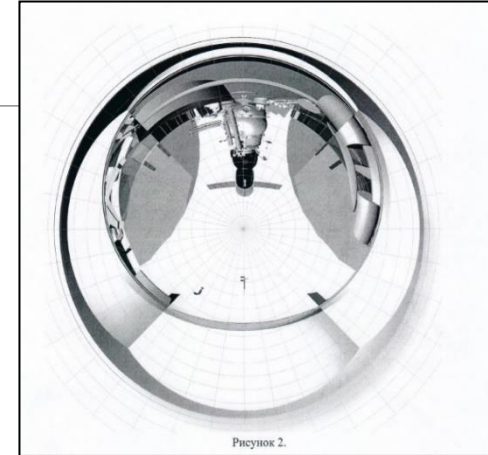
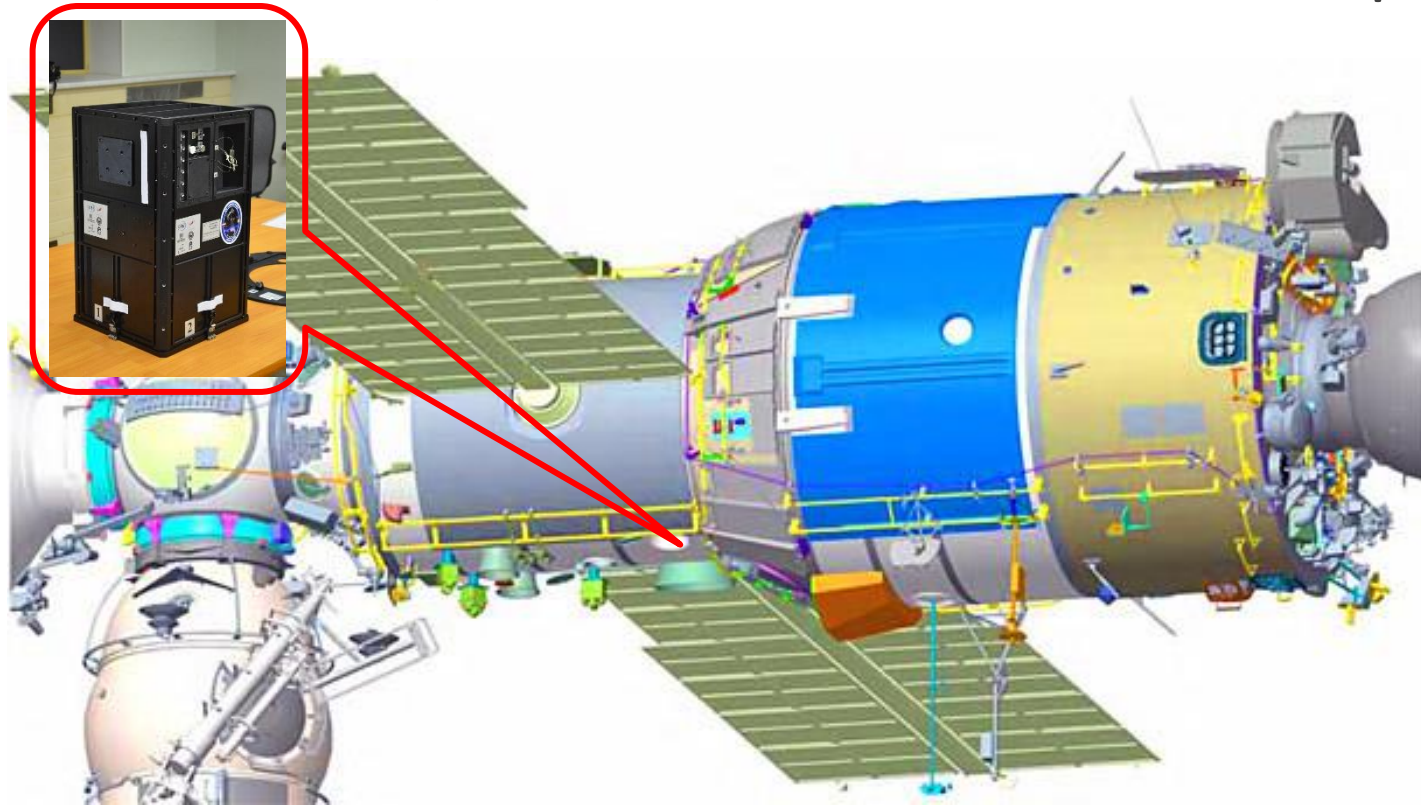
НА «УФ атмосфера» – линзовый телескоп



Габаритные размеры	370×370×620 мм
Диапазон длин волн наблюдения	УФ: 300 – 450 нм
Поле зрения	36° × 36° = 0.42 ср
Входной зрачок Диаметр Площадь	25 см 490 см ²
Фокусное расстояние	25 – 27 см
Размер ячейки	3 мм
Число ячеек	2304
число 64-канальных МАФЭУ	36
Разрешение изображения объекта в атмосфере	4.5 – 5 км
Площадь обзора атмосферы	260 км × 260 км = 6.8·10 ⁴ км ²
Временное разрешение	2.5 мкс, 320 мкс, 40 мс

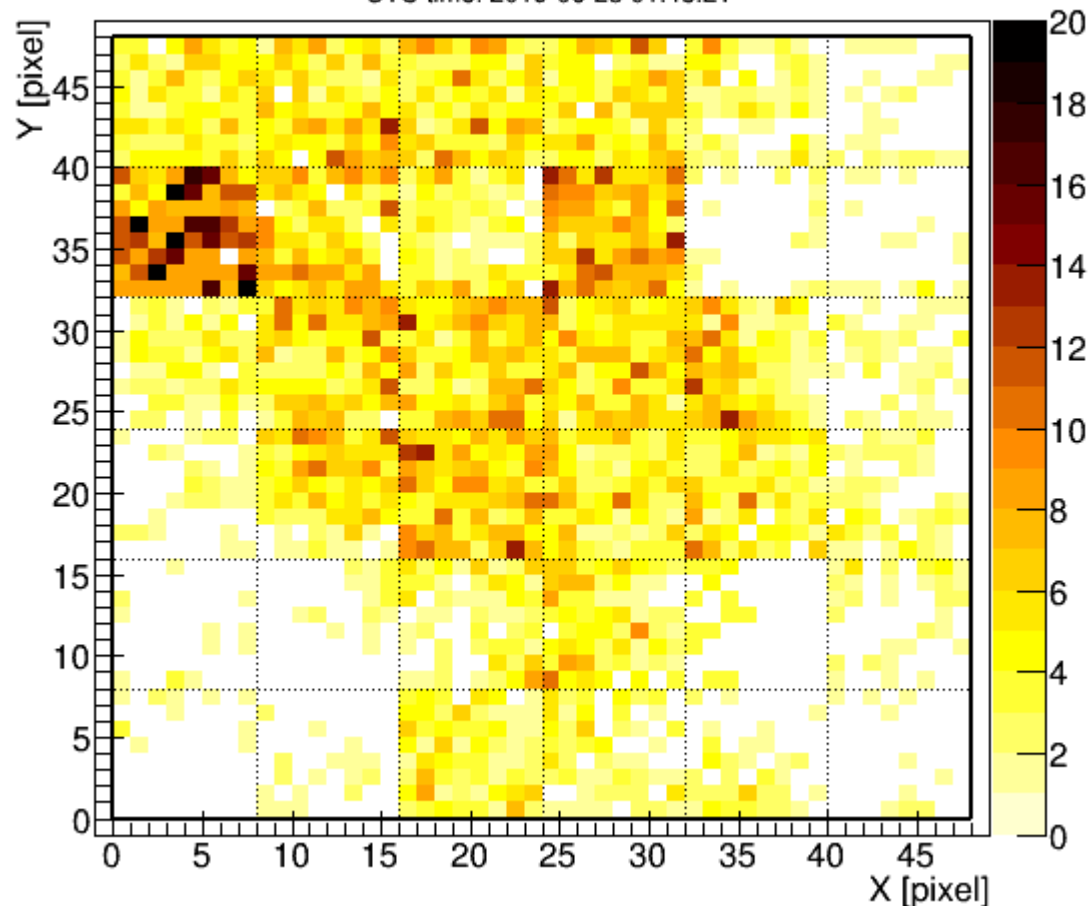


Размещение НА «УФ атмосфера» на СМ РС МКС



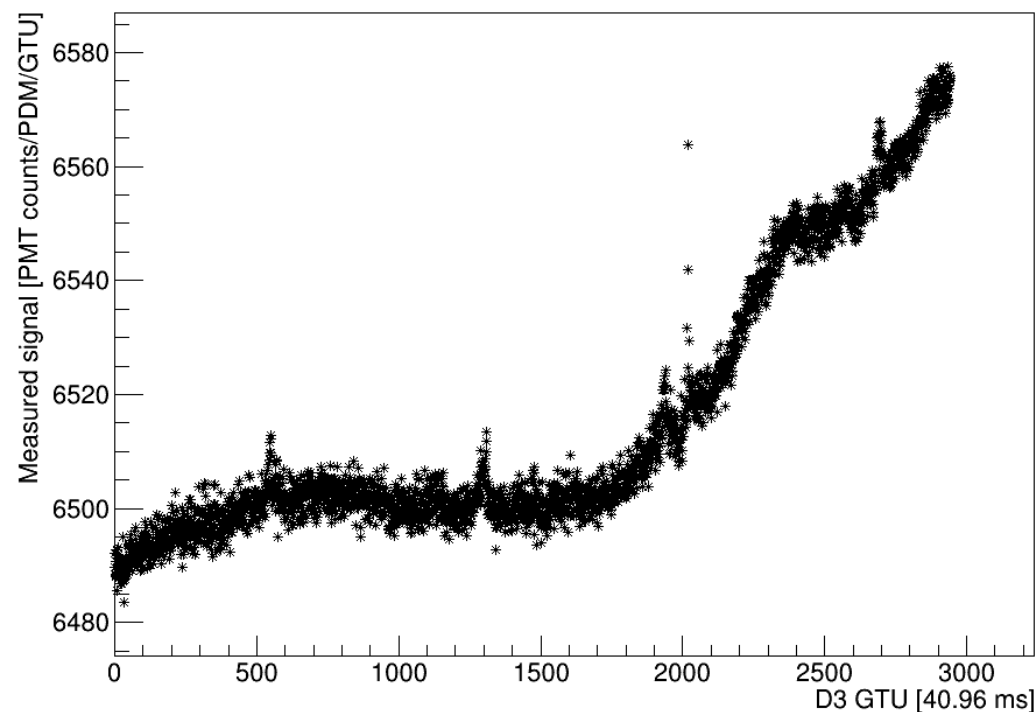
Пример записанной информации (мониторинг, $dt = 40$ мс)

GTU: 0, pkt: 0, GTU in pkt: 0,
UTC time: 2019-06-23 01:48:21

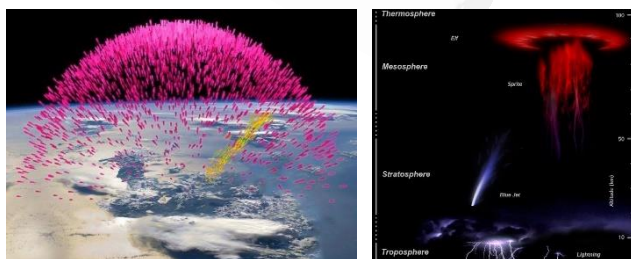
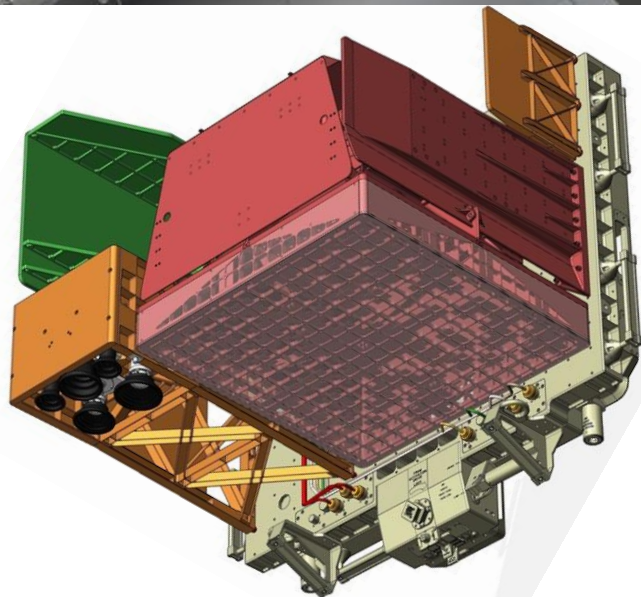


CPU_RUN_MAIN_2019_06_23_01_48_30_cath3_dv1017_Carsoli_11degaldibh4.root

PDM summed counts lightcurve (2nd integral)

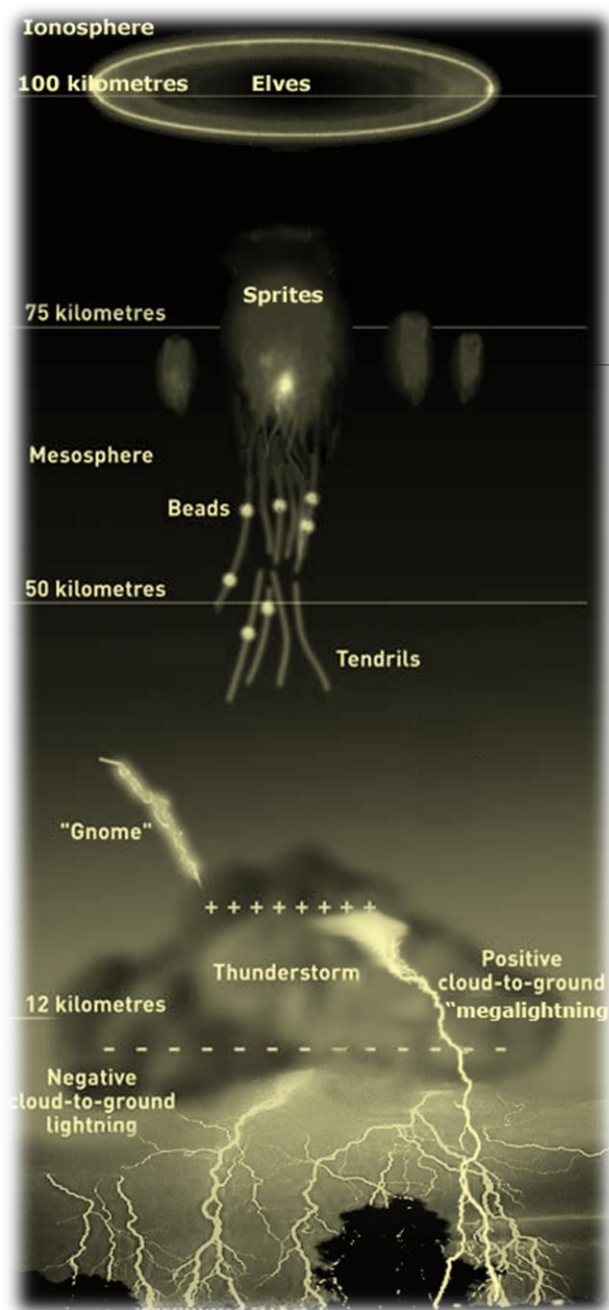


Atmosphere-Space Interaction Monitor



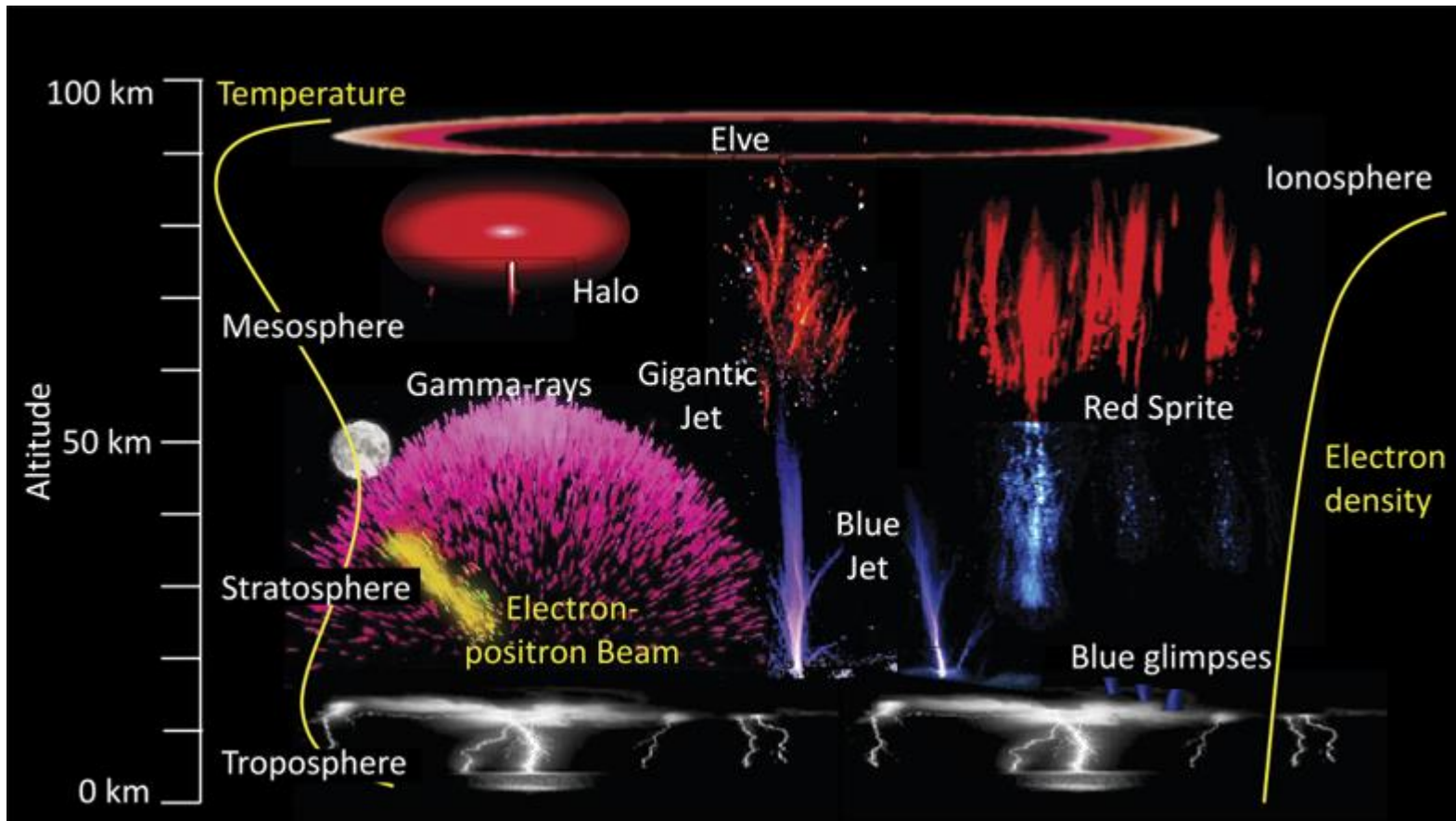
Band	Cameras		Band	Photometers	
	Spectral band (nm)	Bandwidth (nm)		Spectral band (nm)	Bandwidth (nm)
LC1 (limb)	336.2	5.0	LP1	337.0	5.0
LC2	391.4	5.0	LP2	391.4	5.0
LC3	650-740	90	LP3	650-740	90
LC4	762.4	5.0	LP4	236.6	5.0
NC1 (nadir)	337.0	5.0	NP1	337.0	5.0
NC2	777.4	5.0 (1 nm*)	NP2	145-250	broadband

Parameter	Low-E	High-E (extension under consideration)
Energy range	10 – 500 keV	0.2 – 10 MeV
Effective area of detector	1032 cm ²	900 cm ²
Energy resolution of detector	< 10% @ 60 keV	18% @ 662 keV
Efficiency	> 90% @ 100 keV	> 60%
Imaging (extension under consideration)	< 2°	



Спасибо за внимание!

Torsten Neubert, Space Science Reviews, 2019



Дополнительные слайды

Пробой на убегающих электронах

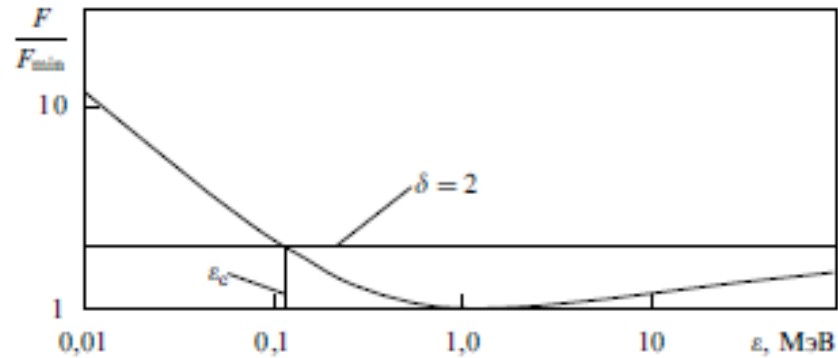


Рис. 1. Зависимость силы торможения F от энергии электрона ε . Сила F нормирована на F_{\min} , параметр $\delta = E/E_c$.

1) напряженность электрического поля E должна превышать критическое значение E_c (3):

$$E \geq E_c; \quad (60)$$

2) пространственный размер L , на котором выполнено условие (60), должен существенно превосходить длину экспоненциального роста лавины l_a (9):

$$L \geq l_a; \quad (61)$$

3) должны существовать затравочные быстрые электроны с энергией

$$\varepsilon > \varepsilon_c = \frac{mc^2 E_c}{2E}. \quad (62)$$

Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы

А.В. Гуревич, К.П. Зыбин

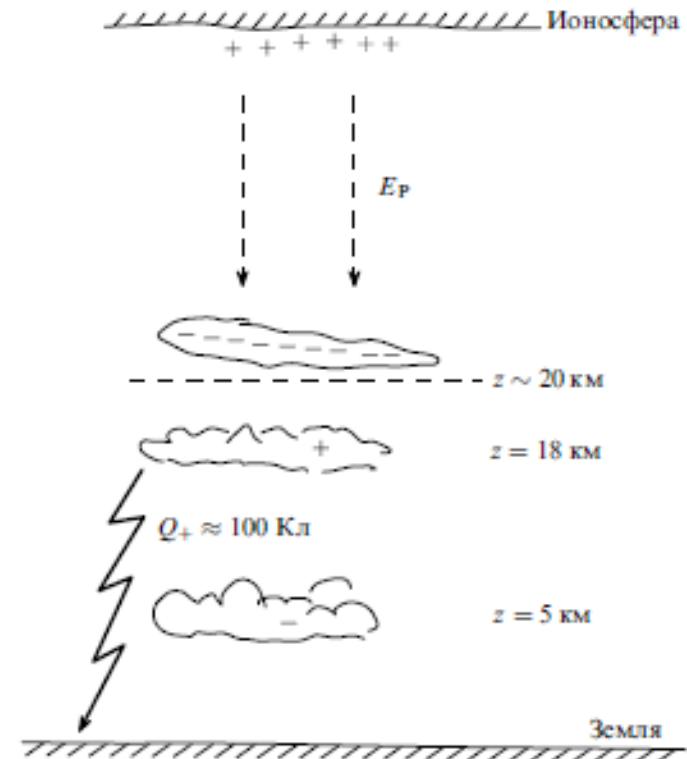
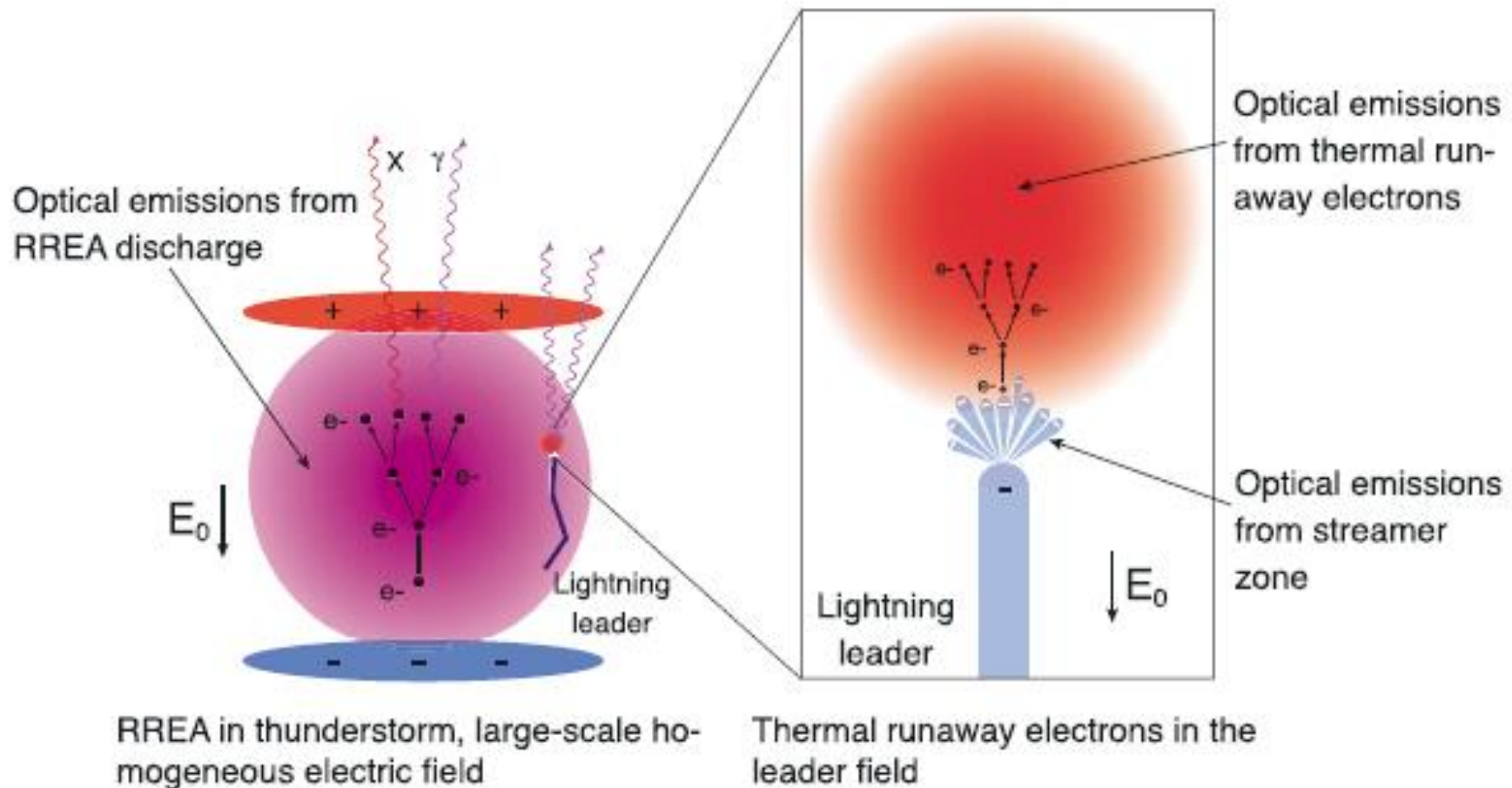


Рис. 13. Модель возникновения условий для высотного разряда.

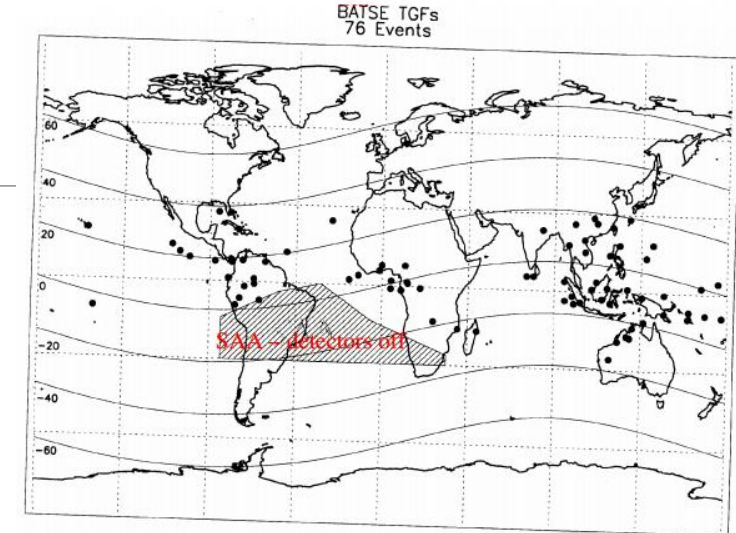
Оптическое излучение TGF, образованного различными механизмами



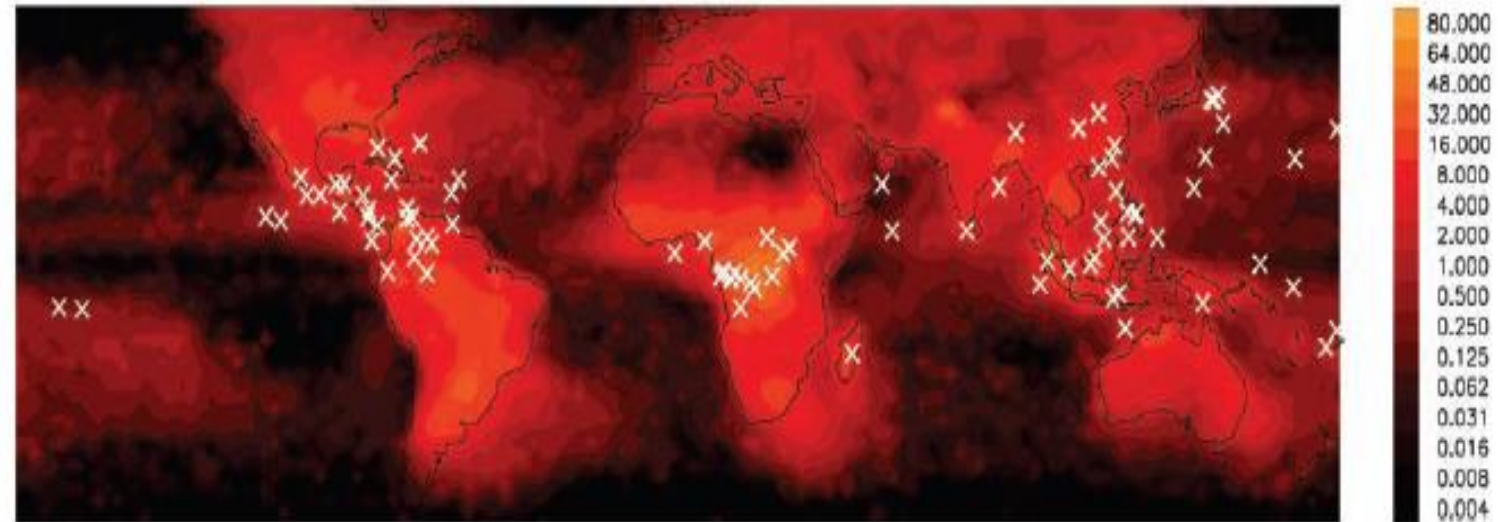
Terrestrial Gamma-Ray Flashes (TGF)

На борту орбитальной обсерватории CGRO (Compton Gamma Ray Observatory) в ходе выполнения эксперимента BATSE (Burst and Transient Source Experiment) в 1993 г. были зарегистрированы вспышки γ – излучения с энергией \sim МэВ, временем нарастания \sim 0,1 мс и длительностью \sim 2 мс.

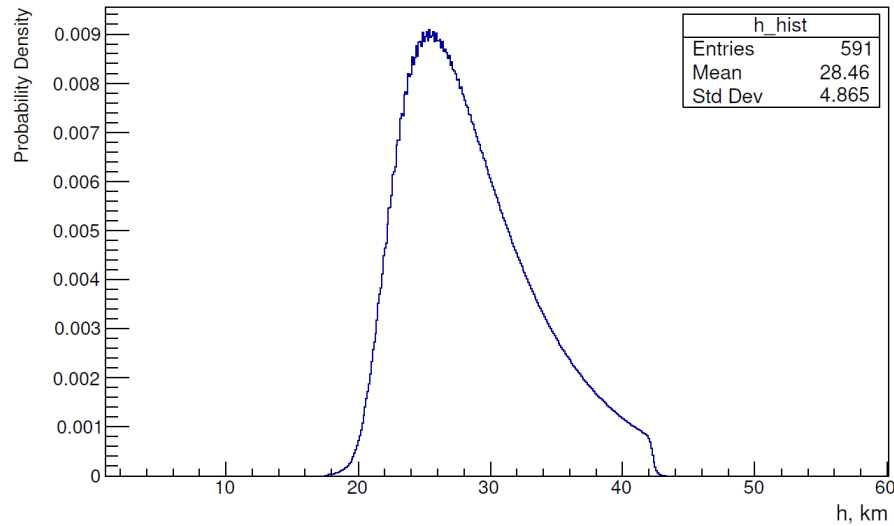
(Fishman G.J., et al Discovery of Intense Gamma – Ray Flashes of Atmospheric Origin., Science, 264, 1313-1316, 1994.)



Smith D.M., Lopez L.I., Lin R. P., RHESSI
Terrestrial Gamma-ray Flashes



ELVE doublet 3: 05.11.2017 16:05:33 UTC



$h = 28.5 \pm 4.9$ km

