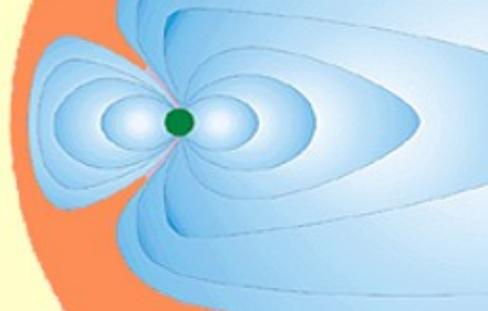


Семнадцатая ежегодная конференция
Физика плазмы в солнечной системе

7–11 февраля 2022, ИКИ РАН



**Диагностика свойств ионосферы с помощью
оптических измерений в арктическом регионе**

Козелов Б.В.

Полярный геофизический институт
Апатиты, Мурманская область, Россия

Аннотация

Пространственно-временная структура авроральных возмущений в значительной степени отражает структуру процессов в магнитосферно-ионосферной плазме. Описание этой структуры важна как для изучения фундаментального изучения плазменных процессов, так и для многих актуальных прикладных вопросов, связанных с прохождением радиоволн в ионосфере и жизнедеятельностью в высоких широтах. Полярный геофизический институт многие годы проводит наблюдения и регистрацию ночного неба в Мурманской области и на арх.Шпицберген. Использование оптических данных для научных исследований всегда осложняется необходимостью обработки, которая требует значительных затрат времени и квалификации. Многие годы институт выпускает квартальные сборники с каталогами таких наблюдений. В докладе делается обзор по имеющимся в институте данным и оптическим приборам. Приведены примеры, какую информацию такие могут дать для исследования высокоширотной ионосферы. Обсуждаются вопросы автоматической обработки данных последних лет, имеющихся в цифровом формате, с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС).

Работа поддержана грантом РФФИ и Министерства образования и науки Мурманской области №22-12-20017 «Пространственно-временные структуры в околоземном космическом пространстве Арктики: от полярных сияний через особенности самоорганизации плазмы к прохождению радиоволн».

План

- 1) Оптическая наблюдательная структура ПГИ.
- 2) Где искать данные, сайты.
- 3) Как используются данные:
 - Анализ суббурь и т.п.
 - Триангуляция
 - «Нелинейщина»...
- 4) Ближайшие планы:
 - ASC в Туманный
 - Приборы НИИЯФ МГУ в Ловозеро
 - Классификация НС по квиклукам



План

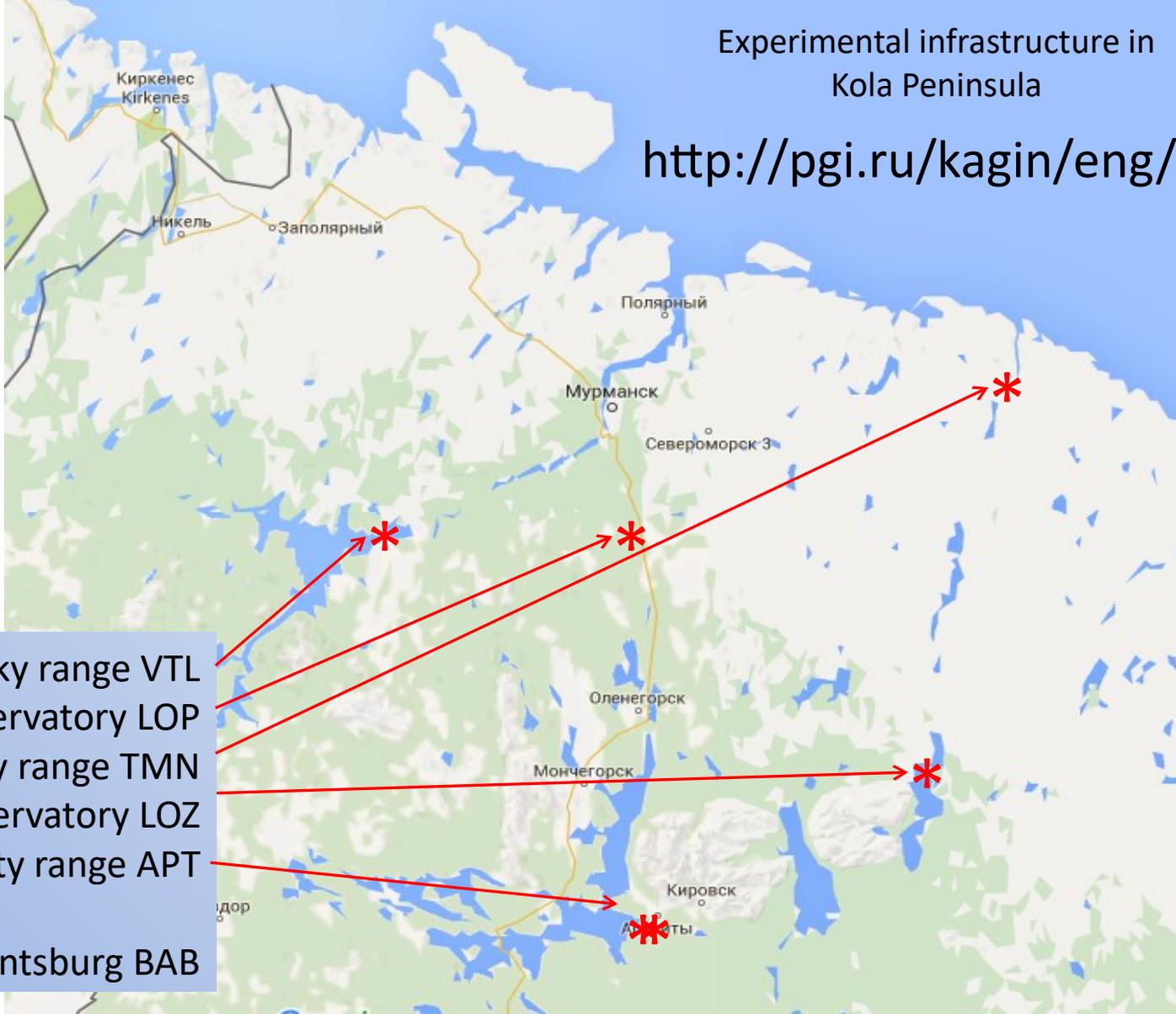
- 1) Оптическая наблюдательная структура ПГИ.
- 2) Где искать данные, сайты.
- 3) Как используются данные:
 - Анализ суббурь и т.п.
 - Триангуляция
 - «Нелинейщина»...
- 4) Ближайшие планы:
 - ASC в Туманный
 - Приборы НИИЯФ МГУ в Ловозеро
 - Классификация НС по квиклукам





Experimental infrastructure in Kola Peninsula

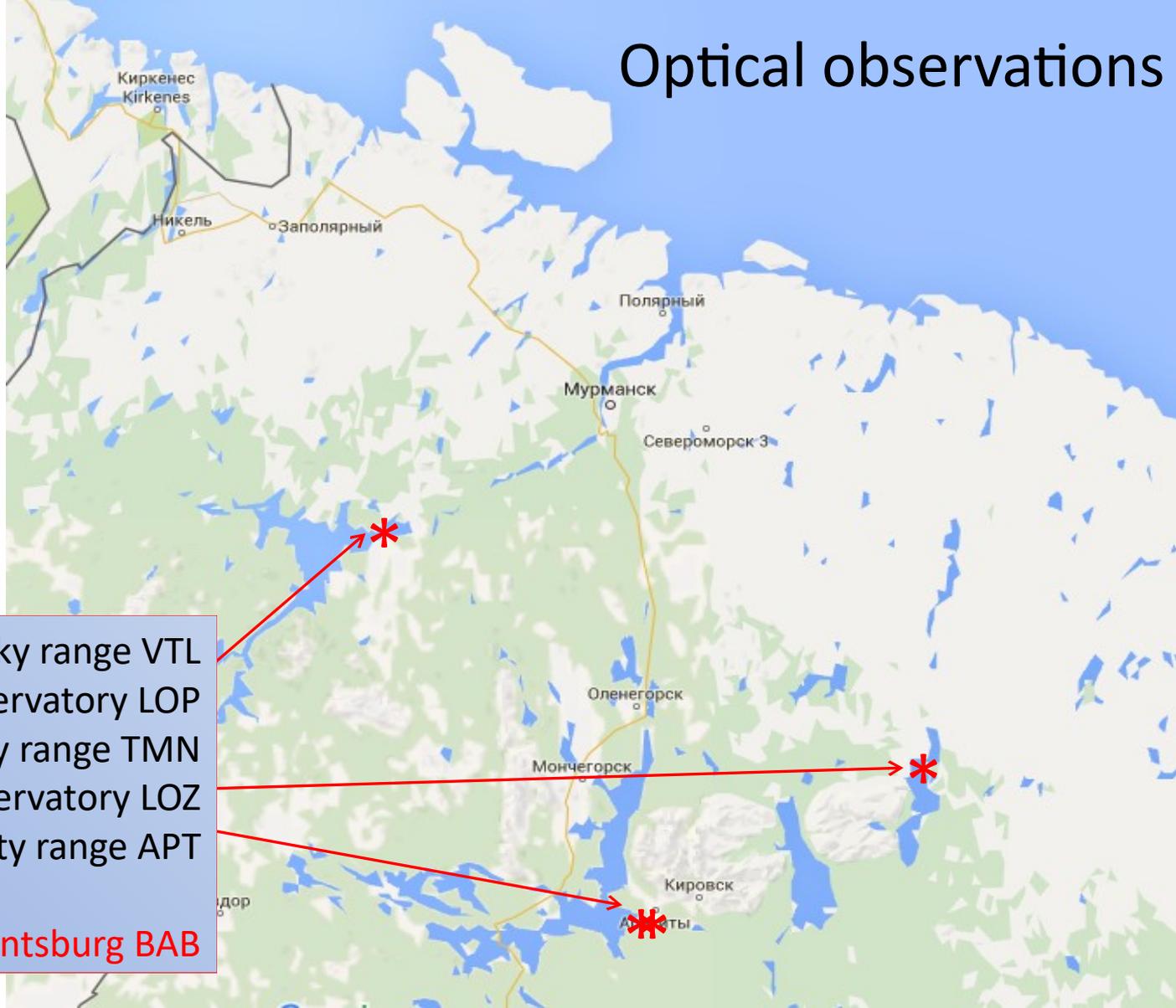
<http://pgi.ru/kagin/eng/>



- Verhnetulomsky range VTL
- Loparskaia observatory LOP
- Tumanny range TMN
- Lovozero observatory LOZ
- Apatity range APT
- + Barentsburg BAB



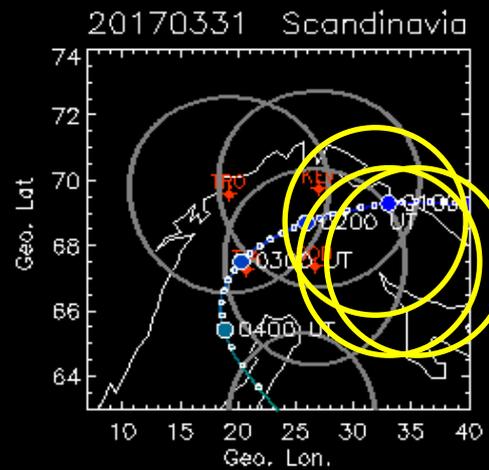
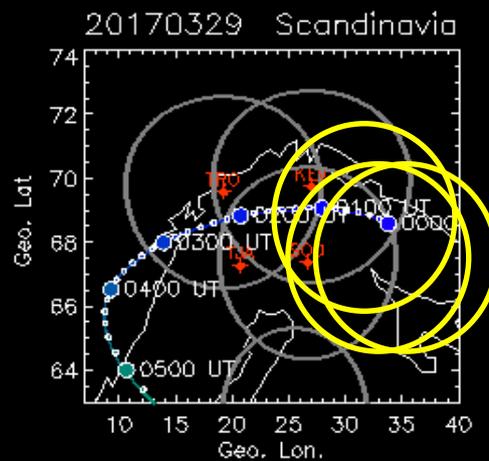
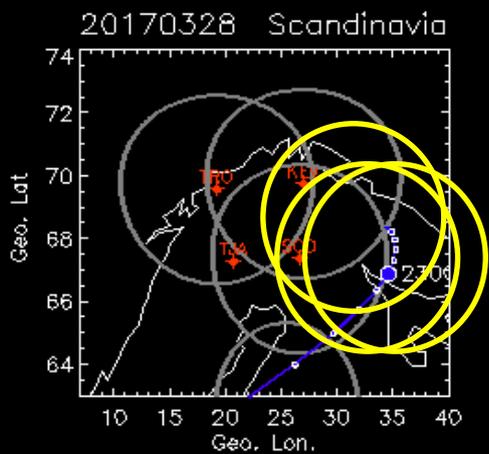
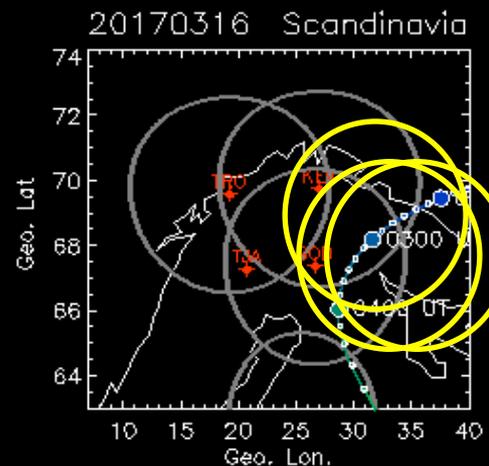
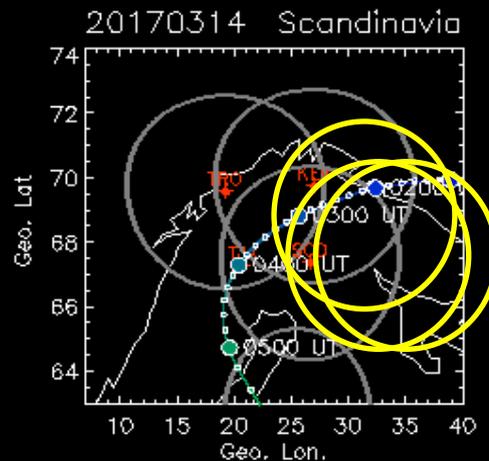
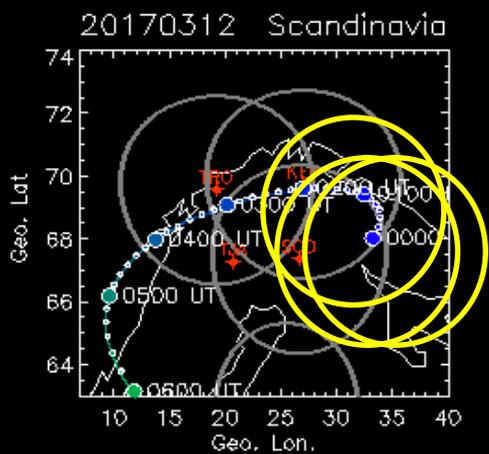
Optical observations



Verhnetulomsky range VTL
Loparskaia observatory LOP
Tumanny range TMN
Lovozero observatory LOZ
Apatity range APT

+ Barentsburg BAB

Conjunction



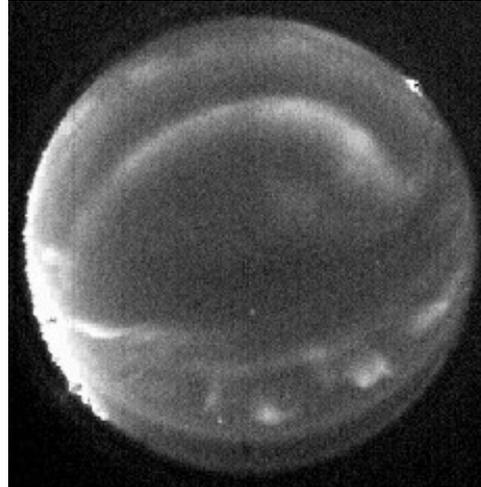
Optical observations in Lovozero

Camera name	FOV, deg	Spatial resolution	Temporal resolution	Depth	BW	Operation
ASC	180	612x612 pix	1 frame/s 10 frame/s	14bit	RGB Blue (CC2+C3C21)	under 0deg ERG conj.
Meridional spectrometer	180x0.25	1536x360 pix	1frame/min	16bit	400-700nm/0.2nm/pix	under 0deg
emission imager: (427.8)	180	512x512 pix	6 frame/min	16bit	1.5nm HPBW	under -6deg
(486.1/656.3)	180	512x512 pix	6 frame/min	16bit	3.0/4.0nm HPBW	under -6deg
(557.7)	180	512x512 pix	6 frame/min	16bit	0.8nm HPBW	under 0deg
(630.0)	180	512x512 pix	6 frame/min	16bit	2.5nm HPBW	under -6deg
NAC	43x30	4144x2822 pix	6 frame/min	14bit	RGB	under -3deg
TW ASC 530.0 + CPF	180	300x300 pix	1 frame/s to 6 frame/min	16 bit	Rotated polaroid	twilight

Apatity, PGI range, all-sky camera

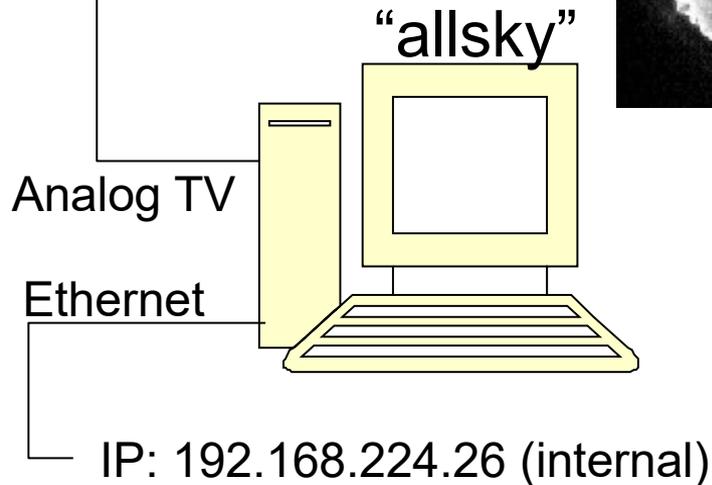
Camera: LCL-902H2, 1/2" or WAT-902K2, 1/3"

Lens: Fujinon YV2.2×1.4A-SA2



Software:

- Linux Ubuntu 12.04
- TV frame capture
- GPS time from "guppy-2"
- PHP+Apache server for web-page

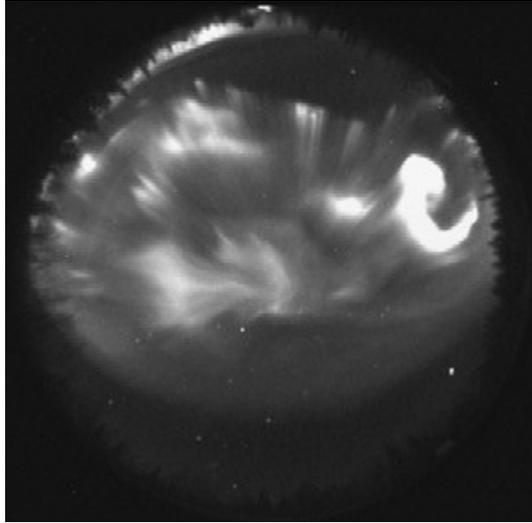


Output data:

- on-line preview, 10-s resolution + weather
- web-archive, from daily keograms to 10-s frames
- 1-s frames by request

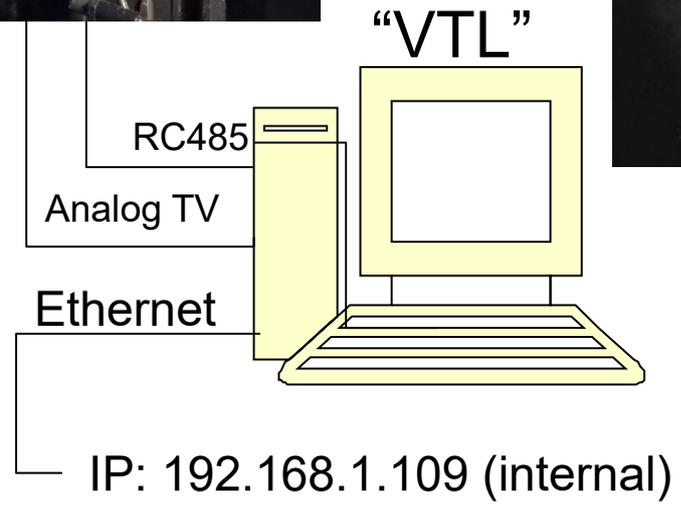
Verhnetulomsky range, all-sky camera

Camera: VNC748-H2, 1/2" based on Sony ICX-429AL
Lens: Fujinon 1.8-3.4/F1.4



Software:

- Linux Mint 18
- TV frame capture
- Camera control by USB-RC485 connection
- GPS time
- PHP+Apacher server for web-page



Output data:

- on-line preview, 10-s resolution
- web-archive, from daily keograms to 10-s frames
- 1-s frames by request

Multiscale
Aurora
Imaging
Network

- 2010-2011
- 2011-2012
- 2012-2013
- 2013-2014
- 2014-2015
- 2015-2016
- 2016-2017
- 2017-2018
- 2018-2019
- 2019-2020
- 2020-2021

- 1. all-sky camera
- 2. Guppy F-044B, ~18°
(blue-green glass filter),
motorized pan-tilt mount

- 1. Guppy F-044C, ~67°
- 2. Guppy F-044B, ~18°
(blue-green glass filter),
motorized pan-tilt mount

+ GPS synchronization
+ weather station

+GPS synchronization

Wi-Fi

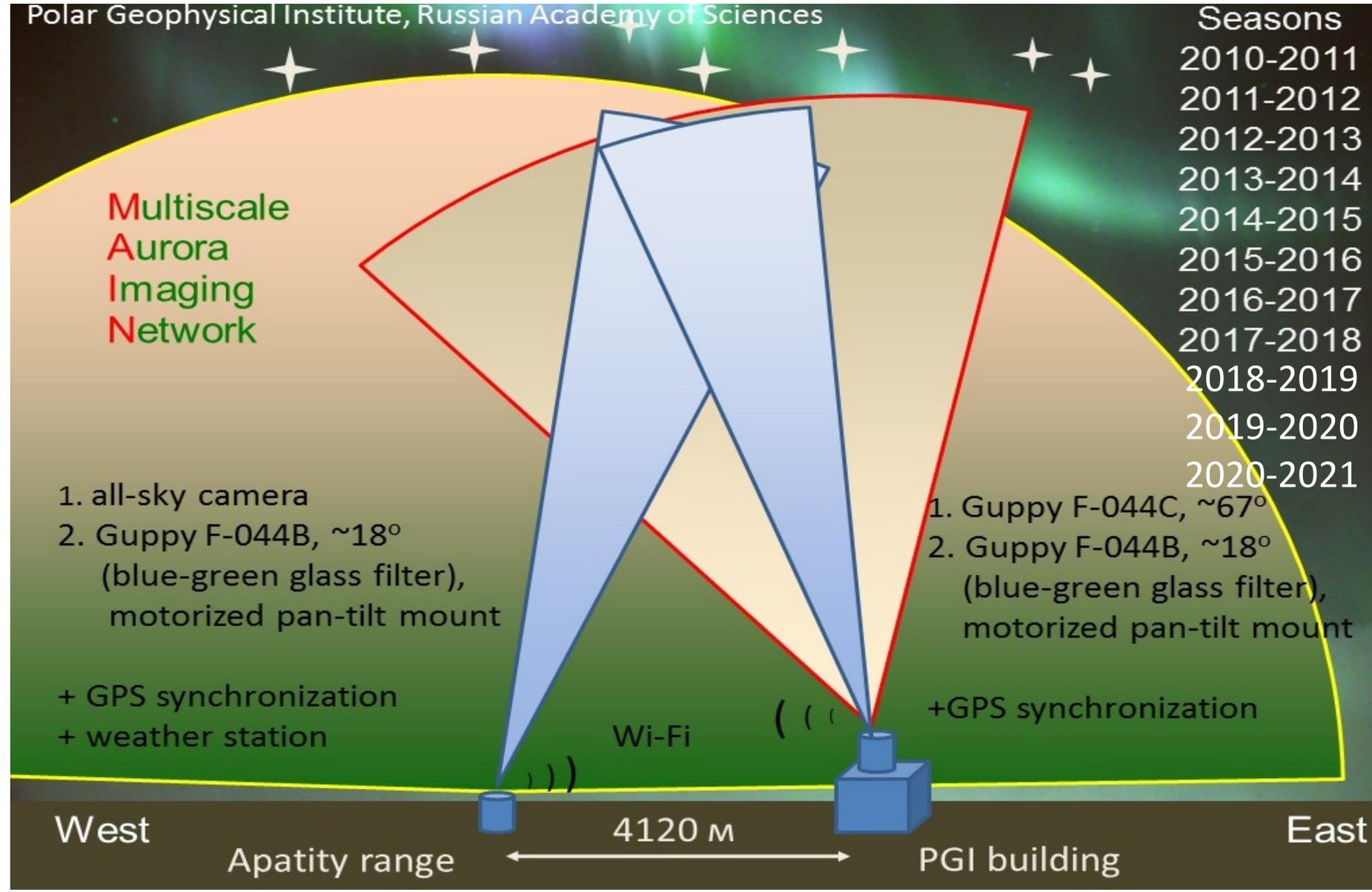
West

East

Apatity range

4120 m

PGI building



Multiscale Aurora Imaging Network



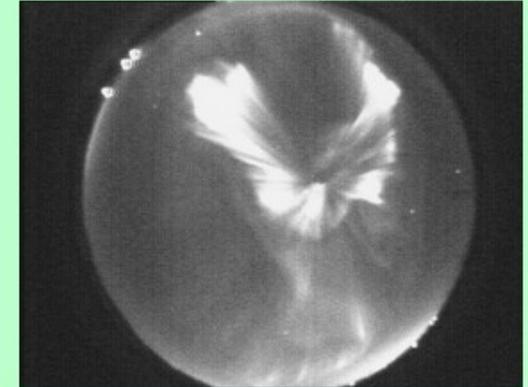
25 March 2014, 23:05:20



G044C_APB



allsky



guppy



guppy2



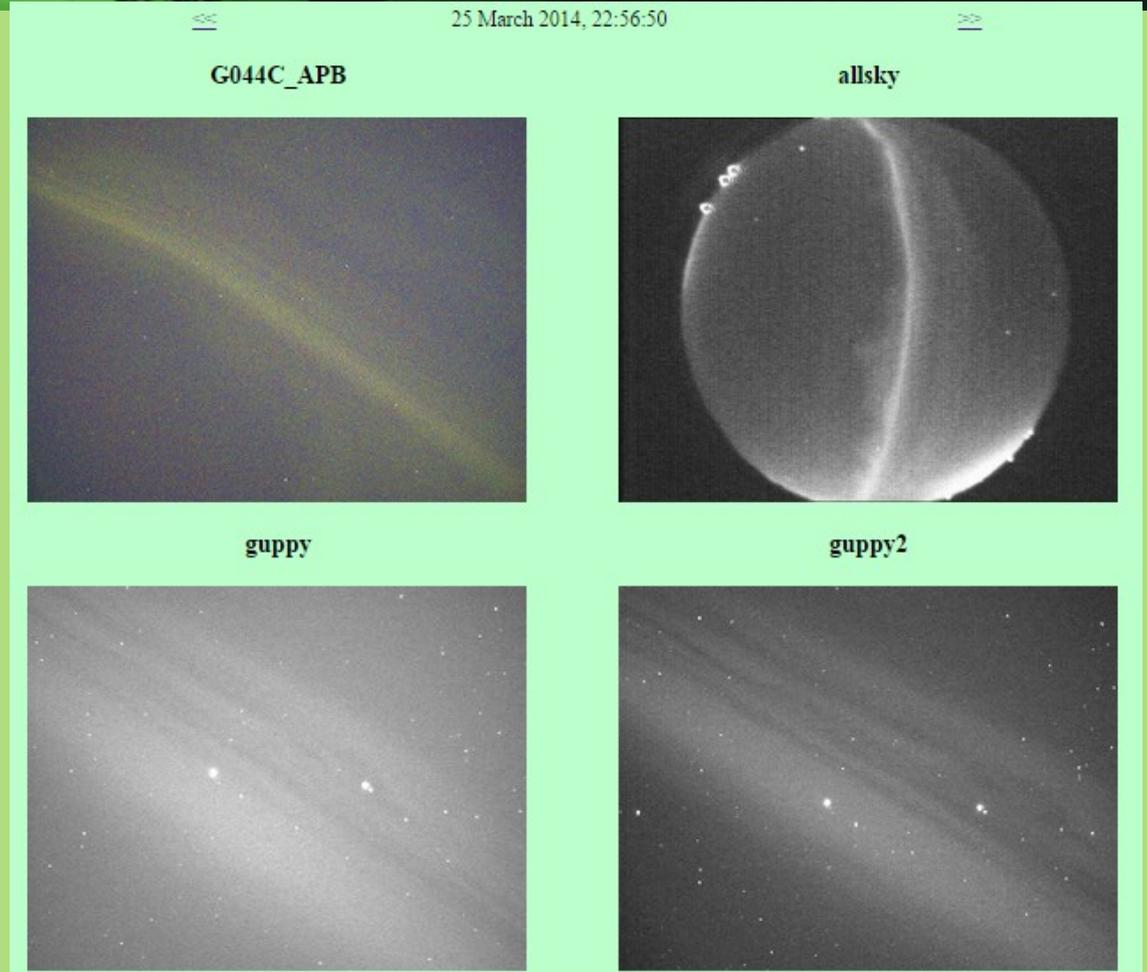
- Rays (~ 1 keV)
- Arcs (~ 10 keV)
- Pulsating forms (>10 keV)

Displacement in the
background of stars >

Multiscale Aurora Imaging Network

- Rays (~ 1 keV)
- Arcs (~ 10 keV)
- Pulsating forms (>10 keV)

Displacement in the
background of stars >



Multiscale Aurora Imaging Network

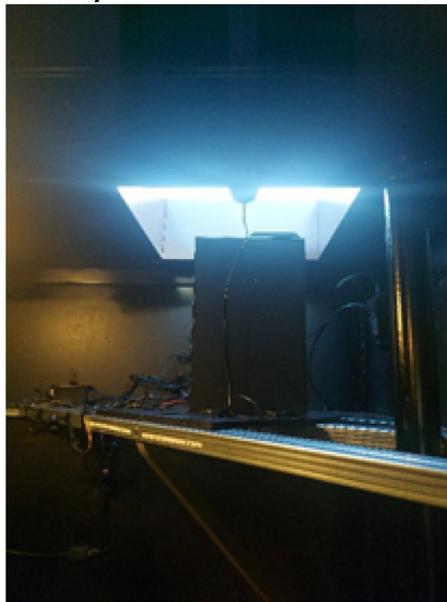
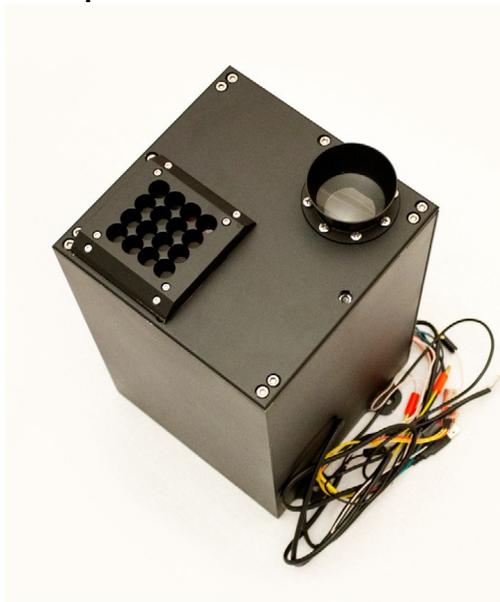
- Rays (~ 1 keV)
- Arcs (~ 10 keV)
- Pulsating forms (>10 keV)

Displacement in the
background of stars >



Многоканальный изображающий фотометр НИИЯФ МГУ на полигоне «Верхнетуломский»

- ✓ Фотометр установлен в сентябре 2021
- ✓ Временной разрешение мониторингового режима увеличена до 1 мс 09.2022 г.
- ✓ 16 одноканальных ФЭУ используются в качестве спектрометра (установлены: 337 нм, 390 нм, 430 нм, широкополосные УФС1 и КС11).



Параметры фотометра

- ✓ 4 МАФЭУ (16×16 пикселей)
- ✓ Временное разрешение
 - ✓ 2.5 мкс (4 события за 5 с),
 - ✓ 320 мкс (4 события за 5 с)
 - ✓ 40 мс (мониторинг, непрерывная запись), 1мс с 09.2022
- ✓ Поле зрения: $2\gamma_m = 18^\circ$
- ✓ Угловое разрешение: $\Delta\gamma = 1.1^\circ$ (~2 км на высоте 100 км)
- ✓ Апертура: $S = 19.6 \text{ см}^2$

**Работа поддержана грантом РФФ
(проект №22-62-00010)**

План

- 1) Оптическая наблюдательная структура ПГИ.
- 2) Где искать данные, сайты.
- 3) Как используются данные:
 - Анализ суббурь и т.п.
 - Триангуляция
 - «Нелинейщина»...
- 4) Ближайшие планы:
 - ASC в Туманный
 - Приборы НИИЯФ МГУ в Ловозеро
 - Классификация НС по квиклукам



QL, web-sites, data access

<http://aurora.pgia.ru:8071> – Lovozero + Barentsburg optics, VLF, electromagnetic + new color Verhnetulomky ASC (from 2023)

<http://aurora.pgia.ru> – Apatity optics + Verhnetulomky ASC

<http://pgi.ru/radar2/> - partly scattering radar (Tumannyy range)

<http://pgia.ru/data/nm> - neutron monitors Apatity+ Barentsburg

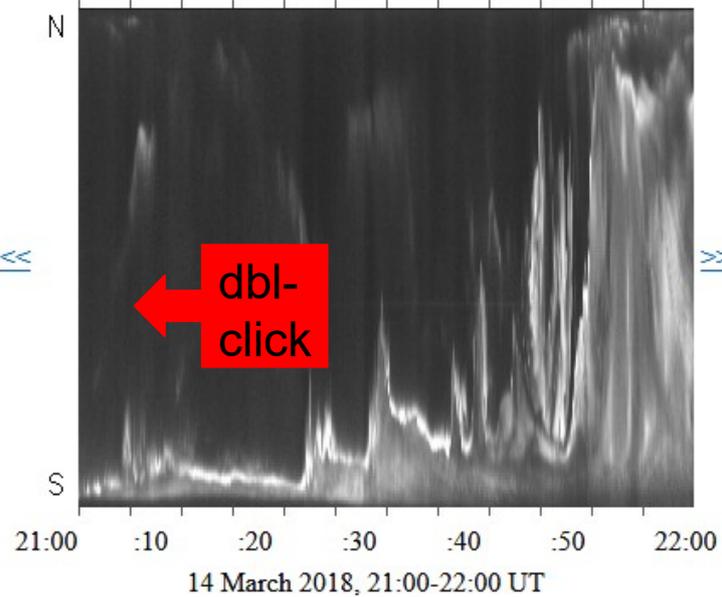
http://pgia.ru/lang/ru/archive_pgi - PGI geophysical data:

1) Magnetometers Lovozero, Loparskaya

2) Ascplots for Lovozero, Loparskaya, Apatity, Verhnetulomky

Hourly keogram

Camera: allsky

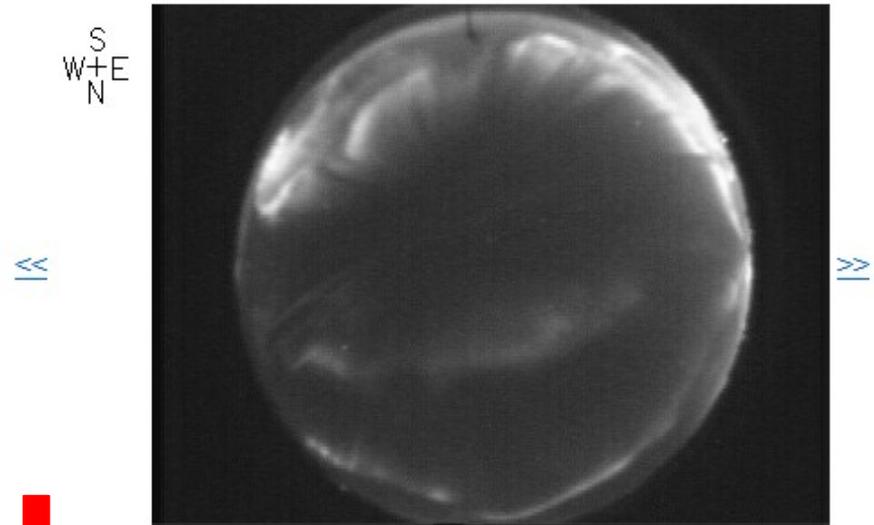


[Daily keogram](#) | [Monthly overview](#) | [Observations](#) | [Main Page](#)

New on-line mapping service in QL of APT and VTL all-sky cameras



Camera: allsky



14 March 2018, 21:05:20



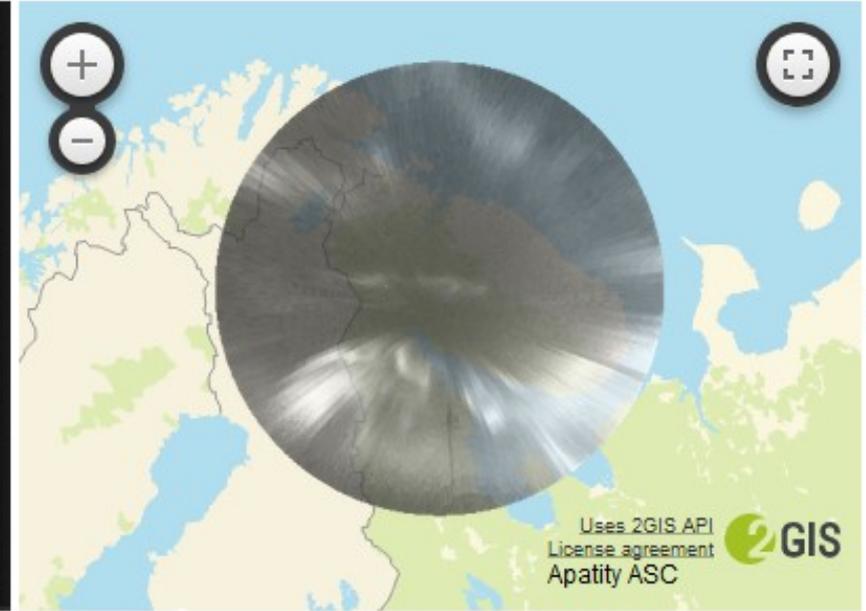
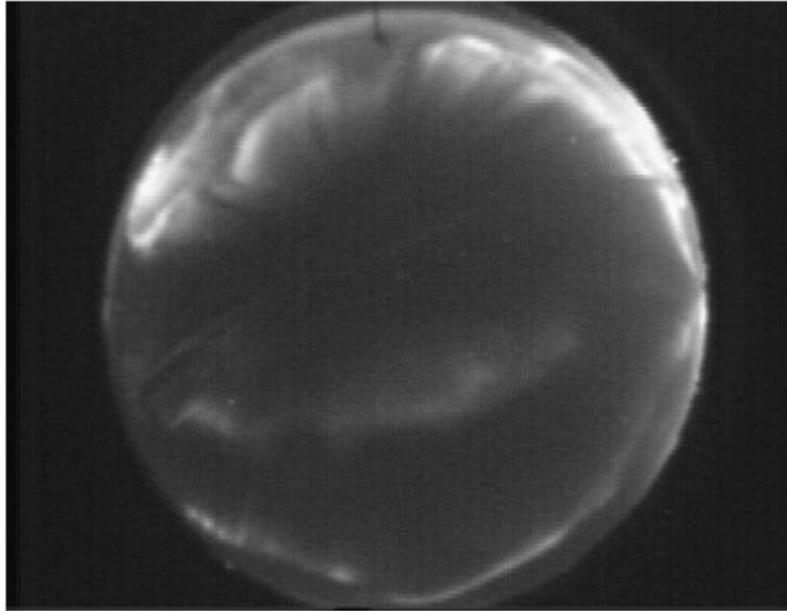
[All cameras](#) | [Mapping](#) | [Hourly keogram](#) | [Daily keogram](#) | [Monthly overview](#) | [Observations](#) | [Main Page](#)

New on-line mapping service in QL of APT and VTL all-sky cameras

Aurora mapping, camera: allsky

Choose height and opacity: 100 km ▾ 75% ▾ Submit

S
W+E
N



14 March 2018, 21:05:20

[All cameras](#) | [Hourly keogram](#) | [Daily keogram](#) | [Monthly overview](#) | [Observations](#) | [Main Page](#)

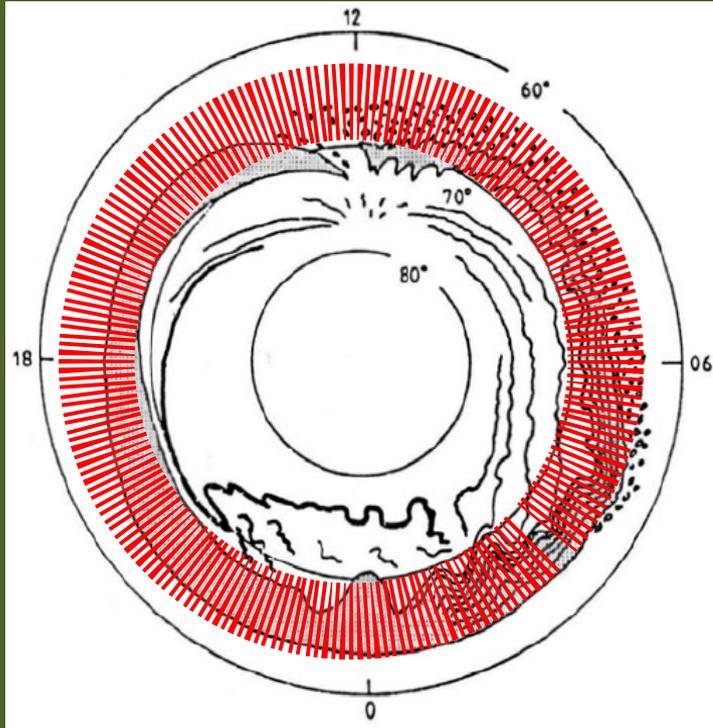
Comments and suggestions send to boris.kozelov@gmail.com

План

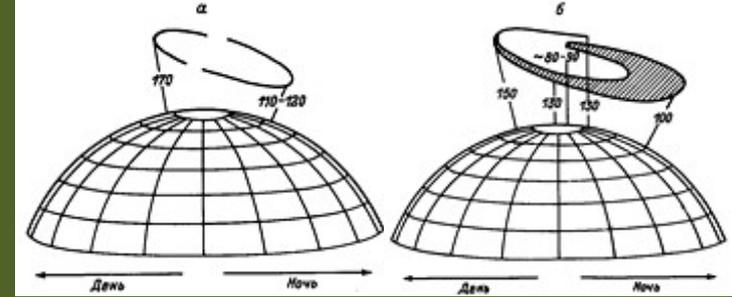
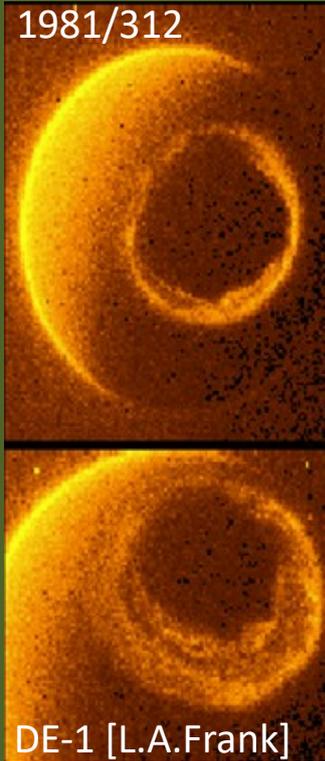
- 1) Оптическая наблюдательная структура ПГИ.
- 2) Где искать данные, сайты.
- 3) Как используются данные:
 - Анализ суббурь и т.п.
 - Триангуляция
 - «Нелинейщина»...
- 4) Ближайшие планы:
 - ASC в Туманный
 - Приборы НИИЯФ МГУ в Ловозеро
 - Классификация НС по квиклукам



Auroral forms within the oval



Schematic figure of aurora by S.-I. Akasofu.



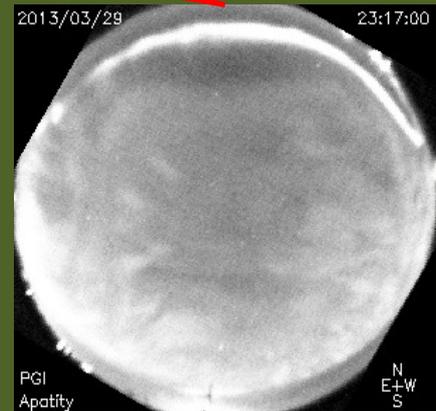
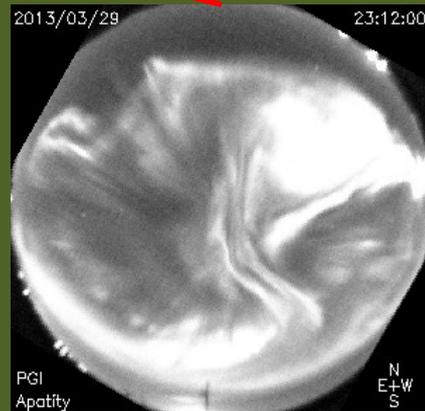
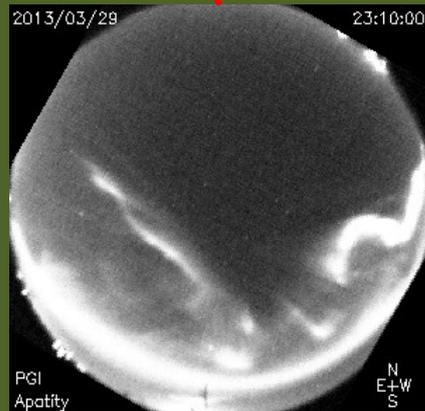
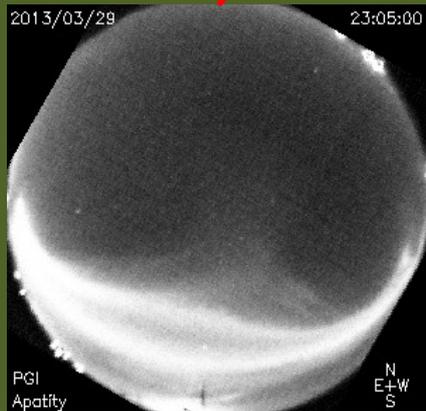
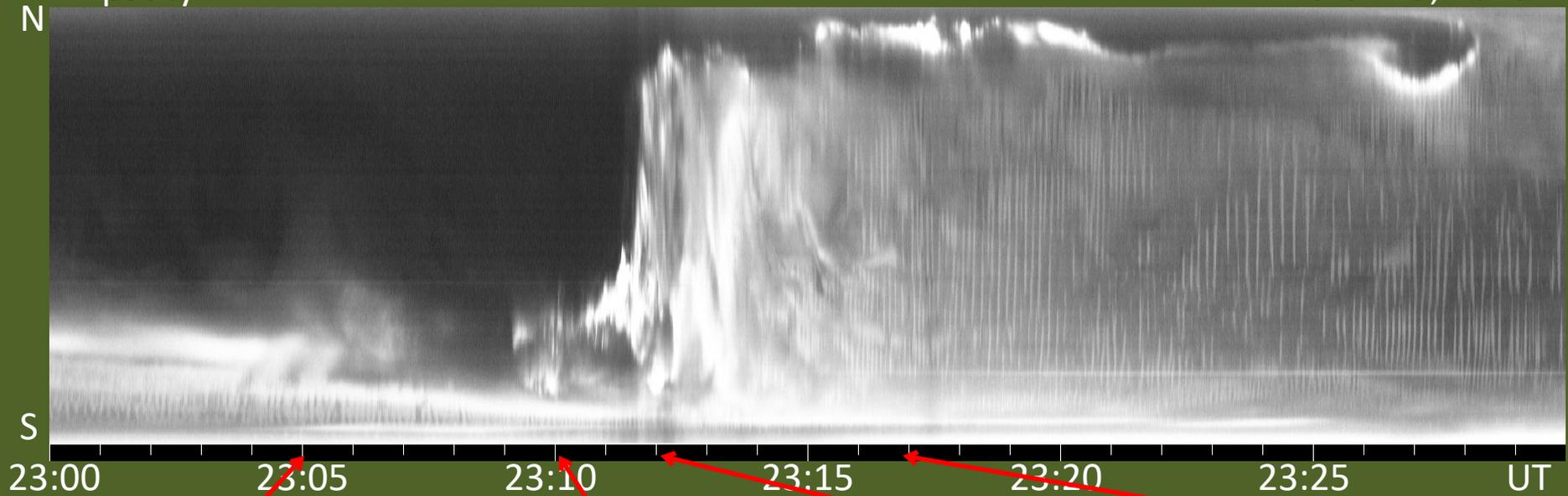
- Diffuse aurora equatorward of the main oval.
- Discrete auroral arcs
- Homogenous bands
- Curtains or draperies
- Rayed arcs
- Folds and curls
- North-south auroral arcs (streamers)
- Polar cap arcs (theta aurora)
- Omega bands
- Westward travelling surge and auroral bulge
- Auroral patches
- Pulsating or flickering aurora
- Cusp aurora
- Black aurora

During the International Geophysical Year (IGY) (1957-58), space scientists all around the world coordinated their efforts to record the aurora from many places at the same time. From the analysis of this data, two important concepts in auroral physics were born: "auroral oval" [Feldstein and Starkov]and "auroral substorm".

Keograms (N-S cross sections) – latitudinal dynamics

Apatity

March 29, 2013



План

- 1) Оптическая наблюдательная структура ПГИ.
- 2) Где искать данные, сайты.
- 3) Как используются данные:
 - Анализ суббурь и т.п.
 - **Триангуляция**
 - «Нелинейщина»...
- 4) Ближайшие планы:
 - ASC в Туманный
 - Приборы НИИЯФ МГУ в Ловозеро
 - Классификация НС по квиклукам

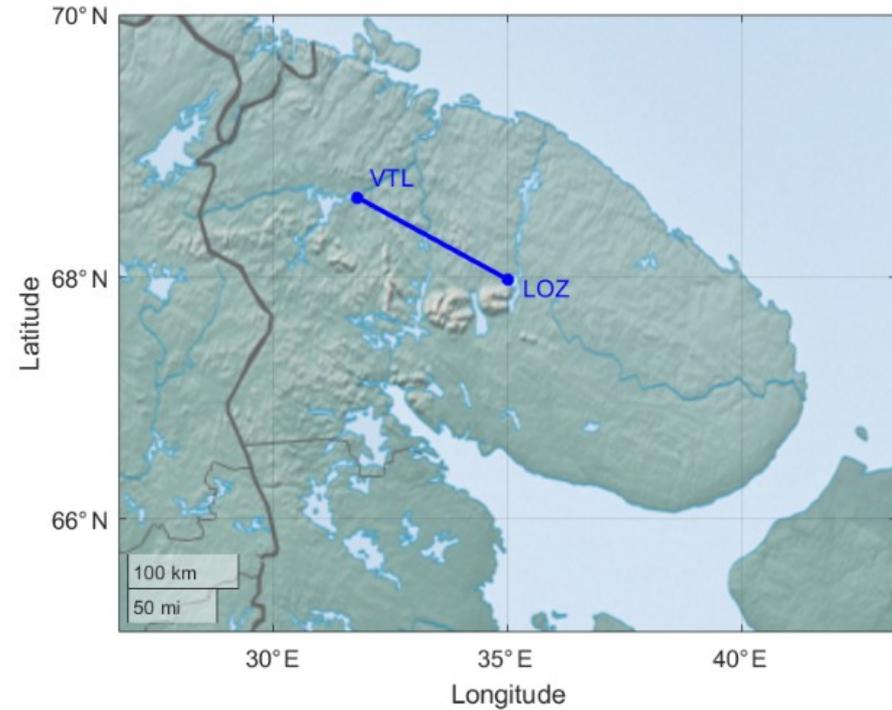
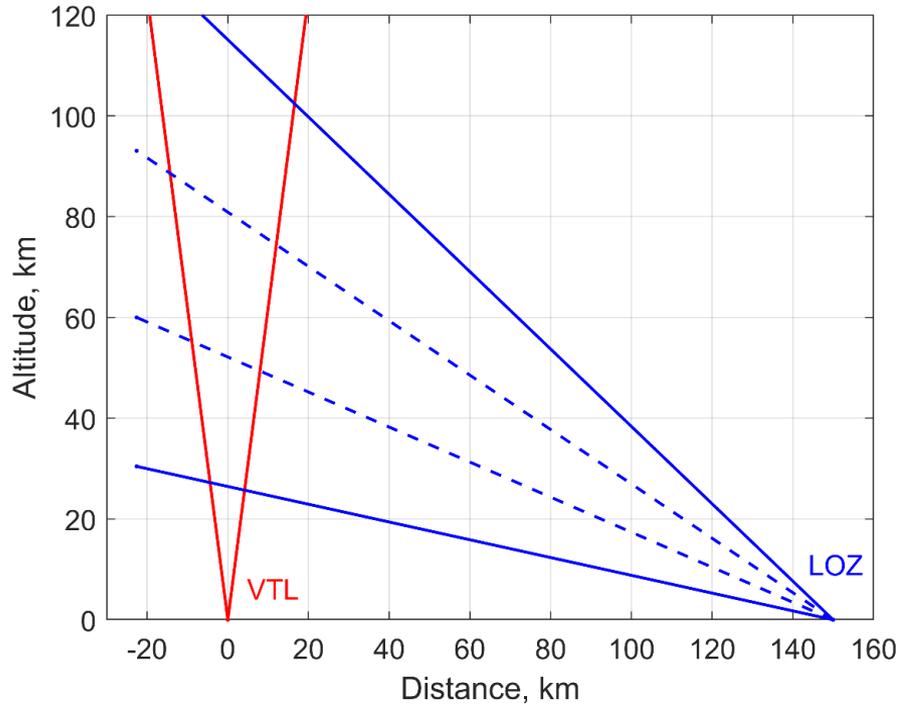


Triangulation of the aurora structure

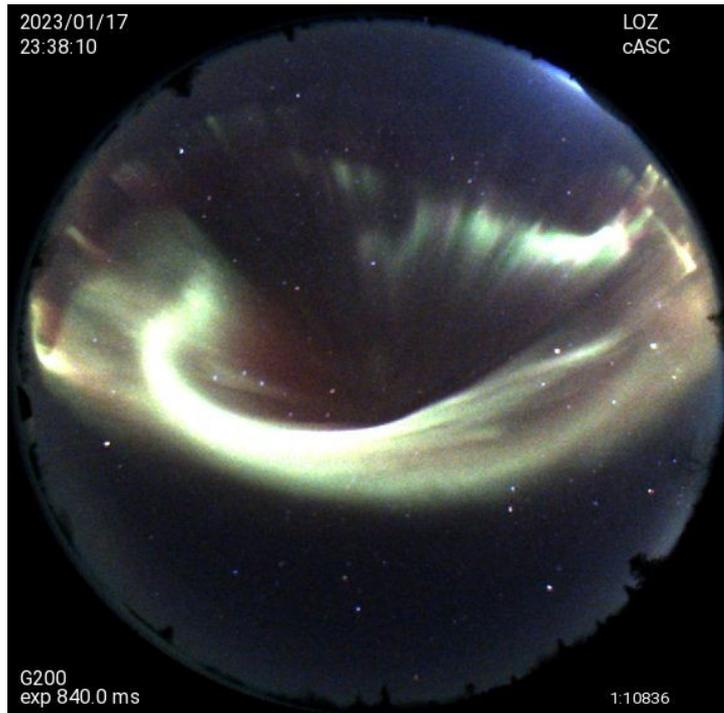
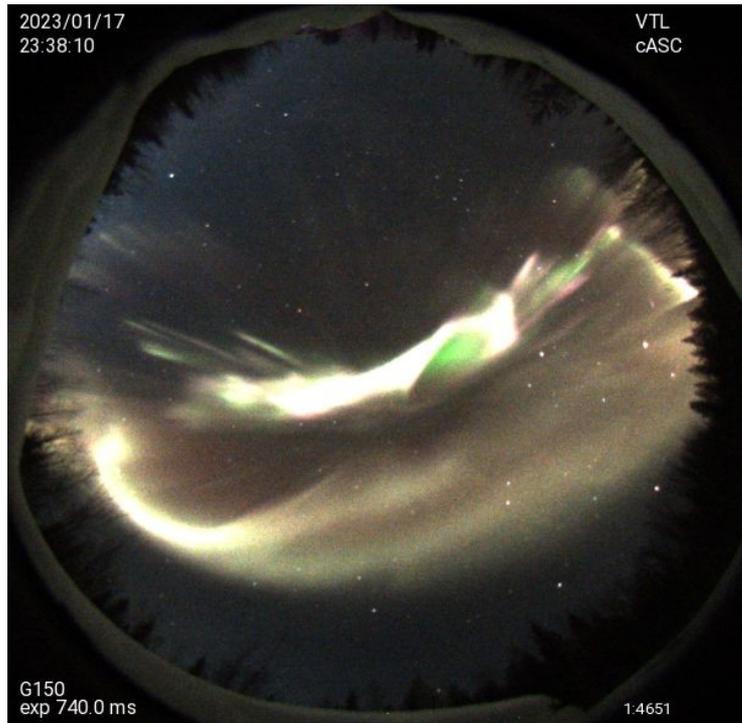
Triangulation pairs:

- 1) Verhnetulomsky range — Lovozero observatory (153 km)
- 2) Apatity PGI building — Apatity range (4.12 km)
- 3) Barentsburg observatory — KSC building in Barentsburg (4.0 km)

Verhnetulomsky range — Lovozero observatory (153 km)



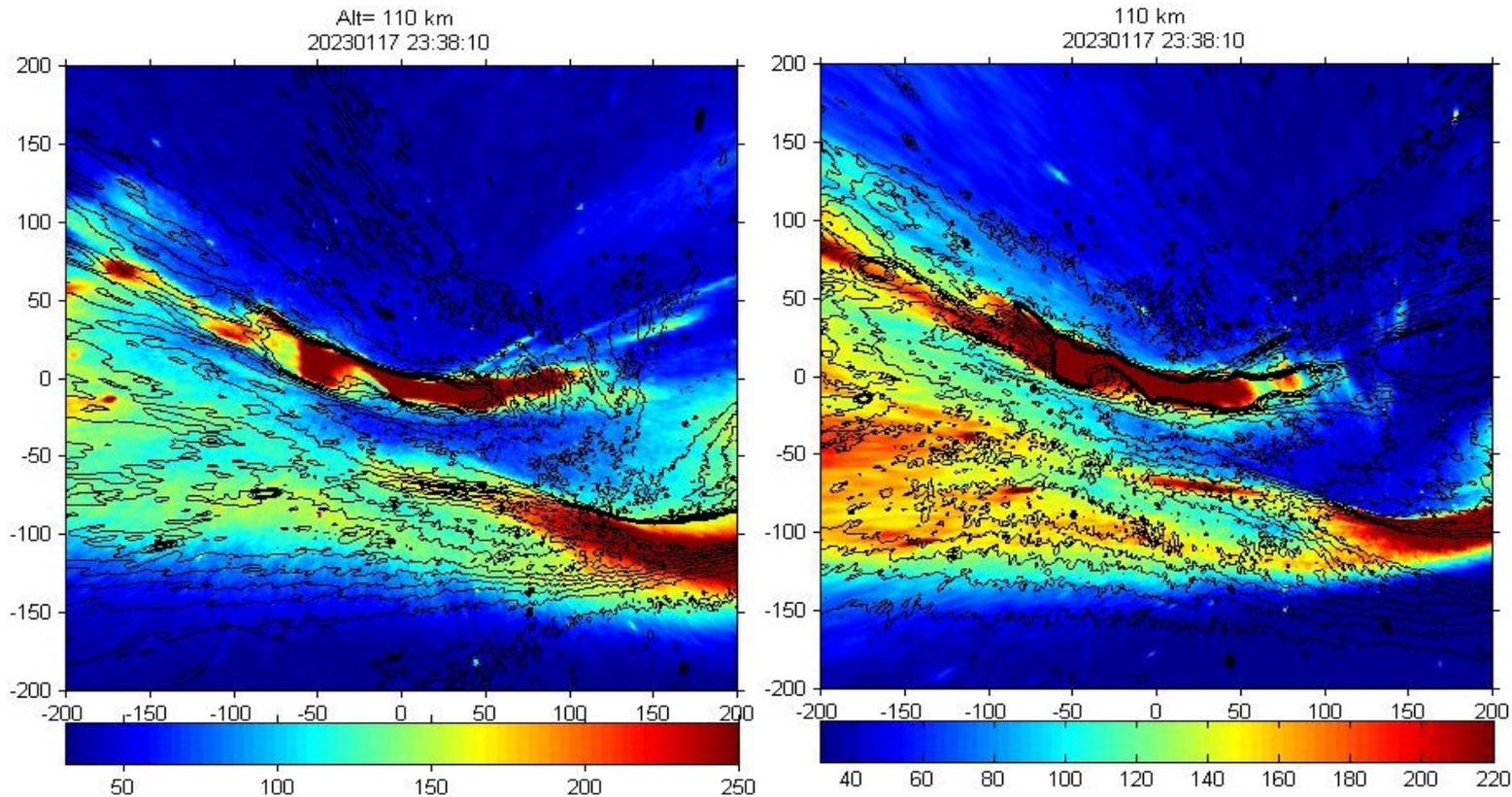
RGB камеры для триангуляции, яркие дуги



С 17 января 2023

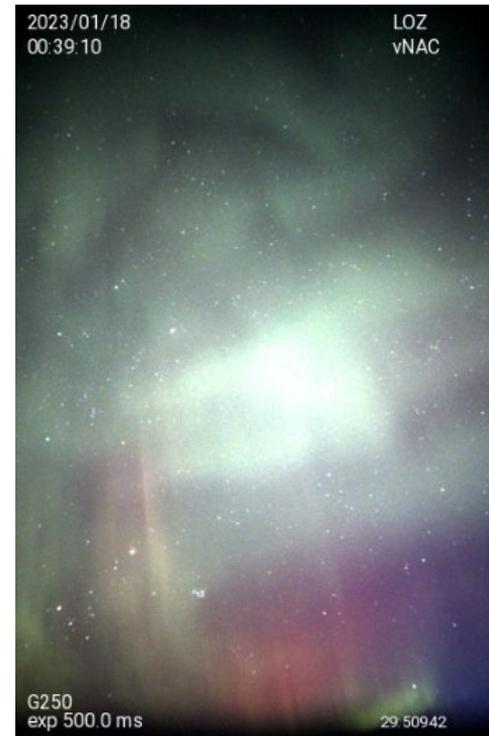
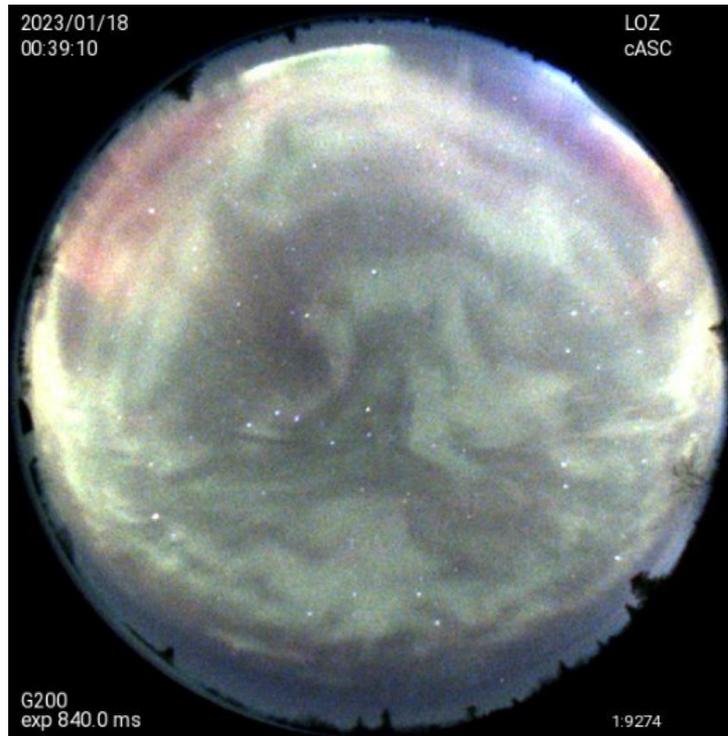
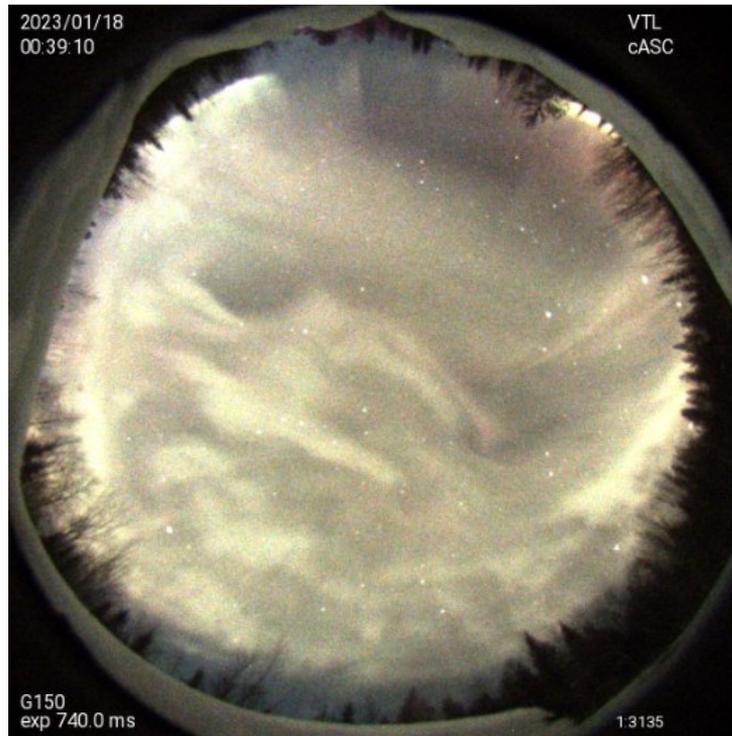
Триангуляция ярких структур по камерам всего неба

Относительно Верхнетуломского



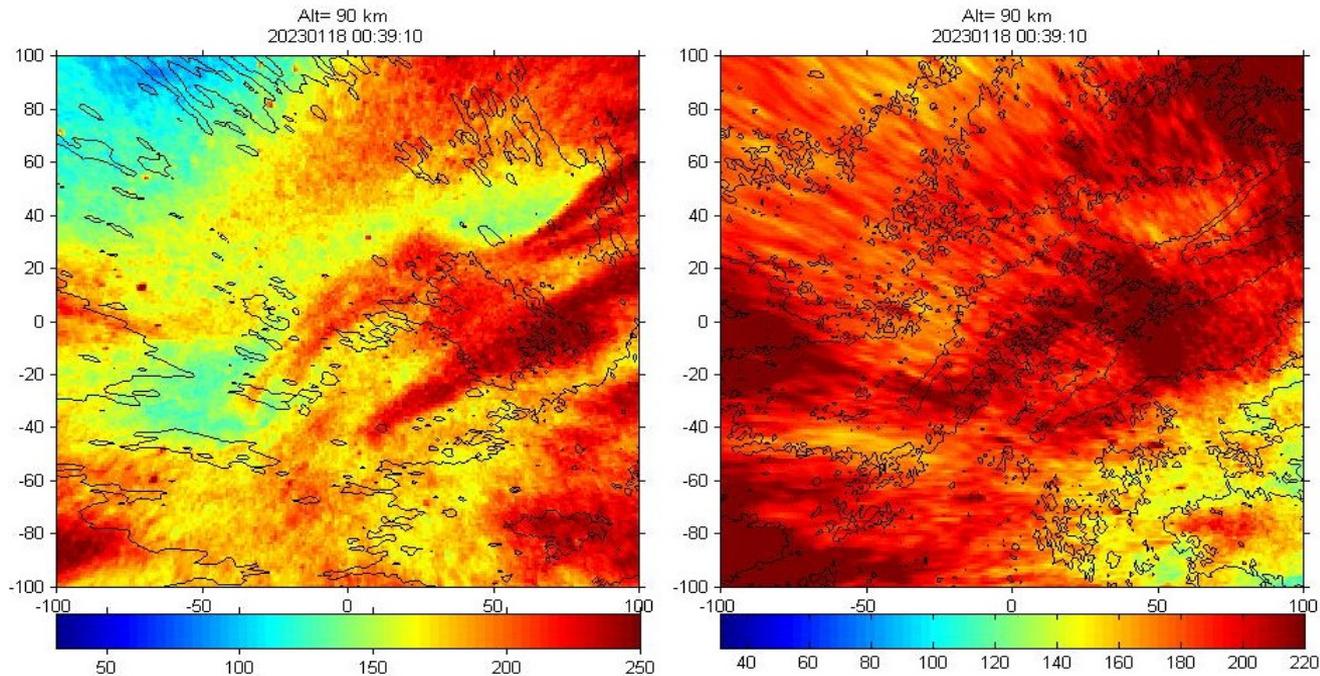
110 км

RGB камеры для триангуляции, пульсирующие формы



Триангуляция пульсирующих структур по камерам всего неба

Относительно Верхнетуломского



90 км

Seasons
2010-2011
2011-2012
2012-2013
2013-2014
2014-2015
2015-2016
2016-2017
2017-2018

Multiscale
Aurora
Imaging
Network

- 1. all-sky camera
- 2. Guppy F-044B, $\sim 18^\circ$
(blue-green glass filter),
motorized pan-tilt mount

+ GPS synchronization
+ weather station

- 1. Guppy F-044C, $\sim 67^\circ$
- 2. Guppy F-044B, $\sim 18^\circ$
(blue-green glass filter),
motorized pan-tilt mount

+GPS synchronization

Wi-Fi

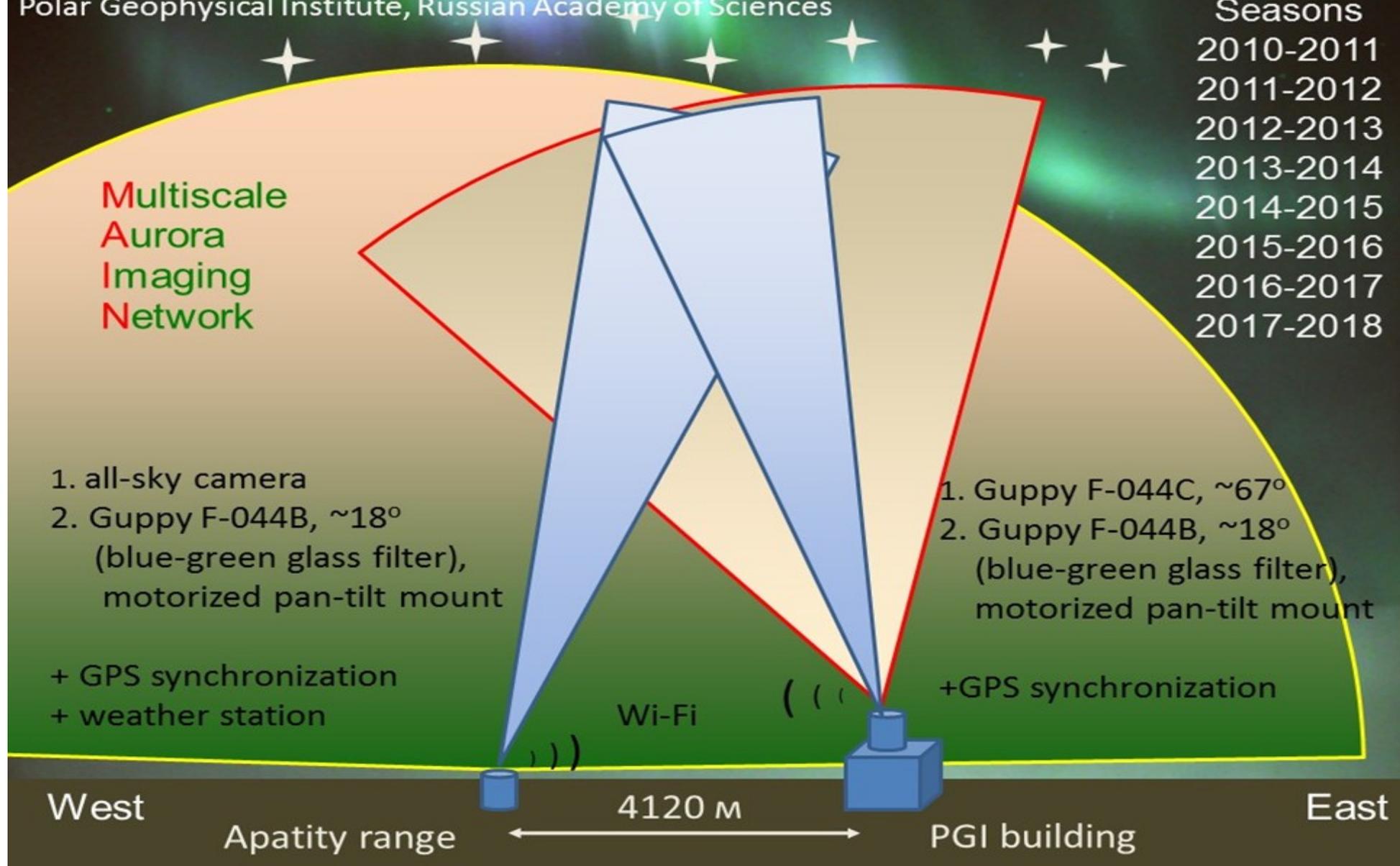
4120 m

West

Apatity range

PGI building

East



Extraction of structure for diffuse auroral patches

Sobel filter:

$$X \text{ mask} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
$$Y \text{ mask} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

$$G_x = \text{convol} (I(x,y), X_{\text{mask}})$$

$$G_y = \text{convol} (I(x,y), Y_{\text{mask}})$$

$$A = \text{sqrt}(G_x^2 + G_y^2)$$

$$Fi = \text{arctg}(G_y/G_x)$$

Visualization:

$$R = A \sin(Fi)$$

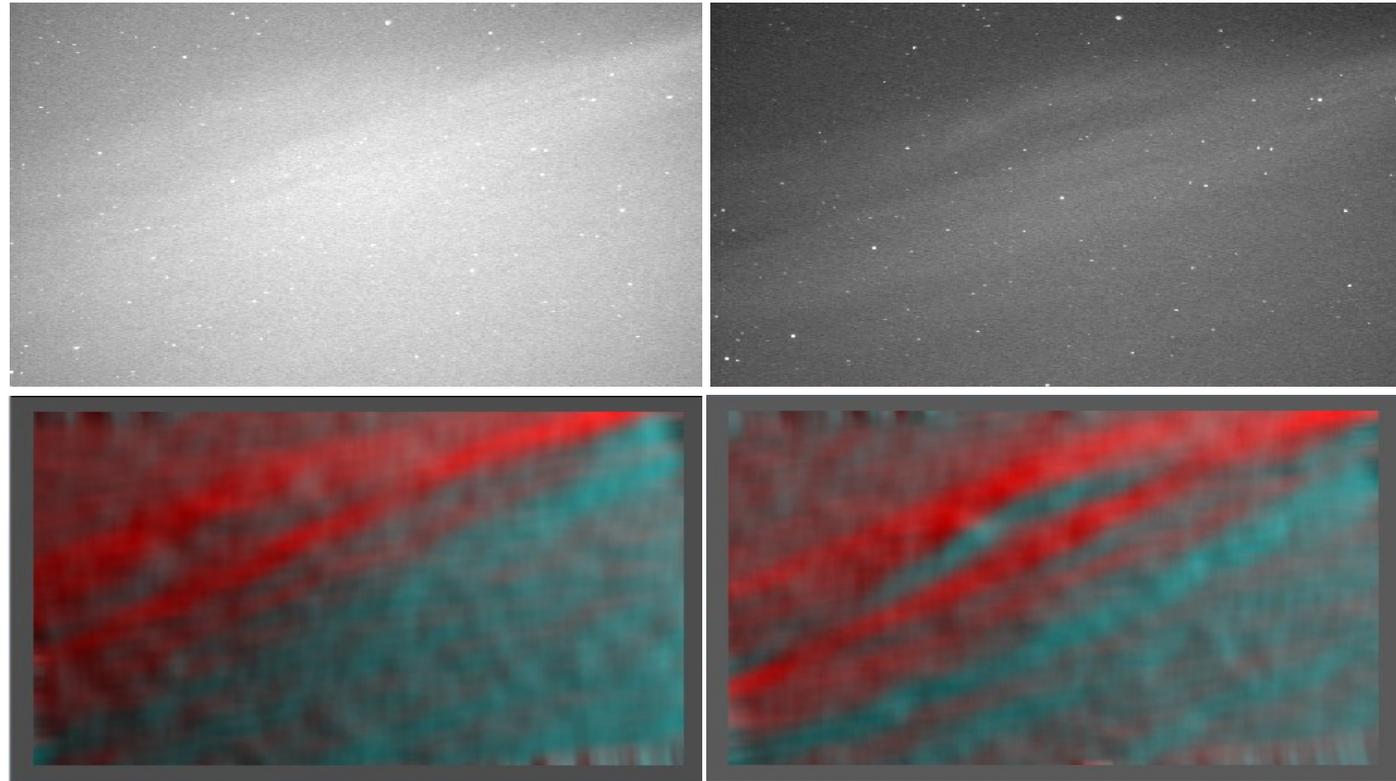
$$G = A \cos(Fi)$$

$$B = A \cos(Fi)$$

Camera G1

2017-03-31 00:33:30UT

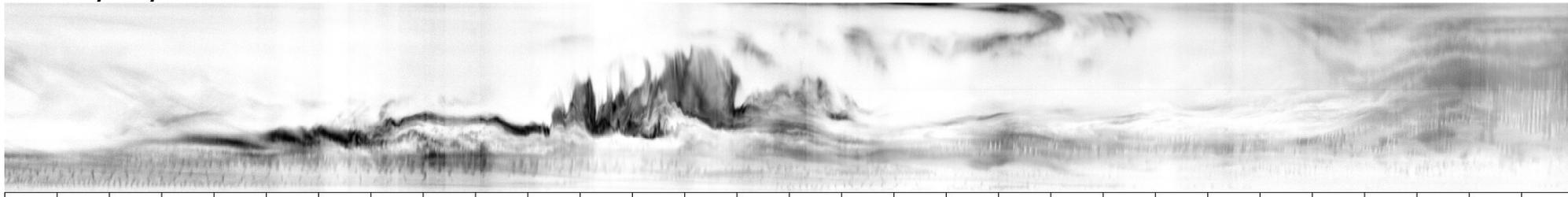
Camera G2



The best correlation for relative displacement 65pixels =>
The height of the structure is 92.2 km

2017/03/30 23:00-23:30UT

AS

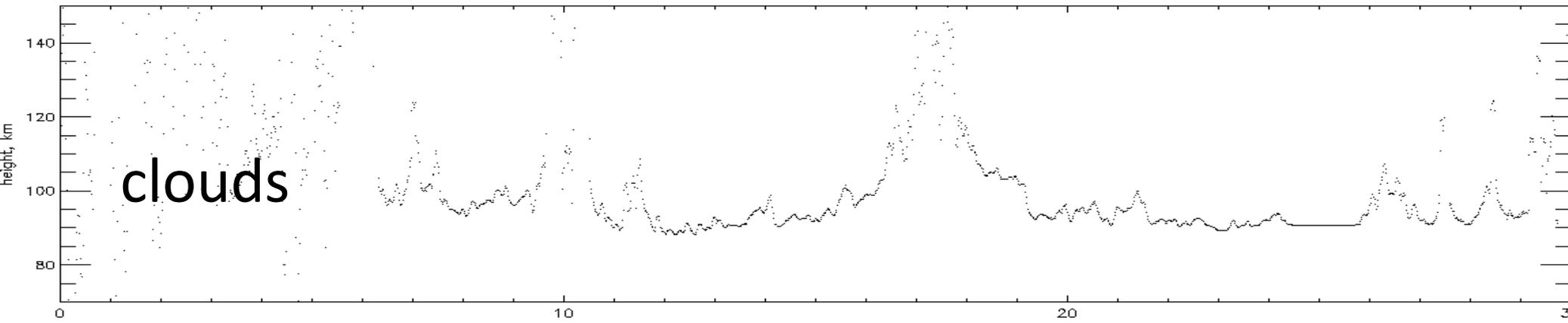


G1

clouds

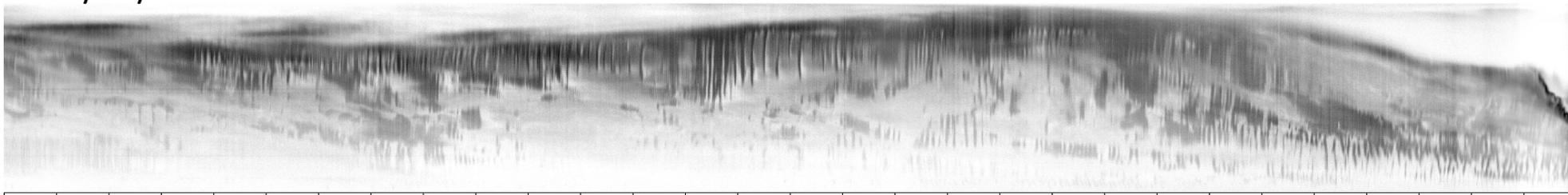


G2

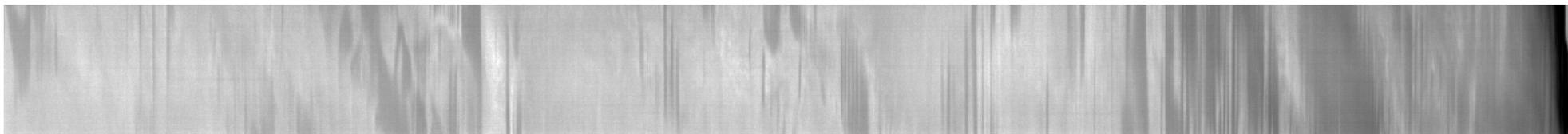


2017/03/31 00:00-00:30UT

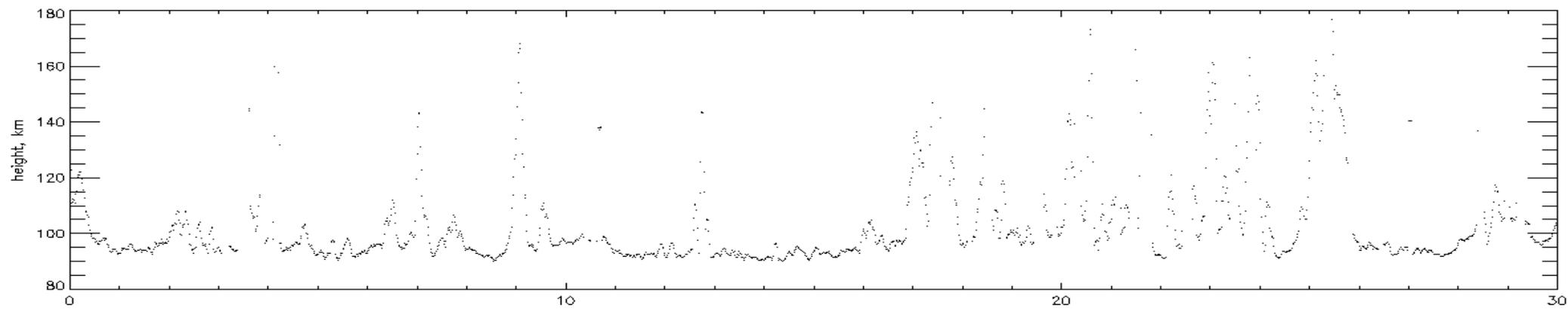
AS



G1

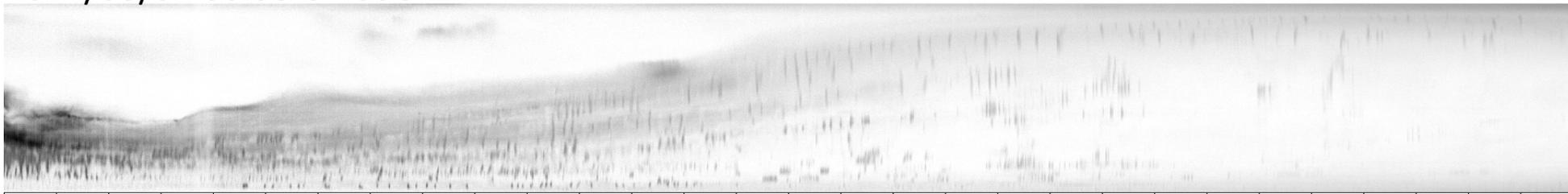


G2

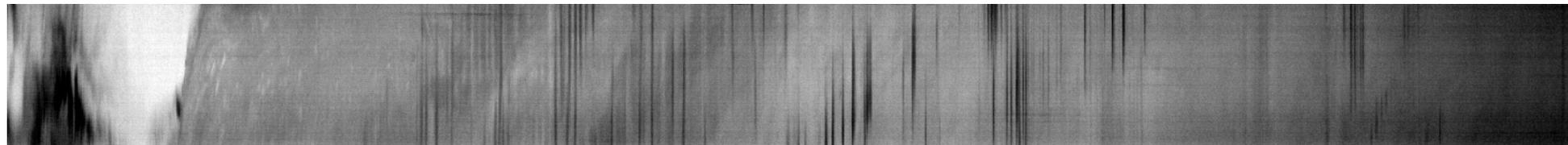


2017/03/31 00:30-01:00UT

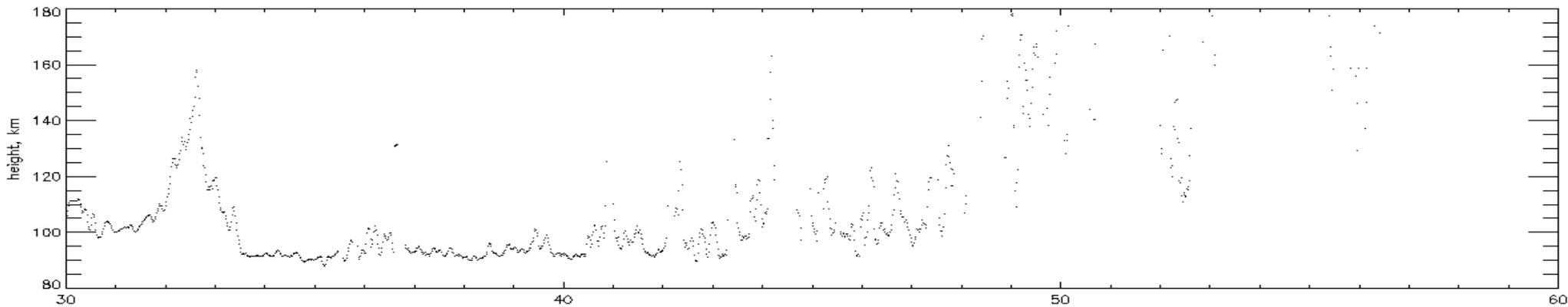
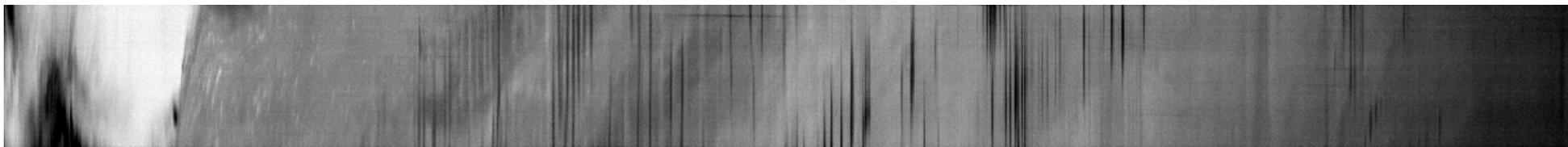
AS



G1



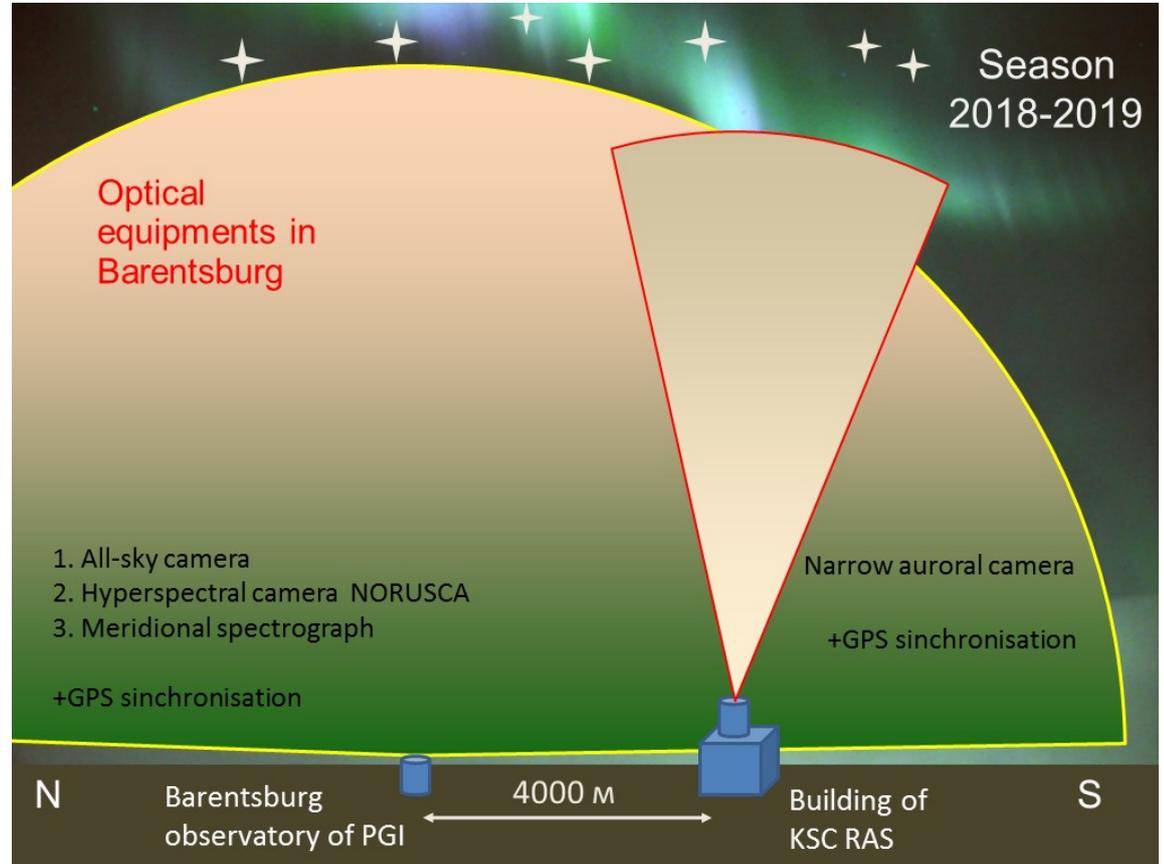
G2



Optical equipment of PGI in Spitsbergen, September 2018

Barentsburg
observatory of
PGI
(78.094717°N,
14.212644°E)

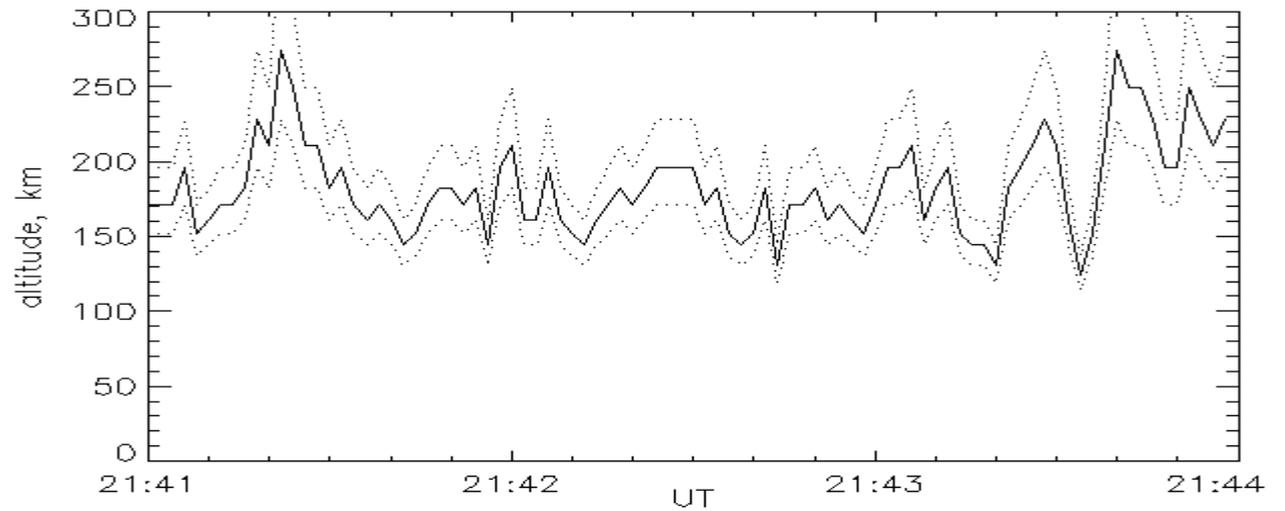
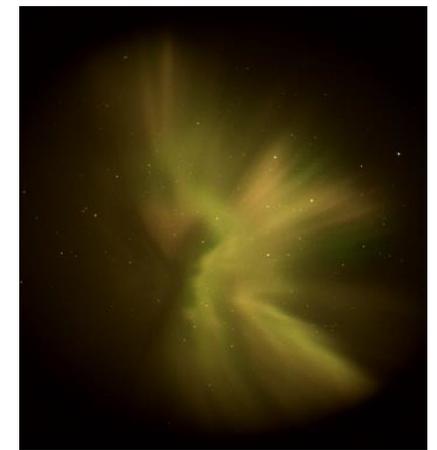
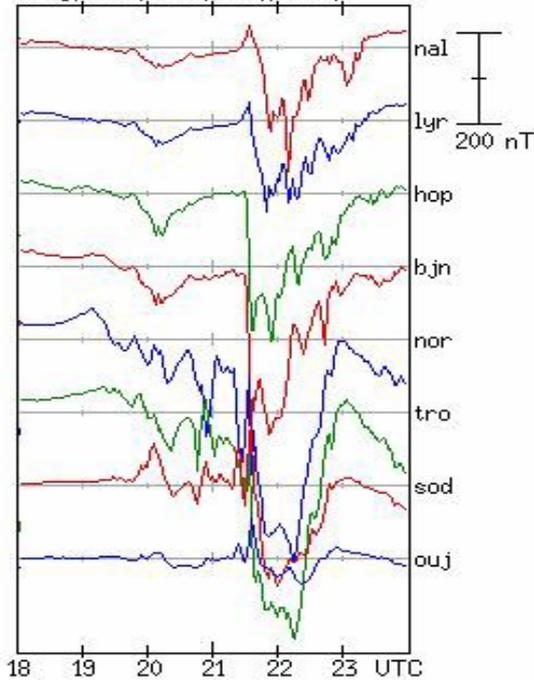
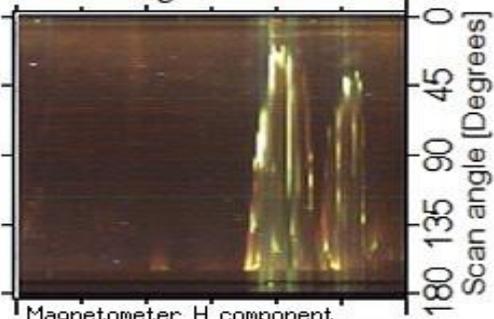
Building of KSC
RAS in
Barentsburg
settlement
(78.058934°N,
14.218244°E)



2019/02/08

21:41:11 UT

RGB Keogram KHO



Variation of the average altitude of the auroral structure over Barentsburg in the interval from 21:41 to 21:44 UT on 8 February 2019. The dotted lines correspond to 2 pixels errors in the obtained displacement.

A Study of Rayed Structures in Auroras by Triangulation Methods:1. Height Profiles of Volume Emission Rate B. V. Kozelov, Zh. V. Dashkevich, and V. E. Ivanov (Cosmic Research, 2021, Vol. 59, No. 4, pp. 223–230)

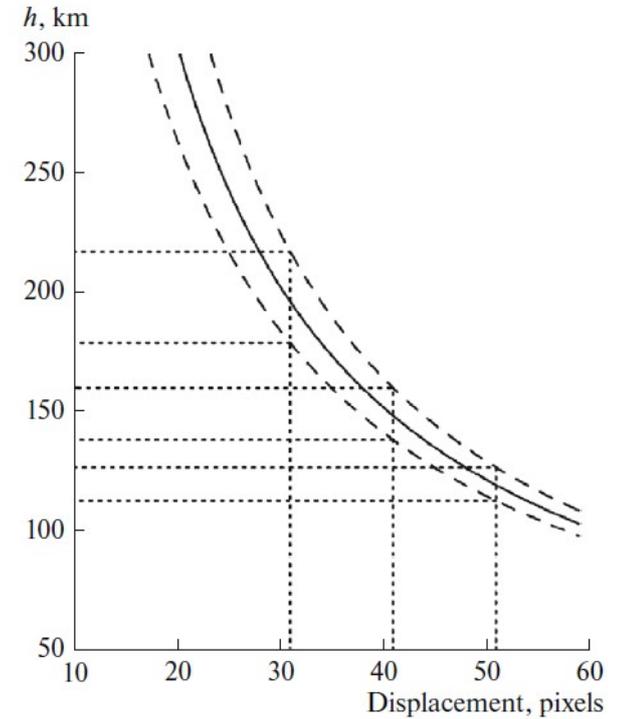
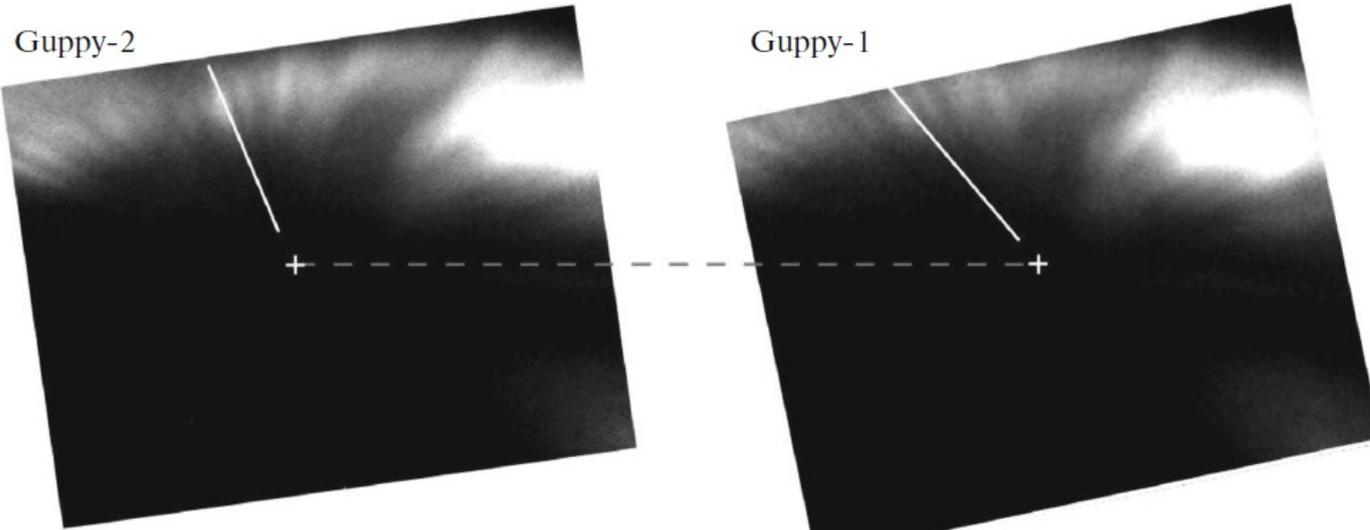


Fig. 2. Correspondence between the observed parallax in pixels and the height of the auroral structure.

Fig. 1. An example of simultaneous registration of the rayed structure of auroras by two cameras.

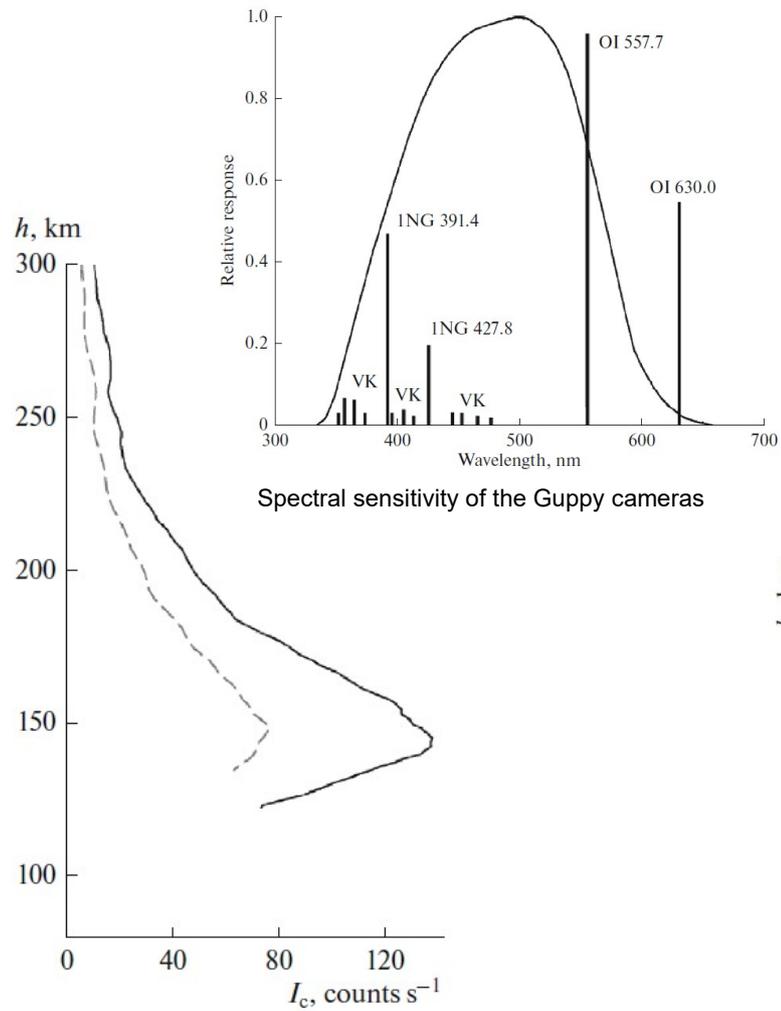


Fig. 3. Altitude distributions of the registered auroral intensity along the selected ray on the frames on September 14, 2014, 16.51.28 UT: the solid line is for the Guppy-2 camera, and the dashed line is for the Guppy-1 camera.

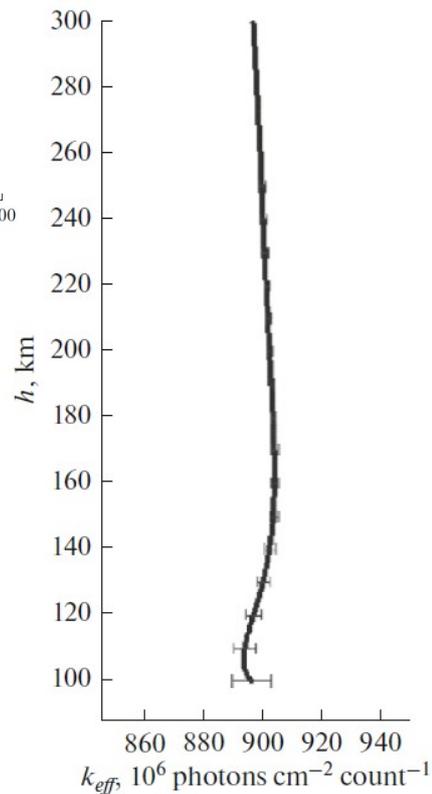


Fig. 5. Altitude dependence of effective coefficient k_{eff} .

$$k_{eff} = \frac{\sum_{\lambda} I_{\lambda}}{\sum_{\lambda} (I_{\lambda} / k_{\lambda})}$$

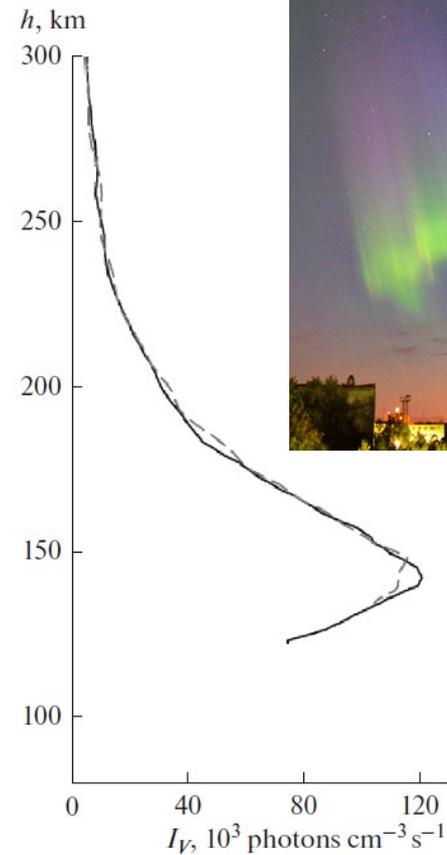
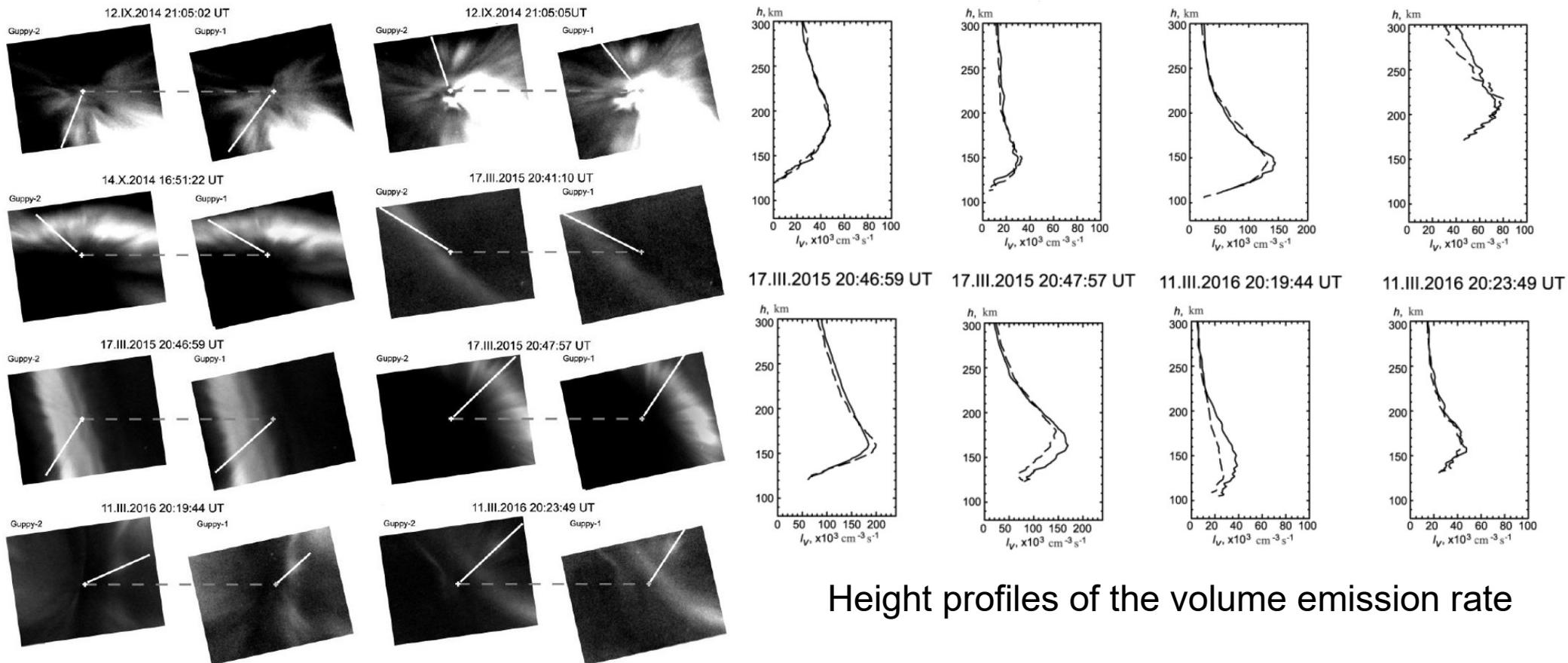


Fig. 7. Height profiles of the volume emission rate along the ray on September 14, 2014, at 16.51.28 UT, the solid line is for the Guppy-2 camera, and the dashed line is for the Guppy-1 camera.

Zh. V. Dashkevich, V. E. Ivanov, and B. V. Kozelov, Studying Rayed Structures in Auroras by Triangulation Methods: 2. Energy Spectra of Precipitating Electrons // *Cosmic Research*, 2021, Vol. 59, No. 5, pp. 307–311.

Zh. V. Dashkevich, V. E. Ivanov, and B. V. Kozelov, THE FEATURES OF PRECIPITATING ELECTRON SPECTRA IN THE RAYED AURORAS // *“Physics of Auroral Phenomena”*, pp. 118-121, 2021



Height profiles of the volume emission rate

Zh. V. Dashkevich, V. E. Ivanov,
and B. V. Kozelov, Studying
Rayed Structures in Auroras by
Triangulation Methods: 2. Energy
Spectra of Precipitating Electrons
*// Cosmic Research, 2021, Vol.
59, No. 5, pp. 307–311.*

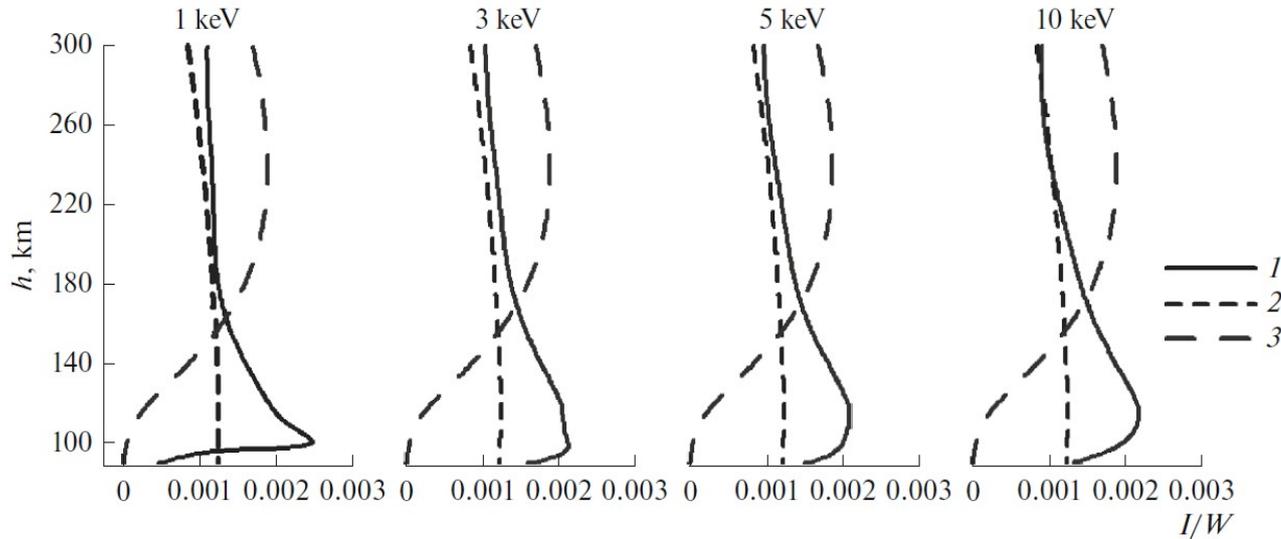
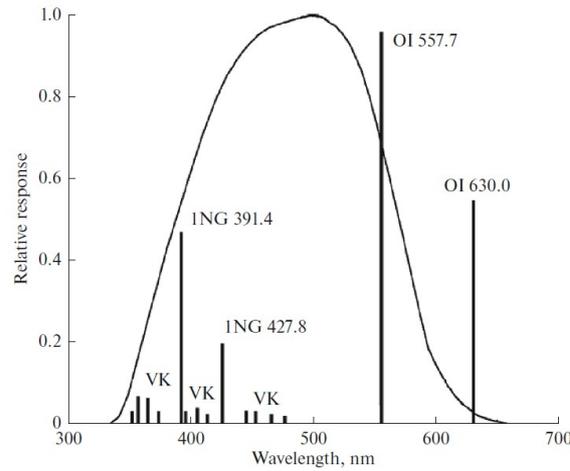


Fig. 1. Calculated ratios of volume emission rates from the range of 380–580 nm to deposition energy W : (1) $I_{557.7}/W$, (2) I_{1NG}/W , and (3) I_{VK}/W .

$$W(h) = k(h)I(h)$$

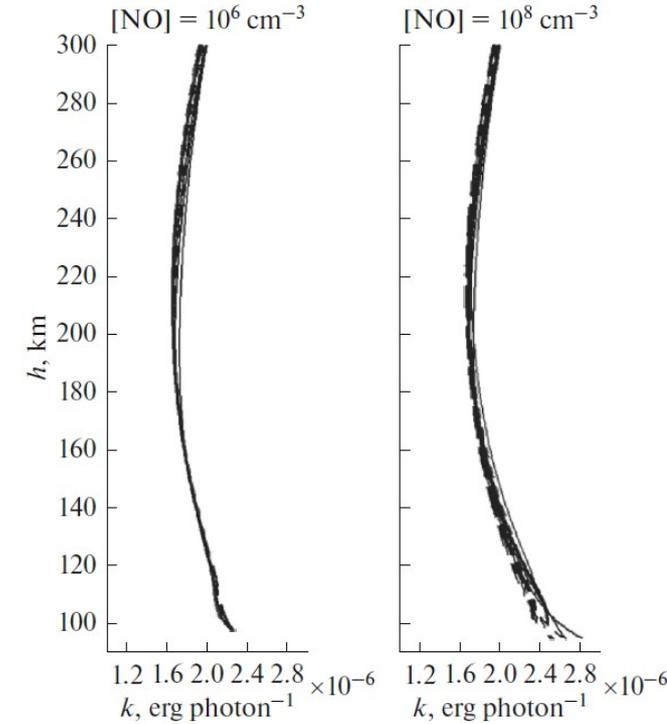
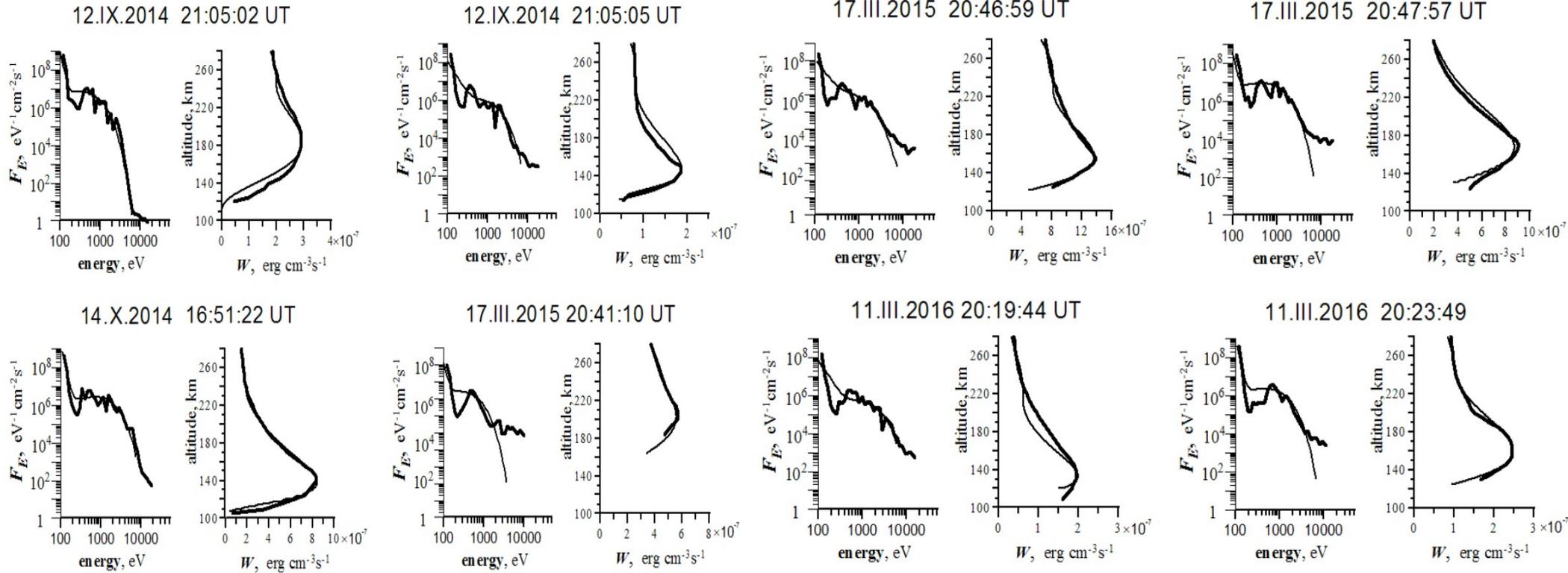


Fig. 2. Calculated ratios of deposition energy $W(h)$ to total volume emission rate $I(h)$ in the range of 380–580 nm. Each line corresponds to a pair of specific values E_0 and F_0 .



Left panel - reconstructed energy spectra $f(E)$ (thick line), approximation of reconstructed energy spectra by the formula (4) (thin line). Right panel - reconstructed height profiles of the deposition energy $W(h)$ (thick line); calculated altitude profiles $W(h)$ for fluxes described by an approximation (thin line).

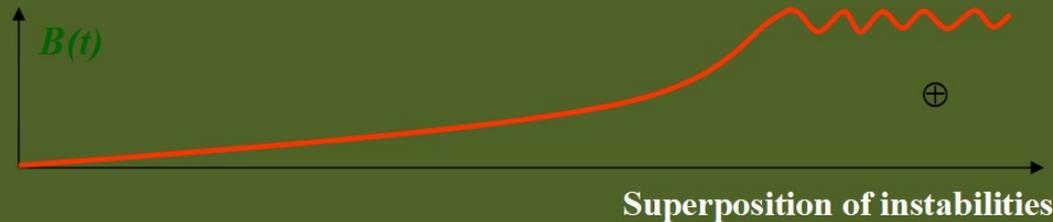
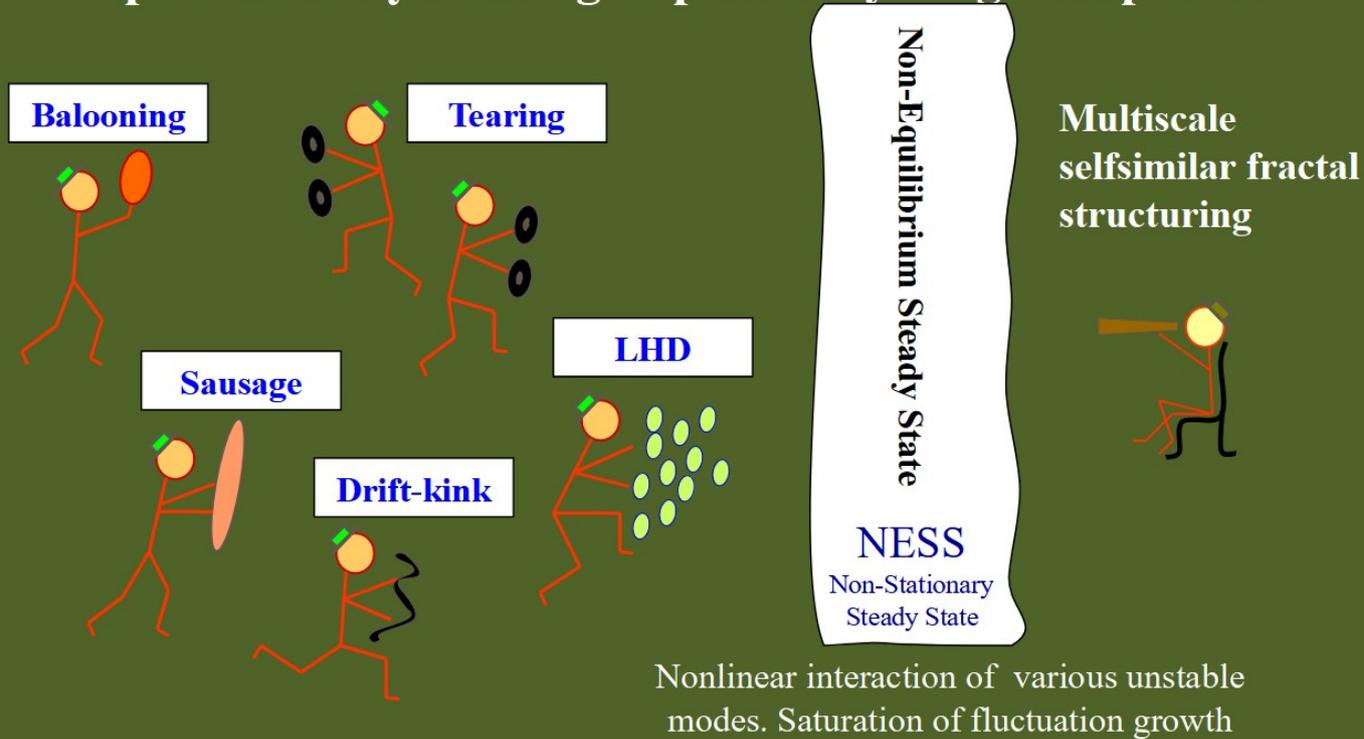
$$F(E) = N_1 E^{-\alpha} + N_2 E_0 \exp(-E / E_0) / E_0^2$$

План

- 1) Оптическая наблюдательная структура ПГИ.
- 2) Где искать данные, сайты.
- 3) Как используются данные:
 - Анализ суббурь и т.п.
 - Триангуляция
 - «Нелинейщина»...
- 4) Ближайшие планы:
 - ASC в Туманный
 - Приборы НИИЯФ МГУ в Ловозеро
 - Классификация НС по квиклукам

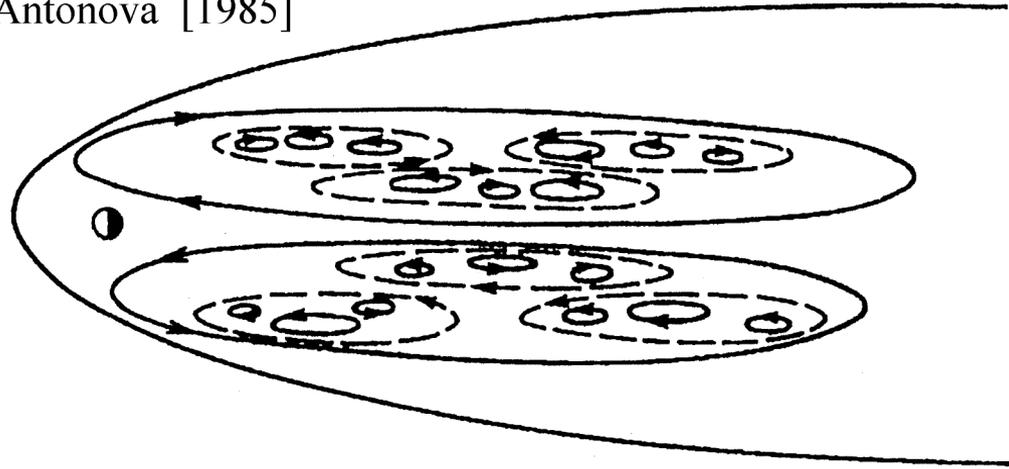


Magnetotail – open, extremely dynamic system ($\beta \geq 1$), permanently existing in planetary magnetospheres

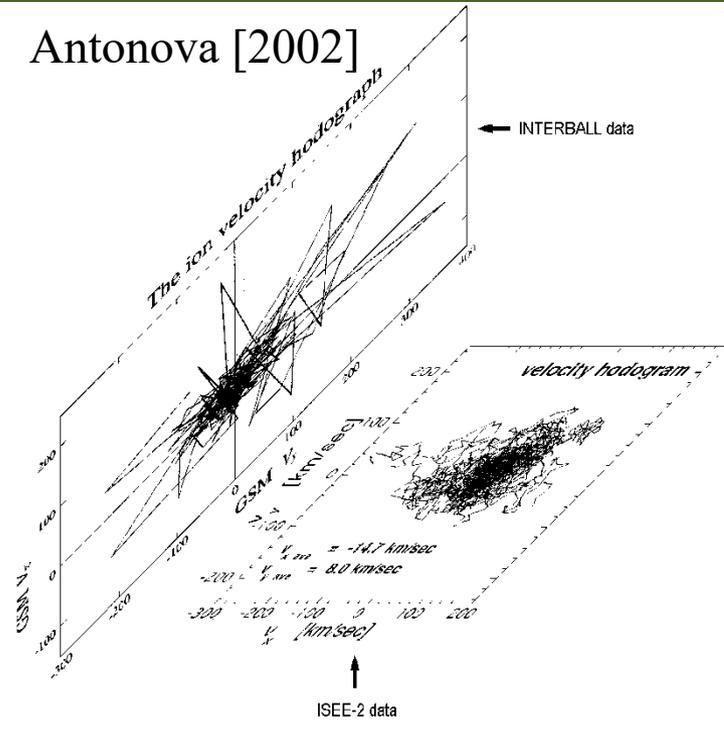


Turbulent dynamics of magnetosphere plasma

Antonova [1985]

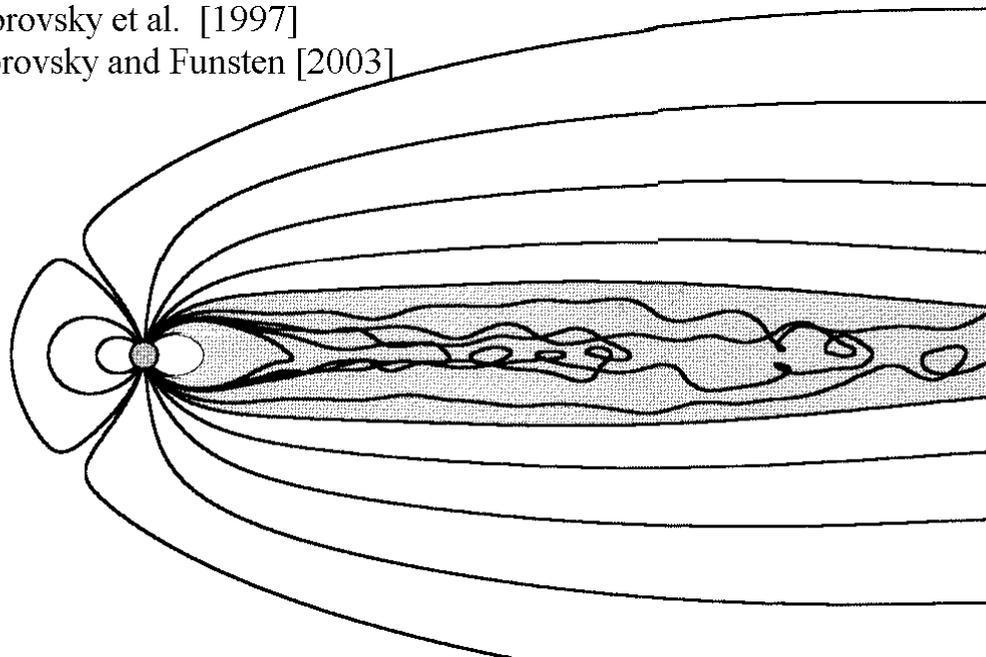


Antonova [2002]



Borovsky et al. [1997]

Borovsky and Funsten [2003]



The main results for aurora scaling

- Fractal lines of equal intensity
- SOC-like spatio-temporal statistics
- Turbulent-like spatial fluctuations
- Low-dimensional chaos

Self-organized critical (SOC) state

- Spatiotemporal evolution of transients follows distinct power-law statistical relations, including power-law scaling of occurrence probabilities of the duration, area, energy output and some other relevant quantities.
- These scaling laws strongly suggests the existence of a universal dynamical principle, such as self-organized criticality (SOC), arranging the system dynamics in a uniform scale-free fashion across quite different spatial and temporal scales.
- More details about self-organized criticality, avalanche analogy and sandpile models see in [Bak, 1997; Jensen, 1998]

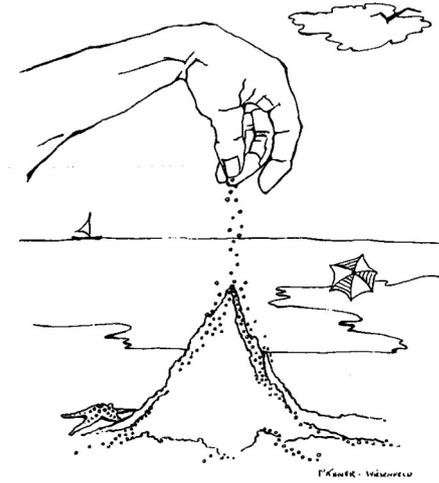
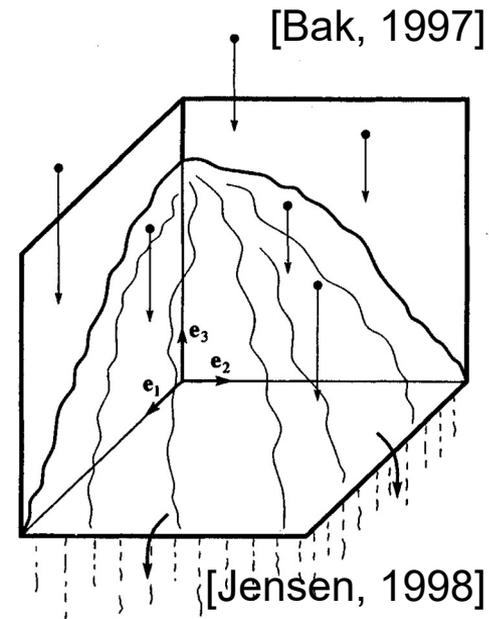
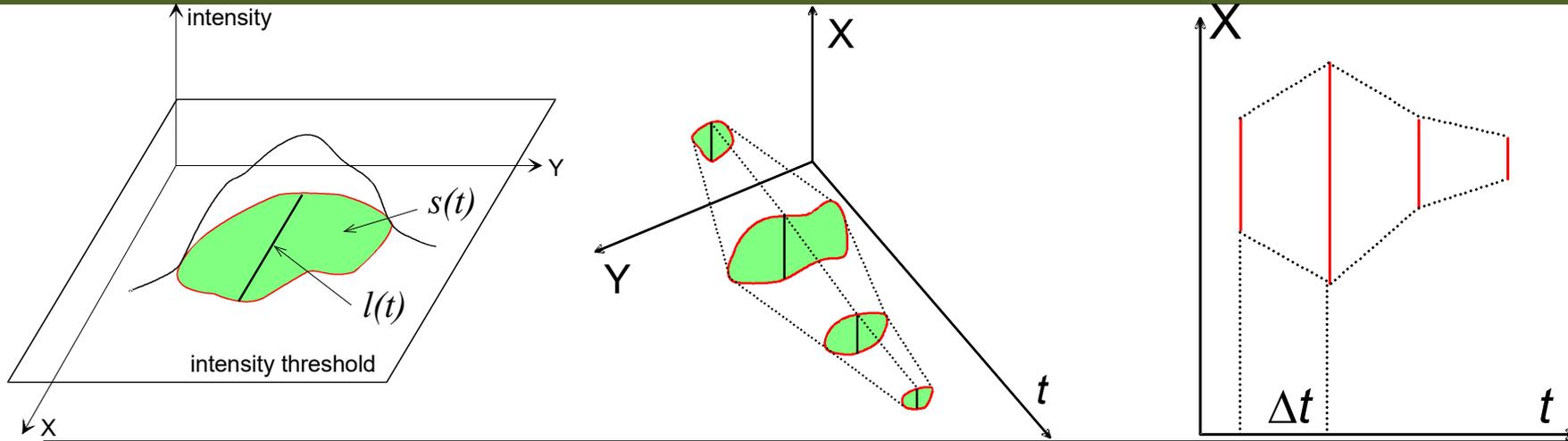


Figure 1. Sandpile. (Drawing by Ms. Elaine Wiesenfeld.)



[Jensen, 1998]

Avalanche analysis: 1-D and 2-D characteristics of auroral spots



Characteristics	2-D spatial spots	1-D spatial spots
Integrated size	$S = \int_{\{T\}} s(t) dt$	$L = \int_{\{T\}} l(t) dt$
Total dissipated energy	$E = \int_{\{T\}} w(t) dt$	$E = \int_{\{T\}} w_l(t) dt$
Maximum spatial size	$A = \max_{\{T\}} s(t) dt$	$L_{\max} = \max_{\{T\}} l(t) dt$
Maximum dissipated power	$W = \max_{\{T\}} w(t) dt$	$W = \max_{\{T\}} w_l(t) dt$

Optical observations during 19-20 January 2001

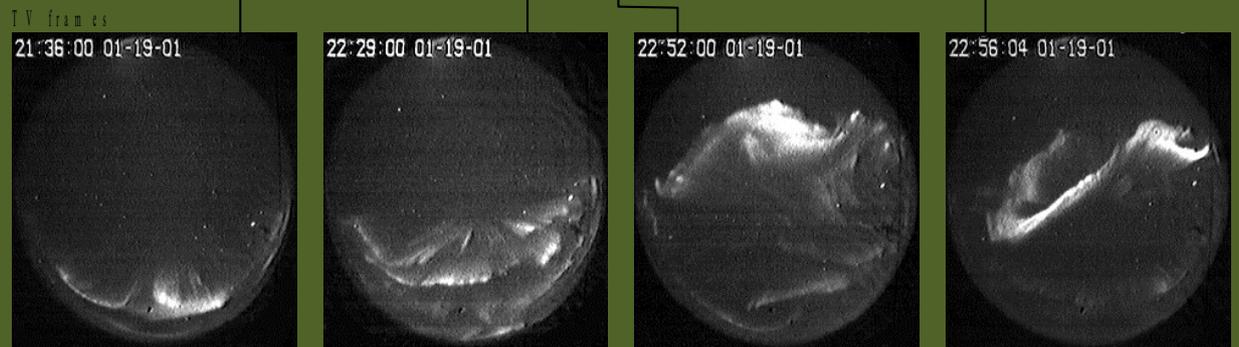
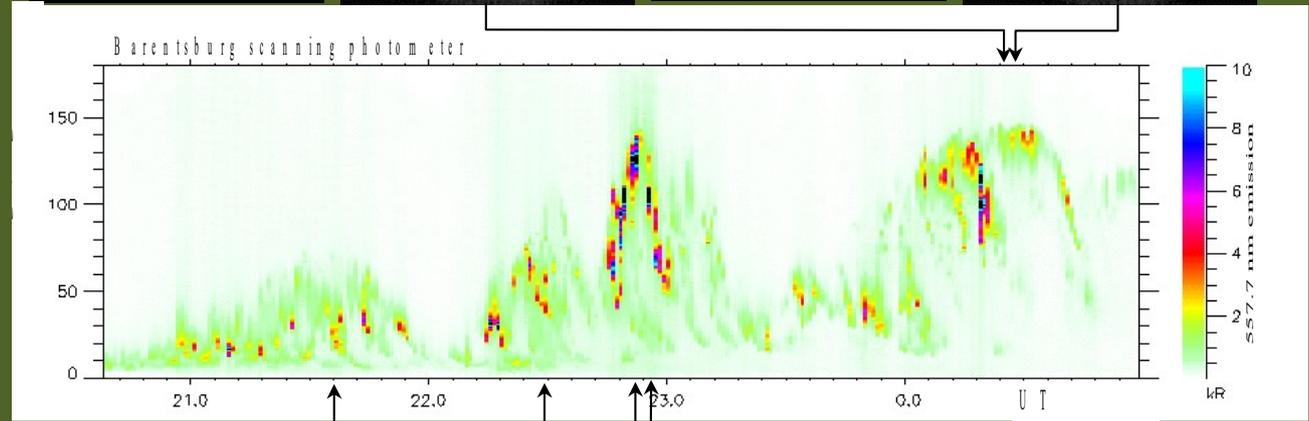
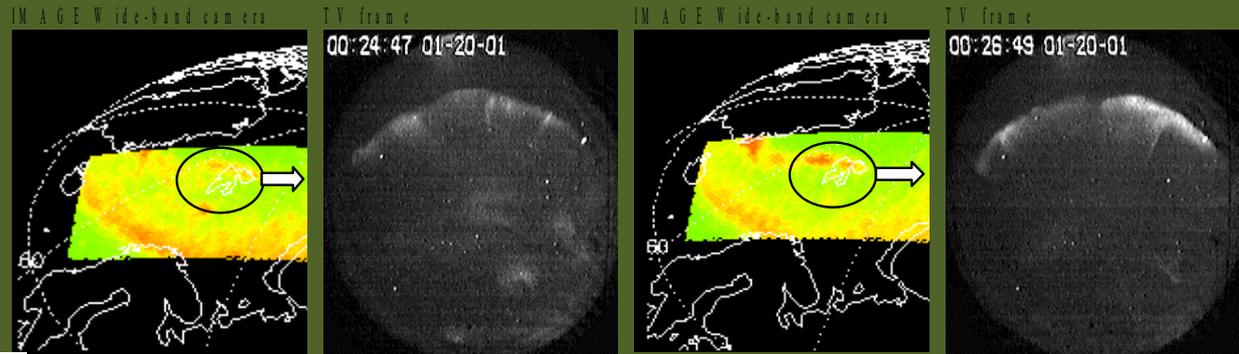
20:50-00.30UT

B_z IMF = ± 2 nT

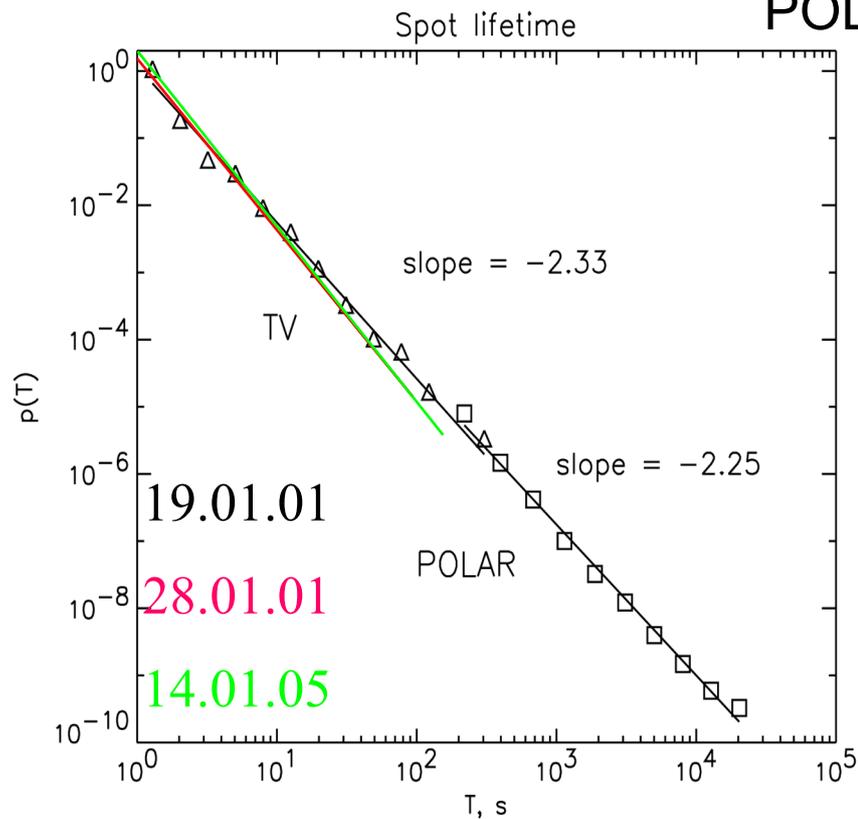
Dst = 14-22 nT

K_p = 1-2

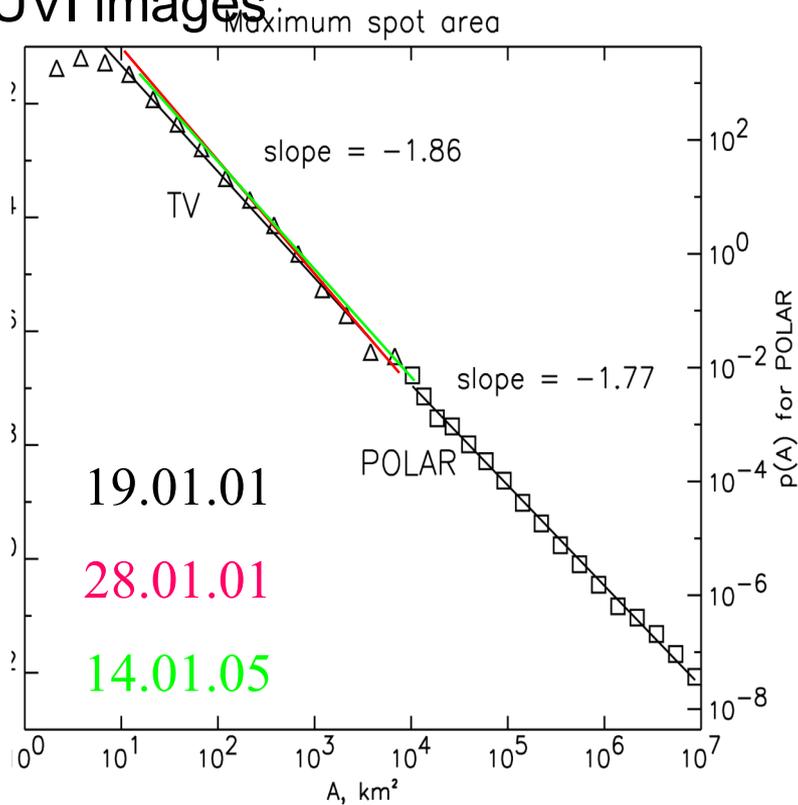
AE < 100 nT



Comparison of distributions obtained by groundbased TV all-sky observations and POLAR UVI images



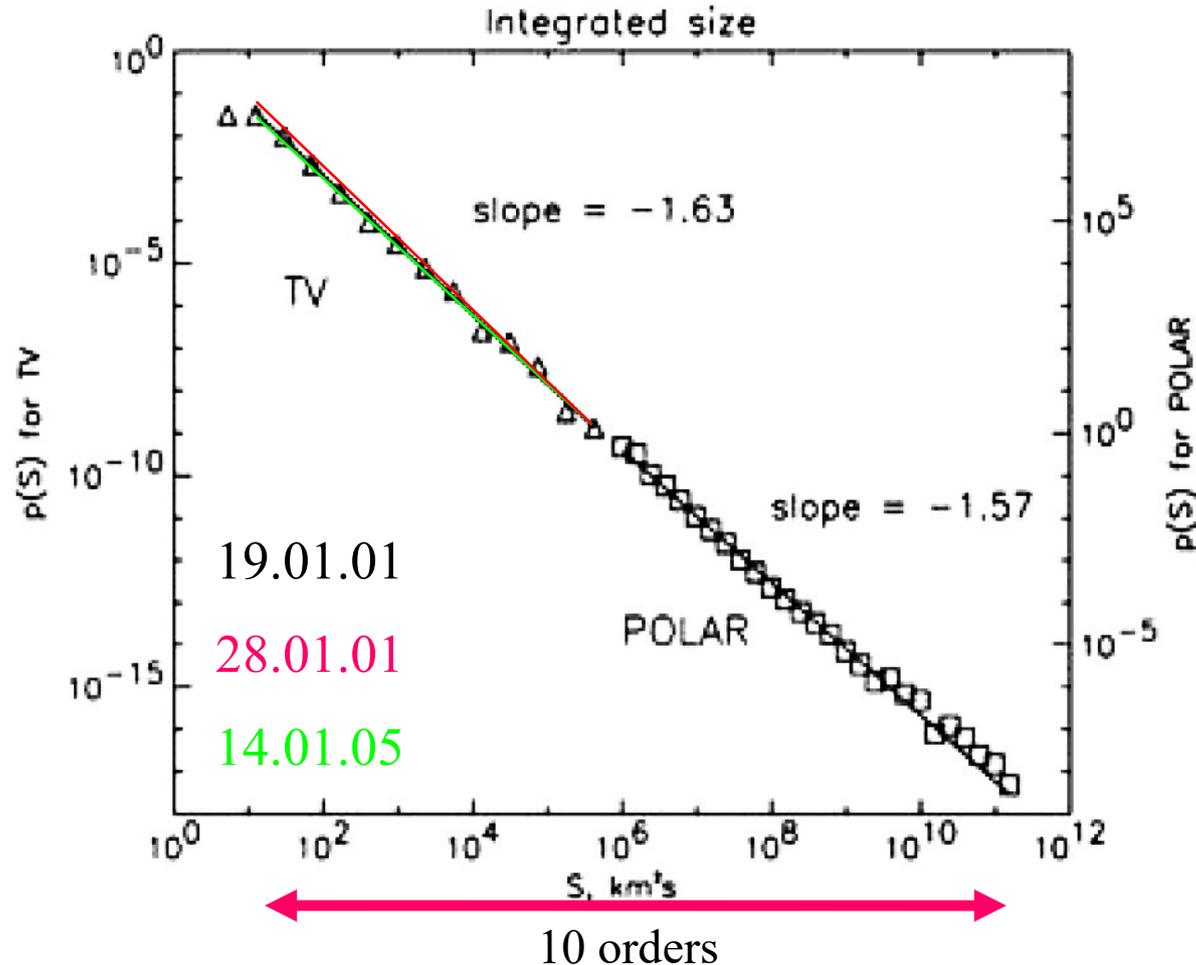
4 orders



6 orders

[B. V. Kozelov, V. M. Uritsky, and A. J. Klimas, GRL, 31, L20804, 2004]

Comparison of distributions obtained by groundbased TV all-sky observations and POLAR UVI images



[B. V. Kozelov, V. M. Uritsky, and A. J. Klimas, GRL, 31, L20804, 2004]

Случай 20 марта 2020, 19:42 – 19:49 UT

Для анализа использованы данные эмиссионного имажера обсерватории "Ловозеро", камера канала эмиссии 427.8 нм (E142). Камера включает светосильный объектив ОСШ-1.0-ГАО(8.2), EMCCD камеру PhotonMax:512В, фильтровое колесо ZWOEFW5x2 с набором светофильтров (интерференционный светофильтр на 427.8 нм и адсорбционный светофильтр на группу 1NG 380-500нм).

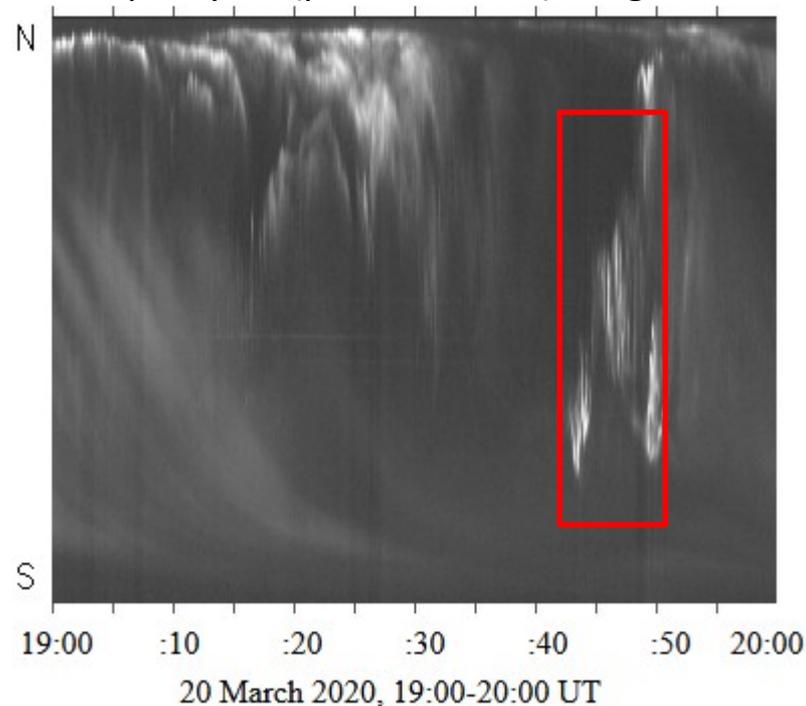
Прибор обеспечивает: поле зрения - 180 град., угловое разрешение - до 0.35 град., разрядность АЦП - 16 бит, временное разрешение - 0.1 сек. с синхронизацией экспозиции от системы GPS

Регистрация проводилась под пролеты спутника ARASE. Всего в этом случае имеем 4095 кадров.

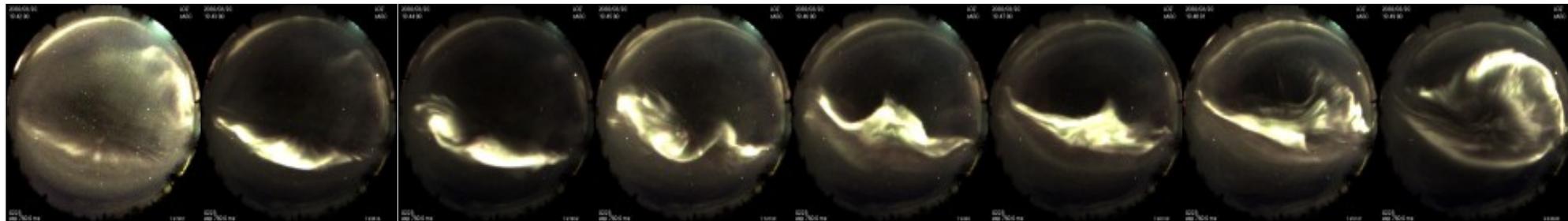
Процедура обработки:

1. Ограничение поля зрения до 75° от зенита и ограничение по уровню интенсивности.
2. Выделение связанных кластеров на каждом кадре.
3. Прослеживание истории кластеров во времени.
4. Определение начального и конечного момента для каждого кластера, максимальной площади (с учетом искажение объектива) каждого кластера в течение его истории, интегрированной площади каждого кластера.
5. Вычисление распределений, выделение степенных участков.

Apatity AS (panchromatic) keogram

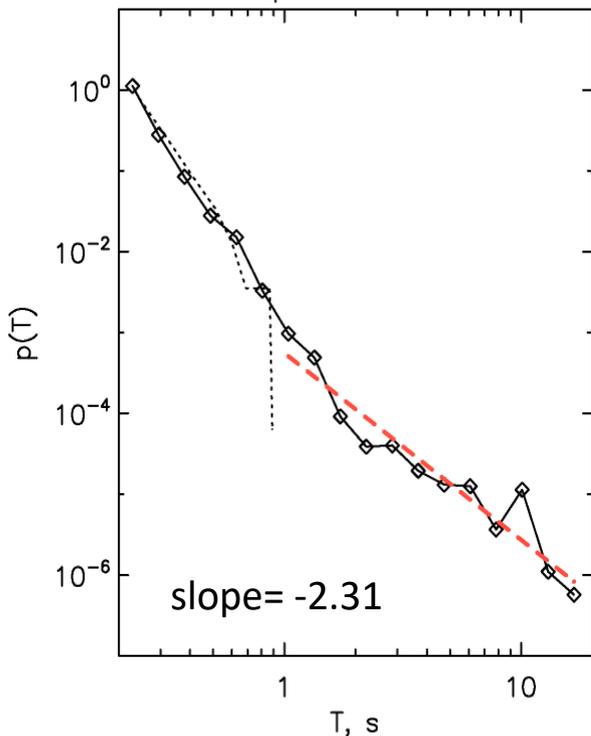


Динамика сияний по данным RGB камеры всего неба в Ловозеро

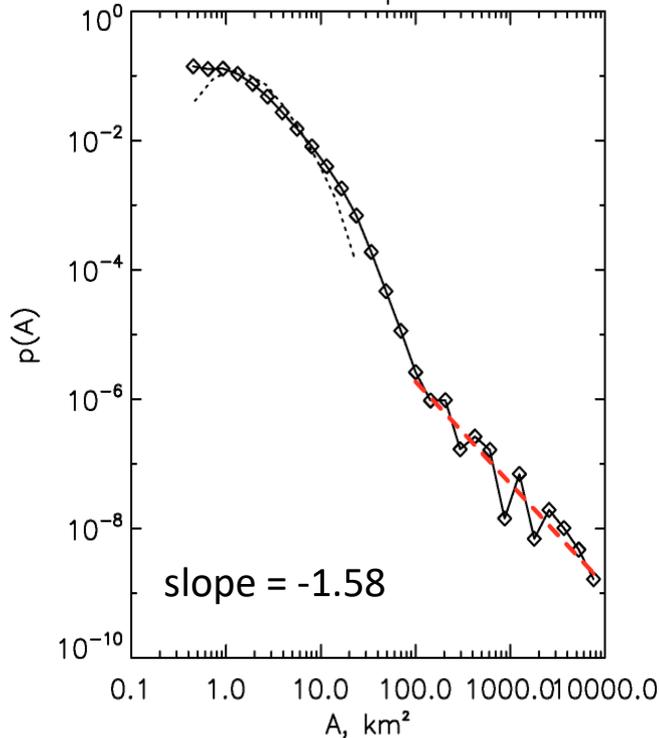


Статистические распределения для случая 20 марта 2020, 19:42 – 19:49 UT

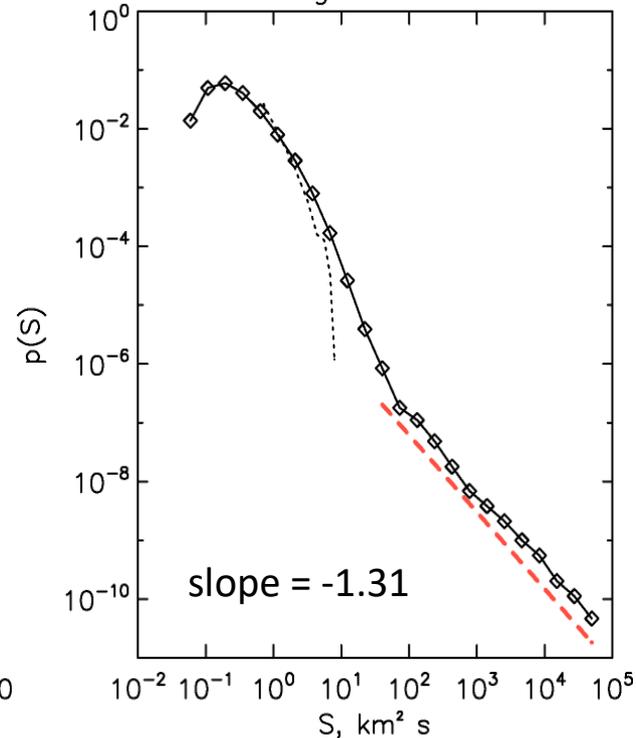
Spot lifetime



Maximum spot arrea



Integrated Size



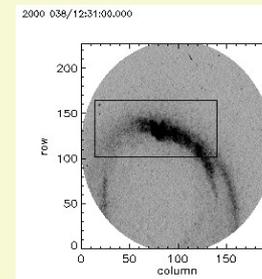
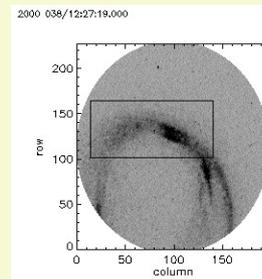
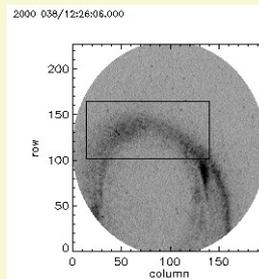
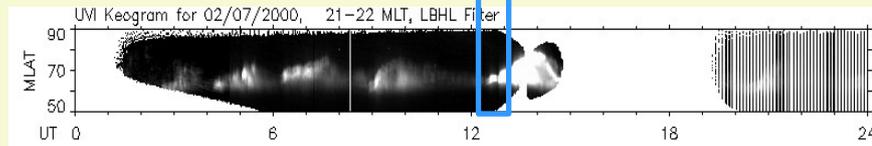
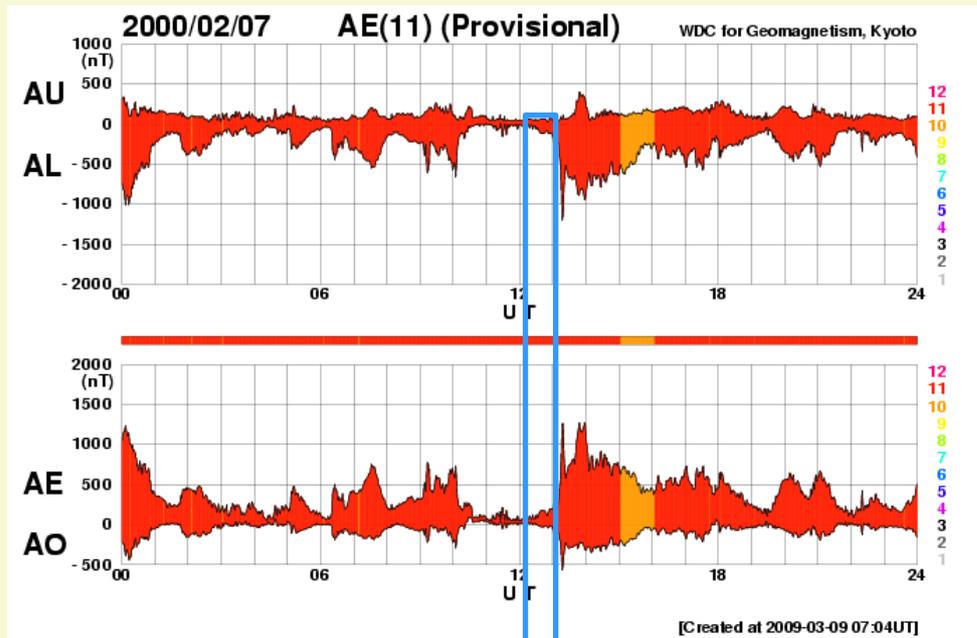
В рассмотренном интервале выделено 83375 пространственно-временных кластеров (пятен). В распределениях на малых масштабах видно изменение формы распределений (сплошные линии с ромбами). Контрольная обработка последовательности кадров с закрытым затвором показало, что распределения на малых масштабах определяются шумом детектора (мелкий пунктир). На больших масштабах на распределениях выделены степенные участки (красный пунктир), показатели приведены. Пик около 10 с на распределении времен жизни демонстрирует присутствие пульсаций во время активизации сияний.

Individual transient data analysis

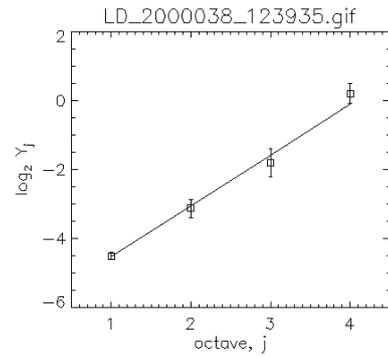
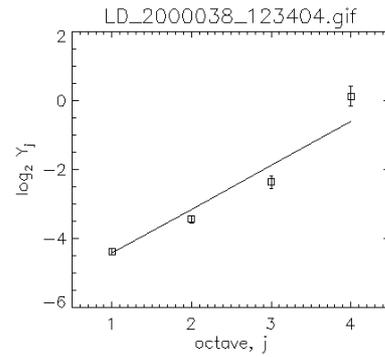
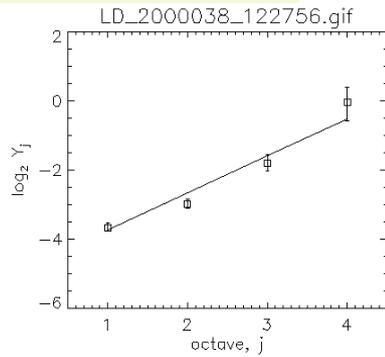
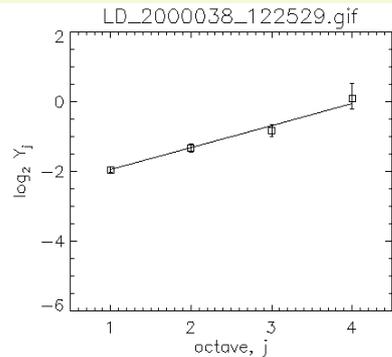
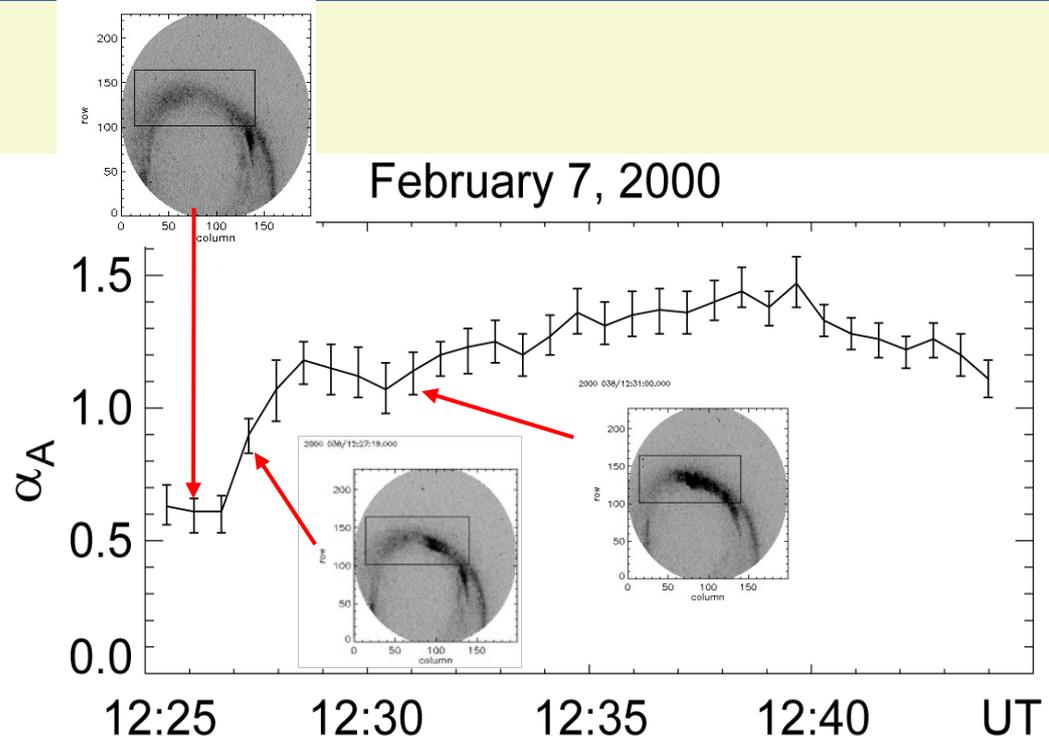
Auroral electrojet activity. Start of intensification at ~1227UT has been analyzed.

Polar UVI keogram

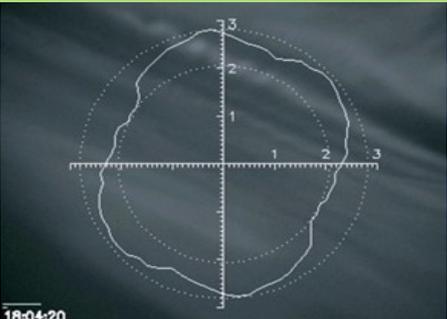
Polar UVI images



Evolution of scaling index α calculated for intensity fluctuations in the columns of marked regions of Polar UVI images.

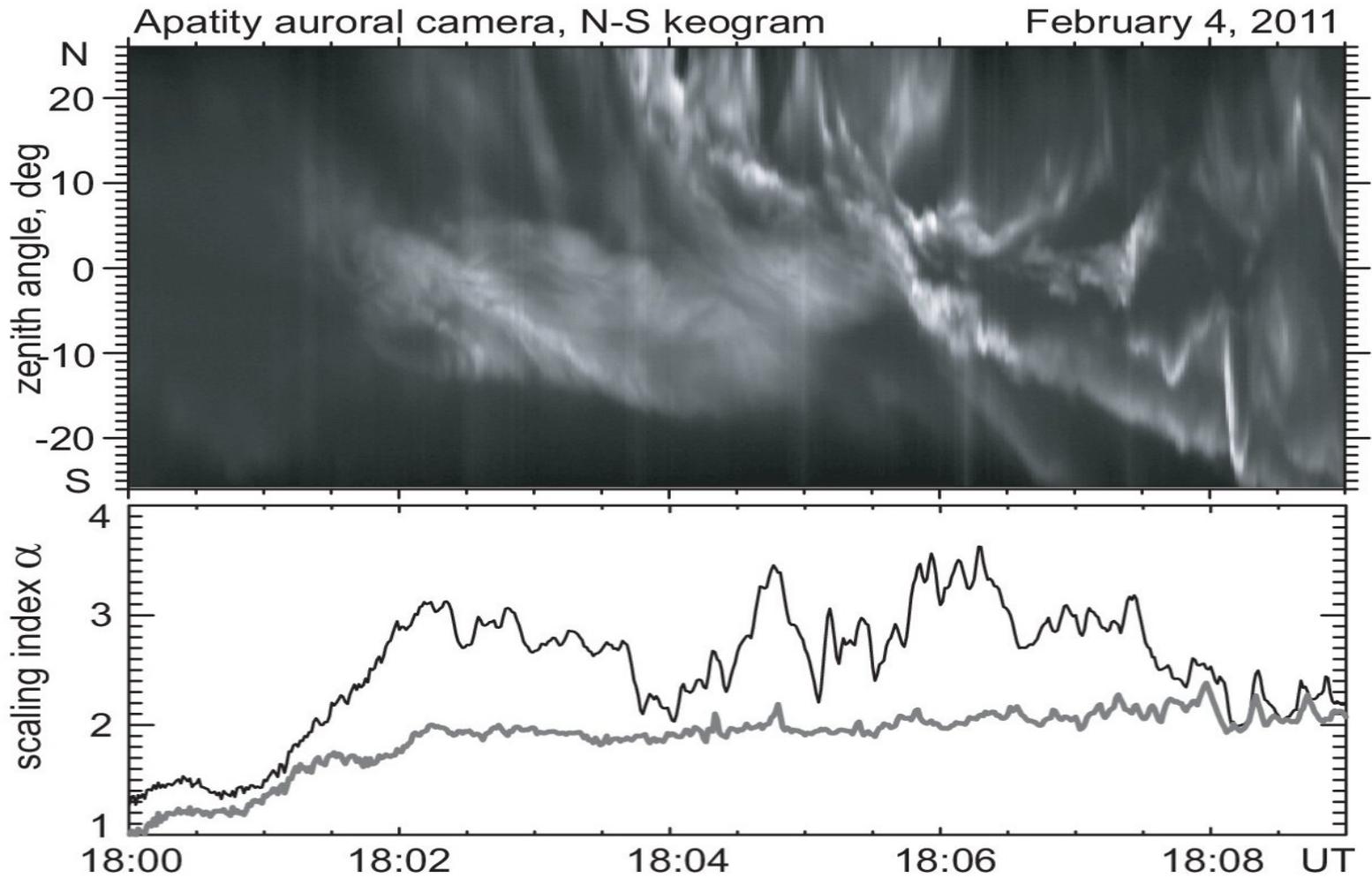


Variance of wavelet decomposition coefficients at given scale as a function of scale. The error bars - estimations by bootstrap method (95% confidence level).



Guppy-C data, green channel. The overlapped polar plots present angular dependence of the scaling index. The index value is expressed by radial distance and the angle indicates the direction of a linear cross section of the image used for index calculation.

Black(gray) line shows evolution of the scaling index for perpendicular (parallel) cross section of image



Dimension of embedding space

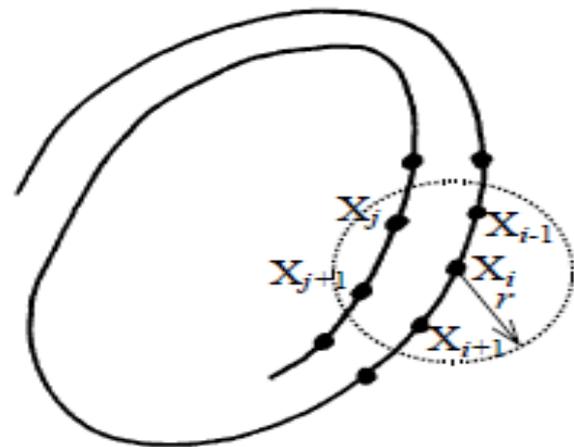
Distance between images:

$$d(I_1, I_2) = \|I_1 - I_2\|$$

[Grassberger and Procaccia, 1983]

$$C(r, m) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \theta(r - \|\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j\|),$$

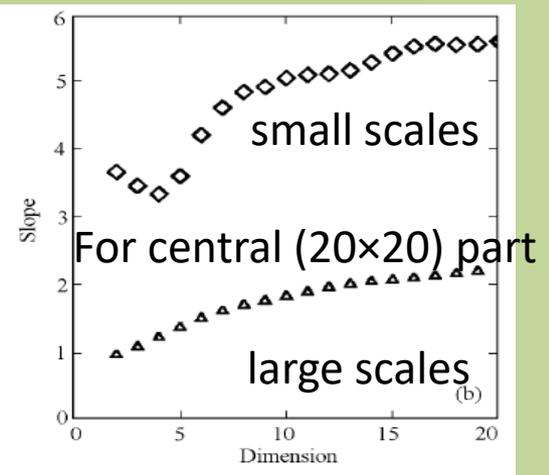
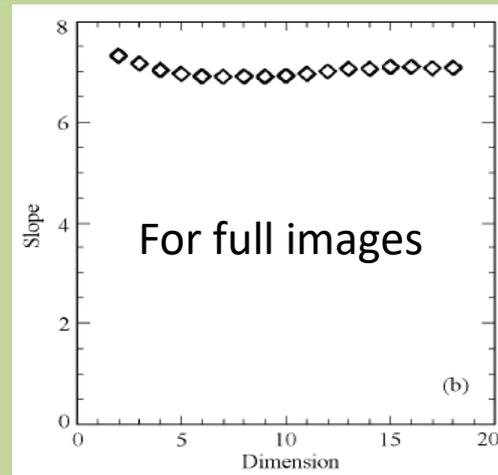
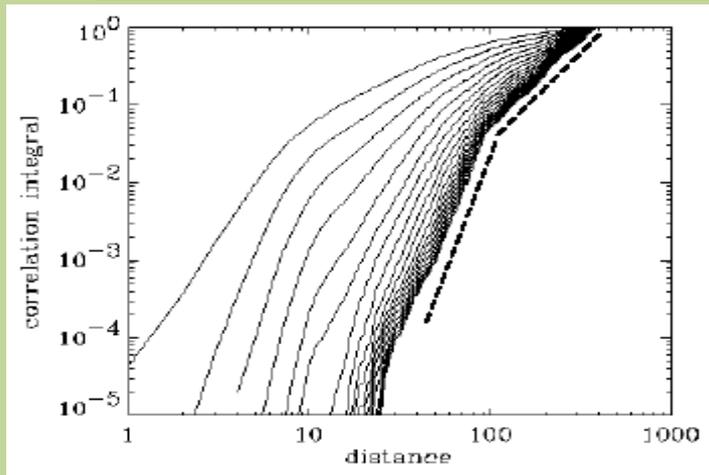
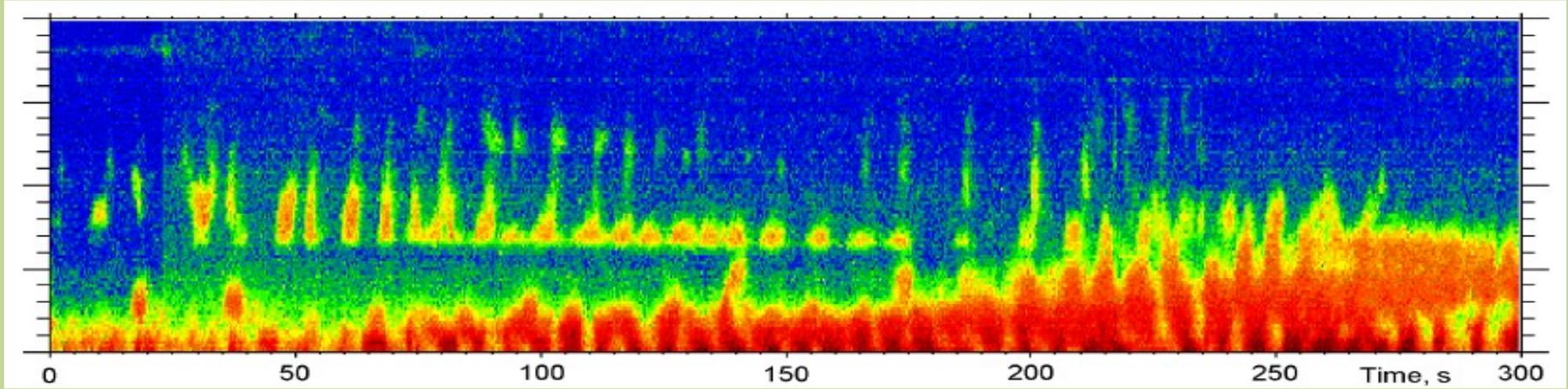
$$C(r) \sim r^a$$



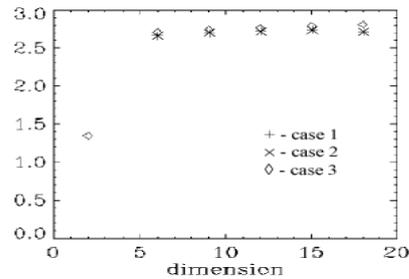
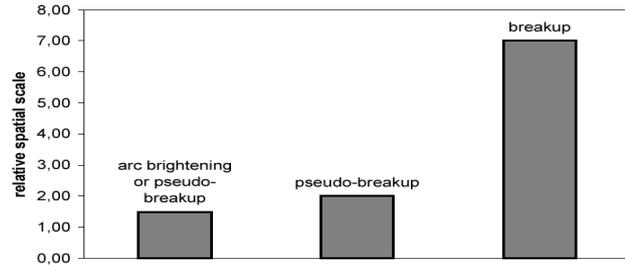
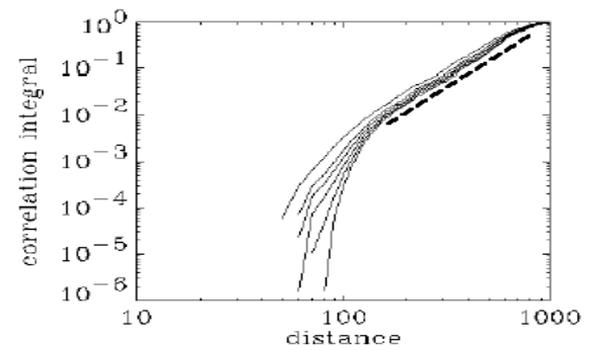
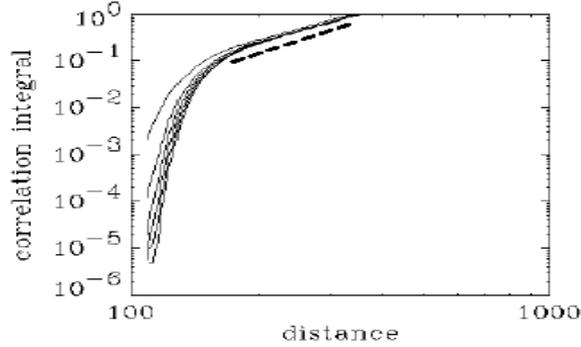
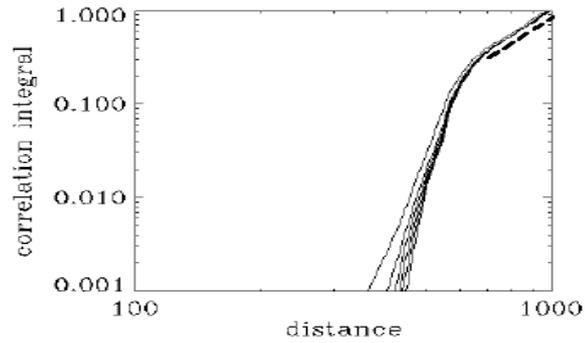
Оценки корреляционной размерности, Grassberger-Procaccia algorithm

(Kozelov and Vjalkova, 2005)

Lovozero all-sky camera keogram, 11 January 1998, 00:27-00:33 LT

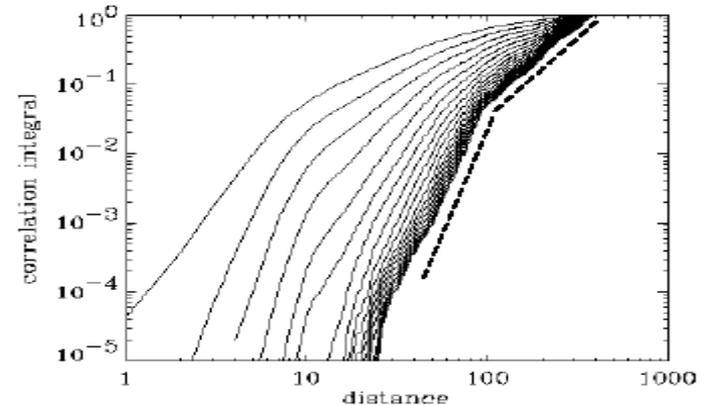


For breakups and pseudo-breakups



$a \sim 2.7$

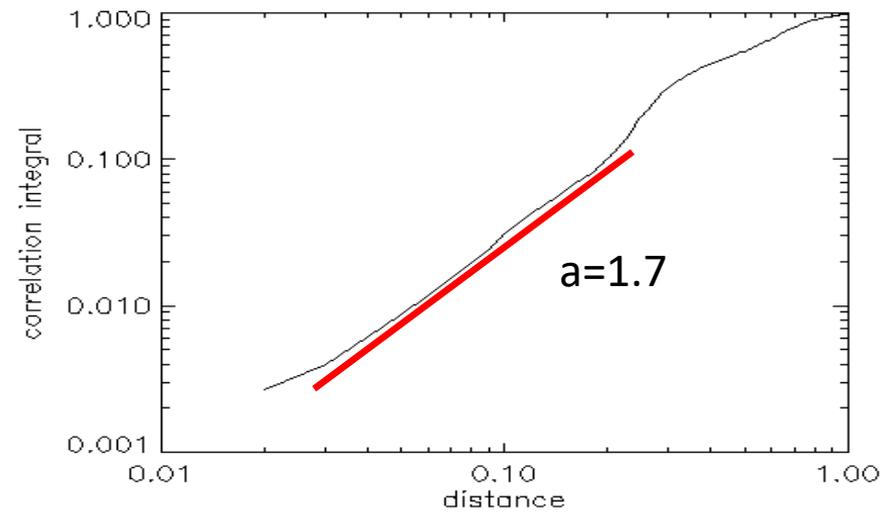
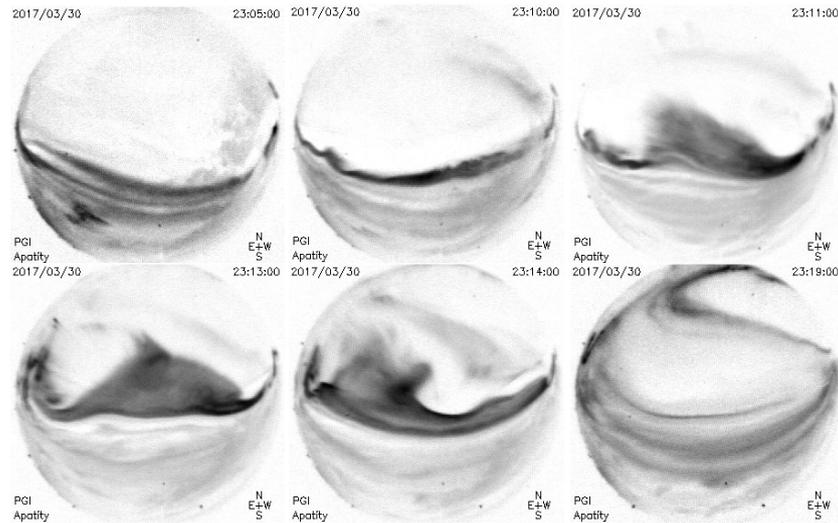
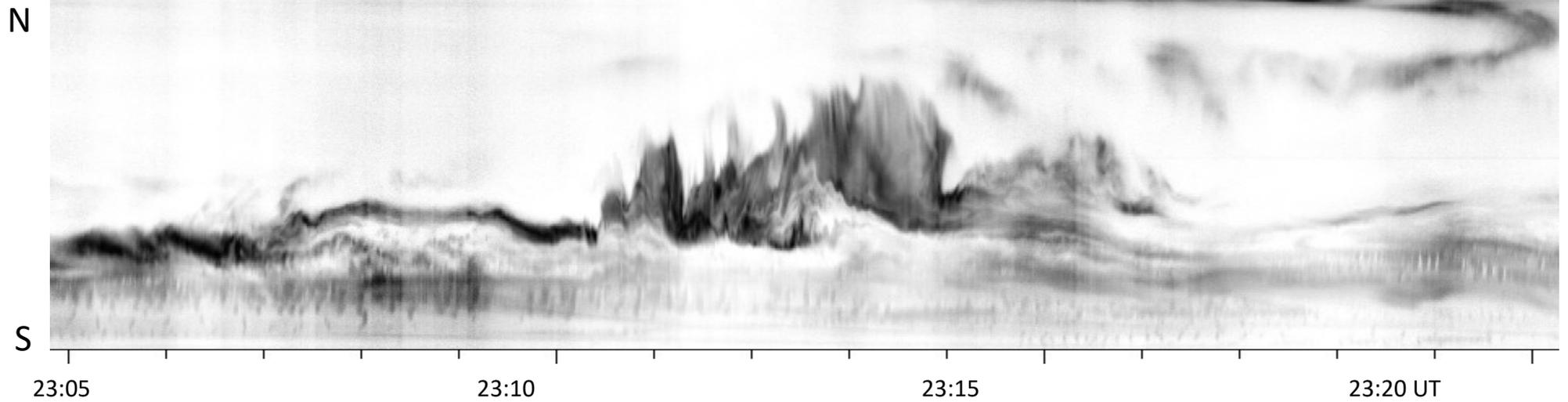
For pulsing patches



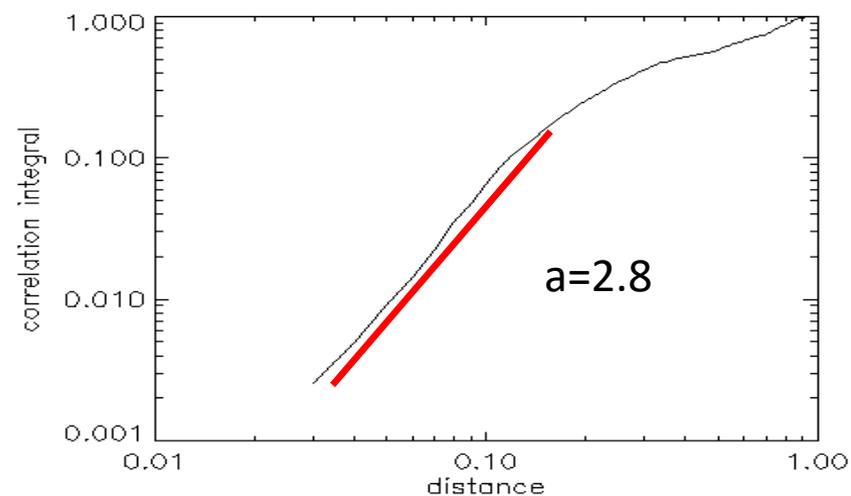
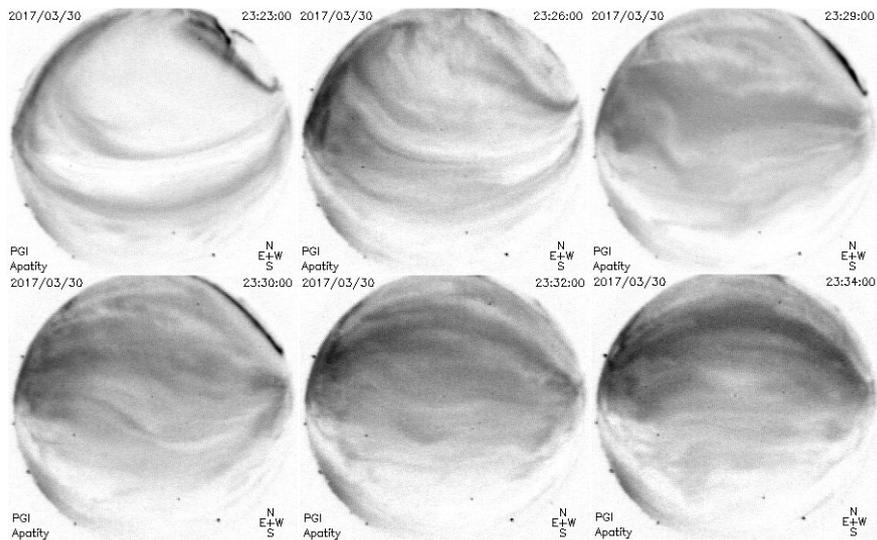
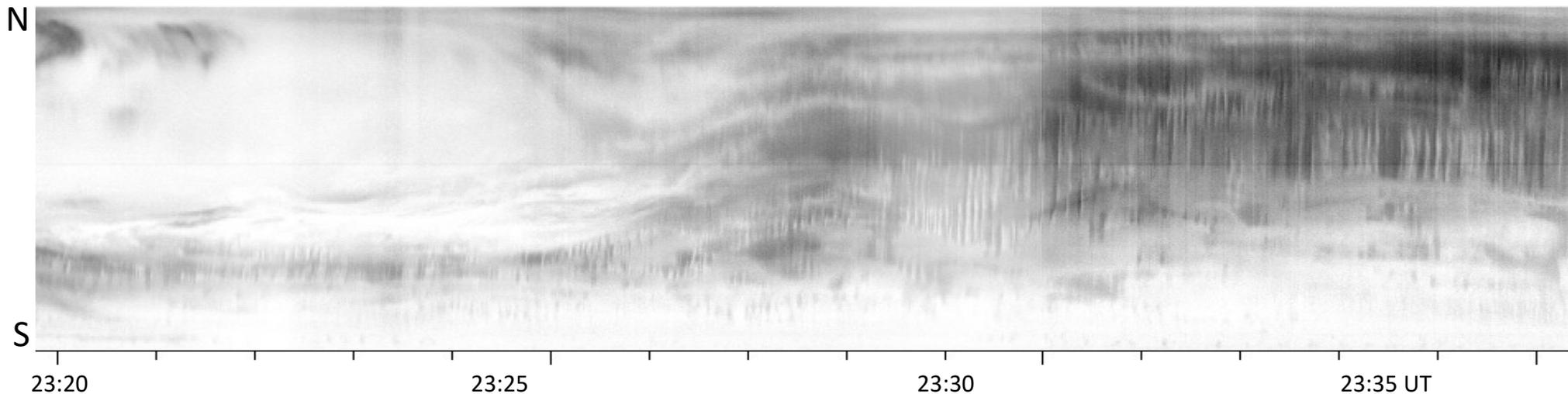
1) Correlation dimensions for pseudo-breakup and breakup intensifications are the same ($\sim 2.7-2.8$), however this dimension is differed from one obtained for pulsing patches.

2) There is only difference between pseudo-breakup and breakup intensifications: the spatial scale of self-similarity for pseudo-breakups is smaller than for breakups.

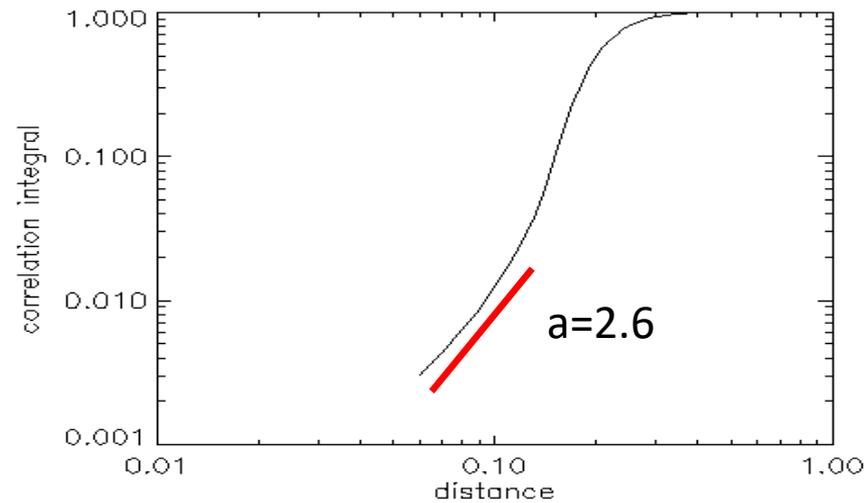
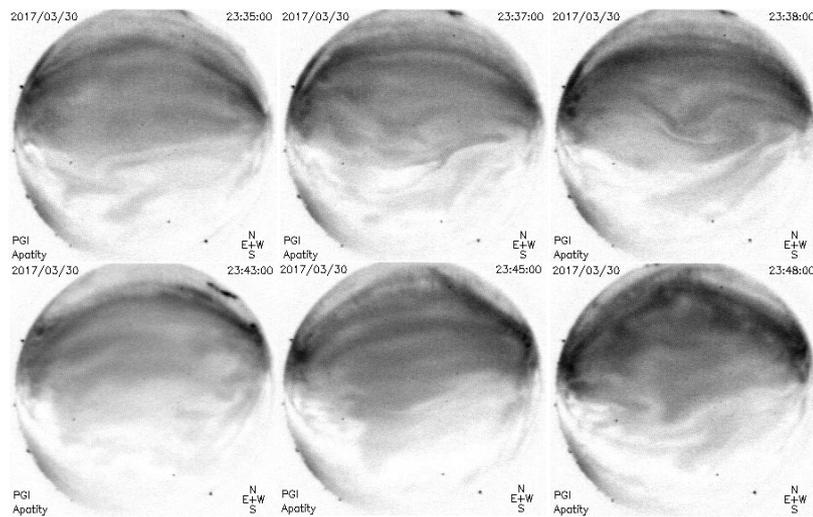
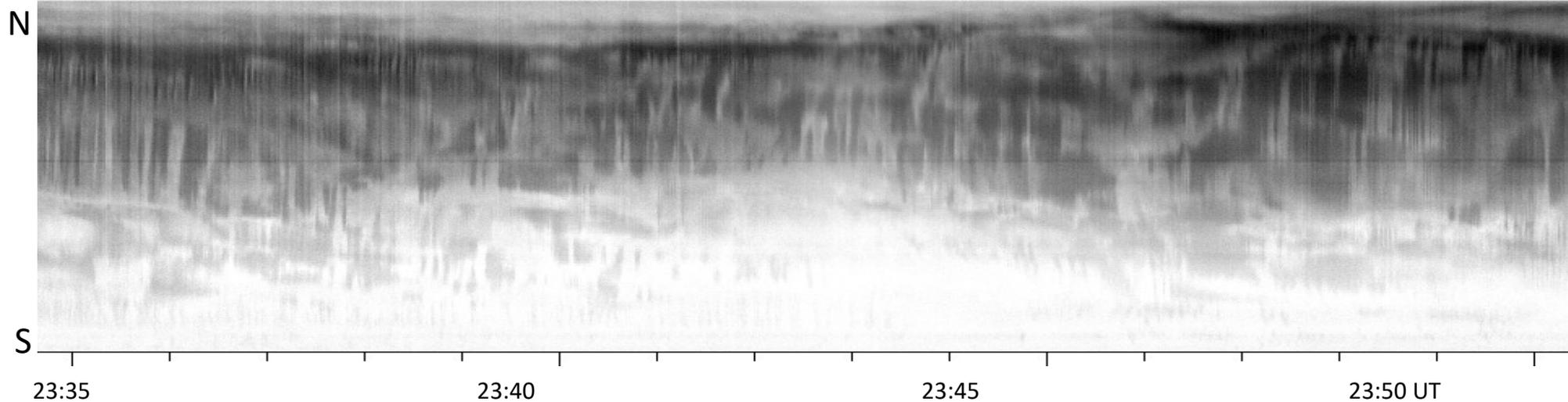
2017/03/30 23:05-23:20UT



2017/03/30 23:20-23:35UT



2017/03/30 23:35-23:50UT



План

- 1) Оптическая наблюдательная структура ПГИ.
- 2) Где искать данные, сайты.
- 3) Как используются данные:
 - Анализ суббурь и т.п.
 - Триангуляция
 - «Нелинейщина»...
- 4) Ближайшие планы:
 - ASC в Туманный
 - Приборы НИИЯФ МГУ в Ловозеро
 - Классификация НС по квиклукам

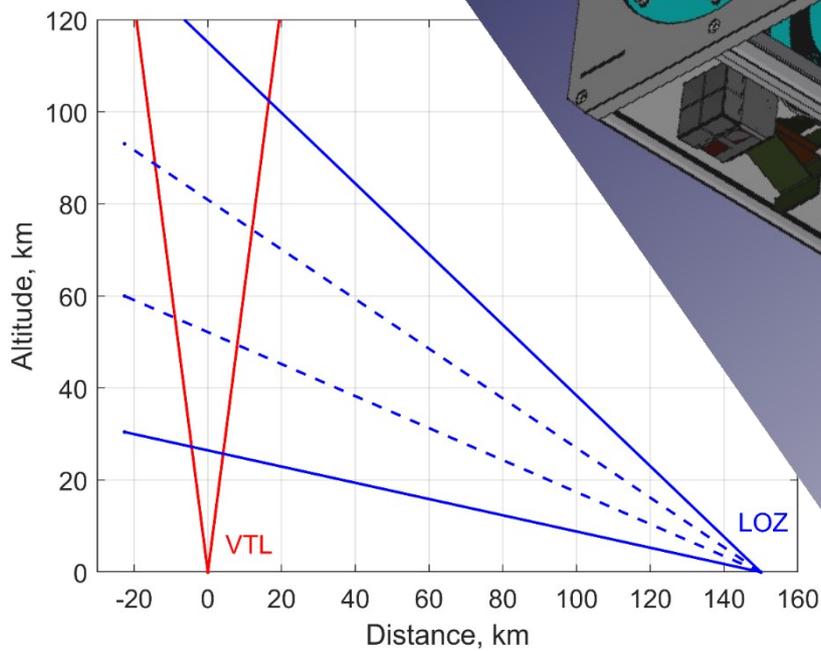


Фотометр НИИЯФ МГУ для полигона «Ловозеро»

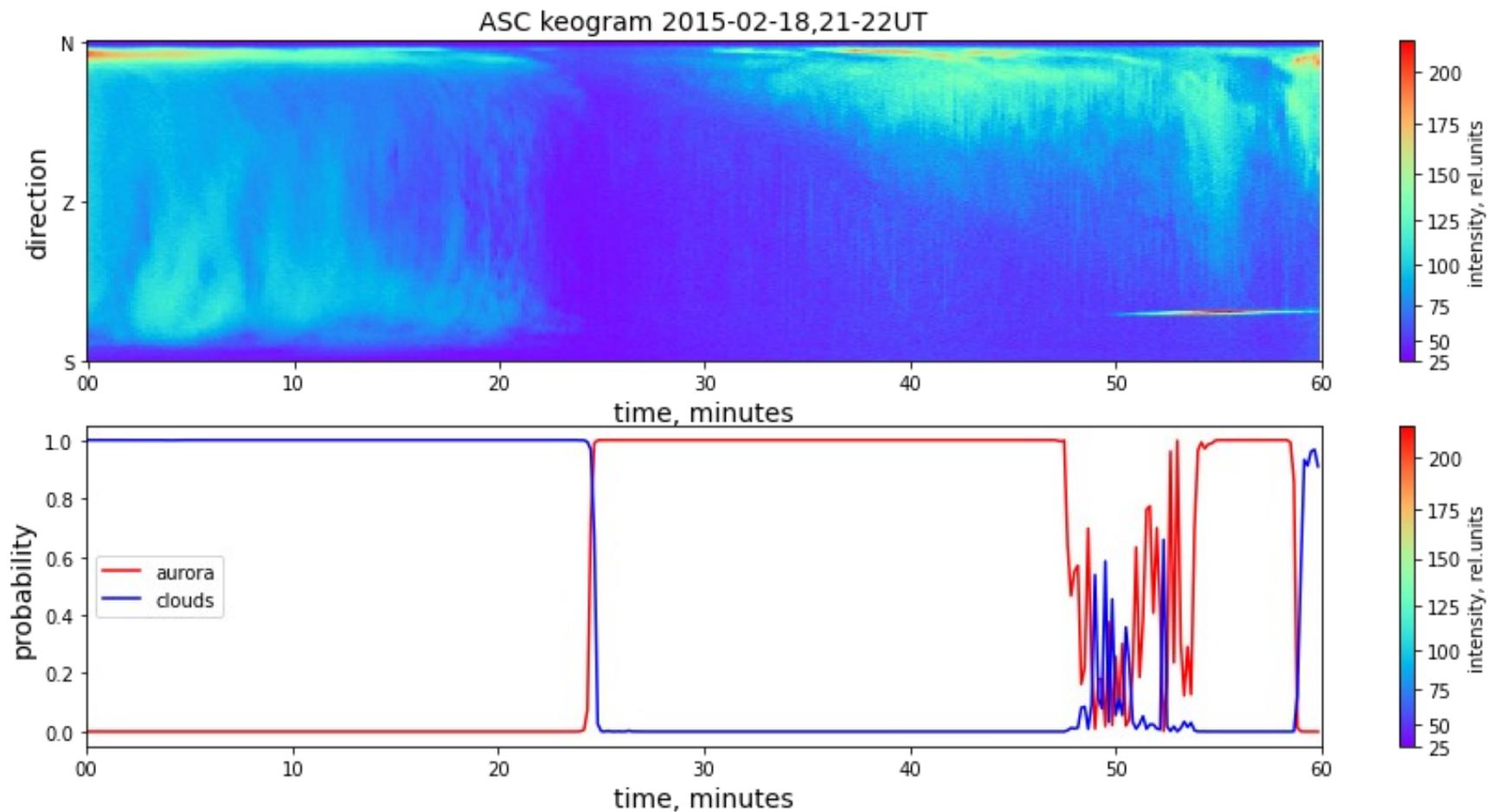
Параметры фотометра

- ✓ 12 МАФЭУ (16×48 пикселей)
- ✓ Временное разрешение
 - ✓ 2.5 мкс (4 события за 5 с),
 - ✓ 320 мкс (4 события за 5 с)
 - ✓ 1 мс (мониторинг, непрерывная запись)
- ✓ Поле зрения: 0.5 рад (~30°)
- ✓ Диапазон высот измерения: 25 – 100 км над VTL
- ✓ Угловое разрешение: $\Delta\gamma = 10$ мрад. Т.о. разрешение по высоте над VTL составит: 1.5 км.
- ✓ Апертура: $S = 490 \text{ см}^2$

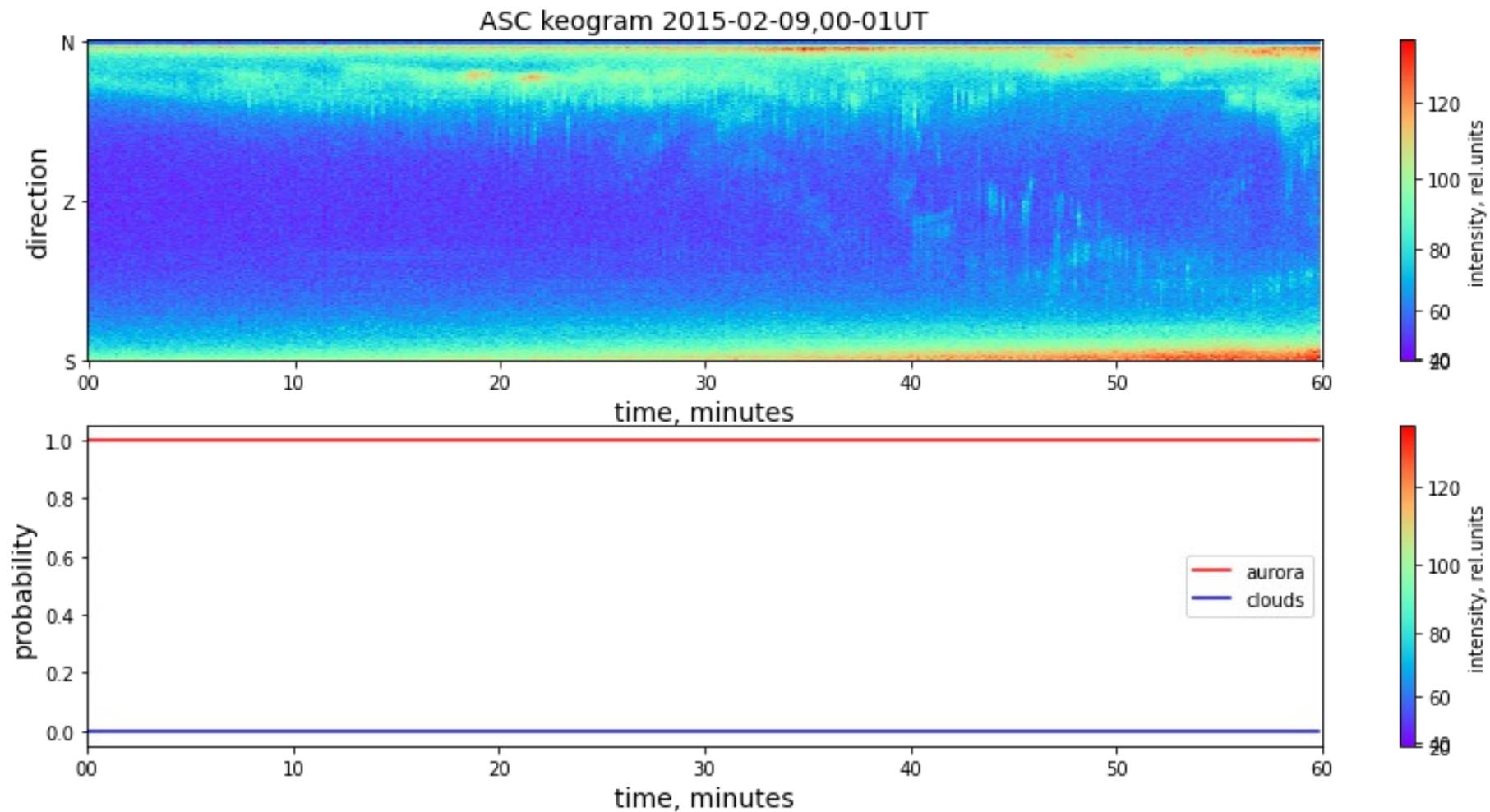
**Работа поддержана грантом
РНФ (проект №22-62-00010)**



Многозначная классификация сверточной НС



Многозначная классификация сверточной НС





Thank you for attention!