

# Диагностика высокоширотной ионосферы и пространственно-временная динамика авроральных высыпаний

Козелов Б.В., Воробьев В.Г., Титова Е.Е., Попова Т.А.

Полярный геофизический институт

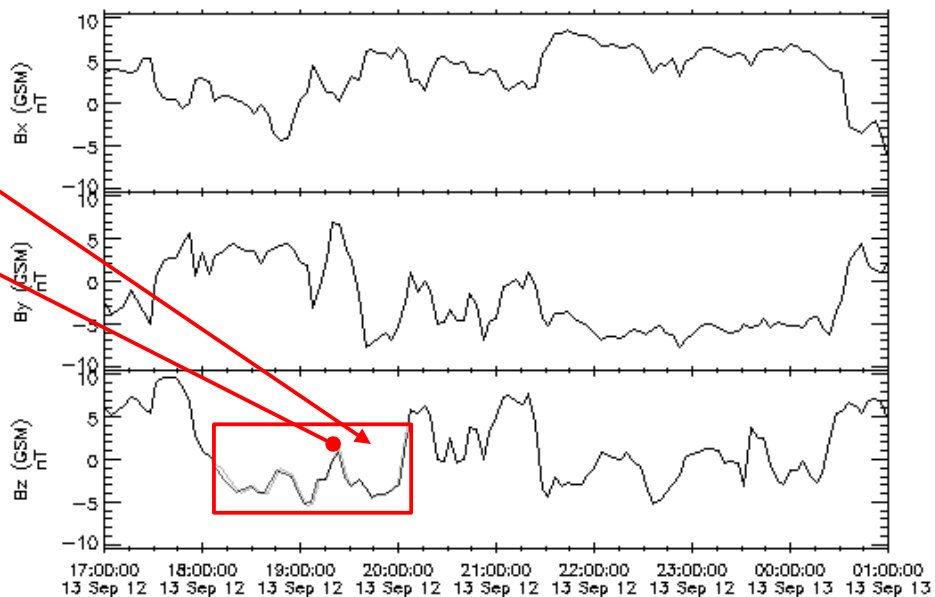
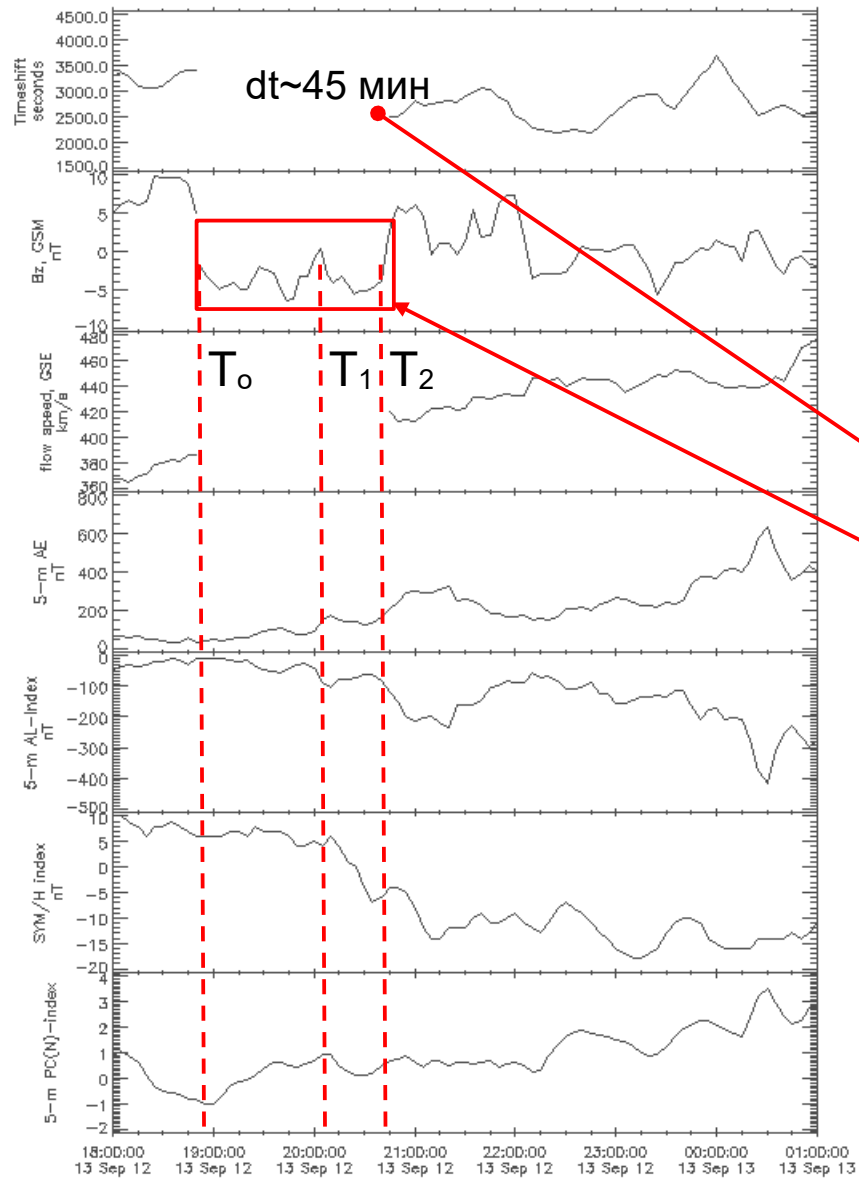
Апатиты, Мурманская область, Россия

E-mail: [boris.kozelov@gmail.com](mailto:boris.kozelov@gmail.com)

# Аннотация

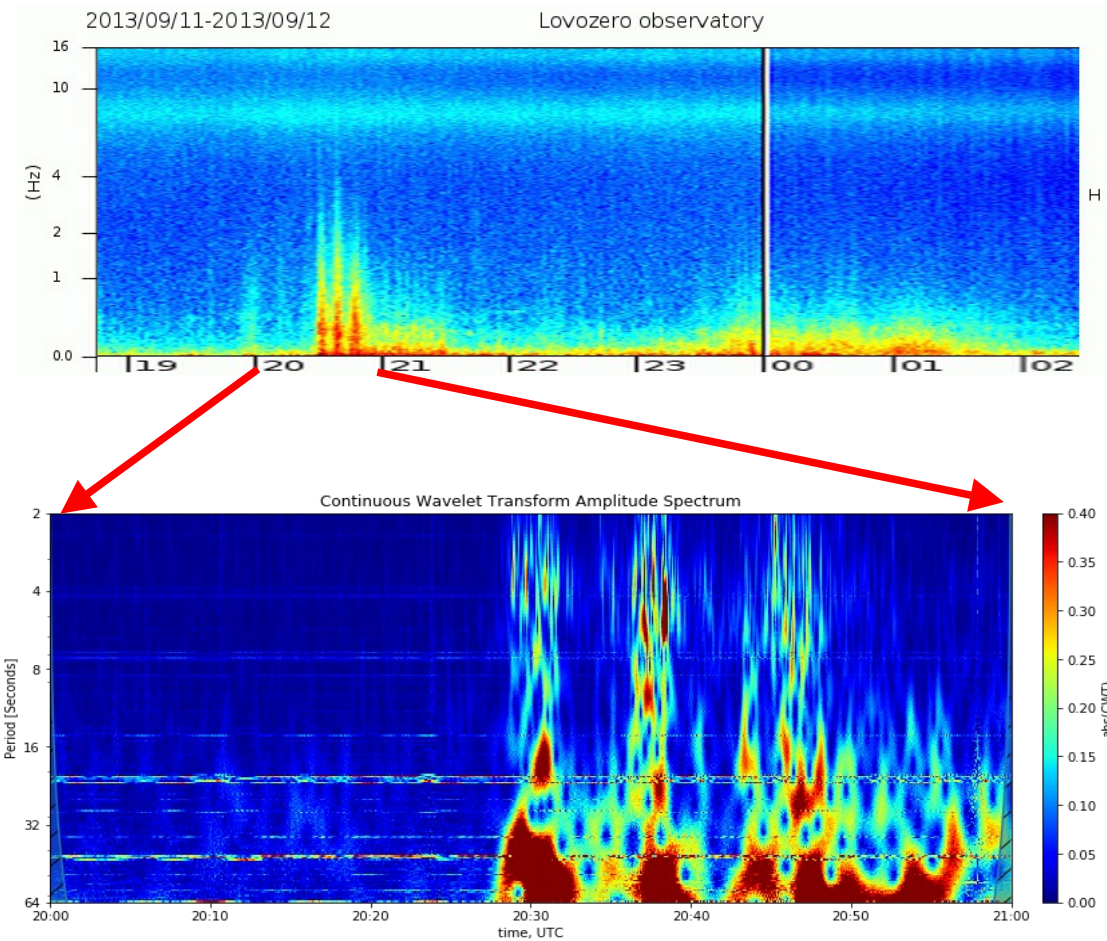
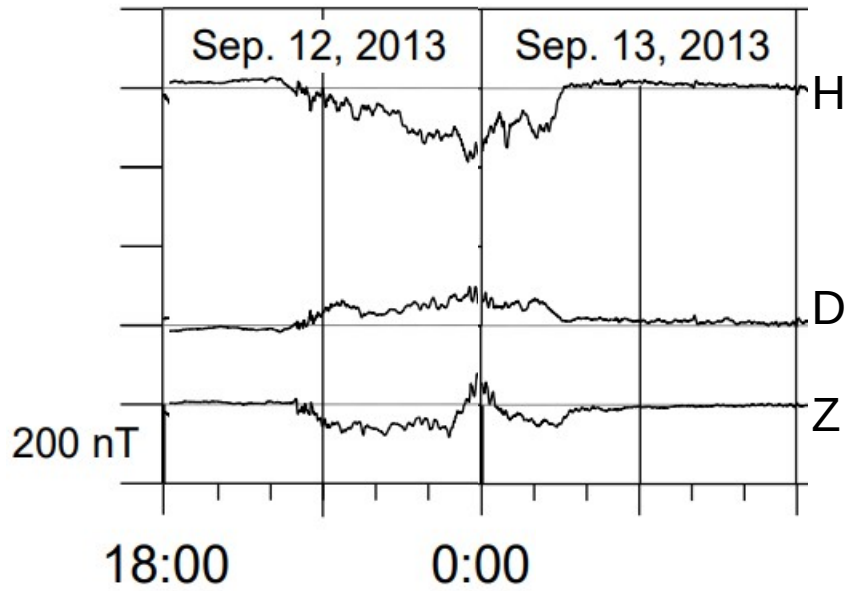
- Диагностика состояния высокоширотной ионосферы имеет важное значение для решения большого круга научных и практических задач. В ночное время определяющим для этого состояния являются высыпания энергичных авроральных частиц. Исследования пространственно-временной динамики авроральных высыпаний и построение модели ее модели затрагивает многие вопросы физики магнитосферы, околоземной плазмы, солнечного ветра, солнечно-земных связей. В докладе по данным высокоширотных наблюдений Полярного геофизического института проанализирован набор типичных авроральных событий разного масштаба в различных секторах MLT. Используются данные авроральных камер в г.Апатиты, полигоне Верхнетуломский и обсерватории Ловозеро. События привязаны к параметрам солнечного ветра, физическим магнитосферным доменам и границам, фазе магнитосферного возмущения. Определены характеристики пространственной структуры полярных сияний в отобранных событиях: доминирующие масштабы, показатели скейлинга, динамическая оценка степеней свободы.
- 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».

# Случай 12-13 сентября 2013 г.



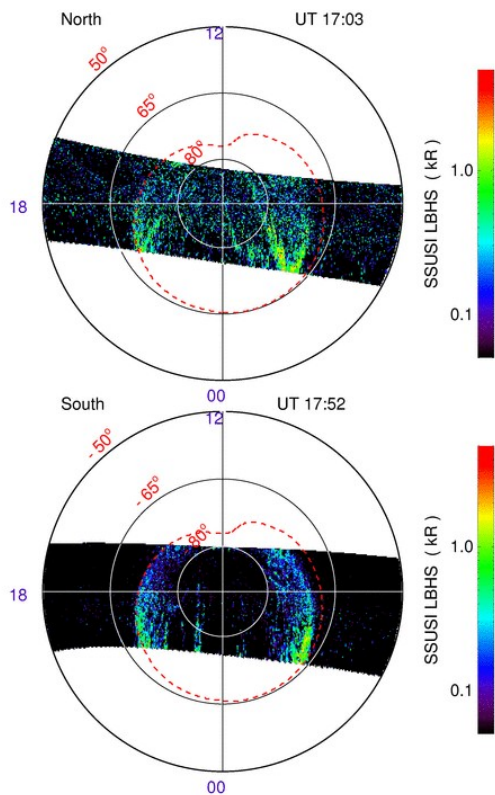
Заполнение пробела в данных OMNI.  
Определение характерных моментов.

# Магнитные измерения в Ловозеро

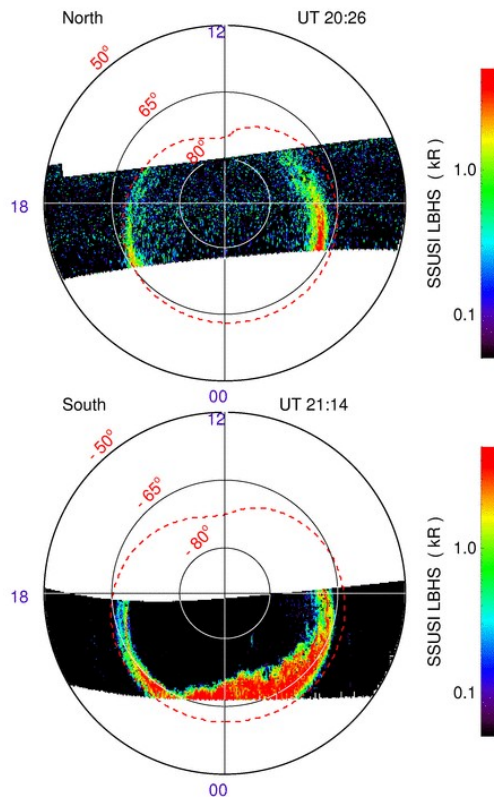


# Овал со спутников DMSP

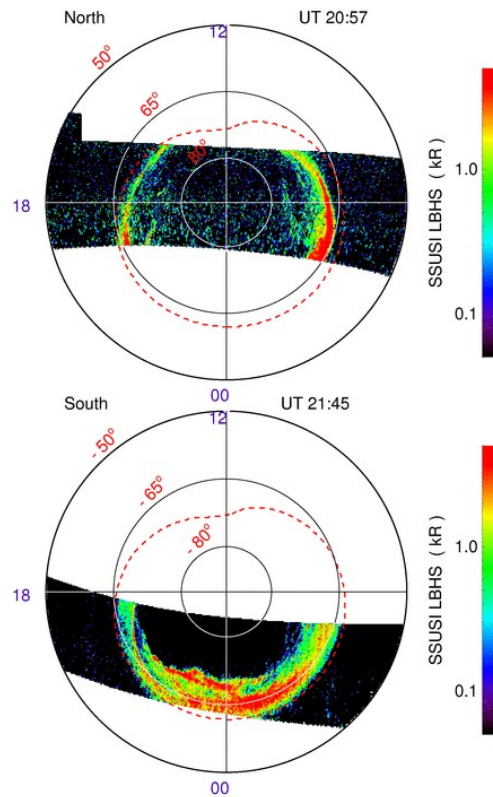
September 12, 2013 DOY:255 Orbit: 35373(DMSPF17)



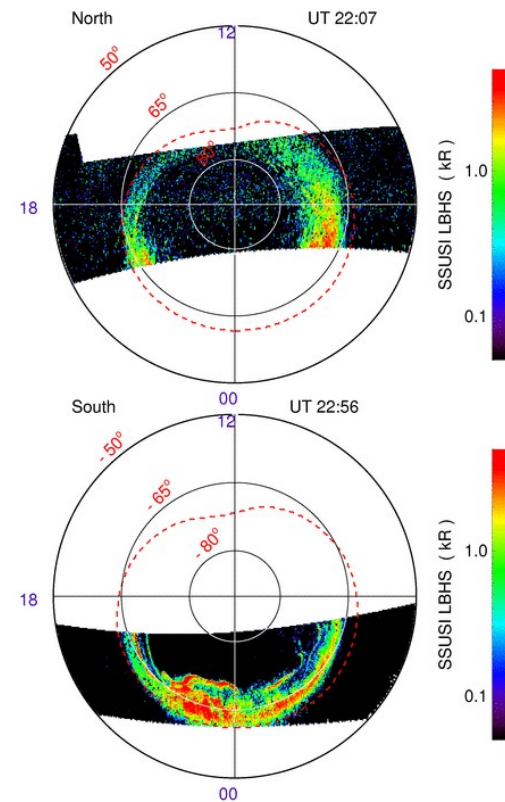
September 12, 2013 DOY:255 Orbit: 35375(DMSPF17)



September 12, 2013 DOY:255 Orbit: 51096(DMSPF16)



September 12, 2013 DOY:255 Orbit: 35376(DMSPF17)



Трансполярные дуги при  $V_z > 0$

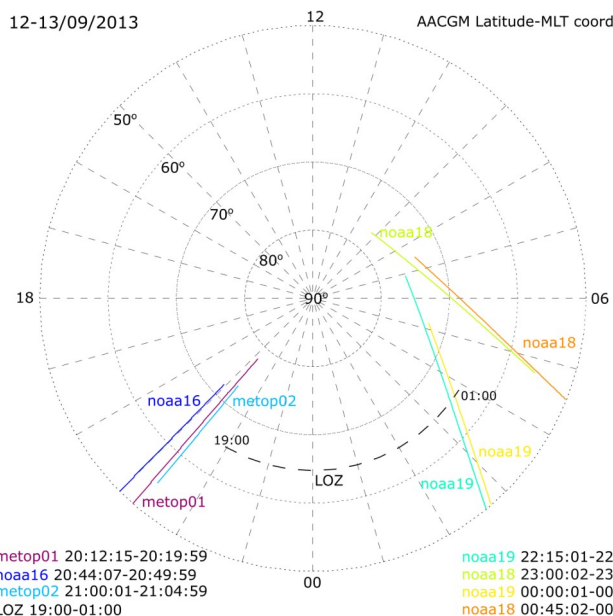
Фаза расширения

«Двойной овал»

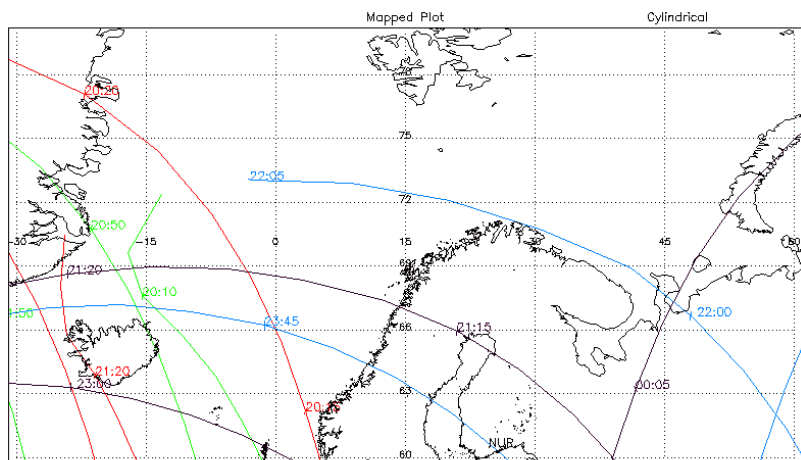
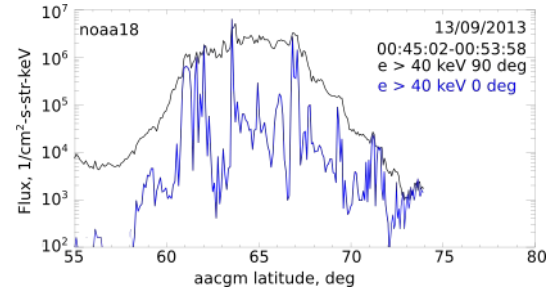
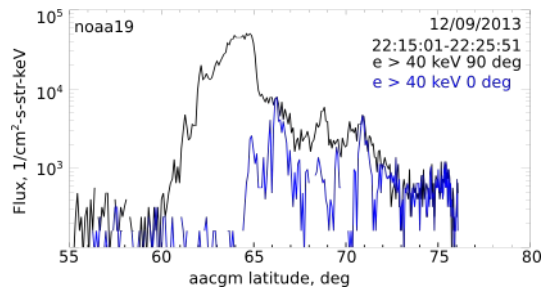
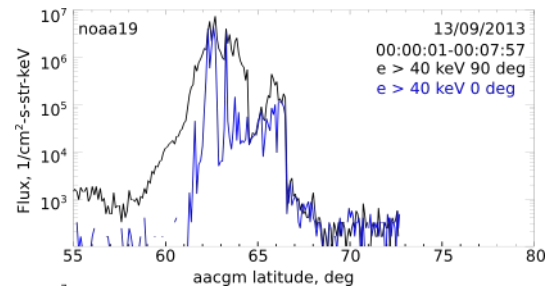
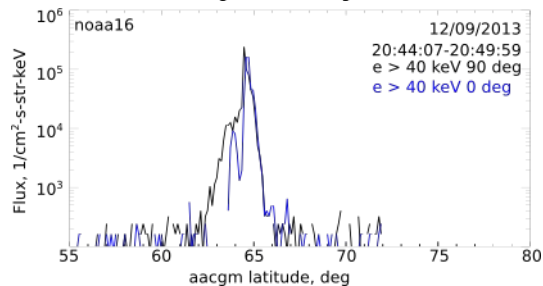
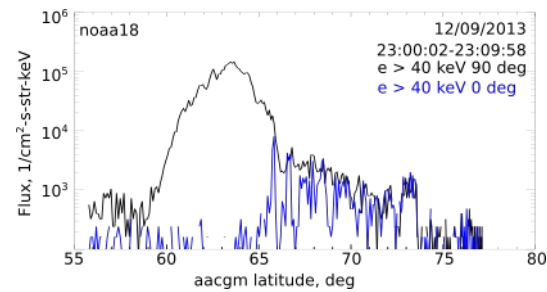
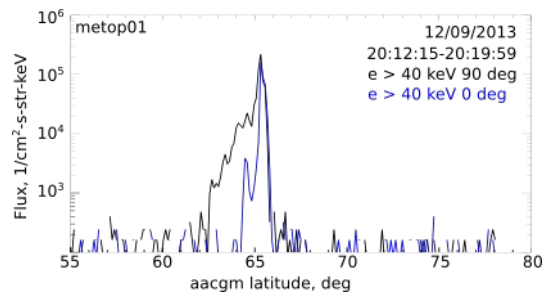
Пульсирующие пятна

12-13/09/2013

AACGM Latitude-MLT coordinates



# Границы овала по данным NOAA и METOP

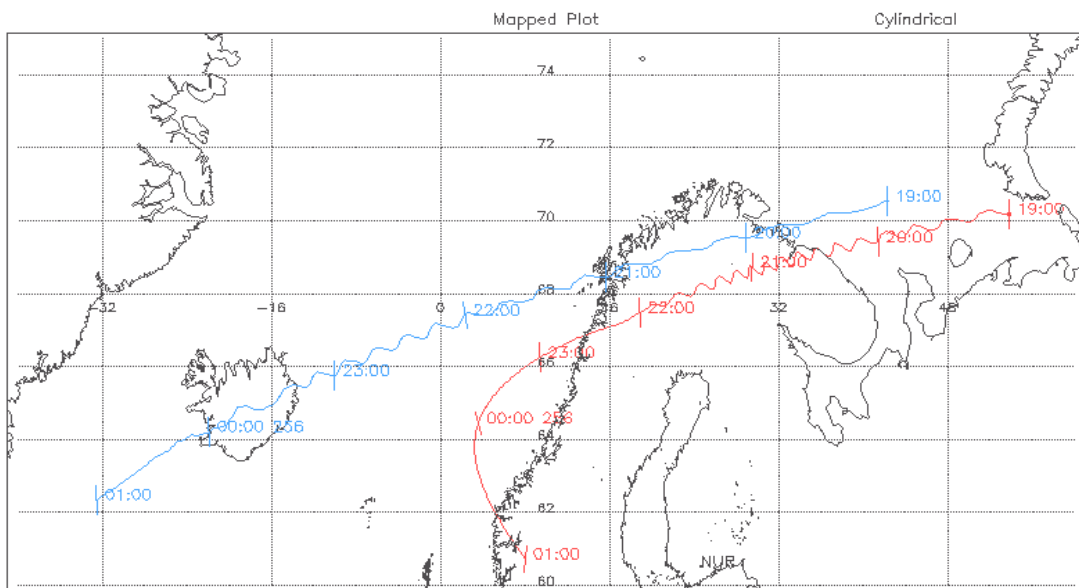


- METOP1B North B Trace in Geographic Coord.: Time Range 9/12/2013 (255) 20:0 9/13/2013 (256) 1:0
- NOAA18 North B Trace in Geographic Coord.: Time Range 9/12/2013 (255) 20:0 9/13/2013 (256) 1:0
- NOAA18 North B Trace in Geographic Coord.: Time Range 9/12/2013 (255) 20:0 9/13/2013 (256) 1:0
- NOAA19 North B Trace in Geographic Coord.: Time Range 9/12/2013 (255) 20:0 9/13/2013 (256) 1:0

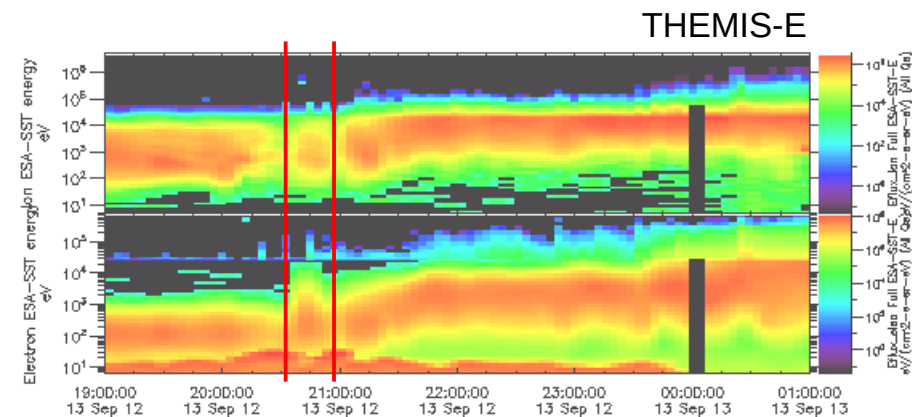
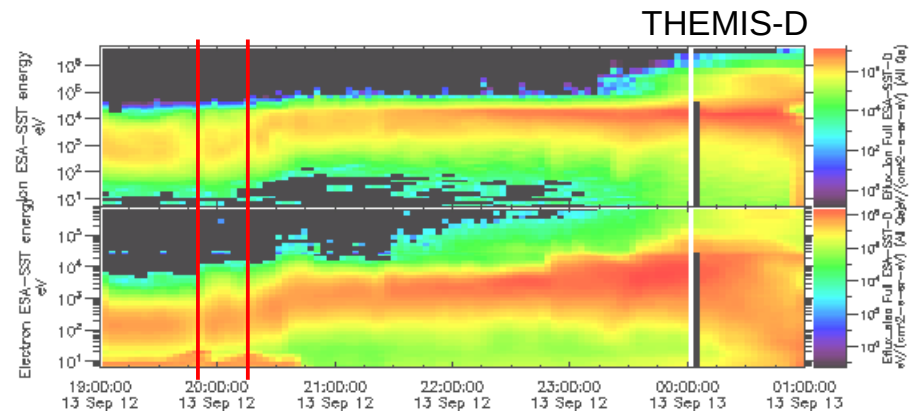
Граница изотропизации по низковысотным спутникам, электроны >40 кэВ

# THEMIS-D и THEMIS-E

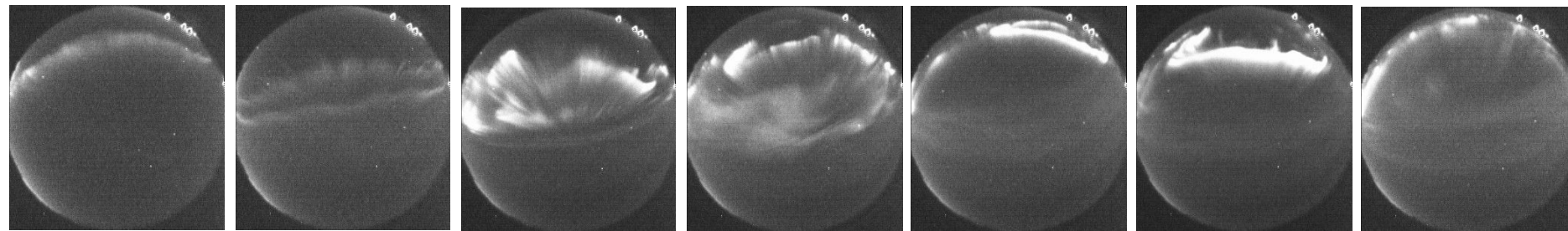
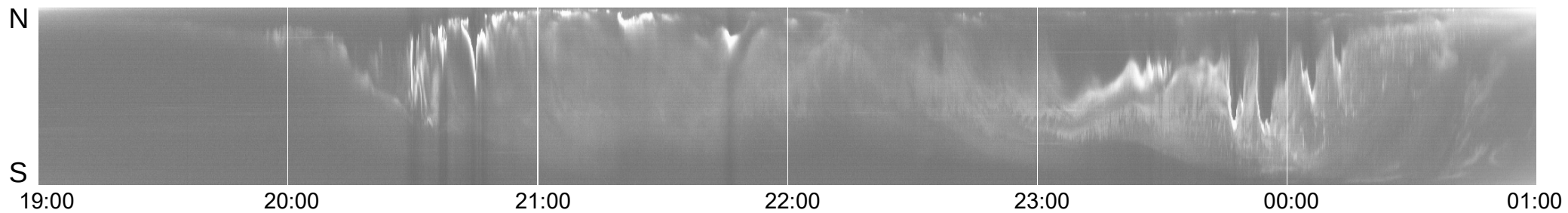
Инжекция частиц, соответствует дуге на  $\sim 69.5^\circ\text{N}$ .



- THEMISD North B Trace in Geographic Coord.: Time Range 9/12/2013 (255) 19:00 9/13/2013 (256) 1:0
- THEMISE North B Trace in Geographic Coord.: Time Range 9/12/2013 (255) 19:00 9/13/2013 (256) 1:0



# Структуры полярных сияний на камере всего неба г.Апатиты (67°34"N, 33°16"E)



19:57

20:21

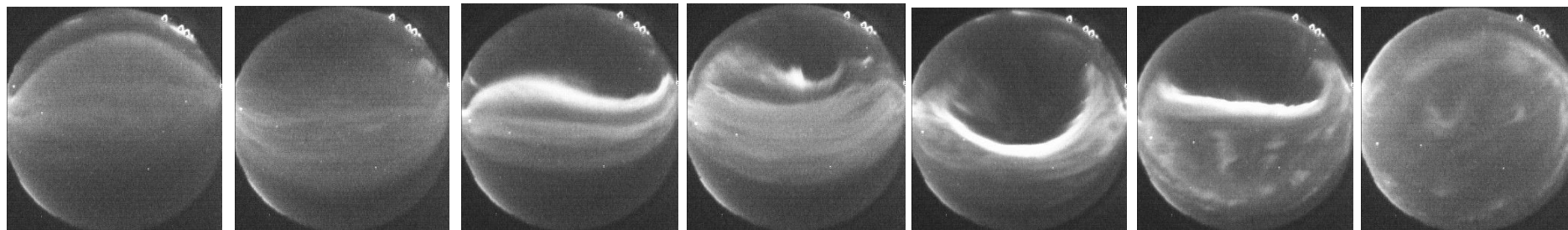
20:29

20:35

20:42

20:44

20:51



21:54

22:51'10

23:24'40

23:30'50

23:47'20

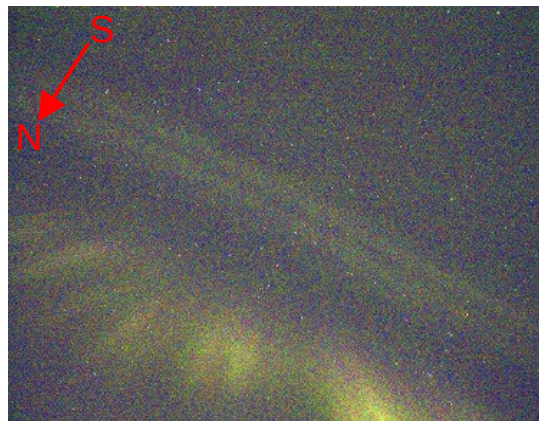
00:05'20

00:19

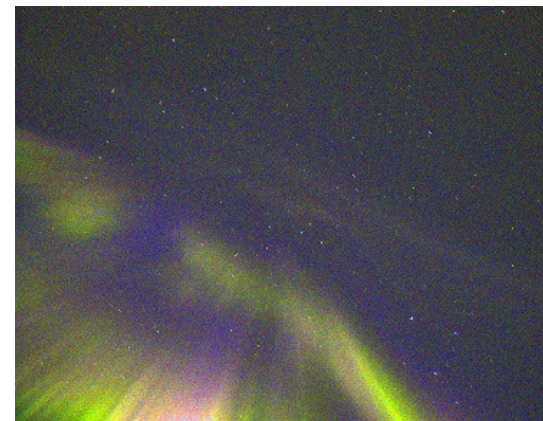


# Камера Gurry-C г.Апатиты

Поле зрения  $78^\circ$  по диагонали  
вблизи магнитного зенита.  
Разрешает структуры от 500 м  
на высоте 100 км.



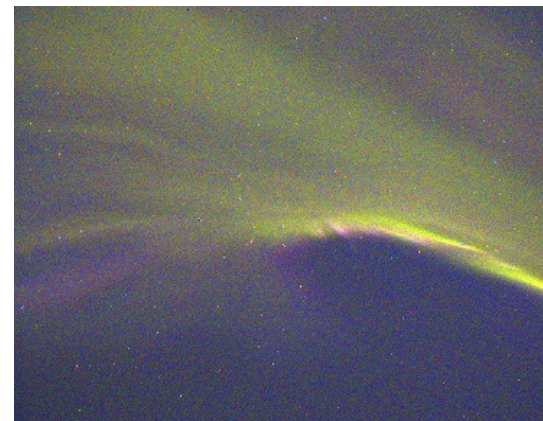
20:29"00



20:29"50



23:06"50

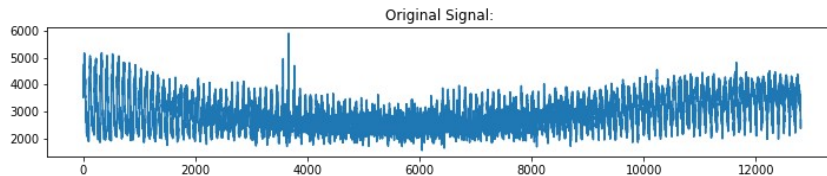
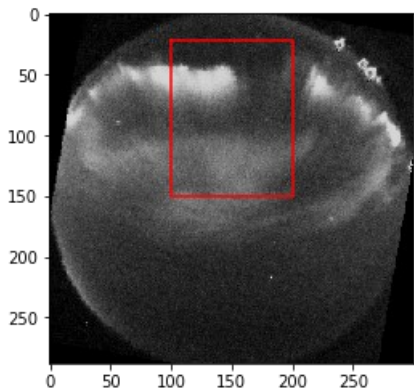


23:56"20

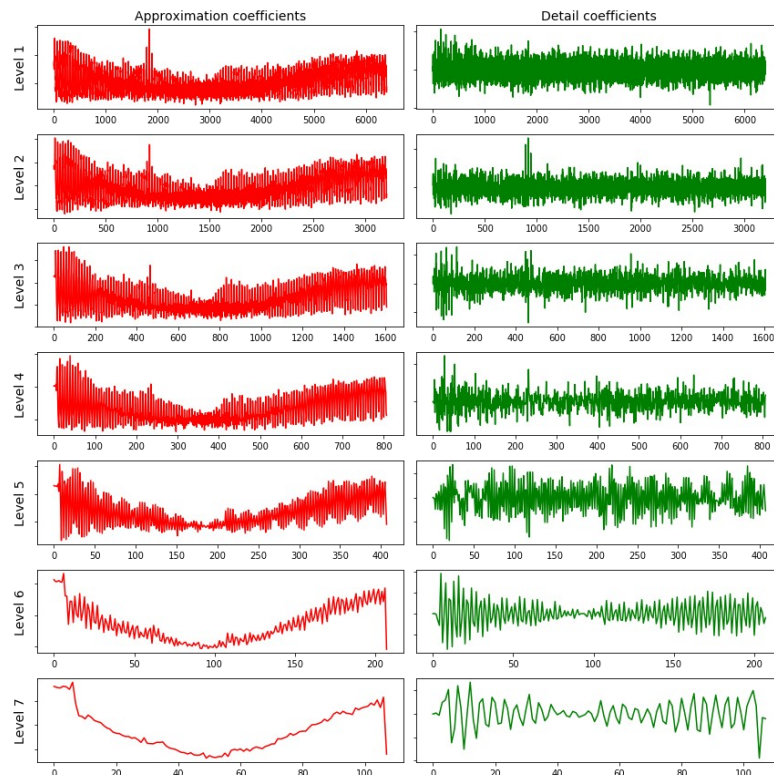
Описание:  
[Kozelov B.V., Pilgaev S.V.,  
Borovkov L.P., and Yurov V.E.  
Multi-scale auroral observations in  
Apatity: winter 2010–2011 //  
Geosci. Instrum. Method. Data  
Syst. –2012. -1, -1-6,  
doi:10.5194/gi-1-1-2012]

# Метод анализа пространственных неоднородностей

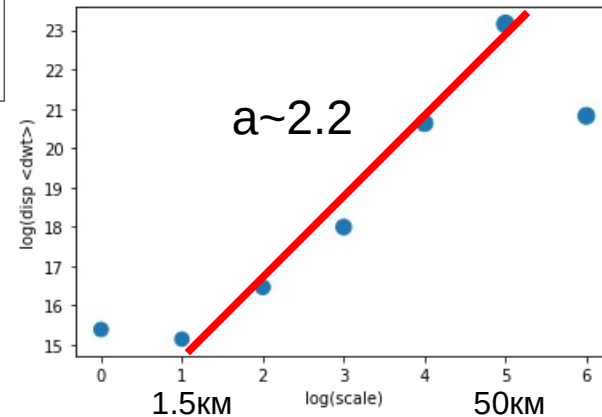
Маска для выделения области на изображении



Дискретное вейвлет разложение, вейвлеты Добеши db5



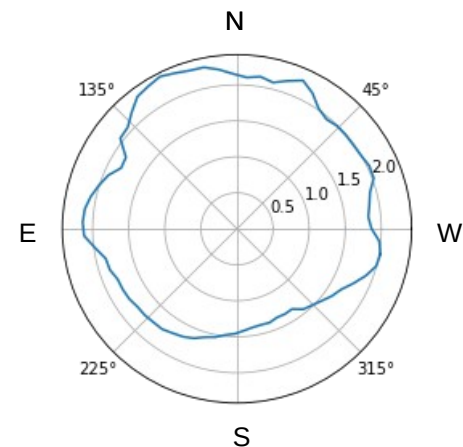
Дисперсия детализирующих коэффициентов от масштаба



[Abry P., Flandrin P., Taqqu M.S. et al. Wavelets for the analysis, estimation and synthesis of scaling data // in Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation, edited by Park K. and Willinger W. 2000. Wiley-Interscience. Hoboken N.J. P. 39–88.]

[Головчанская И. В., Б. В. Козелов. Диапазон масштабов альфвеновской турбулентности в верхней ионосфере авроральной зоны // Космические исследования. 2016 г., 54, № 1, с. 52–57. DOI: 10.7868/S002342061601009X]

Спектральный индекс от направления

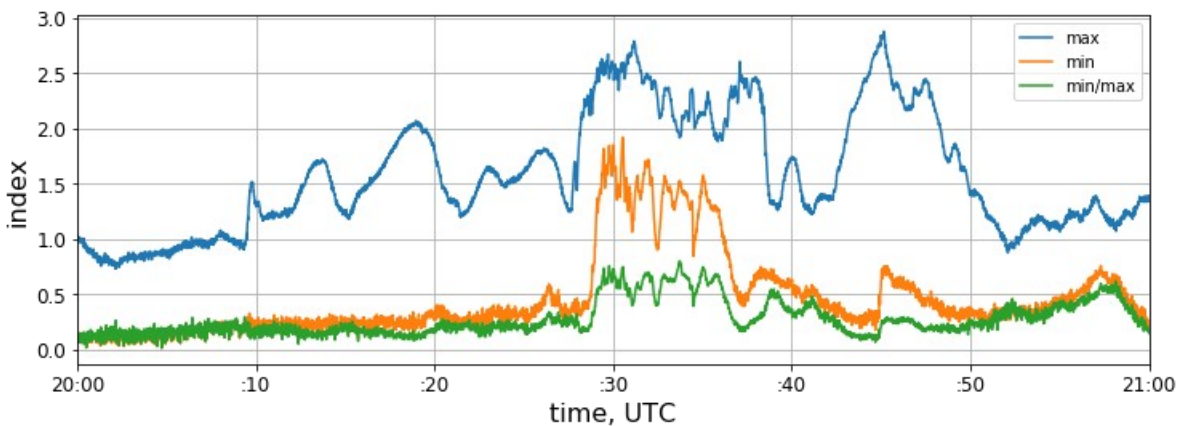
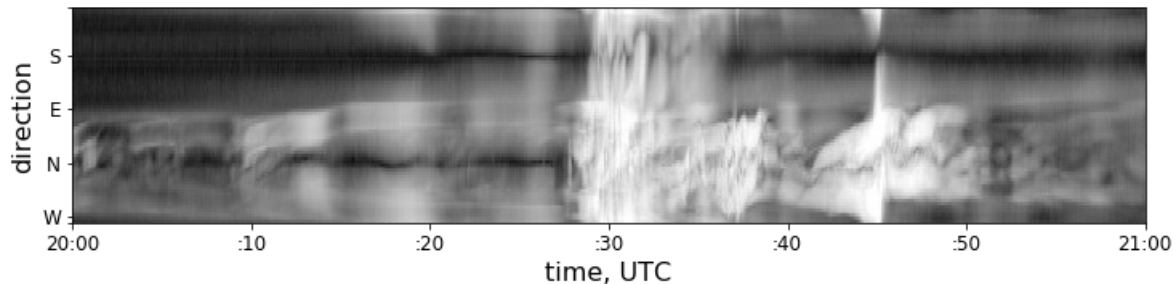


# Результаты расчета для ASC 20:00-21:00 UT

Спектральный индекс от ориентации маски в течении времени. Показывает в какой части неба наблюдаются флуктуации свечения и насколько флуктуации изотропные.

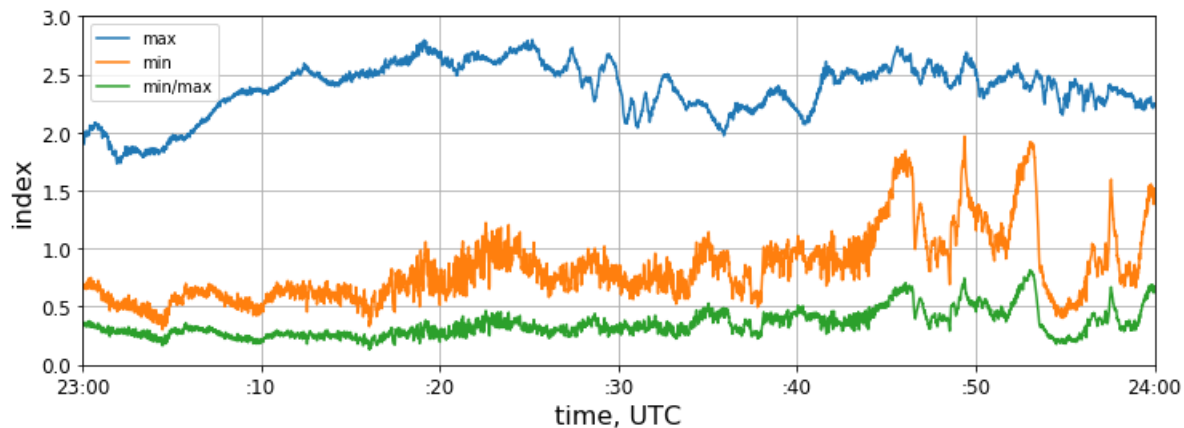
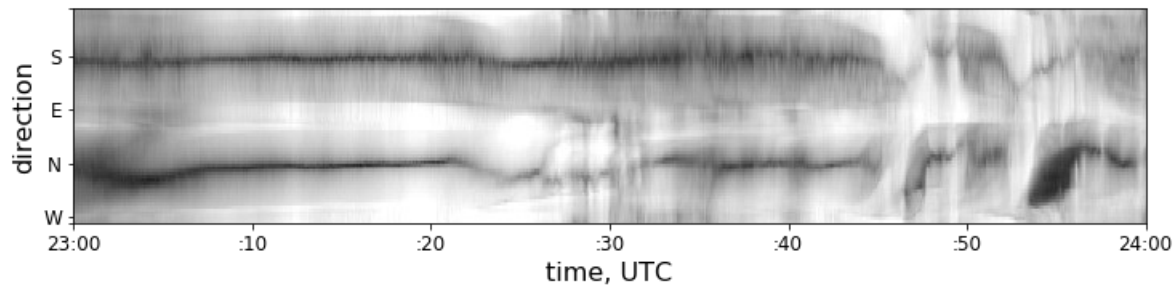
Динамика максимального (max), минимального индекса (min) и параметра изотропности (min/max).

- 1 - одиночная дуга,
- 2 - спокойная дуга и возмущенная дуга,
- 3 - брейкап - расширение к полюсу
- 4 - активизация на полюсной дуге
- 5 - пульсирующие сияния



1-----2-----3-----5-----4-----5-----

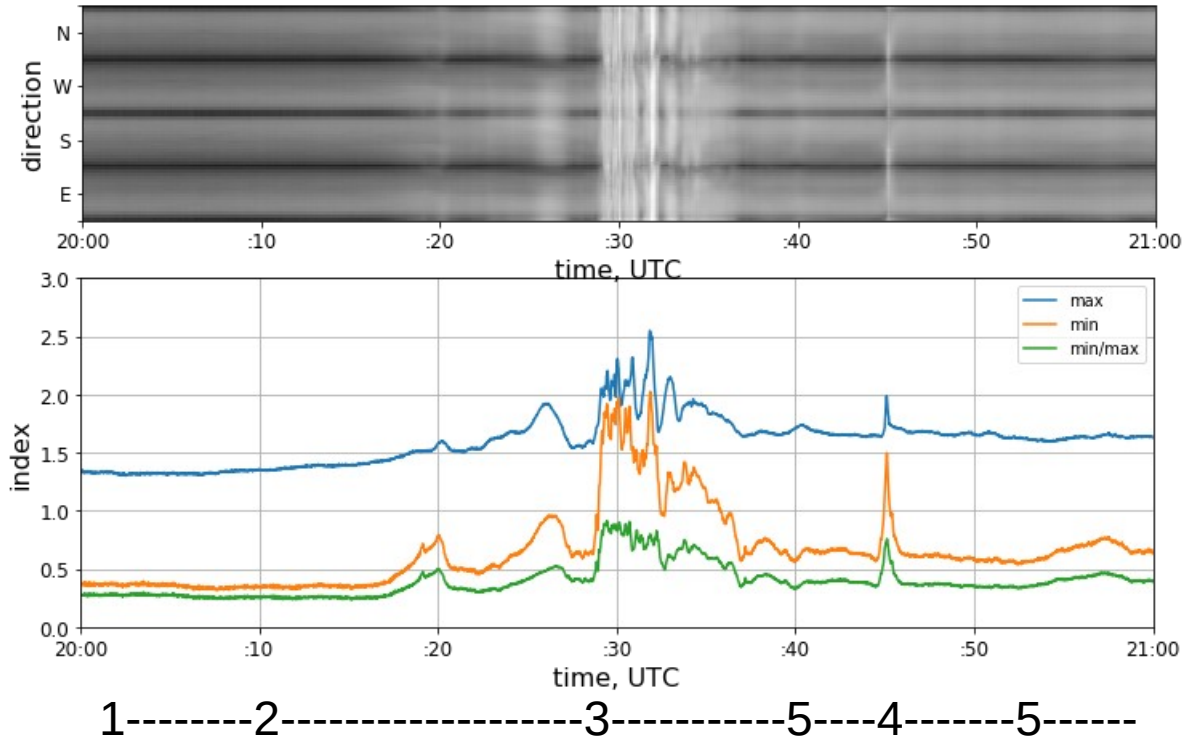
# Результаты расчета для ASC 23:00-24:00 UT



- 1 - пульсирующие сияния
- 2 - активизация на полюсной дуге
- 3 - омега-структура

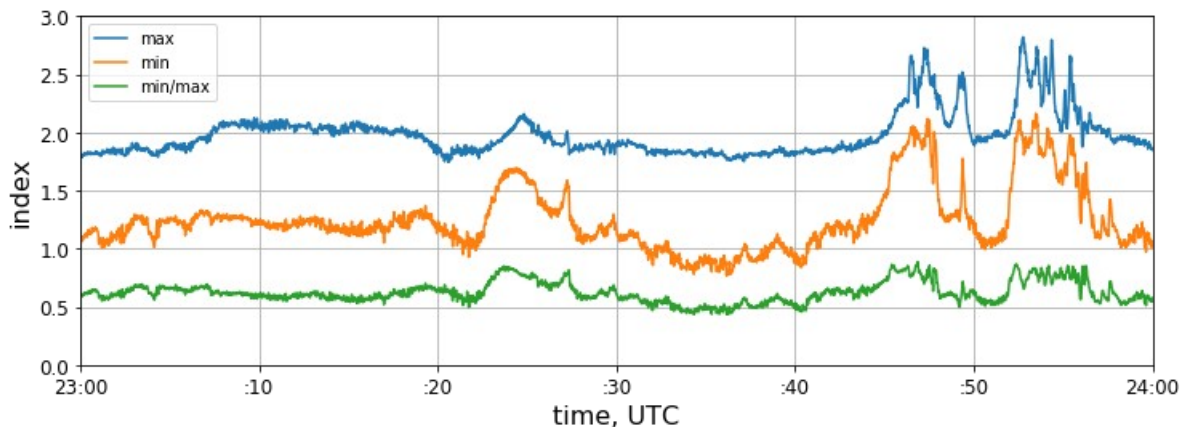
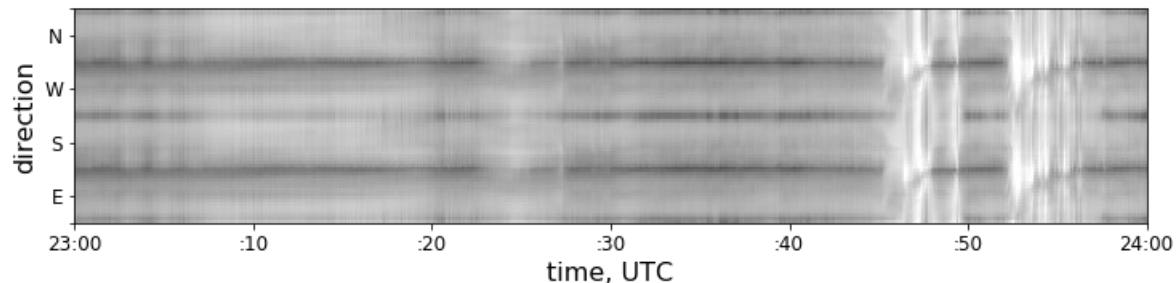
1--3-----2-----1-----3-----3--1---

# Результаты расчета для камеры Guppy-C, 20:00-21:00 UT



- 1 - одиночная дуга,
- 2 - спокойная дуга и возмущенная дуга,
- 3 - брейкап - расширение к полюсу
- 4 - активизация на полюсной дуге
- 5 - пульсирующие сияния

# Результаты расчета для камеры Guppy-C, 23:00-24:00 UT



- 1 - пульсирующие сияния
- 2 - активизация на полюсной дуге
- 3 - омега-структура

1--3-----2-----1-----3-----3--1---

# Выводы

Методом лог-скейл скалограмм по данным камеры всего неба в Апатитах получены спектральные индексы, характеризующие пространственные неоднородности аврорального свечения для типичных авроральных явлений в диапазоне масштабов 1.5-50 км:

	max	min	min/max
Спокойная дуга	1.0	<0.25	<0.25
Дуги с лучами	1.5-2.0	<0.25	<0.25
Брейкап	>2.5	>1.5	0.8
Пульсирующие полосы	1.5-2.0	0.5-1.0	0.25-0.5
Омега-структуры	2.0-2.5	1.5-2.0	0.7

Для флуктуаций вблизи магнитного зенита (в поле зрения  $\sim 44^\circ$ ) в диапазоне масштабов 0.5-20 км спектральные индексы такие же, с учетом попадания структур в поле зрения.

# Литература

Головчанская И. В., Б. В. Козелов. Диапазон масштабов альфвеновской турбулентности в верхней ионосфере авроральной зоны // Космические исследования. 2016 г., 54, № 1, с. 52–57. DOI: 10.7868/S002342061601009X

В.Г. Воробьев, О.И. Ягодкина, Е.Е. Антонова, Влияние скорости и плотности плазмы солнечного ветра на интенсивность изолированных магнитосферных суббурь // Physics of Auroral Phenomena. Proc. XLI Annual Seminar, Apatity, P.30-33. 2018

Ж.В. Дашкевич, В.Е. Иванов, Т.И.Сергиенко, Б.В.Козелов, Физико-химическая модель авроральной ионосферы // Космические исследования, 2017, Vol. 55, No. 2, pp. 94–106. DOI: 10.1134/S0010952517020022

Козелов Б.В., Ролдугин А.В. Получение информации об ионосферно-магнитосферной плазме по наблюдениям полярных сияний // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2021. Т. 85. № 3. С.366-371. DOI: 10.31857/S0367676521030157