



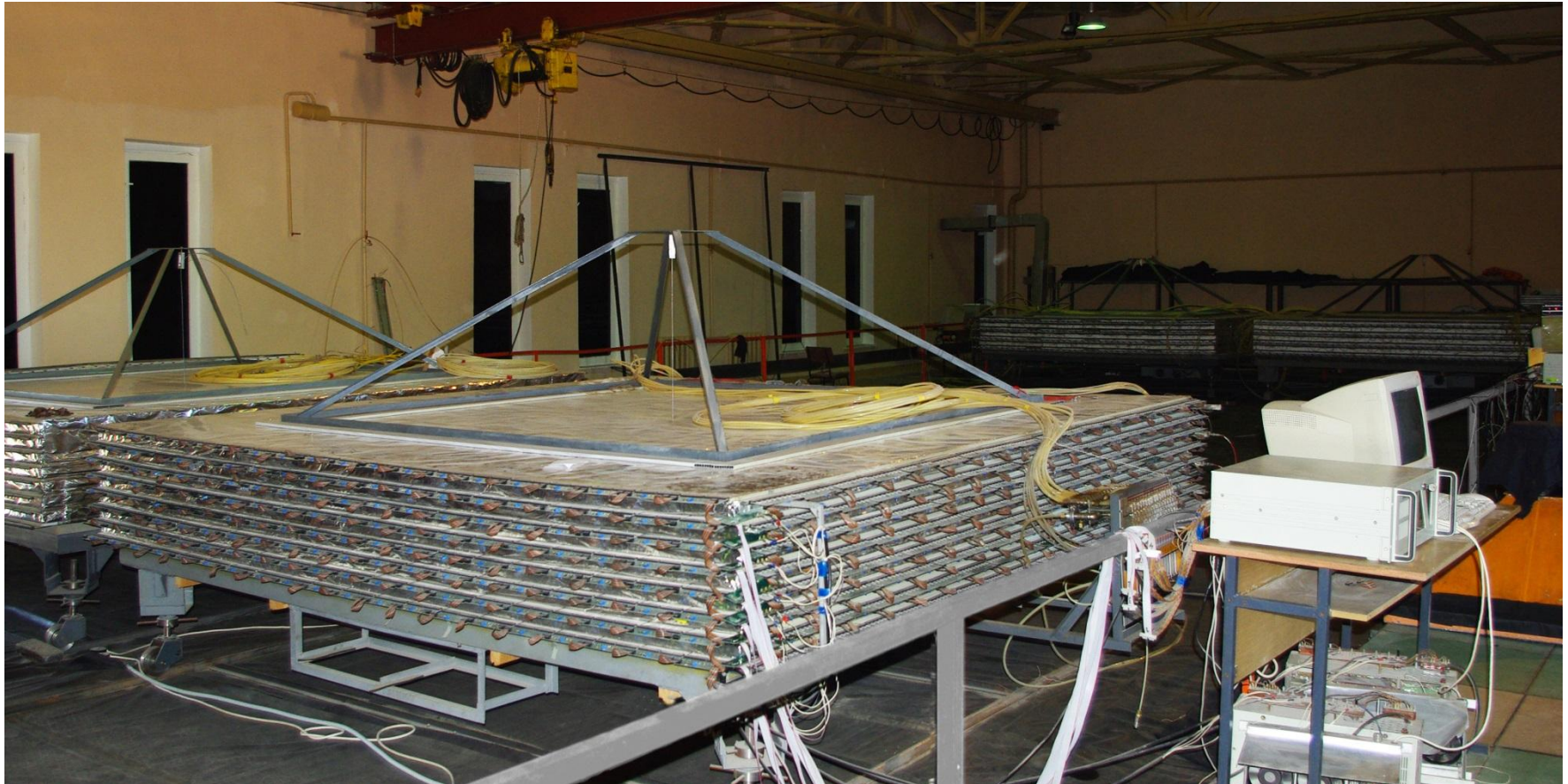
# Данные МГ УРАГАН в реальном времени

В.В.Шутенко, И.И. Астапов, Н.С. Барбашина,  
В.В. Борог, А.Н. Дмитриева, Р.П. Кокоулин,  
К.Г. Компаниец, Ю.Н. Мишутина, А.А. Петрухин,  
О.А. Ситько, Д.В. Чернов, Е.И. Яковлева, И.И. Яшин

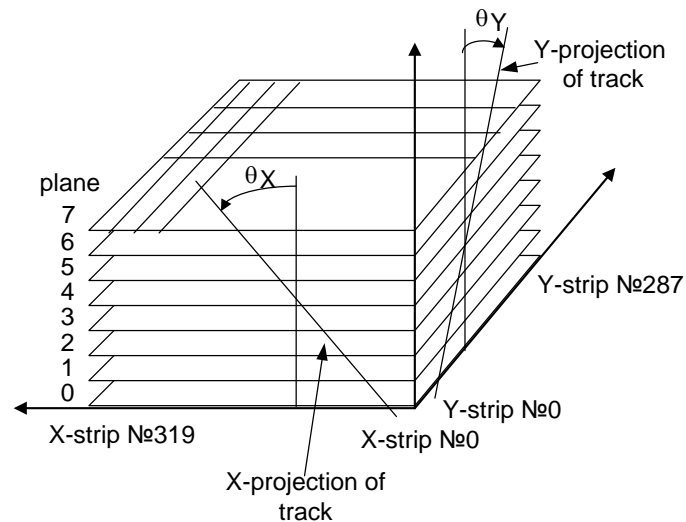
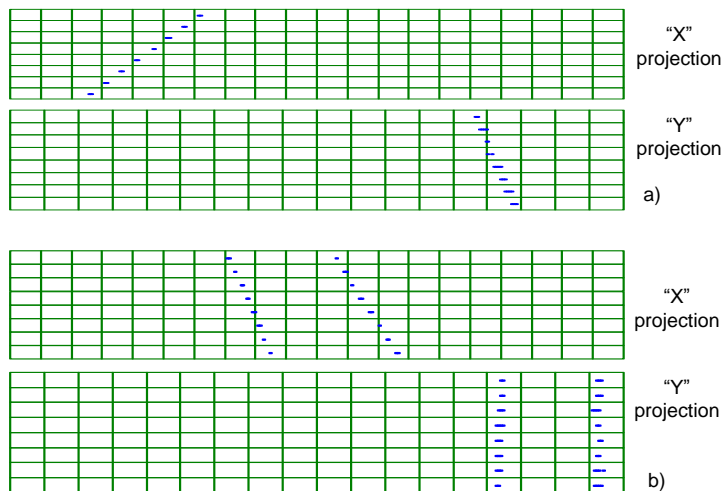
НИЯУ МИФИ, [VVShutenko@mephi.ru](mailto:VVShutenko@mephi.ru)

# Супермодуль УРАГАН

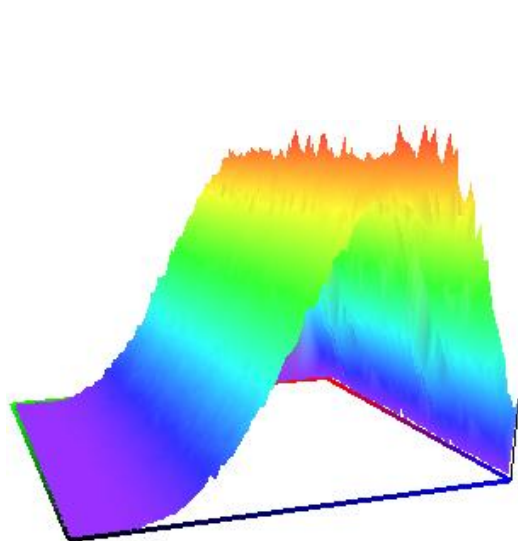
Площадь  $\sim 11 \text{ м}^2$ ; разрешение:  $\sim 1 \text{ см}$ ,  $\sim 1^\circ$ ;  $\sim 1400$  треков/сек.



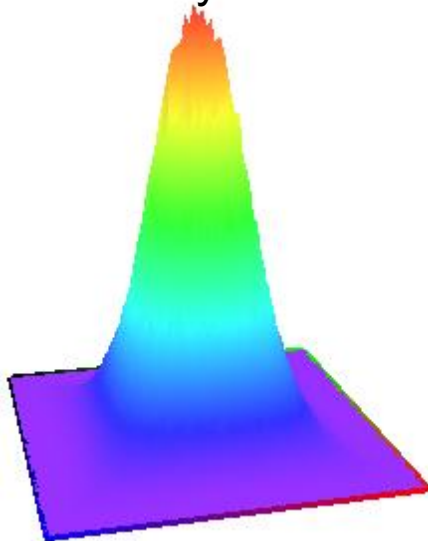
# Данные УРАГАН



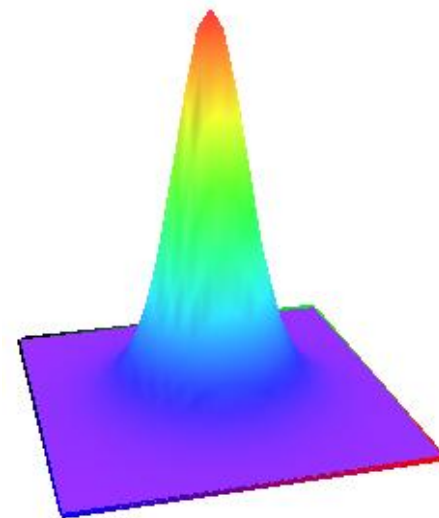
Матрицы: 91x91 угловых ячеек



$M(\theta, \varphi)$



$M(\theta_x, \theta_y)$



$M(\text{tg}\theta_x, \text{tg}\theta_y)$



# Локальная анизотропия

## Проекции вектора локальной анизотропии

$$A_{\text{South}} = \frac{1}{N} \sum_{\theta} \sum_{\varphi} M(\theta, \varphi) \cos \varphi \sin \theta, \quad A_{\text{East}} = \frac{1}{N} \sum_{\theta} \sum_{\varphi} M(\theta, \varphi) \sin \varphi \sin \theta,$$

$$A_Z = \frac{1}{N} \sum_{\theta} \sum_{\varphi} M(\theta, \varphi) \cos \theta,$$

$$N = \sum_{\theta} \sum_{\varphi} M(\theta, \varphi), \quad A = \sqrt{A_{\text{South}}^2 + A_{\text{East}}^2 + A_Z^2}.$$

## Относительная анизотропия

$$\vec{R} = \vec{A} - \vec{A}_N, \quad R_{\text{hor}} = \sqrt{R_{\text{South}}^2 + R_{\text{East}}^2},$$

$\vec{A}_N$  - средний вектор за период с февраля по ноябрь 2007 г.,  
для вейвлет-обработки и мюнографии – за предыдущие сутки.



# Пространственно-волновые характеристики

## 2D Фурье

По сглаженным 5-мин матрицам отклонений

- $P_{int}$  – сумма амплитуд всех пространственных волн;
- $P_{max}$  – максимальная амплитуда волны, среди волн с частотой более 1 (в относительных единицах);
- $\alpha$  – направление фронта волны с амплитудой  $P_{max}$  (в градусах от направления на юг в сторону направления на восток);
- $Freq$  – относительная частота волны с амплитудой  $P_{max}$ .

## Частотные характеристики

### Вейвлет-преобразование

Используется вейвлет Морле  
Анализируются временные ряды  
темп счета ( $I_{sum}$ ),  $A$ ,  $R_{hor}$   
по периодам от 20 мин до 32 часов



# Матрица отклонений относительно предыдущих суток

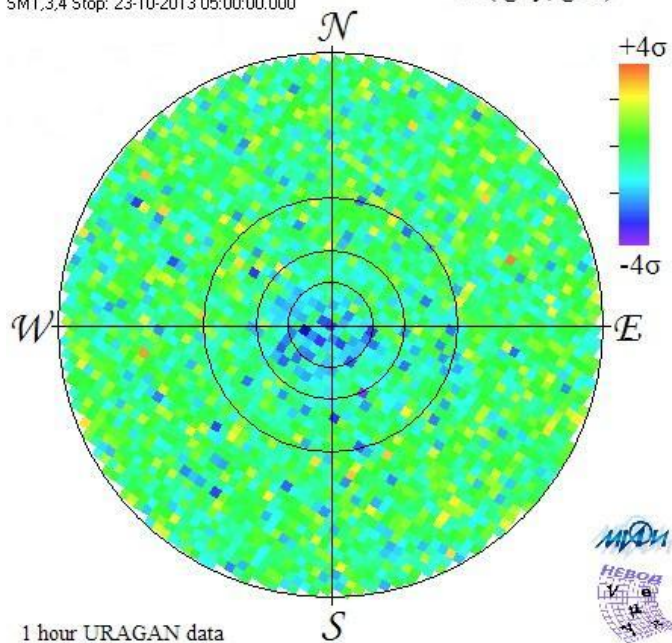
Барометрическая коррекция

$$M_{ci}(\text{tg}\theta_Y, \text{tg}\theta_X) = M_i(\text{tg}\theta_Y, \text{tg}\theta_X) + B_1(\text{tg}\theta_Y, \text{tg}\theta_X) \cdot (P_0 - P) \cdot T_i$$

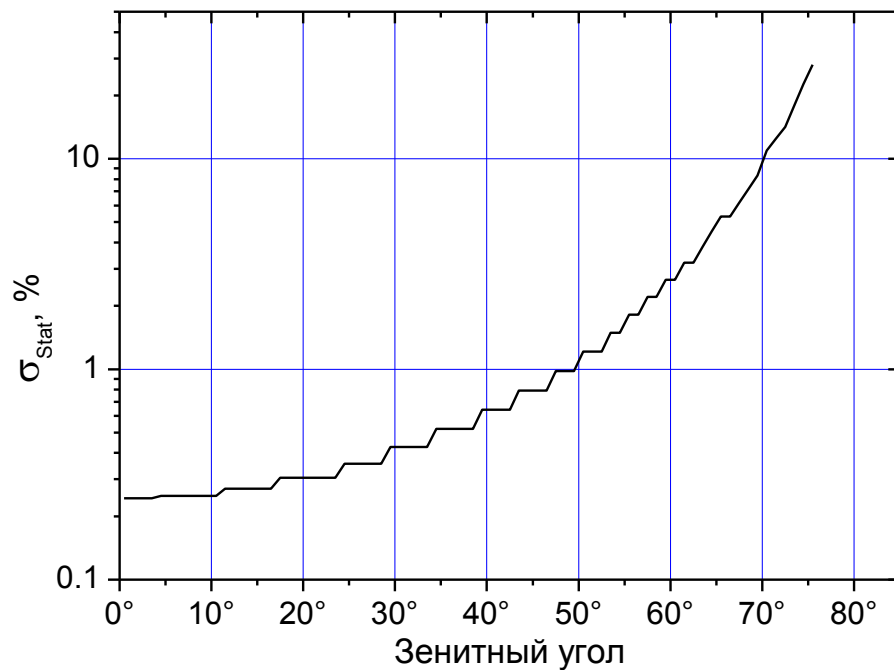
Изменение темпа счета в единицах статистических погрешностей

$$\delta_\sigma(\text{tg}\theta_Y, \text{tg}\theta_X) = \frac{M(\text{tg}\theta_Y, \text{tg}\theta_X) - M_N(\text{tg}\theta_Y, \text{tg}\theta_X) \cdot T / T_N}{\sqrt{M_N(\text{tg}\theta_Y, \text{tg}\theta_X) \cdot T / T_N}}$$

SM1.3.4 Start: 23-10-2013 04:00:00.000, P=1012.954 mbar M(tgθy,tgθx)  
SM1.3.4 Stop: 23-10-2013 05:00:00.000



1 hour URAGAN data



# Матрицы отклонений относительно предыдущих суток

## Сглаживание матриц

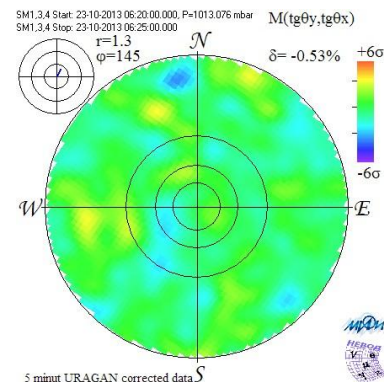
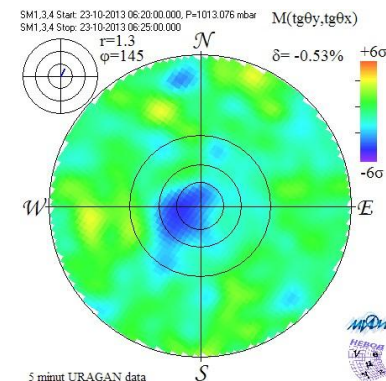
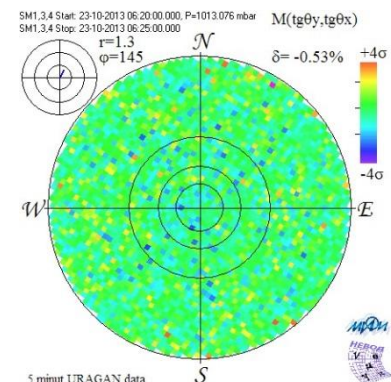
$$\frac{\Delta n_{i,j}}{\sigma(n_{i,j})}, \Delta n_{i,j} = \frac{\sum_{l,m} f_k \cdot n_{l,m}}{\sum_{l,m} f_k} - \frac{\sum_{l,m} f_k \cdot \bar{n}_{l,m}}{\sum_{l,m} f_k},$$

$$\sigma(n_{i,j}) = \frac{\sqrt{\sum_{l,m} f_k^2 \cdot \bar{n}_{l,m}}}{\sum_{l,m} f_k}, f_k = \exp\left(-\frac{(l-i)^2 + (m-j)^2}{2 \cdot 2^2}\right)$$

## Коррекция на форму колокола

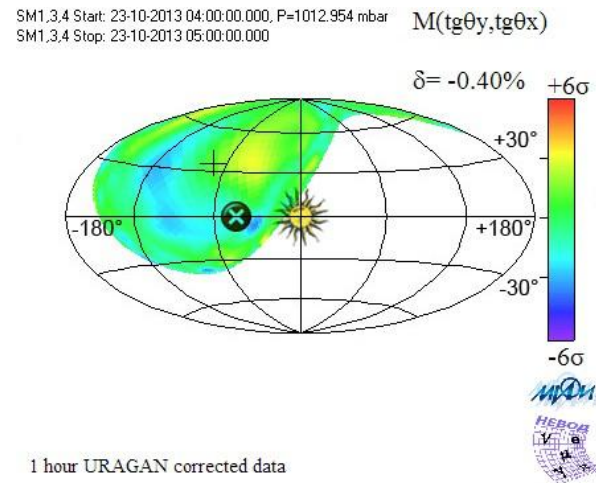
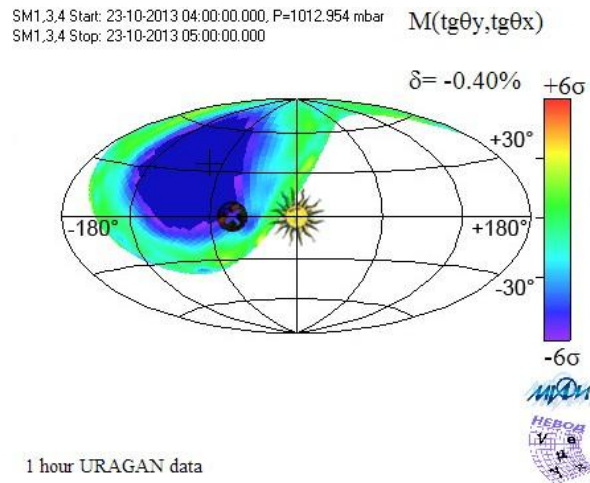
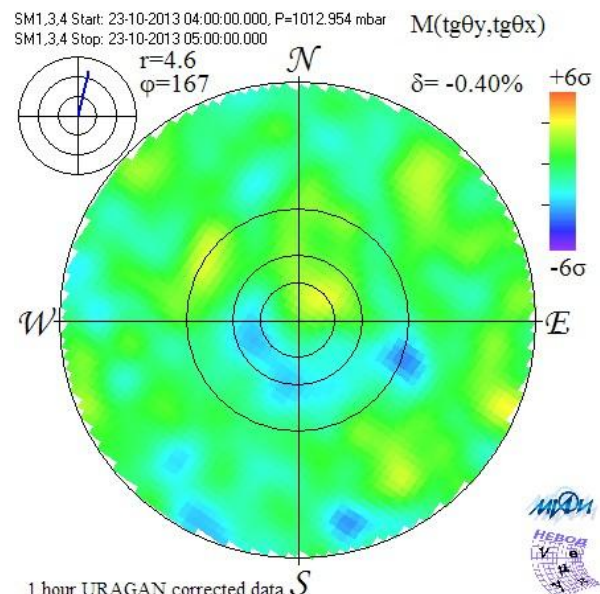
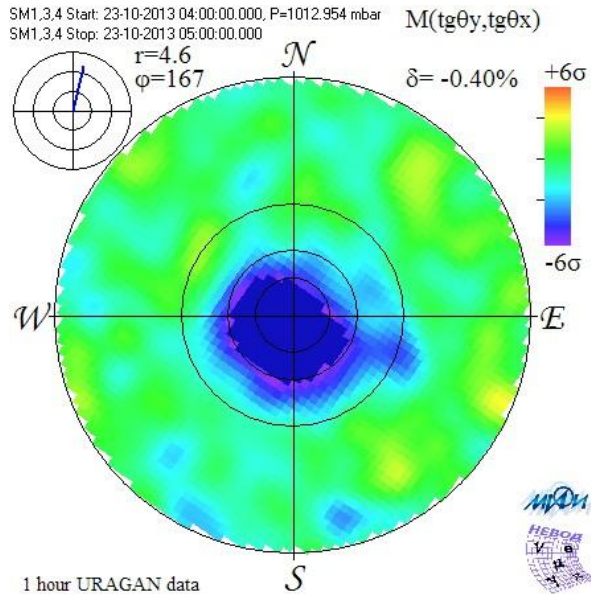
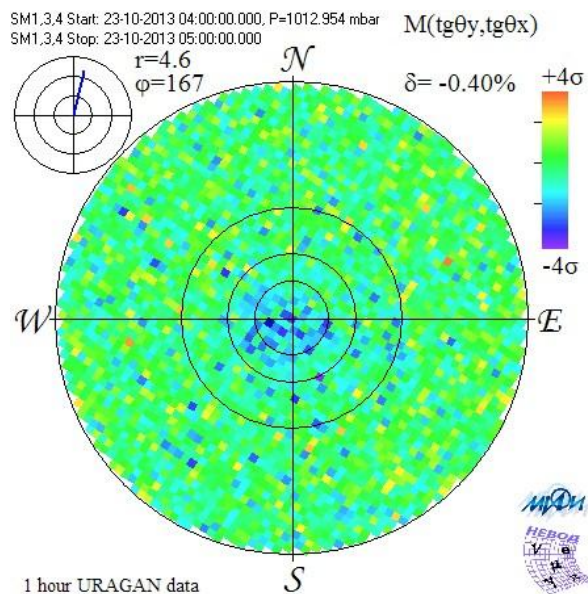
$$k(\theta) = \frac{C \cdot \cos^{\alpha} \theta}{C_N \cdot \cos^{\alpha} N \theta}$$

$$\delta_{\sigma}(\text{tg}\theta_Y, \text{tg}\theta_X) = \frac{M(\text{tg}\theta_Y, \text{tg}\theta_X) - k(\theta) \cdot M_N(\text{tg}\theta_Y, \text{tg}\theta_X) \cdot T / T_N}{\sqrt{k(\theta) \cdot M_N(\text{tg}\theta_Y, \text{tg}\theta_X) \cdot T / T_N}}.$$





# GSE-отображение матриц отклонений







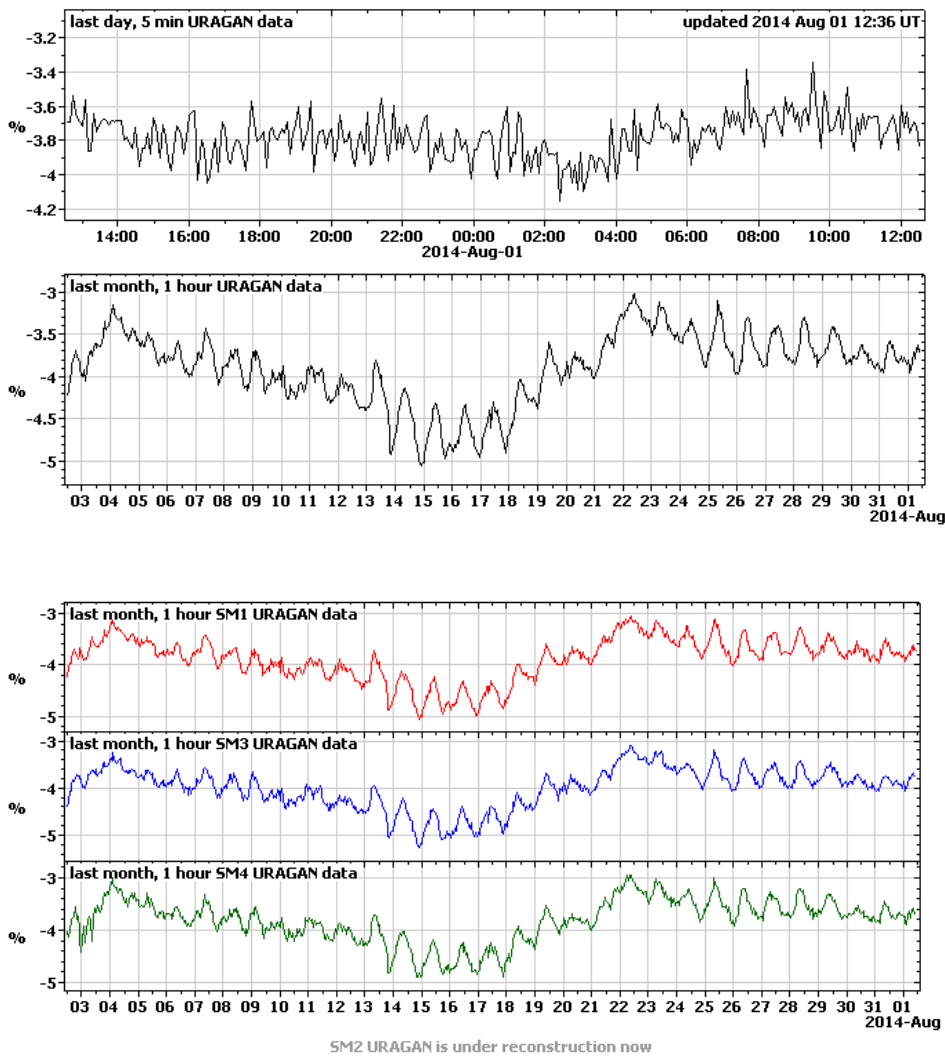
# Данные на страницах УРАГАН

- Integral intensity mode and Hodoscopic mode –  
[http://nevod.mephi.ru/uragan\\_data.htm](http://nevod.mephi.ru/uragan_data.htm)
- Local anisotropy and Muonography (5-min data)–  
<http://nevod.mephi.ru/English/atmosphere.php>
- Local anisotropy and Muonography (60-min data) –  
<http://nevod.mephi.ru/English/heliosphere.php>
- Wavelets of URAGAN data –  
<http://nevod.mephi.ru/English/wavurg1.htm>



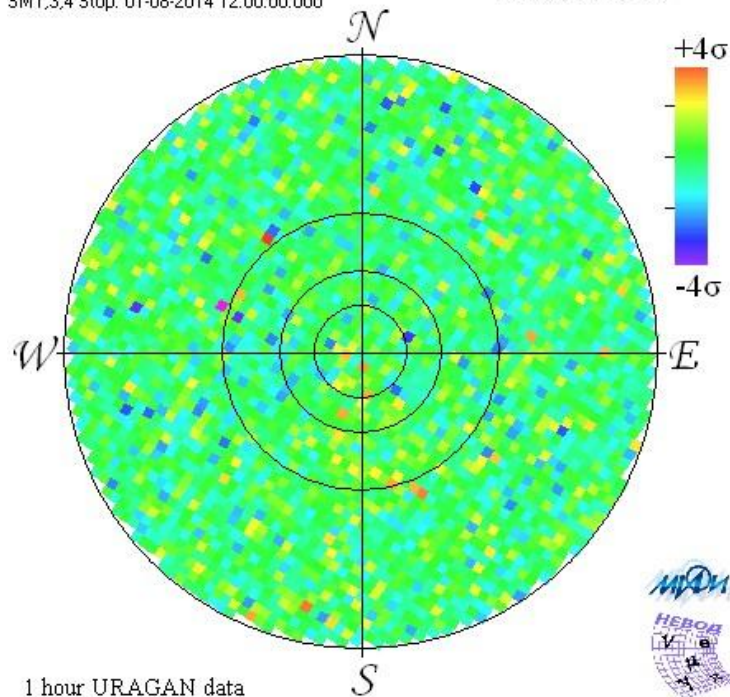
# Интегральный темп счета

[http://nevod.mephi.ru/uragan\\_data.htm](http://nevod.mephi.ru/uragan_data.htm)



SM1,3,4 Start: 01-08-2014 11:00:00.000, P=996.635 mbar  
SM1,3,4 Stop: 01-08-2014 12:00:00.000

$M(\text{tg}\theta_y, \text{tg}\theta_x)$



$$\langle I_{sum_1} \rangle = 1450 \text{ c}^{-1}$$

$$\langle I_{sum_3} \rangle = 1412 \text{ c}^{-1}$$

$$\langle I_{sum_4} \rangle = 1414 \text{ c}^{-1}$$

Статистическая погрешность  $\sim 0.05\%$

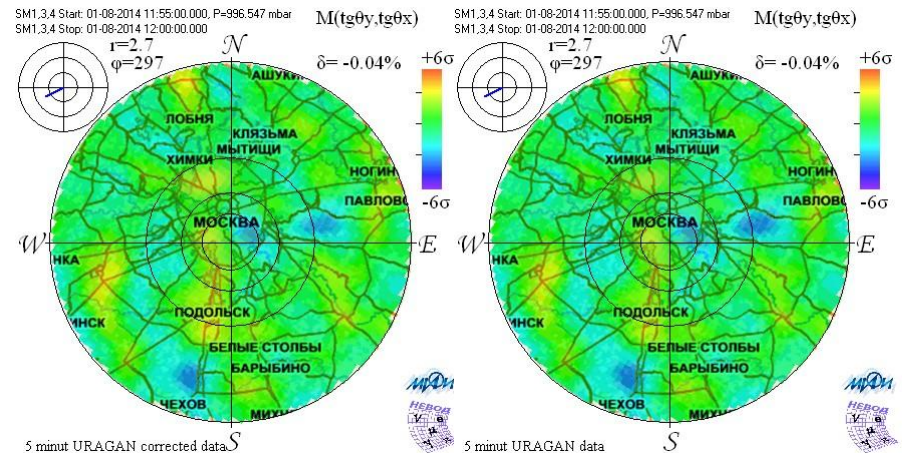
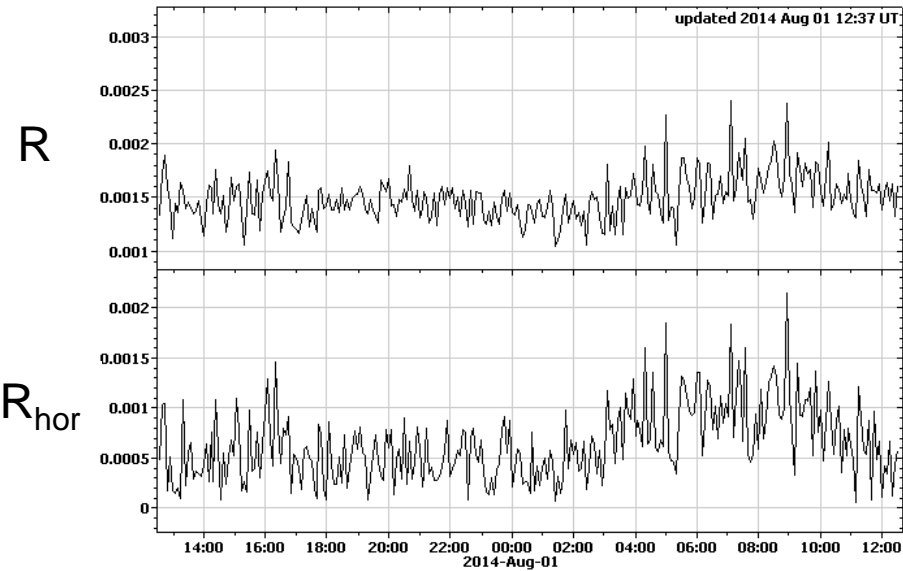
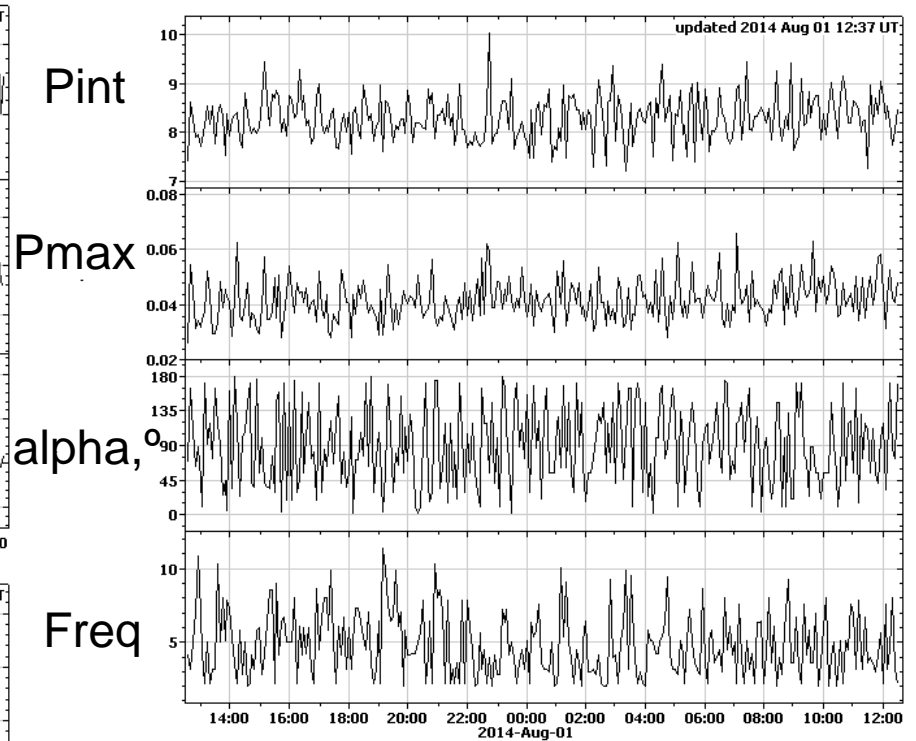
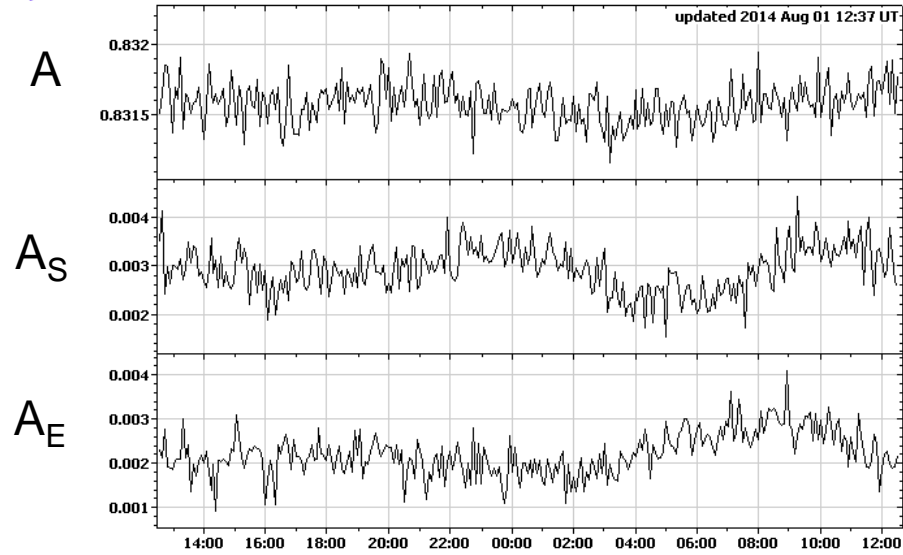
Для среднего по трем СМ:

5 мин -  $\sim 0.1\%$ , 60 мин -  $\sim 0.03\%$



# Локальная анизотропия 5-мин

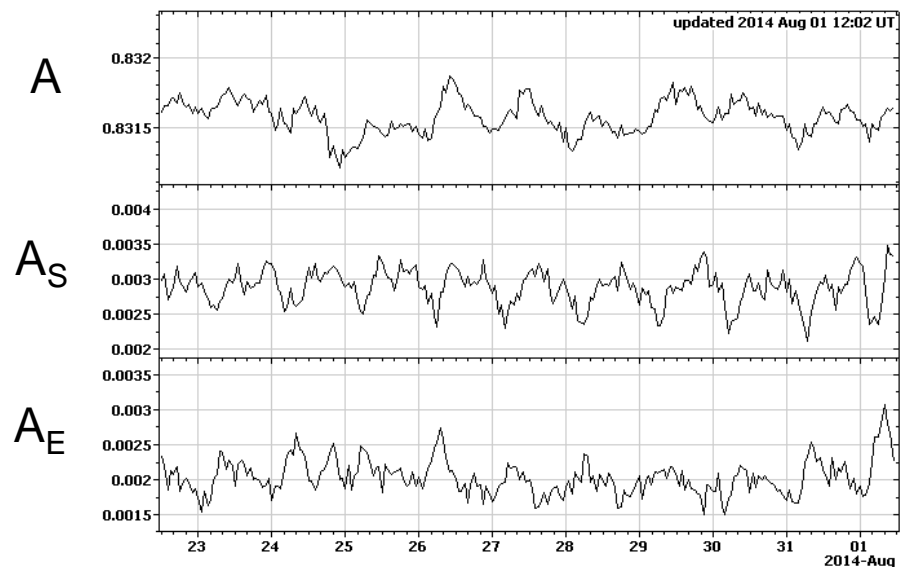
<http://nevod.mephi.ru/English/atmosphere.php>



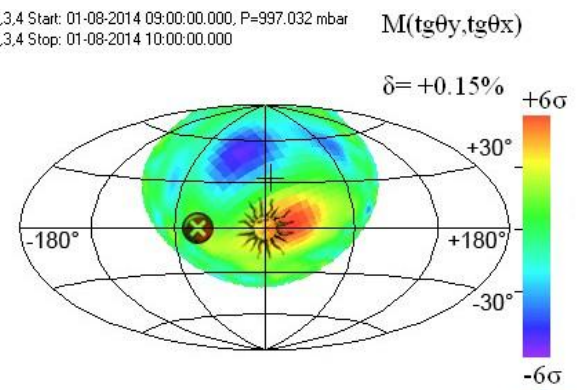


# Локальная анизотропия 60-мин

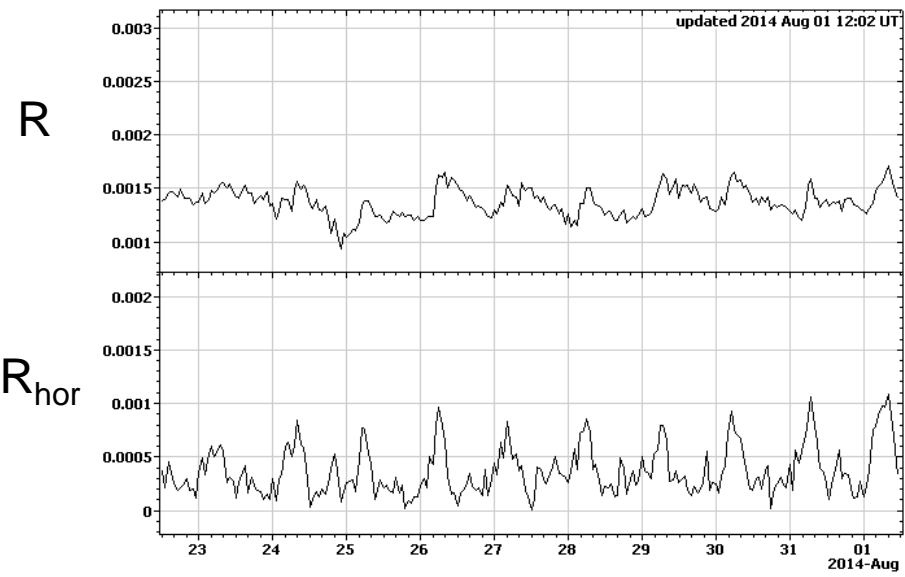
<http://nevod.mephi.ru/English/heliosphere.php>



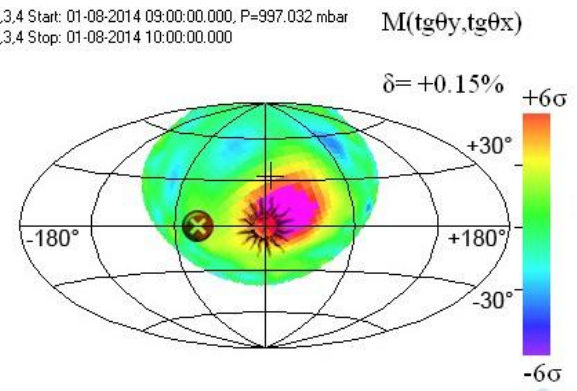
SM1,3.4 Start: 01-08-2014 09:00:00.000, P=997.032 mbar  
SM1,3.4 Stop: 01-08-2014 10:00:00.000



1 hour URAGAN corrected data



SM1,3.4 Start: 01-08-2014 09:00:00.000, P=997.032 mbar  
SM1,3.4 Stop: 01-08-2014 10:00:00.000



1 hour URAGAN data

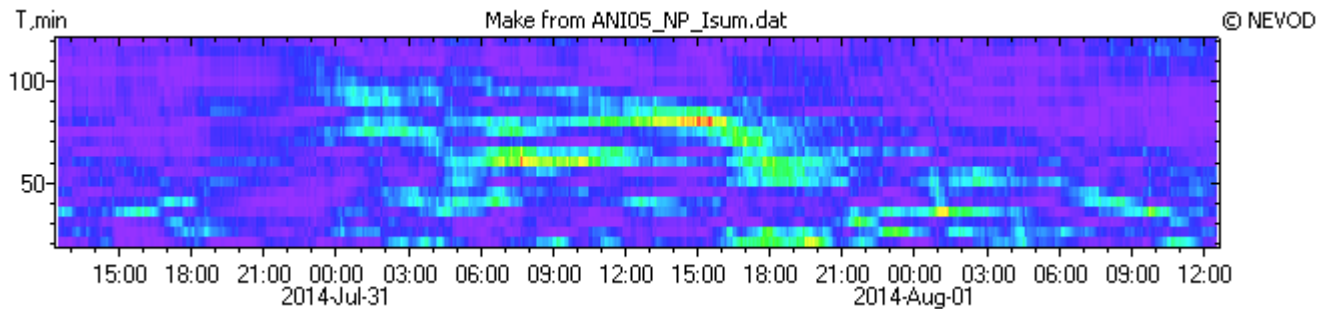
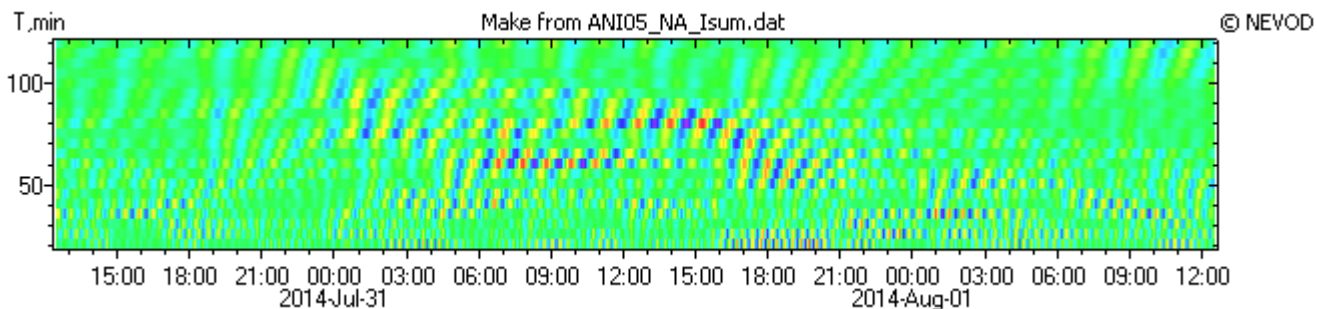




# Вейвлеты 5-мин

<http://nevod.mephi.ru/English/wavurg1.htm>

*Isum*, *A*, *Rhor* Периоды: от 20 до 120 минут

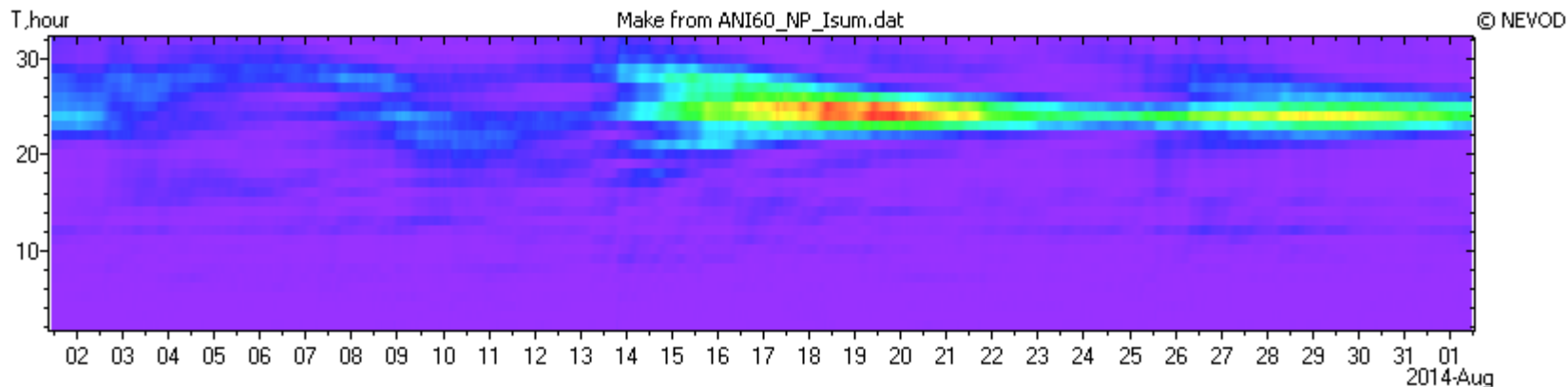
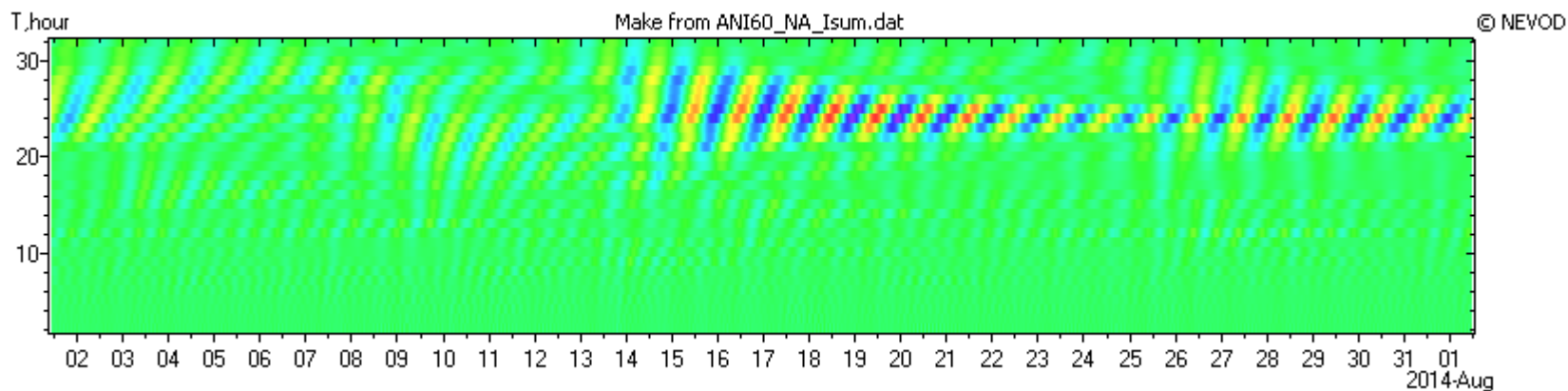


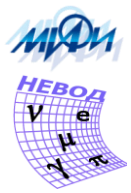


# Вейвлеты 60-мин

<http://nevod.mephi.ru/English/wavurg1.htm>

*Isum, A, Rhor* Периоды: от 2 до 32 часов





# Выводы

- Данные мюонного годоскопа УРАГАН дают возможность наблюдать изменения во времени не только темпа счета частиц, но и характеристики их пространственно-угловых распределений.
- Вариации по 5-минутным данным обусловлены, в основном, атмосферными причинами, но также могут быть вызваны солнечными протонными событиями, например, GLE (Ground Level Enhancement).
- Вариации по 60-минутным данным позволяют наблюдать, в основном, гелиосферные и магнитосферные возмущения.

Спасибо за внимание!

Добро пожаловать!

[http://nevod.mephi.ru/uragan\\_data.htm](http://nevod.mephi.ru/uragan_data.htm)

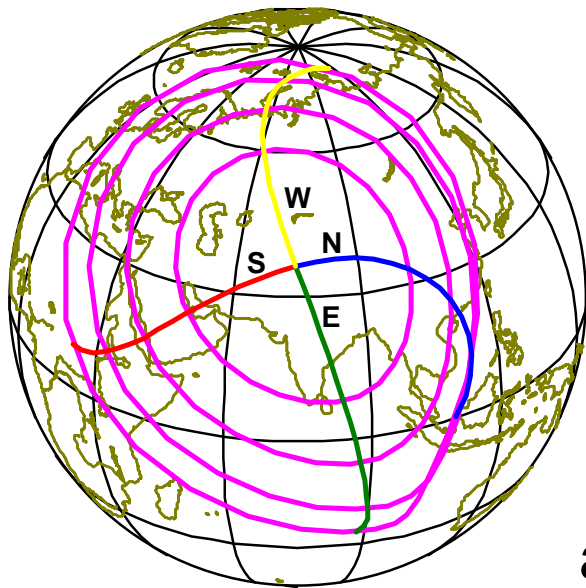


# Построение обратной траектории



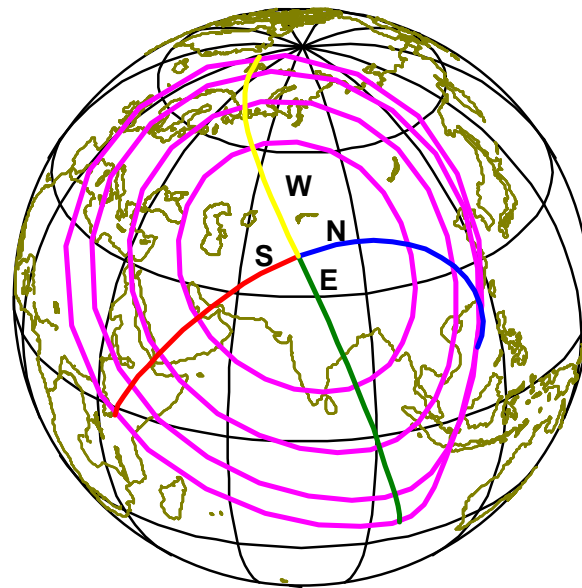
# Асимптотические направления

$E_p = 30 \text{ ГэВ}, E_{\mu^+} = 3 \text{ ГэВ}$



а)

$E_p = 30 \text{ ГэВ}, E_{\mu^-} = 3 \text{ ГэВ}$



б)

Асимптотические направления протонов 30 ГэВ для мюонов 3 ГэВ, попадающих в детектор УРАГАН 22 июня 2009 г. 01:00 UTC под зенитными углами  $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  (замкнутые линии-окружности) и с направлений юг, запад, север, восток (незамкнутые линии). Рядом с линиями буквами указаны стороны света:  
 а) положительные мюоны; б) отрицательные мюоны.