



37 ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ



Мониторинг космической погоды с помощью системы наземных детекторов космических лучей

В.В. Борог, А.Н. Дмитриева, Ю.Н. Мишутина

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ

НОЦ НЕВОД

vvborog@mephi.ru

27 июня - 2 июля 2022 года

НИИЯФ МГУ

Информация о приближении КВМ к орбите Земли поступает от ACE за 30-40 мин. Более ранние предвестники можно получить из характеристик потока КЛ в момент их прохождения через область КВМ в гелиосфере.

В потоке КЛ возникает анизотропия или нестационарность. Высокоэнергичные КЛ проходят все расстояние во внутренней гелиосфере менее чем за 10 мин. В то время как КВМ достигает орбиты Земли за 1-3 суток в зависимости от скорости плазмы.

Опережение по времени оказывается значительным. Однако возникающие вариации в КЛ составляют малую величину (порядка 1%) и зашумлены за счет ограниченной статистической точности и случайных локальных процессов.

В работе анализируются временные ряды $N(t)$ различных вторичных КЛ, достигающих уровня Земли (установки НМ и МГ). Для этих рядов вычисляются соответствующие ряды фактора нестационарности $F(t)$ по методике фликкер-шумовой (ФШ) спектроскопии [1].

Значения $F(t)$ меняются от малых величин, где $N(t)$ имеет регулярный случайный или гармонический характер, до больших величин – в моменты пересечения области КВМ в гелиосфере.

Анализ временных рядов по фактору нестационарности оказывается информативным для изучения динамических процессов в различных открытых системах, к числу которых относится распространение КЛ в хаотических э/м полях.

При этом для выявления предвестников не требуется каких-либо функций-анализаторов.

1. Тимашев С.Ф. // Фликкер-шумовая спектроскопия: информация в хаотических сигналах. М.: Физматлит. 2007. -248 с.

Фактор нестационарности временного ряда

Разностные моменты Q :

$$Q_k = \int_0^{\alpha T} \int_{t_k}^{t_k+T} [N(t) - N(t+\tau)]^2 \frac{dt}{T} \frac{d\tau}{\alpha T}$$

$$Q_{k-1} = \int_0^{\alpha T} \int_{t_k}^{t_k+T-\Delta T} [N(t) - N(t+\tau)]^2 \frac{dt}{T} \frac{d\tau}{\alpha T}$$

$$F_k(t_k) = \frac{Q_k - Q_{k-1}}{1/2(Q_k + Q_{k-1})} / \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta Q_k}{\langle Q_k \rangle} / \frac{\Delta T}{T}$$

$\alpha < 0.5$; $t_k = k\Delta T, k = 0, 1, 2, 3, \dots$

T - интервал усреднения

ΔT - приращение интервала

τ - параметр временной задержки или лаг

$N(t)$ – измеряемая величина
временного ряда (поток КЛ)

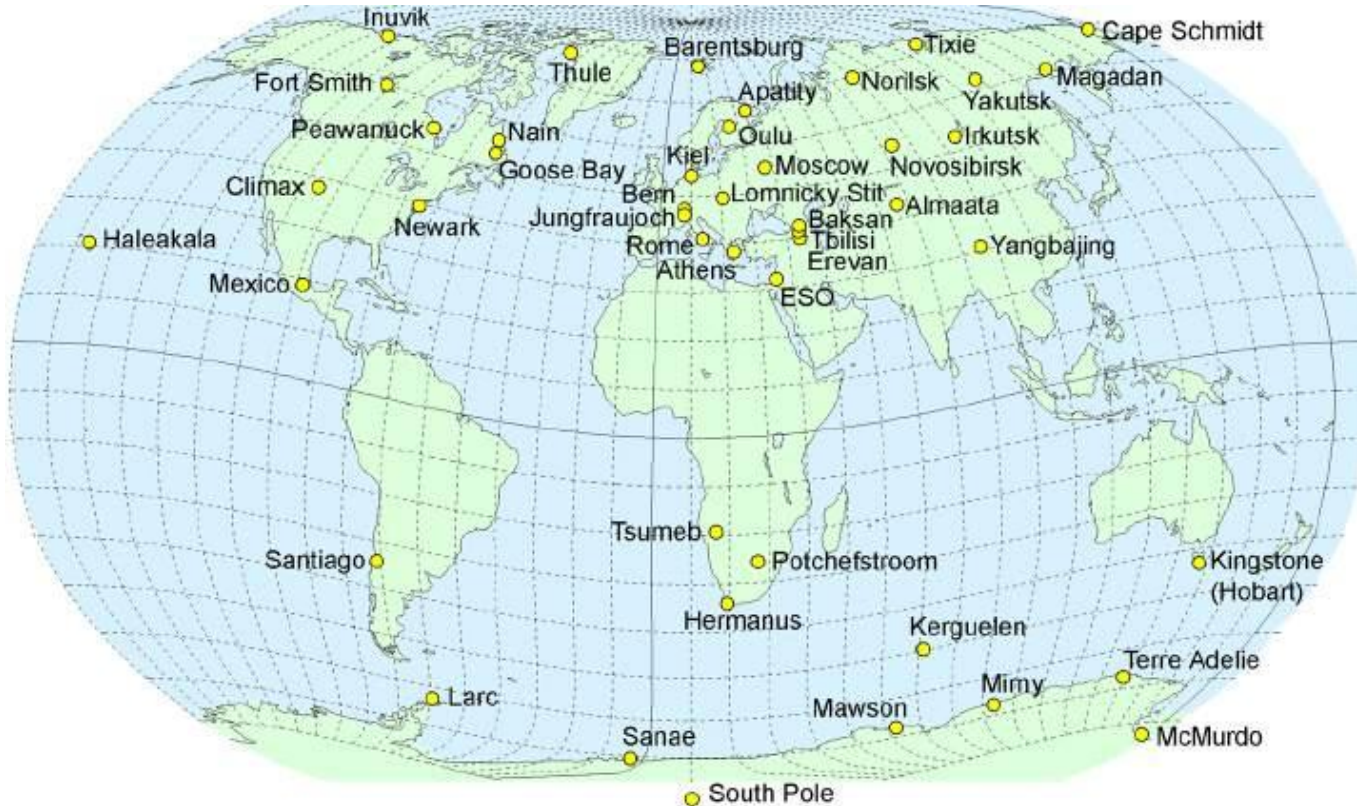
Q – разностный момент (переходная структурная функция), который характеризует изменение динамики в пределах скользящего временного окна T .

$F_k(t_k)$ - удельный фактор
нестационарности
временного ряда

С.Ф. Тимашев, «Фликкер-шумовая спектроскопия. Информация в хаотических сигналах». 2007 г.

S.F. Timashev et al. (1999-2017 гг.)

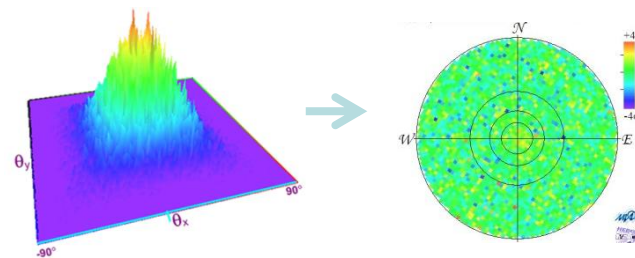
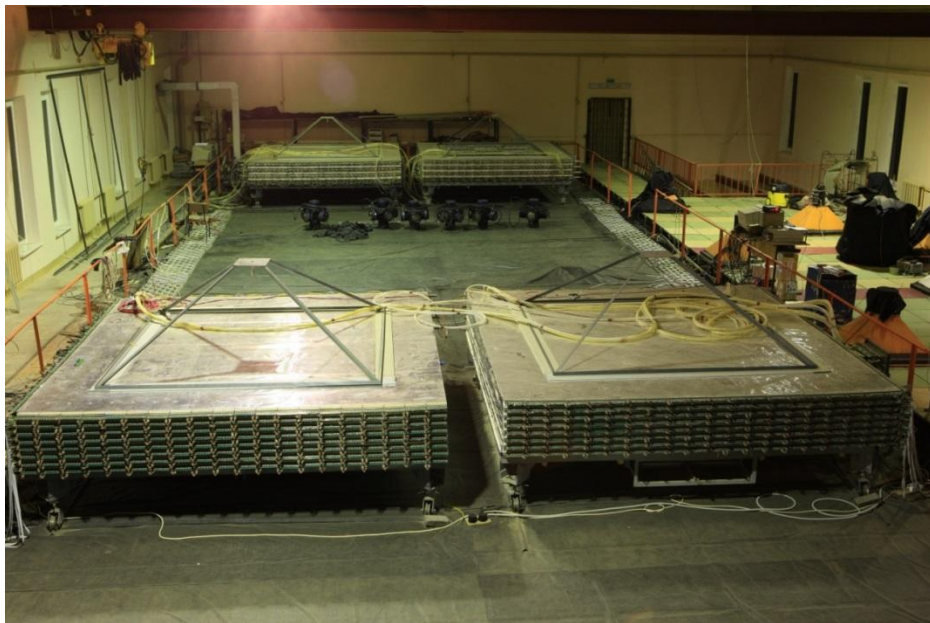
Мировая сеть нейтронных мониторов



Как правило, в «нужное» время для мониторинга работает 5 – 10 НМ ($R > 1-2$ ГВ)

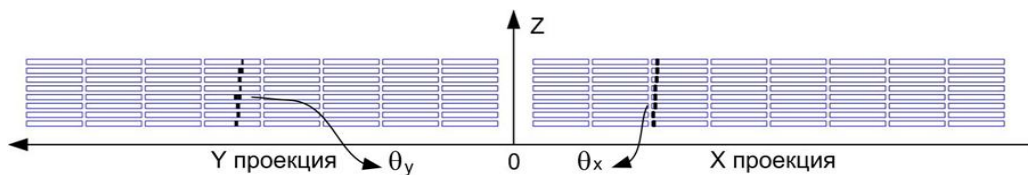
НМ – 1 ряд $N(t)$

Мюонный годоскоп УРАГАН



«Кольцевые» ряды $N(t)$

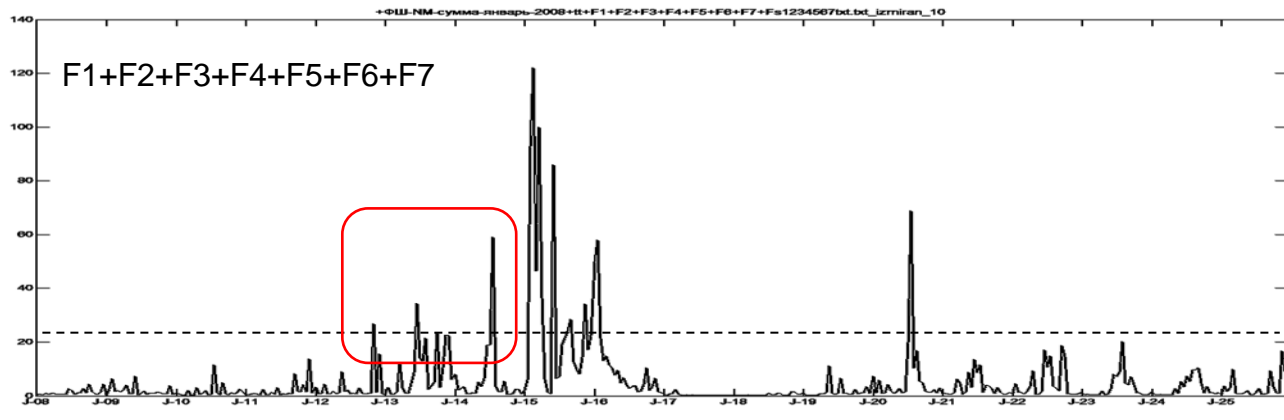
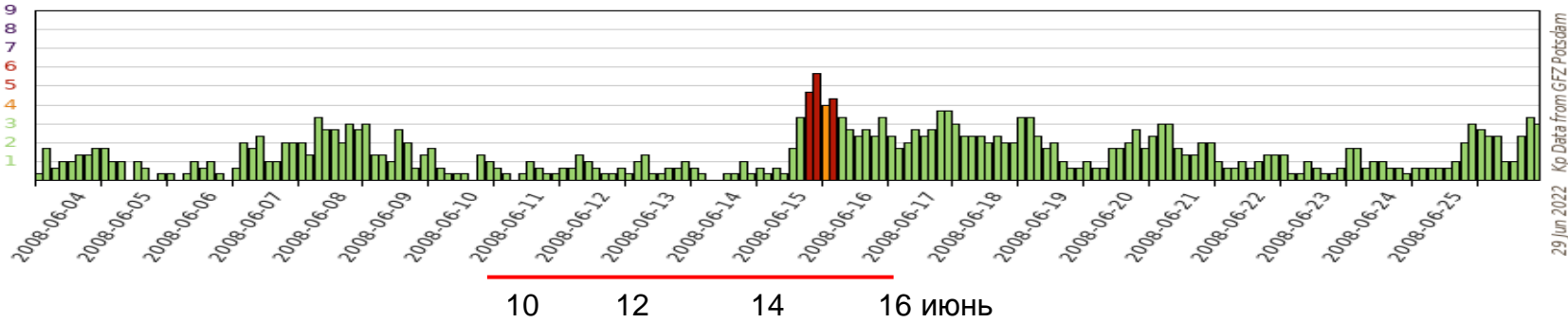
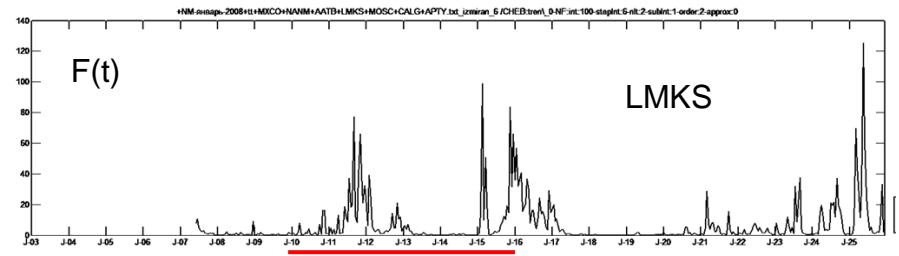
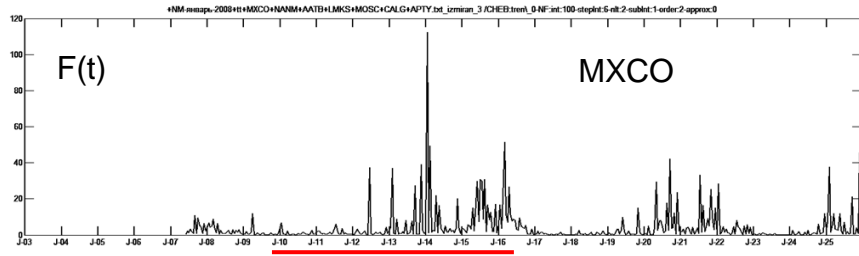
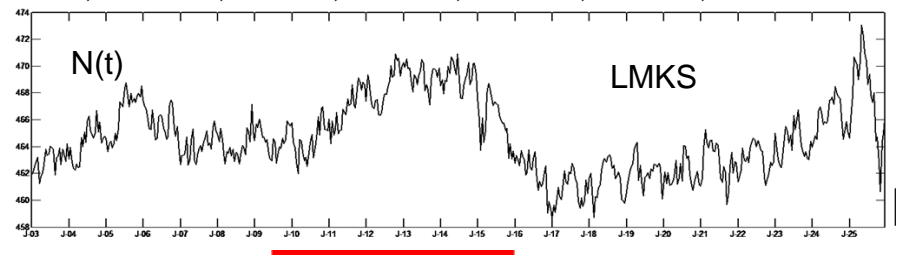
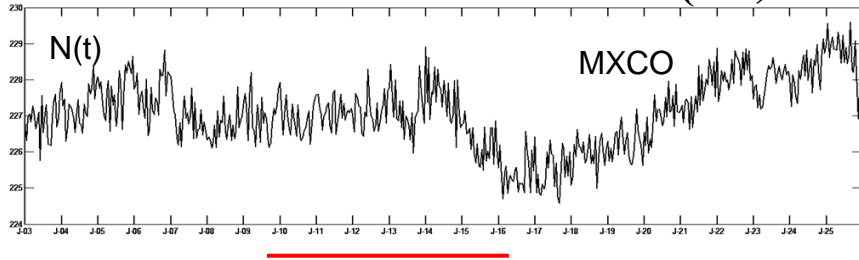
ряд	N_i	$\theta_{\min} - \theta_{\max}, ^\circ$
1	N1	0 - 17
2	N2	17 - 26
3	N3	26 - 34
4	N4	34 - 44
5	N5	44 - 90



1-минутные матрицы
Суммирование – 1-часовые (θ, ϕ)

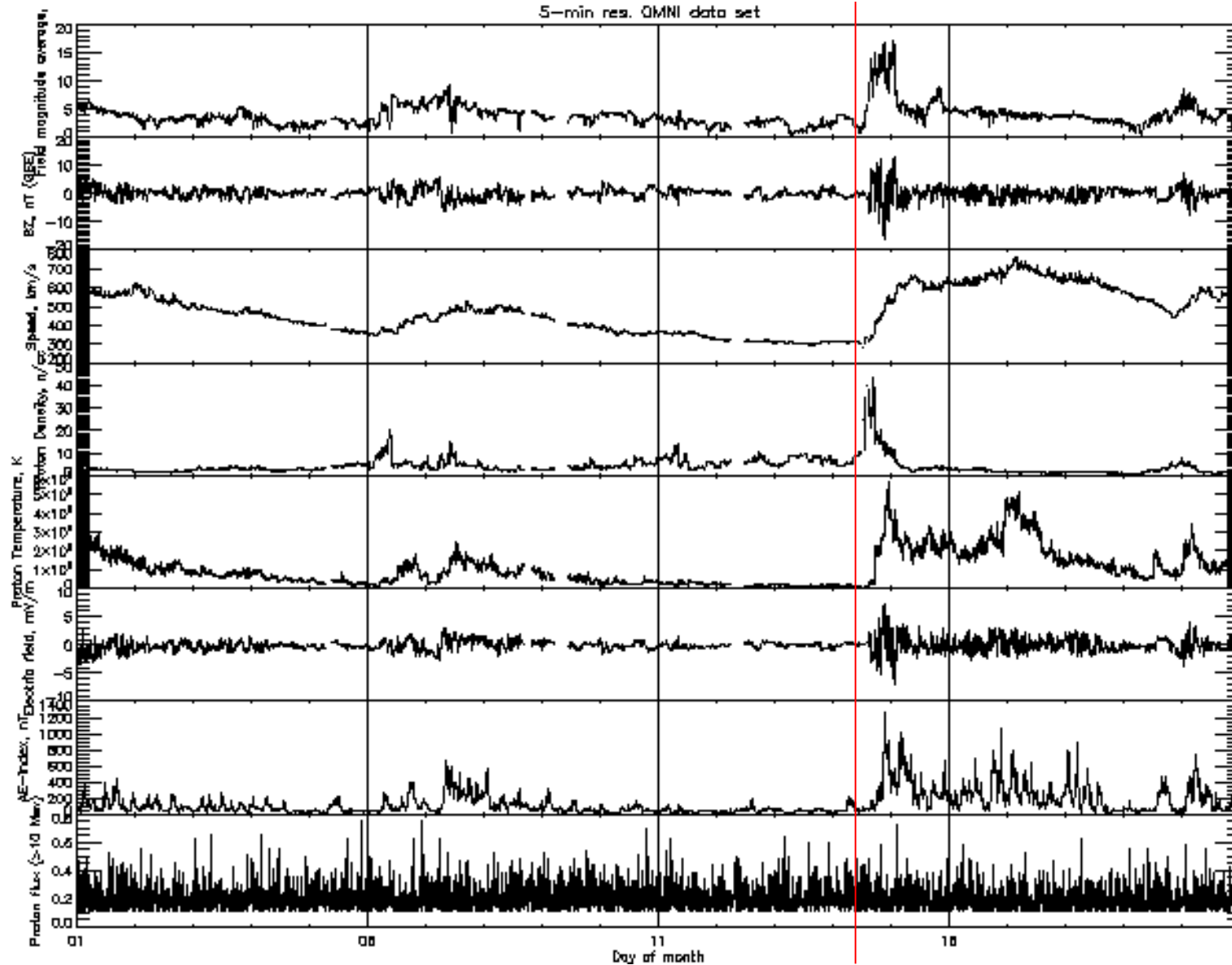
$\langle N_i \rangle \approx 10^{**6}$ (1/час) – одно кольцо

Событие 14.06.2008 (G1) NM: MXCO, NANM, AATB, LMKS, MOSC, CALG, APTY

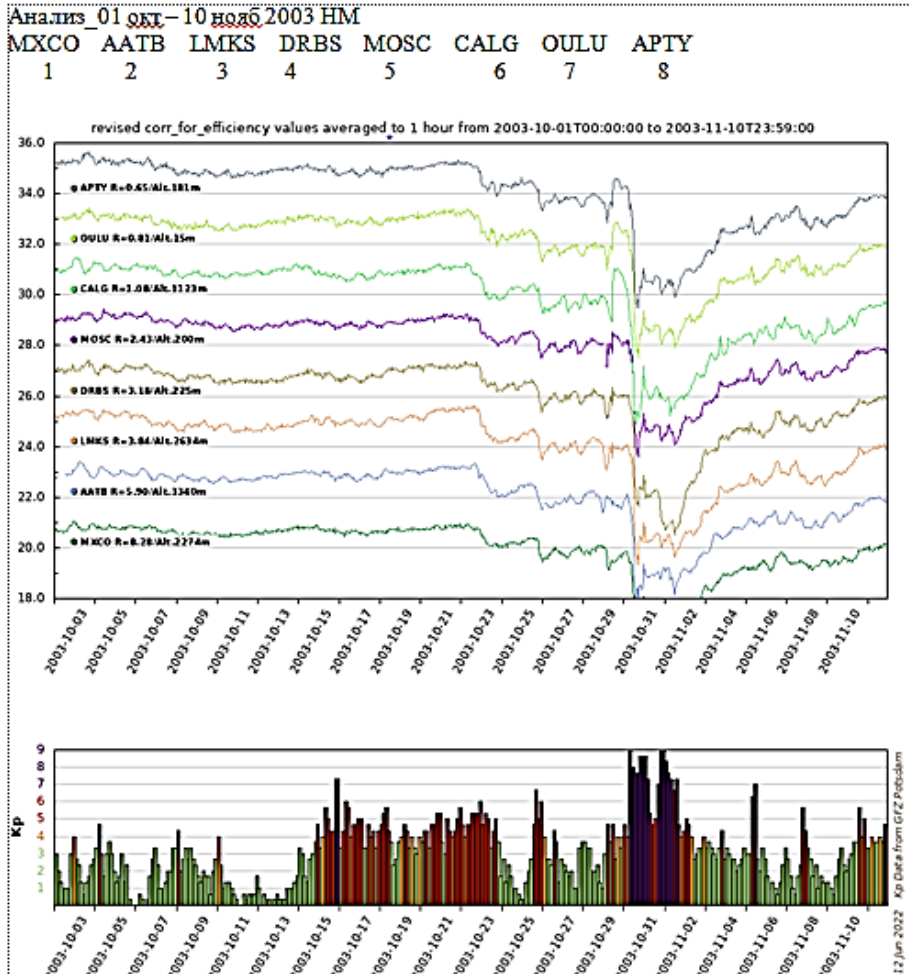


OMNI 01.06 – 20.06.2008

5-min res. OMNI data set



Событие 29 октября 2003 года (G5) № 1 и № 2 (Ap=204, 191)



Список 50 событий максимальной геоэффективности

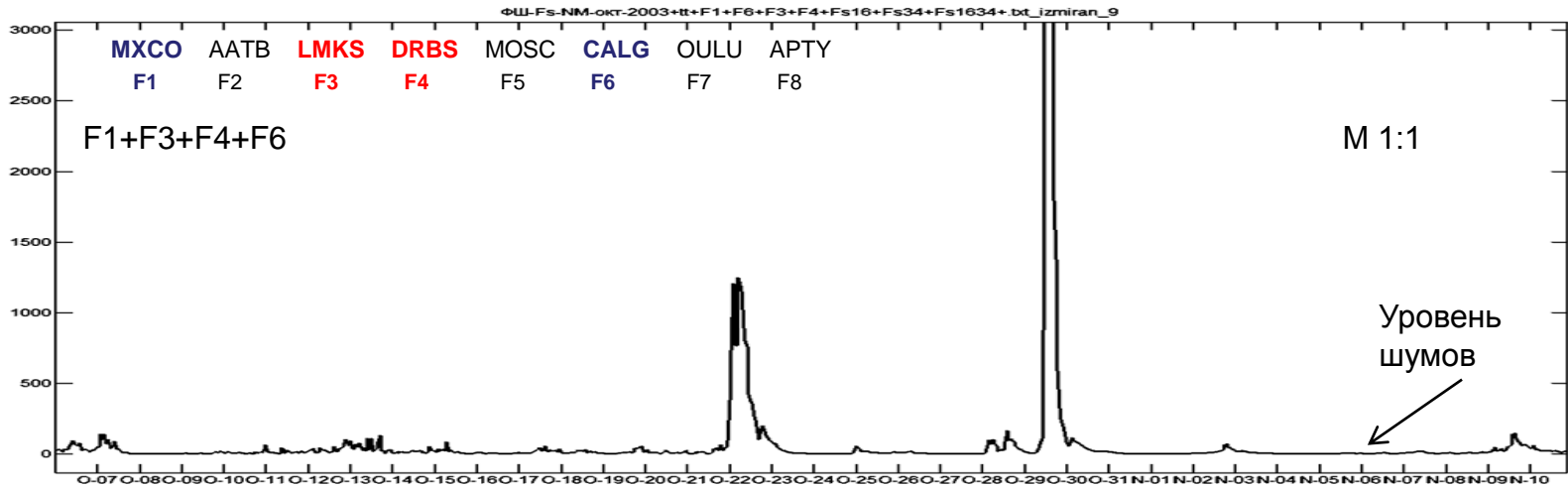
	Ap	00-03h	03-06h	06-09h	09-12h	12-15h	15-18h	18-21h	21-00h	Kp max
1	2003/10/29 204	5-	4	9	8	8-	8-	9-	9-	9
2	2003/10/30 191	9-	7+	5+	5-	5	7	9	9	9
3	2000/07/15 164	3	4-	5-	4+	8	9-	9	9-	9
4	2001/03/31 192	7-	9-	9-	6+	7	8	8+	7+	9-
5	2004/07/27 186	8+	8-	7+	8	9-	8+	6+	6	9-
6	2004/11/10 161	8-	8+	9-	8+	7+	6+	5+	4+	9-
7	2003/11/20 150	1	4-	6+	6+	8-	9-	9-	8	9-
8	2001/11/06 142	9-	9-	7	5	5+	7-	6+	6+	9-
9	2004/11/08 140	9-	9-	8+	7	5	3-	4+	5+	9-
10	2004/11/09 119	6-	6	5	6	7	7-	9-	7	9-
11	2005/08/24 102	3-	3+	6+	9-	7+	7-	6+	4+	9-
12	1998/05/04 101	6	9-	8+	6-	6	4-	2+	3	9-
13	2000/04/07 74	9-	6	6	4	4	4+	4-	4-	9-
14	1998/09/25 117	8-	8	8+	7	6+	6-	3-	2+	8+
15	2003/10/31 116	8+	8-	7+	7-	7+	5-	4	4+	8+

	Ap	00-03h	03-06h	06-09h	09-12h	12-15h	15-18h	18-21h	21-00h	Kp max
1	2003/10/29 204	5-	4	9	8	8-	8-	9-	9-	9
2	2003/10/30 191	9-	7+	5+	5-	5	7	9	9	9

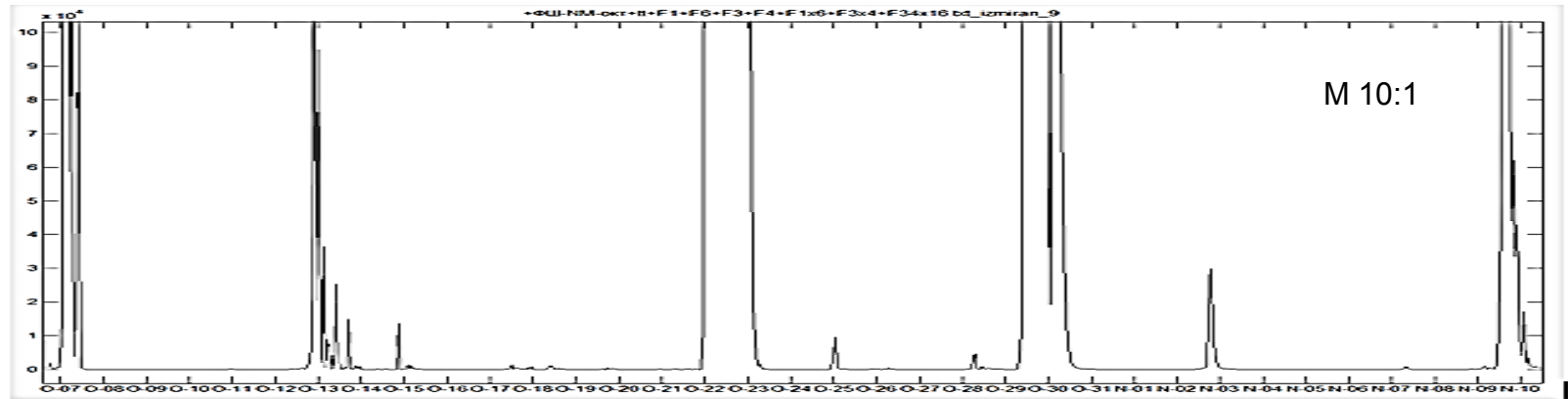
<https://www.spaceweatherlive.com/en/auroral-activity/top-50-geomagnetic-storms.html>

Расчет рядов $F(t)$ для 4-х установок НМ (Европа и Америка)

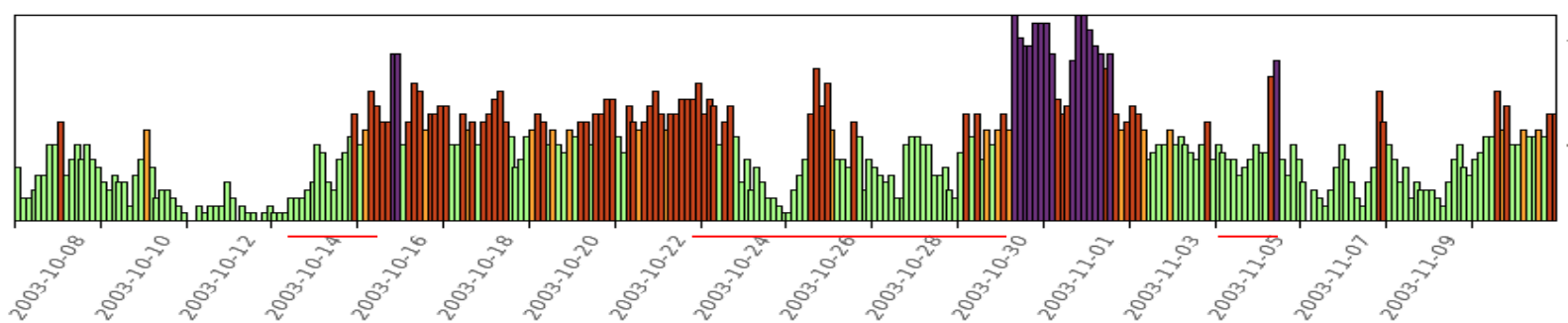
Сумма
4-х
рядов
 $F_s(t)$



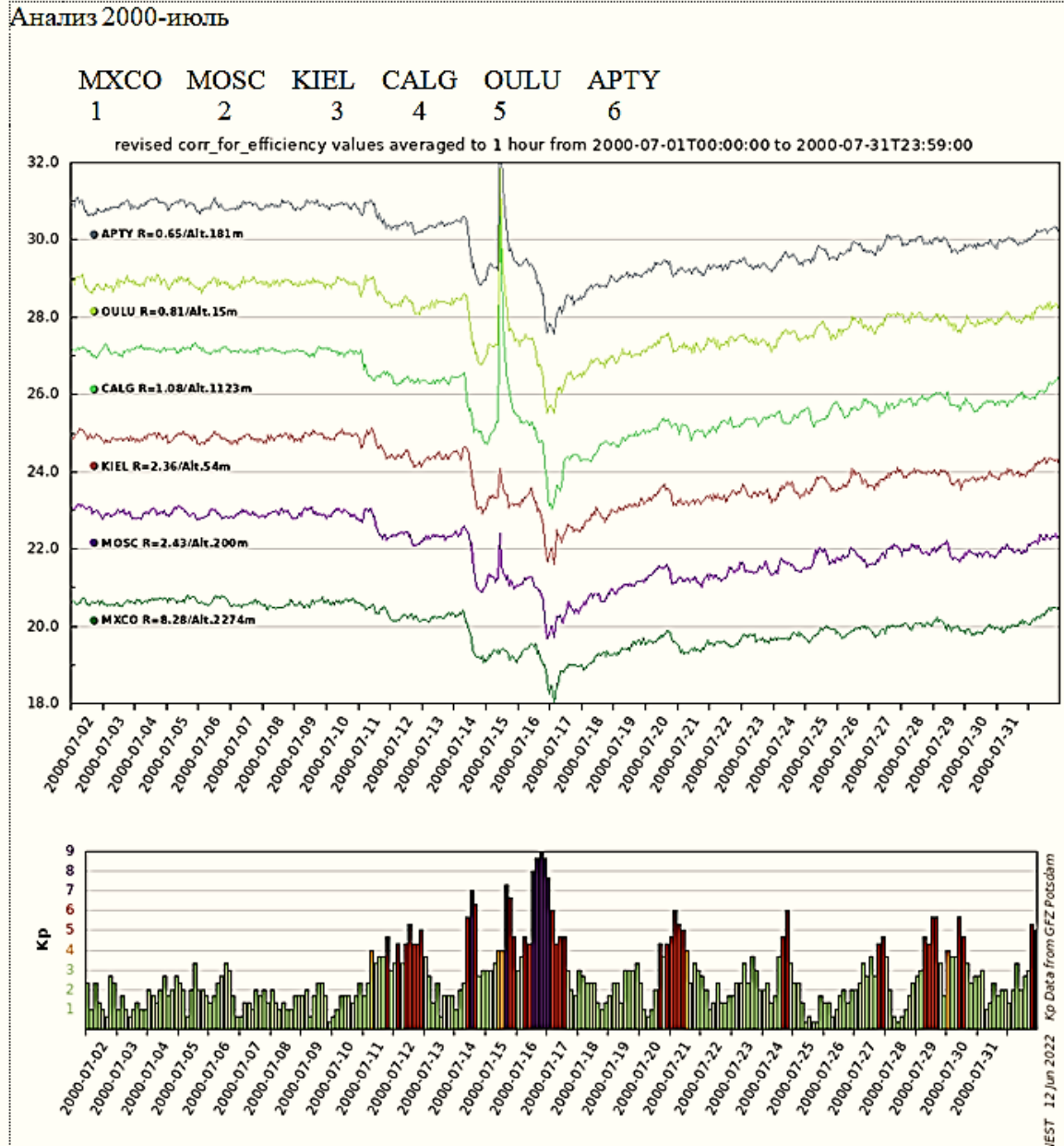
Сумма
4-х
рядов
 $F_s(t)$



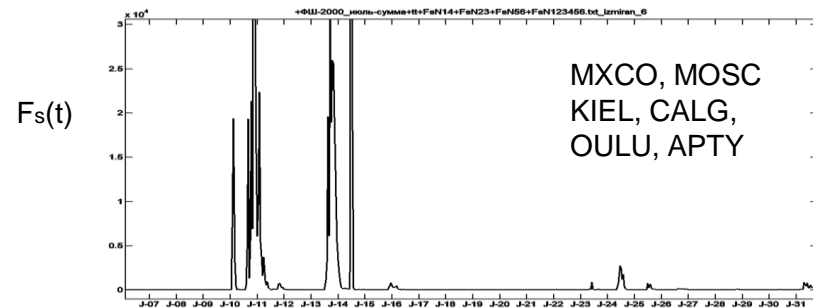
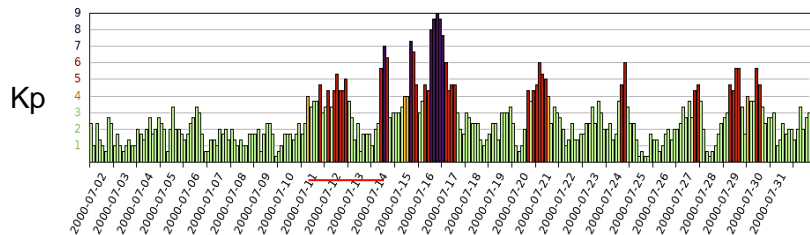
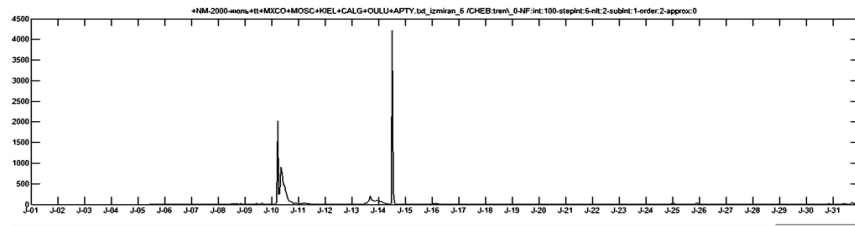
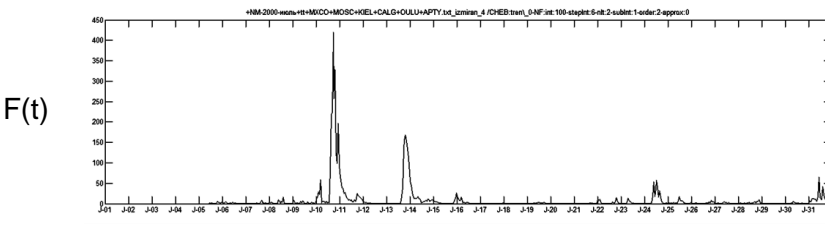
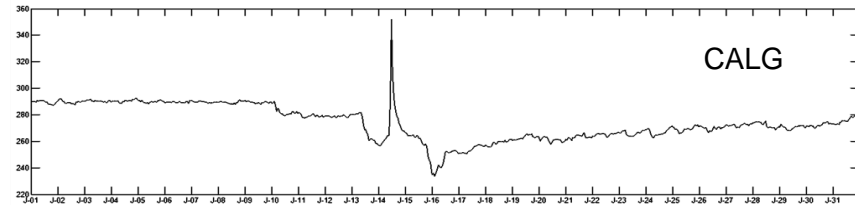
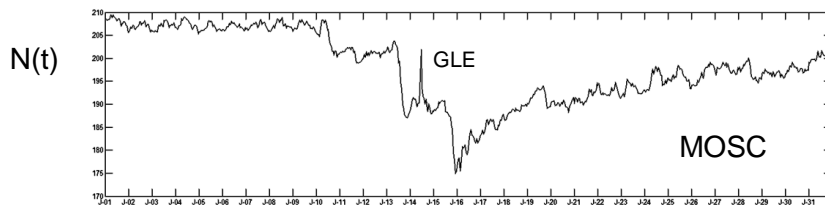
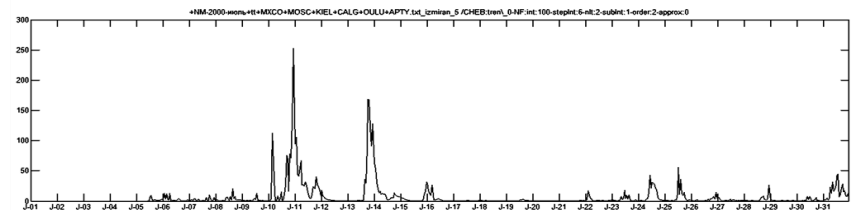
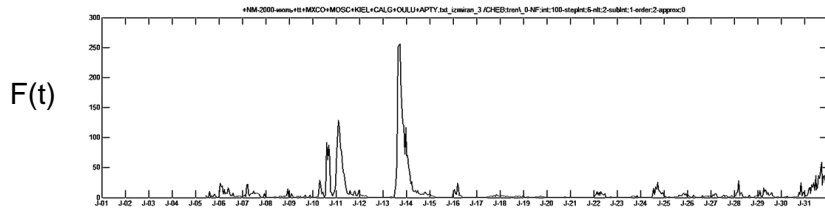
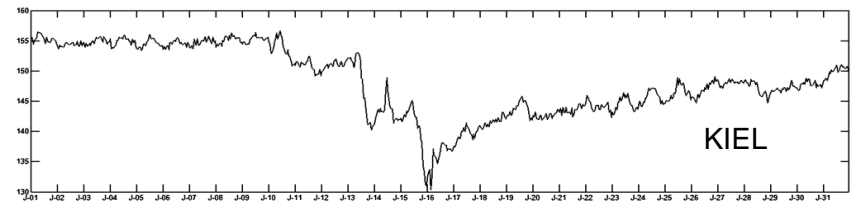
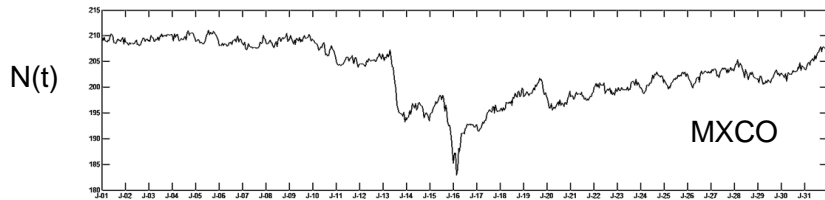
Kp



Событие 15 июля 2000 года (G5) № 3 (Ap=164). NM



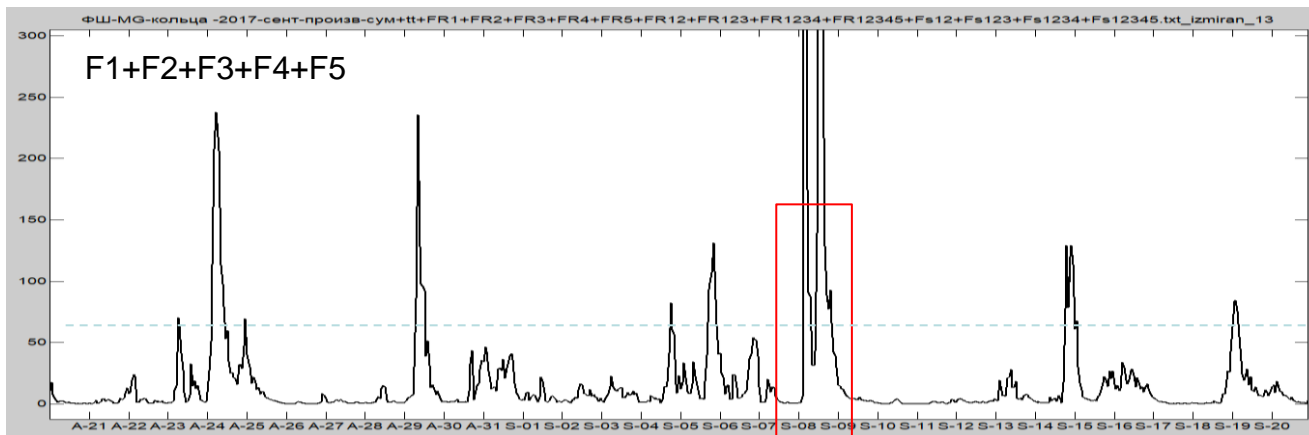
Событие 15.07.2000 г. KBM (G5) + GLE (14.07) HM



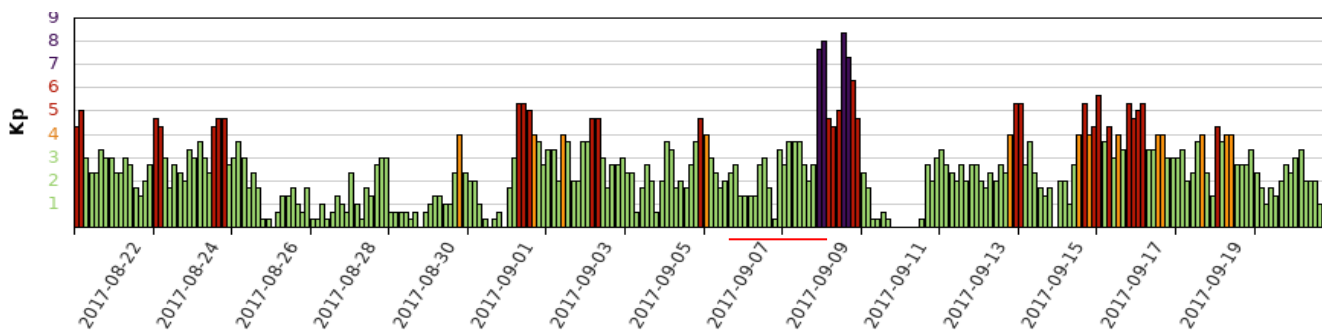
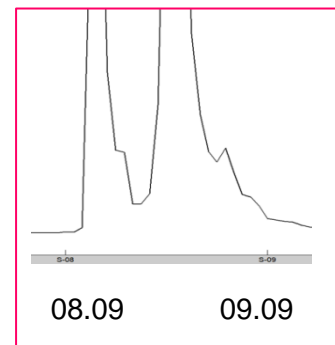
Сумма рядов Fs(t) для 6-ти HM

Событие 08.09 2017 года (G4) № 17 (Ap=106) . Данные МГ

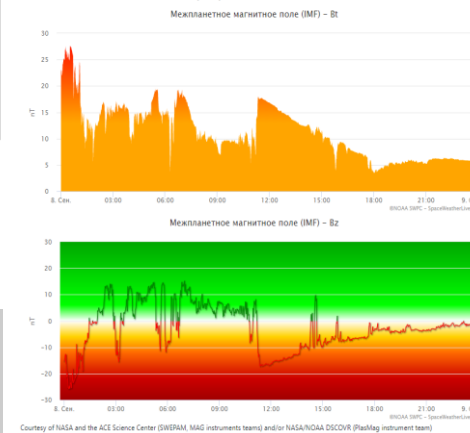
Сумма 5-ти рядов Fs для «колец» N(T) мюонного годоскопа



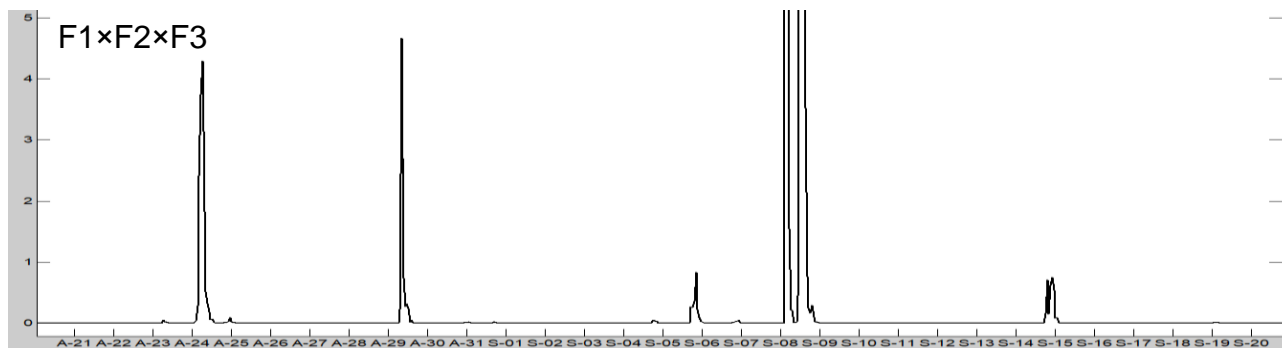
Фрагмент – МО ?



Межпланетное магнитное поле (IMF)



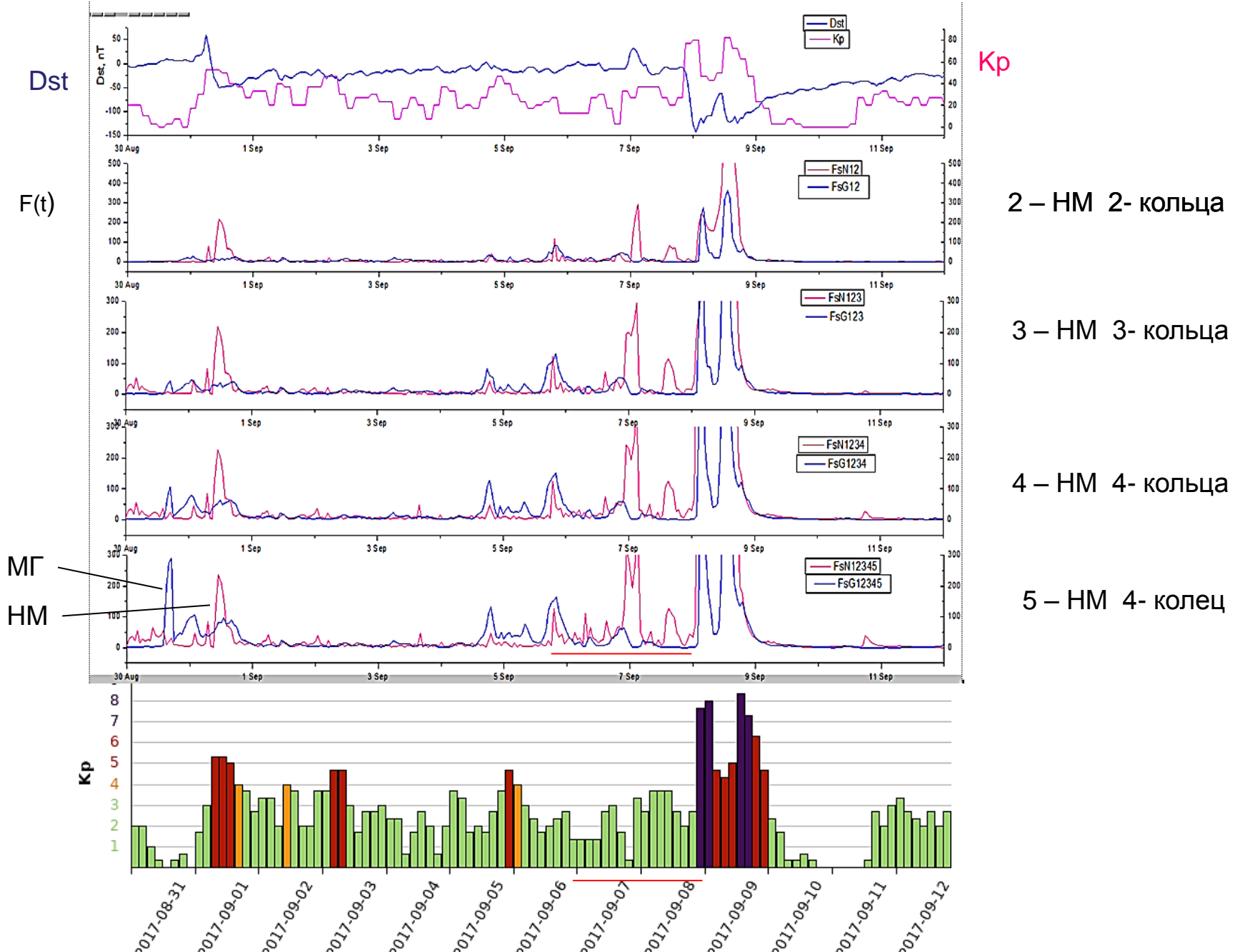
Произведение 3-х рядов F для «колец» N(T) мюонного годоскопа



08.09

09.09

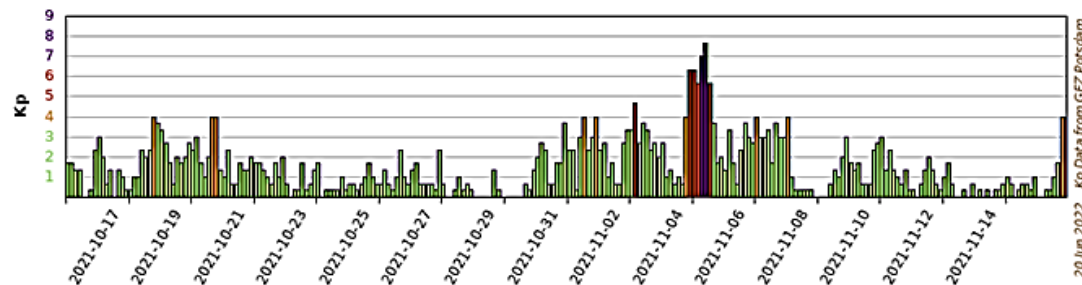
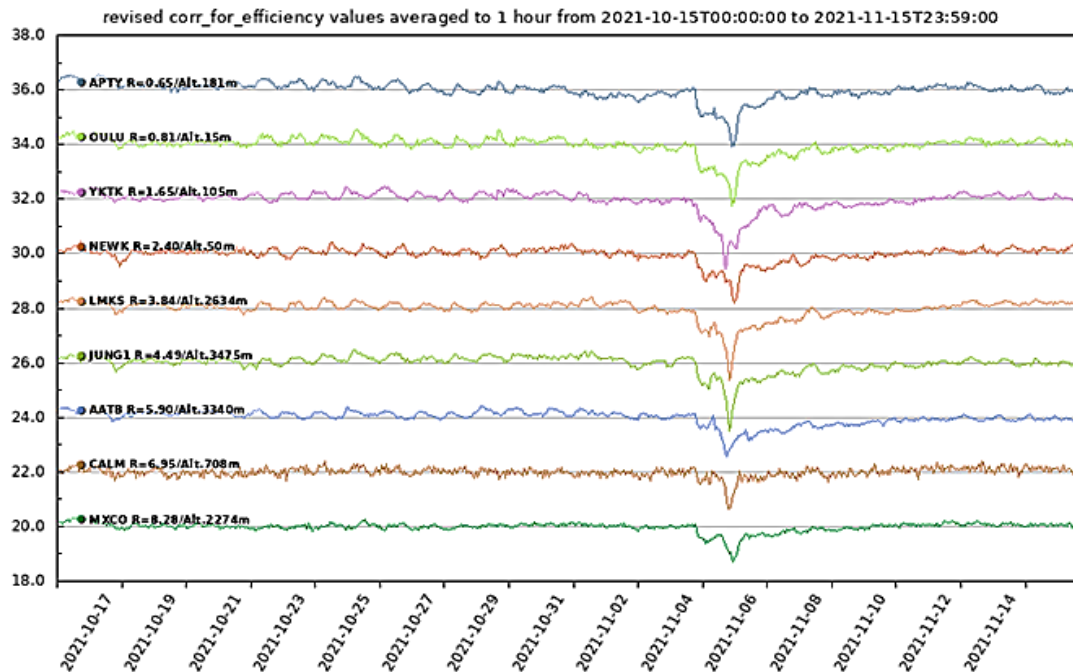
Событие 08.09.2017 г. КВМ (G=4). Данные НМ +МГ



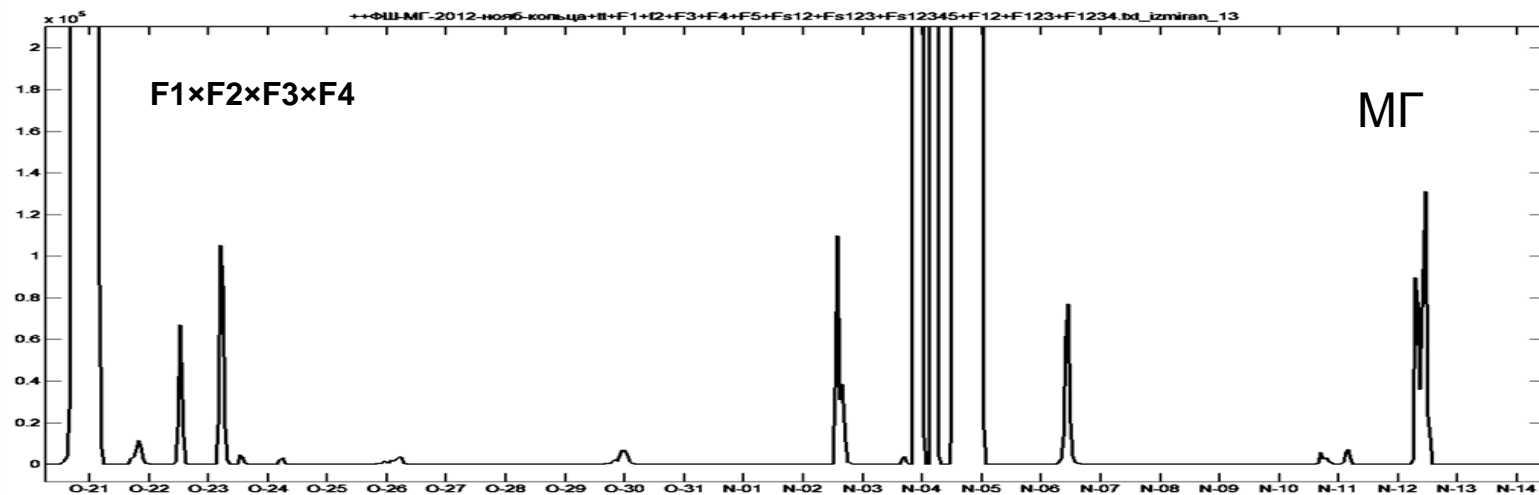
Событие 04.11.2021 года (G3) № 44 (Ar= 72). МГ + НМ

MXCO+CALM+AATB+JUNG1+LMKS+NEWK+YKTK+OULU+APTY

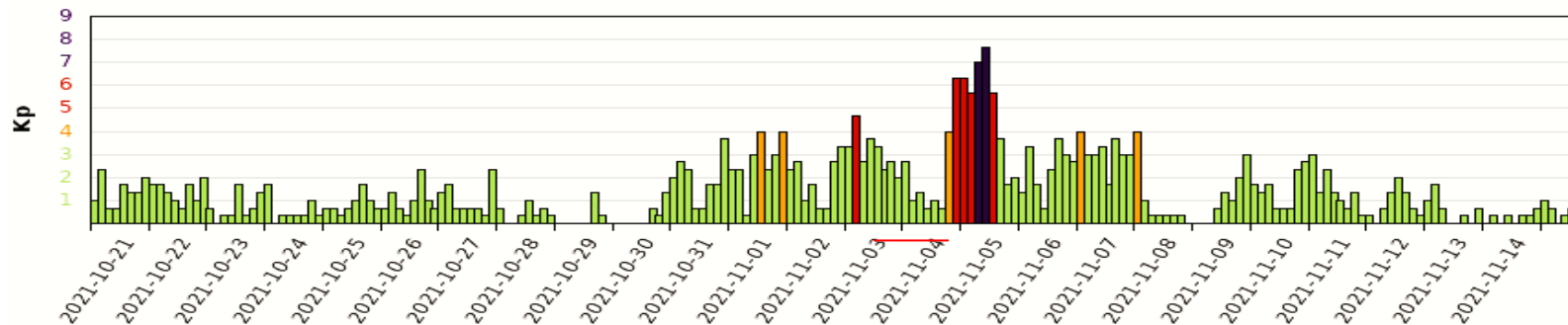
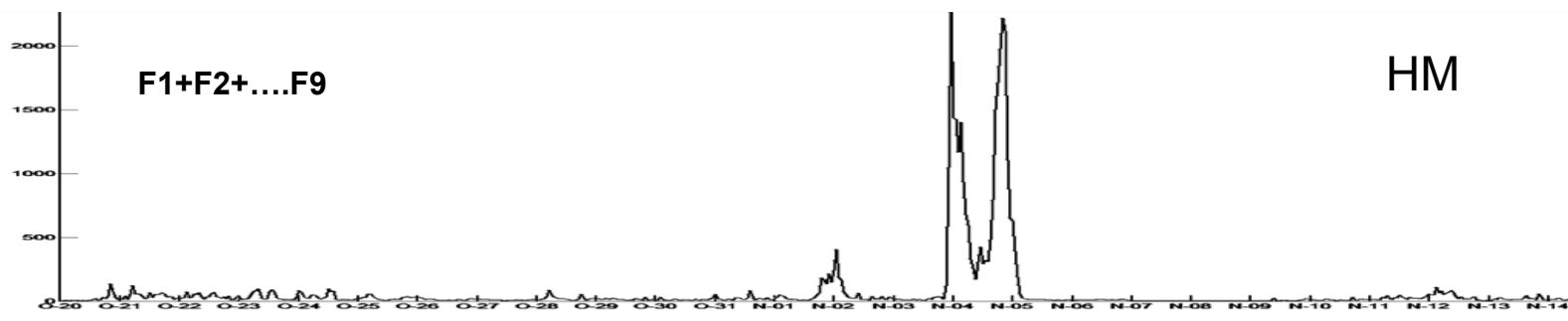
1 2 3 4 5 6 7 8 9



Событие 04.11.2021 года (G3) № 44 (Ar=72). Данные МГ и НМ



MXCO+CALM+AATB+JUNG1+LMKS+NEWK+YKTK+OULU+APTY



Сопоставление предикторов по сети НМ и МГ

Дата	Номер из [1]	G	$\langle Ap \rangle$	Δt , сутки	Детекторы для анализа
29.10.2003	1	5	204	7	НМ
30.10.2003	2	5	191	7	НМ
15.07.2000	3	5	164	2	НМ
08.09.2017	17	4	106	2	МГ
04.11.2021	44	3	72	2	МГ, НМ
15.06.2008	-	1	100	2	МГ, НМ

Заключение

1. Разработана методика дистанционной идентификации динамических процессов во внутренней гелиосфере, связанных с мощной солнечной активностью.
2. Применение отдельной многонаправленной установки типа МГ для идентификации геоэффективных возмущений эквивалентно системе НМ, расположенных в разных точках Земли.
3. Пробный анализ показал, что для событий типа G3 –G5 практически всегда наблюдаются предикторы, с опережением в несколько суток проявления СА у орбиты Земли.
4. Предложенная методика фликкер-шумовой спектроскопии может быть эффективной для обнаружения скрытых возмущений во многих физических процессах разной природы.

**Спасибо
За
внимание**