



36 ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ



Вариации потока космических лучей в период подготовки мощных землетрясений

В.В. Борог, С.Ф. Тимашев

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ

НОЦ НЕВОД

Борог Владимир Викторович vvborog@mephi.ru

Skype <https://meet.mephi.ru/vvborog/ALND1K4V>

28 СЕНТЯБРЯ - 2 ОКТЯБРЯ 2020 ГОДА

НИИЯФ МГУ, Дистанционно

АННОТАЦИЯ

Вариации космических лучей перед мощными землетрясениями

Variations of cosmic rays before powerful earthquakes

Борог В.В. Тимашев С.Ф.

vvborog@mephi.ru

Классические методы геофизических измерений не позволяют получить заблаговременные предикторы даже мощных землетрясений. В настоящее время разрабатывается ряд косвенных методик, связанных с изменениями в смежных средах (литосфера-атмосфера-ионосфера) непосредственно перед землетрясениями. При этом время опережения составляет от нескольких часов до нескольких суток, хотя данные формируются фрагментарно, что связано с особенностью спутниковых наблюдений.

Характеристики стратосферы указывают на появление аномалий в температуре и изменение свойств нижней ионосферы над областью формирования землетрясения. Размеры таких областей могут составлять несколько сотен километров. Излучаемая в стратосферу энергия вызывает генерацию волн в атмосфере (ВГВ), которые по каналам проводимости распространяются на тысячи километров от источника.

Процессы такого типа должны приводить к метеоэффектам в космических лучах (КЛ) и вызывать вариации потока на поверхности Земли.

Распределенная мировая сеть наземных нейтронных мониторов (НМ) представляет собой пространственный детектор, работающий в непрерывном режиме и способный дистанционно регистрировать волновые процессы, связанные с формированием очагов землетрясений. С точностью до нескольких часов, обусловленных распространением ВГВ, процесс вариаций должен происходить «синхронно» во многих НМ мировой сети. Такой эффект возрастает с увеличением мощности землетрясения.

Величина ожидаемых вариаций невелика и для их идентификации применена методика фликкер-шумовой спектроскопии [1, 2]. Фактор нестационарности временного ряда потока КЛ указывает на момент распространения ВГВ над расположением отдельного НМ.

Апробация такой методики проведена путем анализа вариаций КЛ для нескольких катастрофических землетрясений с магнитудой $M \geq 8$, произошедших в последние десятилетия. Для нивелирования фоновых гелиофизических эффектов выбирались события в периоды спокойного Солнца. **Полученные результаты указывают на возникновение «синхронных» вариаций КЛ, зарегистрированных сетью НМ, работающих на разных континентах. Время опережения землетрясений составляет несколько суток.**

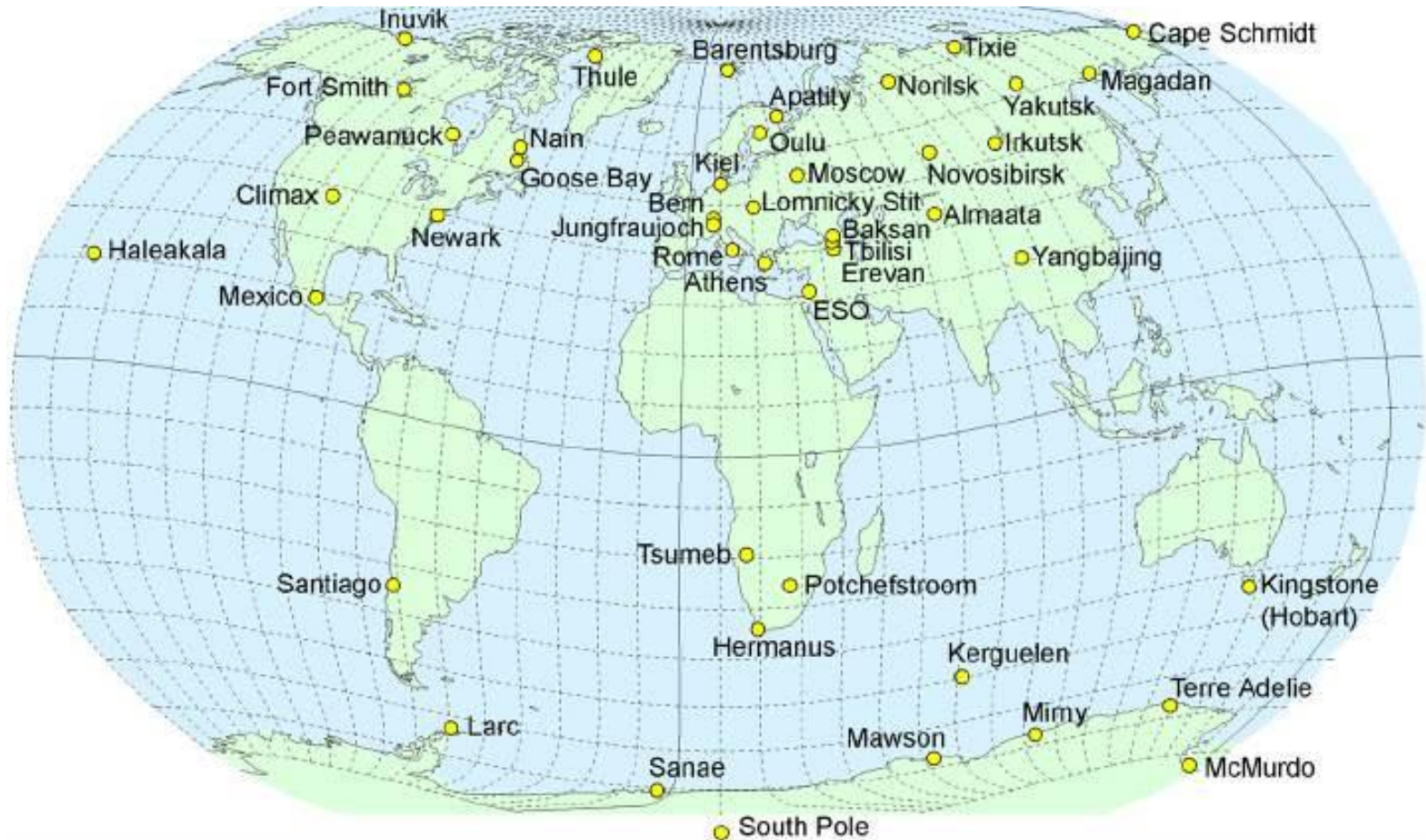
Литература

1. Тимашев С.Ф. Метод фликкер-шумовой спектроскопии. Информация в хаотических сигналах. М.: Физматлит. 2007. 245 с.
2. Borog V.V., Dmitrieva A.N., Kovylyayeva A.A. // J. Phys. Conf. Ser. 2017. V. 798. P. 012050.

ЗАДАЧИ РАБОТЫ:

- Применить методику ФШС для идентификации кратковременных возмущений потока космических лучей перед мощными землетрясениями (магнитуда $M \approx 8$).
- Использовать для анализа временные ряды данных мировой сети наземных нейтронных мониторов, расположенных в разных точках земного шара.
- Сопоставить синхронные во времени «сигналы фактора нестационарности» во временных рядах сети НМ, **за несколько дней перед землетрясениями.**
- Попытаться заранее «увидеть» в потоке космических лучей сигналы-предикторы мощных землетрясений.

Мировая сеть нейтронных мониторов



Традиционная стратегия прогнозирования катастроф

- Традиционная стратегия прогнозирования катастроф сводится к выявлению отчётливой аномалии-предвестника, например – концентрации какого-то напряжения. Чтобы стать **достоверным признаком приближающегося толчка**, такая аномалия может быть единичной и **контрастно выделяющейся** на окружающем фоне.
- Реальная геосреда устроена по-другому. Это открытая система. Под нагрузкой она ведёт себя как самоподобно-блочная (фрактальная) система. Это означает, что блок любого масштабного уровня вмещает относительно немного блоков меньших размеров, а каждый из них — столько же ещё меньших и т.д. **В такой структуре не может быть чётко обособленных аномалий на однородном фоне**, в ней присутствуют неконтрастно различающиеся разномасштабные макро-, мезо- и микроаномалии.
- *Это делает бесперспективной традиционную тактику решения проблемы прогнозирования землетрясений.*

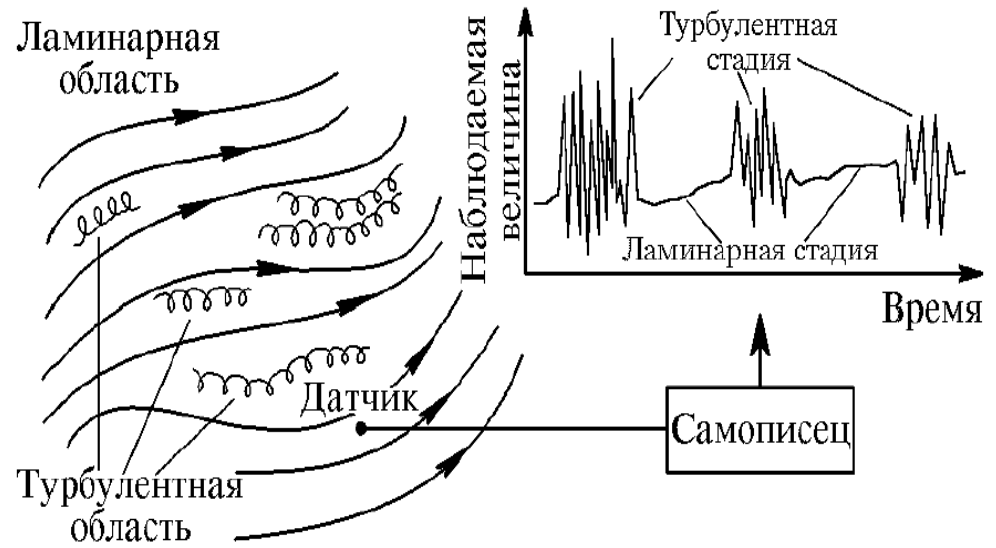
Н.В. Короновский, А.А. Наймарк
«Наука и жизнь», 2013, № 3

Распространенность явлений, связанных с ФШ

Фликкер (мерцающий)- шум

присутствует практически в любых проводящих средах:

- **Недра Земли** с землетрясениями;
- **Атмосфера** с множеством происходящих в ней процессов;
- **Солнце** с его активностью;
- Многие параметры **процессов в физико-химических системах** и живых организмах т.д.



Этот мерцающий шум, представляет собой эволюционный случайный процесс. Во временных рядах измеряемых величин возникают «всплески нестационарности». Фликкер-шум характеризуется закономерностью: чем реже события перестройки, тем они сильнее. Часто эти «всплески» малы и скрыты в статистических шумах. Для их идентификации требуются специальные методы.

Фактор нестационарности временного ряда

Разностные моменты Q :

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

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

$$C_k(t_k) = \frac{Q_k - Q_{k-1}}{1/2(Q_k + Q_{k-1})} / \frac{\Delta T}{T} \approx \frac{\Delta Q_k}{Q_k} / \frac{\Delta T}{T}$$

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

T - интервал усреднения

ΔT - приращение интервала

τ - параметр временной задержки или лаг

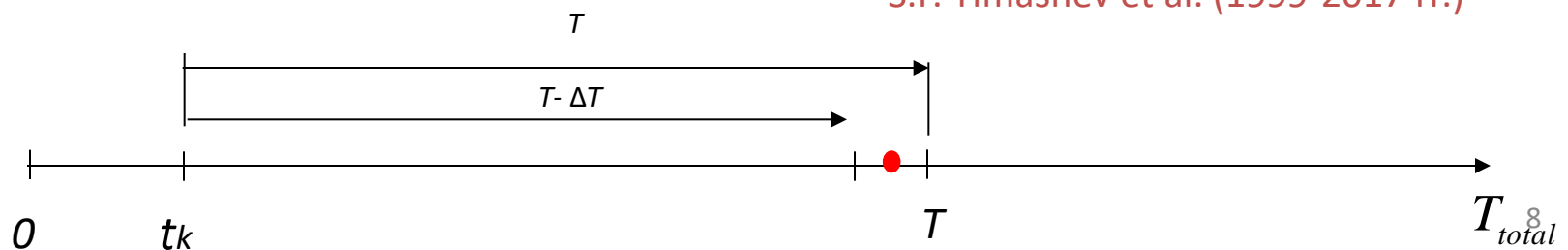
$N(t)$ – измеряемая величина
временного ряда (поток КЛ)

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

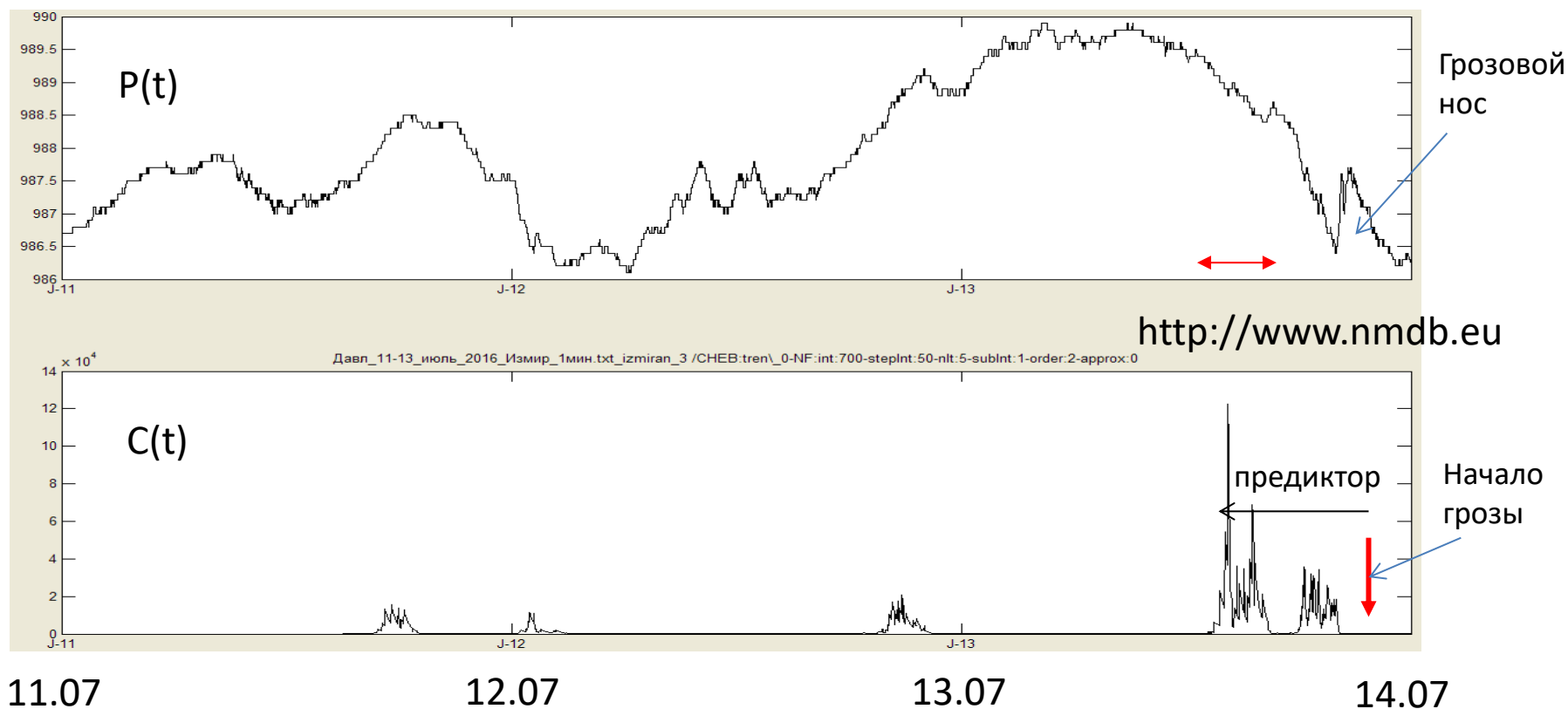
$C_k(t_k)$ - удельный фактор нестационарности временного ряда

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

S.F. Timashev et al. (1999-2017 гг.)



Анализ ряда давления 11-13 июля 2016 (г. Троицк Моск. Обл.)



Пример: $P(t)$ – временной ряд атм. давления в районе ИЗМИРАН 11 – 13 июля 2016 г. $C(t)$ – фактор нестационарности ряда $P(t)$. Начиная с 16 часов (13.07) возникли значимые «всплески» в ряду $C(t)$. В ночь (около 22 час 13.07) началась сильная гроза. **Виден предиктор в ряду $C(t)$ за 6 часов до начала грозы.** В ряду $P(t)$ в это время резких аномалий не наблюдается.

Самое мощное землетрясение в эпоху работы НМ: 1960 г 22 мая (Чили M=9.5 H=25 км)

Анализировались 2-час. данные, в период времени с 01 мая по 30 мая 1960 г, шести работающих НМ: **HUAN+HRMS+JUNG+ZUGS+CLMX+THUL**
Данные поправлены на давление (источник <http://www.nmdb.eu>)

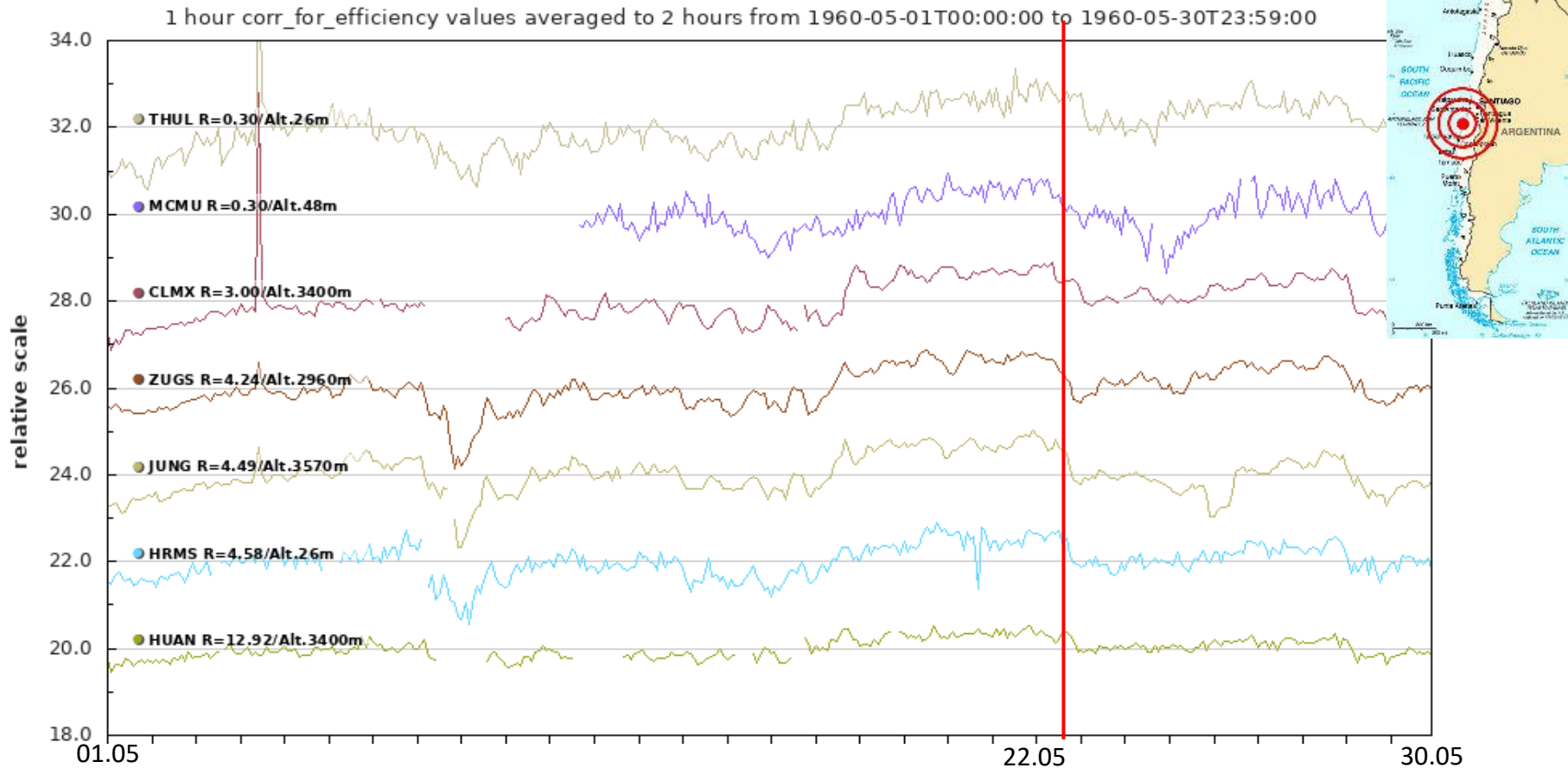
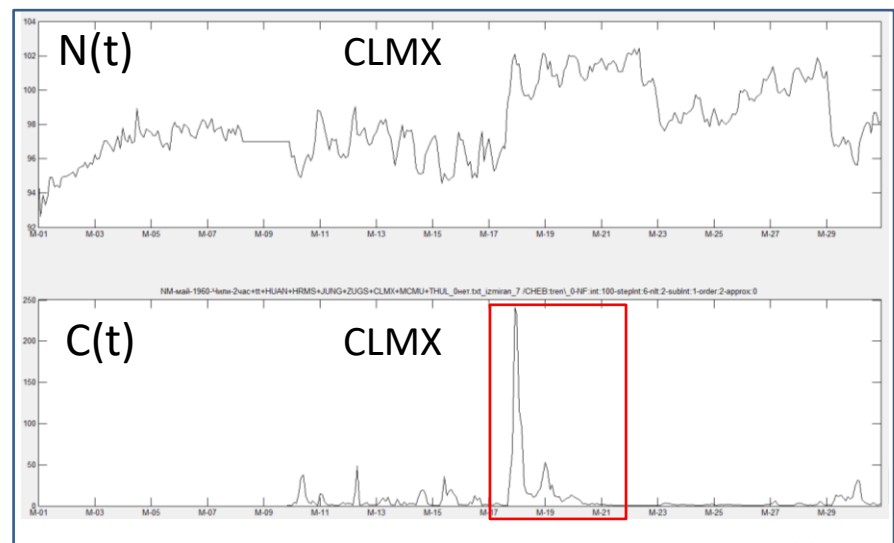
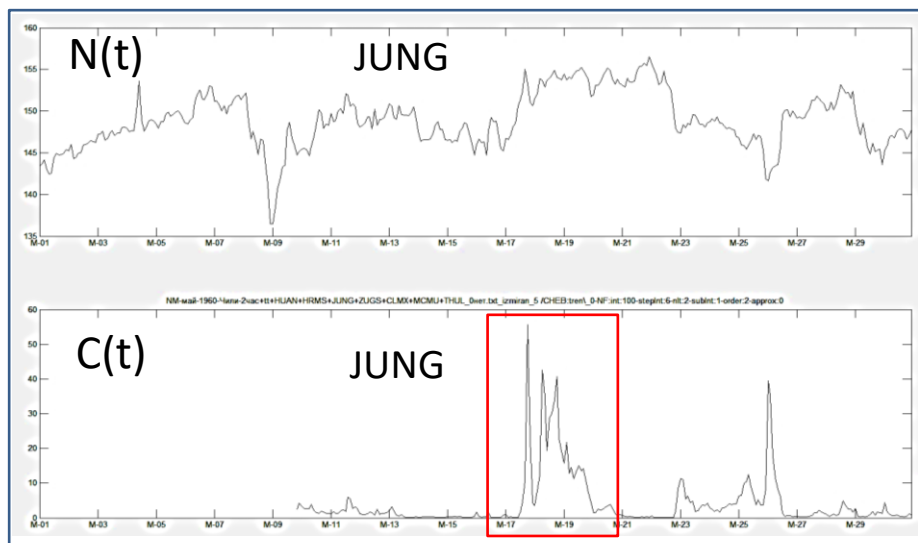
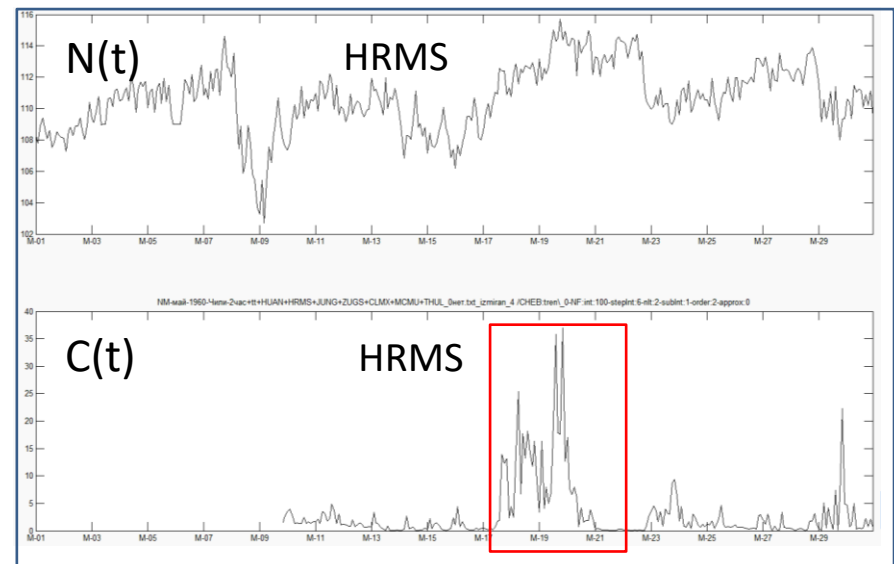
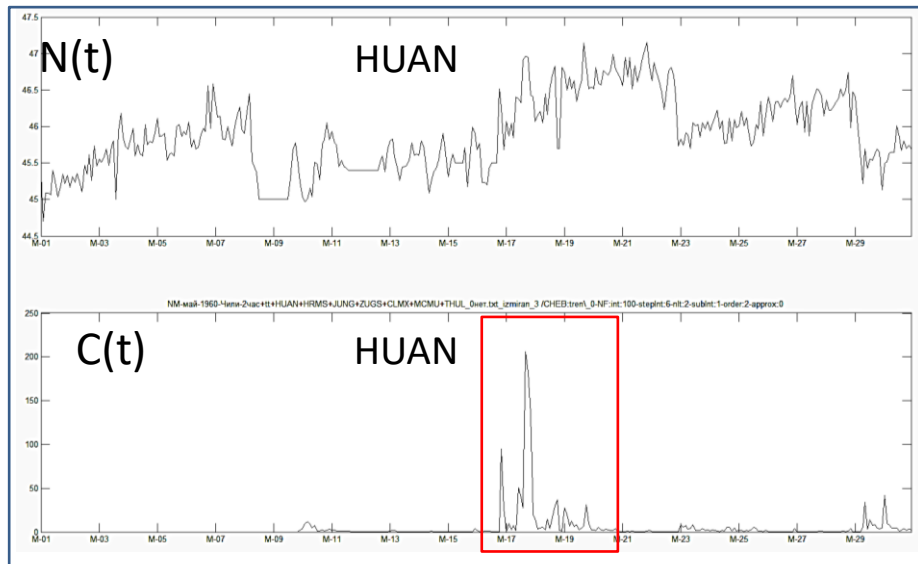
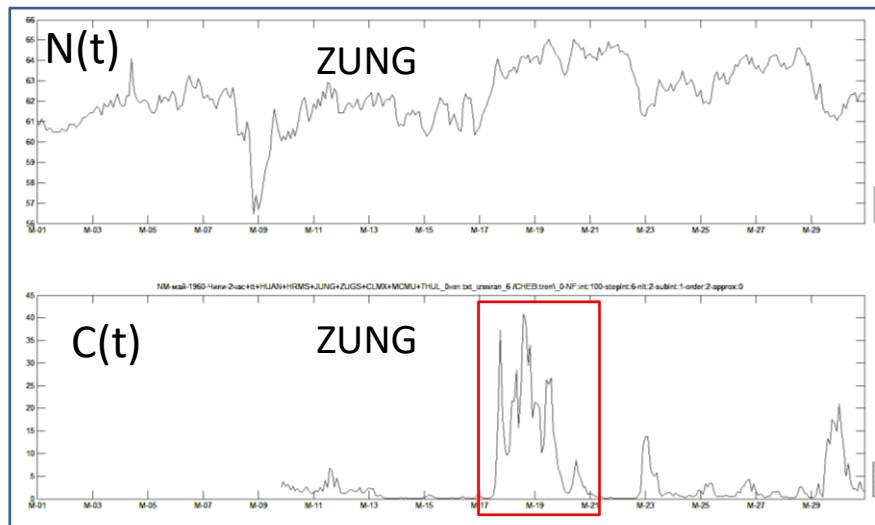


Рис. Временные ряды НМ в период с 01 по 30 мая 1960 года.
Вертикальная красная линия – момент землетрясения (22.05 19:11 UT)

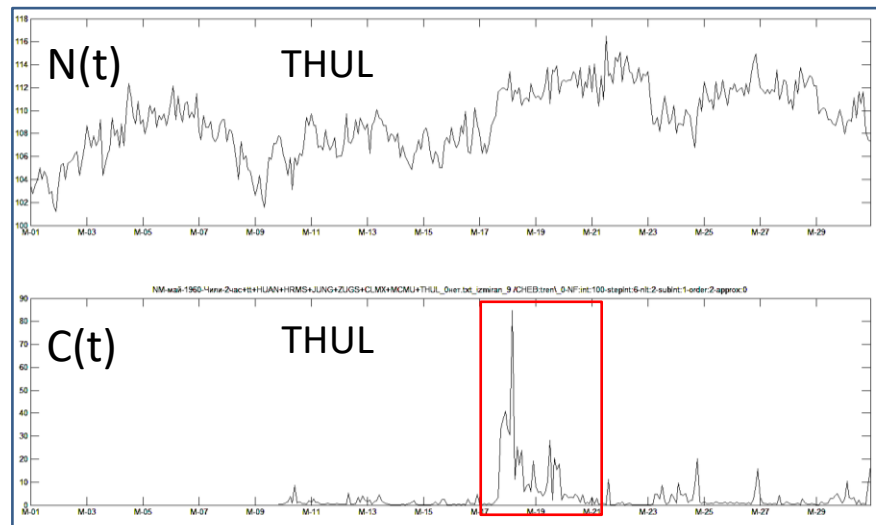
Анализ данных НМ (01 – 30 мая) для станций: HUAN, HRMS, JUNG, CLMX.
 $N(t)$ – временные ряды; $C(t)$ – ряды фактора нестационарности. Видны синхронные «всплески» в рядах $C(t)$ в периоды с 17 по 21 мая.



Анализ (продолжение) данных НМ (01 – 30 мая) для станций: ZUNG, THUL.
 $N(t)$ – временные ряды; $C(t)$ – ряды фактора нестационарности. Видны синхронные «всплески» в рядах $C(t)$ в периоды с 17 по 21 мая.



01 17 21 май 1960

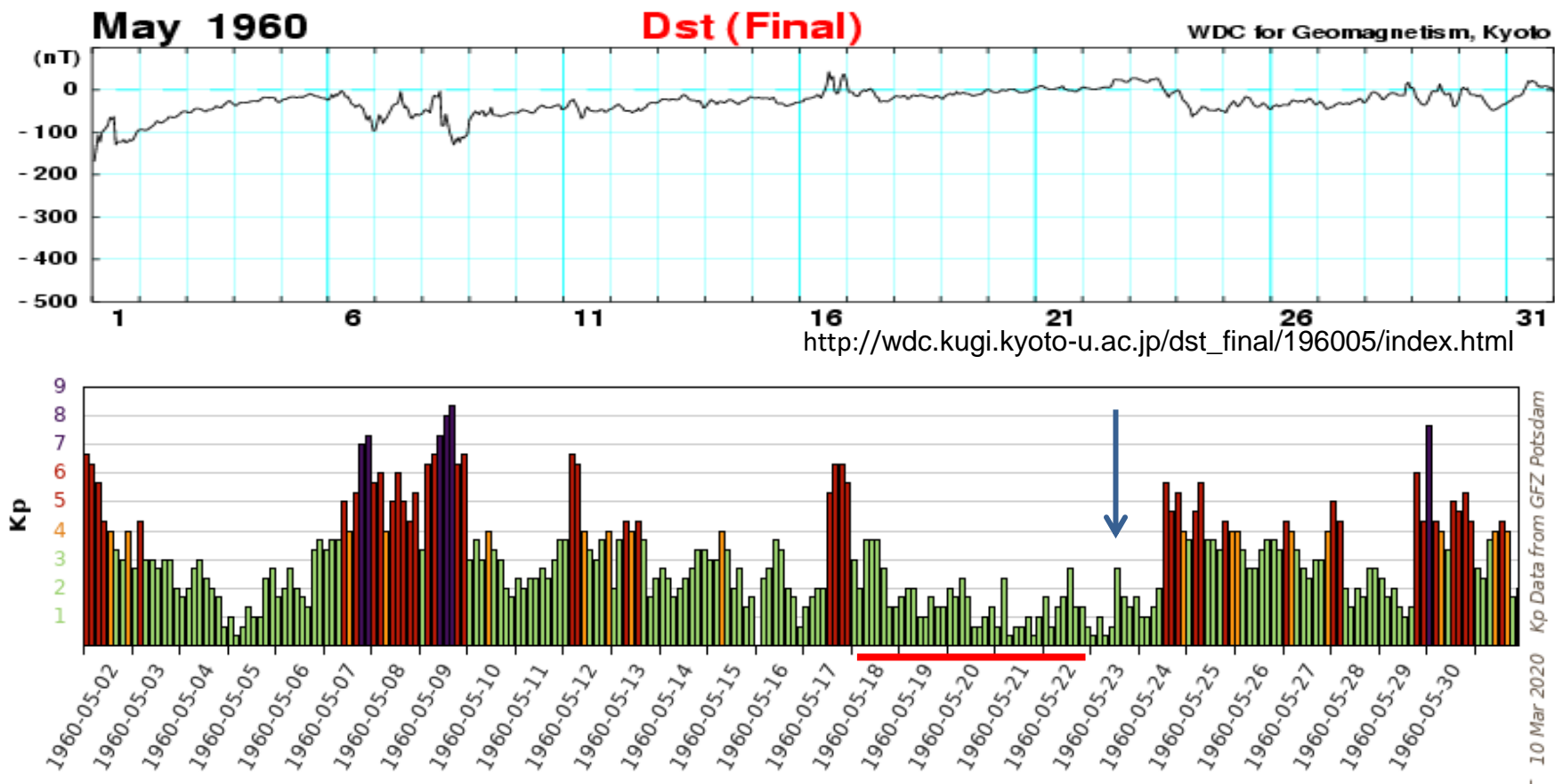


01 17 21 май 1960

Вывод: для всех шести рядов НМ в период времени 01 -30 мая 1960 года видны синхронные «всплески» значений фактора нестационарности $C(t)$ на отрезке 17-21 мая. Установки НМ расположены на РАЗНЫХ КОНТИНЕНТАХ. **Время опережения синхронных вариаций КЛ составляет более 4-х суток до момента землетрясения.**

Следует обратить внимание на сильную возмущенность магнитного поля Земли в течение мая 1960 года. См. следующий слайд.

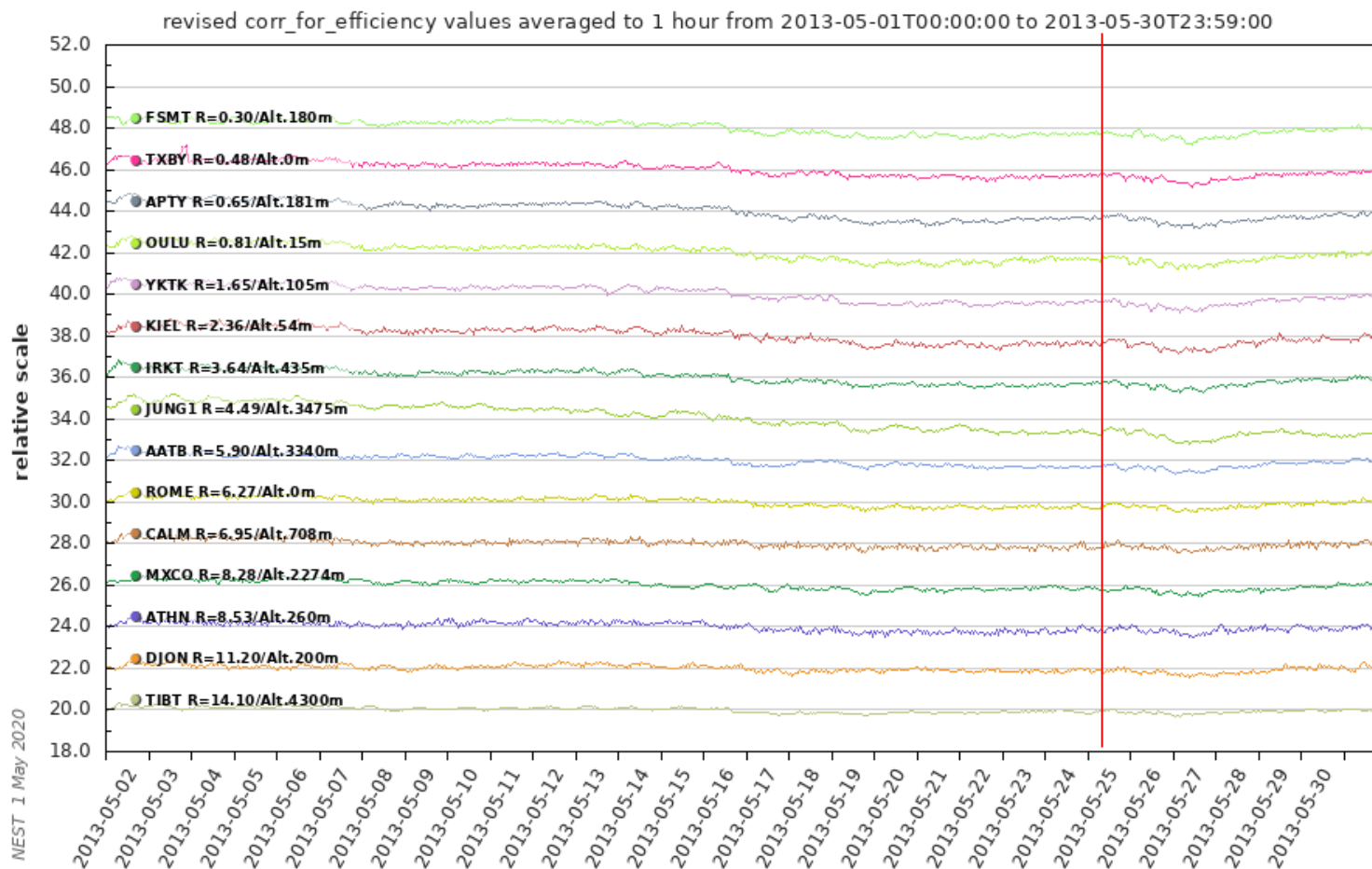
Возмущенность магнитосферы в мае 1960 года



- На протяжении всего мая наблюдались сильные возмущения Dst и Kp. Стрелка – момент землетрясения (22.05 19:11 UT). Красный отрезок (17-21 мая) – интервал времени возникновения значимых «всплесков» в рядах $C(t)$. В это время магнитосфера спокойна. «Всплески» не связаны с возмущением магнитосферы.
- Для дальнейшего анализа отбирались мощные события ($M \approx 8$) с предшествующими периодами времени спокойного состояния магнитосферы. 13

Событие: май 2013 землетрясение 24 мая M=8.2 H=602 км

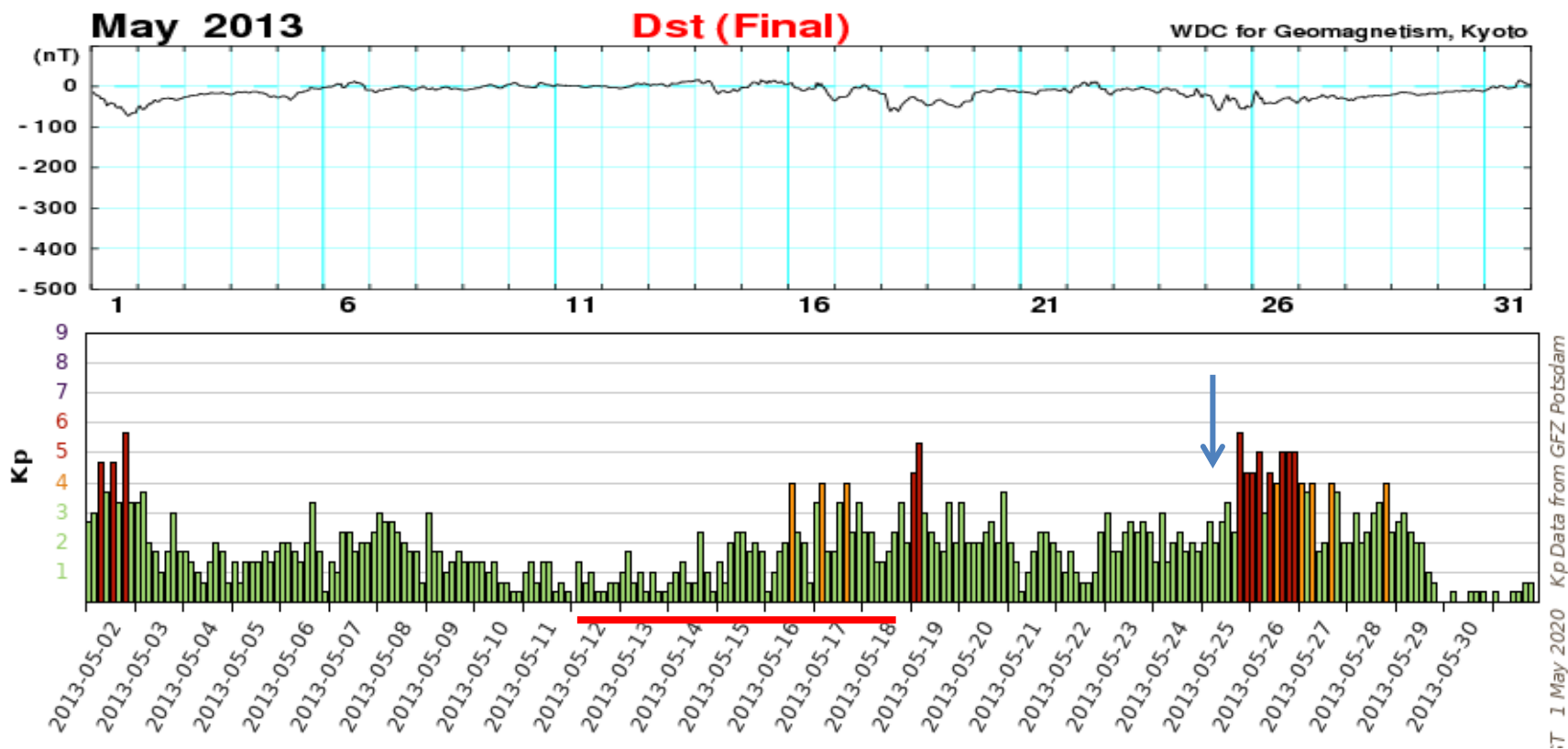
Анализировались данные, в период времени с 01 мая по 30 мая 2013 г.,
15-работающих НМ мировой сети (данные поправлены на давление)



Охотское море:
24.05 05:44 UT.
В Москве
зарегистрирован
сейсмический
отголосок.

Рис. Временные 1-час ряды НМ в период с 01 по 30 мая 2013 года.
Вертикальная красная линия – момент землетрясения (24.05 05:44 UT)

Возмущенность магнитосферы в мае 2013 года



1 May 2020 Kp Data from GFZ Potsdam

- На протяжении мая, в дни предшествующие землетрясению, практически не наблюдались сильные возмущения Dst и Kp. Стрелка – момент землетрясения (24.05 05:44 UT). Красный отрезок (11-17 мая) – интервал времени возникновения значимых «всплесков» в рядах $C(t)$. В это время магнитосфера спокойна.
- Наблюдаемые синхронные «всплески» в параметре $C(t)$ для данных НМ, расположенных на разных континентах, не связаны с возмущением магнитосферы.

Таблица обработанных событий с большими магнитудами

	Дата землетрясения	М, магнитуда	Н, глубина км	Место землетрясения	Число НМ	Опережение, сутки	Помеха, возмущение МПЗ
1	22.05.1960	9.5	25	Чили	6	4	+/-
2	00.06.2001	8.4	33	Перу	10	9, ?	+/-
3	28.03.2005	8.6	30	Индонезия	18*	?	есть
4	13.01.2007	8.2	30	Курилы	20*	5	нет
5	27.02.2010	8.8	35	Чили	9	6	нет
6	11.04.2012	8.6	20	Суматра	20*	9	нет
7	24.05.2013	8.2	600	Охотск. море	15	8	нет
8	16.09.2015	8.3	22	Чили	20*	?	есть
9	17.07.2017	7.7		Камчатка	8	4, ?	+/-
10	16.02.2018	7.2	22	Мексика	14	4	нет

События: **22.05.1960**, **24.05.2013** представлены в презентации.

Знак +/- предиктор может быть обусловлен возмущением магнитного поля Земли (МПЗ).

Помеха «есть» - возмущение МПЗ перед землетрясением не позволяет идентифицировать предиктор.

Помеха «нет» - идентификация предиктора без фонового возмущения МПЗ.

Знак * - часть НМ не учтена из-за пропуска данных на участке предиктора.

Заключение

1. Методика фликкер-шумовой спектроскопии пригодна для извлечения информации, скрытой в статистических флуктуациях временных рядов.
2. Обобщенный «фактор нестационарности» временного ряда является идентификатором скрытых сигналов, связанных с формированием мощных спорадических природных процессов (землетрясений). Эти сигналы проявляются как кратковременные предикторы (опережение 4 – 9 суток) .
3. Впервые использованы данные мировой сети наземных нейтронных мониторов, как пространственного детектора, чувствительного к геофизическим процессам.
4. Предложенная методика может быть эффективной для обнаружения скрытых возмущений во многих физических процессах разной природы.

**Спасибо
За
внимание**