

Manifestations of global disturbances of the geomagnetic field in the dynamics of thunderstorms

Проявления глобальных возмущений
геомагнитного поля в динамике гроз

23 september 2020 year

*Khaerdinov N.S.¹, Dzhappuev D.D.¹, Kanonidi K.Kh.², Kudjaev
A.U.¹, Lidvansky A.S.¹, Petkov V.B.¹, Khaerdinov M.N.¹*

¹ Institute of Nuclear Research RAS

*² Institute of Earth's magnetism, ionosphere and radio wave
propagation named after N.V. Pushkova RAS*

Abstract

Using the method of diagnosing the electrical state of a thunderstorm atmosphere by variations of the secondary particles of cosmic rays recorded by the Carpet installation of the BNO INR RAS, the phenomenon of the mutual influence of the magnetospheric storm and thunderstorm activity was discovered. It was established that during magnetospheric substorms of low power, at the preliminary stage and at the beginning of the development phase, the penetration of magnetospheric - ionospheric disturbances at mid latitudes ($\sim 40^\circ\text{N}$) above lightning centers is possible. Manifested in the form of a diffuse glow of the “polar lights” type with a brightness of $\sim 3 \cdot 10^{-4} \text{ cd/m}^2$ and local perturbations of the electric field with a characteristic potential difference in the troposphere of $\pm 100 \text{ MV}$. A local magnetic disturbance ($\sim 1 \text{ nT}$) was recorded, corresponding to the appearance of a local vertical current in the atmosphere, the maximum of which coincided with the beginning of the explosive phase of substorm nucleation.

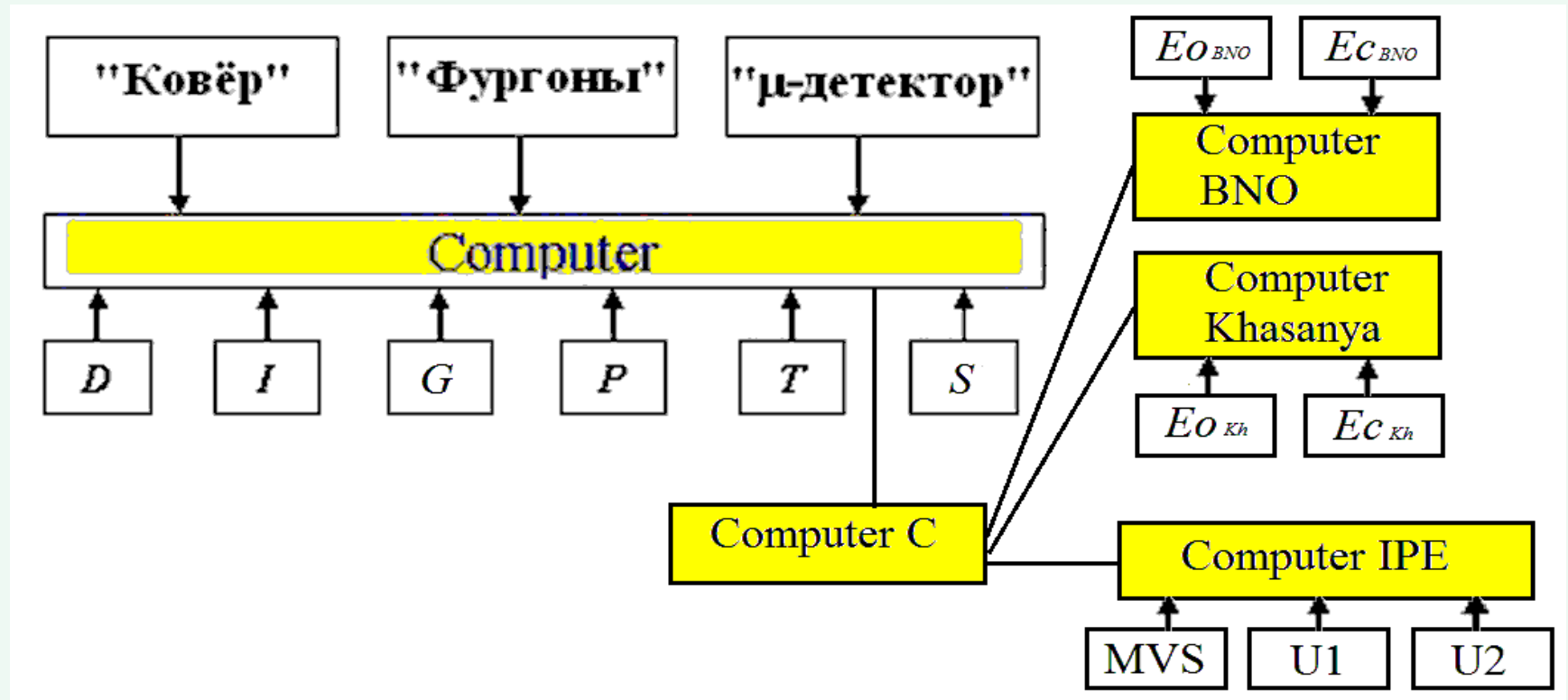
Абстракт

- Используя метод диагностики электрического состояния грозовой атмосферы по вариациям вторичных частиц космических лучей регистрируемых установкой «Ковёр» БНО ИЯИ РАН, обнаружено явление взаимного влияния магнитосферной бури и грозовой активности. Установлено, что во время магнитосферных суббурь малой мощности, на предварительной стадии и в начале фазы развития, возможно проникновение магнитосферно – ионосферных возмущений на средние широты ($\sim 40^\circ$ с. ш.) над грозовыми очагами. Проявляются в виде диффузного свечения типа «полярное сияние» яркостью $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ кд/м² и локальных возмущений электрического поля с характерной разностью потенциалов в тропосфере ± 100 МВ. Зарегистрировано локальное магнитное возмущение (~ 1 нТл), соответствующее возникновению локального вертикального тока в атмосфере, максимум которого совпал с началом взрывной фазы зарождения суббури.

Описание эксперимента

- Космические лучи, пронизывая атмосферу, зондируют ее состояние, при этом формируются вариации интенсивности.
- Используя теорию формирования вариаций восстанавливаются основные характеристики электрического состояния атмосферы.
- Используя данные магнитовариационных станций (ИФЗ РАН), разнесённых на 70 км исследуется корреляция макроскопических токов в районе эксперимента с энергичными процессами в атмосфере.
- Методом стороннего наблюдения оптического излучения области неба над установкой регистрируется его свечение.
- Проводя комплексный анализ полученных экспериментальных данных, устанавливается возможная причинно – следственная связь зарегистрированного свечения с вариациями вторичных частиц космических лучей.

Блок схема эксперимента



D – напряженность электрического поля
 I – электрический ток дождя
 G – GPS - датчик
 P – давление
 T – температуры (улицы, детекторов)
 S – регистрация электрических помех

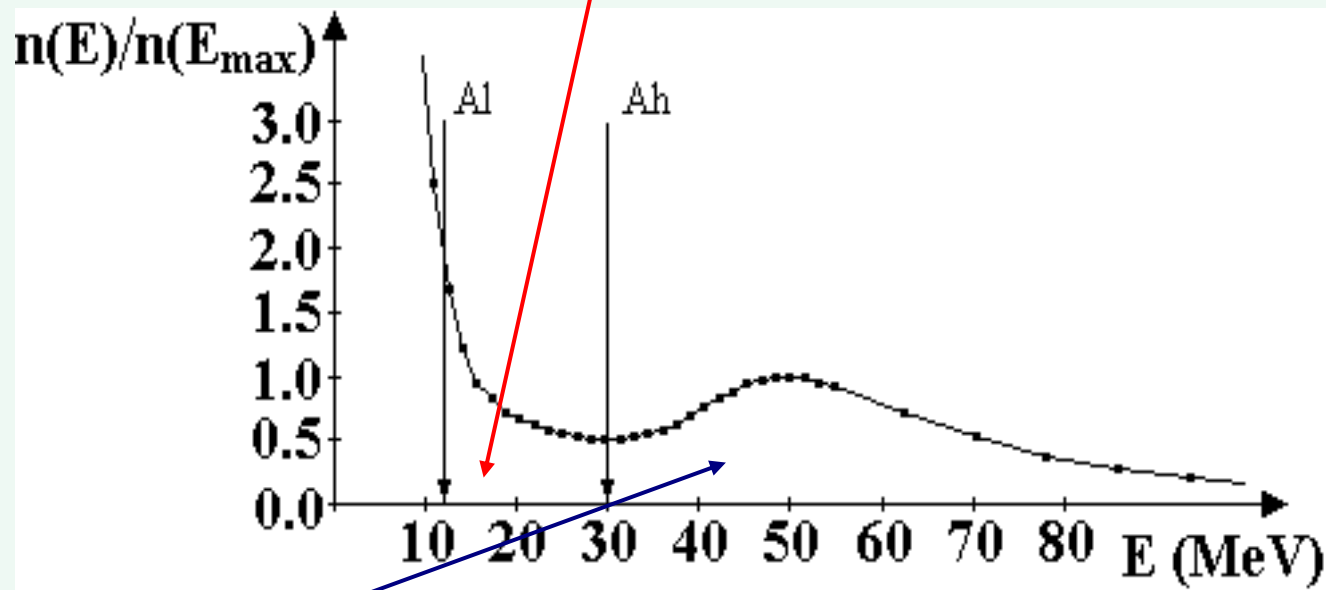
$E_{O_{BNO}}$ – ч/б видеокамера «Нейтрино»
 $E_{C_{BNO}}$ – цветная видеокамера «Нейтрино»
 $E_{O_{Kh}}$ – ч/б видеокамера «Хасанья»
 $E_{C_{Kh}}$ – цветная видеокамера «Хасанья»
MVS – магнитно-вариационная станция
U1, U2 – наклономеры (север-юг, восток-запад) (ИФЗ)

Основные каналы информации:

Мягкая компонента: регистрируется внешними пунктами в диапазоне энерговыделения в детекторе **10-30 МэВ**

Состав: 56% - γ , 31% - e^{\pm} , 13% - μ

*Спектр
энерговыделений
в слое базовых
детекторов*



Жесткая компонента: регистрируется детекторами в здании под бетонной крышей (29 г/см^2) в области выше **30 МэВ**.

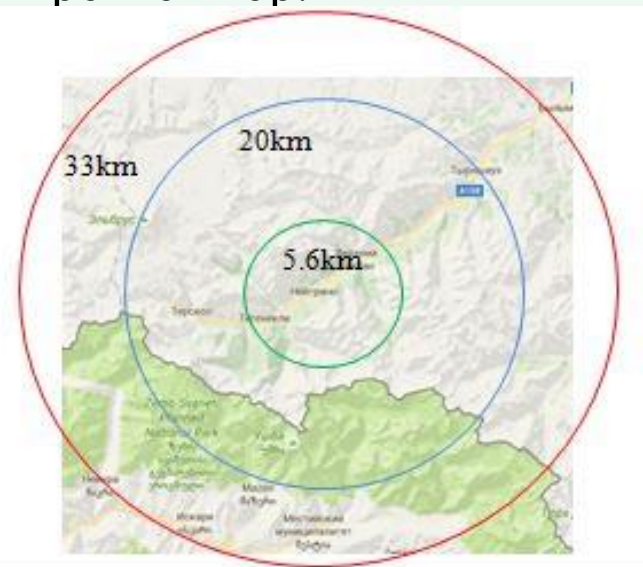
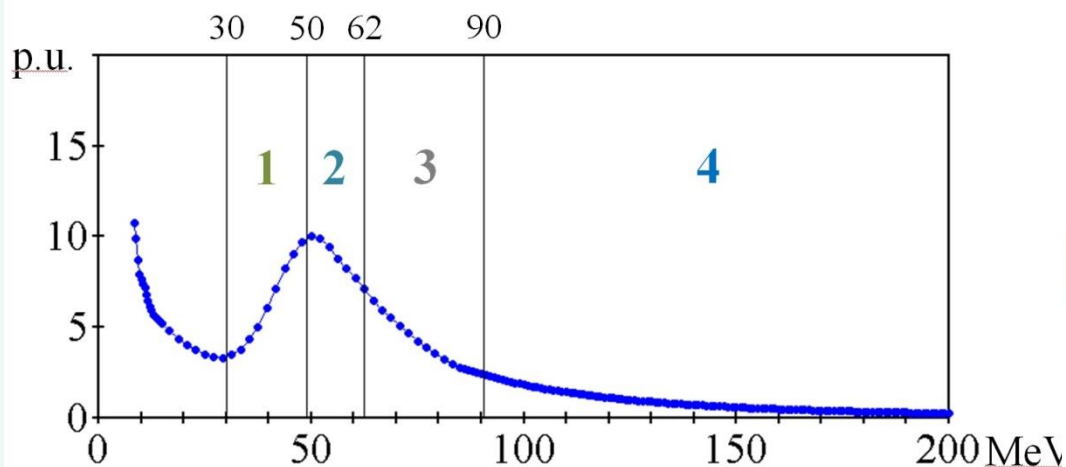
Состав: 83% - μ , 10% - e^{\pm} , 7% - γ . $E(\mu) > 100 \text{ МэВ}$.

Выделение вертикальных и периферийных мюонов

Для исследования динамики локальных полей в наиболее интересном для нас случае – над установкой, в общем потоке мюонов выделена часть с угловым распределением близким к вертикали.

Приведён спектр регистрируемых мюонов с делением в равных долях по интенсивности. Значение энергетических порогов задаёт граничное направление регистрации наклонных мюонов.

Сумма первой и второй части – центральная часть - от 0° до 37° составляют группу «вертикальных» мюонов. Характерный радиус просматриваемой области $R1=5.6$ км. Третья – от 37° до 57° , четвёртая группа – «периферийная» более 57° . Граничный радиус определяется экранировкой гор.

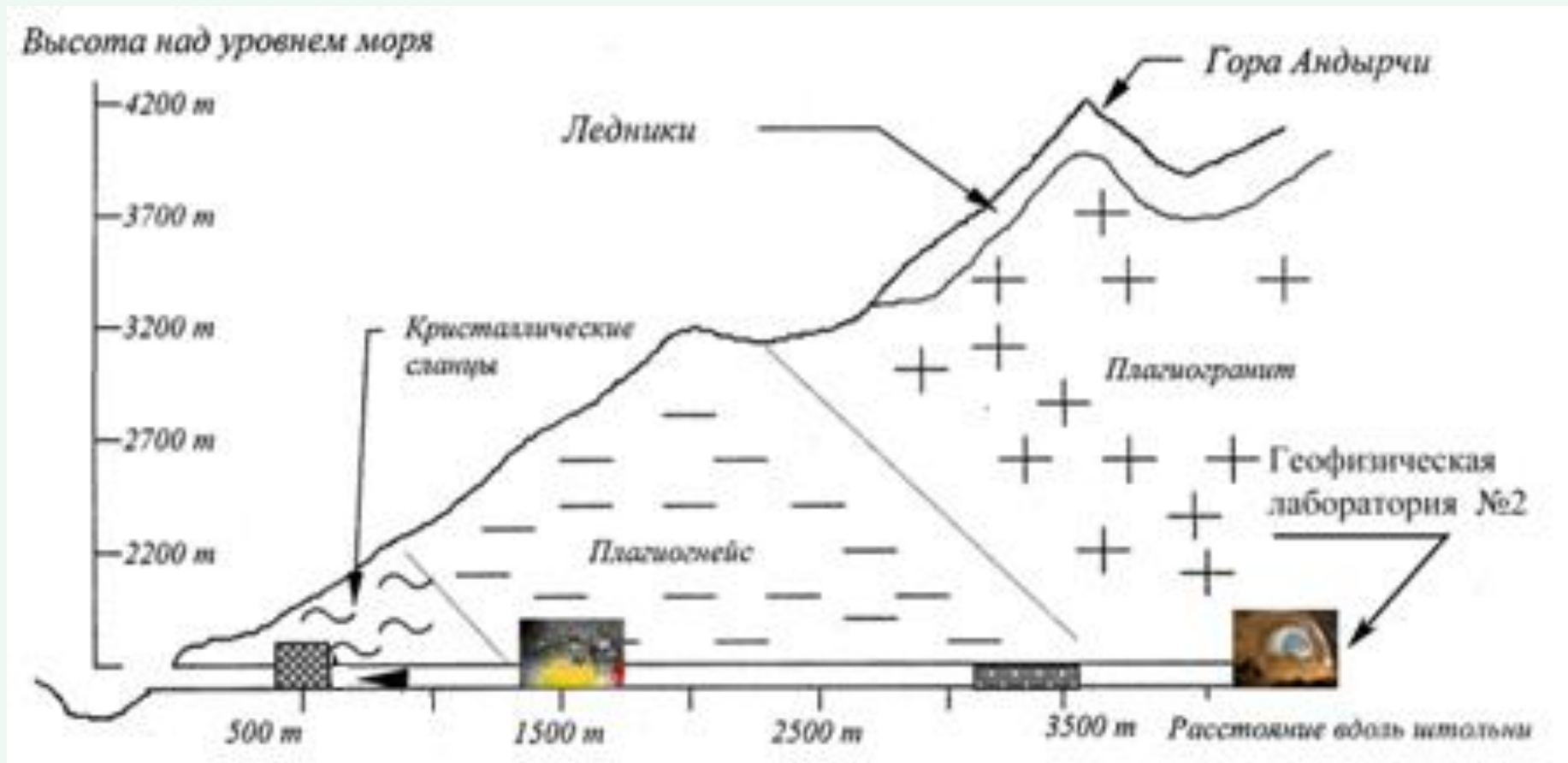


Описание измерительного комплекса

Геофизическая лаборатория ИФЗ РАН.

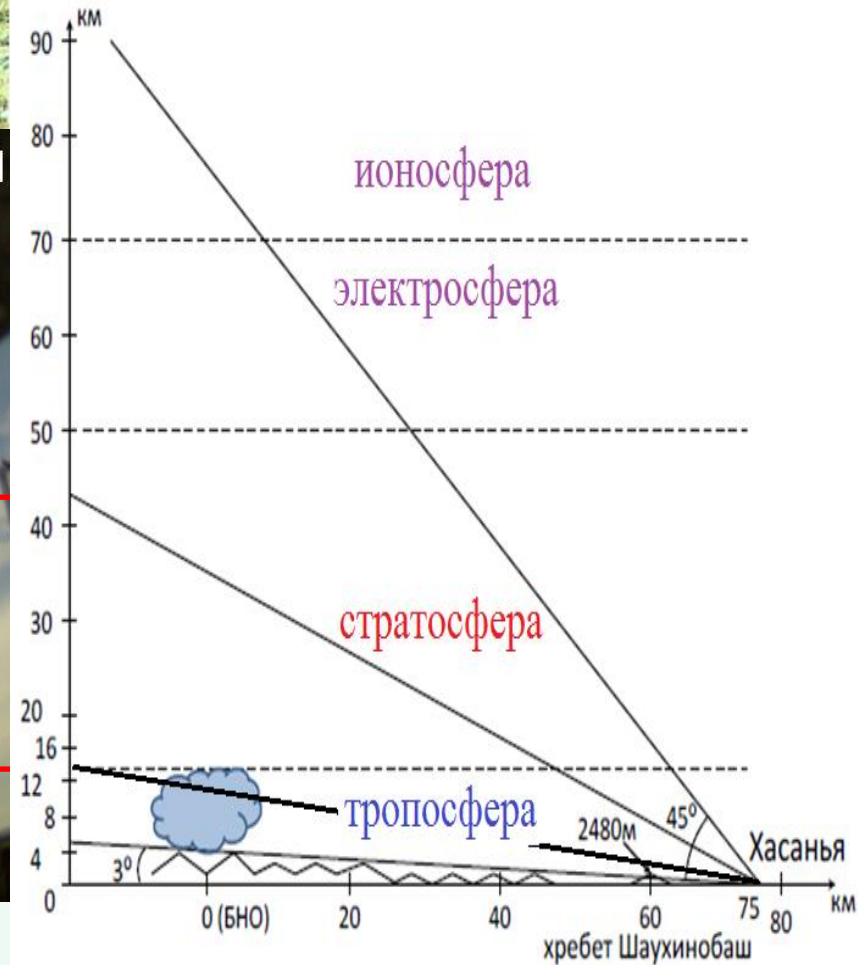
Расположена в горизонтальной штольне в удалении 5 км.

Используются магнитовариационные станции и наклонометры.





Удалённый пункт
видеонаблюдения
75 км. (Хасанья)



Проявления глобальных
возмущений геомагнитного поля
в динамике гроз

Результаты наблюдений

Приземное электр. поле →

Электр.-фотонная компонента 10-30 МэВ →

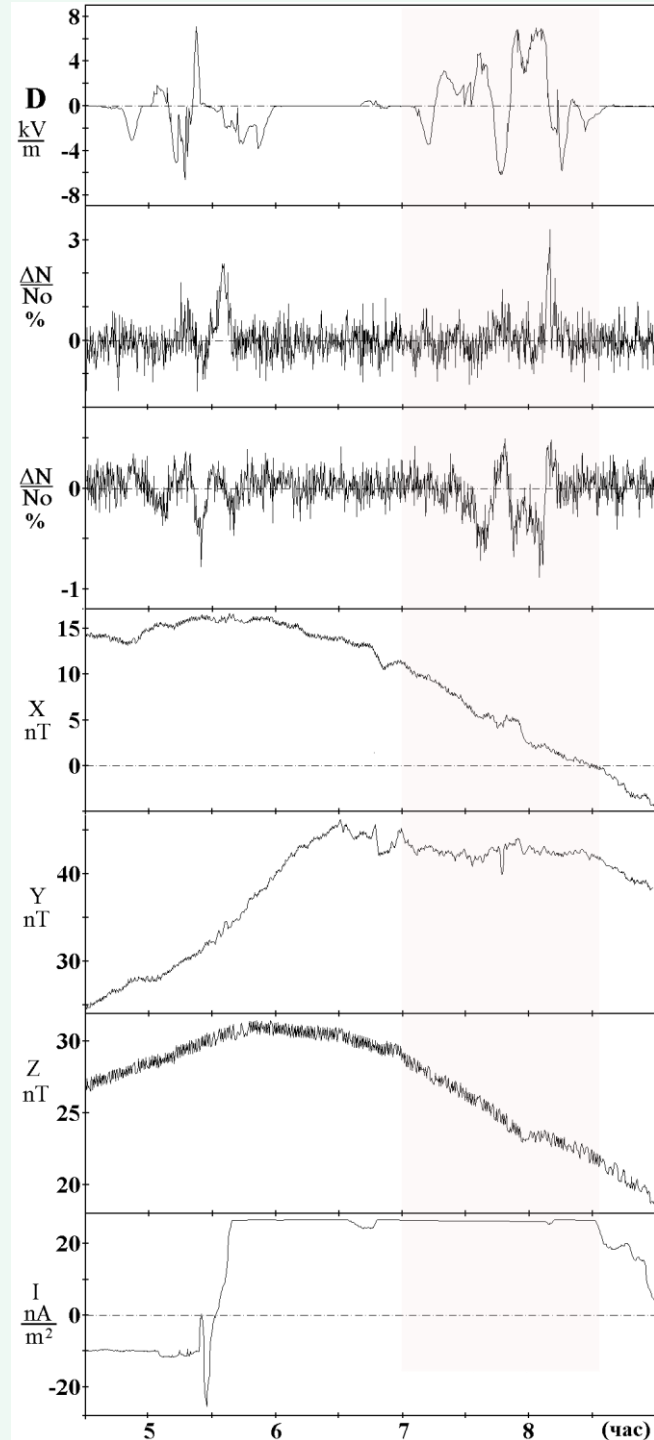
Мюоны $E > 100$ МэВ интегральная интенсивность →

Вариации магнитного поля, Направление - Север →

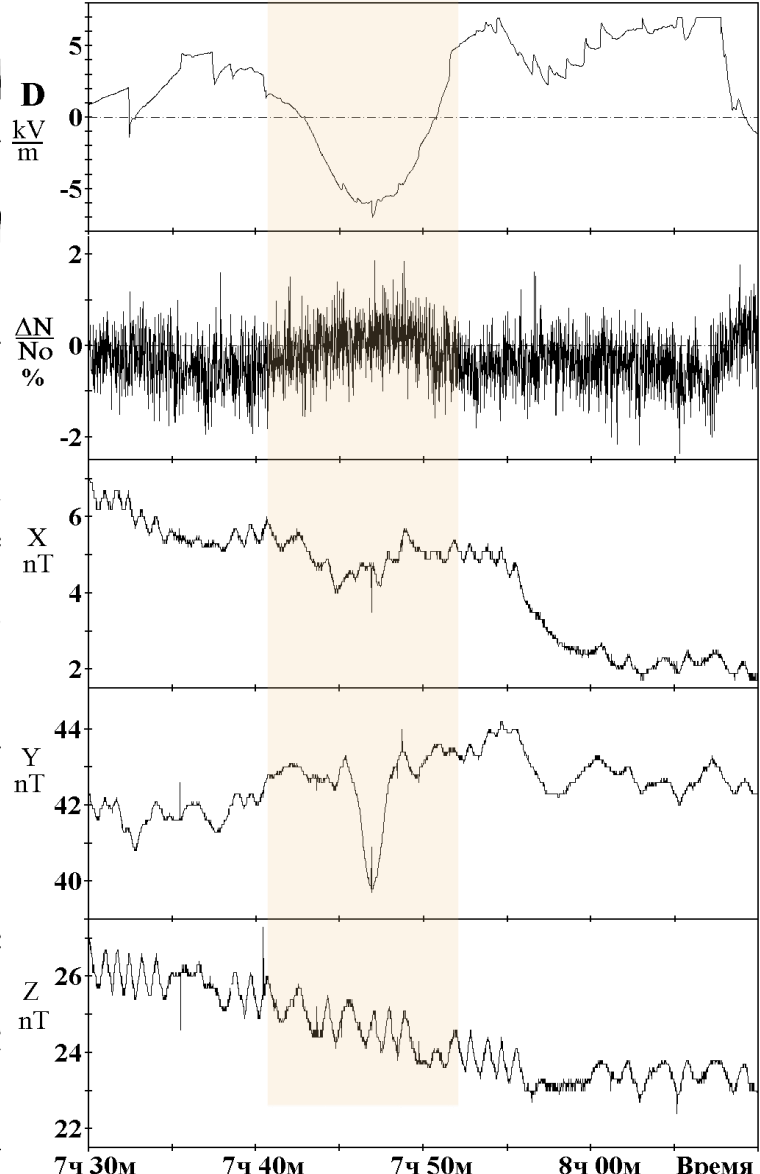
Вариации магнитного поля, Направление Восток →

Вариации магнитного поля, Направление - Вниз →

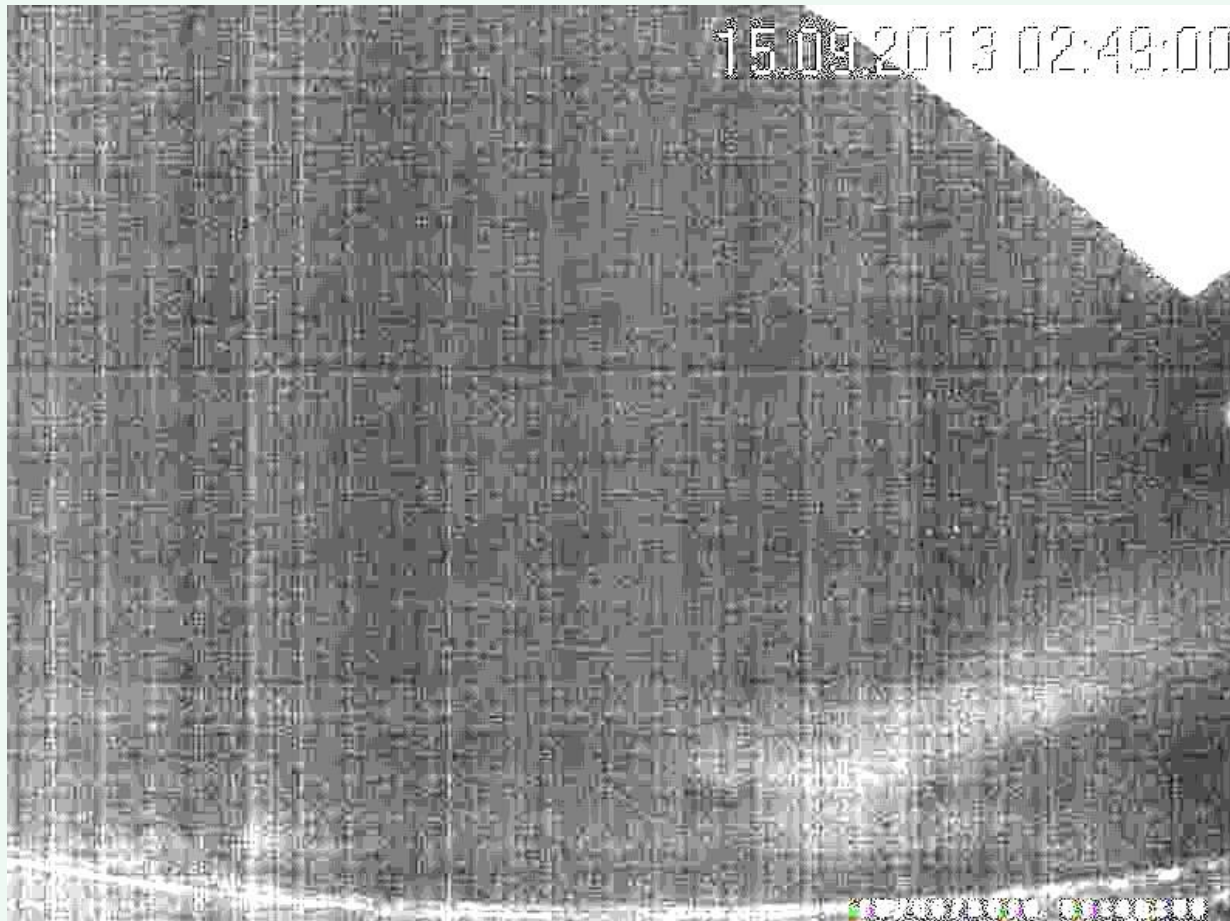
Электрический ток дождя →



Медленный пробой атмосферы Гроза 31.07.2008 (15s)



Анализ события 15.09.2013



Период 13-16.09.2013.
Основные измерения
комплексного
эксперимента. (80сек)

Магнитное поле
направление на север,
направление на восток.

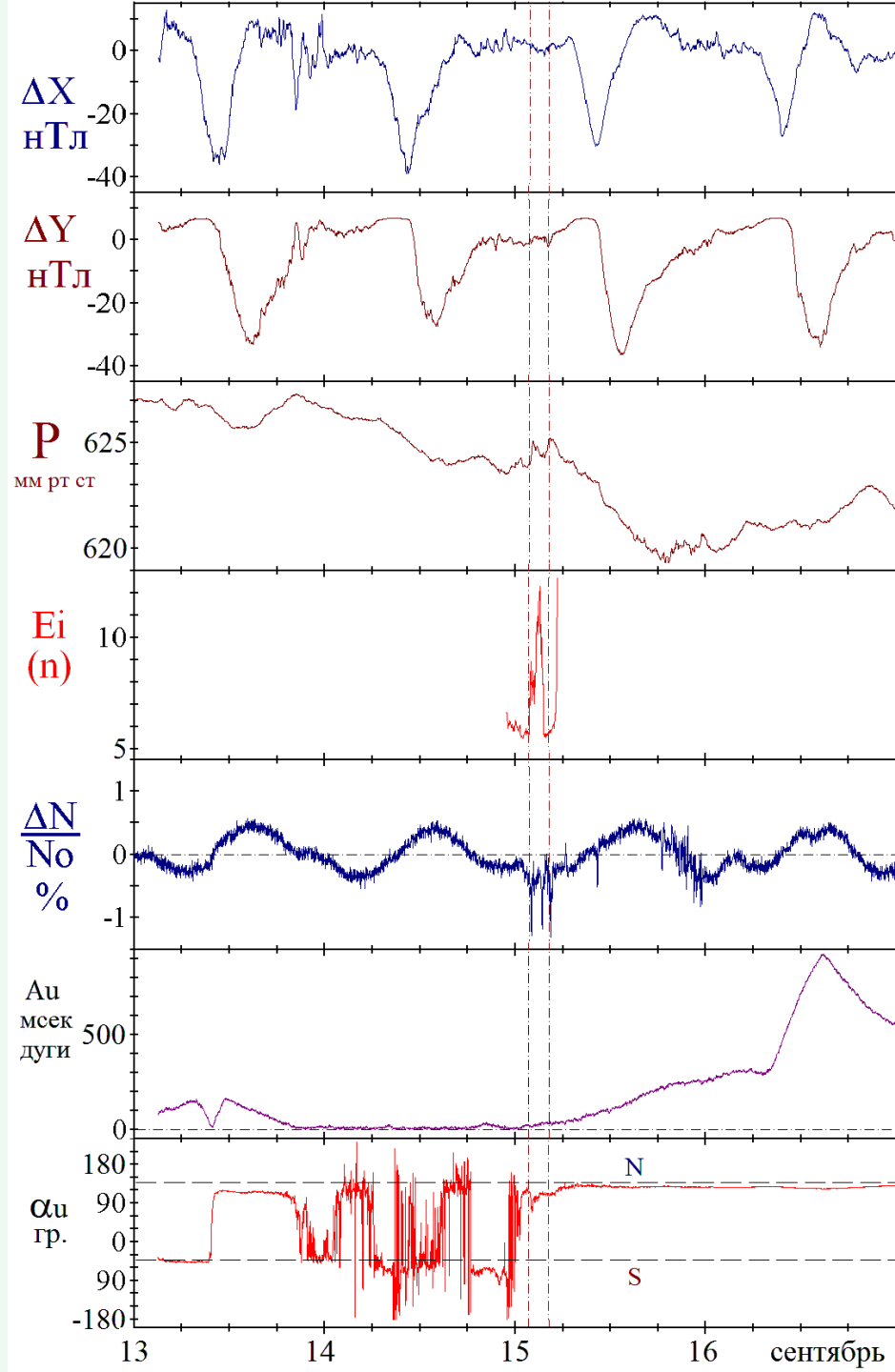
Давление.

Яркость (отн. ед.)
свечения «ионосферы»

Интенсивность мюонов.

Амплитуда вариаций наклона.

Направление вариации наклона.



Период 14-15.09.2013.

(сутки, 1 точка=20с)

Яркость (отн. ед.)
свечения «ионосферы»

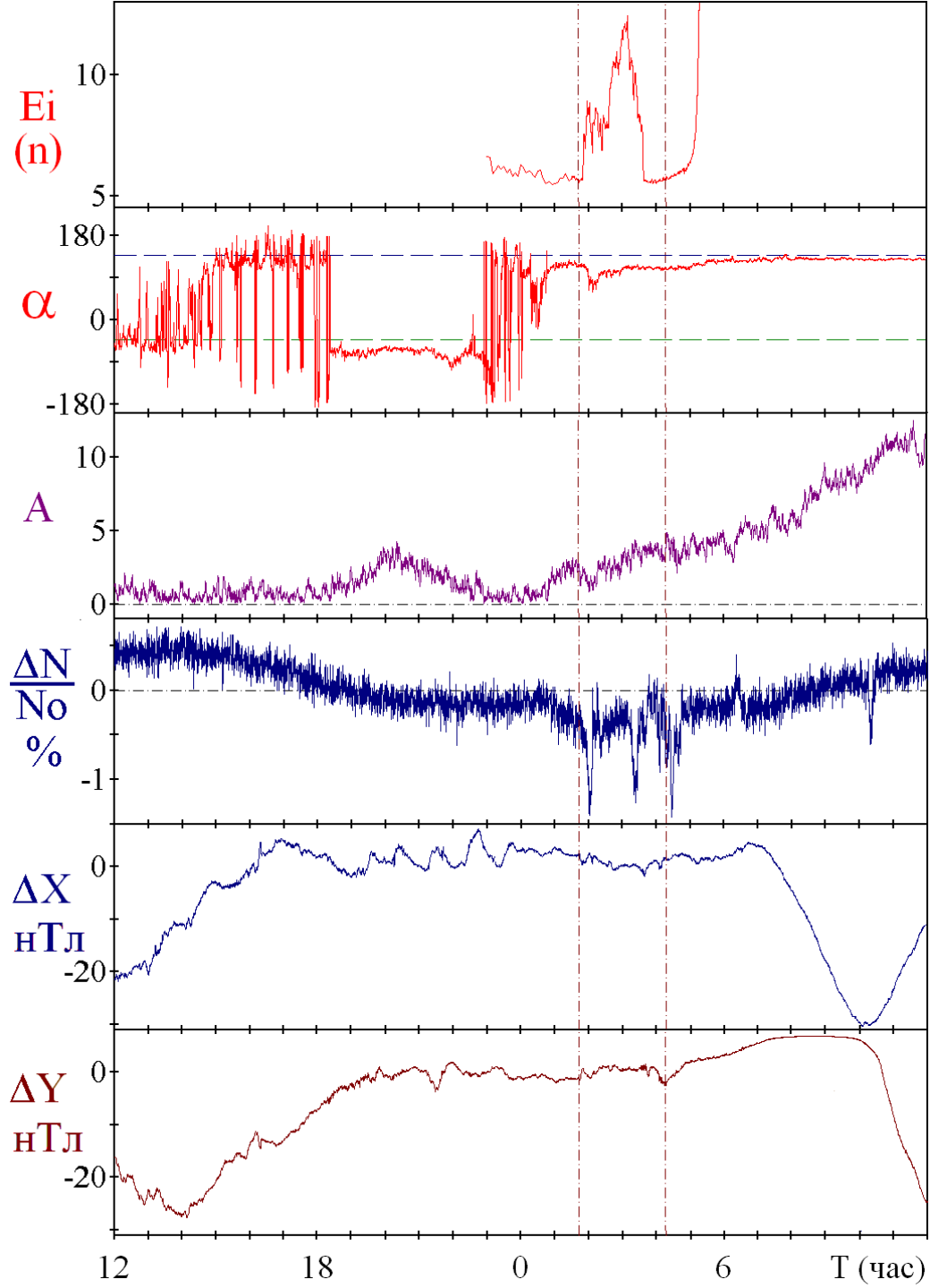
Направление
вариации наклона.

Амплитуда
вариаций наклона.

Интенсивность мюонов

Магнитное поле
направление на север,

направление на восток.



Период 14-15.09.2013.

(сутки, 1 точка=20с)

Яркость (отн. ед.)
свечения «ионосферы»

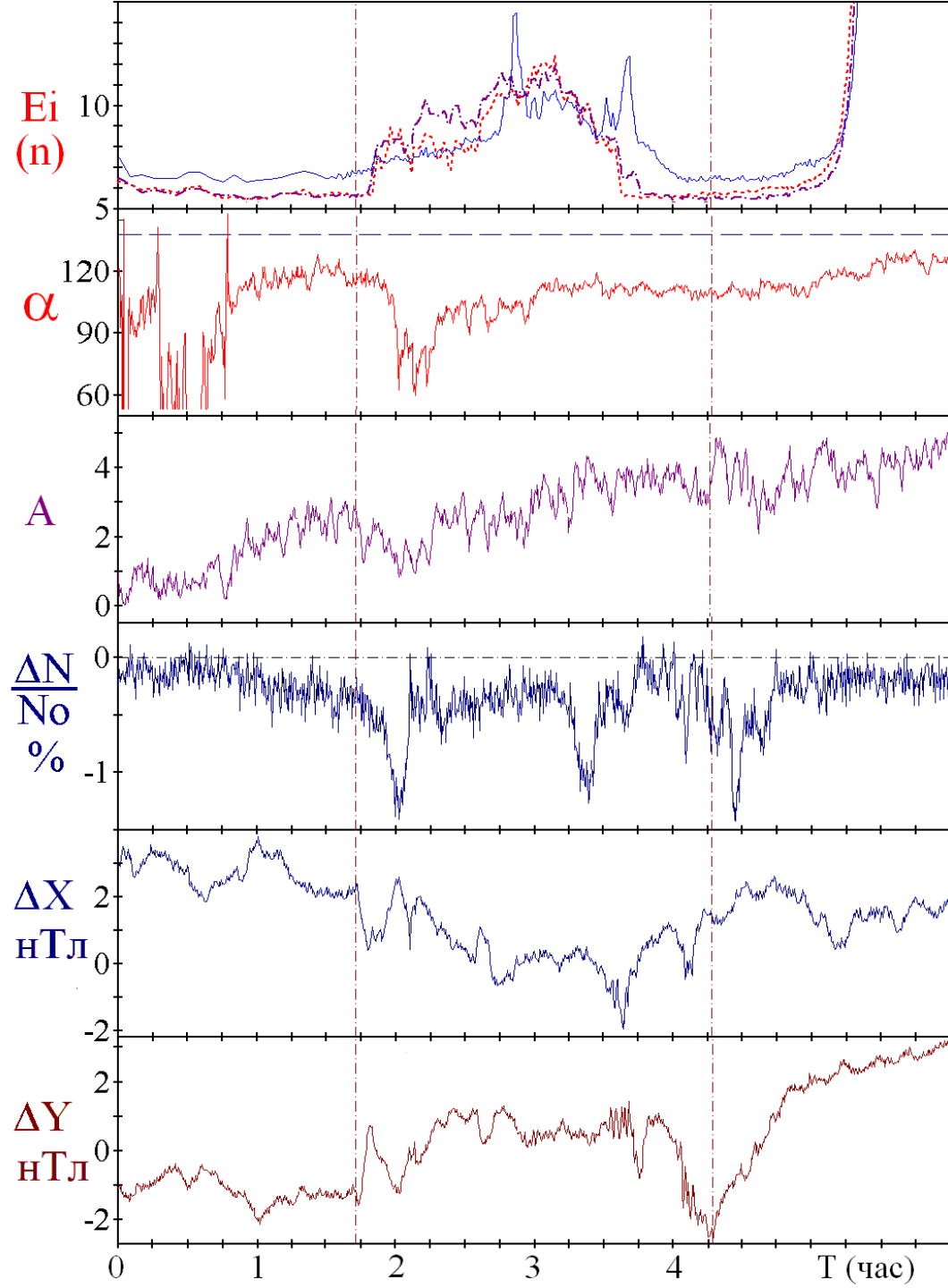
Направление
вариации наклона.

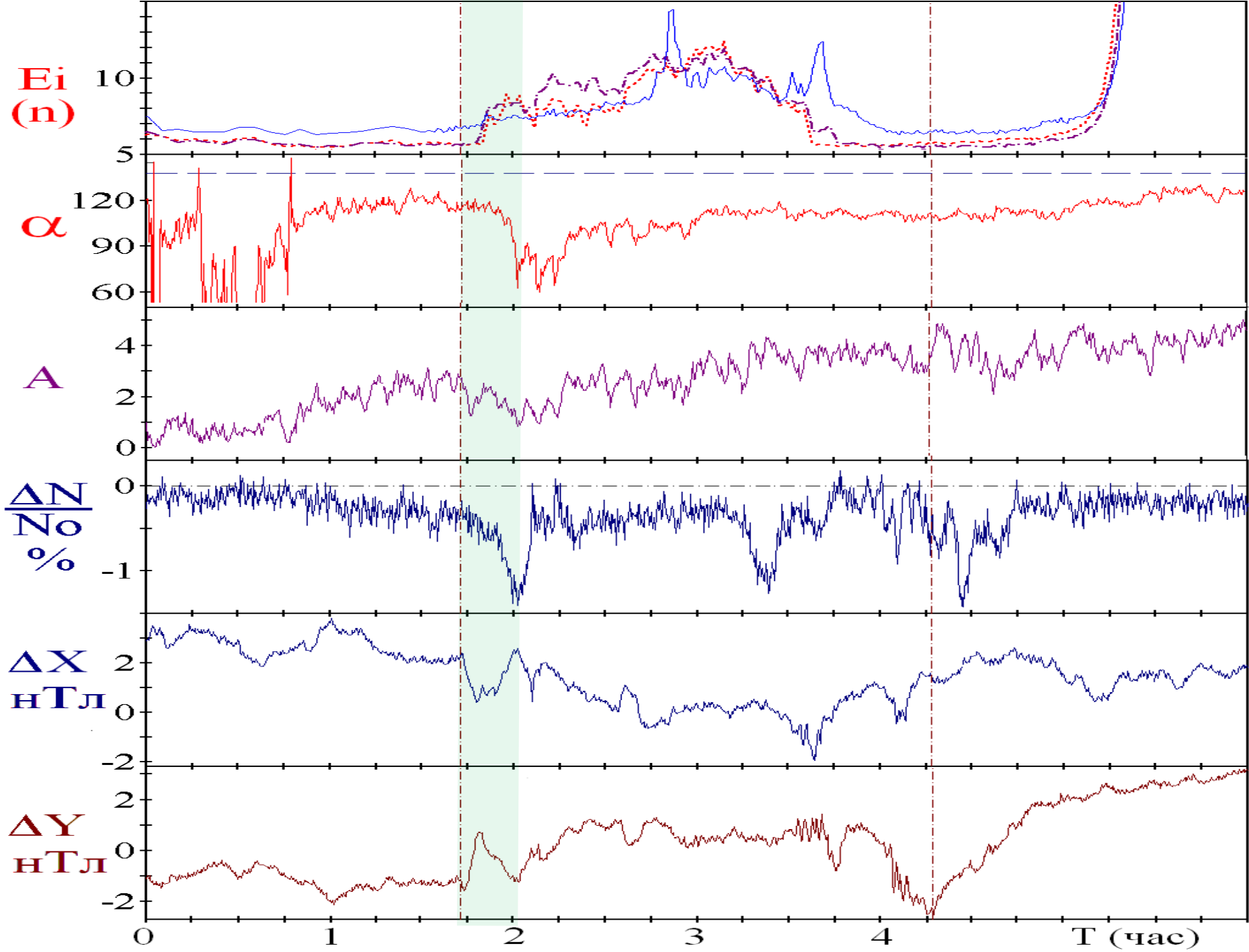
Амплитуда
вариаций наклона.

Интенсивность мюонов

Магнитное поле
направление на север,

направление на восток.





Forbush effect

Событие 22.06.2015

усреднение 10 с.

Приземное электрическое поле

Давление

«Периферийные» мюоны

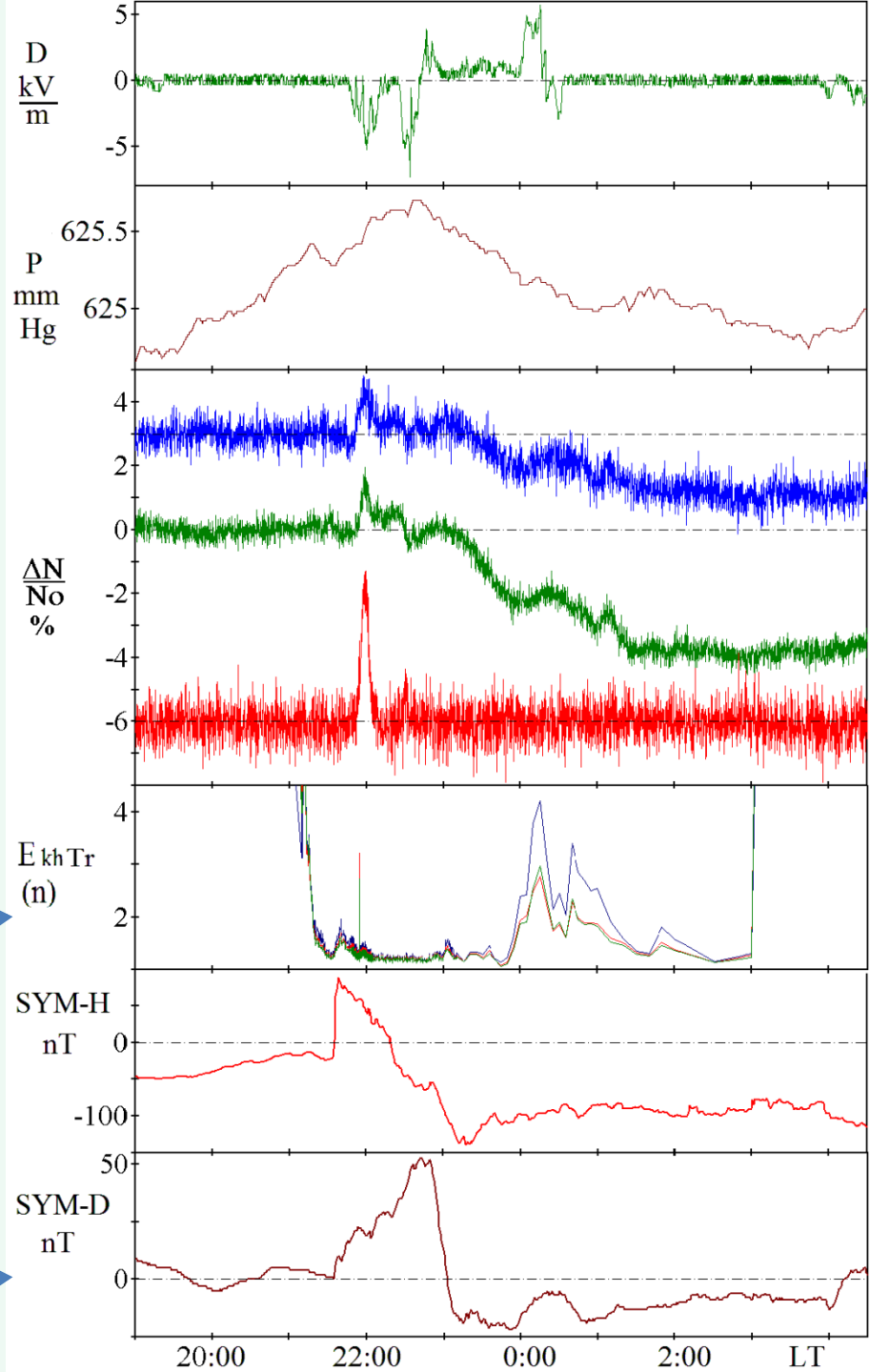
«Вертикальные» мюоны

Электр.-фотонная компонента
10-30 МэВ

Яркость свечения центральной
области снимка (Хасанья,
«тропосфера», в синем, зелёном и
красном диапазонах цвета.

Симметричные возмущения X
компоненты магнитного поля

Симметричная составляющая Y
компоненты магнитного поля



Событие 22.06.2015

усреднение 10 с.

Приземное электрическое поле

Давление

«Периферийные» мюоны

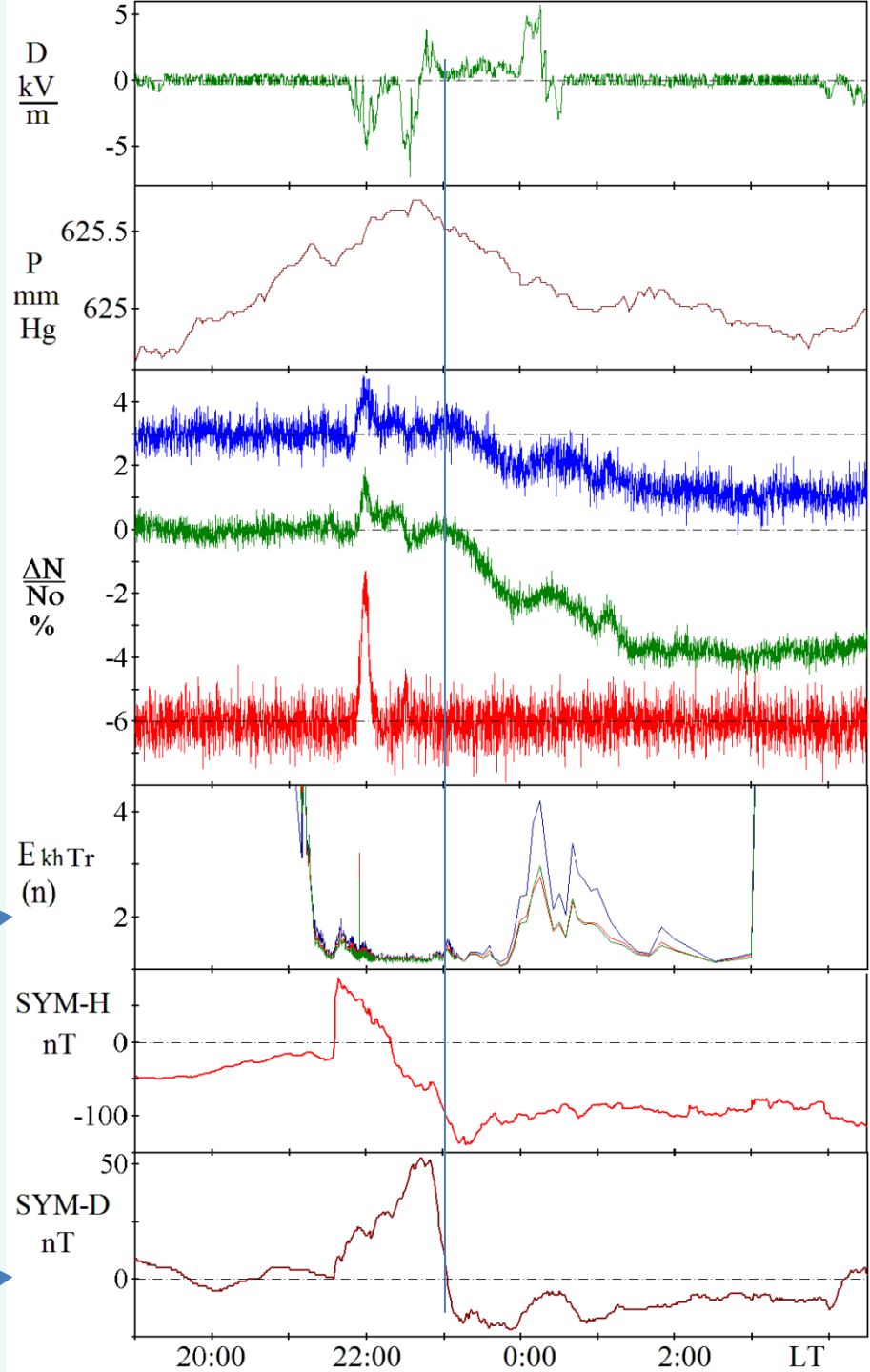
«Вертикальные» мюоны

Электр.-фотонная компонента
10-30 МэВ

Яркость свечения центральной
области снимка (Хасанья,
«тропосфера», в синем, зелёном и
красном диапазонах цвета.

Симметричные возмущения X
компоненты магнитного поля

Симметричная составляющая Y
компоненты магнитного поля



Событие 22.06.2015
усреднение 10 с.

Моменты
землетрясений

Данные наклономера N-S

Приземное электрическое поле

«Периферийные» мюоны

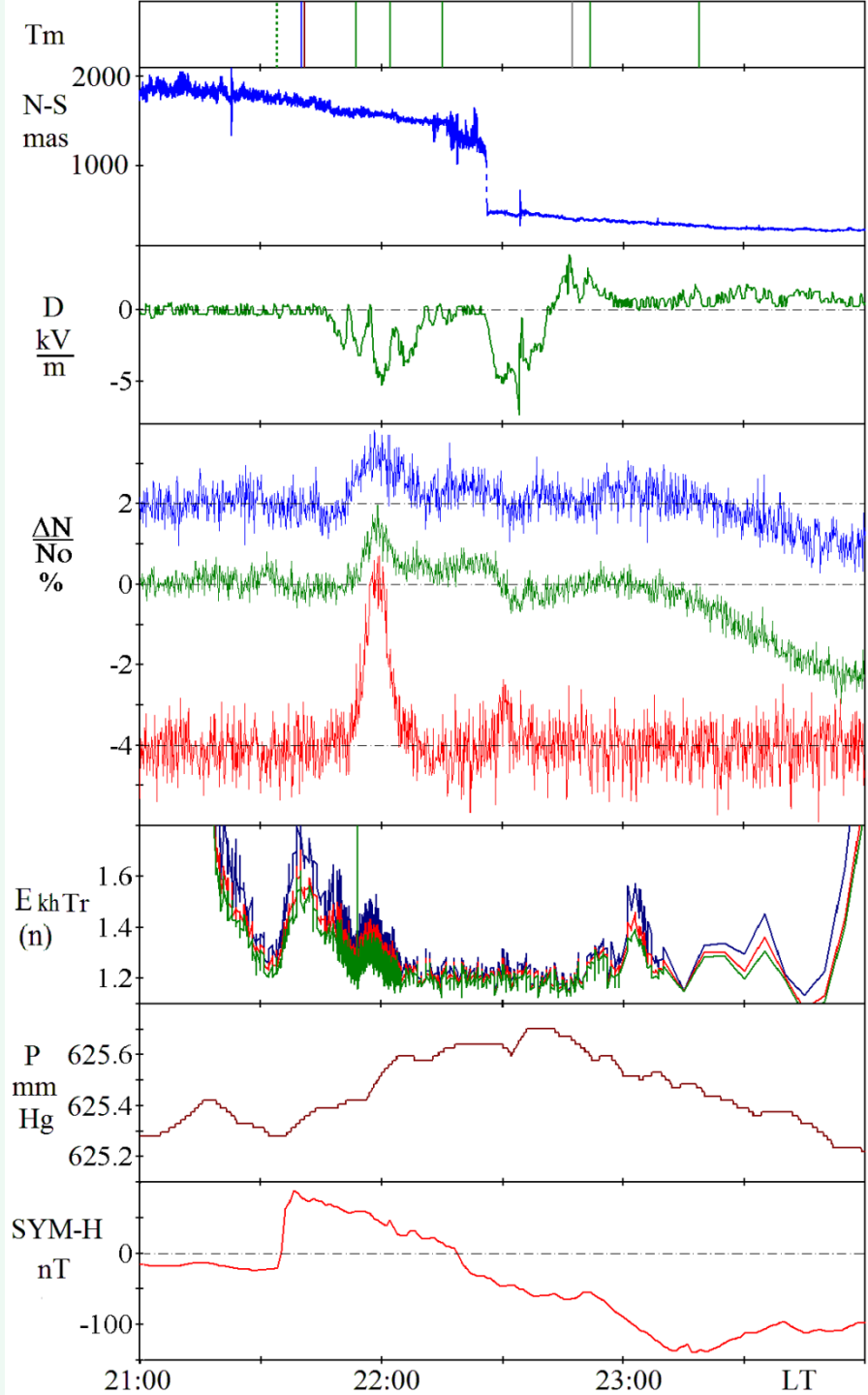
«Вертикальные» мюоны

Электр.-фотонная компонента
10-30 МэВ

Яркость свечения центральной
области снимка (Хасанья,
«тропосфера», в синем, зелёном и
красном диапазонах цвета.

Давление

Симметричная составляющая
X компоненты магнитного поля



Событие 22.06.2015 Моменты
усреднение 10 с. землетрясений

Данные наклономера N-S

Приземное электрическое поле

«Периферийные» мюоны

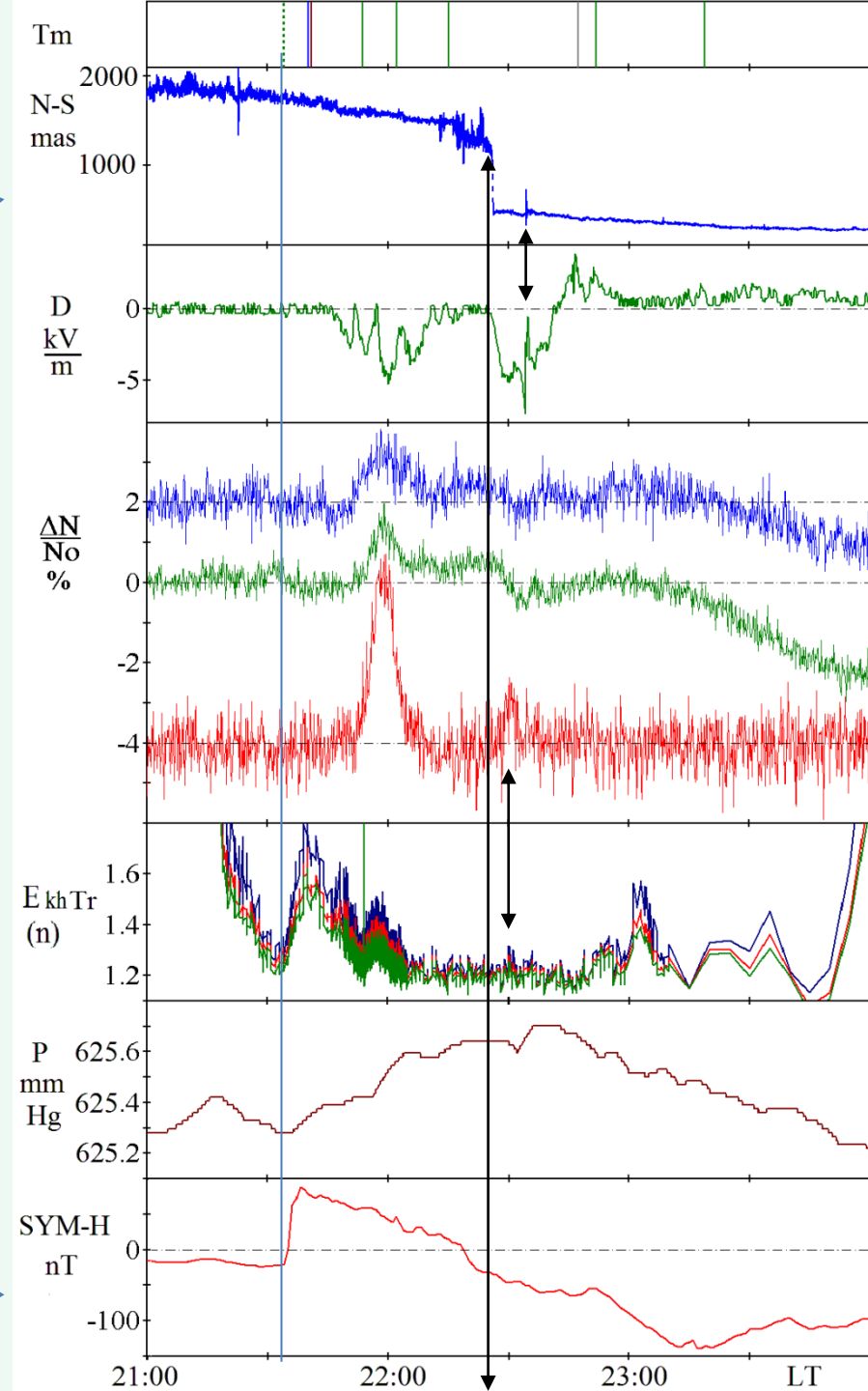
«Вертикальные» мюоны

Электр.-фотонная компонента
10-30 МэВ

Яркость свечения центральной
области снимка (Хасанья,
«тропосфера», в синем, зелёном и
красном диапазонах цвета.

Давление

Симметричная составляющая
X компоненты магнитного поля



Magnetic storm

Событие 24-25.07.2014 усреднение 20 с.

Приземное электрическое поле

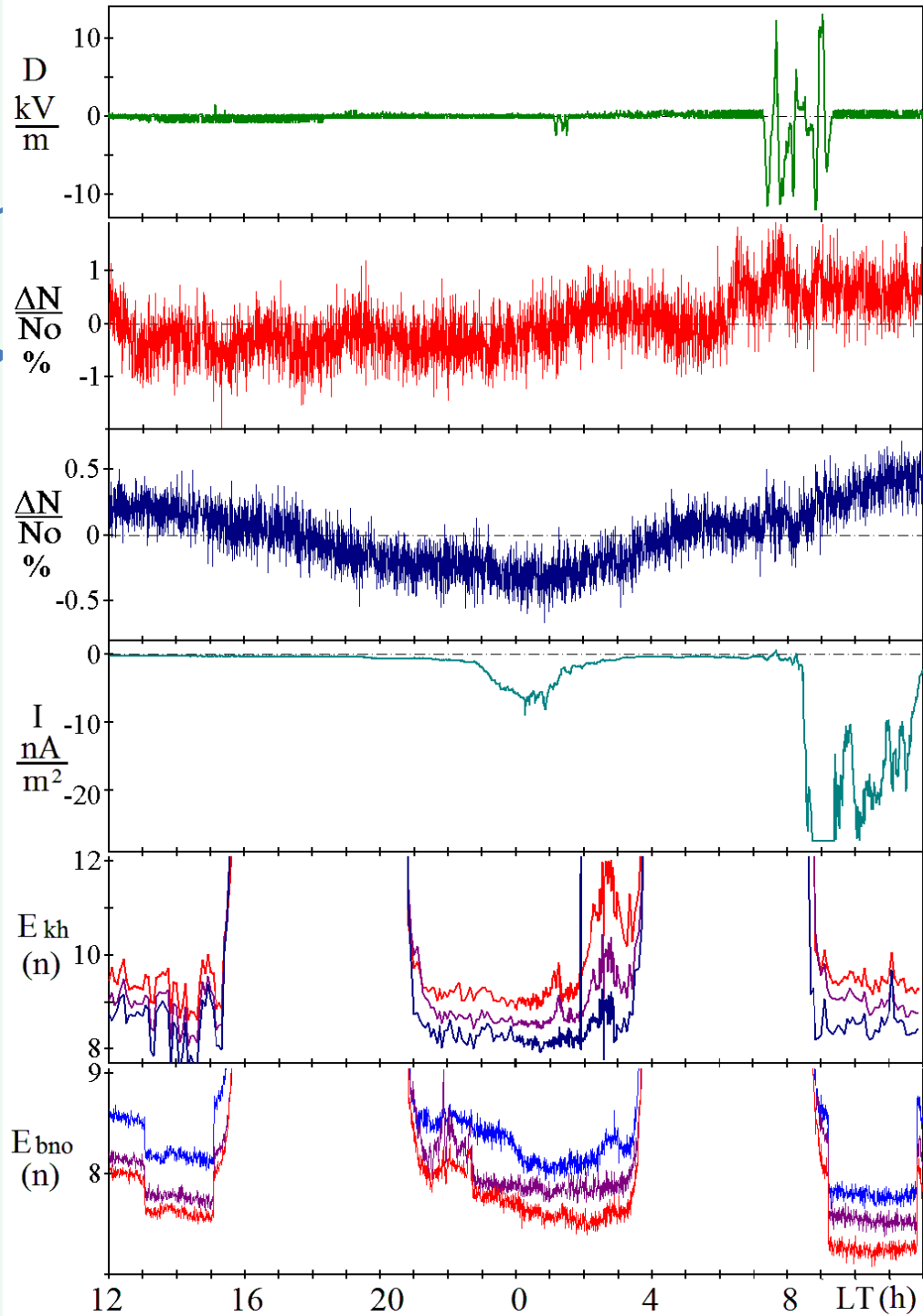
Электр.-фотонная компонента
10-30 МэВ

Мюоны более 100 МэВ,
интегральная интенсивность

Электрический ток дождя

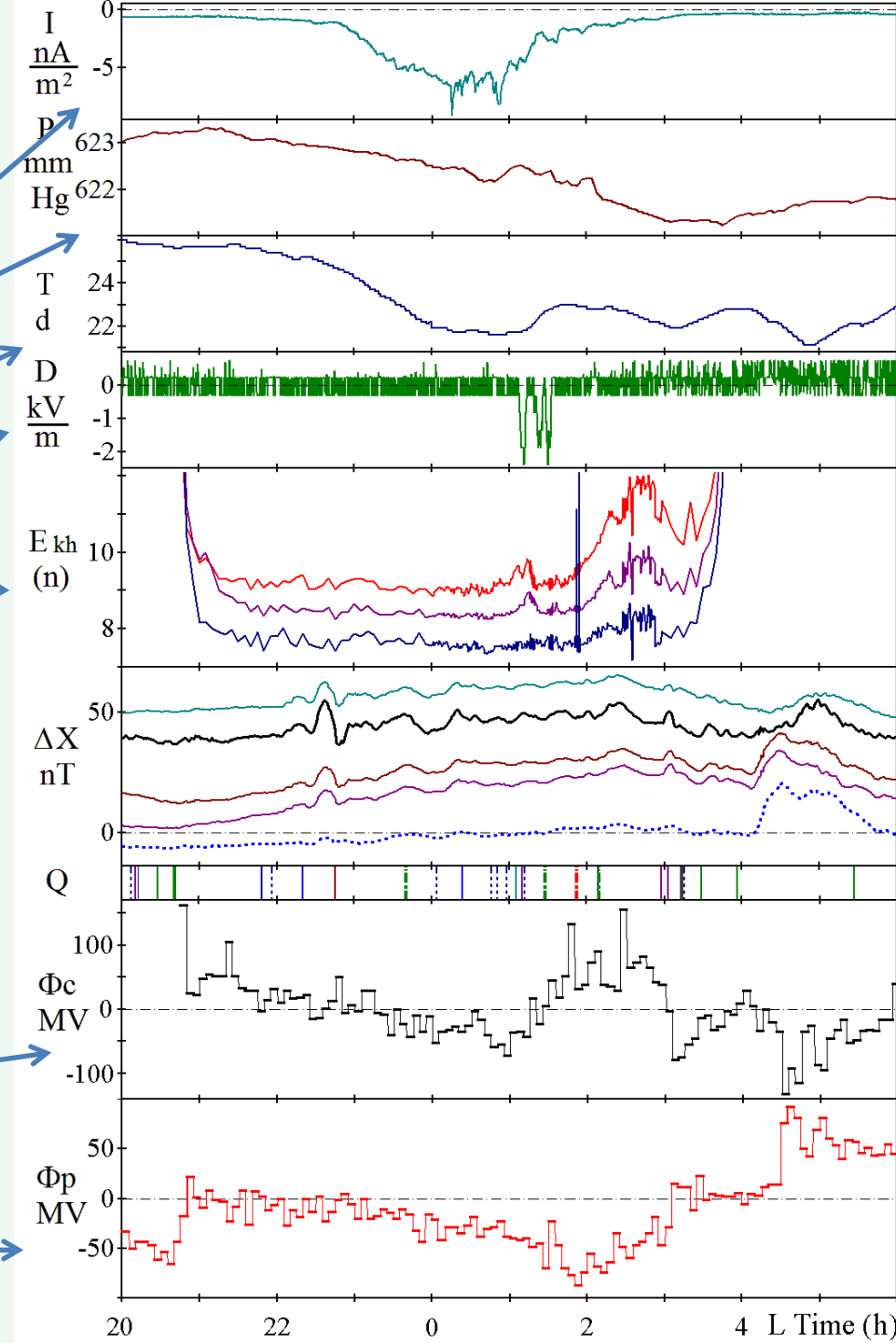
Яркость свечения центральной области
снимка (Хасанья, «ионосфера»,
«стратосфера», «тропосфера») +сдвигка

Яркость свечения центральной области
снимка (БНО, «ионосфера»,
«стратосфера», «тропосфера») +сдвигка



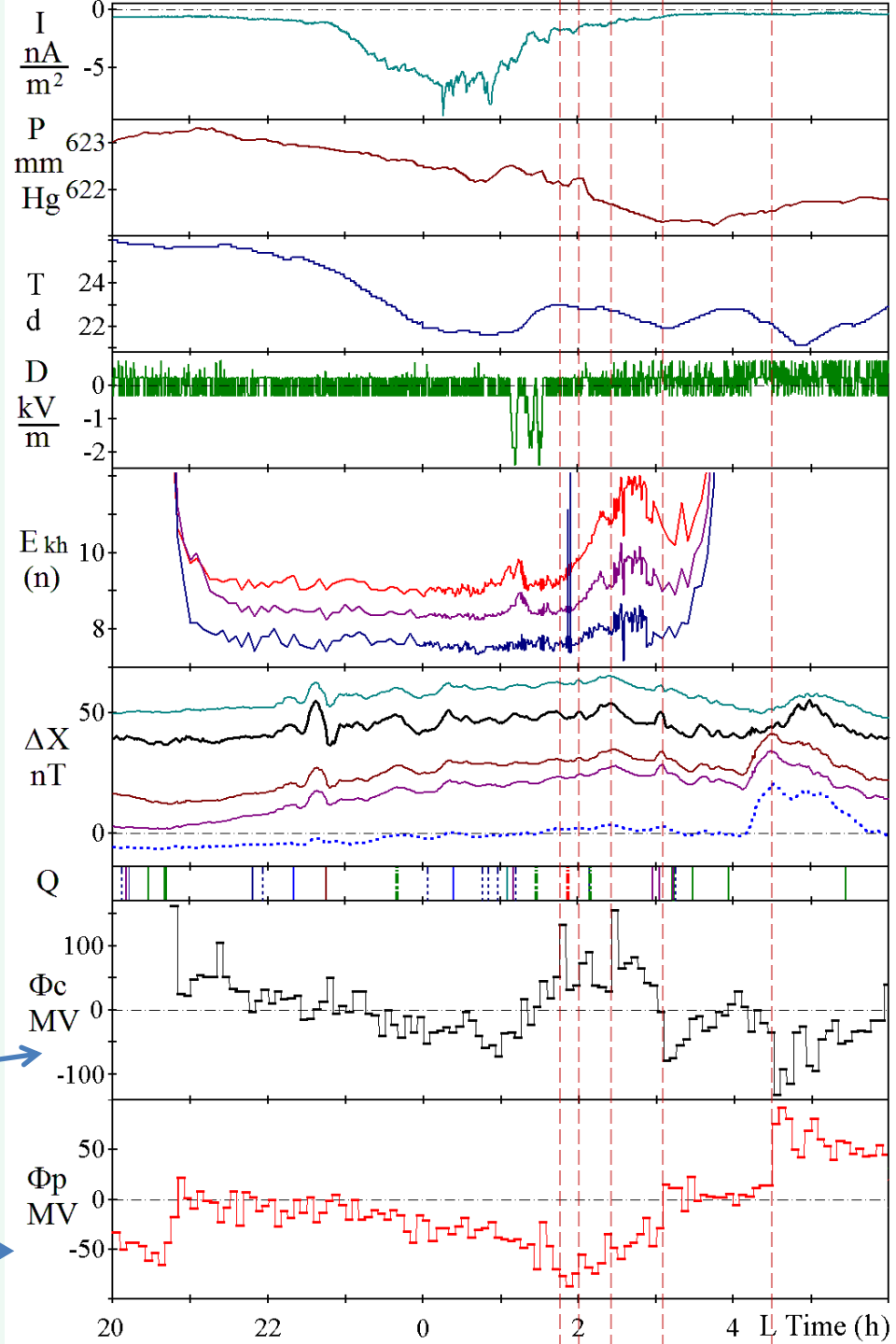
Корреляция возмущения потенциала в тропосфере с суббуревой активностью

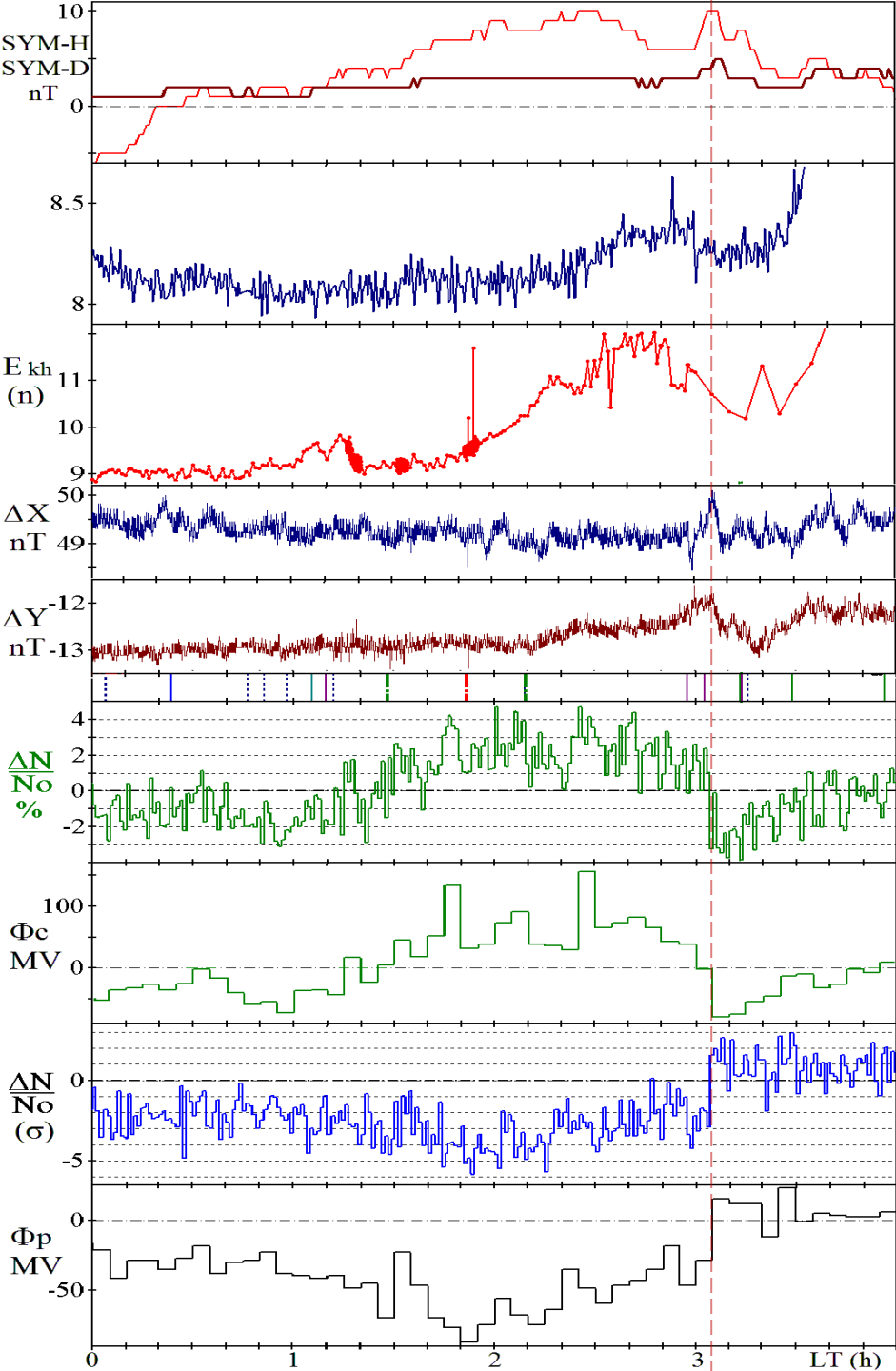
- Ток дождя
- давление
- Температура улицы
- Приземное электрическое поле
- Яркость свечения центральной области снимка (Хасанья, «ионосфера», «стратосфера», «тропосфера»)
- Вариации магнитного поля, X-компонента
- Моменты землетрясений ($M \geq 1$) в мире
- Разность потенциалов в тропосфере над установкой, усреднение 5 мин.
- Разность потенциалов в тропосфере в периферийной зоне, усреднение 5 мин



Корреляция возмущения потенциала в тропосфере с суббуревой активностью

- Ток дождя
- давление
- Температура улицы
- Приземное электрическое поле
- Яркость свечения центральной области снимка (Хасанья, «ионосфера», «стратосфера», «тропосфера»)
- Вариации магнитного поля, X-компонента
- Моменты землетрясений ($M \geq 1$) в мире
- Разность потенциалов в тропосфере над установкой, усреднение 5 мин.
- Разность потенциалов в тропосфере в периферийной зоне, усреднение 5 мин





25.07.2014 03:05:00

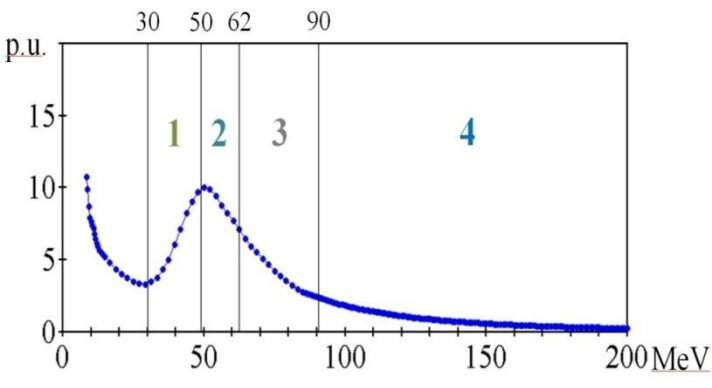
25.07.2014 03:05:00

25/07/2014 03:05:00

Событие 24-25.07.2014, усреднение 10 с.

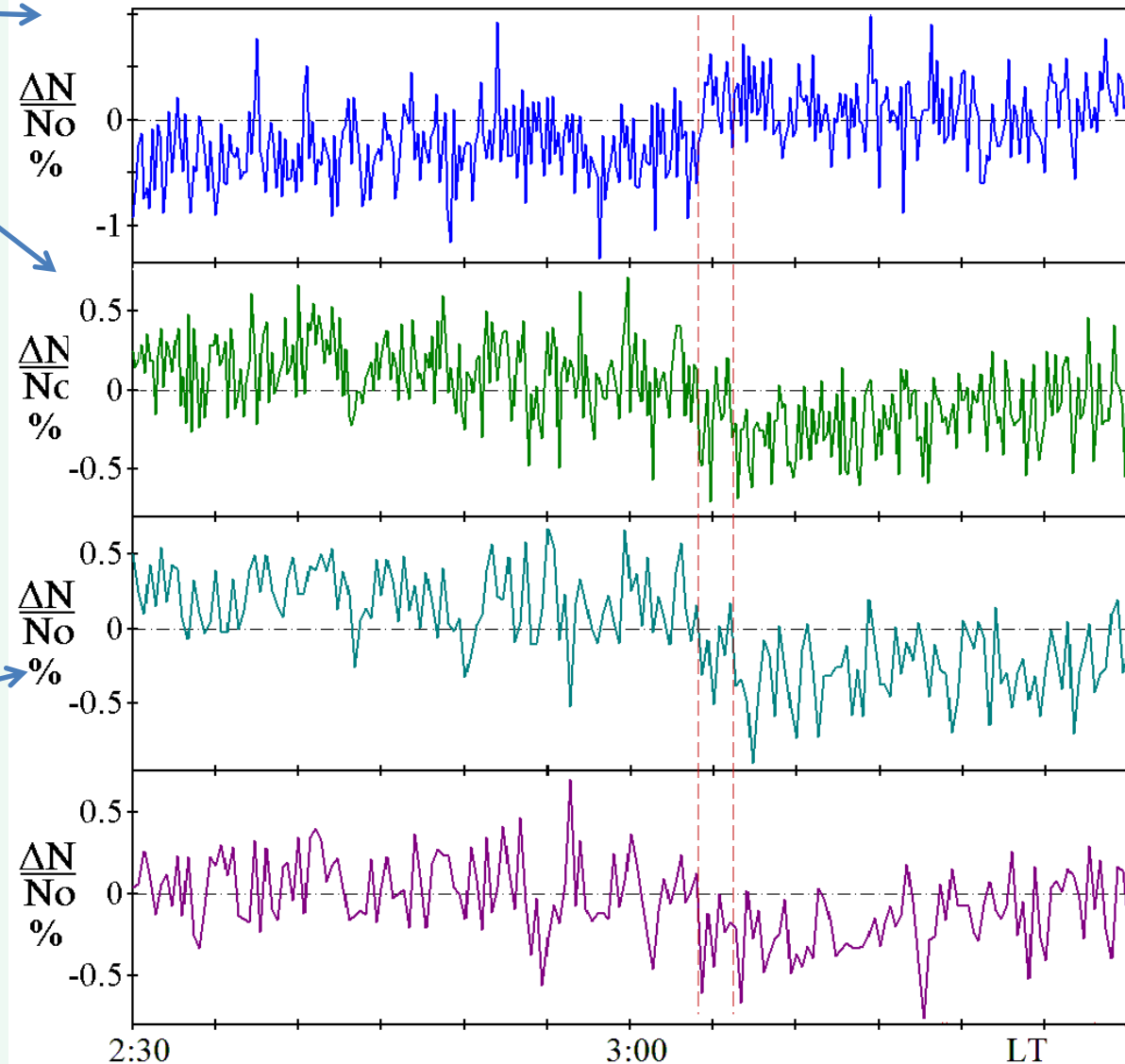
Мюоны «периферии» (4)

Мюоны «вертикали» (1+2)



Мюоны зоны 1

Мюоны зоны 2



Грозовое событие 24-25072014

Указан момент землетрясения

10.44 N 125.42 E

20км M=5.3

LEYTE, PHILIPPINES

Яркость свечения. Хасанья

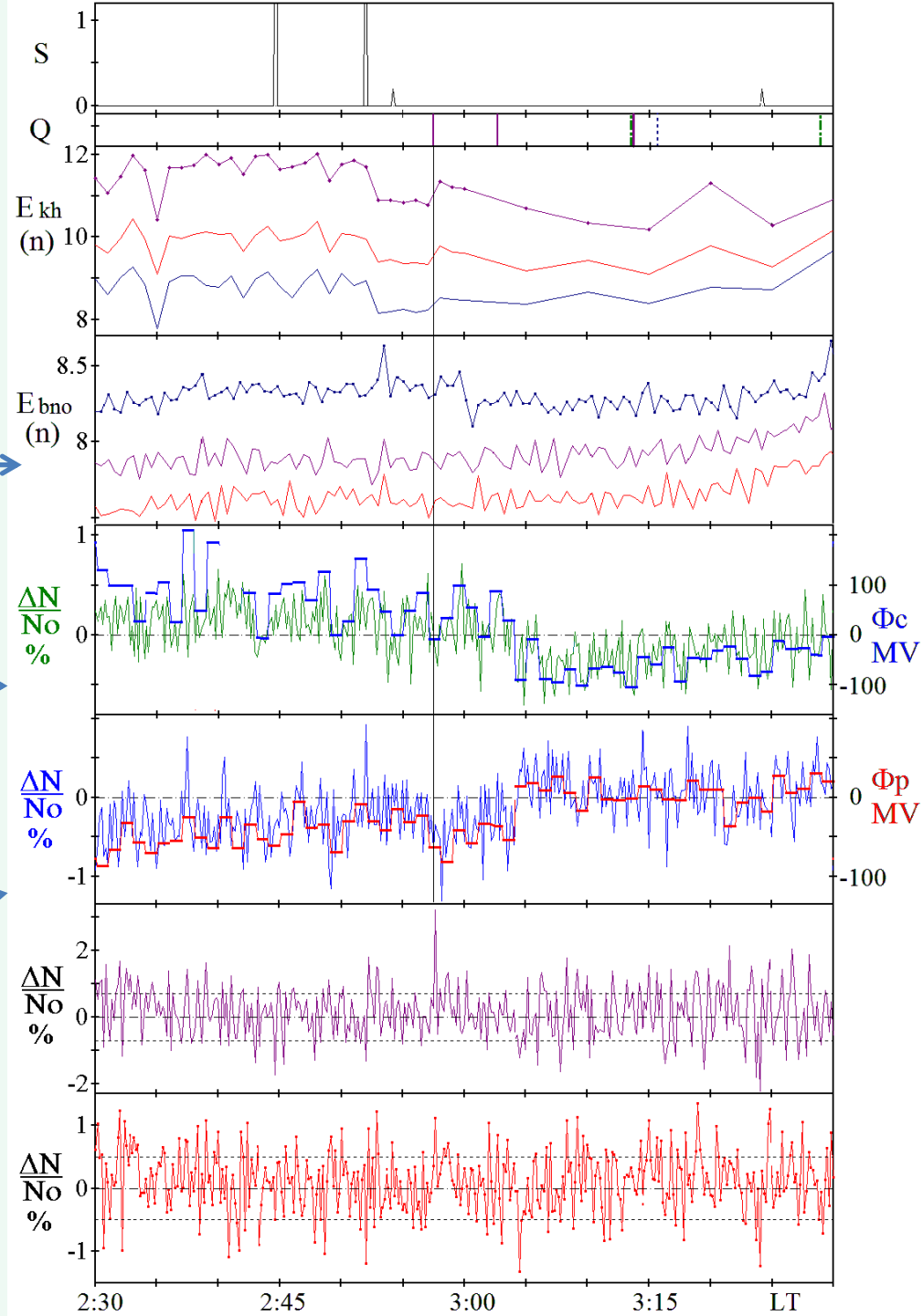
Яркость свечения. Нейтрино

Вариации «вертикальных»
мюонов и восстановленный
вертикальный потенциал.

Вариации «периферийных»
мюонов и восстановленный
по ним потенциал.

Вариации эл. Фотонной
компоненты 10-17 МэВ

10-30 МэВ



Грозовое событие 24-25072014

Свечение и возмущения
электрического и магнитного
полей

Шумовой канал

Яркость свечения. Хасанья

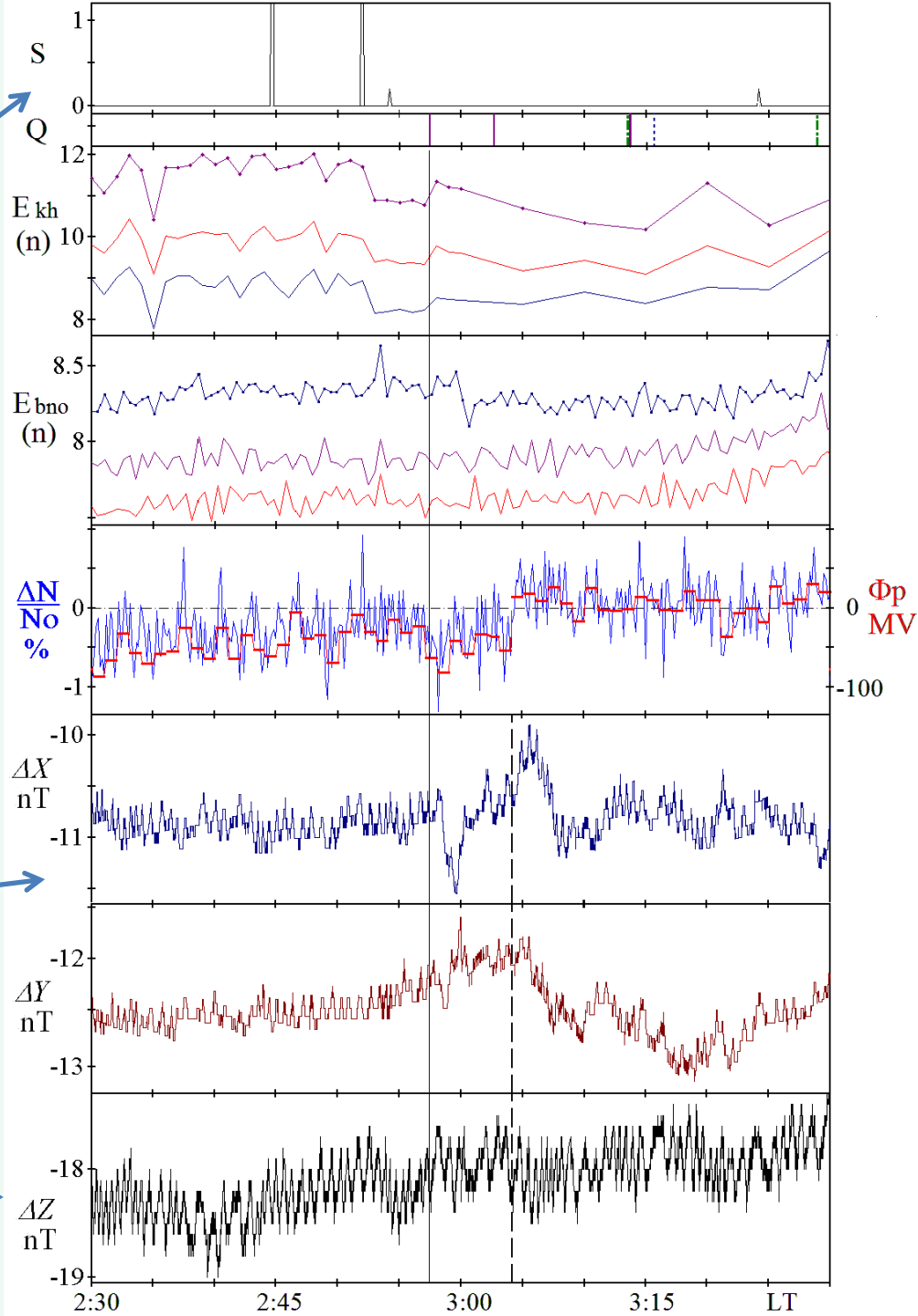
Яркость свечения. Нейтрино

Вариации «периферийных»
мюонов и восстановленный
по ним потенциал.

Локального магнитное поле,
X-компонента: $\Delta X = X1 - X2$

Y-компонента: $\Delta Y = Y1 - Y2$

Z-компонента: $\Delta Z = Z1 - Z2$



Грозное событие 24-25072014

Связь со взрывной фазой
суббури. Вертикальный ток

Яркость свечения. Хасанья

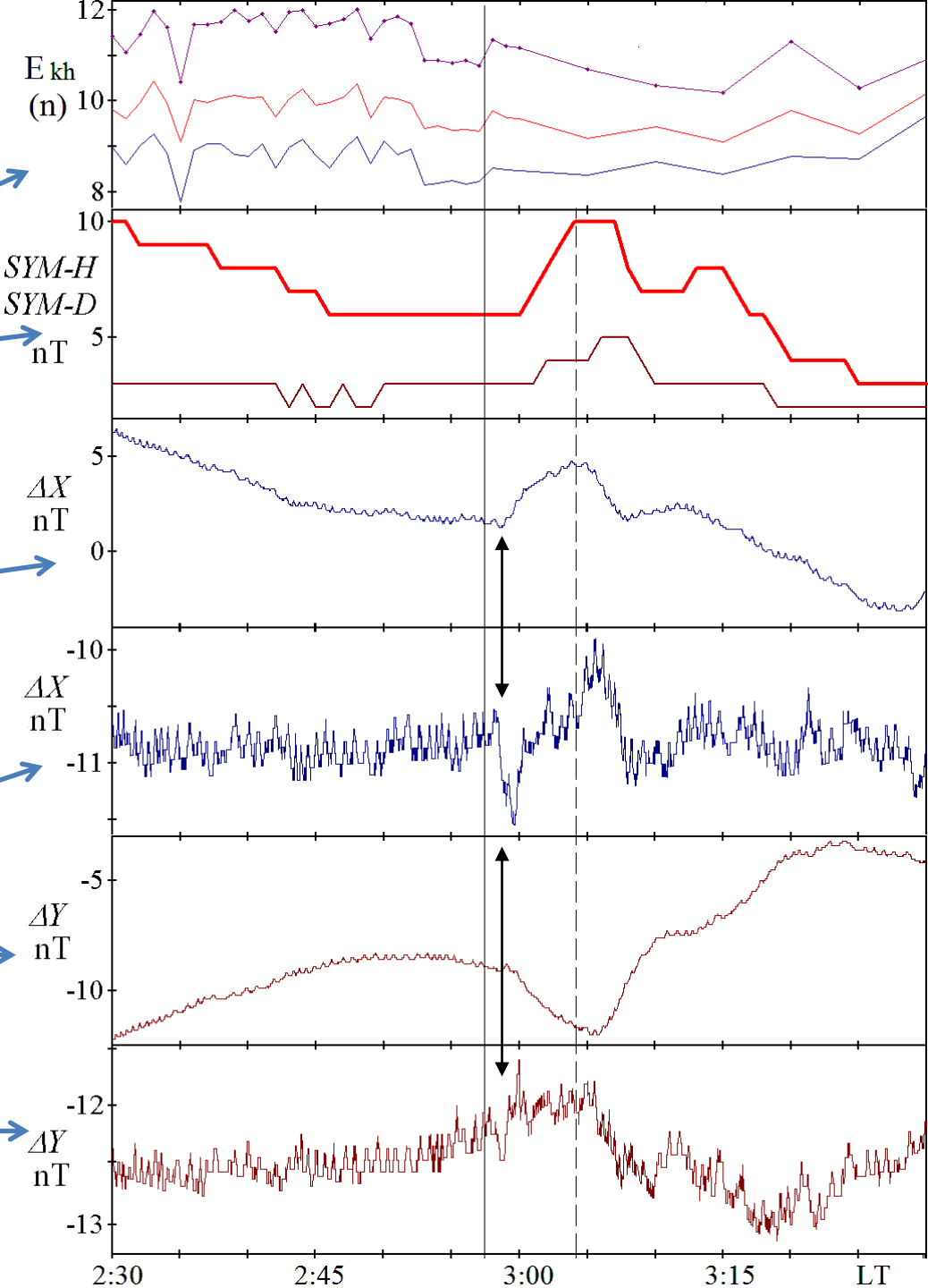
Возмущения симметричной
части маг. поля

Местное магнитное поле,
X-компонента.

Локального магнитное поле,
X-компонента: $\Delta X = X1 - X2$

Местное магнитное поле Y:

Локальное магнитное поле,
Y-компонента: $\Delta Y = Y1 - Y2$



Грозное событие 24-25072014

Связь со взрывной фазой
суббури. Вертикальный ток

Яркость свечения. Хасанья

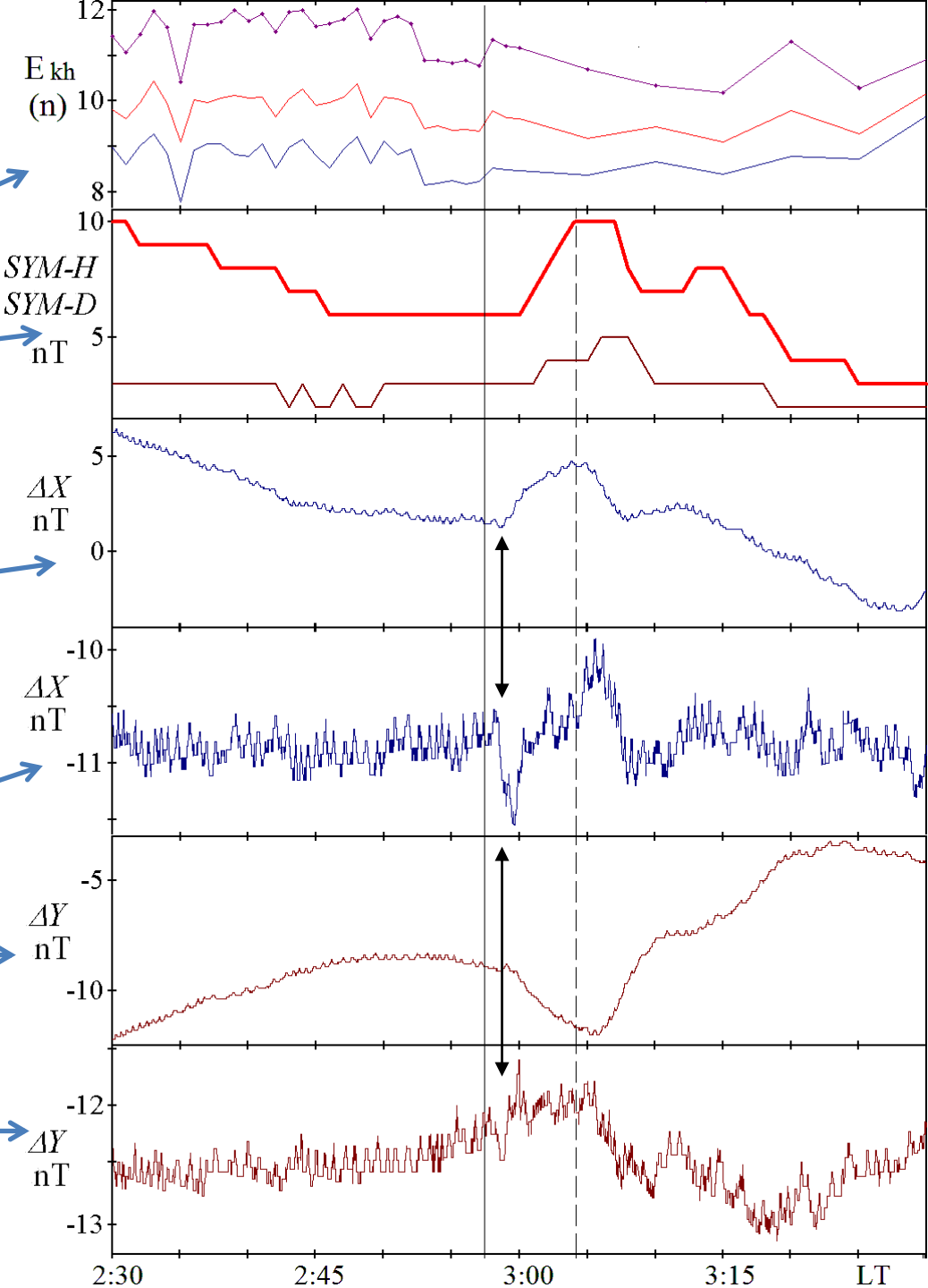
Возмущения симметричной
части маг. поля

Местное магнитное поле,
X-компонента.

Локального магнитное поле,
X-компонента: $\Delta X = X1 - X2$

Местное магнитное поле Y:

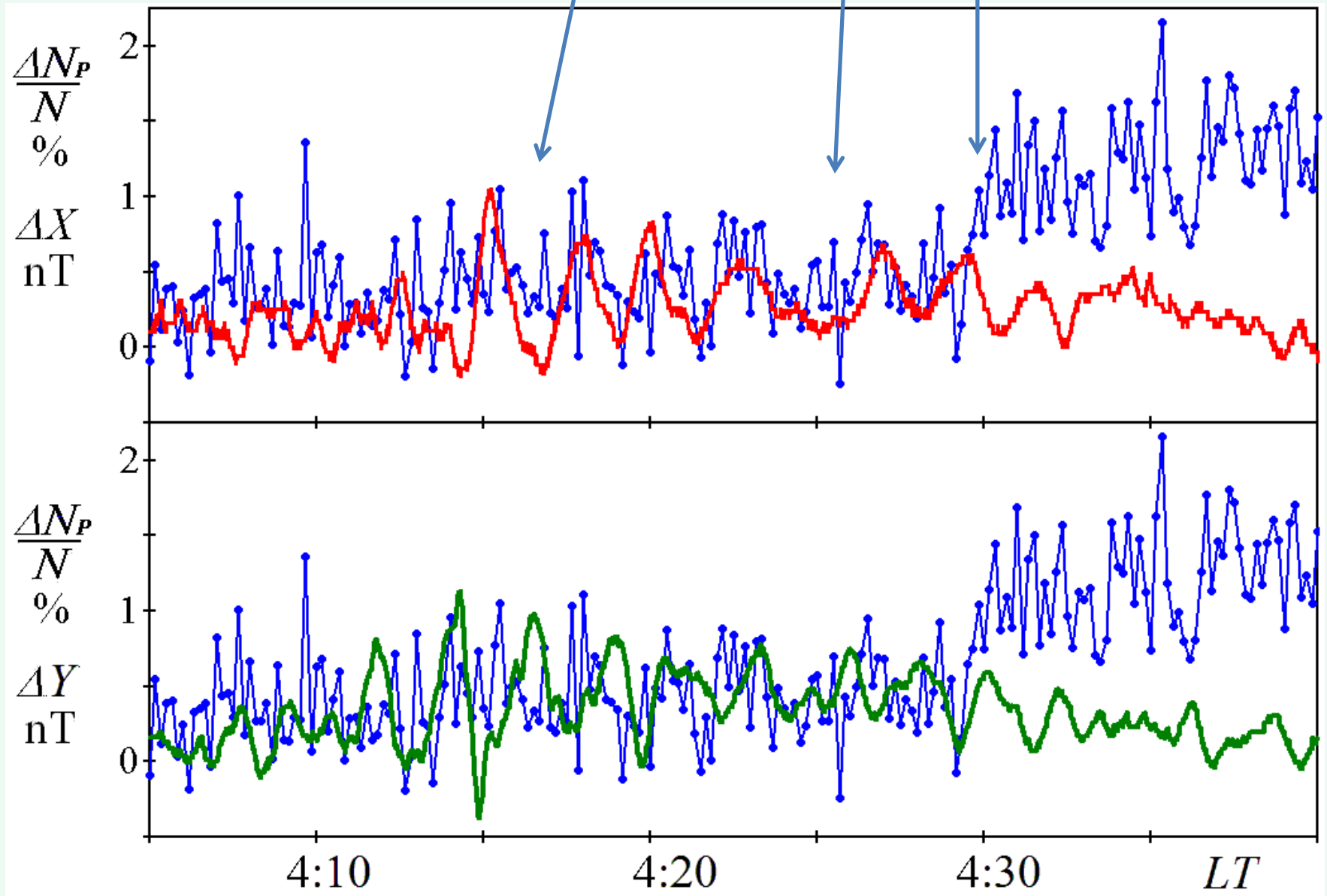
Локальное магнитное поле,
Y-компонента: $\Delta Y = Y1 - Y2$



Рi2 пульсации и разряды в атмосфере

синхронность асинхронность

разряд



Результаты

- 1 Установлено. Во время магнитосферных суббурь малой мощности на предварительной стадии и в начале фазы развития возможно проникновение возмущений на средние широты над грозowymi очагами ниже широты 40° . Проявляется в виде диффузного свечения типа «полярное сияние» яркостью $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ кд/м²
- 2 Зарегистрированы факты внезапного появления во время магнитосферных возмущений, горизонтальной разности потенциалов порядка 100 МВ в тропосфере на масштабе 10-30 км
- 3 Зарегистрирован локальный ток в ионосфере, в восточном направлении, на широте геомагнитного диполя 40°N , сопутствующий магнитосферной суббуре в период взрывной фазы.