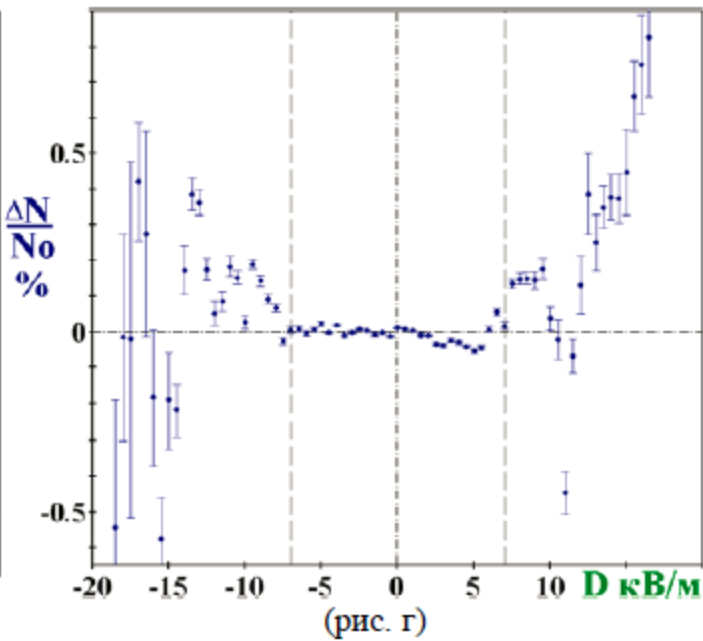
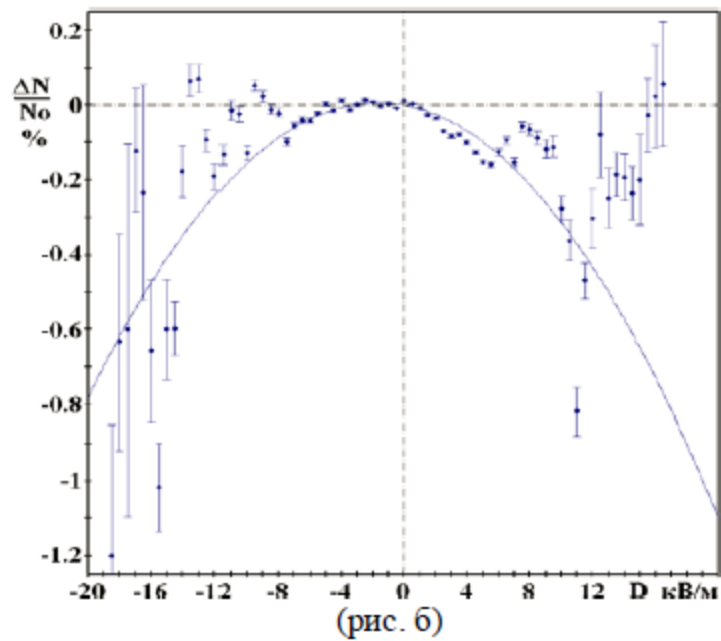
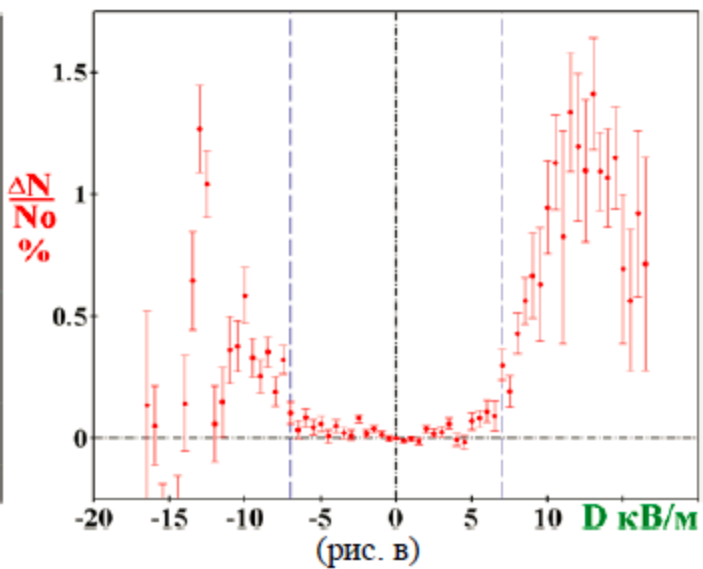
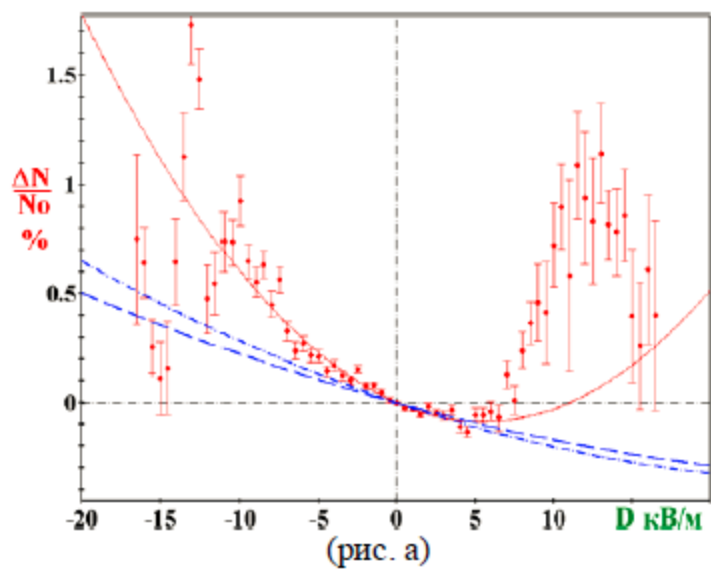


Характерное электрическое состояние грозовой атмосферы из данных по вариациям космических лучей

*А.С.Лидванский, М.Н.Хаердинов,
Н.С.Хаердинов*

*Институт ядерных исследований РАН,
Баксанская Нейтринная Обсерватория*

Статистический материал по МНОГОЛЕТНИМ ДАННЫМ



Распределение аномальных возмущений по напряженности приземного поля.

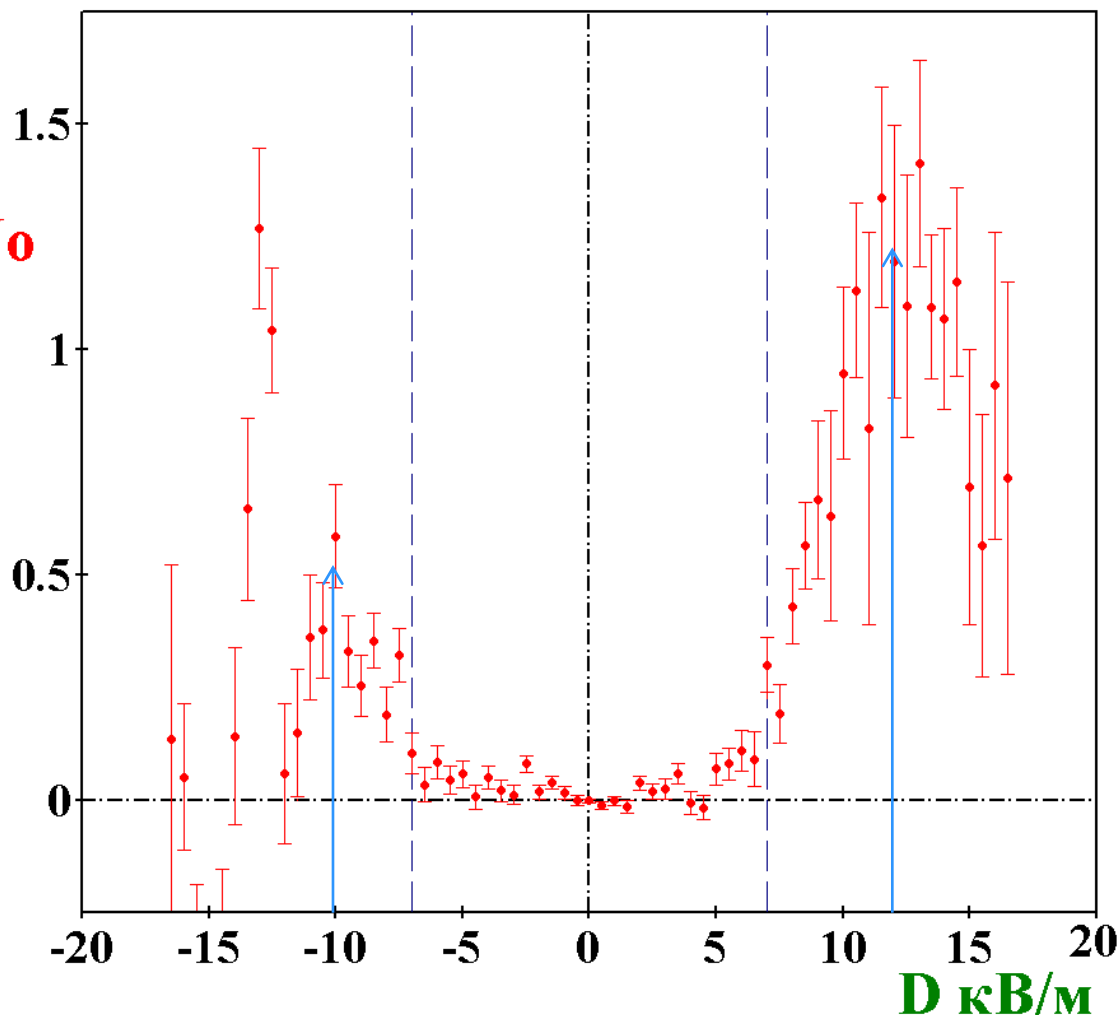
Особые точки
распределения:

± 7 кВ/м - порог для
аномальных
возмущений

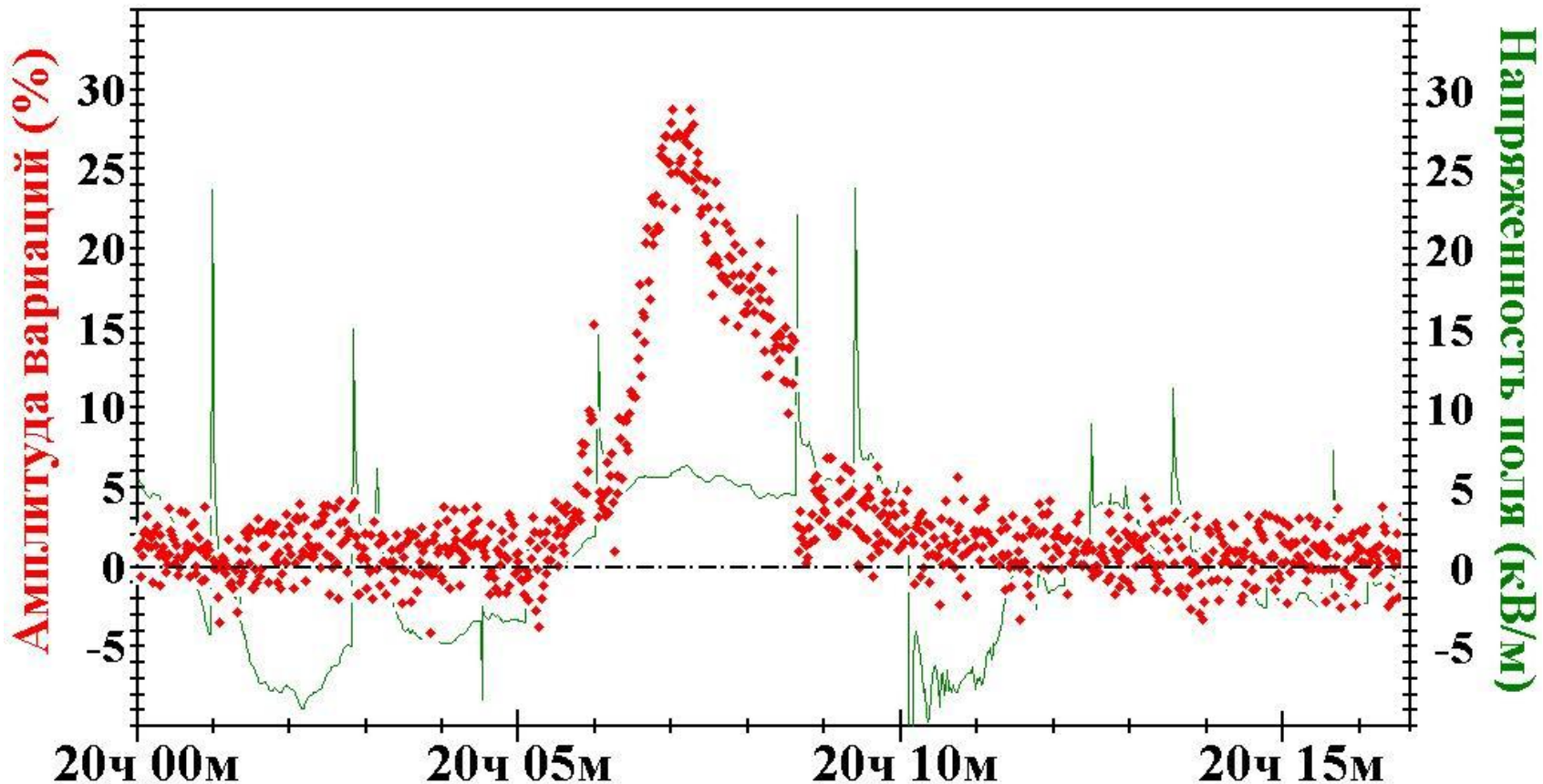
-10 кВ/м – средняя
отрицательная
напряжённость
максимальных
возмущений-

12 кВ/м – средняя
положительная
напряжённость
максимальных
возмущений

$\Delta N/N_0$
%



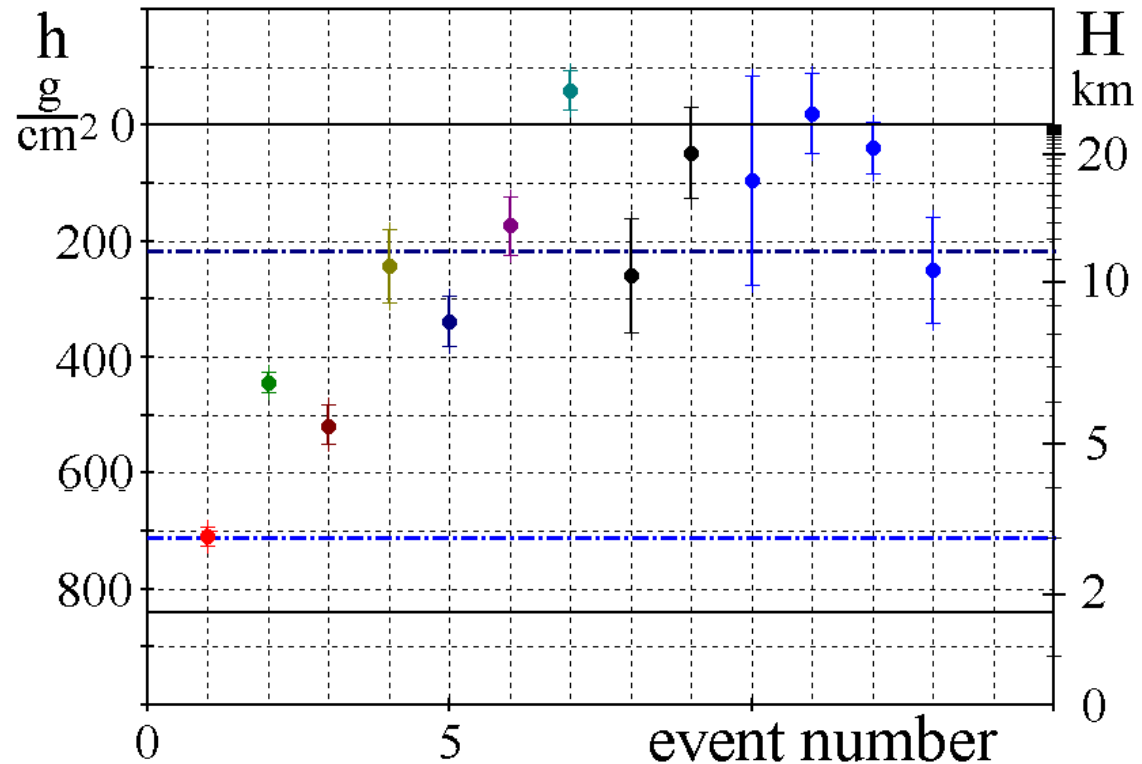
Максимальное зарегистрированное возмущение 2003,11,10.



Диапазон энергий 10-30 МэВ. Время дискретизации 1 сек.

Расстояние до области генерации

N S Khaerdinov and A S Lidvansky.
[Heights of Generation of Runaway
Electrons in Bright Cosmic Ray
Events Observed on the Ground
during Thunderstorms](#). 2013 *J.
Phys.: Conf. Ser.* **409** 012225



- Теоретически восстановленные высоты генерации фотонов лавинами убегающих электронов. Верхняя и нижняя сплошные линии отмечают уровень ионосферы и установки. Штрих - пунктирные линии отмечают эффективный уровень генерации мюонов (11.4 км) и уровень 0 – ой изотермы (3 км) для середины октября в районе установки

- **Выводы.** Модель пробоя на убегающих электронах на высоте 0-ой изотермы объясняет наблюдаемое максимальное возмущение (11.10.2003).
- **Замечания.** Мы ничего не знаем о поле в месте генерации, а лишь наблюдаем стабилизацию приземного, в районе максимального значения.
- **Задача.** Определить среднее поле в районе 0-ой изотермы соответствующее пороговым точкам в распределении возмущений.

Способ решения

- Построить высотную зависимость грозового поля не противоречащую его средним параметрам, экспериментально определённым по вариациям мюонов.
- Определить напряжённость отвечающую приземной в особых точках, для высот 0-ой изотермы.

Метод

- Результатом теоретического анализа вариаций мюонов, опубликованного в работе [N. S. Khaerdinov and A. S. Lidvansky. [Variations of cosmic ray muon flux during thunderstorms](#). 2013 *J. Phys.: Conf. Ser.* **409** 012230] является расчёт коэффициентов регрессии, где влияние поля выражено через параметры его характерной геометрии.
- Имея экспериментально определённые коэффициенты квадратичной регрессии для интенсивностей мюонов с двумя энергетическими порогами регистрации (100 и 1000 МэВ), получаем четыре оценки.
- Сравнивая расчёт с экспериментом оцениваем четыре неизвестных параметра определяющие вариации мюонов.

Средние параметры определяющие вариации мюонов на уровне земли:

η_D 0.1-1 ГэВ	h_{ef}	k_D	m_σ
1.173(1±.04)	3.3(1±0.1) км	5.2(1±.12)	1.7(1±.13)

1 η_D – отношение интенсивностей мюонов разного знака в области энергий 100-1000 МэВ на высоте установки.

2 h_{ef} – эффективная высота расположения локального заряда в атмосфере (в км от уровня моря).

3 k_D – эффективное значение коэффициента связи приземной напряжённости и усредненного по высоте значения напряжённости в области ниже уровня локального заряда.

4 m_σ – значение коэффициента связи усредненной по высоте напряжённости и среднего стандартного отклонения для области ниже уровня локального заряда.

Эти характеристики накладывают рамки на возможные модели распределения электрического поля по высоте.

Результат:

$$\beta(z) = \frac{a \cdot \beta(h)}{z + a - h - \Delta h}, \quad z \geq h + \Delta h, \quad \beta(z) = \frac{-1}{h - t} \int_h^{z_0} \beta(x) dx, \quad h \geq z > t$$

$$\beta(z) = \beta(h), \quad h + \Delta h \geq z > h, \quad \beta(z) = 0, \quad t \geq z$$

β - нормированная на плотность напряжённость.

Удовлетворяет условиям модель гиперболической зависимости, с постоянной, напряжённостью, на протяжении последнего участка толщиной Δh .

$$h = 688(1 \pm 0.1) \text{ г/см}^2 \quad (3.3 \pm 0.4) \text{ км}, \quad \Delta h = 5.4(1 \pm 0.4) \text{ г/см}^2 \\ (80 \pm 35) \text{ м}, \\ a = 3.3(1 \pm 0.5) \text{ г/см}^2 \quad (44 \pm 23) \text{ м}. \quad \beta_h / \beta_{z_0} = 42(1 \pm 0.2).$$

Значения напряжённостей для высоты $h=3.3$ км, в единицах критической ($D_c = 218$ кВ/м при н. усл.) соответствующие «особым» точкам распределения вариаций:

$$D_h/D_{c(7\text{кВ/м})} = 1.71 \quad (1.20-1.79)$$

$$D_h/D_{c(10\text{кВ/м})} = 2.44 \quad (1.71-2.56)$$

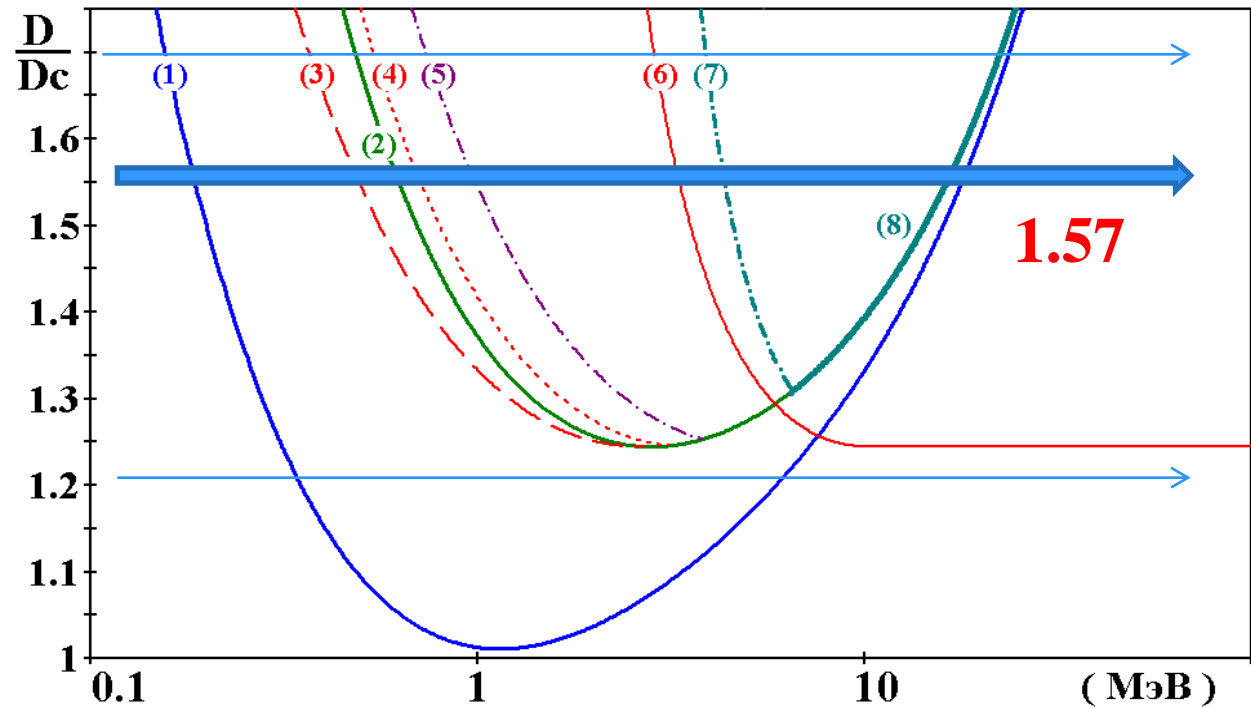
$$D_h/D_{c(12\text{кВ/м})} = 2.93 \quad (2.05-3.08)$$

При этих напряжённостях должен идти пробой на убегающих электронах в при пороговом режиме.

Что и было зарегистрировано **11.10.2003**.

Различные процессы связанные с убегающими электронами.

Границы областей существования процессов связанных с ускорением частиц в поле бесконечной протяженности, вычисленные для предельных случаев.



- (1) - Возможность возникновения начального регулярного ускорения.
- (2) - Убегание (регулярное движение без торможения) на бесконечности ($t \rightarrow \infty$).
- (3) - Убегание со старта ($t = 0$) при начальном движении вдоль ускоряющего действия поля и нулевом значении начальной дисперсии.
- (4) - Убегание со старта вдоль поля, при максимальном значении начальной дисперсии.
- (5) - Лавинообразный рост убегающих со старта дельта - электронов.
- (6) - Убегание со старта при начальном движении против ускоряющего действия поля и нулевом значении начальной дисперсии.
- (7) - Циклическая генерация убегающих частиц (e^\pm).
- (8) - Линия устойчивого состояния частиц (e^\pm) поддерживающих циклическую генерацию во времени.

Выводы

- На основе модели влияния электрического поля на интенсивность мюонов, разработан независимый метод диагностики распределения поля в нижней атмосфере.
- Независимо подтверждено, что случаи аномальных возмущений интенсивности мягкой компоненты являются следствием пробоя на убегающих электронах в припороговом режиме.
- Этот тип пробоя в условиях данных наблюдений является причиной ограничения роста приземной напряжённости.

*Комплексное исследование энергичных
процессов в грозовых облаках*

*К.Х. Канониди, А.Н.Куреня, А.С.Лидванский,
М.Н.Хаердинов, Н.С.Хаердинов*

ИЯИ РАН

- **Цель проекта** – дальнейшее развитие исследований **электрического пробоя нового типа**, инициируемого в грозовой атмосфере убегающими электронами при полях близких пороговому значению для их существования.

- Явление имеет **свои особенности**. С одной стороны, лавинное размножение убегающих электронов в поле и обратная связь, определяет его как «самостоятельный разряд», с другой стороны, припороговый режим строго ограничивает процесс в пространстве и в амплитуде. Таким образом, этот разряд на убегающих электронах – аналог коронного разряда, базирующийся на вторичных частицах космических лучей. Соответственно, и проявление его в природе, помимо специфических эффектов, как например генерация **энергичных гамма – квантов и нейтронов**, должно сопровождаться и эффектами свойственными обычному коронному разряду, а именно: **электромагнитного и оптического излучения**, очеркивая область развития.

- **Задача** – экспериментальное и теоретическое исследование свойств медленно текущего пробоя на убегающих электронах. Анализ оптических и магнитных эффектов в нижней и средней атмосфере во время гроз, определение их связи с вариациями космических лучей регистрируемых наземной установкой. Разработка метода количественного описания генерации и транспорта фотонов оптического спектра, рождаемых в результате медленно текущего пробоя убегающими электронами в атмосфере над установкой.

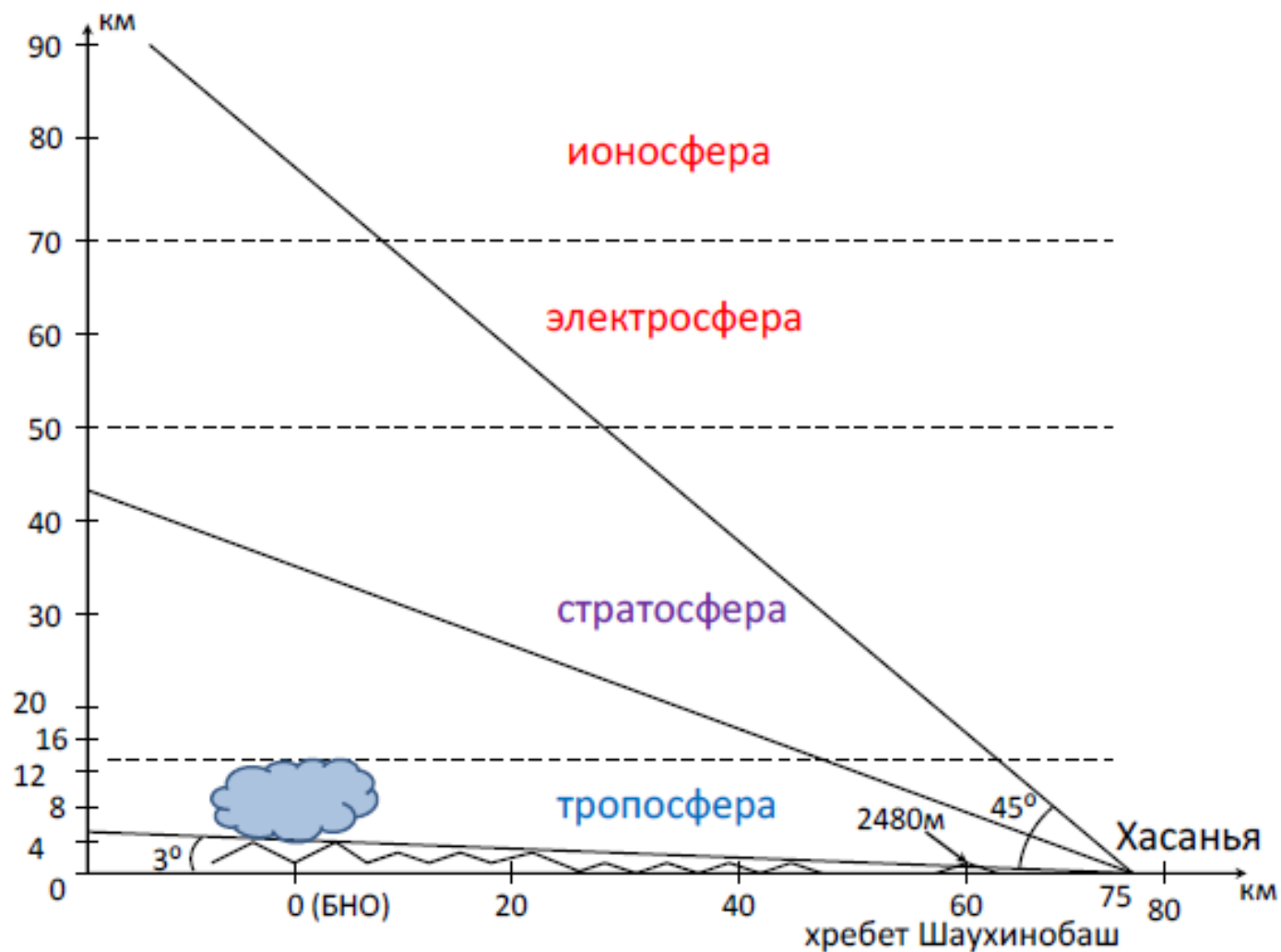
Описание эксперимента

Процессы, происходящие в грозовой период в непрерывном режиме фиксируются комплексом установок «Ковёр» БНО ИЯИ РАН. Установки способны регистрировать как поток мюонов, зондирующий грозовую атмосферу, так и поток генерируемых грозовыми полями гамма – квантов. Данные по вариациям геомагнитного поля регистрируются магнито-вариационной станцией расположенной в подземном тоннеле в удалении 4.5 км. Глубокое залегание датчика от поверхности земли (~1км) гарантирует высокую защиту от влияния токов по земле. Область неба над установкой непрерывно фиксируется двумя удалёнными видеокамерами. Расстояние до одной 1км, до другой 75км. Чувствительность регистрации вариаций освещённости камер за секунду экспозиции $\sim 10^{-8}$ л (10^{-10} Вт/м²)

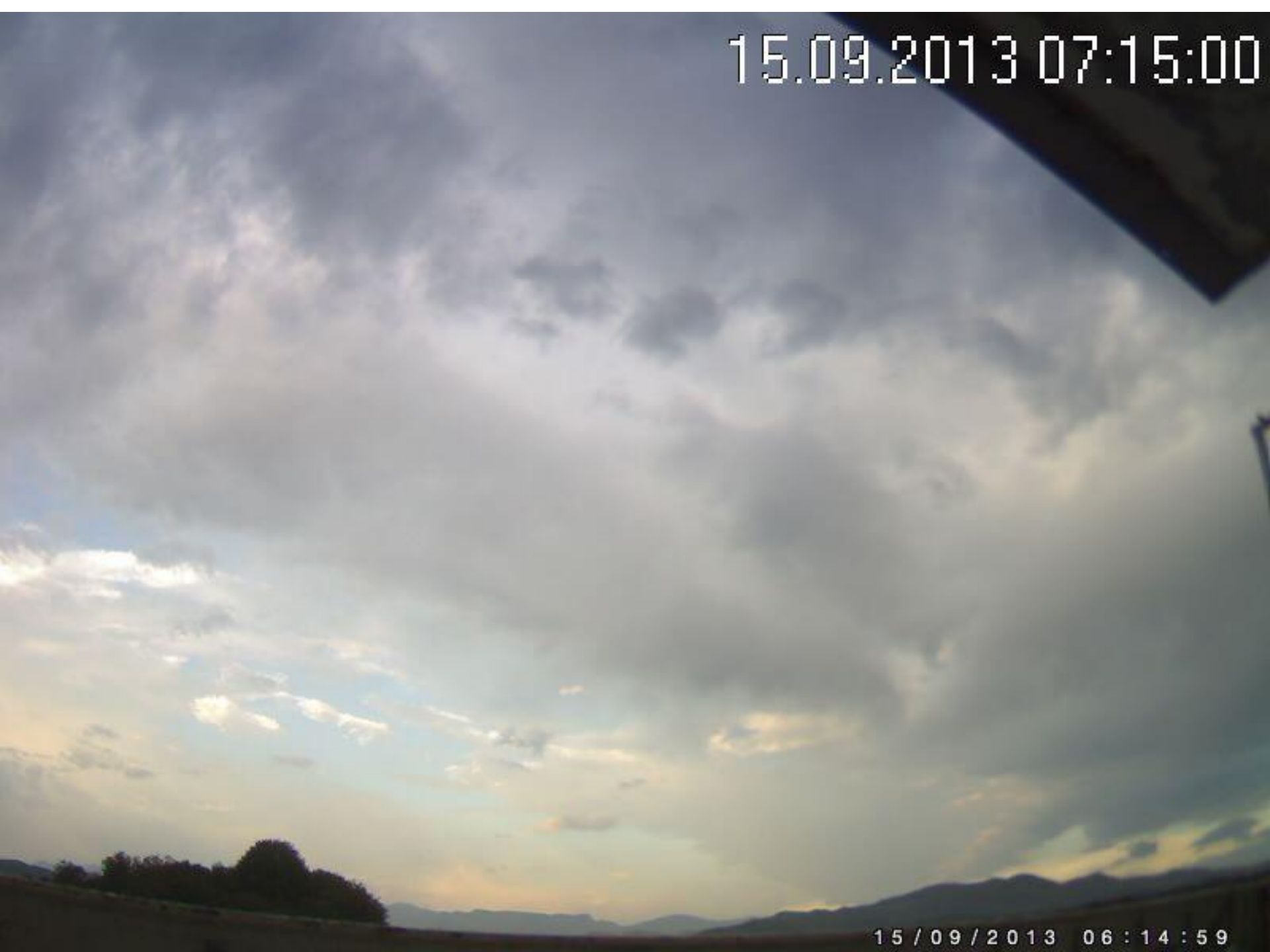
Место установки удалённой камеры



Ориентация наблюдения



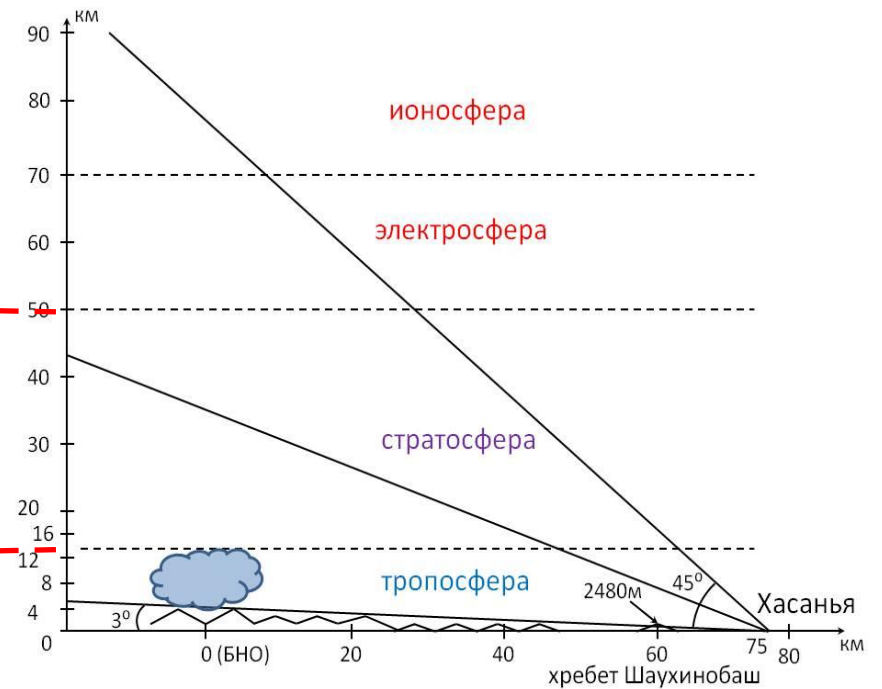
15.09.2013 07:15:00



15 / 09 / 2013 06 : 14 : 59



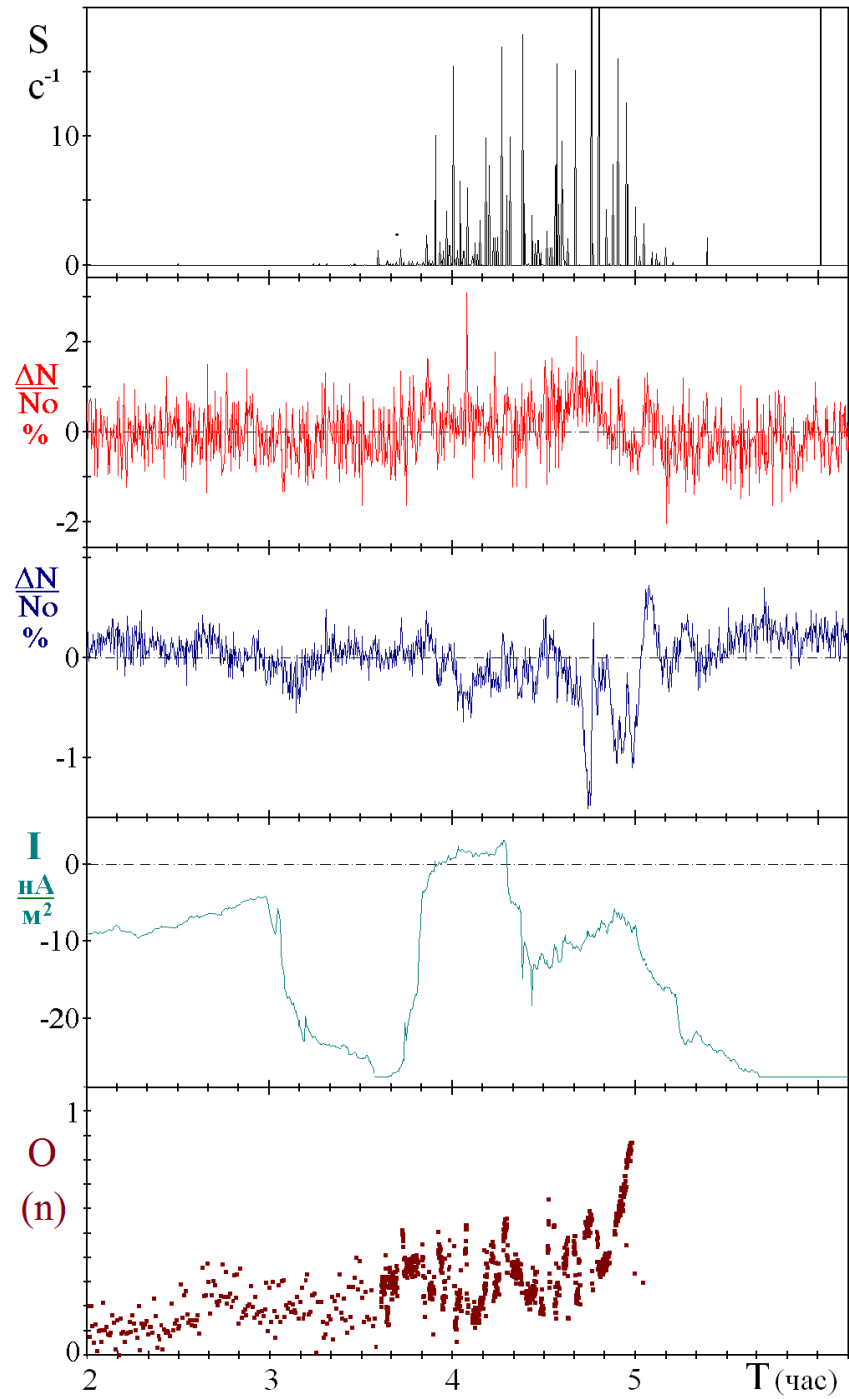
Характерные участки наблюдения



Примеры наблюдений

Грозовое событие 31.07.2013

Имеется «тенденция»
корреляции вариации
освещённости ближней камеры
в период грозы (10^{*-8} л), с
дождём и вариациями мюонов.



Регистрация непрерывного свечения ($.5 \cdot 10^{-7}$ л) области тропосферы над установкой удалённой видеокамерой.

Средняя освещённость ближней камеры.

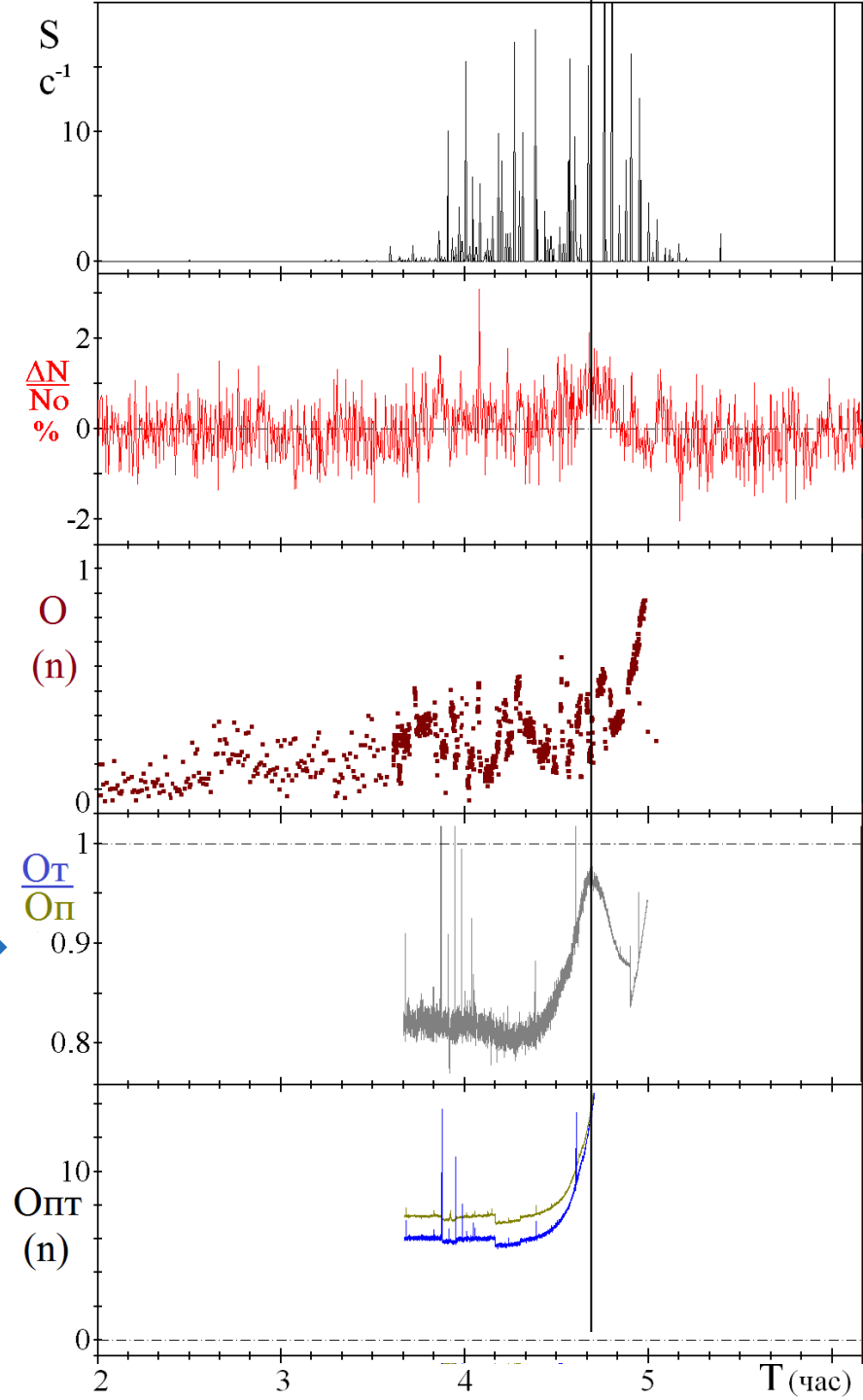


Удалённая камера:

Отношение яркости области тропосферы к средней яркости по матрице.



Средняя яркость области тропосферы и всей матрицы.



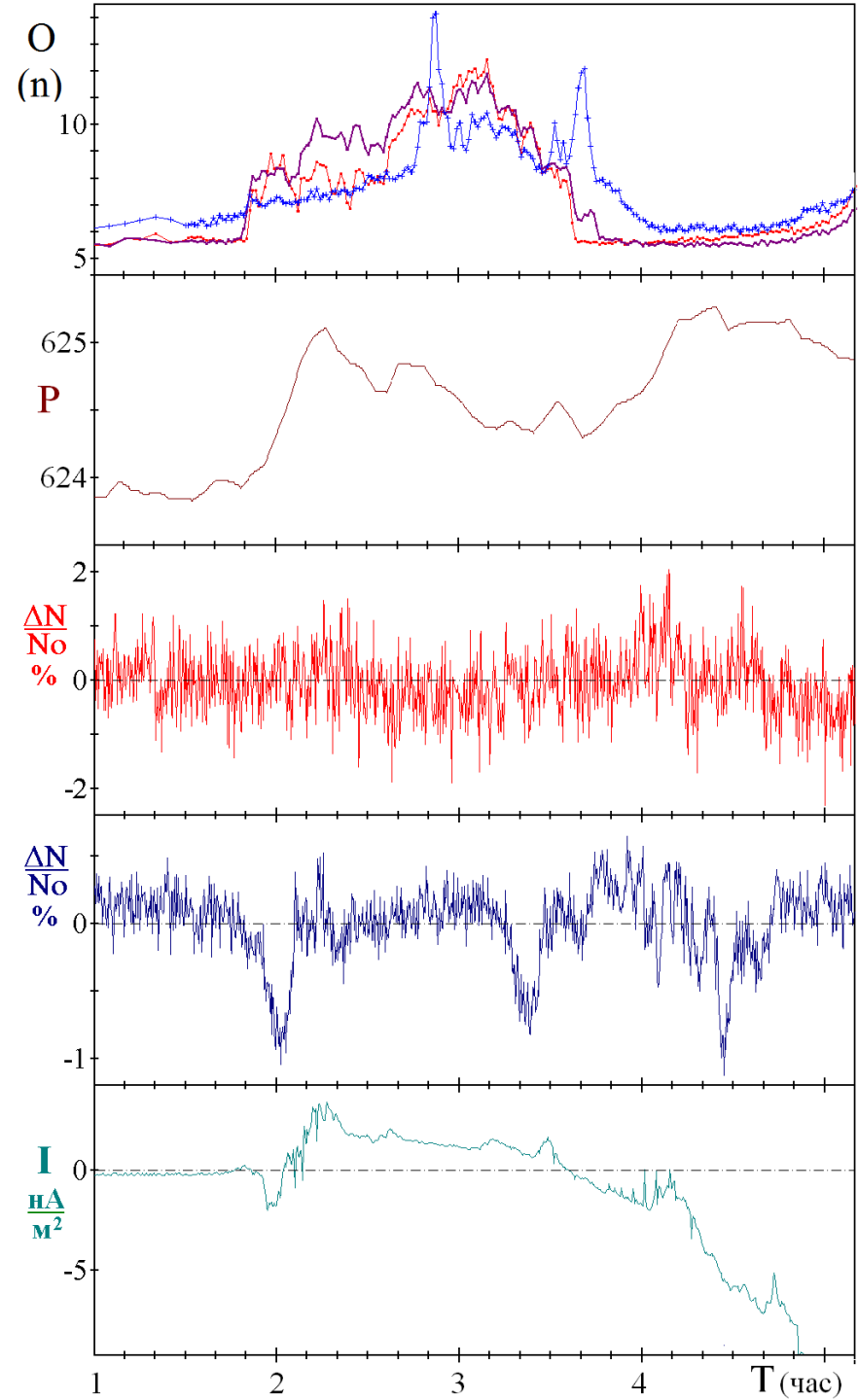
31.08.2013 05:42:00

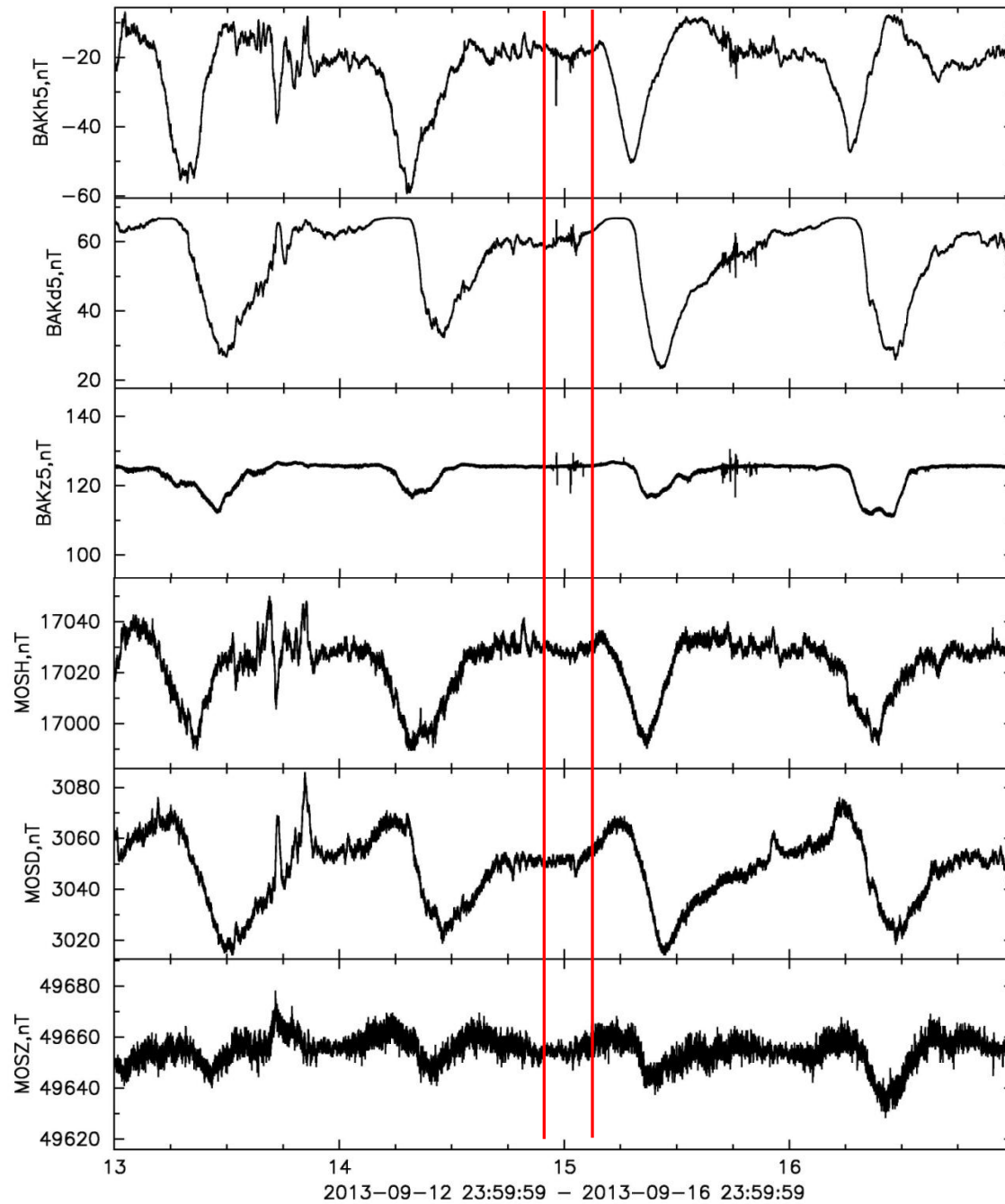
31/08/2013 05:41:59

Грозовое событие 15.09.2013

Регистрация непрерывного свечения

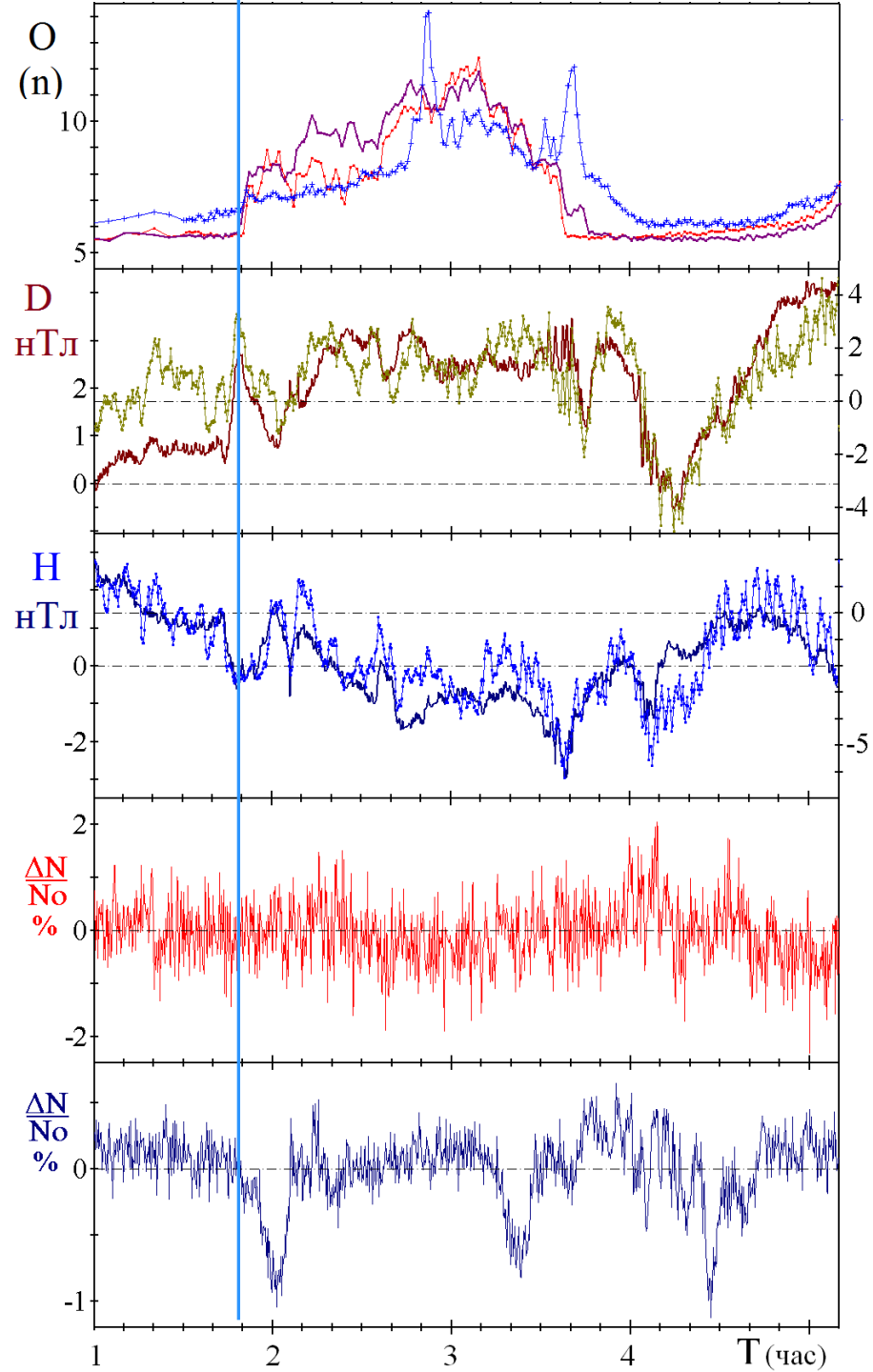
($\sim 5 \cdot 10^{-7}$ л / 10^{-9} Вт/м²)
верхней атмосферы в грозовой
период.





Грозное событие
15.09.2013

Регистрация «включения»
стабилизации
микропульсации глобального
геомагнитного поля в период
свечения
верхней атмосферы.



Выводы

- Эксперимент комплексного исследования энергичных процессов во время гроз демонстрирует стабильную работу
- Зарегистрировано непрерывное свечение грозовых облаков, коррелирующее с аномальными возмущениями мюонной интенсивности и генерацией частиц грозовыми облаками.

Спасибо за внимание

15.09.2013 00:00:00

14 / 09 / 2013 23 : 00 : 09

15.09.2013 01:00:00



15 / 09 / 2013 00 : 00 : 09

15.09.2013 02:48:00

15 / 09 / 2013 01:48:00

15.09.2013 02:50:00

15/09/2013 01:50:00

15.09.2013 02:56:00

15/09/2013 01:58:00

15.09.2013 03:02:00

15/09/2013 02:02:00

15.09.2013 03:04:00

15/09/2013 02:04:00

15.09.2013 03:06:00

15/09/2013 02:06:00

15.09.2013 03:12:59

15/09/2013 02:13:08

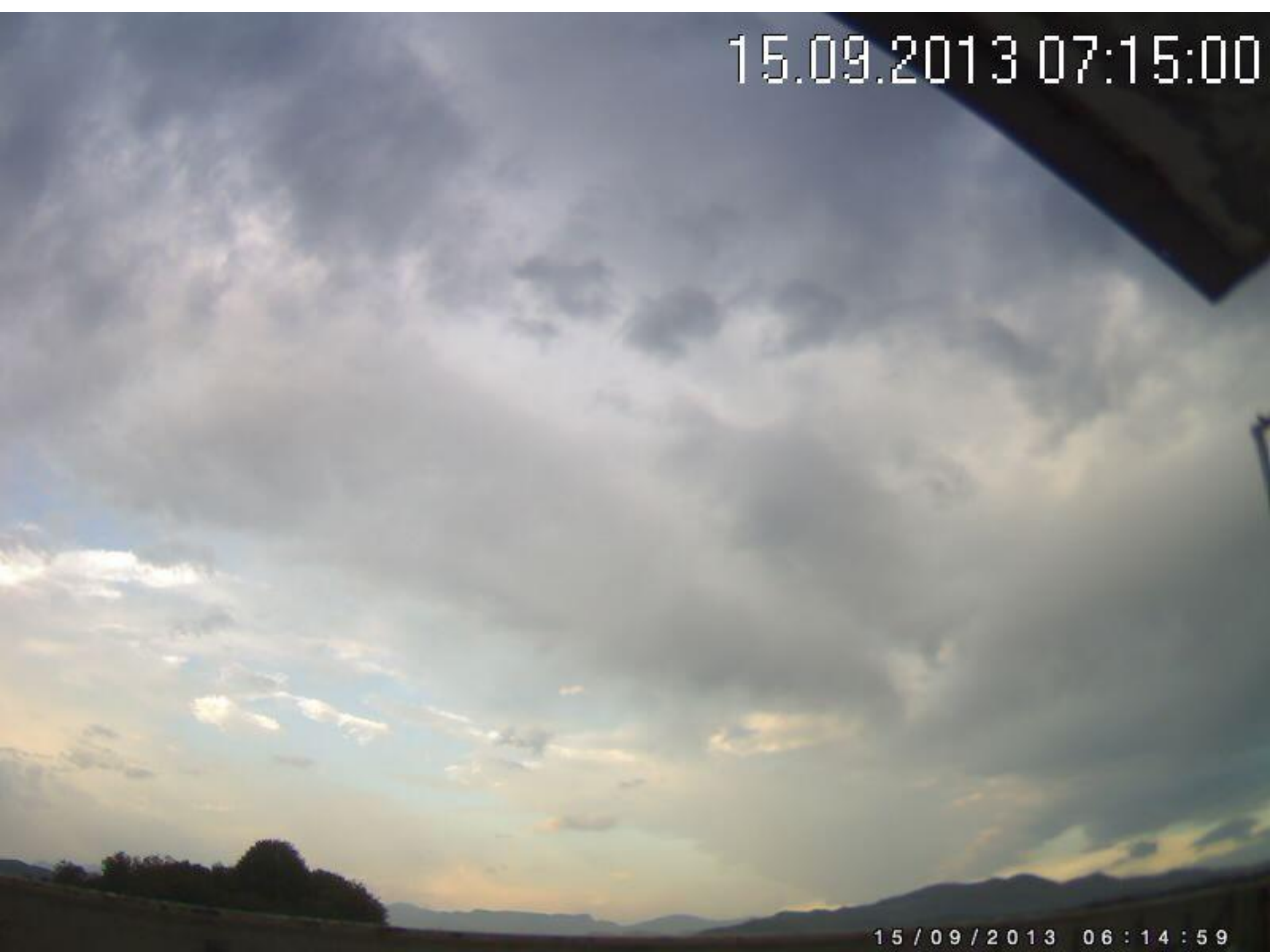
15.09.2013 03:14:00

15/09/2013 02:14:00

15.09.2013 03:22:00

15/09/2013 02:22:00

15.09.2013 07:15:00



15 / 09 / 2013 06 : 14 : 59

Пример коррелированных вариаций
вторичных частиц космических
лучей и свечения облаков
зарегистрированного рядом
расположенной камерой



*Гроза 31 июля
2013 г (1т.- 15с)*

Отметчик разрядов

Мягкая компонента

(10-30 МэВ)

Жесткая компонента

(> 100 МэВ)

Электрический ток

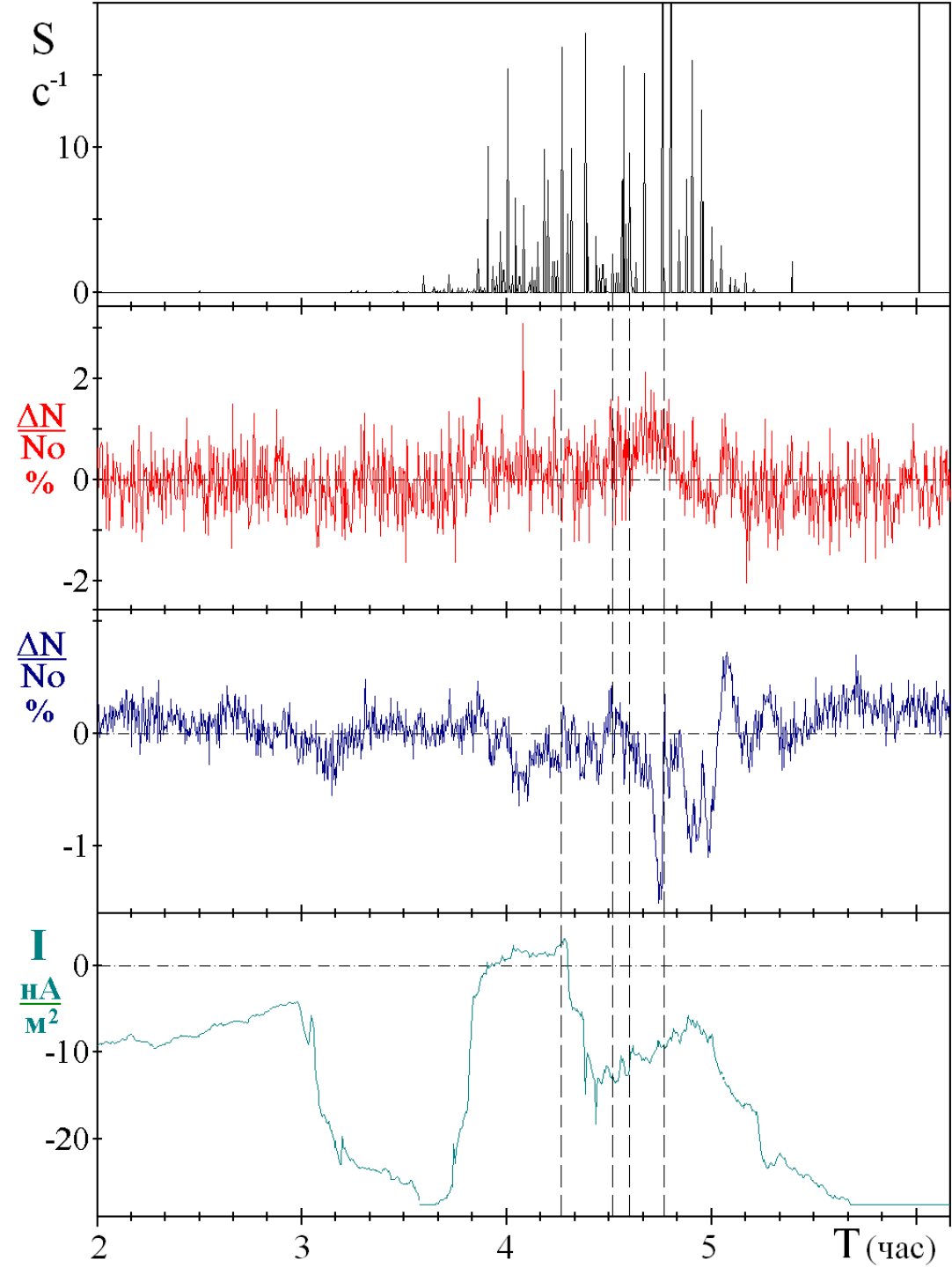
дождя

Пунктиром отмечены

моменты разницы

свечения неба до и

после разряда.



*Гроза 31 июля
2013 г (1м.- 1с)
Эпизод. Подробно*

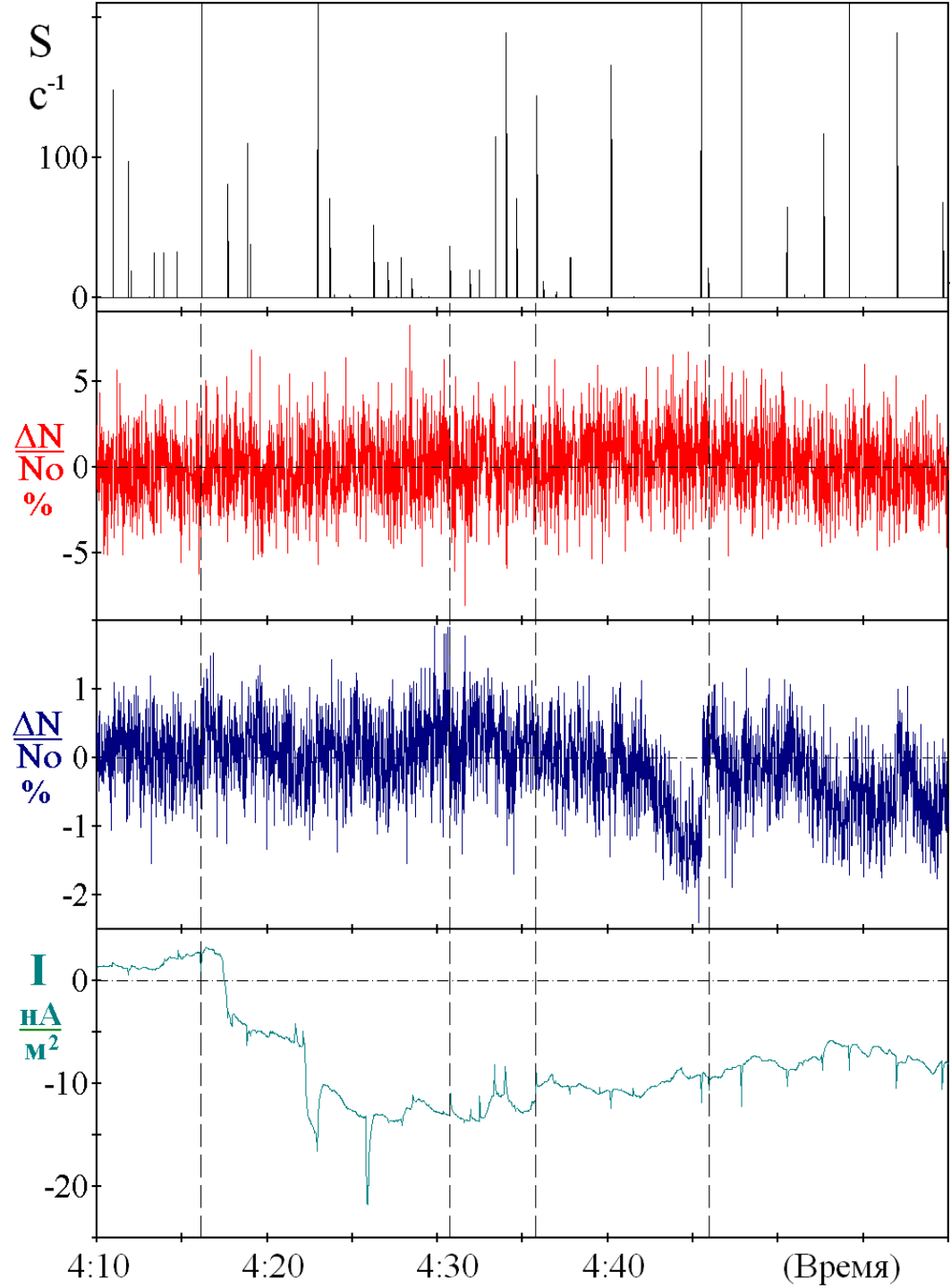
Отметчик разрядов

Мягкая компонента
(10-30 МэВ)

Жесткая компонента
(> 100 МэВ)

Электрический ток
дождя

Пунктиром отмечены
моменты разницы
свечения неба до и
после разряда.



Основные параметры эксперимента по оптическим исследованиям и предварительные результаты

- Время экспозиции $1/3$ с.
- Чувствительность 0.01 л.
- Анализировались ряды крайних кадров до и после разряда
- Разница свечения определялась по фотографиям, по гистограмме оттенков серого. Падение освещённости $\sim 3-4\%$
- Редко бывает просветление.

Выводы

- Медленнотекущий пробой на убегающих электронах крупномасштабное природное явление играющее фундаментальную роль в динамике грозовой атмосферы.
- Проявляется по всей её глубине. Непосредственно участвует в процессе зарядообмена между землёй и ионосферой.

**Корреляция вторичных частиц
космических лучей с вариациями
геомагнитного поля во время гроз**

*Канониди К.Х., Лидванский А.С., Хаердинов Н.С.,
Хаердинов М.Н.*

Постановка задачи

- Существование медленно текущего пробоя стратосферы на убегающих электронах, во время гроз, не противоречит нашим результатам по регистрации возмущений интенсивности вторичных частиц космических лучей. Независимым источником информации о существовании такого пробоя была бы регистрация магнитного поля от токов ионов массово образуемых в этом процессе.

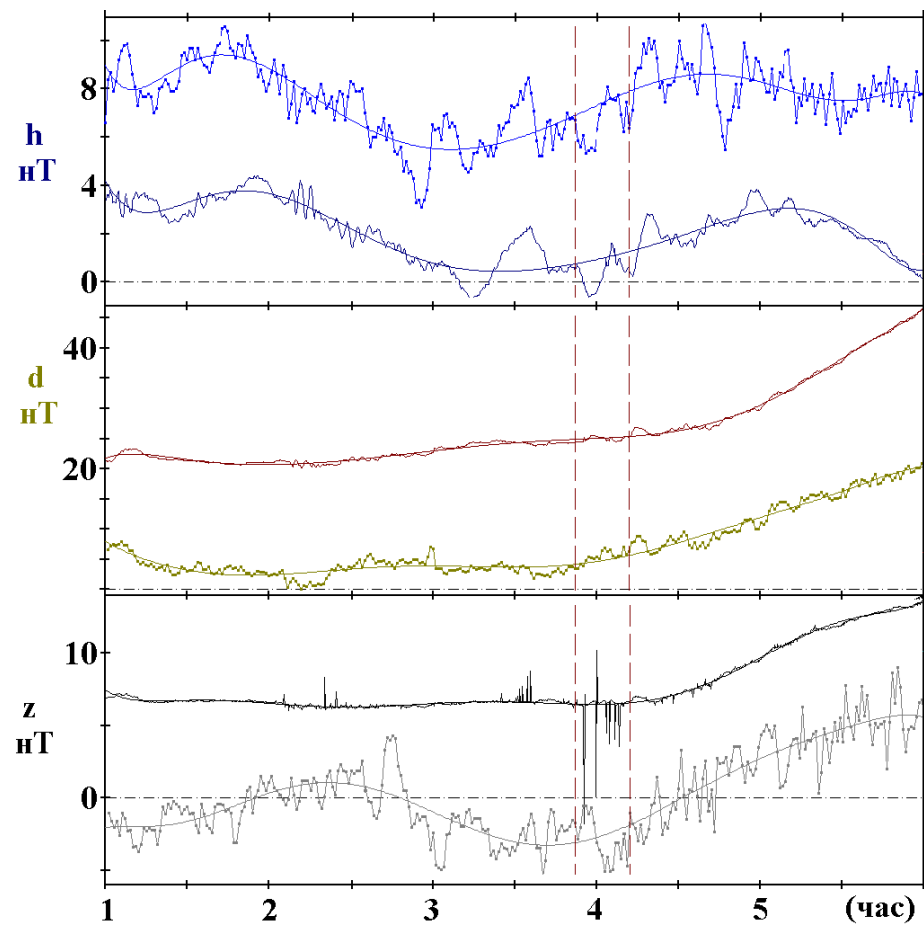
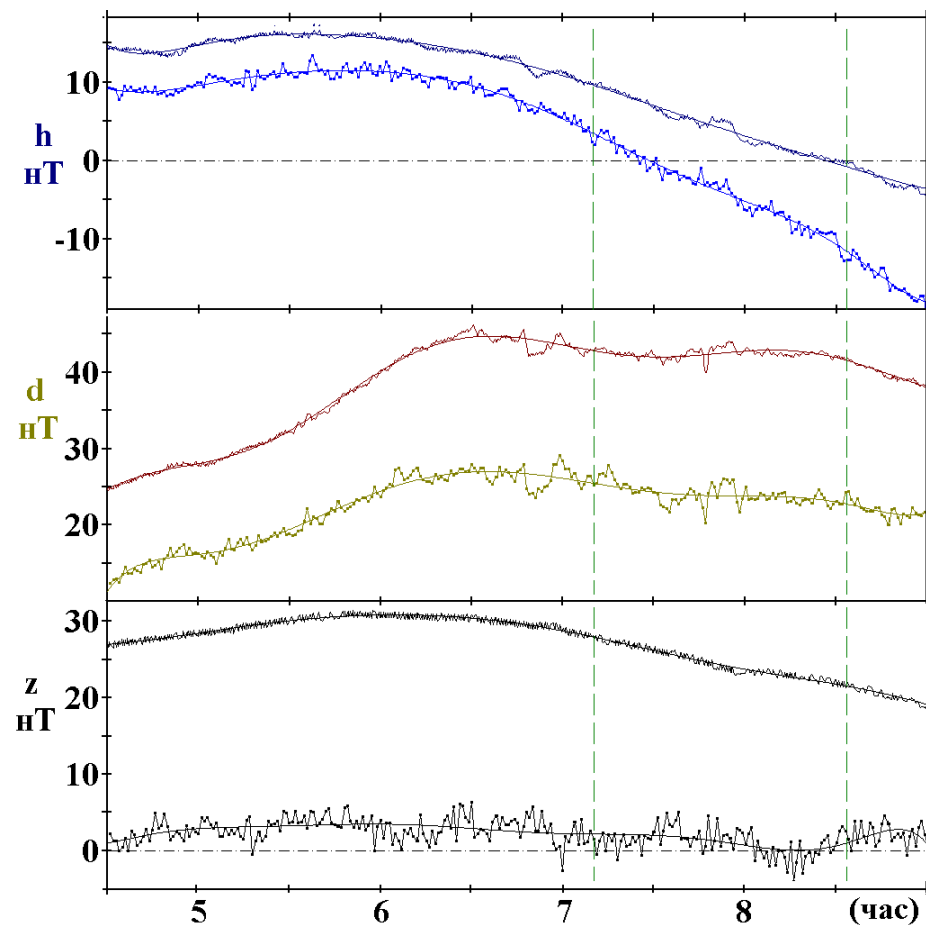
- Поскольку основной причиной возмущений геомагнитного поля являются токи в ионосфере, порождаемые различными процессами, то естественно ожидать, их модулирующее воздействие на разность потенциалов стратосферы.
- Поэтому, в эксперименте, необходимо разделять вариации геомагнитного поля на локальные и глобальные. Для этой цели достаточно привлечь дополнительно данные по измерению вариаций поля в удалённом пункте наблюдения, где бы влияние пробоя не сказывалось.

«Примета» локального эффекта.

- Регистрируются случаи, когда процесс генерации частиц прерывается молниевым разрядом. Момент обрыва обязан отвечать максимальному количеству образованных ионов в критическом поле. И, как следствие, порождать максимум локального микро-возмущения геомагнитного поля. Поскольку поле после молниевых разряда перестраивается за конечное время, максимум магнитного поля от тока ионов должен быть в течение последующей минуты. Это и есть критерий для выявления локальных возмущений магнитного поля от медленно текущего пробоя на убегающих электронах.

Метод

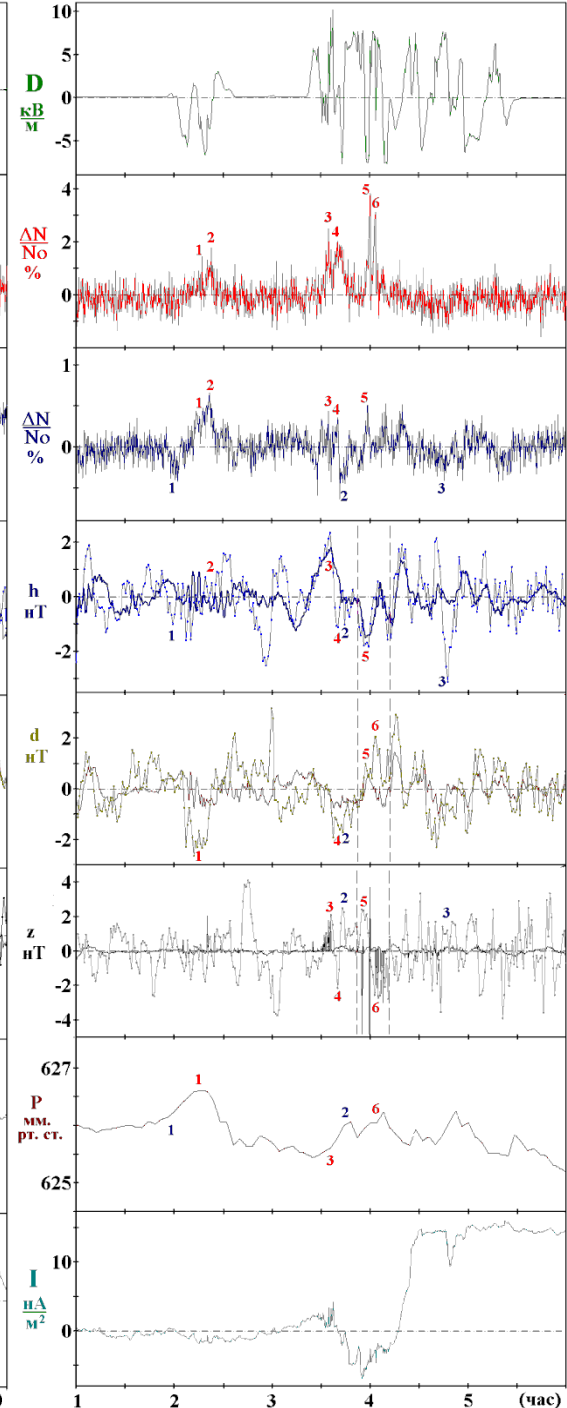
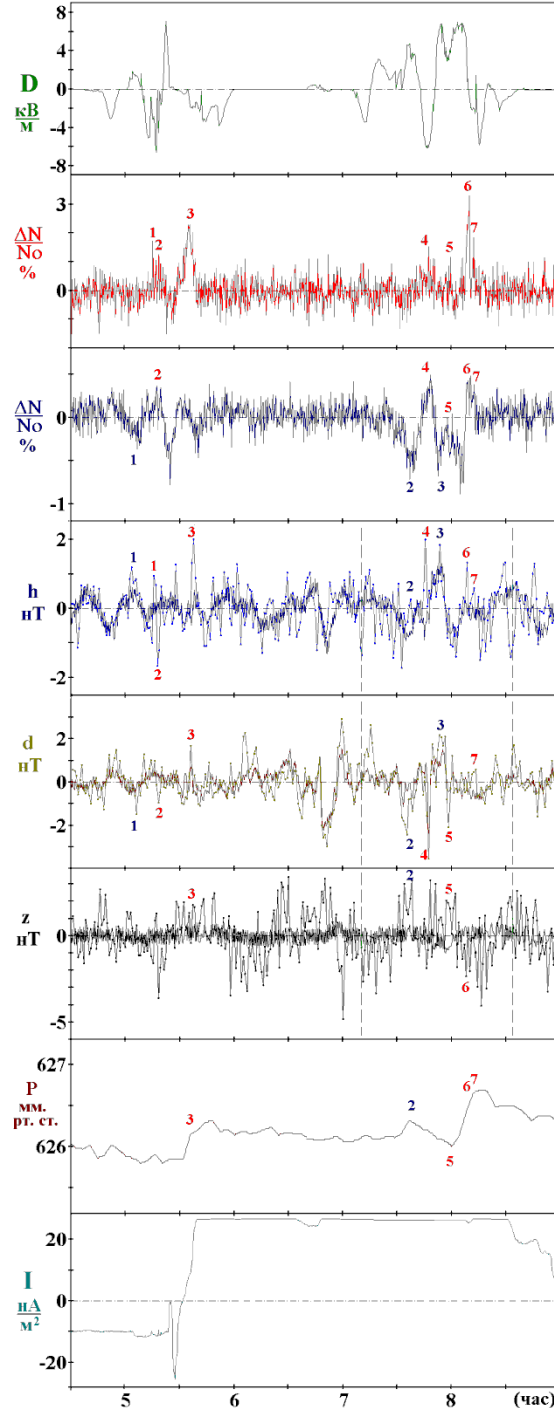
- Анализируется экспериментальный материал по четырём, ранее зарегистрированным грозовым событиям, для которых имеются измерения геомагнитного поля, произведённые в удалённой точке (Москва. ИЗМИРАН). Исследуется разница значений поля, измеренного разными магнитно-вариационными станциями, на предмет корреляции с возмущениями интенсивности регистрации вторичных частиц космических лучей.



Совместные графики вариаций геомагнитного поля за исследуемый период по данным станций «БНО» и «Москва». Интервал усреднения 15 с. а) 1-ая пара грозových событий (31.07.2008), б) – 2-ая пара грозových событий (1.08.2008). Сверху вниз показаны: 1) вариации **h** – компоненты магнитного поля, 2) вариации **d** – компоненты, 3) вариации **z** – компоненты.

Корреляция аномальных возмущений с вариациями геомагнитного поля.

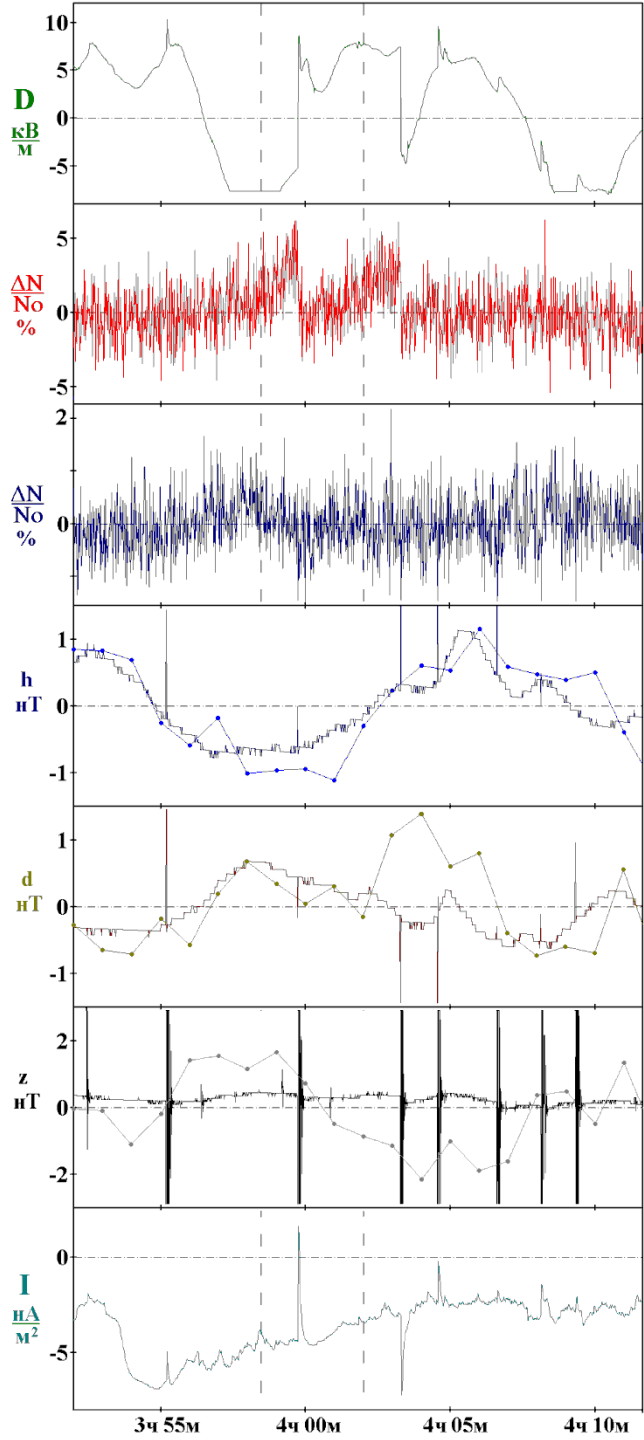
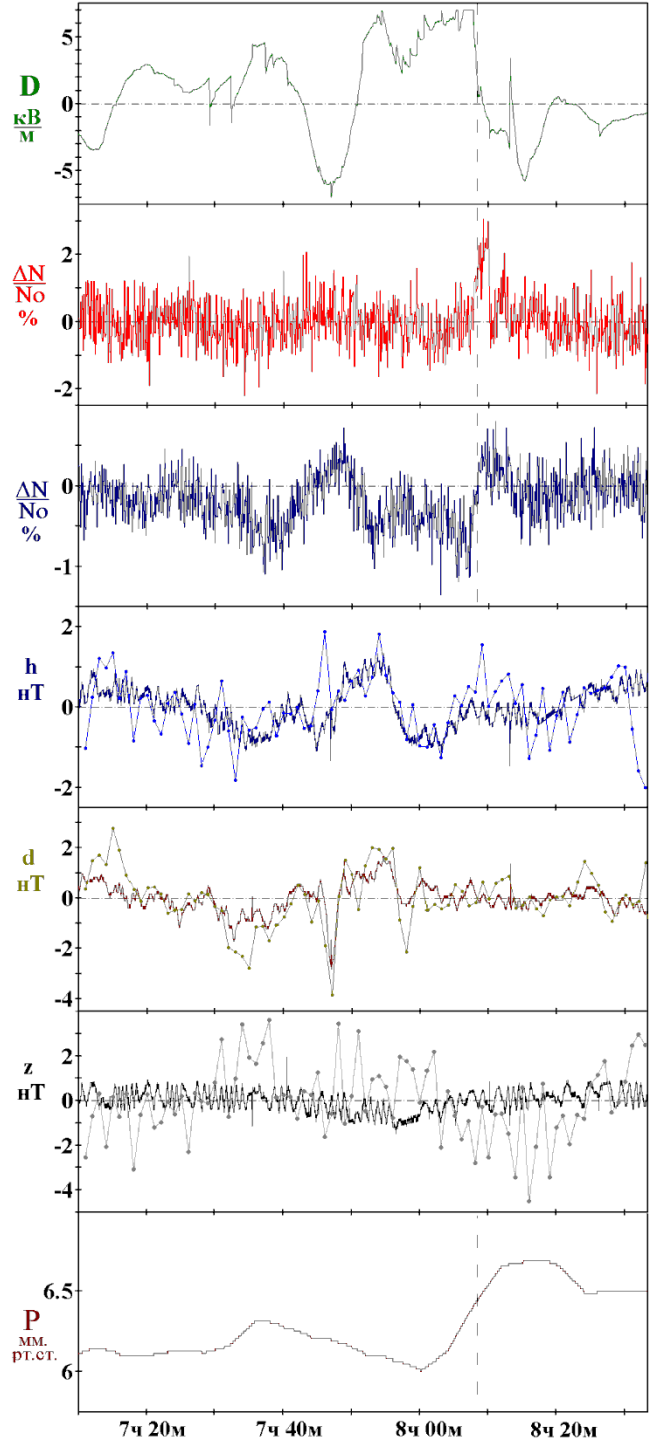
1-ая пара грозных событий (31.07.2008) и 2-ая пара грозных событий (1.08.2008). Интервал усреднения 15 с. Сверху вниз показаны: 1) напряженность приземного эл. поля, 2) вариации мягкой компоненты, 3) вариации мюонов, 4) вариации **h** – компоненты магнитного поля, 5) **d** – компоненты, 6) **z** – компоненты. 7) Атмосферное давление. 8) Электрический ток дождя.



Корреляция аномальных возмущений с вариациями магнитного поля.

а) Эпизод 31.07.2008,
б) Эпизод 1.08.2008.
Интервал усреднения 1 с.

По разнице измерений глобального поля и поля в районе грозы, выделяются микро-пульсации магнитного поля, вызванные пробоем на убегающих электронах.



Выводы

1. Экспериментально обнаружено локальное подавление во время гроз возмущений глобального геомагнитного поля.
2. Стабилизация магнитных пульсаций протекает в режиме медленного пробоя стратосферы убегающими электронами в припороговом режиме.
3. Зарегистрирован факт взаимного влияния возмущений геомагнитного поля и приземной напряжённости электростатического поля.
4. Наблюдается магнитное поле, вызванное током ионов образуемых при медленном пробое на убегающих электронах.

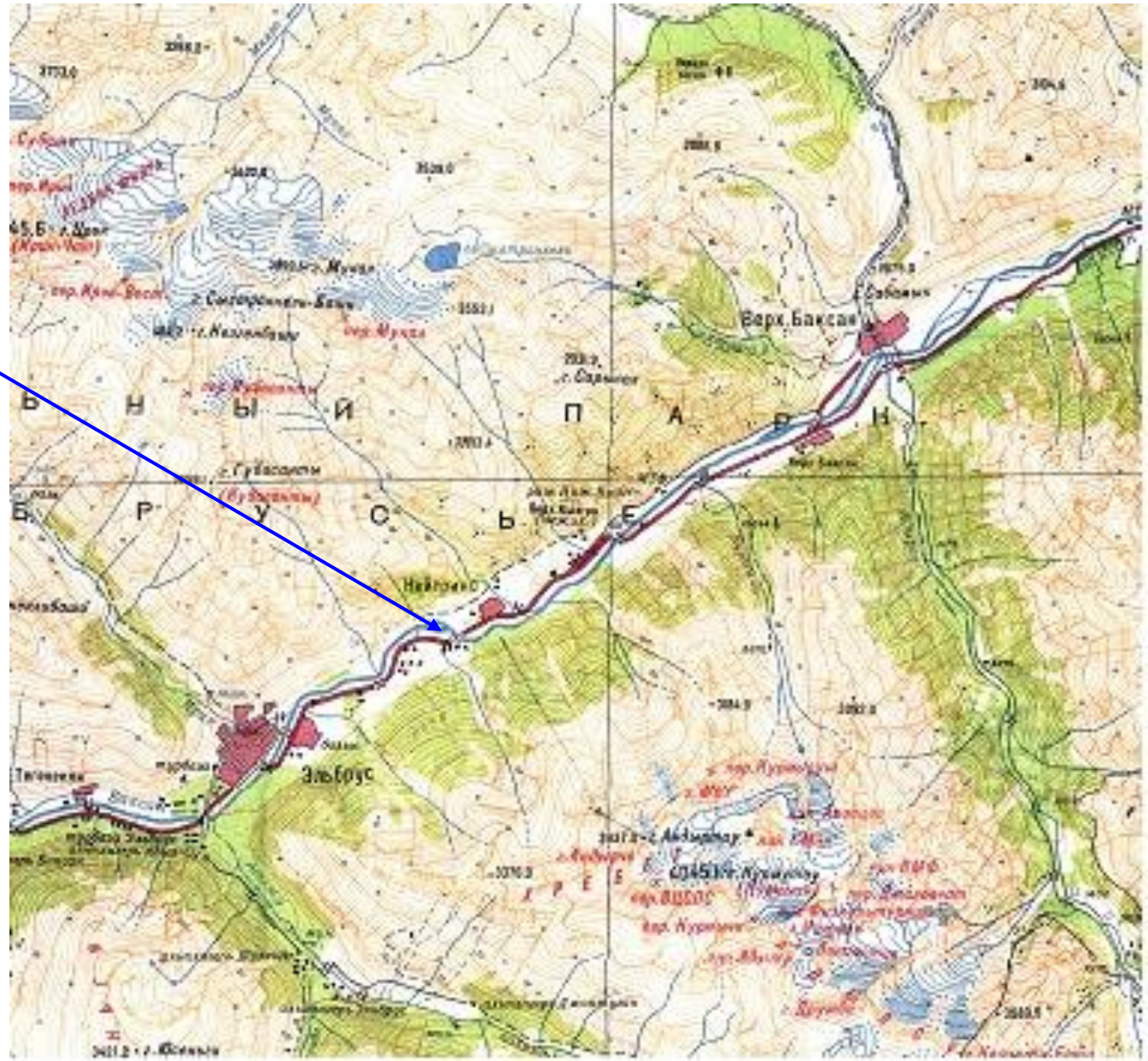
Описание установки

Расположение

Высота
установки
1700м над
уровнем моря.

Расположена в
ущелье.

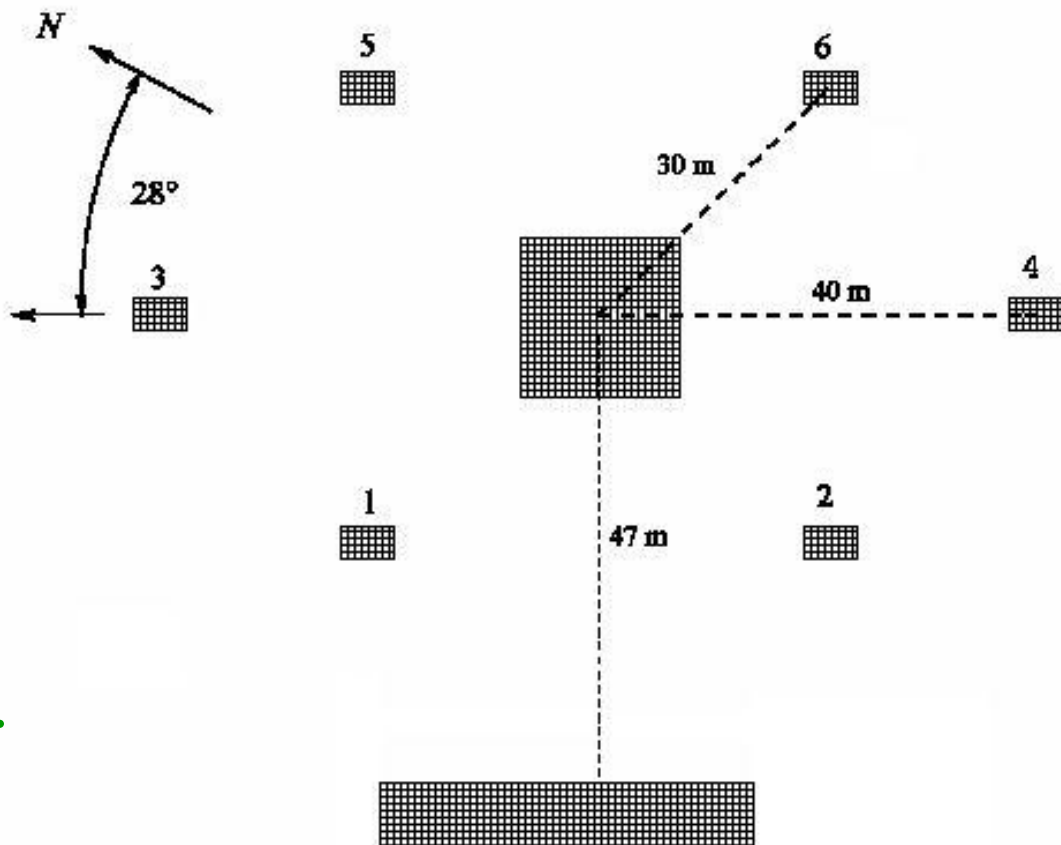
Вершины гор
находятся на
расстоянии 5
км, имеют
высоту 4000м



Установка:

Сцинтилляционные детекторы .

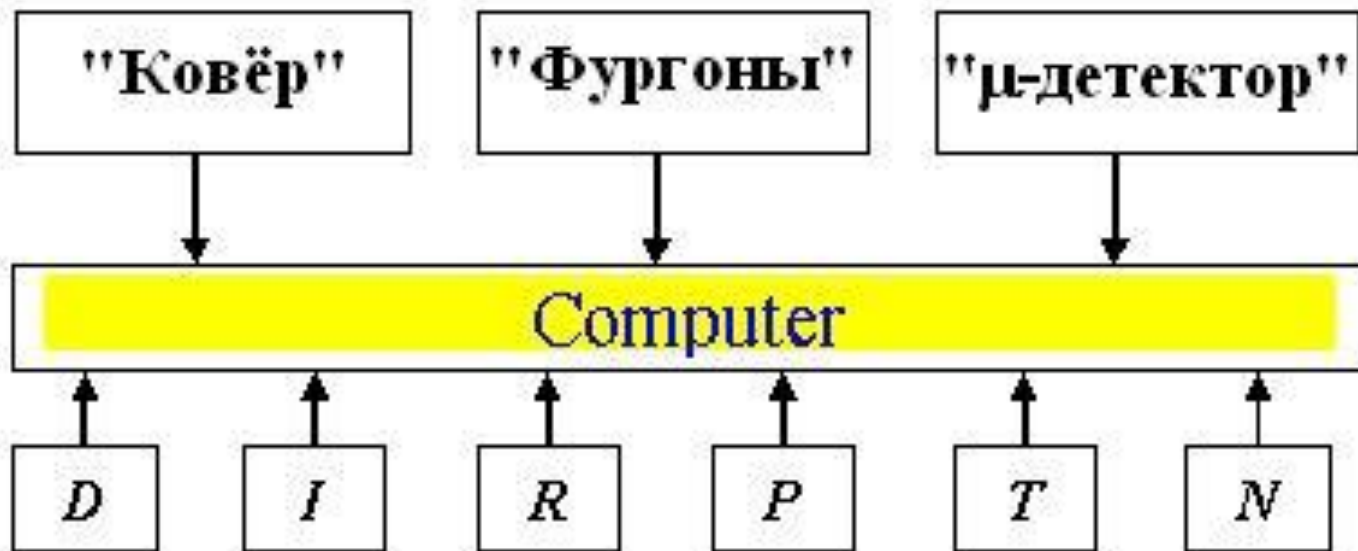
Центральная часть-
«Ковер» (200 м^2)
расположена в здании.



«Фургоны» (54 м^2) - в шести выносных пунктах.

«Мюонный детектор» (175 м^2) в здании подвального типа
- крыша – 2 метра скального грунта.

Блок схема эксперимента



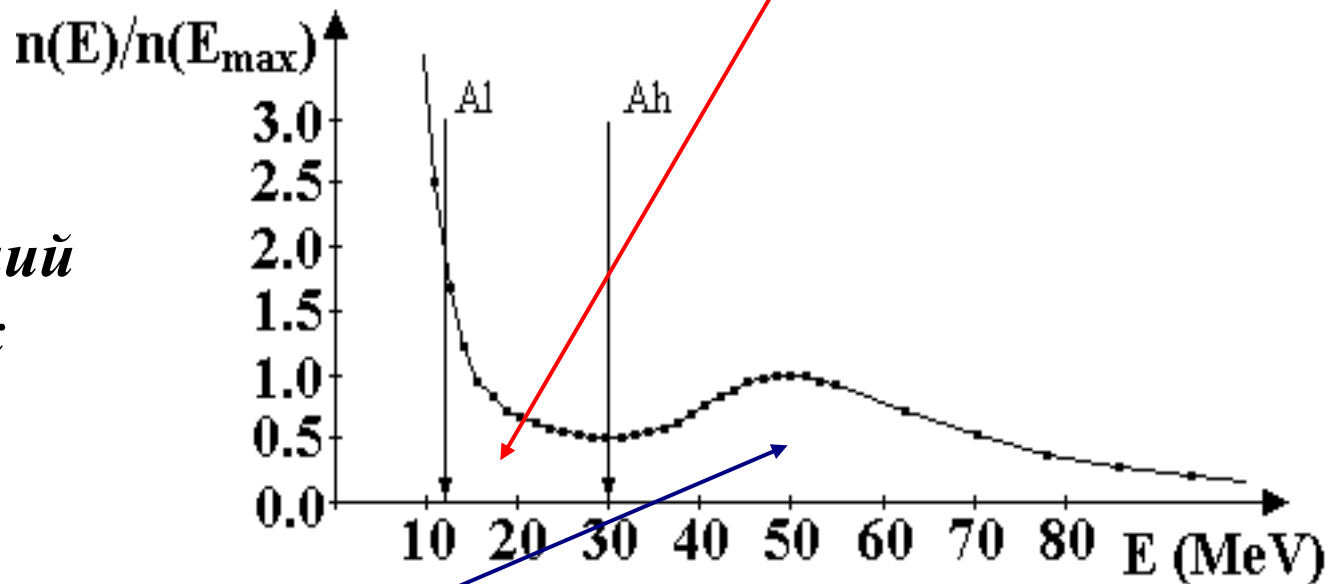
- *D* – напряженность атмосферного поля
- *I* – электрический ток дождя
- *R* – расстояние до канала молнии
- *P* – давление
- *T* – температуры (улицы, детекторов)
- *N* – регистрация электрических помех

Основные каналы информации:

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

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

*Спектр
энерговыведений
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 . **$E(\mu) > 100 \text{ МэВ}$**

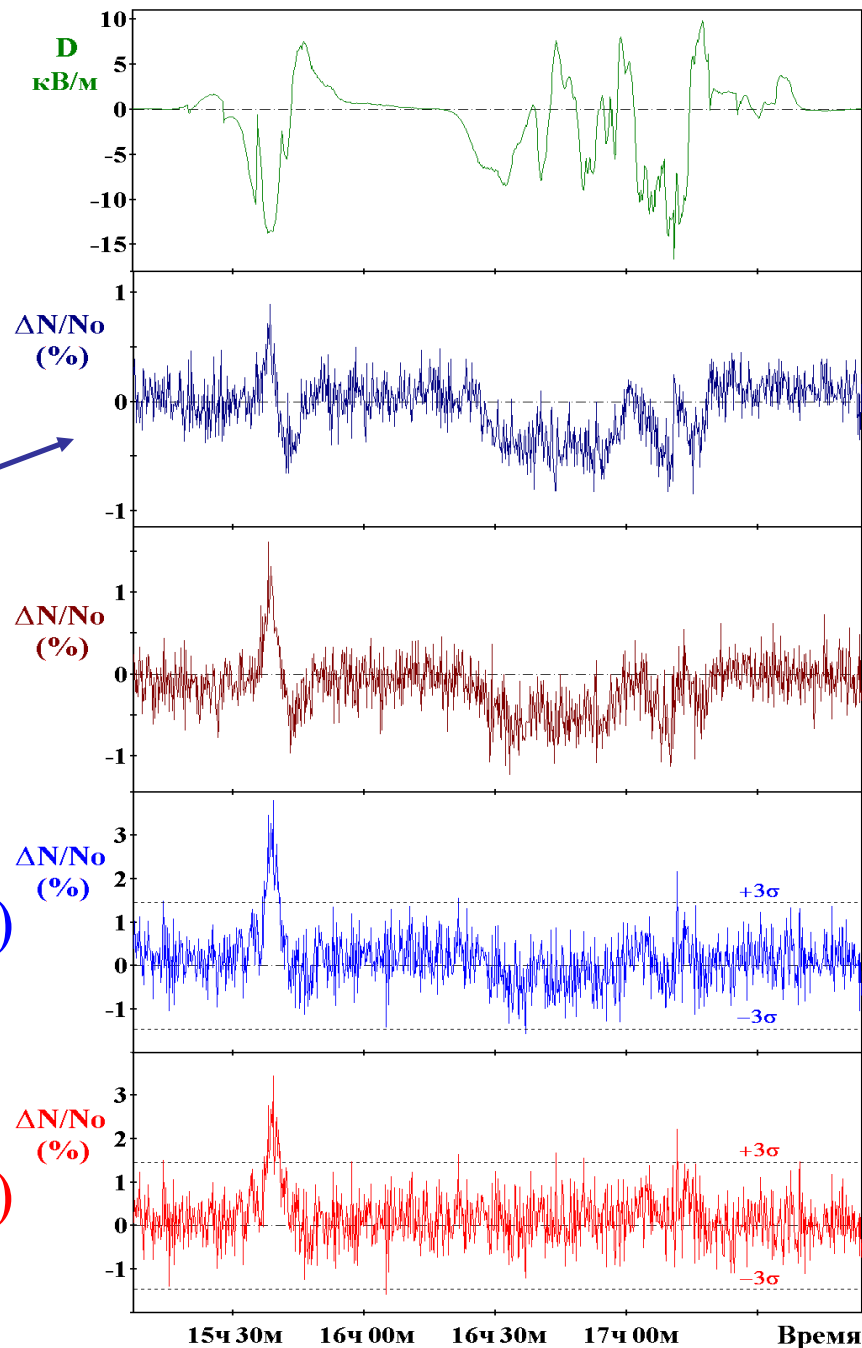
Пример процедуры выделения независимых вариаций жесткой и мягкой компонент во время грозы. гроза 24.09.2000.

Интенсивность ($E > 100 \text{ МэВ}$)
(Жесткая компонента)

Интенсивность ($E > 10 \text{ МэВ}$)

Мягкая компонента ($10 < E < 30 \text{ МэВ}$)

Мягкая компонента ($10 < E < 30 \text{ МэВ}$)
(после коррекции)



Цели:

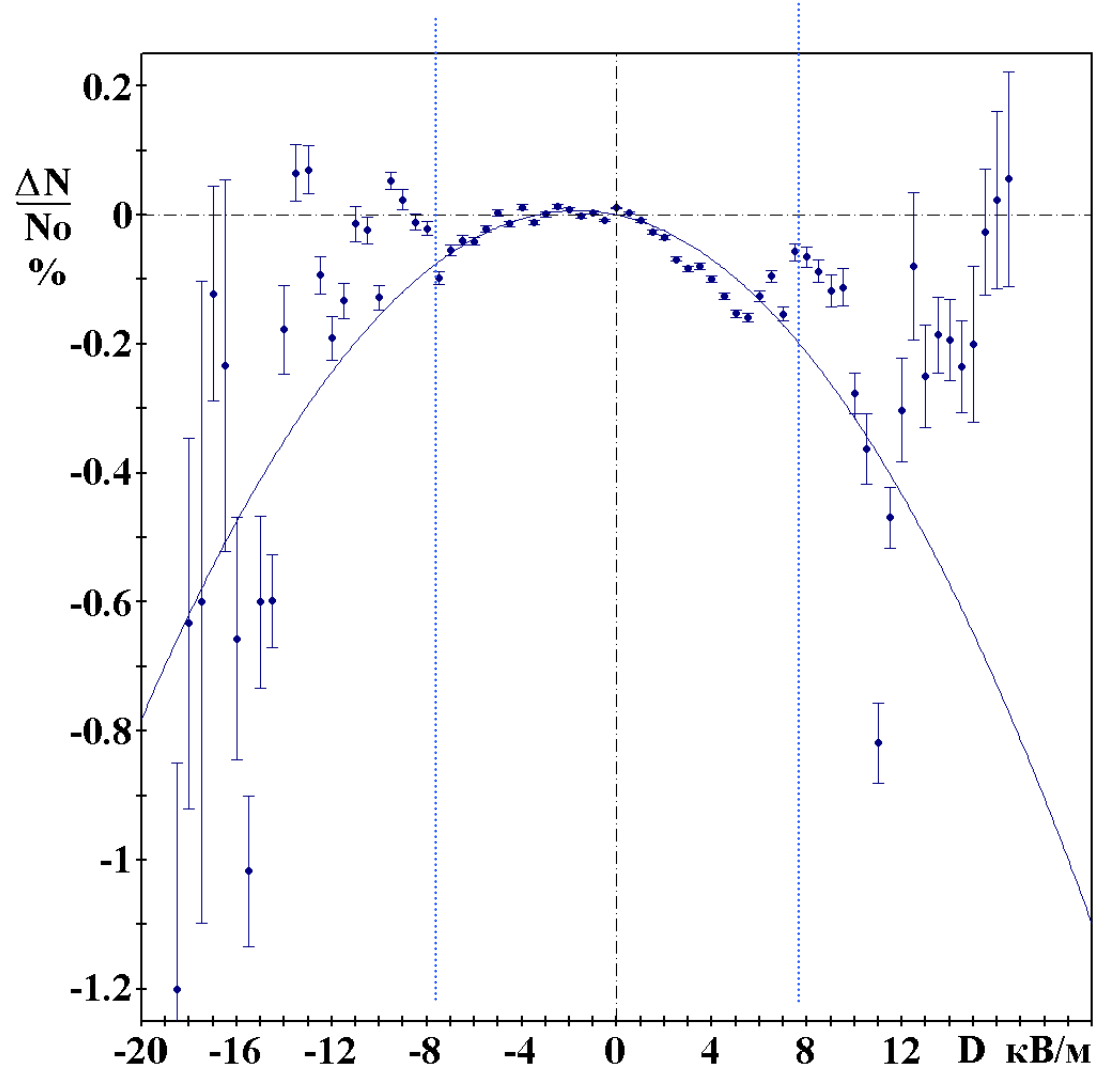
- Построить теорию формирования вариаций вторичных частиц космических лучей, объясняющую как нормальные, так и аномальные возмущения.
- Анализируя регистрируемые возмущения, опираясь на теорию, диагностировать электрическое состояние атмосферы.
- Провести исследование взаимного влияния грозовой атмосферы и магнитосферы.

*Средние характеристики приземного
электрического поля во время гроз по
исследованию вариаций вторичных
частиц космических лучей*

Лидванский А.С., Хаердинов Н.С., Хаердинов М.Н.

ИЯИ РАН

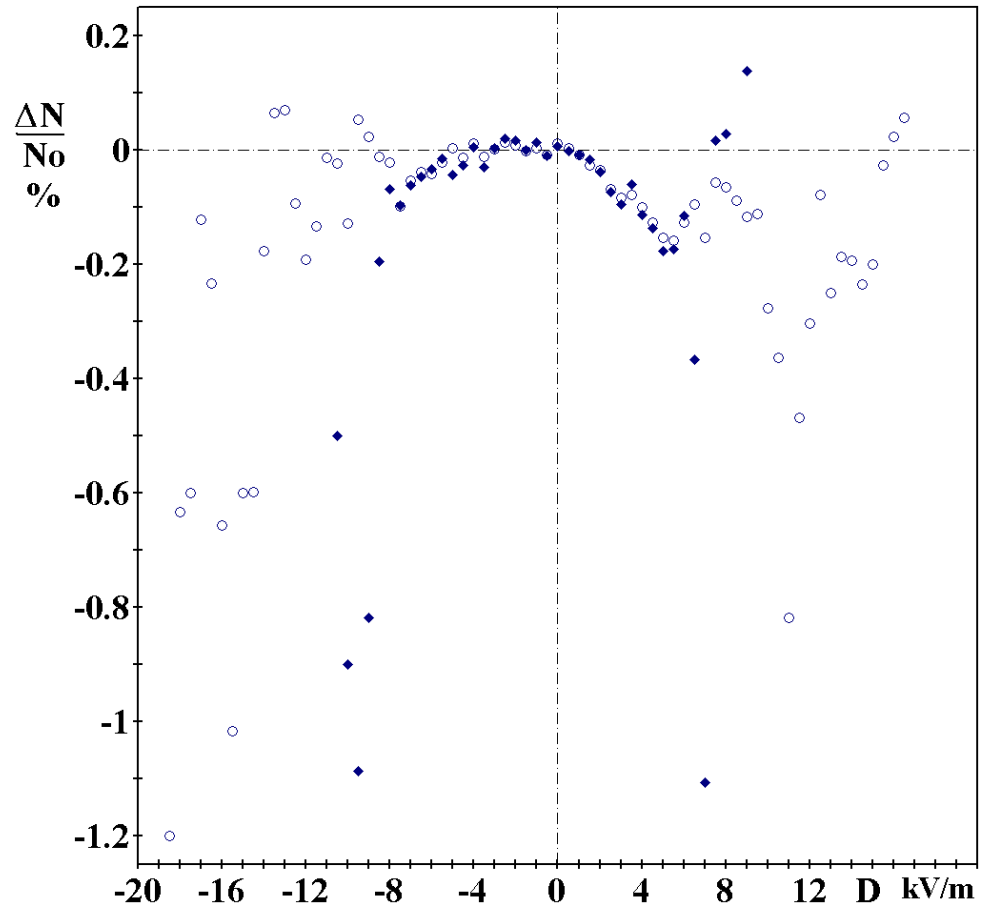
Мюоны $E_\mu > 100 \text{ MeV}$. Отклонение от средней интенсивности как функция напряженности приземного электрического поля (средневзвешенная кривая по отдельным грозам)(2000-2003)



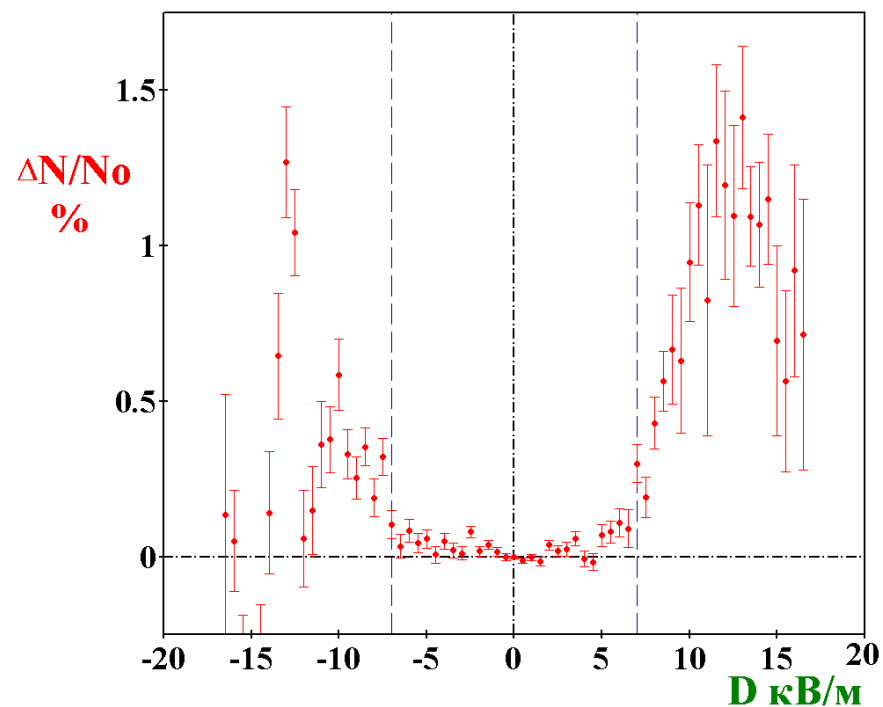
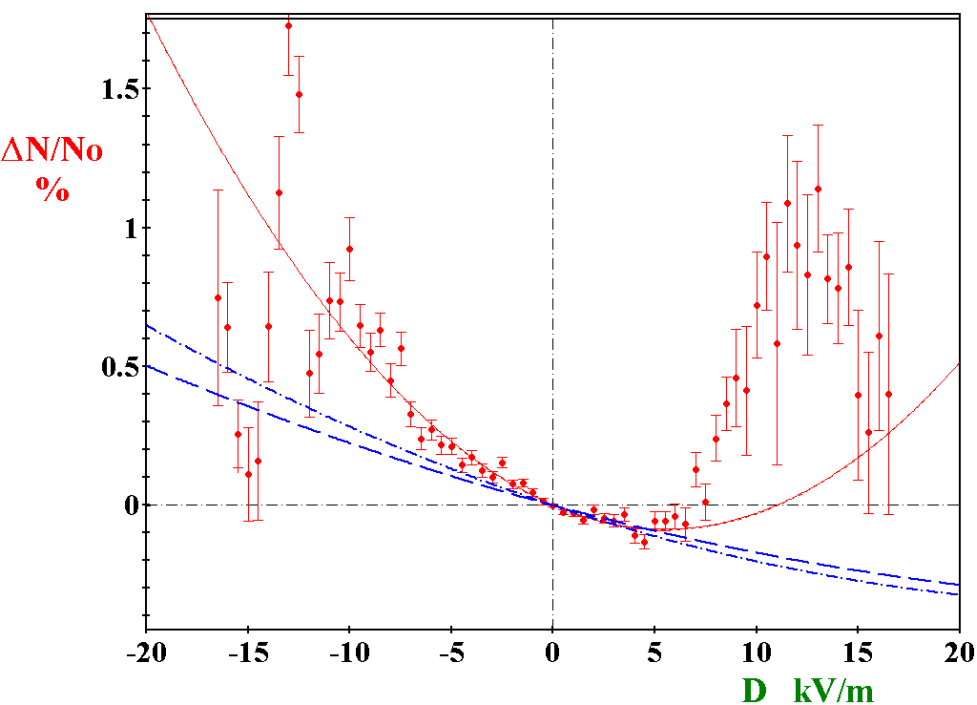
Результат анализа влияния активной фазы грозы на вариации мюонов

Темные точки соответствуют распределению событий после исключения ± 300 -секундного периода активной фазы грозы.

Вариации с большой дисперсией не влияют на регулярную вариацию с приземным полем.



Корреляция интенсивности мягкой компоненты КЛ с приземным электрическим полем измеренная и вычисленная (левый рисунок). На правом рисунке разность измеренной и вычисленной зависимостей



Эти характеристики накладывают рамки на возможные средние модели распределения электрического поля по высоте.

- 1 Поле на высоте $h=3.3\text{км}$ должно менять знак.
- 2 Суммарная разность потенциалов по всей протяжённости поля $\ll 100\text{ МВ}$.
- 3 Среднее значение напряжённости поля модели (D_r) и пространственное среднее стандартное отклонение (σ_r), по области от значения на земле (D) до нижнего заряженного слоя, связаны как $D_r = kD$ и $\sigma_r = mkD$

*Комплексное исследование медленно
текущего пробоя стратосферы в
Баксанской нейтринной обсерватории*

Лидванский А.С., Хаердинов Н.С., Хаердинов М.Н.

ИЯИ РАН