

# Результаты на установке Гроза

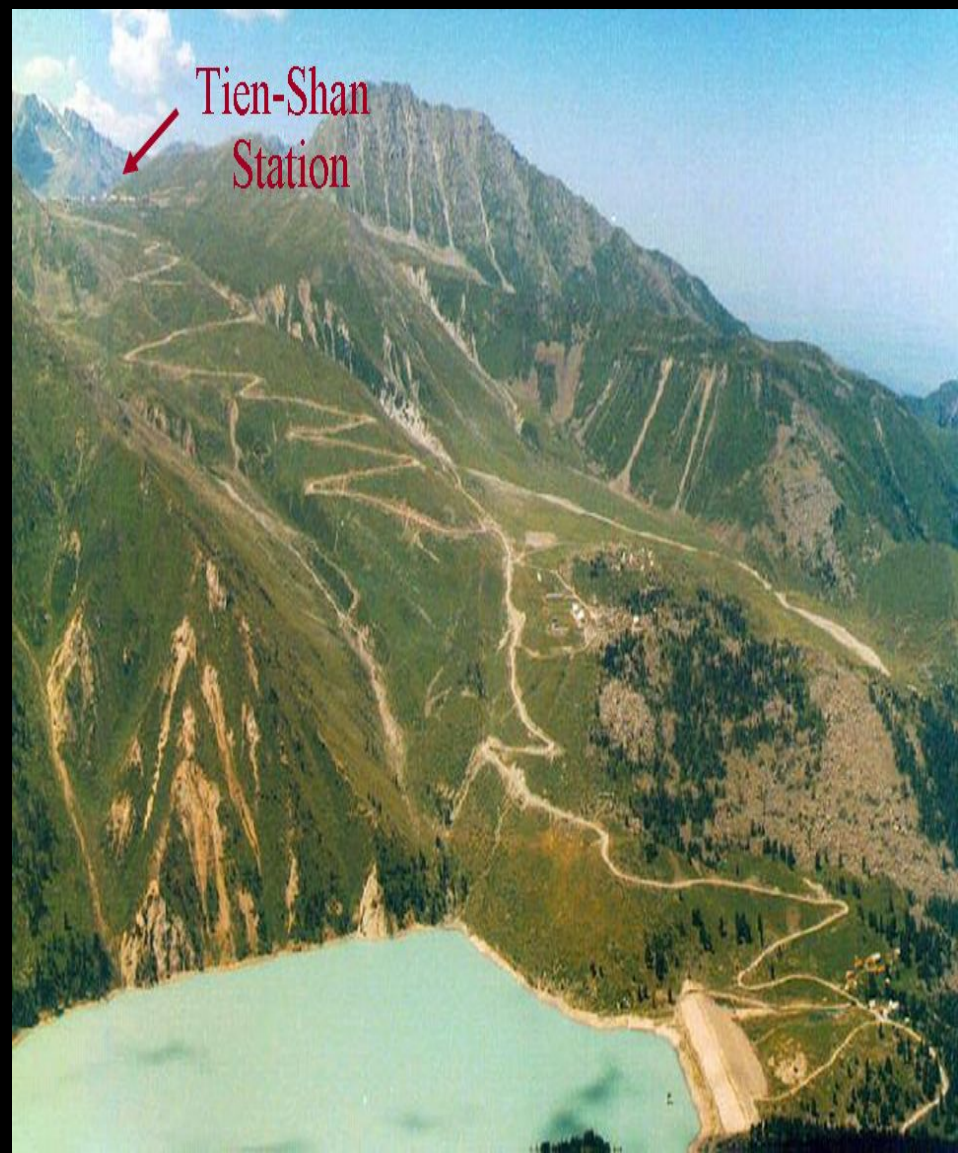
**В.А. Рябов**

**Физический  
институт им.П.Н.  
Лебедева РАН**



# Тянь-Шанская высокогорная станция

- ВЫСОТА НАД УРОВНЕМ МОРЯ – 3340 м.
- ГЛУБИНА АТМОСФЕРЫ – 690 г/см<sup>2</sup>
- РАСПОЛОЖЕНА В 43 км ОТ г. АЛМАТЫ



# Установка Гроза

- Грозовые облака проходят на высоте станции, так что детекторы измерительных установок оказываются непосредственно внутри грозового облака.
- Пункты регистрации излучений размещены на различных высотах (в пределах 3,4 – 4 км над уровнем моря). Это позволило получить профили распределения излучений внутри облаков не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскостях.



# Пробой на убегающих электронах

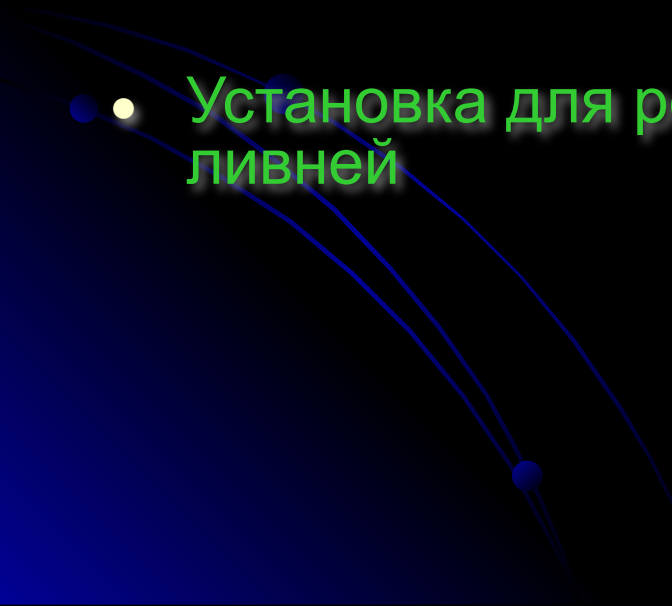
- Пробой на убегающих электронах связан с генерацией вторичных электронов ионизации, которые непрерывно ускоряются полем и по смыслу называются убегающими. Хотя основная масса вторичных электронов имеет малые энергии, могут рождаться и электроны с достаточно большой энергией, превышающей критическое значение. Такие электроны становятся убегающими, ускоряются полем и, в свою очередь, при ионизации среды генерируют частицы с энергией выше критической. В результате появляется экспоненциально нарастающая лавина убегающих электронов с энергиями.
- Быстрые затравочные электроны эффективно генерируются космическими лучами. Поэтому в грозовых облаках при достижении электрическим полем критического значения пробой на убегающих электронах вполне возможен.

# Задачи экспериментального исследования пробоя на убегающих электронах

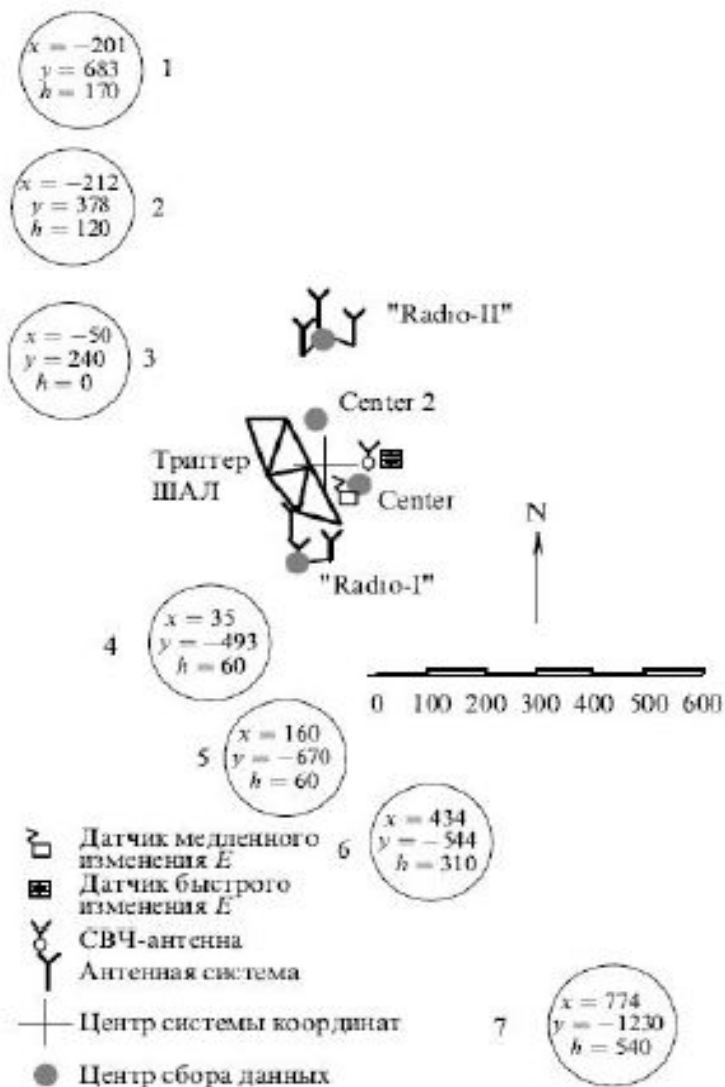
Что необходимо измерять в грозовой атмосфере?

- Быстрые электроны ( $E > 20 - 30$  кэВ)
- Гамма-излучение
- Радиоизлучение
- Корреляции импульсов гамма и радиоизлучения с прохождением ШАЛ
- Корреляции гамма и радиоизлучения с потоком космических лучей и грозвым электрическим полем

# ДЕТЕКТОРНЫЙ КОМПЛЕКС <<ГРОЗА>>

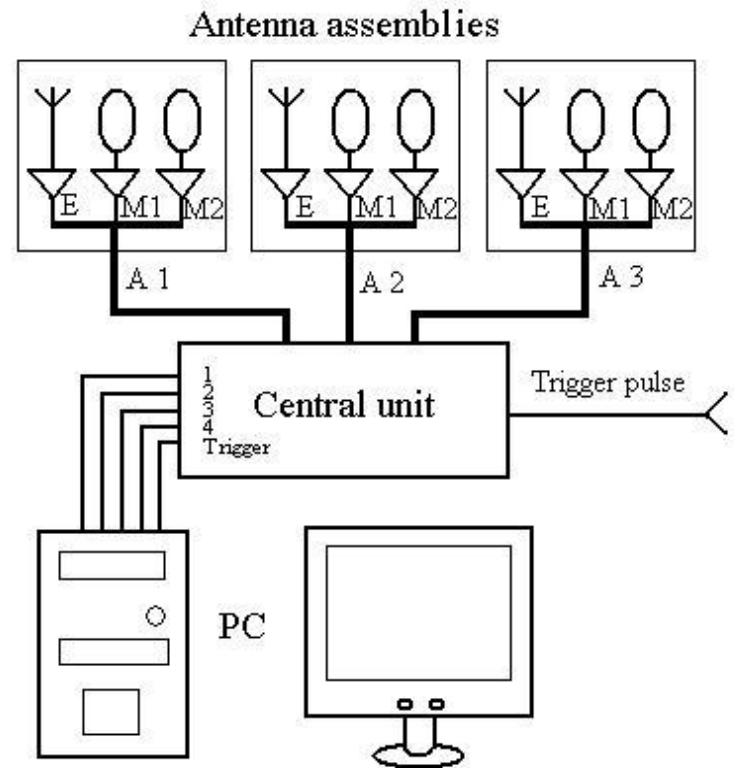
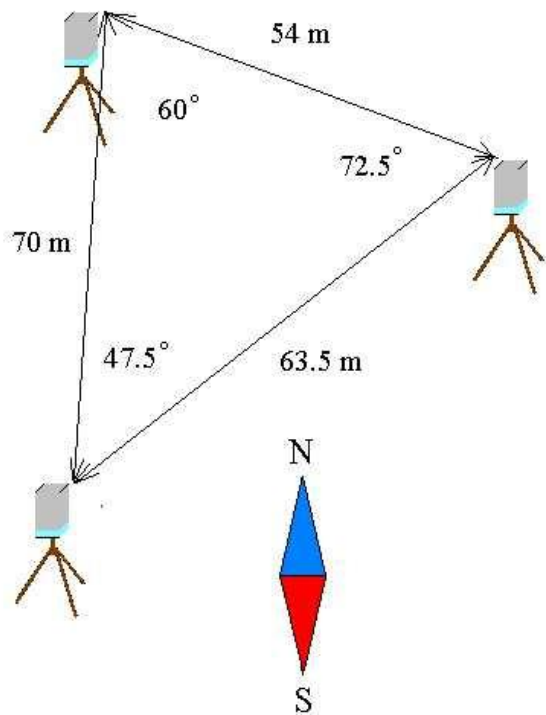
- Радио- регистрирующий комплекс
  - Система сцинтилляционных детекторов гамма-излучения
  - Многослойные спектрометры полного поглощения
  - Установка для регистрации широких атмосферных ливней
- 

# ДЕТЕКТОРНЫЙ КОМПЛЕКС <<ГРОЗА>>



- ▶ 2 КВ радиоустановки (0.1 – 30 МГц)
- ▶ Измеритель медленного  $E$ -поля
- ▶ Измеритель быстрого  $E$ -поля
- ▶ СВЧ радиоустановка (250–270 МГц)
- ▶ Распределенная система гейгеровских счетчиков
- ▶ 14 NaI детекторов в 7 пунктах регистрации
- ▶ Триггерная система
- ▶ Центр регистрации

# Радио-регистрирующий комплекс



Диапазон частот : 0,1 – 30 МГц,

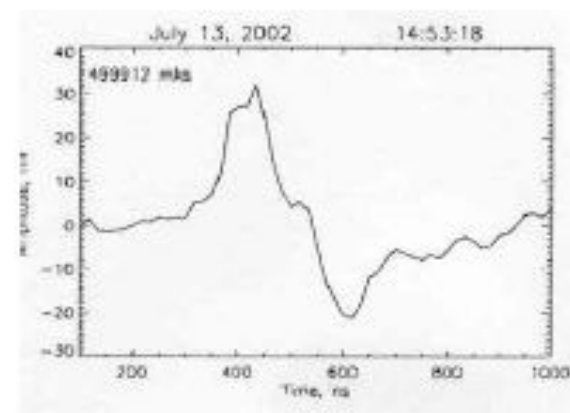
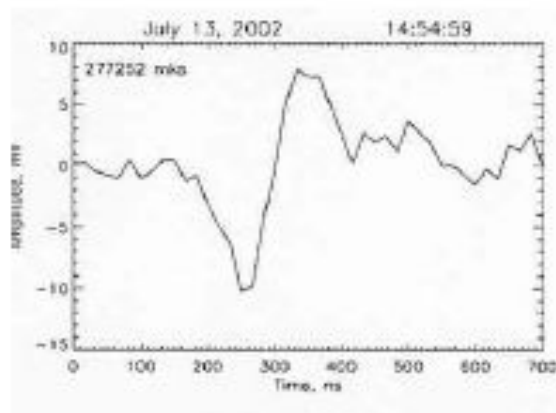
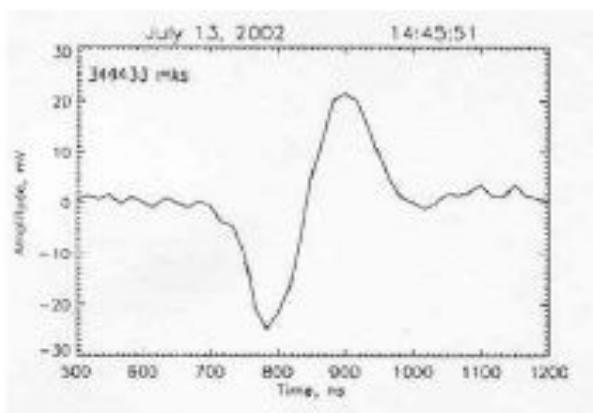
Усиление: 5 – 40 дВ,

АЦП: 14 бит,

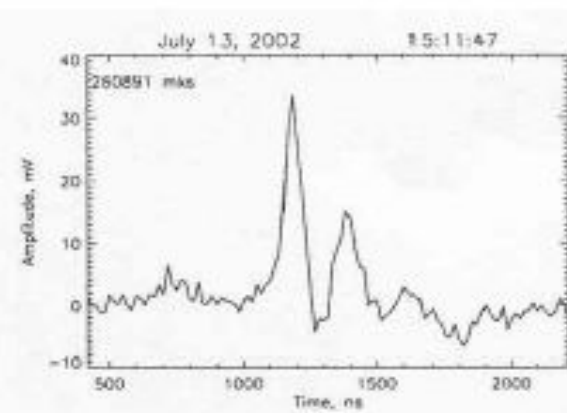
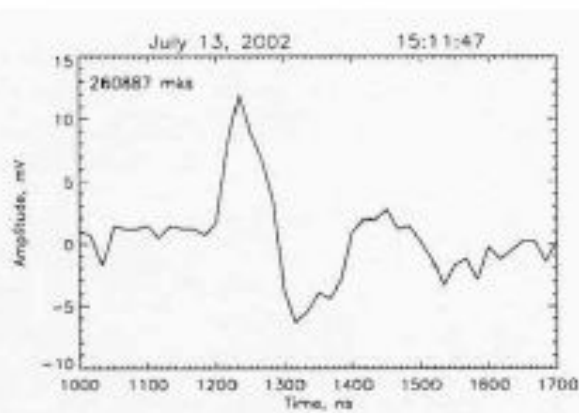
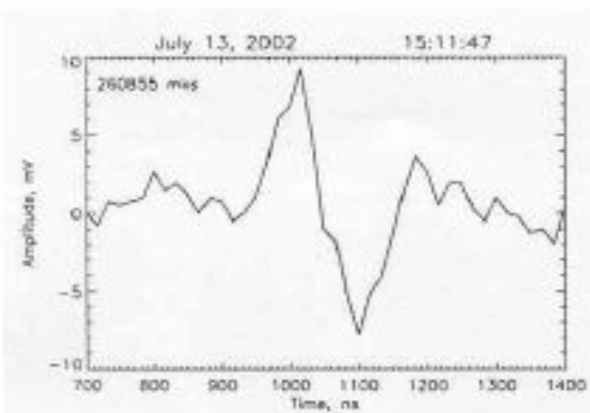
Максимальная скорость оцифровки – 60 МГц



# Радиоизлучение молнии



Примеры формы первого импульса



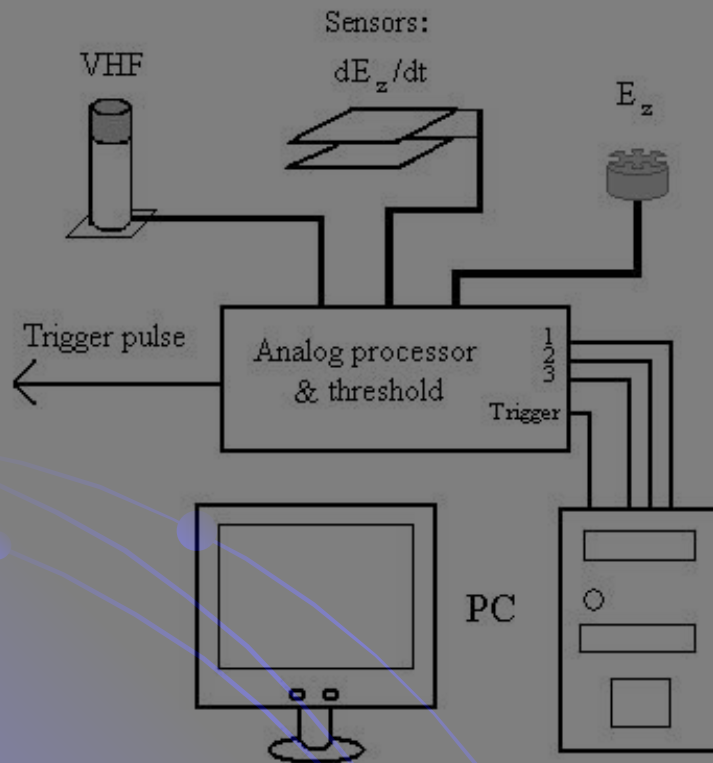
Три первых импульса одной молнии

# Результаты исследования радиоизлучения молнии

- ▶ Радиоизлучение генерируется импульсом электрического тока в грозном облаке
- ▶ Перед первым радиоимпульсом в пределах чувствительности установки никогда не наблюдается никаких радиовозмущений
- ▶ Ширина фронта первого импульса – 100 нс  
полная ширина –  $(0.3 \div 0.5)$  мкс
- ▶ Основная частота  $f \sim 3$  МГц, длина волны  $\lambda \sim 100$  м
- ▶ Скорость распространения волны ионизации (ионизатора)  $\sim 10^{10}$  см/с при скорости тепловых электронов в поле грозы  $\sim 3 \times 10^6$  см/с
- ▶ Полный ток –  $(0.1 \div 1)$  кА.

# Радио- регистрирующий комплекс

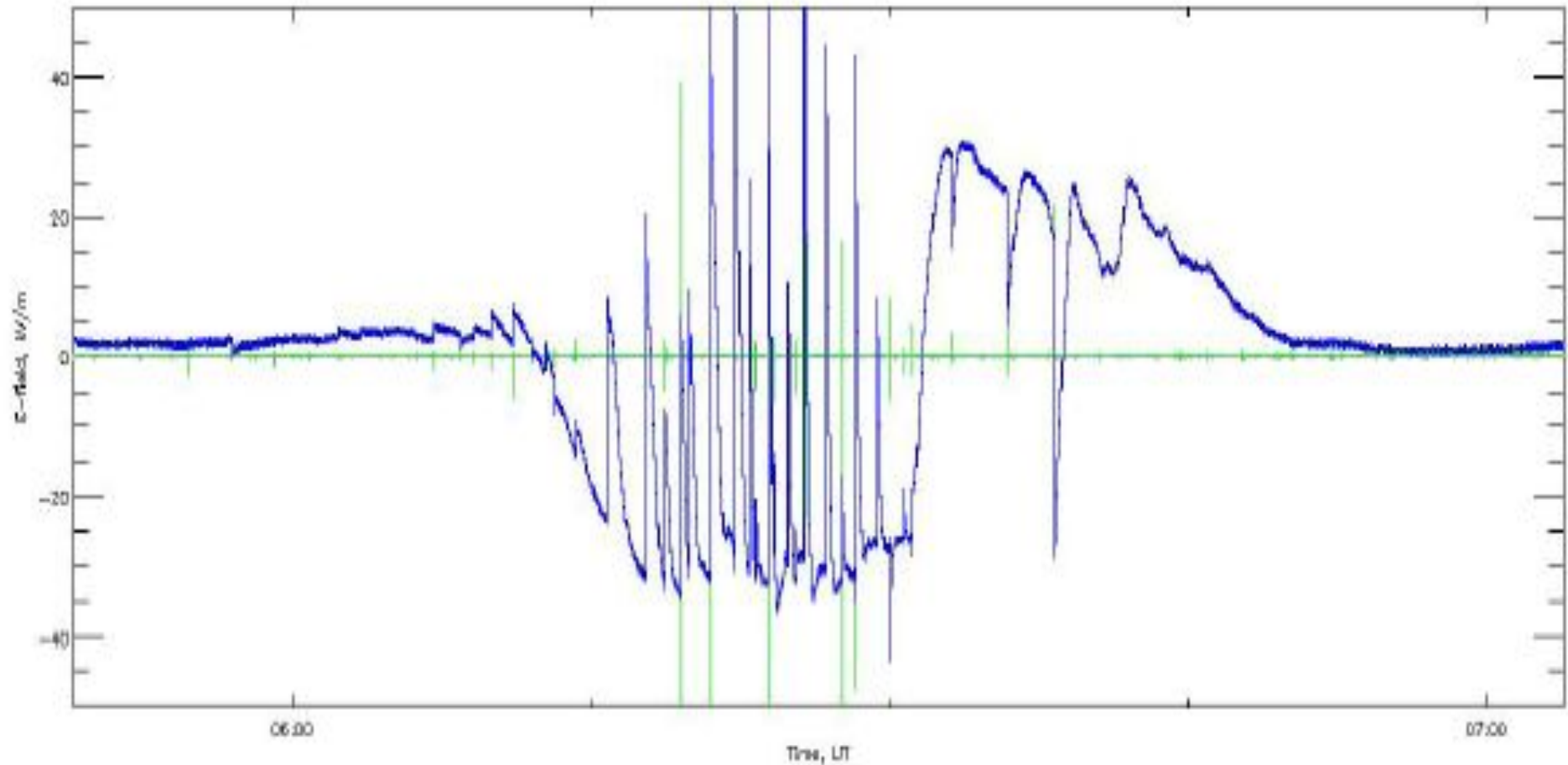
## Измерение электрического и СВЧ- поля во время гроз



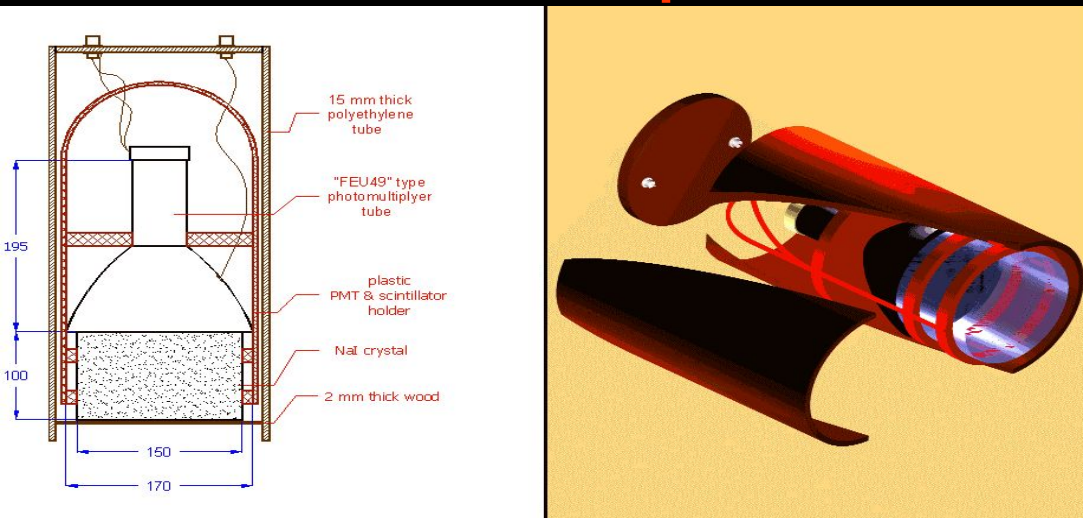
" Медленное " E-поле    " Быстрое " E-поле

Диапазон	50 кВ/м	$\pm 600$ В/м
Чувствительность	20 В/м	0,5 В/м
Временное разрешение	0,1 с	50 мс/50 мкс

# Скачки электрического поля во время грозы

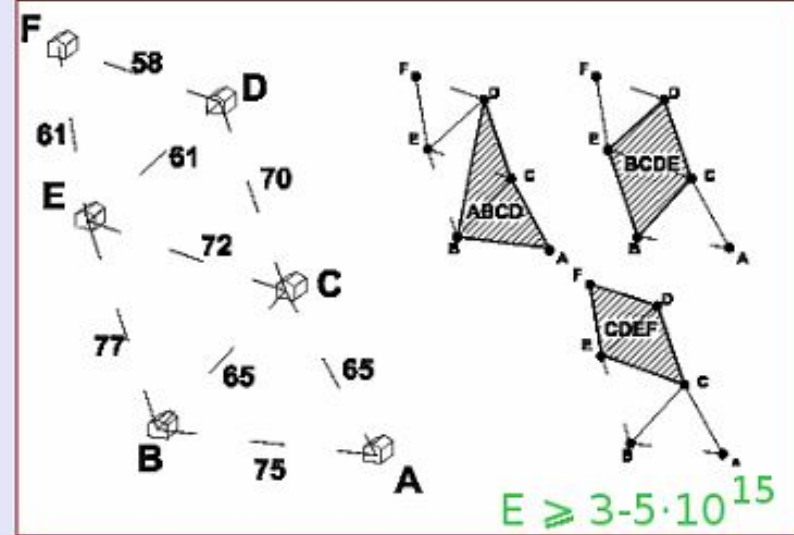
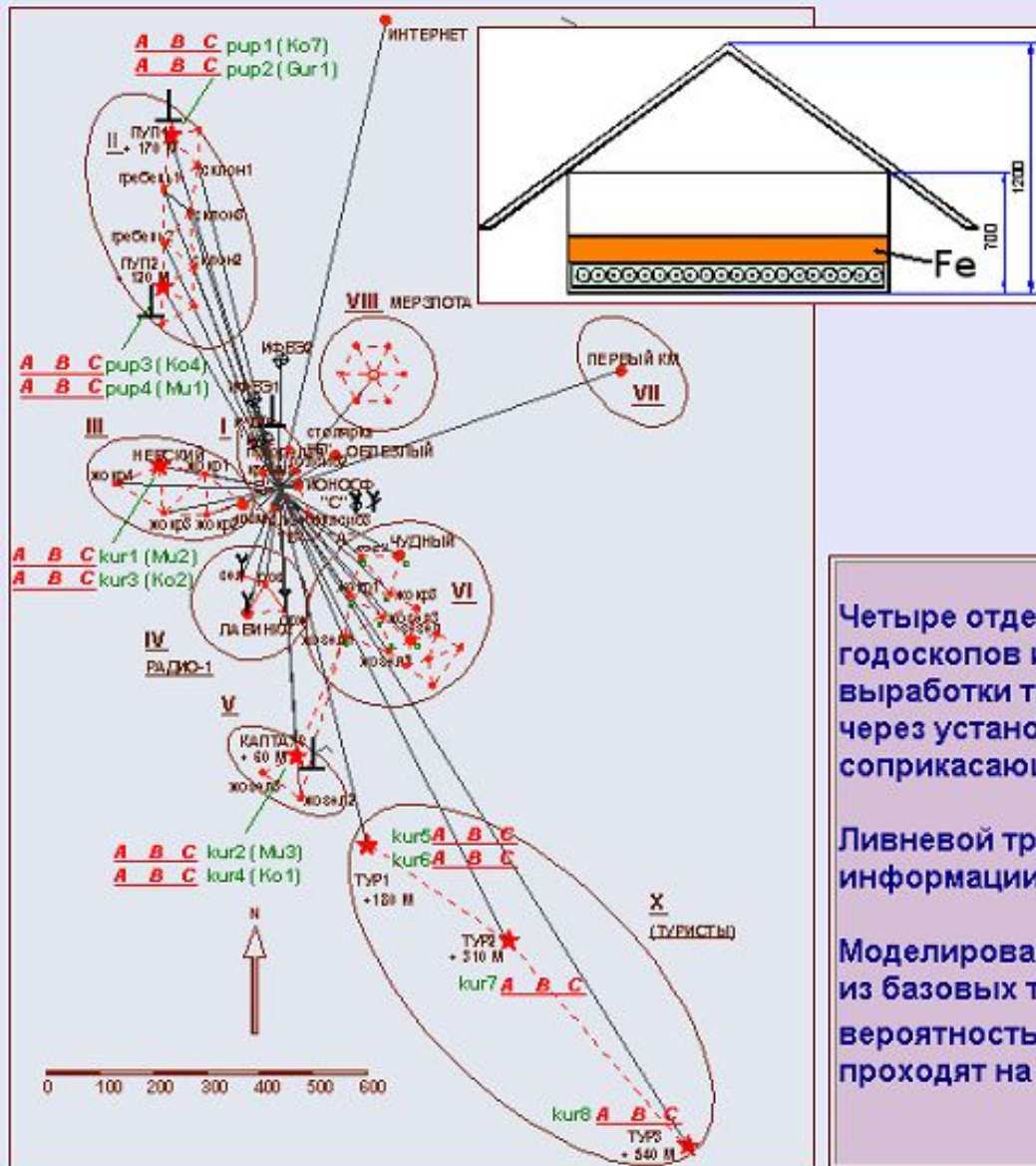


# Система сцинтилляционных детекторов гамма-излучения



- 16 NaI детекторов
- диаметр кристалла 50-150 мм
- толщина кристалла 35-100 мм
- диапазон энергий гамма-квантов 15 кэВ – 2 МэВ
- пороги регистрации 30, 60 и 240 кэВ
- измерения с временным разрешением 200 мкс, 1 с, 10 с.

# Установка для регистрации широких атмосферных ливней



Четыре отдельные системы совпадений, построенные на базе годоскопов из гейгеровских счетчиков СИБГ служат для выработки триггерного импульса в момент прохождения ШАЛ через установку. Годоскопы располагаются в вершинах соприкасающихся треугольников с длиной ребра 60-65 м.

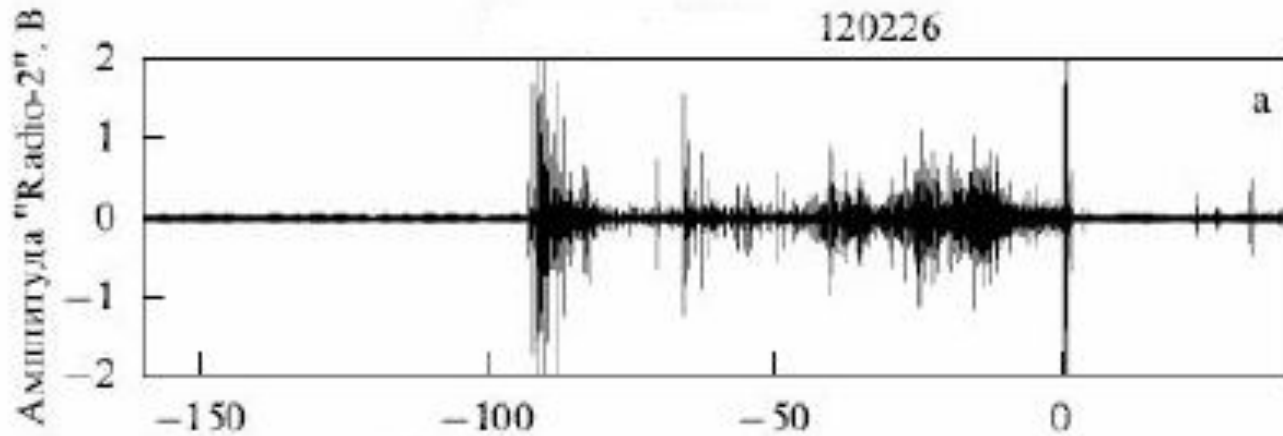
Ливневой триггерный импульс инициирует регистрацию информации со всех подсистем комплекса "ГРОЗА".

Моделирование показало, что система совпадений, построенная из базовых треугольников с длиной ребра 60 м отбирает с вероятностью  $>0.9$  ливни с числом частиц  $10^{15}$ , оси которых проходят на расстоянии 10-100 м от центра триггерной системы.

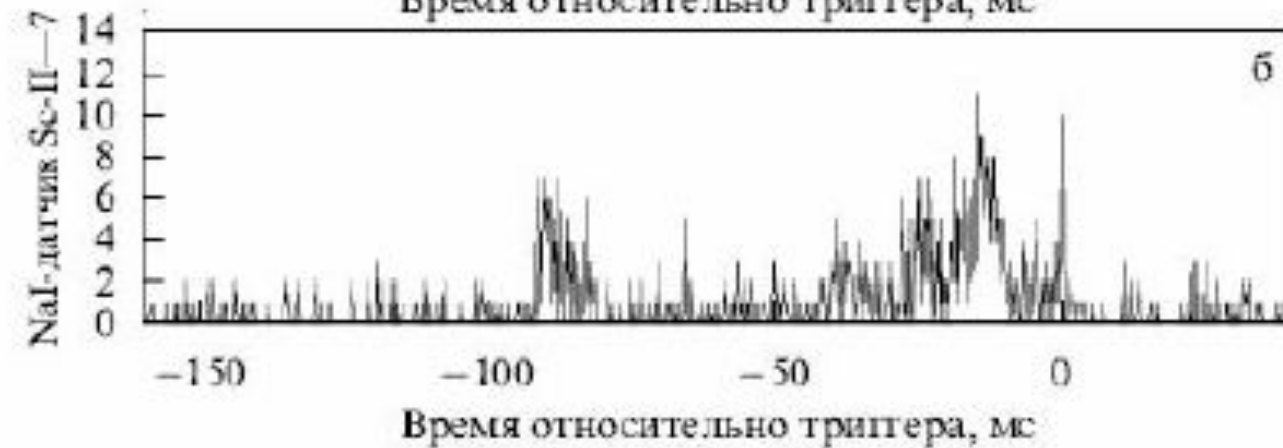
# Комплексное изучение грозового разряда

- Одновременная регистрация гамма-излучения, радиоизлучения, ШАЛ.
- Все системы работают с высоким временным разрешением.
- Общая длительность регистрации события составляет 0,8 сек с разрешением 200 мкс.

# Длительные всплески гамма-излучения. Корреляции с радиоизлучением



Радиоизлучение



$\gamma$  излучение

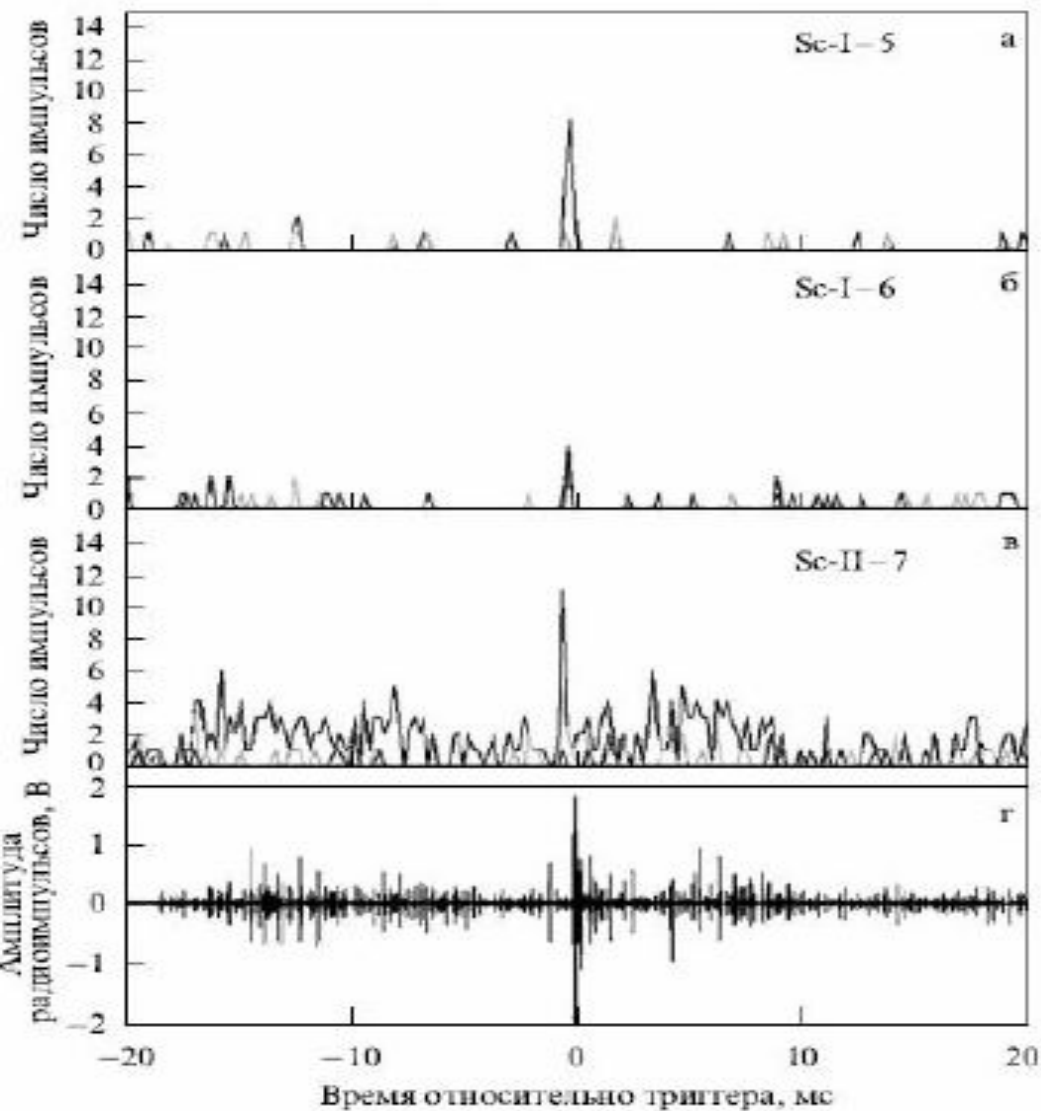
Событие для триггера ШАЛ, в котором наблюдалось как радио- так и гамма-излучение, хорошо коррелирующие между собой.



# Длительные всплески гамма-излучения

- Такими вспышками сопровождаются не менее 80% событий, зарегистрированных во время грозы с триггером от скачка поля или электромагнитным триггером.
- Следовательно, имеет место ярко выраженная корреляция электрического разряда в грозовой атмосфере с всплесками гамма-излучения.
- Это подтверждается наблюдением хорошей временной корреляции гамма- и радиоизлучения.

# Межоблачный разряд (ПУЭ – ШАЛ)



Триггер ШАЛ

Активная фаза грозы

а-в –  $\gamma$  излучение

г – радиоизлучение

# Межоблачный разряд (ПУЭ – ШАЛ)

- Наблюдалась очень сильная гамма-излучения, которые виды одновременно с триггером ШАЛ во всех наблюдательных пунктах.
- Наблюдалась очень сильная радиоизлучения, точно совпадающие с моментом триггера ШАЛ. Это означает, что прохождение ШАЛ через грозовое облако сопровождалось сильным электрическим разрядом.
- Рассмотренные события свидетельствуют о прямом наблюдении ПУЭ-ШАЛ разряда. Это явление впервые зарегистрировано в эксперименте.

# Влияние космических лучей и пробоя на убегающих электронах на грозовые разряды

- Развитие активной фазы грозового разряда – предварительный пробой, инициация лидера, движение лидера вплоть до момента возвратного удара – полностью диктуется процессом собирания электрического заряда с облаков. В нашем исследовании обнаружено, что этот процесс сопровождается мощными коррелированными потоками гамма и радиоизлучения, создаваемыми пробоем на убегающих электронах.
- Это позволяет утверждать, что именно пробой на убегающих электронах, инициируемый космическими лучами, является основным движущим механизмом грозового разряда.

## Статьи, опубликованные в 2009 году

Гуревич А.В., Караштин А.Н., Рябов В.А., Чубенко А.П., Щепетов А.Л. // *Нелинейные явления в ионосферной плазме. Влияние космических лучей и пробоя на убегающих электронах на гроззовые разряды* // Успехи физических наук 2009, том 179, № 7, стр. 779 – 790;

Chubenko A.P., Karashtin A.N., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Antonova V.P., Kryukov S.V., Mitko G.G., Naumov A.S., Pavljuchenko L.V., Ptitsyn M.O., Shalamova S.Ya., Shlyugaev Yu.V., Vildanova L.I., Zybin K.P., Gurevich A.V. // *Energy spectrum of lightning gamma emission* // Physics Letters A 2009, v.373, pp.2953 – 2958;

Gurevich A.V., Mitko G.G., Antonova V.P., Chubenko A.P., Karashtin A.N., Kryukov S.V., Naumov A.S., Pavljuchenko L.V., Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Shalamova S.Ya., Shepetov A.L., Shlyugaev Yu.V., Vildanova L.I., Zybin K.P. // *An introcloud discharge caused by extensive atmospheric shower* // Physics Letters A 2009, v.373, pp.3550 – 3553.