

Результаты на установке Гроза

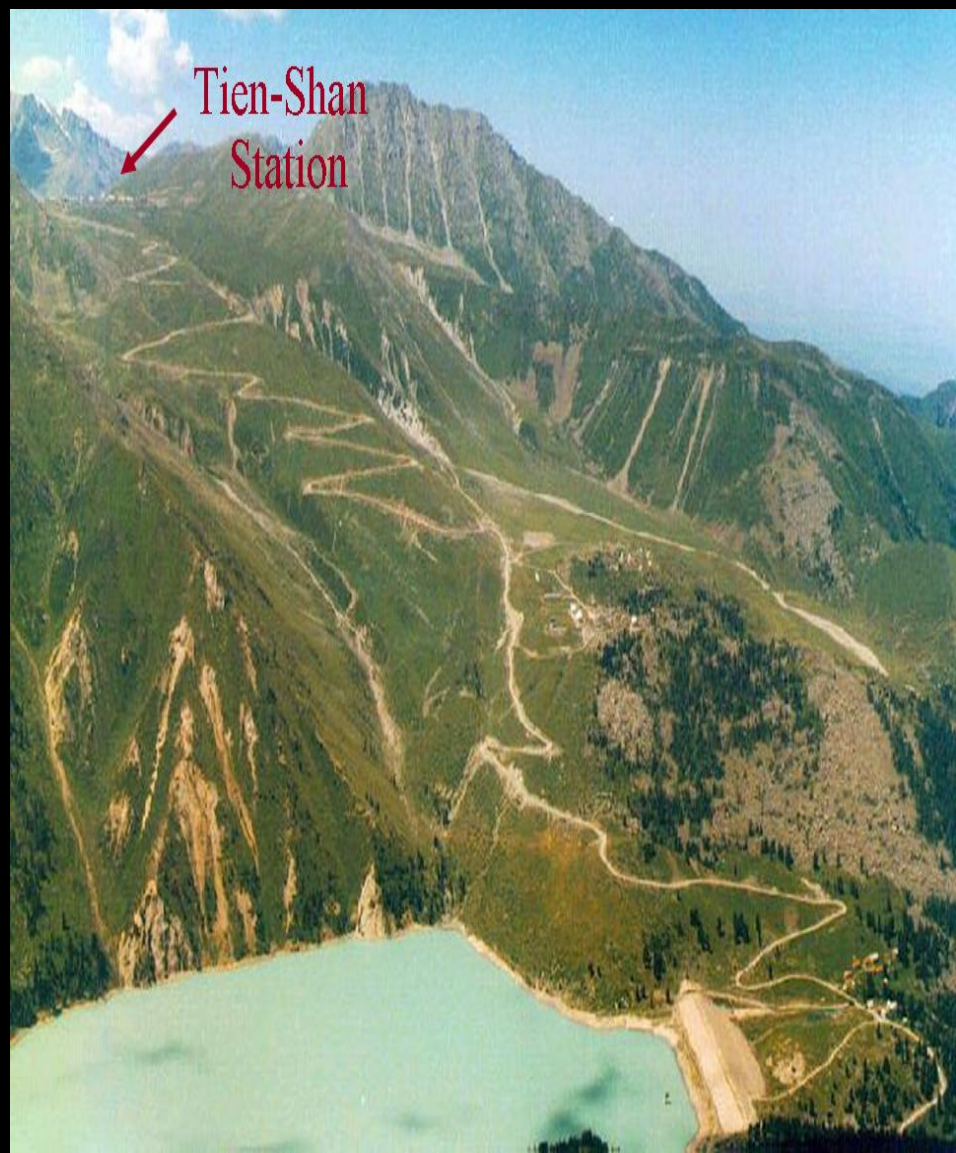
В.А. Рябов

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



Тянь-Шанская высокогорная станция

- ВЫСОТА НАД УРОВНЕМ МОРЯ – 3340 м.
- ГЛУБИНА АТМОСФЕРЫ – 690 г/см²
- 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

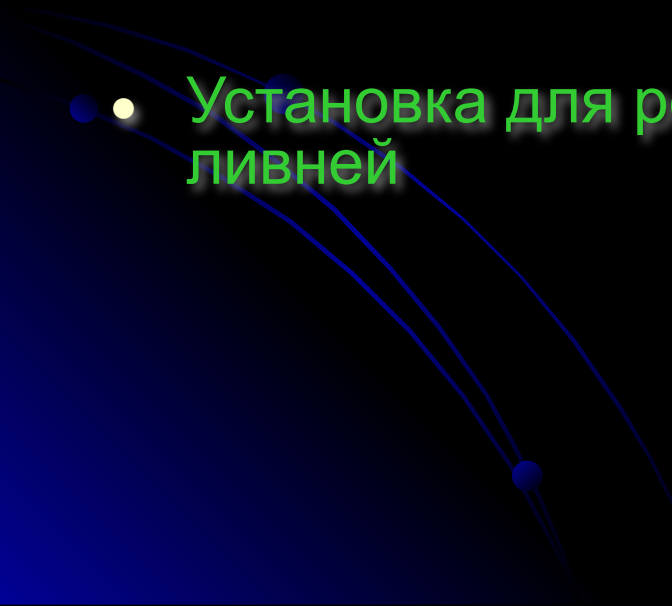
- Пробой на убегающих электронах связан с генерацией вторичных электронов ионизации, которые непрерывно ускоряются полем и по смыслу называются убегающими. Хотя основная масса вторичных электронов имеет малые энергии, могут рождаться и электроны с достаточно большой энергией, превышающей критическое 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

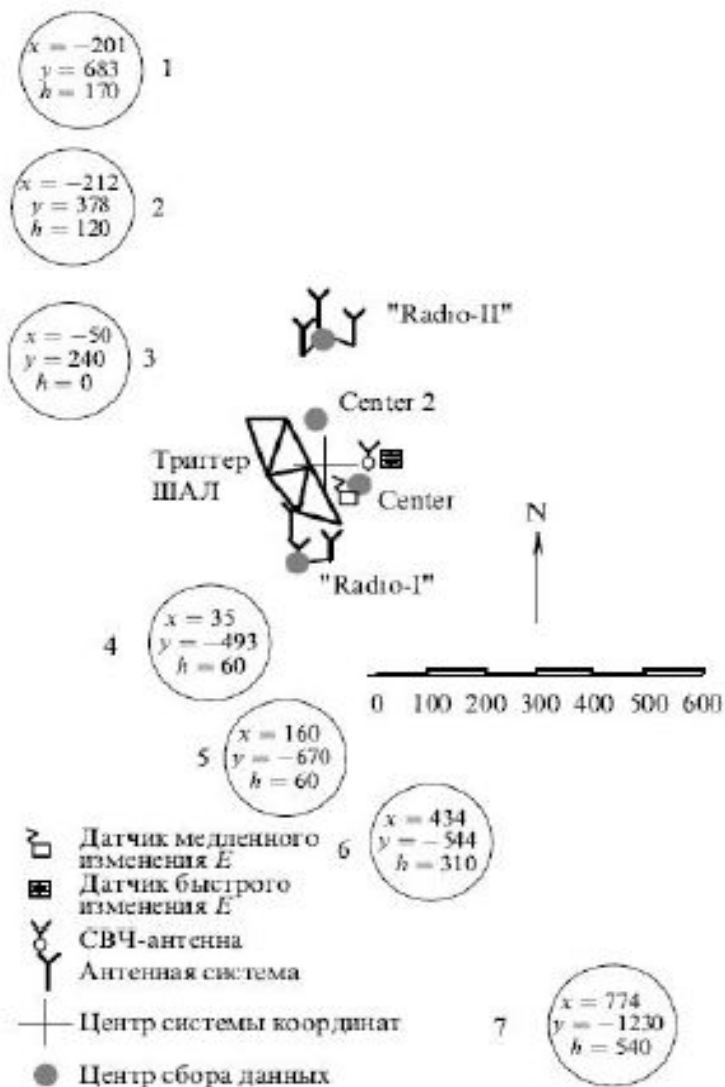
Что необходимо измерять в грозовой атмосфере?

- 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>>

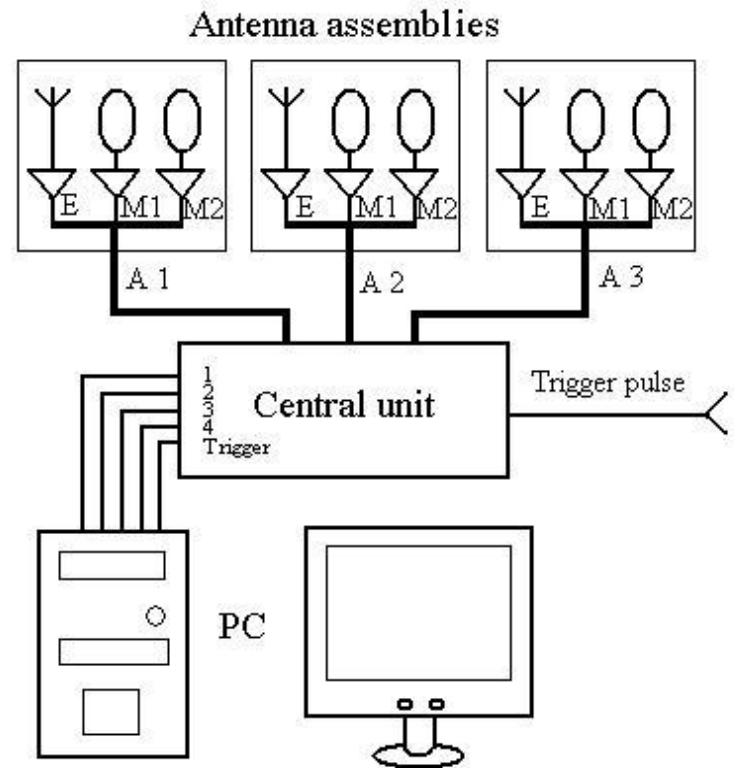
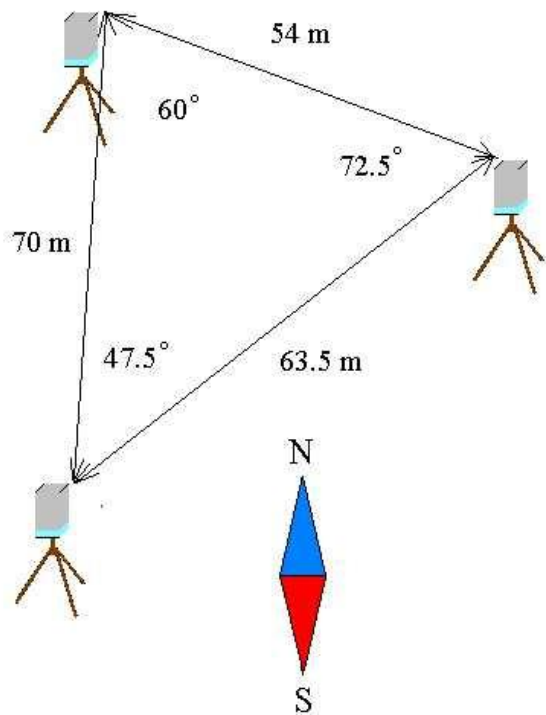
- Радио- регистрирующий комплекс
 - Система сцинтилляционных детекторов гамма-излучения
 - Многослойные спектрометры полного поглощения
 - Установка для регистрации широких атмосферных ливней
- 

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



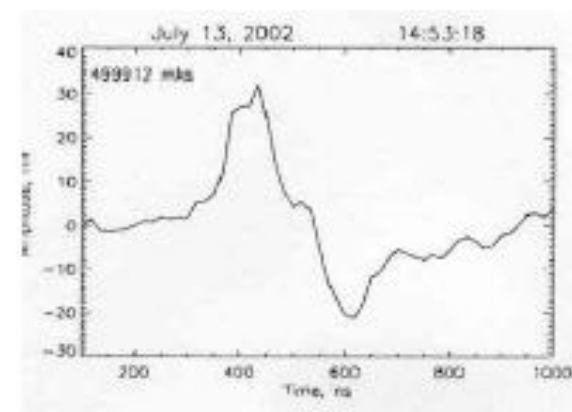
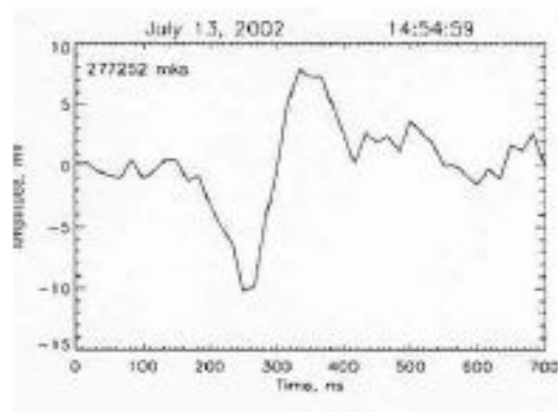
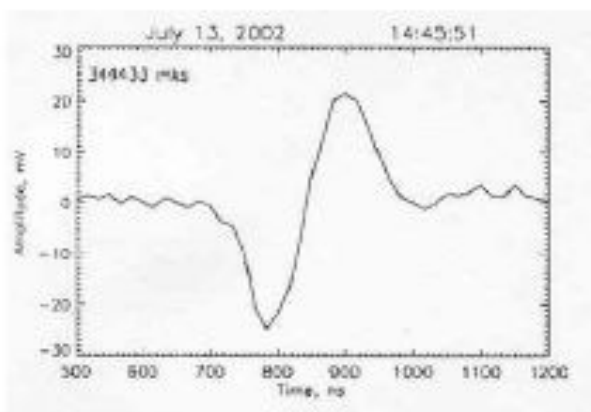
Диапазон частот : 0,1 – 30 МГц,

Усиление: 5 – 40 дВ,

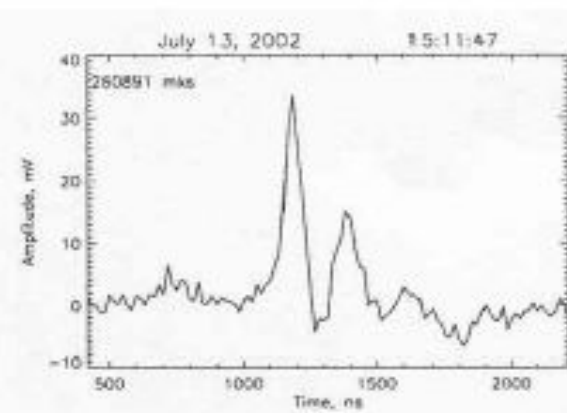
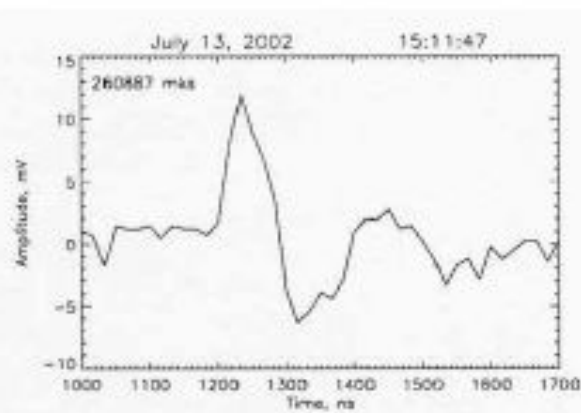
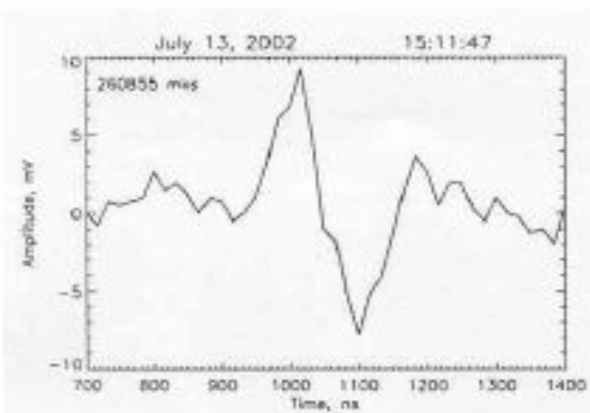
АЦП: 14 бит,

Максимальная скорость оцифровки – 60 МГц

Радиоизлучение молнии



Примеры формы первого импульса



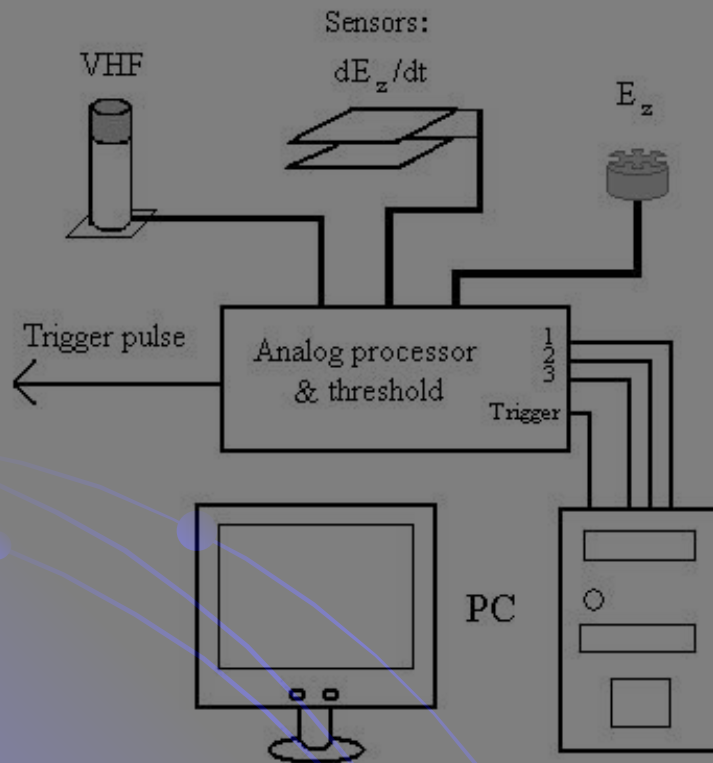
Три первых импульса одной молнии

Результаты исследования радиоизлучения молнии

- ▶ Радиоизлучение генерируется импульсом электрического тока в грозовом 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

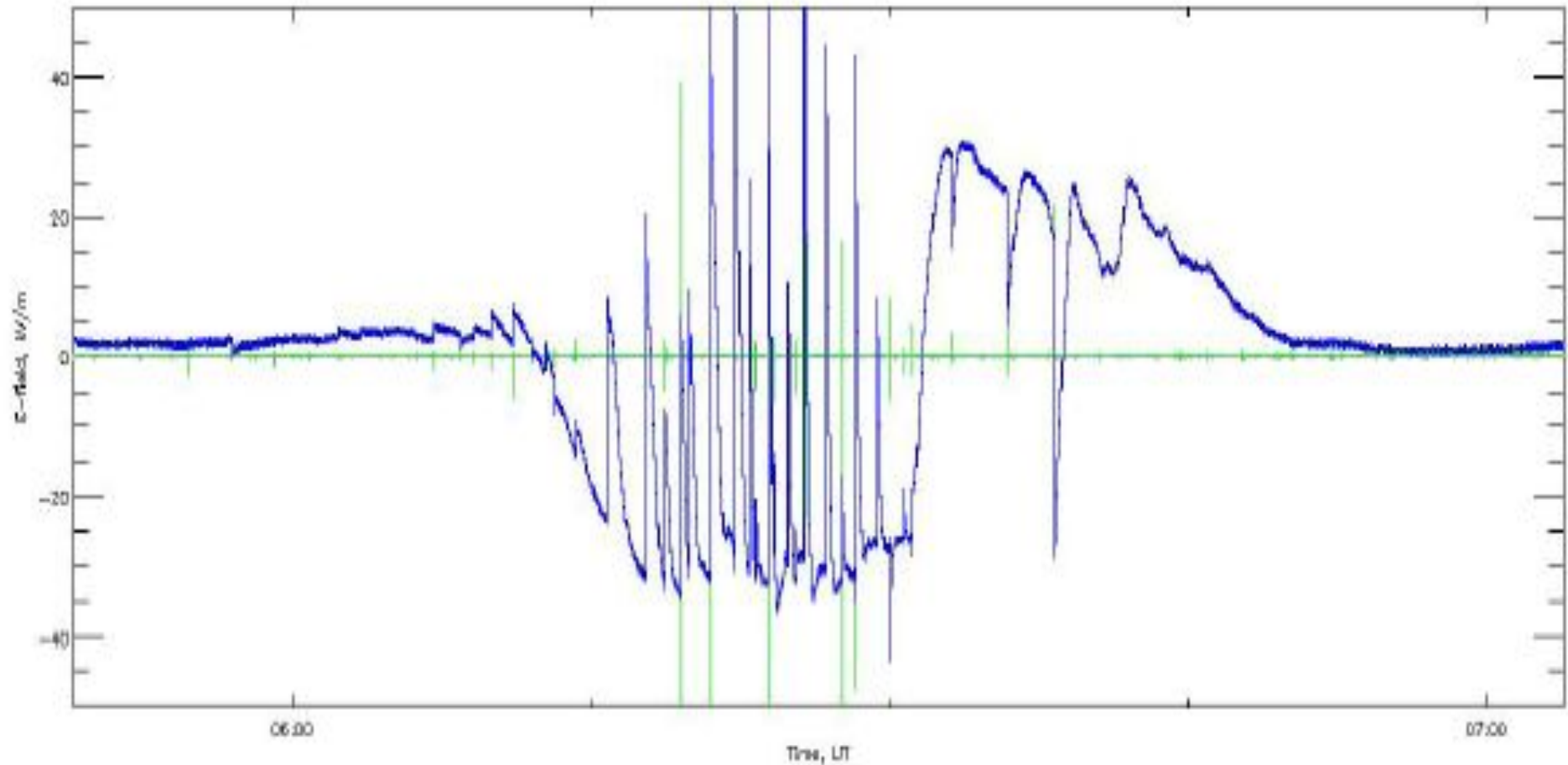
Измерение электрического и СВЧ- поля во время гроз



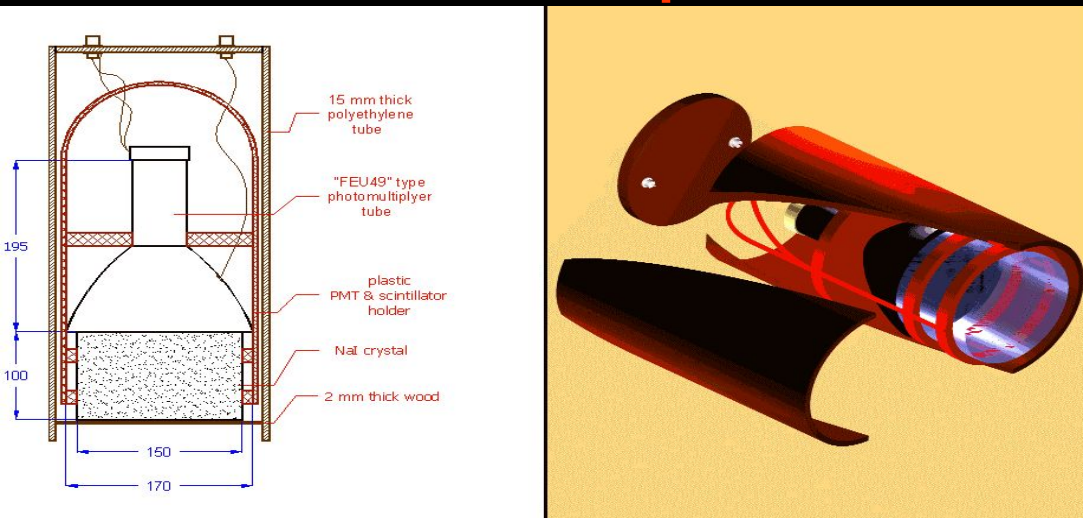
" Медленное " E-поле " Быстрое " E-поле

Диапазон	50 кВ/м	± 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

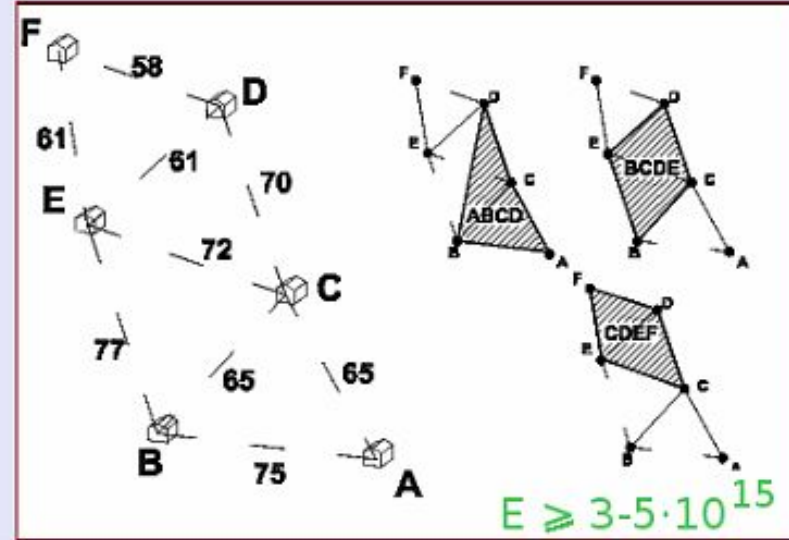
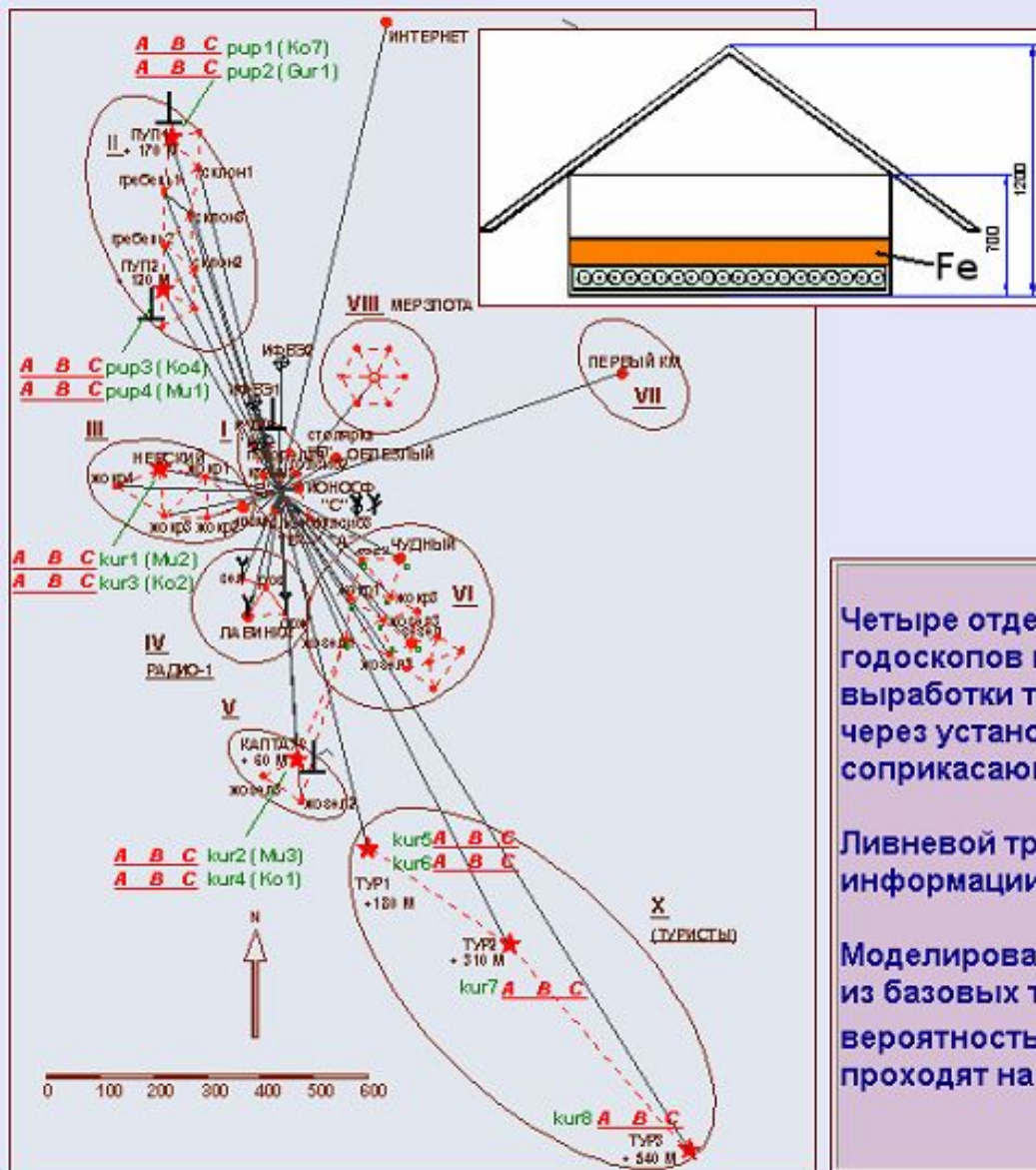


Система сцинтилляционных детекторов гамма-излучения



- 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.

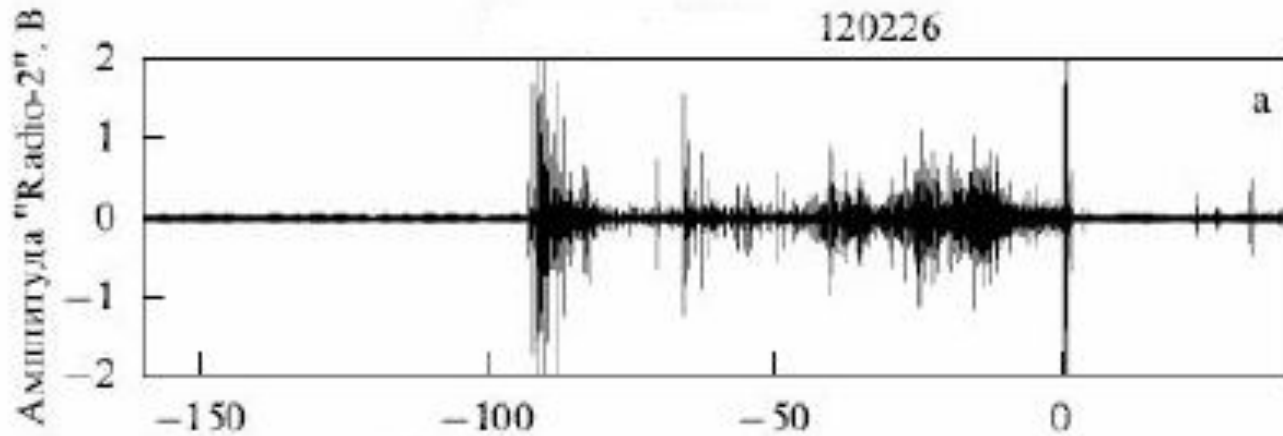
Ливневой триггерный импульс инициирует регистрацию информации со всех подсистем комплекса "ГРОЗА".

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.

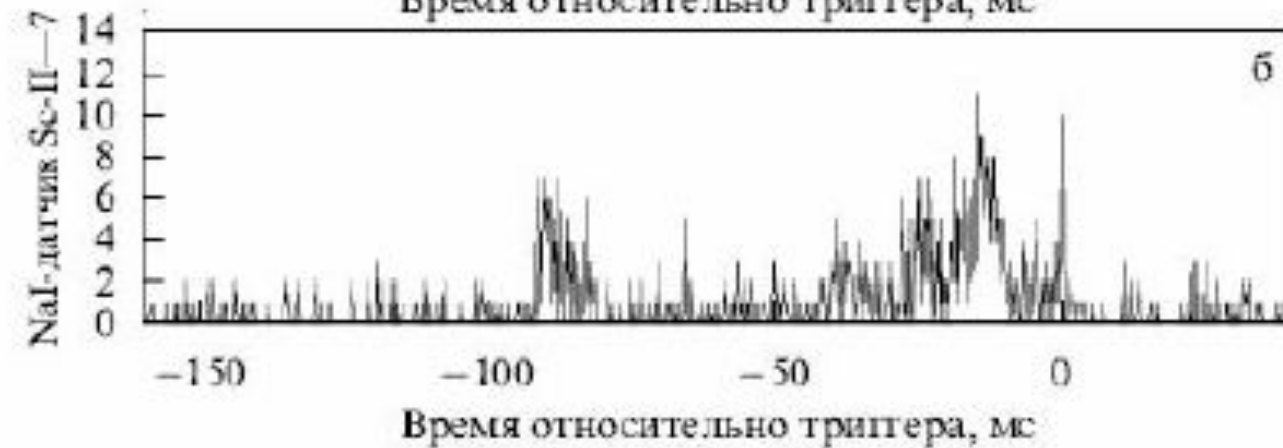
Комплексное изучение грозового разряда

- 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



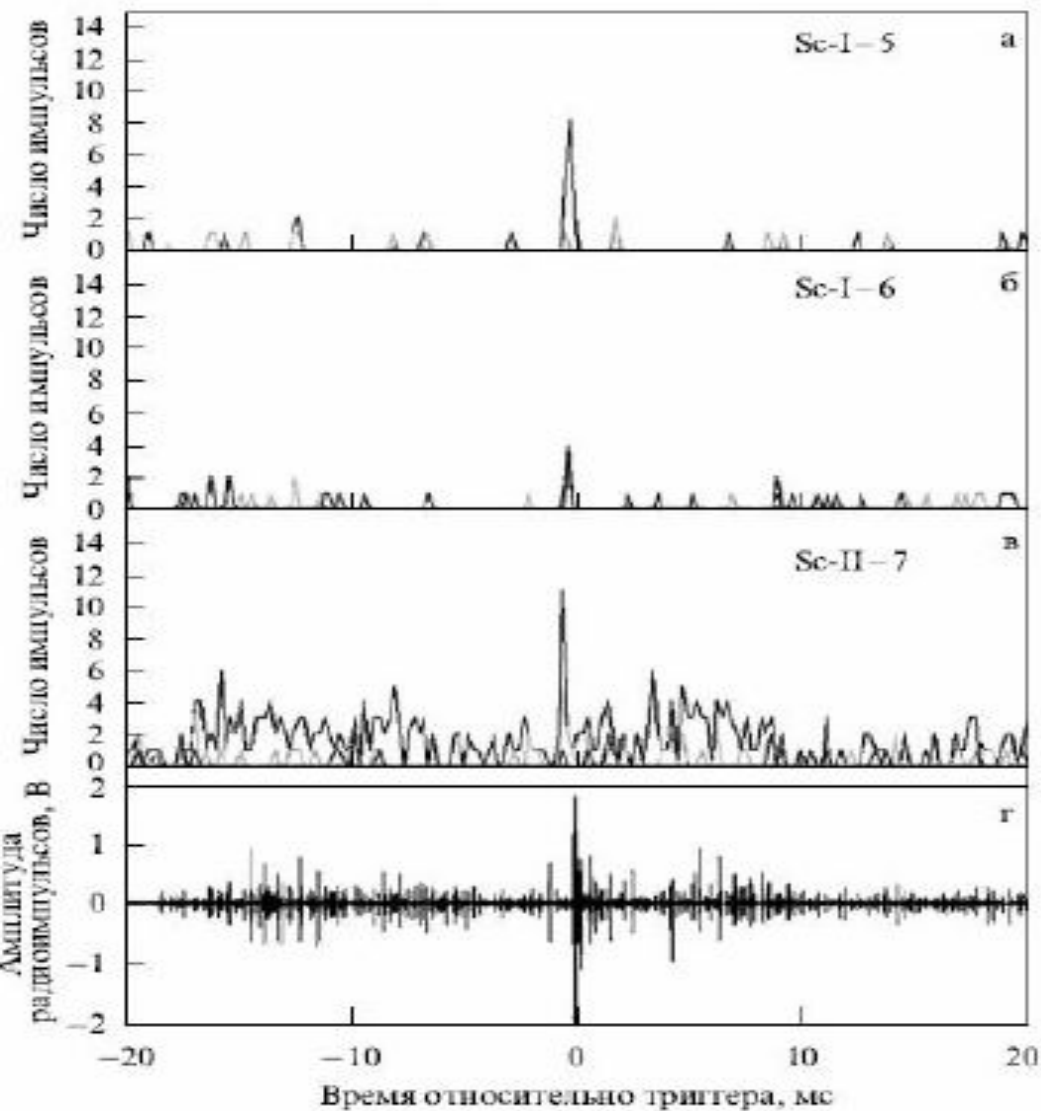
γ излучение

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 – γ 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 грозовые 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.