

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

Физический
ИНСТИТУТ



имени
П.Н.Лебедева

Российской академии наук

Ф И А Н

НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЯНЬ-ШАНЬСКОМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

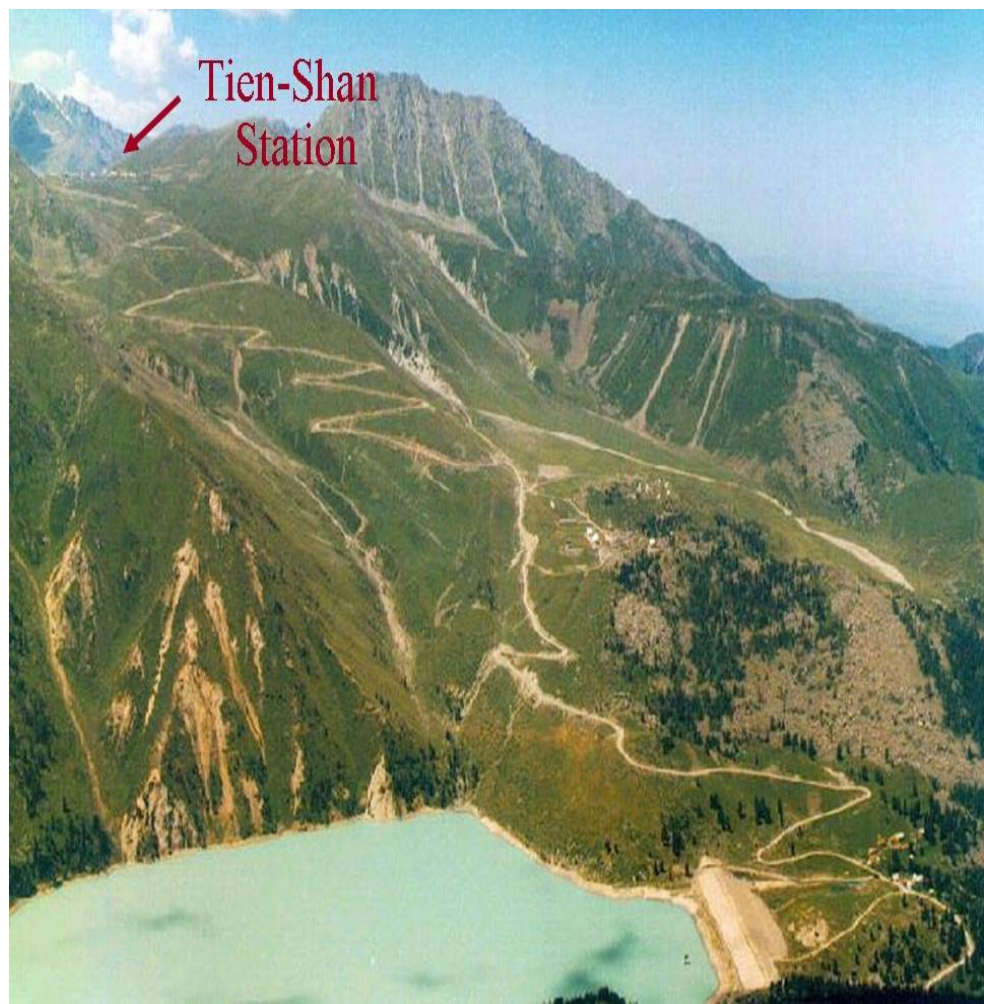
Рябов В.А.
ФИАН

ВККЛ-2022

**Филиал «Тянь-Шаньская высокогорная
научная станция» Физического института
им. П.Н. Лебедева РАН создан в
соответствии с Распоряжением Совета
Министров СССР от 9 января 1958 года за
№ 28-13 сс как «Тянь-Шаньская
высокогорная научная станция ФИАН» и
позднее преобразован в Филиал ФИАН.**

Географическое расположение

- ТШВНС расположена в 43 км от г. Алматы
- Высота над уровнем моря – 3340 м.
- Глубина атмосферы – 690 г/см^2



Направления исследований на Тянь-Шанской высокогорной научной станции ФИАН



Сотрудничество

- **Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия;**
- **Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия;**
- **Назарбаев университет, Астана, Казахстан;**
- **Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан;**
- **Институт ионосферы, Алматы, Казахстан;**
- **Физико-технический институт, Алматы, Казахстан.**

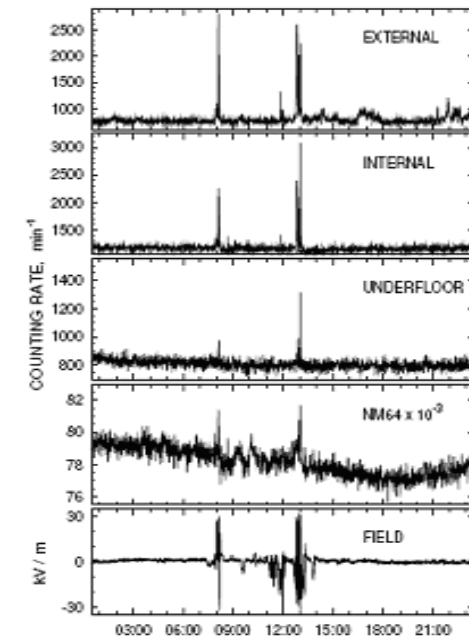
Исследование космических лучей

- Исследования различных компонент космических лучей в широком диапазоне энергий ($E_0 \sim 10^{14} - 10^{18} \text{ eV}$);
- Построение прецизионной карты углового распределения направлений прихода ШАЛ и поиск на небесной сфере возможных астрофизических источников космических лучей;
- Изучение экзотических явлений в космических лучах (глубокопроникающая компонента, многоствольные ливни и т.д.).



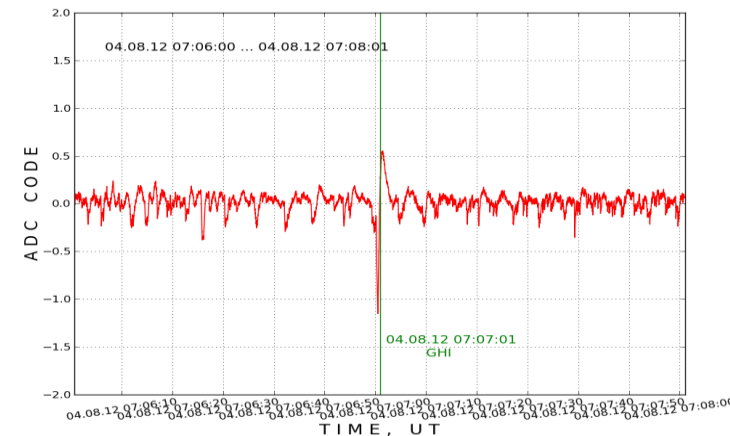
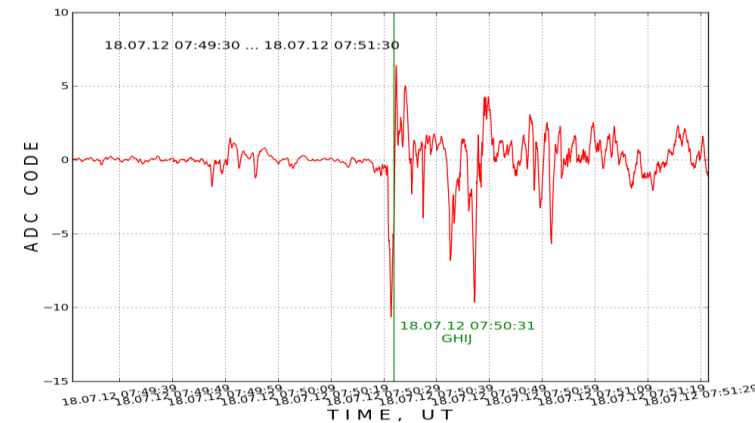
Атмосферная физика высоких энергий

- Исследование механизмов развития молниевых разрядов, а также взаимосвязи между частицами космических лучей и электрическими явлениями в атмосфере.
- Выяснение механизмов генерации высокоэнергичных проникающих излучений, регистрируемых в момент молниевых разрядов.



Космические лучи и сейсмология

- Разработка космофизических методов прогнозирования сейсмической опасности;
- Многопараметрический поиск геофизических сигналов-маркеров нарастания сейсмической активности и сигналов-предвестников близких землетрясений, в том числе сигналов, связанных с акустическим откликом от прохождения частиц проникающей компоненты космических лучей через сейсмически напряженную среду в глубине литосферы.

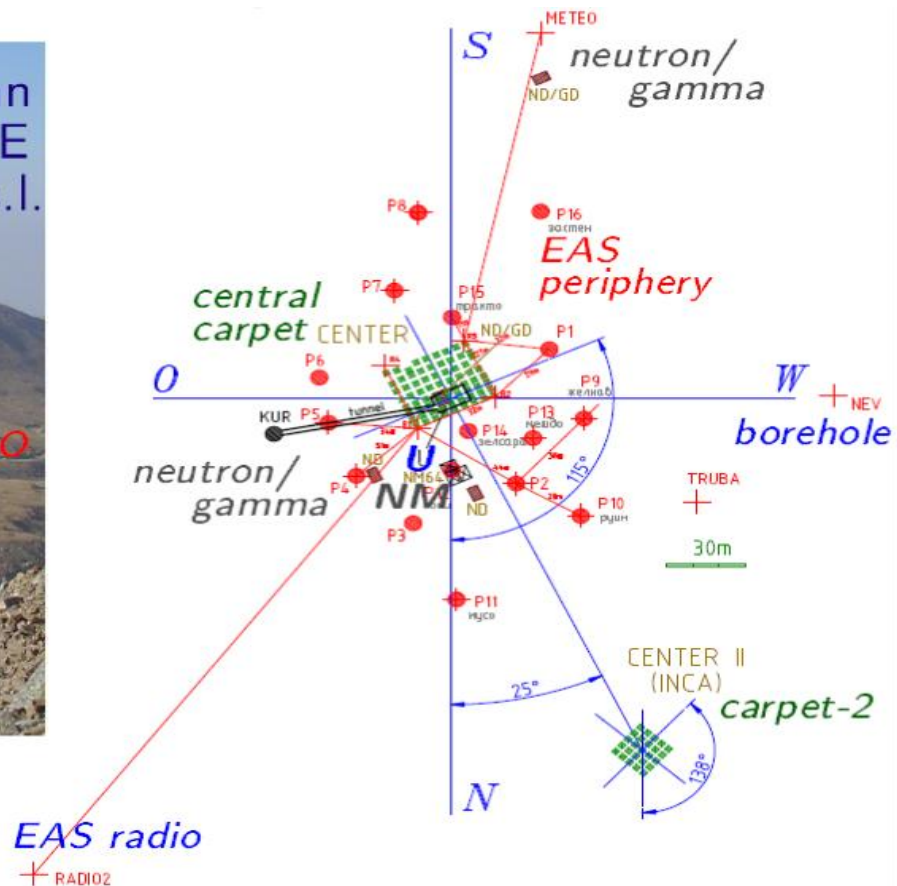


Экспериментальный комплекс космических лучей Тянь-Шаньской высокогорной станции



► CENTER-I:

- EAS particles detectors
- hadron detectors
- EAS direction (θ, ϕ)
- muon detectors
- neutrons & gamma



► CENTER-II:

- EAS particles detectors
- ionization-neutron calorimeter *INCA*

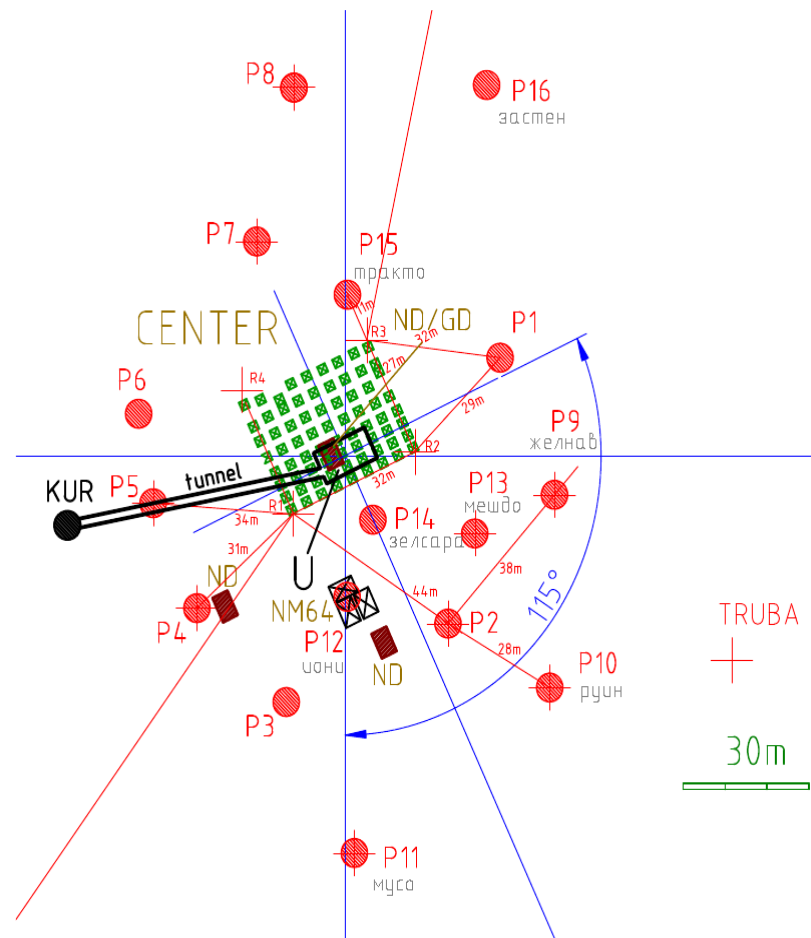
Распределенная система сцинтилляционных детекторов заряженных частиц

Служит для регистрации заряженной компоненты ШАЛ, создаваемых в атмосфере частицами космических лучей с энергией (10^{14} – 10^{17}) эВ.

Установка включает в себя центральный «ковер» из 72-х детекторов, равномерно распределенных с пространственным шагом (3х4) м, и 16 периферийных детекторов, которые располагаются на различных расстояниях вплоть до (30–60) м от центра «ковра».

Все детекторы подключены к многоканальной системе АЦП, которая обеспечивает измерение амплитуды сцинтилляционных сигналов в диапазоне (1 – 10^5) частиц/м².

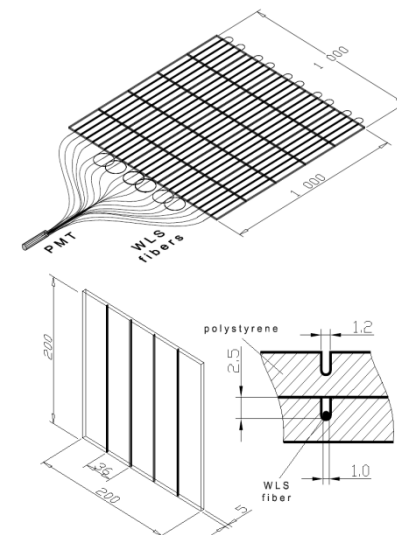
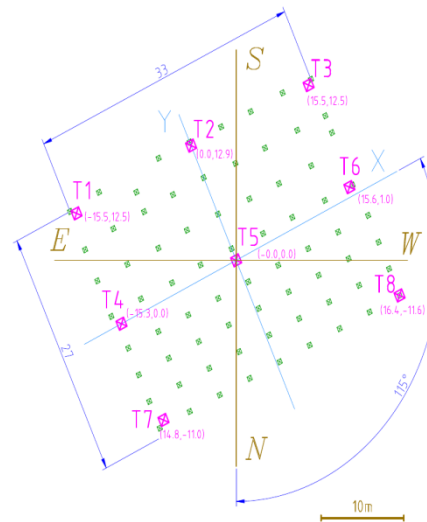
Достаточно высокая верхняя граница этого диапазона позволяет проводить исследование потока частиц непосредственно в области ствола ШАЛ указанных энергий, то есть на расстояниях $\sim(0.5$ – $3)$ м от оси ливня.



Распределенная система сцинтилляционных детекторов заряженных частиц

Распределенная система из 8-ми детекторов с малым временем высвечивания сцинтиллятора, $\sim(10\text{--}30)$ нс, которые располагаются на площади центрального сцинтилляционного «ковра», и аппаратура для непрерывной, на протяжении 100 мкс, регистрации формы сцинтилляционной вспышки в этих детекторах с временным разрешением порядка нескольких наносекунд.

Аналоговые записи сцинтилляционного сигнала используются при расчете взаимных временных задержек между моментами регистрации фронта ШАЛ в нескольких пространственно разделенных пунктах, а эти задержки, в свою очередь, служат для определения направления оси ШАЛ и положения точки прихода первичной частицы космических лучей на небесной сфере.



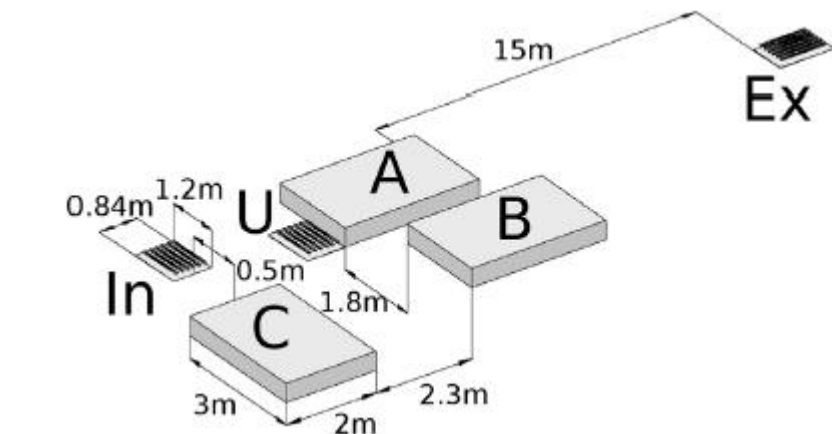
Регистратор мюонной компоненты ШАЛ

Регистратор мюонной компоненты космических лучей на основе нейтронных детекторов, которые расположены в подземном помещении Тянь-Шаньской станции.

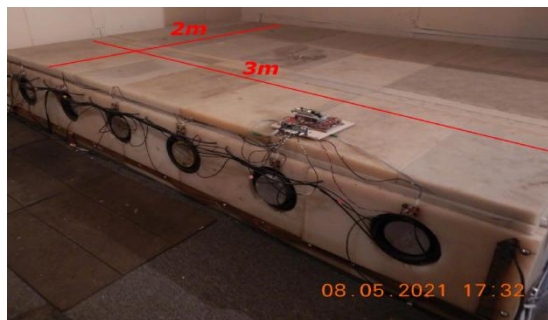
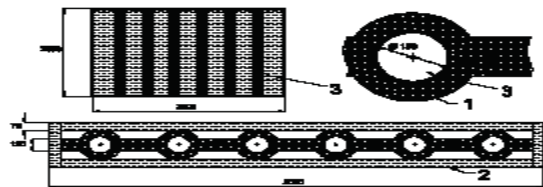
Использование нейтронной методики позволяет оценивать интенсивность потока проходящих через детектор частиц для нескольких порогов по энергии регистрируемых мюонов, начиная с единиц ГэВ и вплоть до сотен ТэВ, а сочетание различных условий выработки триггерного сигнала предоставляет возможность исследования как одиночных мюонов, так и мюонов, следующих в составе ШАЛ.



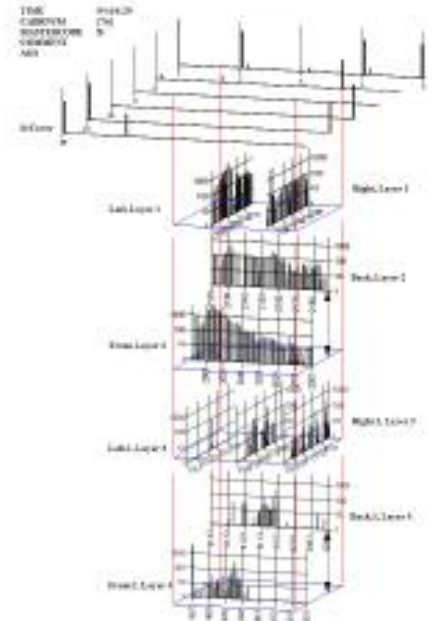
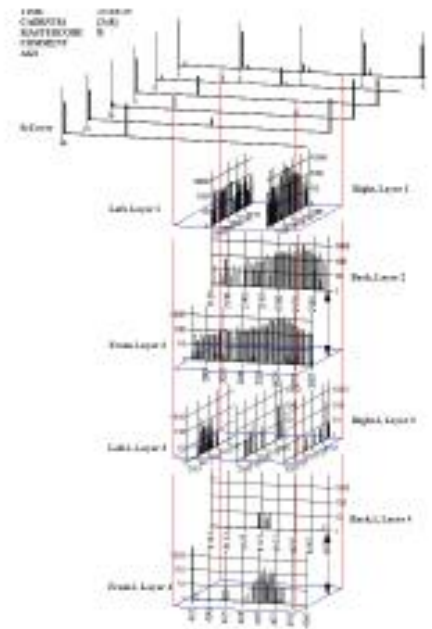
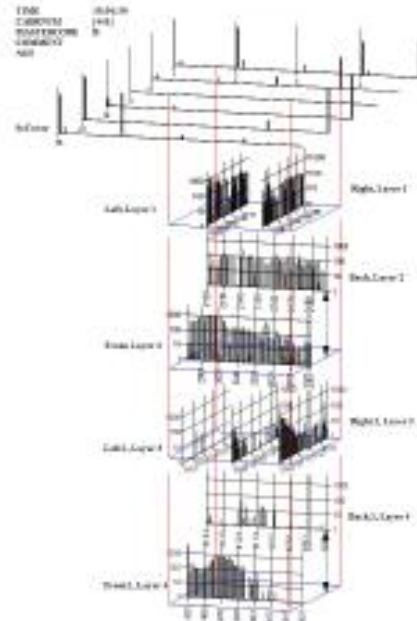
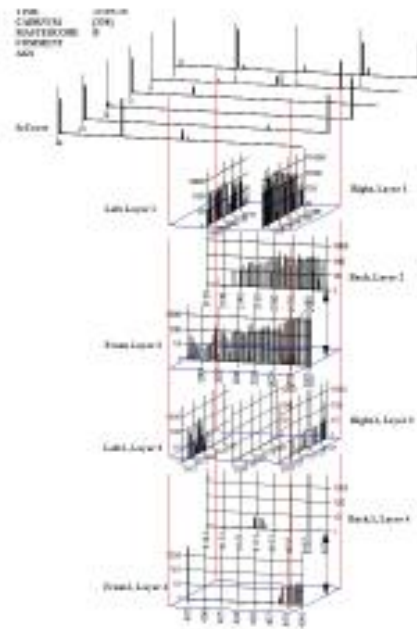
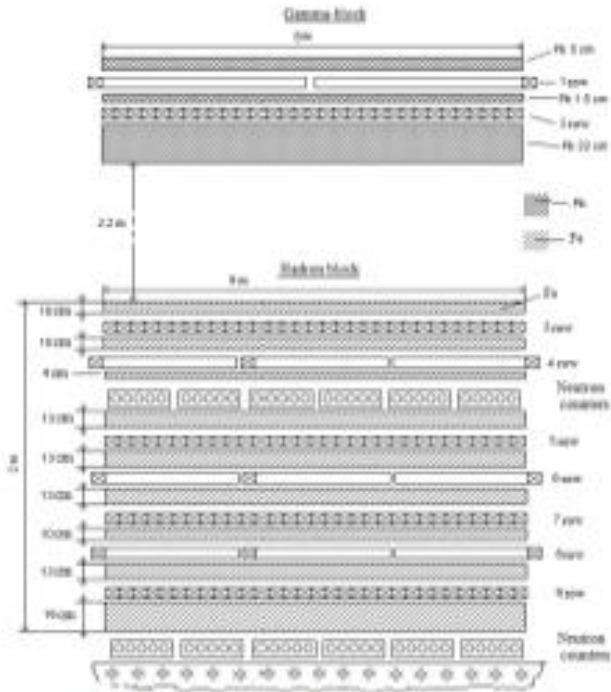
Нейтронный монитор 18НМ64 и ионизационно-нейтронный калориметр INCA, которые используются для непосредственной регистрации адронов ШАЛ в области ливневого ствола



• Нейтронный монитор НМ64

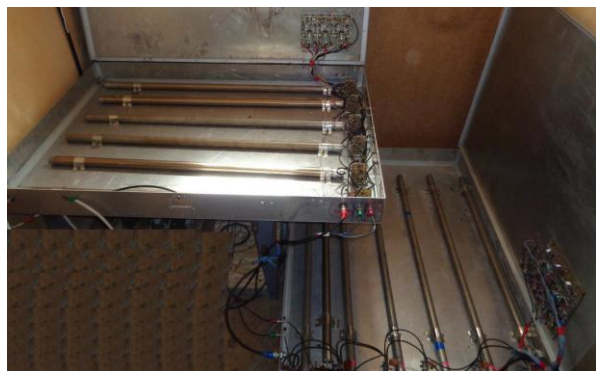


EAS cores within ionization calorimeter



Детекторы тепловых нейтронов и мягкого гамма-излучения

Расположенные в нескольких пунктах на территории Тянь-Шаньской станции детекторы тепловых нейтронов и мягкого гамма-излучения, которые предназначены для исследования характеристик адронной компоненты как в стволах ШАЛ, так и на периферии ливней путем регистрации вторичных частиц-продуктов взаимодействия адронов высокой энергии с веществом окружающей среды.



SNM18 neutron counters;
3100 cm² each;
3 points, 12 counters



NaI crystal; 570 cm²
installed in 3 points

Система радиоантенн

Система антенн, соответствующая приемная аппаратура и система скоростного АЦП для регистрации импульсных радио-сигналов, излучаемых электронами больших ШАЛ в частотном диапазоне (30–100) МГц.

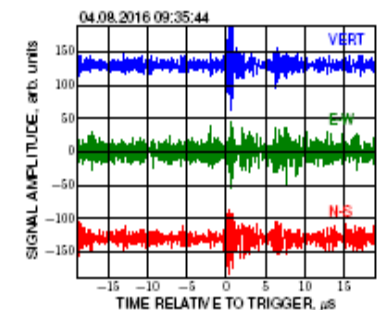
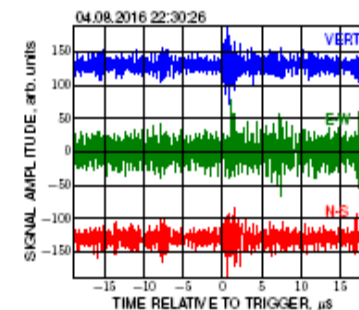
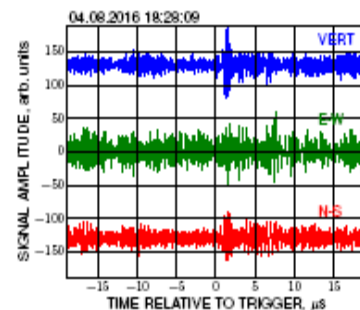
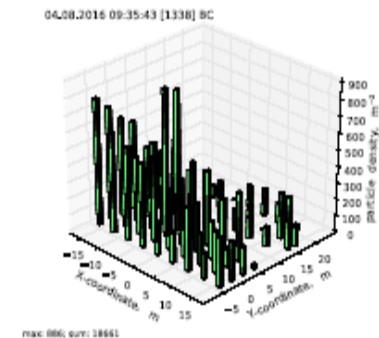
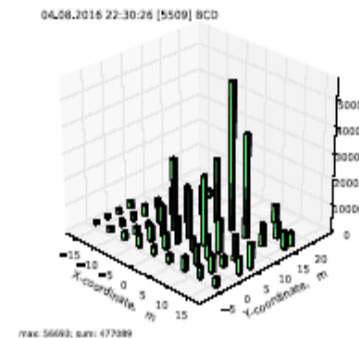
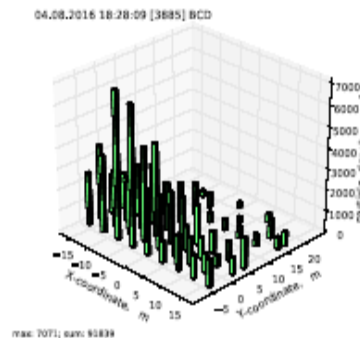
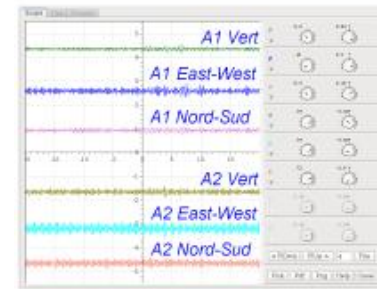
Такие данные представляют собой независимый источник информации для определения энергии и направления прихода первичной частицы космических лучей, альтернативный традиционному подходу, основанному на информации о пространственном распределении потока заряженной компоненты ШАЛ.



Восемь антенн
типа SALLA,
попарно
сгруппированн
ые в четырех
пунктах

EAS and radio signal

- frequency range 25-75 MHz;
- 3 registration points around *CENTER* scintillation carpet;
- 2 antennas with horizontal and one with vertical polarization in every point;
- 12 bit ADC with 4 ns measurement granularity; 8 informational channels $\times$ 10000 time intervals in each event;
- synchronization by EAS trigger.



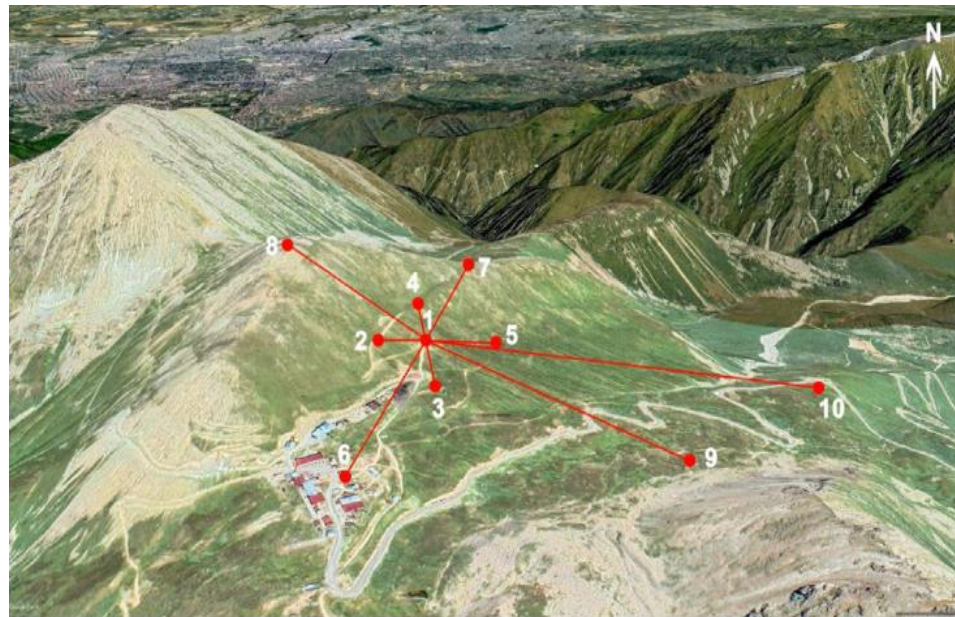
Установка Горизонт-Т

Система сцинтилляционных детекторов и детекторов черенковского излучения Горизонт-Т, предназначенная для регистрации ШАЛ в диапазоне первичных энергий (10^{16} – 10^{18}) эВ, приходящими под большими зенитными углами вплоть до 85° .

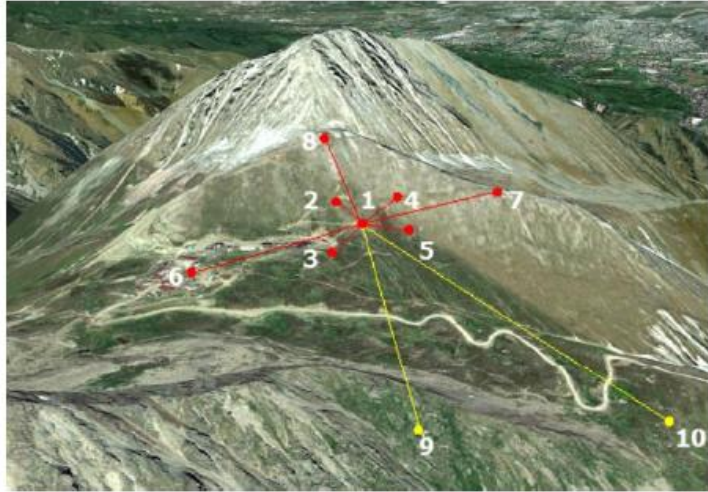
Оптическая система установки представляет собой три параболических зеркала с фокусным расстоянием 65 см и диаметром 150 см каждое.

На каждом пункте регистрации заряженных частиц размещено по три СЦ-детектора. СЦ-детектор представляет собой параллелепипед из полистирола площадью 1 м^2 и толщиной 5 см.

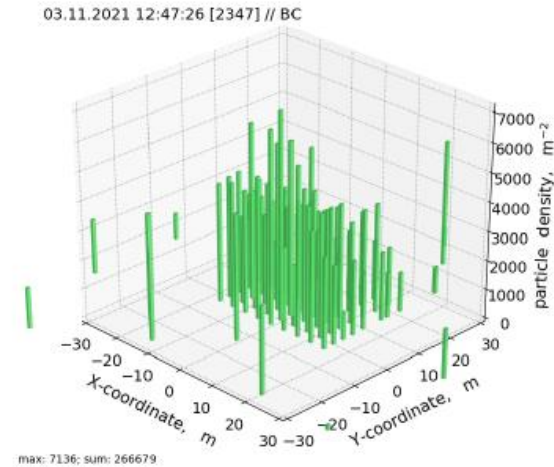
Регистрация с использованием ФЭУ Hamamatsu R7723.



New: investigation of the cores of (100–1000) PeV EAS together with the *HORIZONT* installation

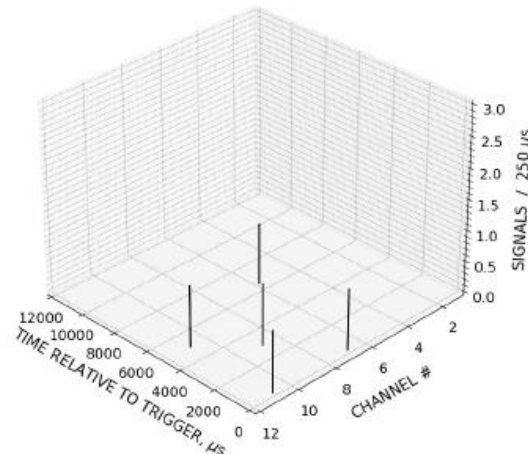


• particles density



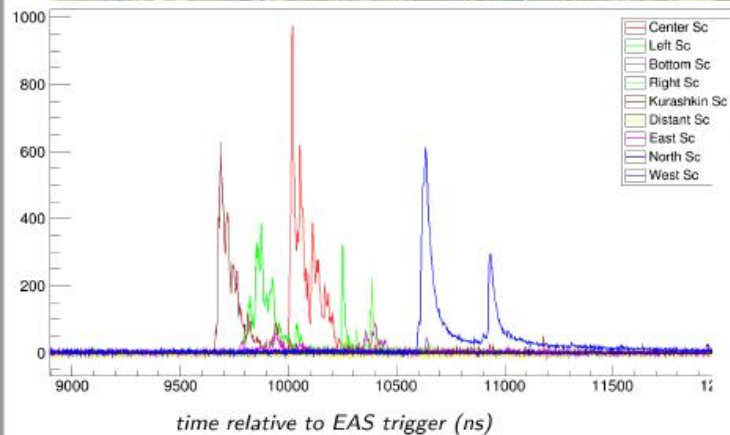
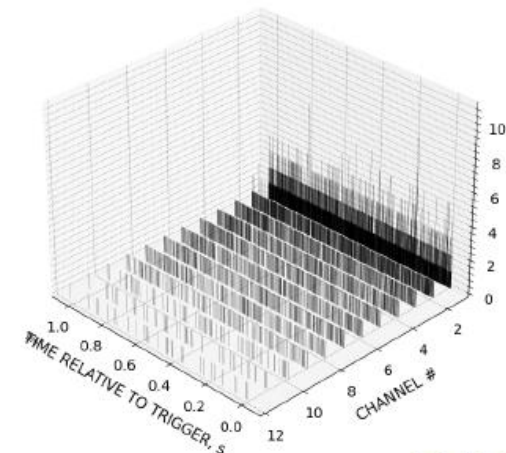
• neutrons

03.11.2021 12:47:26



• gamma

03.11.2021 12:47:26

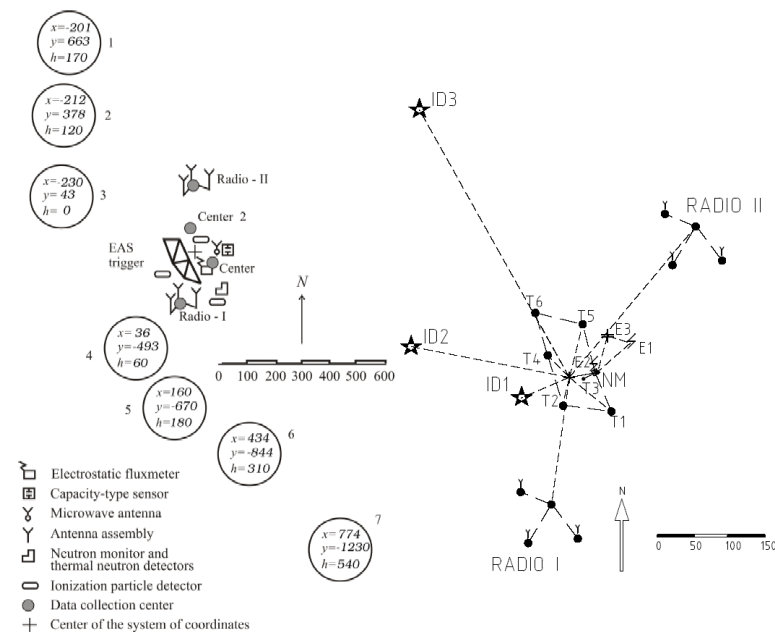


Экспериментальный комплекс Гроза

Система детекторов «Гроза» предназначена для регистрации жестких излучений - потоков ускоренных до энергии порядка нескольких десятков и сотен МэВ электронов и связанного с ними гамма-излучения, которые генерируются при развитии грозовых облаков в атмосфере.

Система включает в себя несколько пунктов для размещения детекторов заряженных частиц и гамма-квантов, которые располагаются на окружающих станцию горных склонах, вплоть до высот ~(400–700) м над ее средним уровнем (3400 м н.у.м.).

Высотное расположение этих детекторов обеспечивает для них высокую вероятность во время грозы оказаться в глубине грозового облака, в непосредственной близости к пространственной области развития молнии.



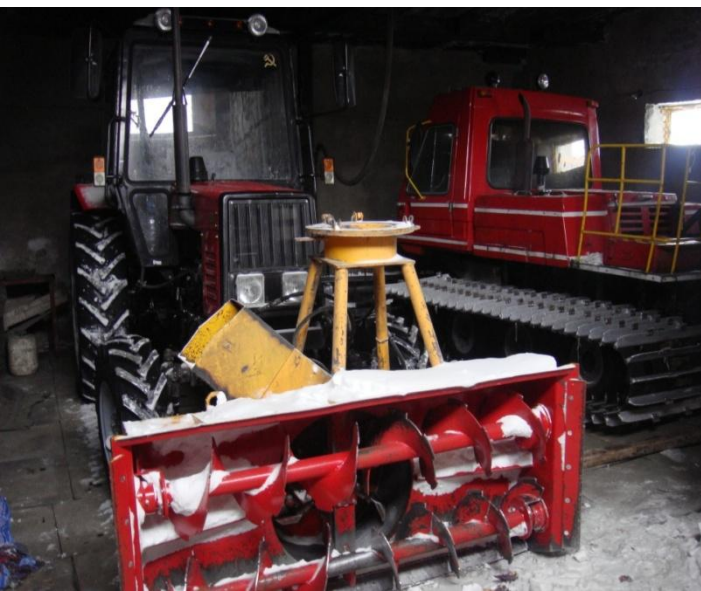
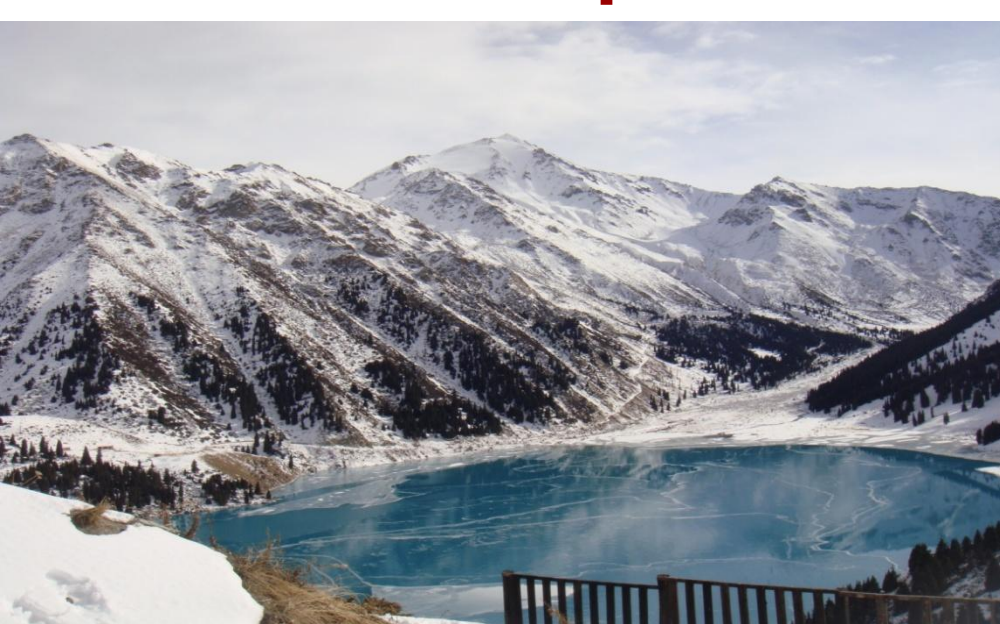
Сейсмологический комплекс

Непрерывный многоканальный мониторинг различных компонент радиационного фона и других параметров окружающей среды для поиска среди этих данных характерных признаков, которые можно было бы использовать в качестве сигналов-предвестников усиливающейся сейсмической активности в окружающем станцию сейсмоопасном регионе.

Для этой цели используются сигналы нейтронных и гамма-детекторов, как расположенных на поверхности земли, так и находящихся на различных глубинах, от 50 до 150 м, в скважине, пробуренной на территории Тянь-Шаньской станции, а также датчики метео-параметров, электрического поля, низкочастотных электромагнитных колебаний ионосферного происхождения и др.



На Тянь-Шаньской научной станции имеется развитая инфраструктура



Исследования космических лучей на ТШВНС

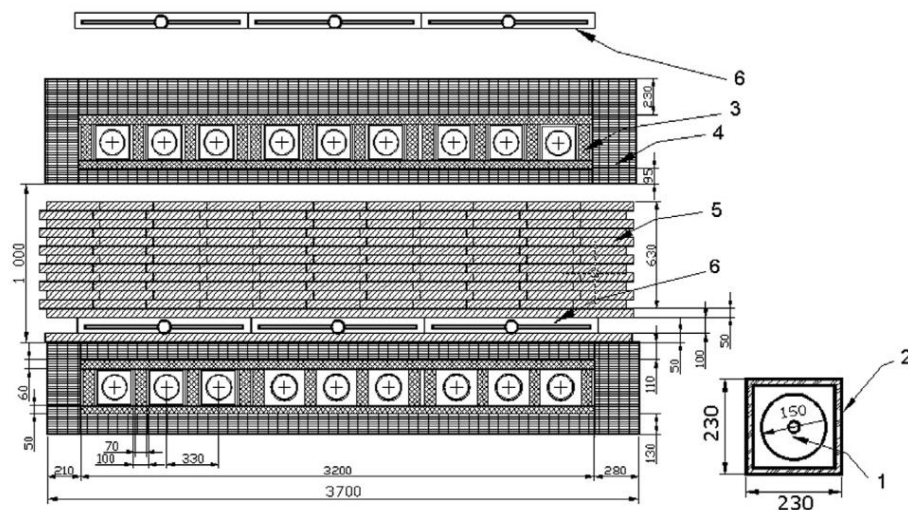
Взаимодействия мюонов в подземном детекторе Тянь-Шаньской станции

Подземный мюонный детектор Тянь-Шаньской станции состоит из двух секций с размерами $(3.7 \times 2.0 \times 1.2) \text{ м}^3$, в каждой из которых находятся по 9 больших нейтронных счетчиков типа СНМ15, окруженных чередующимися слоями полиэтилена, свинца и резины $((\text{C}_2\text{H}_2)_n)$.

Секции располагаются вертикально друг над другом и разделены сплошным железным поглотителем с толщиной $\sim 0.6 \text{ м}$.

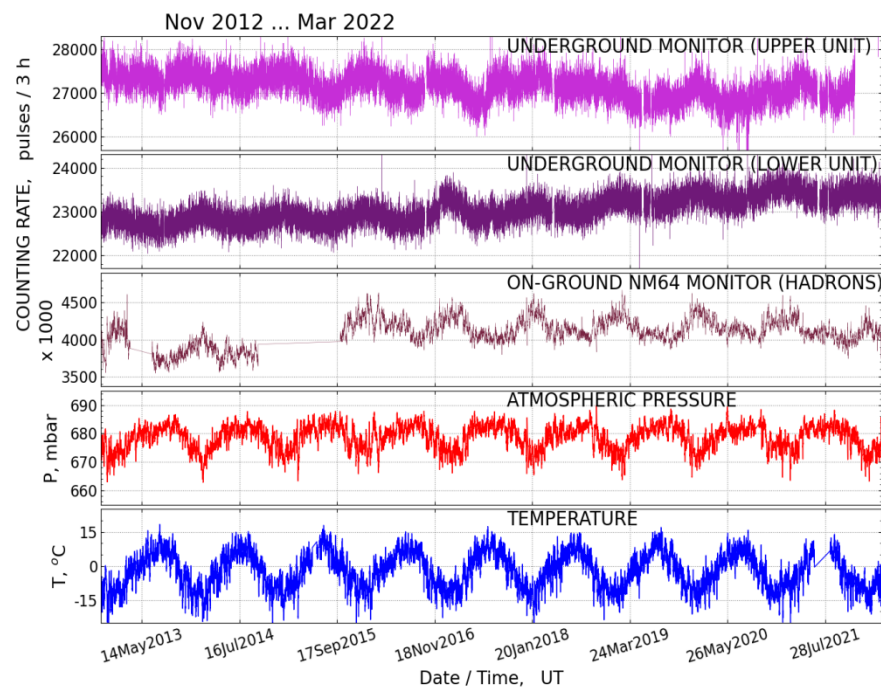
Находящийся над подземным помещением слой скального грунта суммарной толщины $\sim 2000 \text{ г/см}^2$ обеспечивает эффективное поглощение ядерно-активной компоненты космических лучей, снижая в $\sim 3 \cdot 10^4$ раз поток нуклонов и пионов, достигающих глубины подземного детектора.

Этот грунт обеспечивает минимальный энергетический порог $\sim 5 \text{ ГэВ}$ для мюонов, которые могут регистрироваться подземным детектором.



Взаимодействия мюонов в подземном детекторе Тянь-Шаньской станции

- Результаты непрерывного, на протяжении 2012–2022 гг, мониторинга представлены в виде данных, усредненных по последовательным временным интервалам длительностью 3 ч.
- Обнаруживается ярко выраженная сезонная вариация: рост средней величины атмосферного давления в летние месяцы сопровождается понижением скорости счета испарительных нейтронов от взаимодействия космических лучей как на наземном (монитор НМ64), так и подземном детекторах.



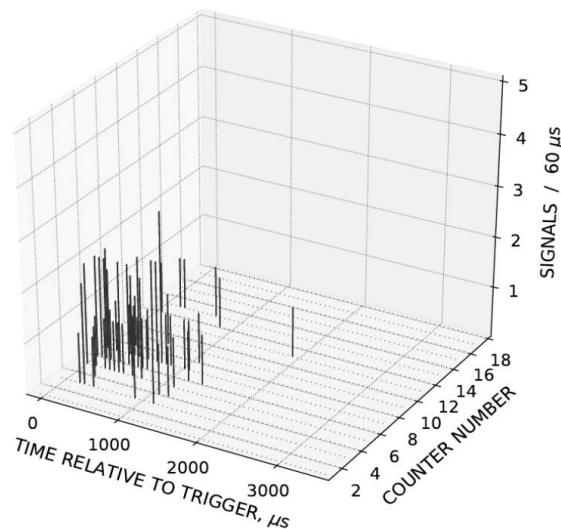
Данные по скорости счета сигналов от испарительных нейтронов в верхней и нижней секциях подземного детектора ТШВНС, а также нейтронов-продуктов взаимодействия адронной компоненты космических лучей в наземном нейтронном мониторе НМ64, совместно с измерениями атмосферных параметров

Взаимодействия мюонов в подземном детекторе Тянь-Шаньской станции

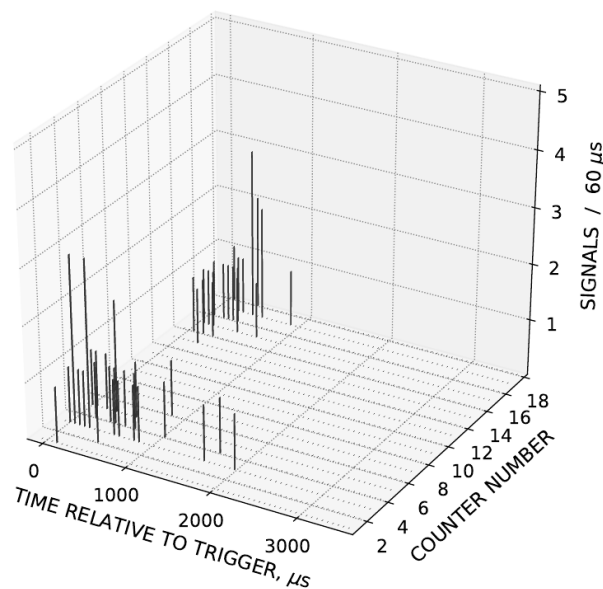
Для регистрации событий образования испарительных нейтронов мюонами космических лучей в подземном детекторе Тянь-Шаньской станции использовался специальный триггерный сигнал, который вырабатывался в случае, если счетчики одной из его секций на протяжении короткого промежутка времени (сотни микросекунд) регистрировали определенное, превышающее предустановленный порог, количество нейтронных импульсов.

Показаны примеры таких событий, большая часть которых соответствует случаям прохождения одиночных мюонов высокой энергии через подземный детектор.

14.01.2017 10:18:51



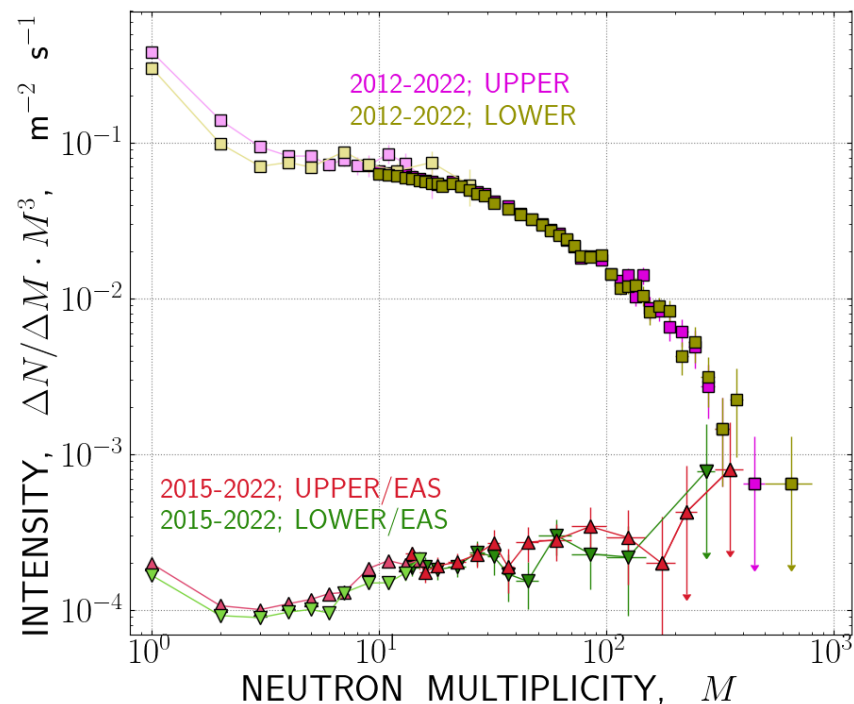
06.04.2020 23:10:10



Взаимодействия мюонов в подземном детекторе Тянь-Шаньской станции

Альтернативным сигналом для записи событий на подземном детекторе служил триггерный импульс от ливневой установки, который вырабатывался в случае, если ось ШАЛ с первичной энергией $>(0.3-1) \cdot 10^{15}$ эВ, попадала в центральный «ковер» сцинтилляционных детекторов, расположенный непосредственно над подземным помещением.

Независимо от типа сопровождающего триггера, основной характеристикой зарегистрированного на подземном детекторе нейтронного события является суммарное число импульсов от его нейтронных счетчиков, полученных на протяжении короткого (несколько миллисекунд) интервала времени после момента триггера - множественность зарегистрированных нейтронов M .

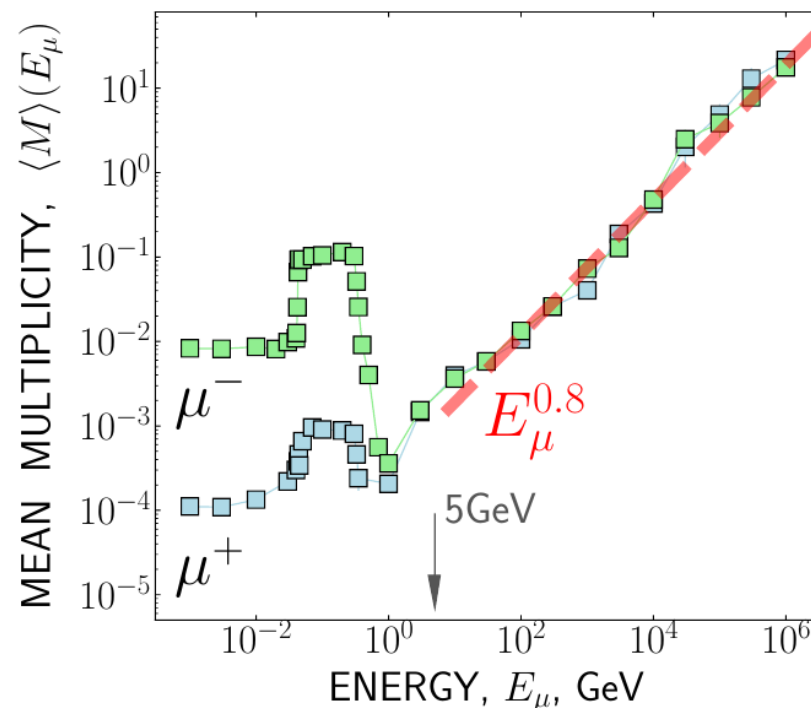


Спектры событий генерации испарительных нейтронов в подземном детекторе по суммарной множественности M нейтронных сигналов, зарегистрированных в верхней (UPPER) и нижней (LOWER) секциях детектора. Спектры представлены отдельно для двух типов событий: два верхних спектра - прохождение одиночных мюонов (внутренний триггер подземного детектора); два нижних спектра - групповое прохождение мюонов из стволов ШАЛ.

Взаимодействия мюонов в подземном детекторе Тянь-Шаньской станции

Согласно расчетам Geant4, подземный нейтронный детектор позволяет регистрировать мюоны космических лучей в исключительно широком энергетическом диапазоне, начиная от энергетического порога ~ 5 ГэВ, величина которого определяется толщиной находящегося над детектором грунта-поглотителя, и вплоть до сотен ТэВ. Помимо этого, в ходе моделирования была получена простая степенная зависимость между средним числом M испарительных нейтронов, зарегистрированных после прохождения через подземный детектор мюона с энергией E_μ : $E_\mu \approx 18 \cdot M^{1.25}$ ТэВ.

Как следует из этого соотношения, даже минимальным значениям $M \sim 1$ соответствует энергия порядка одного-двух десятков ТэВ, то есть подземный детектор, основанный на регистрации нейтронов, которые рождаются во взаимодействиях мюонов с веществом внутренней мишени, представляет собой установку для исследования мюонной компоненты космических лучей с весьма высоким энергетическим порогом.



Результат расчета Geant4: средняя множественность сигналов M , зарегистрированных от нейтронных счетчиков подземного детектора Тянь-Шаньской станции, в зависимости от энергии E_μ мюонного взаимодействия в этом детекторе.

Взаимодействия мюонов в подземном детекторе Тянь-Шаньской станции

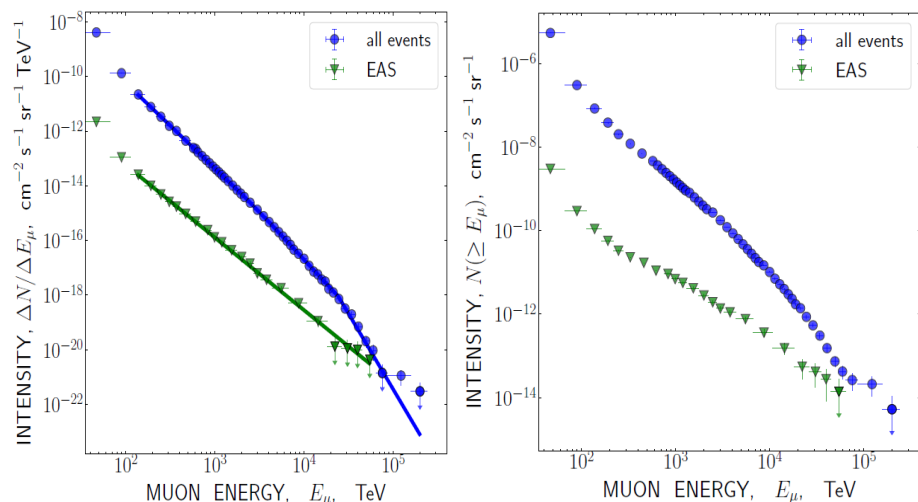
- В эксперименте не наблюдается заметной разницы между спектрами, относящимися к верхней и нижней секциям подземного детектора, которые разделены железным поглотителем с эквивалентным количеством вещества $\sim 3500 \text{ г/см}^2$, обеспечивающим для нижней секции увеличение энергетического порога на $5 - 7 \text{ ТэВ}$ по отношению к регистрации частиц, проходящих в близком к вертикальному направлении, в сравнении с верхней секцией. Отсутствие различия в спектрах по множественности M , относящихся к этим двум секциям означает, что основная масса регистрируемых в подземном детекторе событий относится к взаимодействиям мюонов с энергией, существенно превышающей указанную величину E , что, опять-таки, согласуется с выводом о нижнем пороге регистрации мюонов в данном детекторе, имеющим порядок нескольких ТэВ.
- Множественность нейтронных сигналов M , регистрируемых в каждом событии, хорошо коррелирует с энергией взаимодействующего мюона E_μ , что позволяет давать оценку энергии взаимодействия. Такая информация представляет исключительный интерес для решения активно обсуждаемой в литературе т. н. "мюонной загадки" (muon puzzle problem), то есть избыточной, по сравнению с модельными расчетами, множественности энергичных мюонов, образующихся во взаимодействиях частиц космических лучей.

Взаимодействия мюонов в подземном детекторе Тянь-Шаньской станции

Применяя калибровочную формулу к данным о распределении множественности нейтронных событий, можно рассчитать энергетический спектр мюонов, взаимодействия которых приводили к генерации испарительных нейтронов в подземном детекторе.

Энергетические спектры практически идентичны для мюонов, зарегистрированных в верхней и нижней секциях подземного детектора.

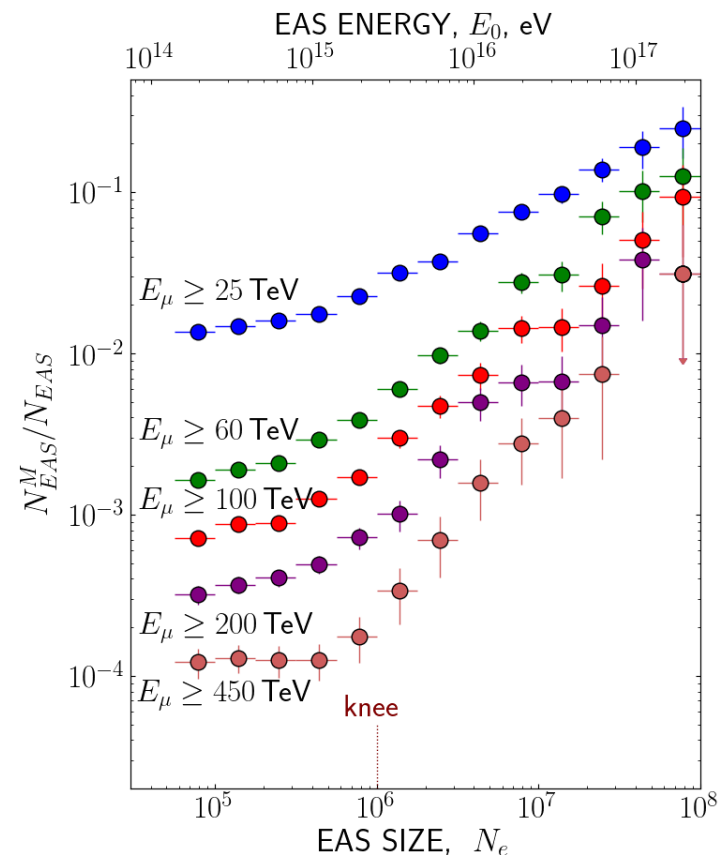
Это означает, что регистрация мюонной компоненты космических лучей в этих двух секциях происходит полностью независимо друг от друга, поскольку эффективные потери частиц, взаимодействующих как в самих секциях, так и внутри находящегося между ними поглотителя (единицы-десятки ГэВ), существенно меньше их первичной энергии (начиная от десятков ТэВ и выше).



Дифференциальные спектры мюонной компоненты космических лучей, рассчитанные по данным о множественности испарительных нейтронов, наблюдавшихся в верхней (UPPER) и нижней (LOWER) секциях подземного детектора. Кружками показан спектр для событий, связанных с прохождением одиночных мюонов через детектор, треугольниками — для событий, сопровождавшихся прохождением ШАЛ.

Взаимодействия мюонов в подземном детекторе Тянь-Шаньской станции

- Обнаружено, что число мюонов широких атмосферных ливней резко увеличивается в ШАЛ с энергией ~ 3 ПэВ, то есть в области излома энергетического спектра КЛ.
- Пороговое возрастание мюонной компоненты в ливнях с первичной энергией, превышающей энергию излома, согласуется с результатом прежнего эксперимента HADRON.



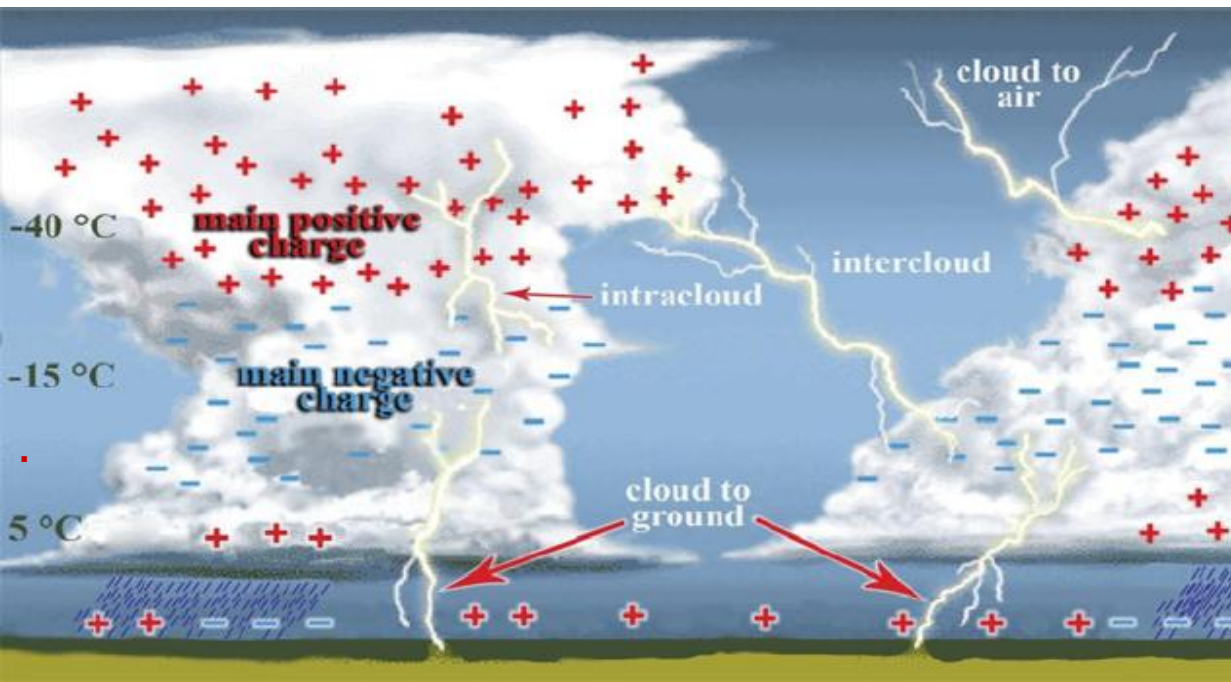
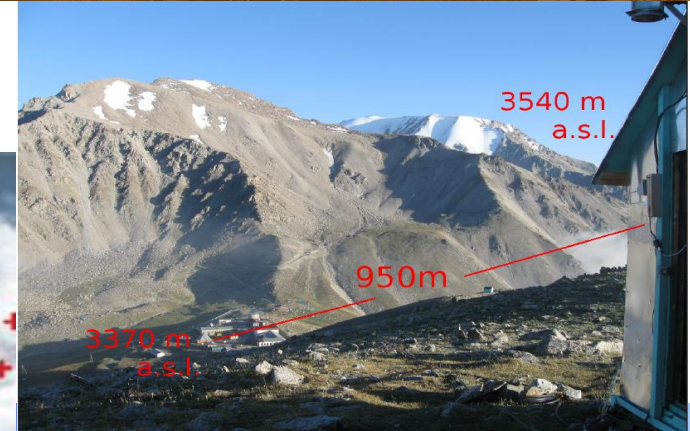
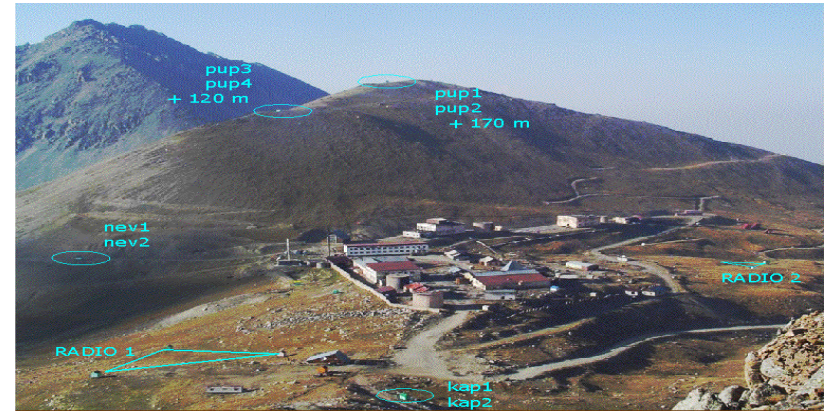
Отношение числа ШАЛ, в которых наблюдался сигнал от мюонных взаимодействий в подземном детекторе ТШВНС, N_{EAS}^M , к общему числу зарегистрированных ливней N_{EAS} , в зависимости от размера (числа частиц) в ливне N_e , его первичной энергии E_0 и минимальной энергии регистрируемых мюонов E_μ .

Исследование излучений в грозовой атмосфере на ТШВНС

Исследование фундаментальных процессов и механизмов генерации проникающих излучений в молниевых разрядах на высотах гор

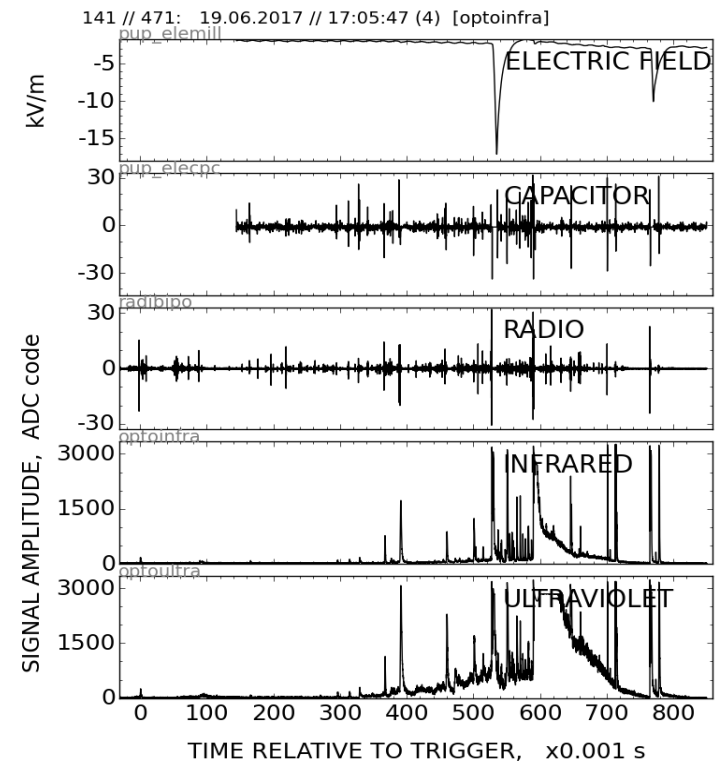
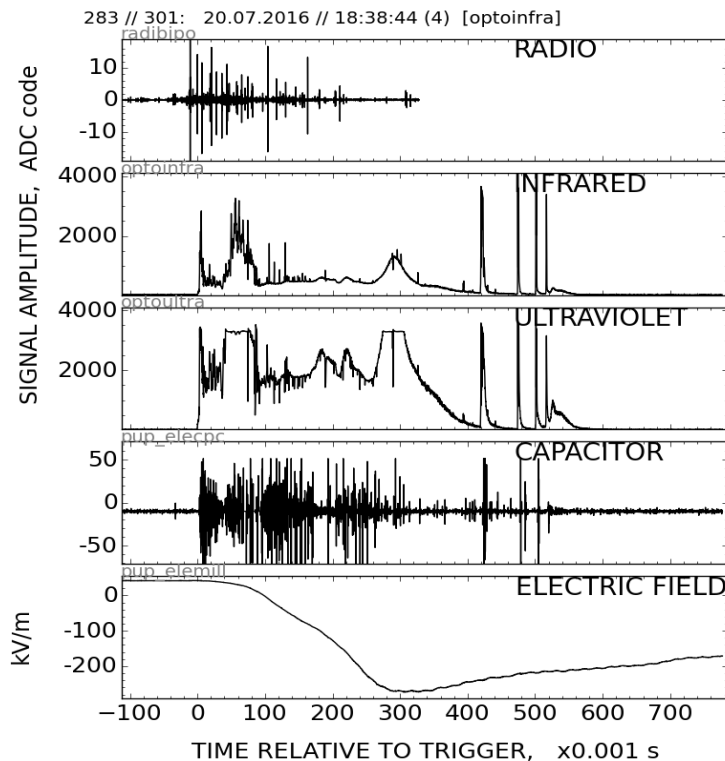
Комплекс «Гроза» на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции ФИАН – это установка нового поколения, которая позволяет одновременно регистрировать все виды излучений в атмосферном грозовом разряде.

Уникальность установки заключается как в разнообразии регистрирующей аппаратуры, так и в её высокогорном местоположении, позволяющем проводить исследования непосредственно внутри грозовых облаков.



Исследование излучений грозовых разрядов в широком диапазоне электромагнитного спектра

- Одновременно регистрировалось электромагнитное излучение атмосферных разрядов на радиочастоте (0.1 – 30 МГц), в инфракрасном (610 – 800 нм) и в ультрафиолетовом (240 – 380 нм) диапазонах оптического спектра и мягкое гамма излучение (0.1 – 4 МэВ).
- Как правило, временное поведение вспышки как в обоих оптических диапазонах повторяет с высокой степенью точности развитие радиосигнала.
- Иногда в структуре вспышек наблюдаются различные особенности. В частности, такими особенностями обладают "темные" электрические разряды без сильного оптического излучения, в которых преобладает ультрафиолетовое излучение. В них длящееся несколько миллисекунд оптическое излучение заполняет временные интервалы между отдельными последовательными радиоимпульсами.

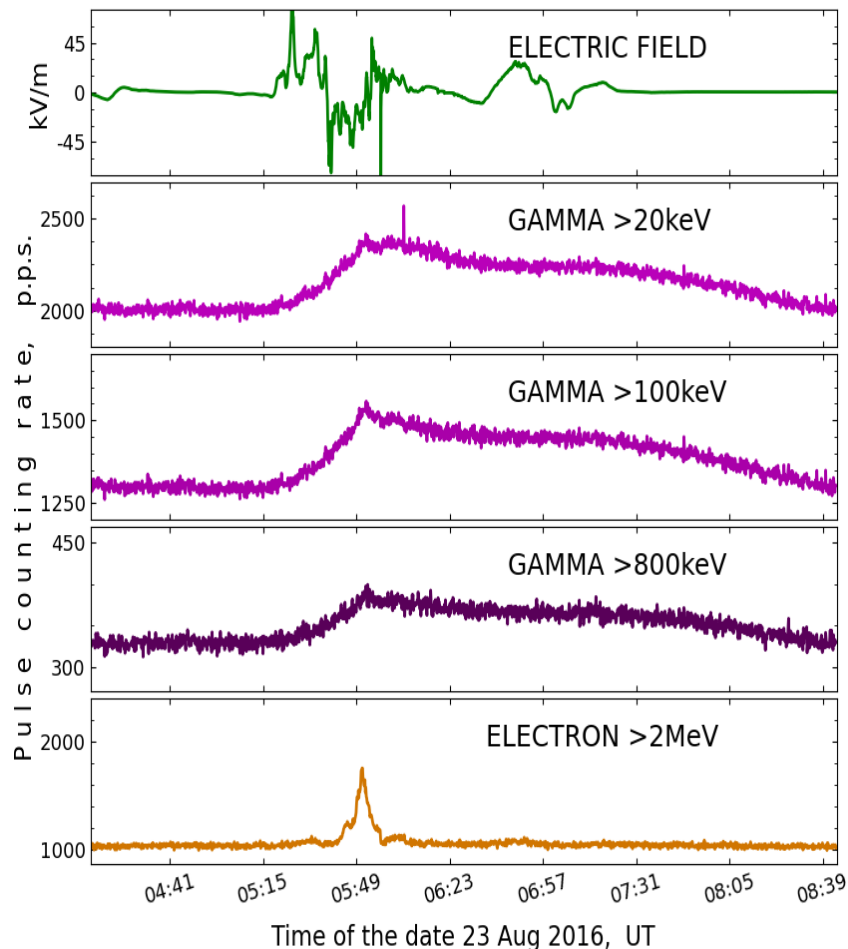


Жесткие излучения в грозовых облаках

- Создан высотный пункт размещения детекторов, который располагается на гребне горного хребта, на высоте ~ 3700 м над уровнем моря, и на ~ 400 м выше среднего уровня станции.
- Нижний энергетический порог составляет (20–30) кэВ для гамма-квантов и (1–2) МэВ для ускоренных электронов.
- Для регистрации гамма-излучения на высотном пункте применяются сцинтилляционные детекторы, которые построены на основе сопряженных с фотоумножителем цилиндрических кристаллов NaI(Tl) и работают в режиме счета отдельных квантов. Амплитудный анализ выходных импульсов позволяет восстановить энергетический спектр излучения. Длительность формируемых дискриминатором сигналов составляет ~ 10 мкс.
- Регистрация ускоренных электронов производится с помощью телескопа совпадений, который состоит из пары детекторов заряженных частиц со сцинтиллятором, состоящим из пластин полистирола размером $1 \times 1 \times 0.01 \text{ м}^3$.
- Сигналы, которые поступают от верхнего детектора установки, соответствуют прохождению релятивистских электронов с энергией не менее (2–3) МэВ, а сигналы совпадения импульсов от верхнего и нижнего сцинтилляторов означает прохождение, в близком к вертикальному направлении, электрона с энергией не менее (80–100) МэВ.
- Во время гроз мониторинг интенсивности всех поступающих от детекторов высотного пункта импульсных сигналов ведется непрерывно, с временным разрешением 1 с.

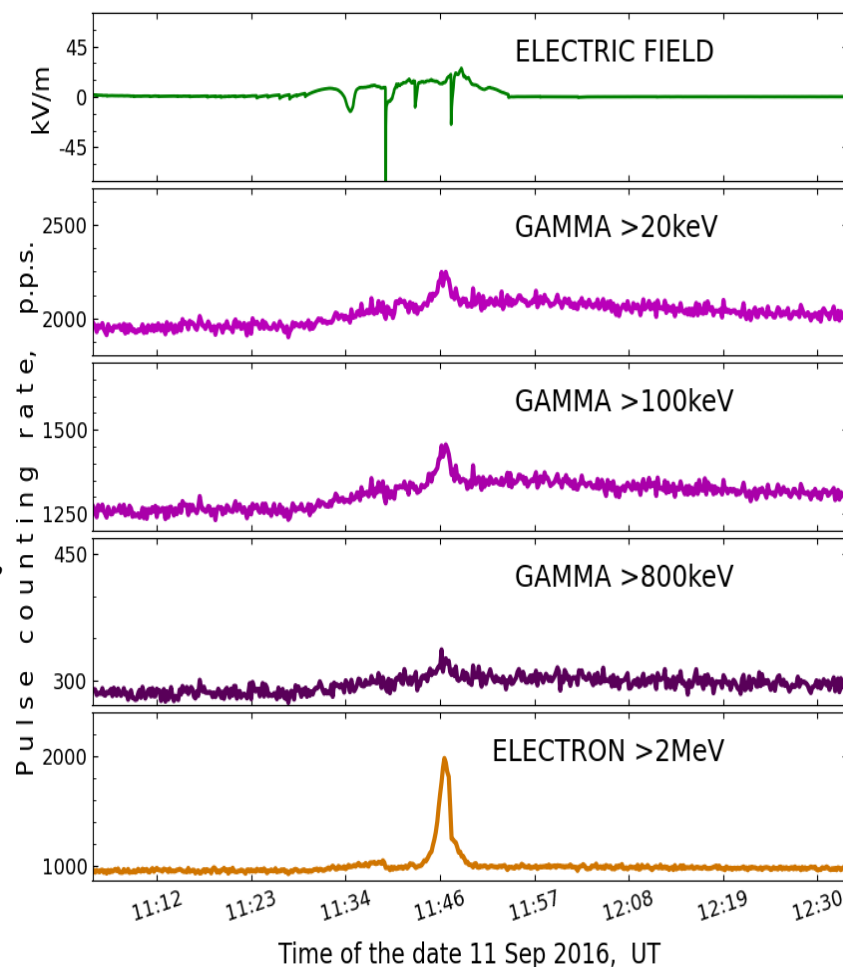
Жесткие излучения в грозовых облаках

- В результате измерений было зарегистрировано 74 события, связанных с кратковременным возрастанием скорости счета гамма-квантов в энергетическом диапазоне десятки кэВ — единицы МэВ, которые можно было бы интерпретировать как типичные проявления эффекта TGE.
- В ряде случаев, наряду с ростом гамма-фона, были обнаружены также возрастания интенсивности потока релятивистских заряженных частиц, регистрировавшихся с энергетическим порогом порядка нескольких МэВ.
- В силу ограниченного пробега ускоренных заряженных частиц в воздухе, можно предполагать, что все события TGE, в которых непосредственно наблюдался сигнал от МэВ-ных электронов, соответствуют случаям прохождения активной зоны грозового облака на минимальном расстоянии, не более нескольких десятков — сотни метров, от высотного пункта.

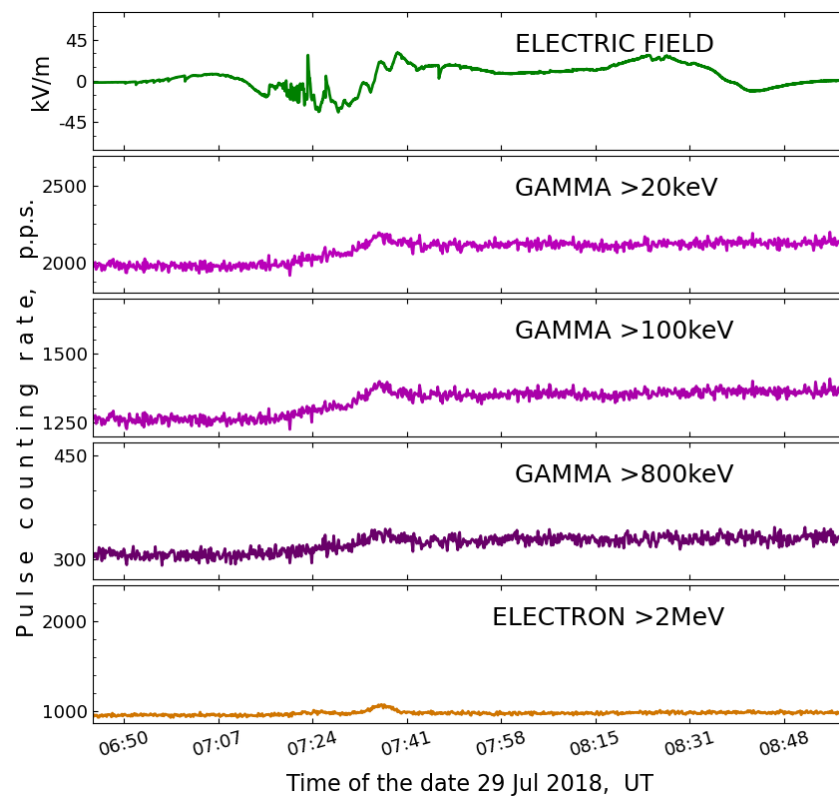
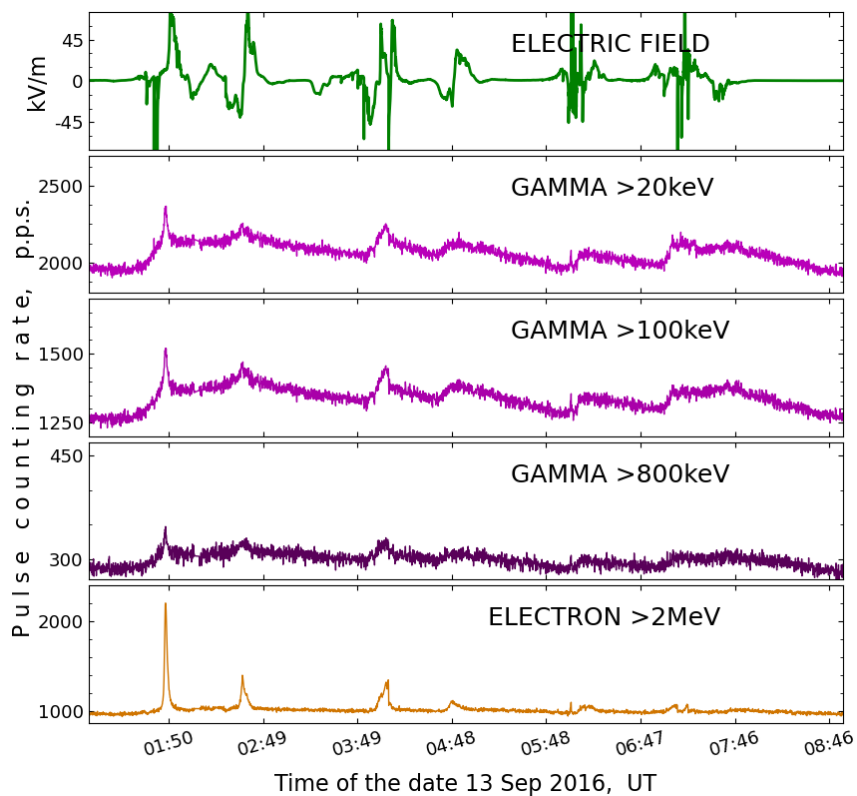


Жесткие излучения в грозовых облаках

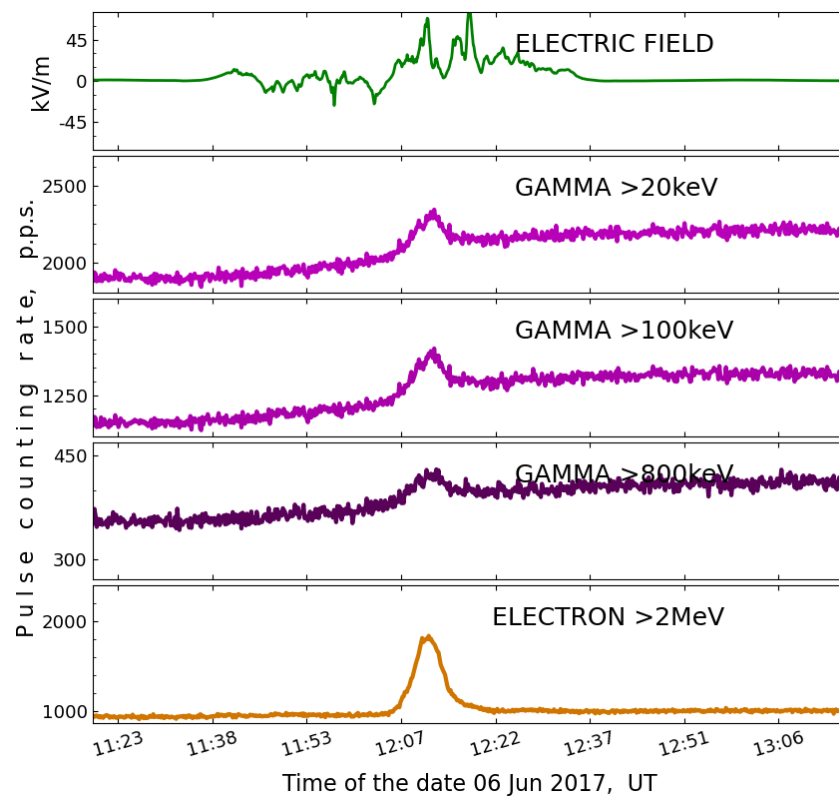
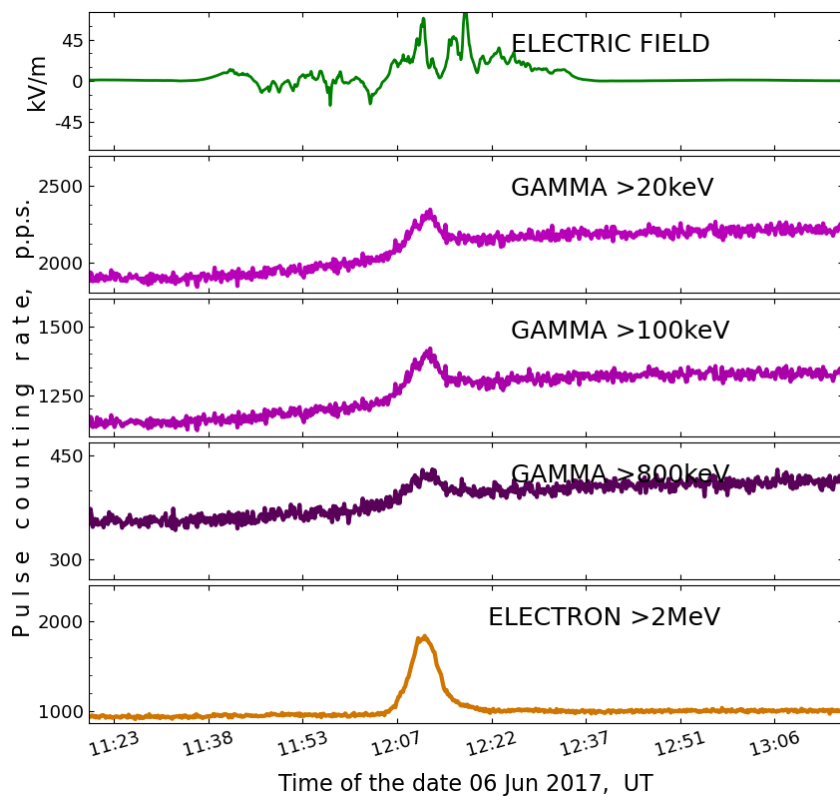
- Характерная длительность сигнала от развивающихся в грозовом облаке электронных лавин составляет несколько минут, что сопоставимо со временем перемещения грозового облака над детектором.
- В большинстве наблюдавшихся случаев относительная амплитуда возрастания скорости счета заряженных частиц на пике события TGE по отношению к ее фоновому уровню варьирует в пределах (10–100)%.
- В большинстве случаев в распределениях *GAMMA*, кратковременный пик скорости счета накладывается на гораздо более медленное, с характерным временем порядка часа, возрастание интенсивности гамма-излучения, природа которого не связана непосредственно с процессом генерации релятивистских заряженных частиц в грозовом облаке, а определяется ростом концентрации в приземном слое воздуха различных радиоактивных компонент, прежде всего ^{222}Rn , которые переносятся осадками.



Жесткие излучения в грозовых облаках

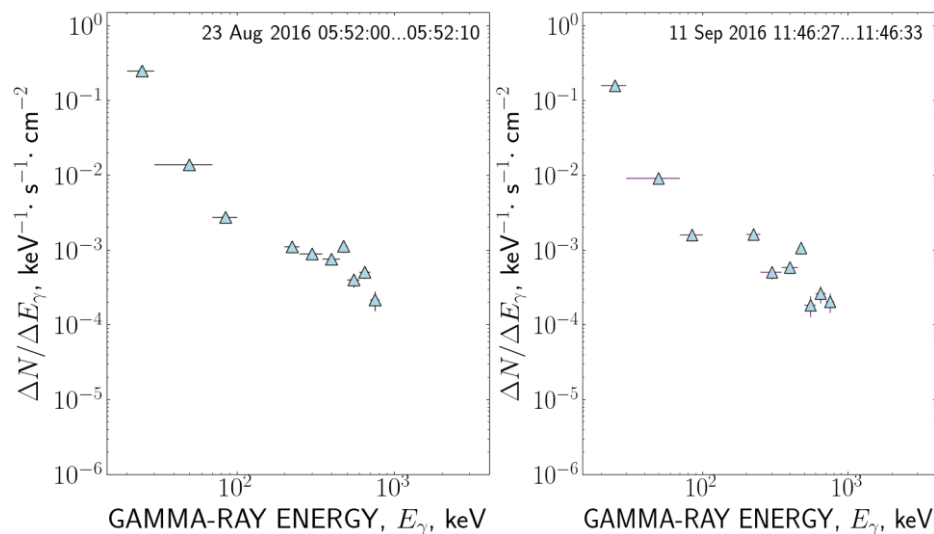


Жесткие излучения в грозовых облаках



Жесткие излучения в грозовых облаках

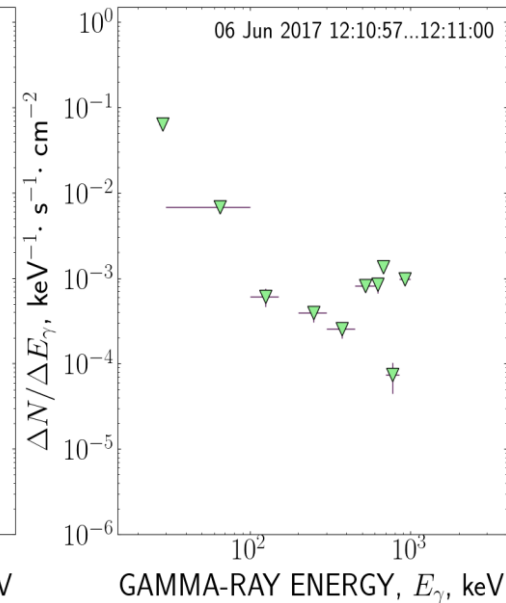
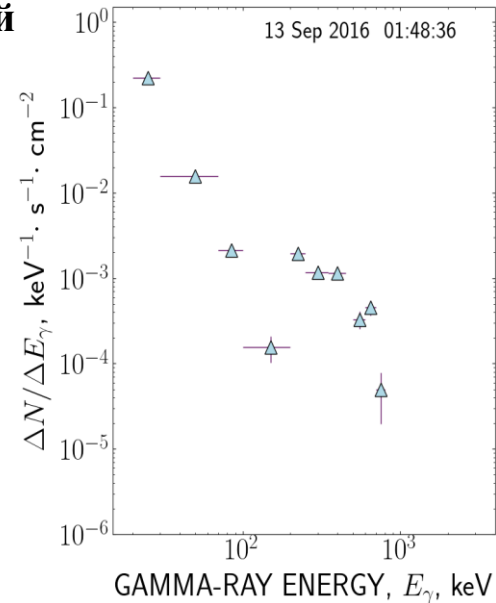
- Интегральные распределения скорости счета, регистрировавшиеся с секундным временным разрешением в нескольких каналах гамма-детектора, соответствующих ряду порогов по энергии регистрируемых гамма-квантов, позволяют рассчитать **дифференциальный энергетический спектр гамма-излучения внутри грозовых облаков для любого момента времени.**
- При расчете спектров учитывалась **эффективность используемого сцинтилляционного детектора по отношению к регистрации гамма-квантов различной энергии, а из исходных значений скорости счета сцинтилляционных сигналов на пике событий TGE вычитались фоновые уровни, соответствующие данным невозмущенного периода, непосредственно предшествующего началу роста интенсивности.**



Энергетические спектры гамма-квантов, зарегистрируемых на максимуме интенсивности излучения в событиях TGE.

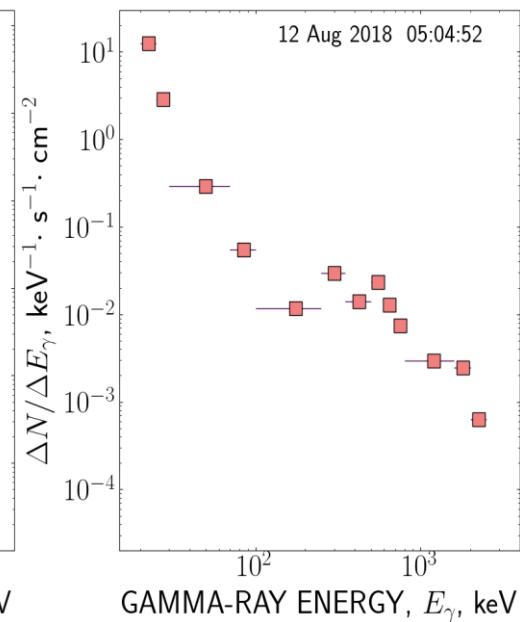
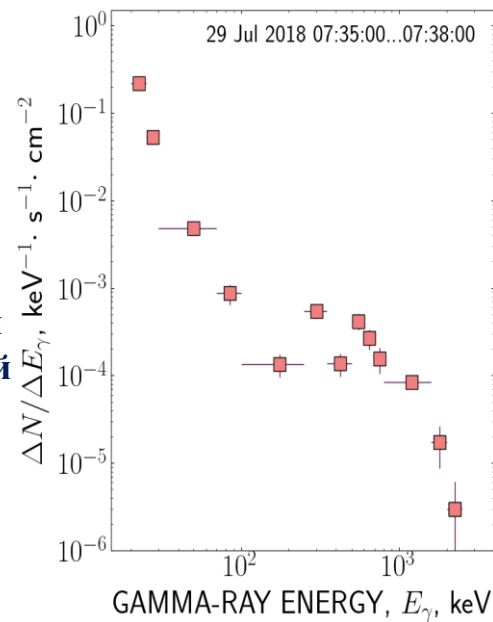
Жесткие излучения в грозовых облаках

- Спектры совместимы с экспоненциальным распределением $f(E_\gamma) \sim E_\gamma^{-\beta} \cdot \exp(-E_\gamma/\varepsilon)$, которое используется для аппроксимации спектра гамма-излучения, генерируемого в воздухе при развитии электронно-фотонной лавины с учетом эффекта комптоновского рассеяния. Соответствующие этим спектрам оценки параметров $\beta \approx (0.5-0.8)$ и $\varepsilon \approx (1.5-2)$ МэВ.
- Важную особенность спектров составляет наличие в каждом них локального максимума интенсивности в области энергии гамма-квантов $E \approx (450-600)$ кэВ. Этот максимум можно интерпретировать как проявление аннигиляционной линии позитронов 511 кэВ.



Жесткие излучения в грозовых облаках

- Непосредственный сигнал о наличии заметного количества позитронов на пике событий TGE служит важным свидетельством в пользу эффекта релятивистской обратной связи, играющего важную роль при развитии лавины ускоряемых электрическим полем грозового облака заряженных частиц.
- Еще одним источником позитронов может оказаться β^+ -распад короткоживущих изотопов, которые образуются в грозовых облаках благодаря фотоядерным реакциям под воздействием интенсивного потока гамма-лучей из состава развивающейся электронно-фотонной лавины.
- Помимо аннигиляционной линии, в некоторых спектрах заметен еще один максимум в области меньших энергий, $E_{\square} \approx (200-300)$ кэВ. Эта особенность может отражать вклад в суммарный спектр со стороны дочерних ядер-продуктов распада изотопа ^{222}Rn , концентрация которого в приземном слое атмосферы возрастает при осадках, сопровождающих прохождение грозовых облаков.



Сейсмологические исследования на ТШВНС

Сейсмологические исследования на ТШВНС

- Исследование литосферно-атмосферно-ионосферных связей в период подготовки и во время землетрясений имеет важное значение для решения всего комплекса проблем взаимодействия атмосферы и ионосферы. Перспективы таких исследований связаны с **выявлением возможных сигналов-предвестников катастрофических землетрясений.**
- Исследования, выполненные на Тянь-Шаньской станции в предыдущие годы, показали, что накануне и во время сильных землетрясений возникают характерные ионосферные и акустические возмущения, аномальные эффекты в области атмосферного электричества и вариациях потока гамма-квантов в приземном слое атмосферы.
- Полученные данные заложили основу для перехода от отдельных наблюдений к объединенному во времени и пространстве комплексному многопараметрическому мониторингу геофизической среды.

Мониторинг акустического и радиационного фона в глубинной скважине ТШВНС

Непрерывная регистрация радиационного фона и геоакустической эмиссии представляет интерес для задачи, связанной с поиском сигналов-предвестников землетрясений.

Применяется ряд акустических, гамма- и нейтронных детекторов, которые располагаются как непосредственно на территории станции, так и ниже поверхности земли на различных уровнях находящейся на территории станции глубинной скважины.

В качестве гамма-детекторов используются неорганические сцинтилляторы на основе кристаллов NaI(Tl). Аналоговые выходные сигналы каждого сцинтилляционного детектора подключены к набору амплитудных дискриминаторов, что позволяет регистрировать интенсивность потока гамма-квантов одновременно для нескольких энергетических порогов в пределах (50–1000) кэВ.

Для регистрации фоновых нейтронных потоков применяются пропорциональные счетчики ионизации со специальным газовым наполнением, включающим изотоп ^3He , который обладает высоким сечением захвата нейтронов в области тепловых энергий.

Импульсные сигналы геоакустической эмиссии регистрируются расположенными на различных уровнях скважины микрофонами, которые обладают чувствительностью 25 Па/мВ в акустическом диапазоне частот (500–10000) Гц.



Схема размещения детекторов в глубинной скважине

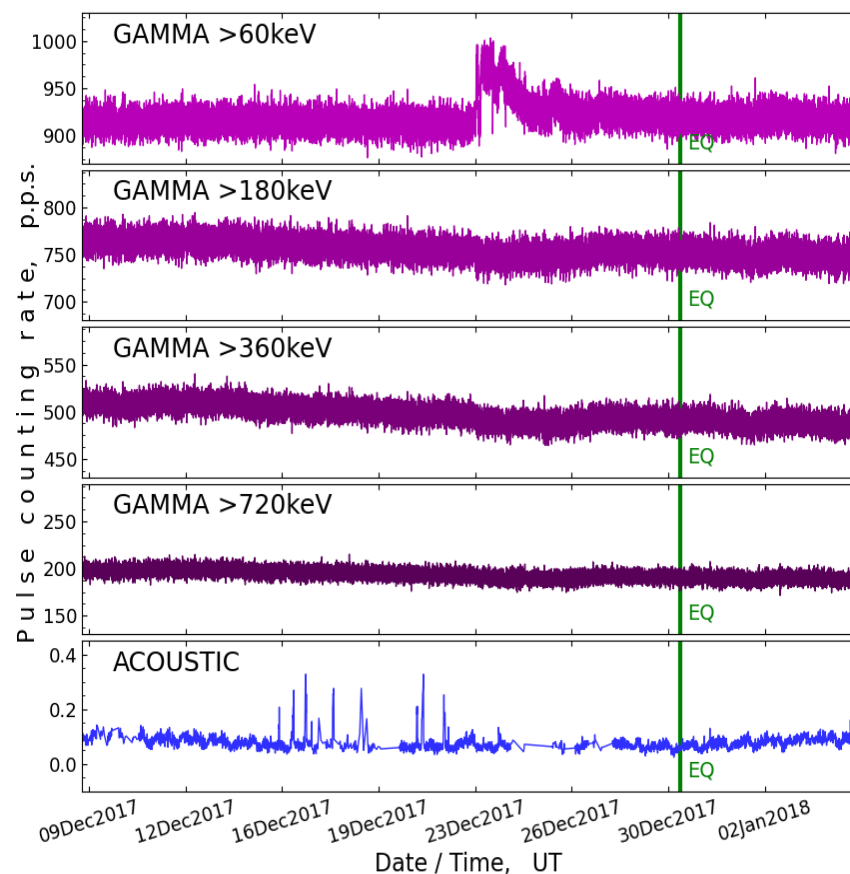
Мониторинг акустического и радиационного фона в глубинной скважине ТШВНС

30 декабря 2017 года в 15:55:45UT вблизи г. Алматы произошло близкое землетрясение магнитудой $MPV=4,2$. Эпицентр землетрясения находился на глубине ~ 10 км и на расстоянии ~ 5 км от ТШВНС.

Результаты мониторинга, который проводился на протяжении трех предшествующих землетрясению недель, представлены на рисунке.

За семь суток до землетрясения в скважине был зарегистрирован аномальный всплеск интенсивности гамма-излучения, который был ограничен диапазоном энергий (60–180) кэВ, и общая продолжительность которого составляла ~ 5 ч. На протяжении трех последующих суток вплоть до землетрясения в скважине сохранялся повышенный уровень низкоэнергичного гамма-фона.

За семь суток до начала возрастания радиационного фона (и за 10 суток до момента землетрясения) в скважине наблюдался ряд возрастаний интенсивности сигналов геоакустической эмиссии, длительность каждого из которых составляла (1–2) ч, а разделяющие их временные промежутки варьировались в пределах (5–12) ч. За пределами предшествующего данному землетрясению десятидневного периода подобных аномалий в поведении регистрируемых характеристик не наблюдалось.



Мониторинговые записи скорости счета импульсных сигналов для находящихся в глубинной скважине Тянь-Шаньской станции гамма-детектора и акустического датчика, регистрировавшиеся в подготовительный период близкого землетрясения 30.12.2017. Момент землетрясения (EQ) отмечен вертикальной линией.

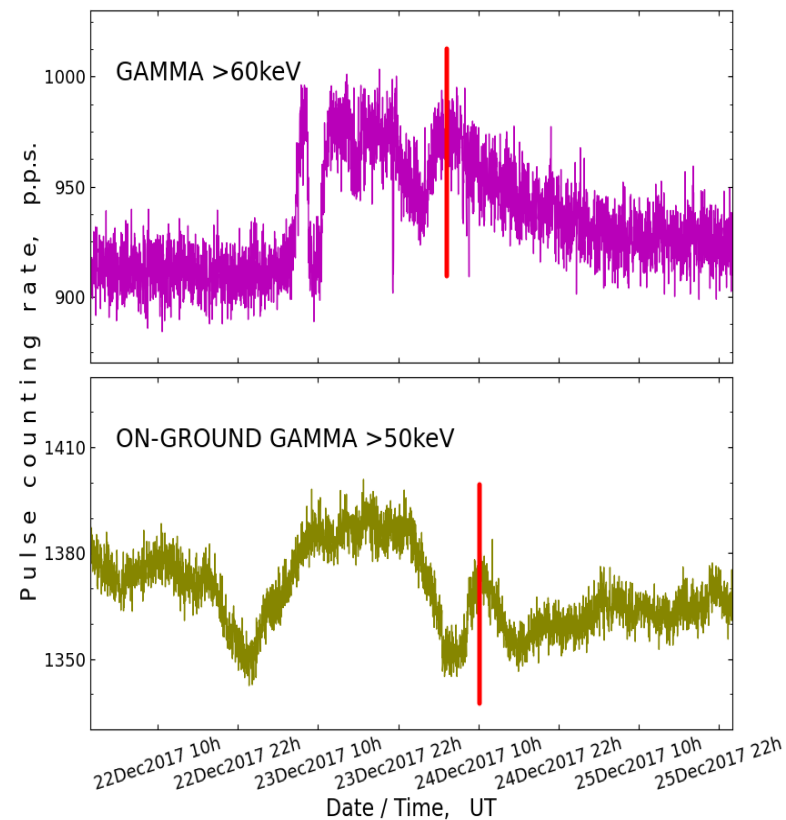
Мониторинг акустического и радиационного фона в глубинной скважине ТШВНС

Отклик на активизацию сейсмических процессов был обнаружен также в вариациях потока гамма-квантов в приземной атмосфере. Следует подчеркнуть, что на интенсивность потока гамма-квантов кэВ-ных энергий над поверхностью земли оказывают сильное влияние выпадение осадков в виде дождя, снега и града, а также изменения температуры воздуха и атмосферного давления, что мешает выявлению сейсмогенных эффектов.

Возрастание интенсивности гамма-излучения в приземной атмосфере запаздывало относительно всплеска ионизации в скважине на ~5 ч, что, по-видимому, связано с длительностью перемещения радиоактивных элементов из глубины на поверхность земли.

Повышение интенсивности потока гамма-квантов (всплески) в скважине, а затем и в приземном слое атмосферы с большой вероятностью связаны с экскаляцией радона и его дочерних продуктов распада из горных пород при активизации сейсмических процессов.

Непрерывный многофакторный мониторинг может улучшить понимание взаимосвязи между изменениями радона и гамма-излучения, и региональными деформациями земной коры в периоды предшествующие землетрясениям.



Предшествующий землетрясению 30.12.2017 выброс интенсивности радиационного фона по данным подземного (вверху) и наземного гамма-детекторов.

Базы данных

Вариации интенсивности космических лучей и локального радиационного фона

Космические лучи
Текущие данные
Минутные измерения интенсивности сигналов от нейтронных счетчиков Тянь-Шаньского супермонитора 18NM64.

Вариационные измерения (2006-2022)
Измерения интенсивности адронной компоненты космических лучей высокой энергии ($>10^9$ эВ) на нейтронных мониторах установок "Тянь-Шань", "Промежутка", "КазНУ", "Подземелье" с МИНУТНЫМ временным разрешением.

Нейтроны низкой энергии
Мониторинг интенсивности фонового потока нейтронов в энергетическом диапазоне $10^{-2} - 10^6$ эВ на Тянь-Шаньской высокогорной станции.
2019-2022 ; 2018-2019 ; 2006-2017.

Список измерений, проводившихся на нейтронных детекторах ТШВНС с начала 2006 г.

Нейтронные детекторы на высоте 3500 м:
2013 ; 2012 ; 2011.

Гамма-излучение
Измерения радиационного гамма-фона в диапазоне 30 - 3000 кэВ на Тянь-Шаньской высокогорной станции.
2019-2022 ; 2018-2019 ; 2014-2017-2018.

Метеоданные
Измерения температуры воздуха и атмосферного давления в окрестности нейтронных детекторов.

Тянь-Шаньская метеостанция

Метеоданные
Измерения температуры, давления, влажности, скорости и направления ветра на Тянь-Шаньской станции.

Средние значения
Усредненные данные по температуре, давлению и т.д. для моментов 3,9,15,21 часа МЕСТНОГО времени.

Прикладная геофизика: электромагнитные измерения

Импульсы ОНЧ
Интенсивность импульсных радио-сигналов ионосферного происхождения в частотном диапазоне ОНЧ (1-20 кГц, "атмосферики"): 2018-2022.

Пример осциллограмм низкочастотных ОНЧ-импульсов с временным разрешением 10 мкс.

Электромагнитные сигналы СНЧ
Непрерывная запись (осциллограмма) электромагнитных волн в диапазоне СНЧ (0.1-100 Гц) и теллурического тока с временным разрешением 0.0125 с: 2021-2022 ; 2019.

Текущие данные (4.0M)

Широкие атмосферные ливни (ливневая установка "CENTER")

Характеристики ШАЛ
Основные параметры ливней, зарегистрированных детекторами подсистемы "CENTER" (координаты оси, направление прихода, размер и параметр "возраста" ШАЛ, полученные при аппроксимации измеренного распределения плотности ливневых частиц функциями НКГ).

Спектры & интенсивности
Амплитудные спектры импульсов и интенсивность фонового счета сигналов от детекторов центральной ливневой установки.

Триггеры
Статистика сигналов ливневого триггера.

Настройки амплитудных каналов
Результаты тестовых измерений, проводившихся при настройке ливневой установки: калибровочные характеристики информационных каналов, спектры по кодам etc.

Прикладная геофизика: измерения в скважине

Нейтронный детектор
Мониторинг интенсивности сигналов от нейтронного счетчика, установленного в скважине на глубине 60 м ниже поверхности грунта; измерения скорости счета с временным разрешением 10 с. 2020-2022.

Гамма-детектор
Мониторинг фонового потока гамма-излучения в скважине. 2017-2022.

Акустический детектор
Непрерывная, с периодом 2 мс, запись интенсивности акустических сигналов на глубине 50 м и 100 м (с 2019) ниже поверхности грунта на Тянь-Шаньской станции.

Усредненный уровень и дисперсия акустического сигнала: 2020-2022 ; 2017-2019.

Акустические события - фрагменты

Состояние связи с подсистемами

ATMOSPHERICS (KAPT): OK
ACOUSTIC/GAMMA (NEV): OK
GAMMA-SCINTILLATOR (NAZYF): OK
SEISMOLOGY (NAZYF-CIRK): OK
NEUTRONS-II (PERI04): OK
NEUTRONS-III (RADIO1): OK

NEUTRON MONITOR NM64 (IONI): OK
UNDERGROUND MONITOR: OK

CALORIMETER, GAMMA-BLOCK: OK
CALORIMETER, SYSTEM-75: OK
CALORIMETER, SYSTEM-76: OK

WEATHER STATION (MISHUROV): OK

THE CENTRAL DATABASE SERVER: OK
Checked on Tue Jun 28 10:44:02 2022.

(ссылки "OK" справа открывают окно с распечаткой текущих данных)

Замечания по работе с базой данных

Формирование запросов к базе данных производится под управлением сценариев JavaScript, работа с интерпретатором которого должна быть разрешена в браузере.

Все моменты времени указаны по Гринвичу (UT).

Информация в базе данных представлена начиная с 1 января 2006 г.

Инструкция по выборке информации из базы находится [здесь](#).

Разное

Публикации

Результаты текущих измерений

Благодаря тесному сотрудничеству физиков Казахстана и России в последние годы на Тянь-Шаньской высокогорной научной станции создан ряд современных установок, которые постоянно модернизируются и совершенствуются.

Это позволяет получать новые физические результаты мирового уровня.

Спасибо за внимание !