

ШИРОКИЕ АТМОСФЕРНЫЕ ЛИВНИ И
АТМОСФЕРНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
ПОЛЯ. #49 (03.07 16:30)

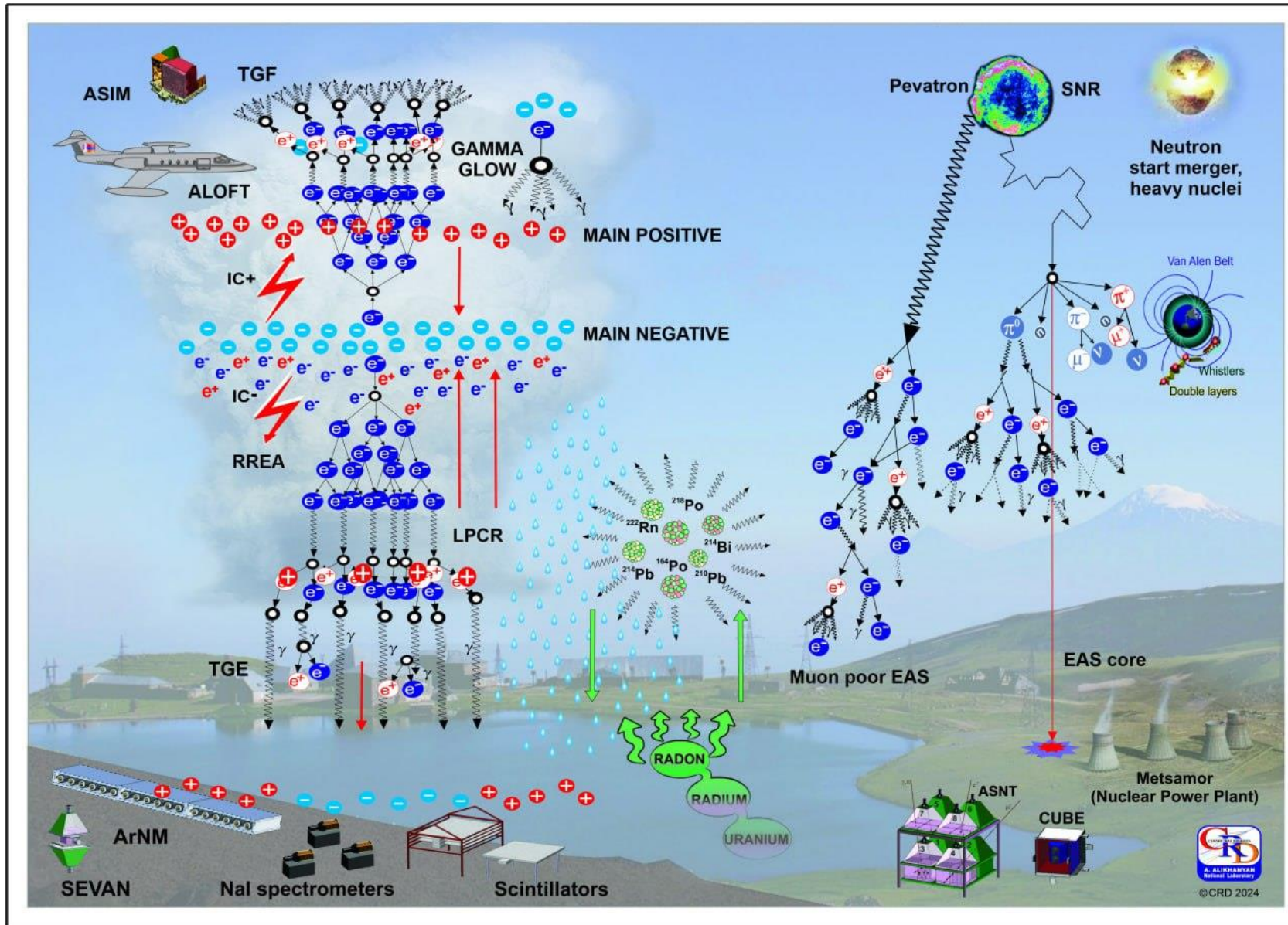
A.Chilingarian
Yerevan Physics Institute



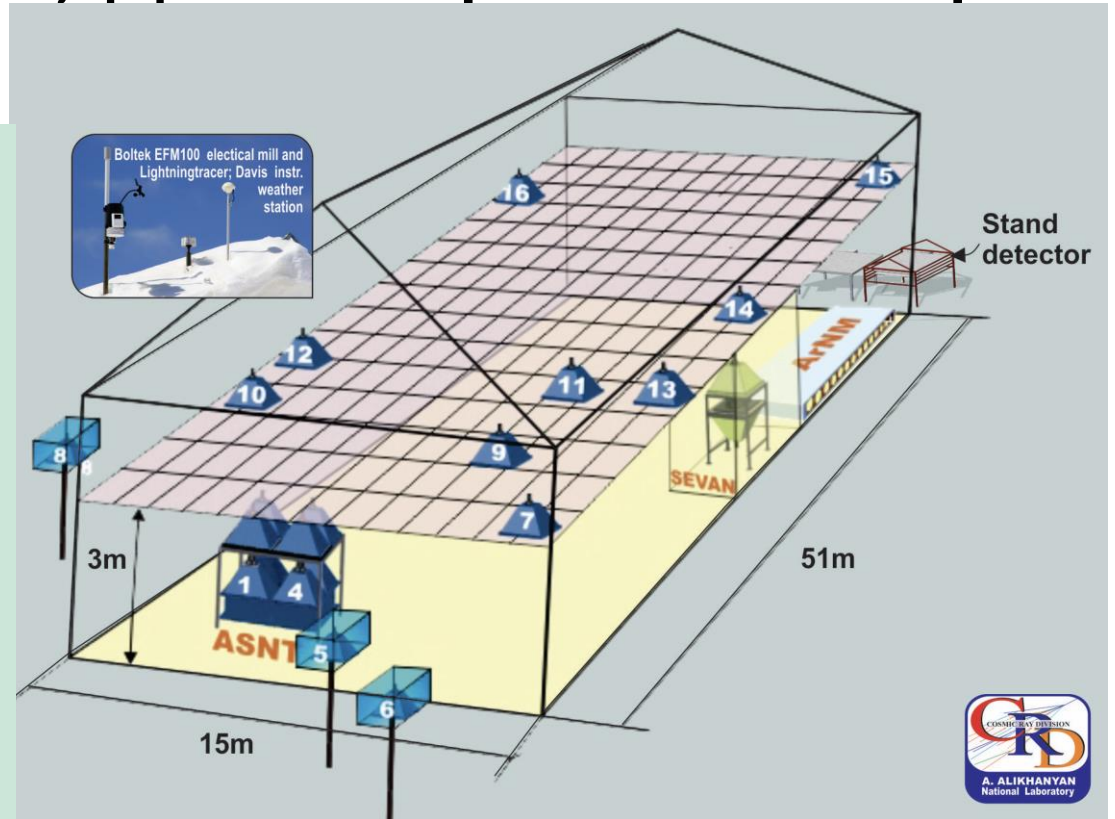
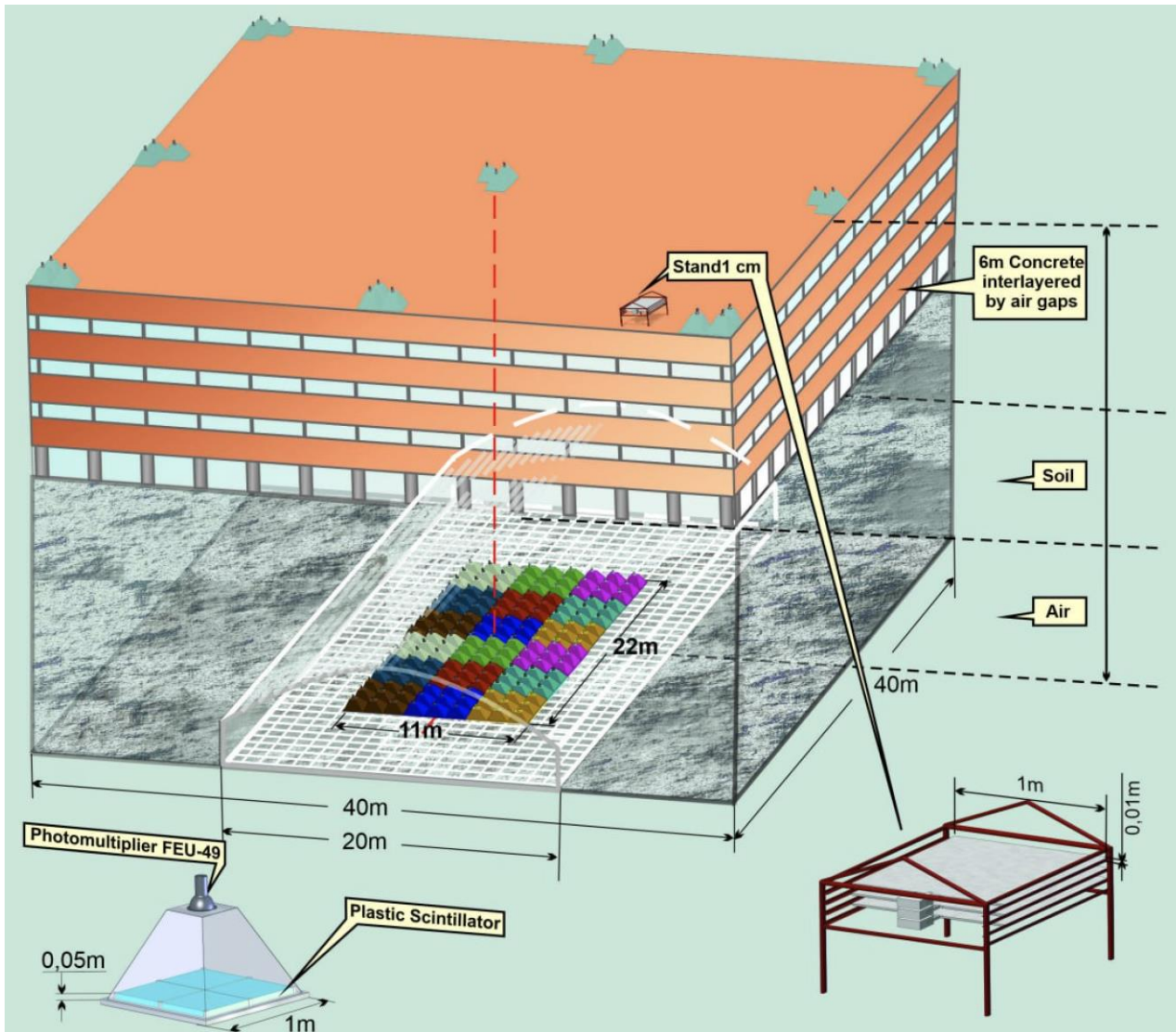
Содержание доклада

- **Электрическая структура грозового облака и ускорение частиц**
- **Исследование убегающих релятивистских электронных лавин (УРЭЛ, RREA) на поверхности Земли**
- **Экстремальные Грозовые наземные усиления (ГНП, TGE), зарегистрированные на Арагаце в 2023 году**
- **Модуляция потоков частиц и максимальные атмосферные электрические поля**
- **Влияние атмосферных электрических полей на ШАЛ**
- **Возможная переоценка энергии ПЭВатронов во время гроз**
- ***Миллисекундные всплески частиц, инициированные ШАЛ**
- ***Потоки частиц и молнии, ГНП и Земные гамма вспышки (ЗГВ, TGF)**

Потоки вторичных частиц от космических и атмосферных ускорителей



Экспериментальные залы, детекторы и сенсоры



Spectrometers



Flat plate antenna



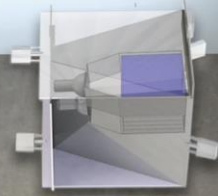
Electrical mill



CsI(Tl) Detector



STAND 3



Cube detector

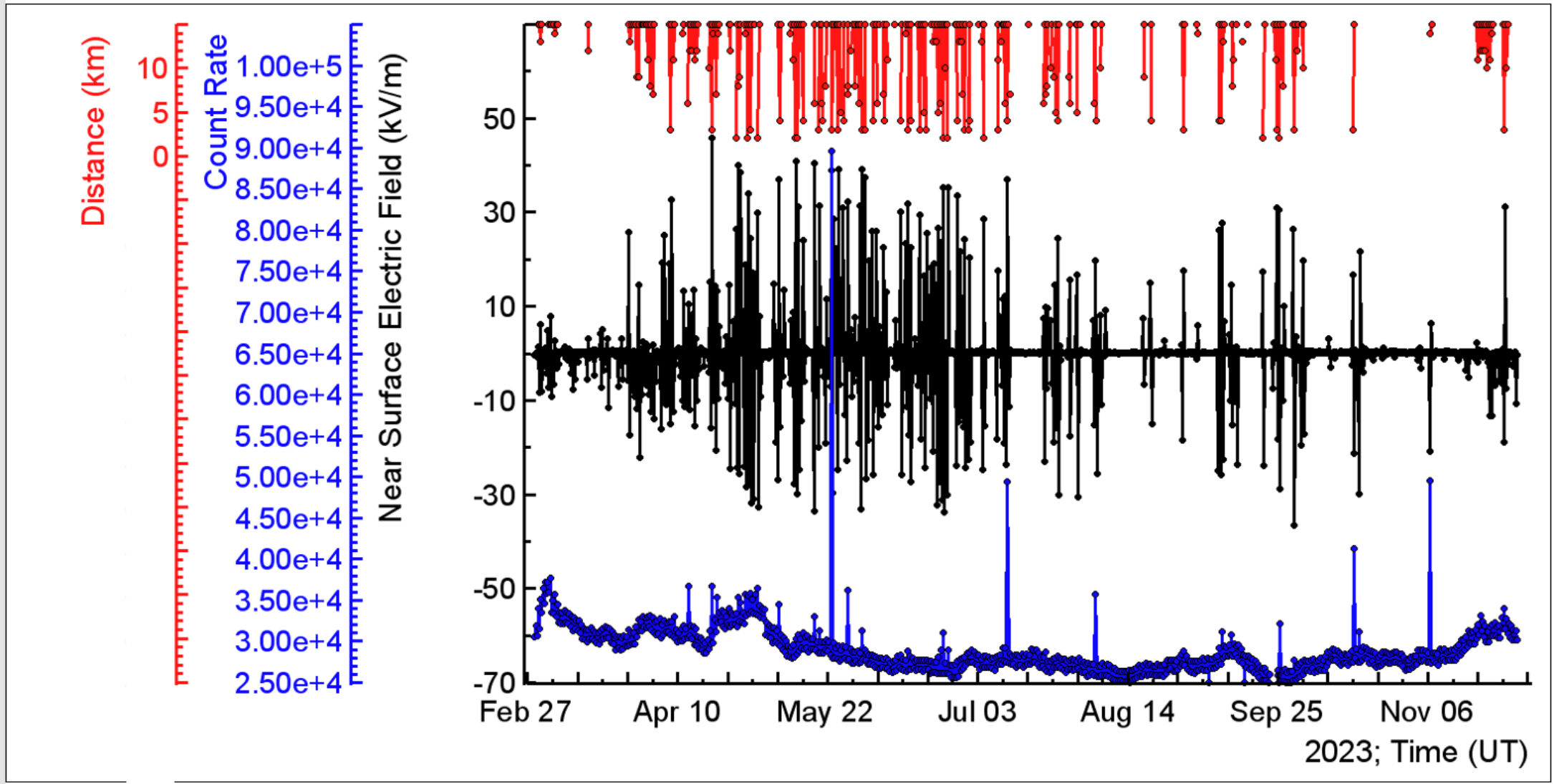


STAND 1

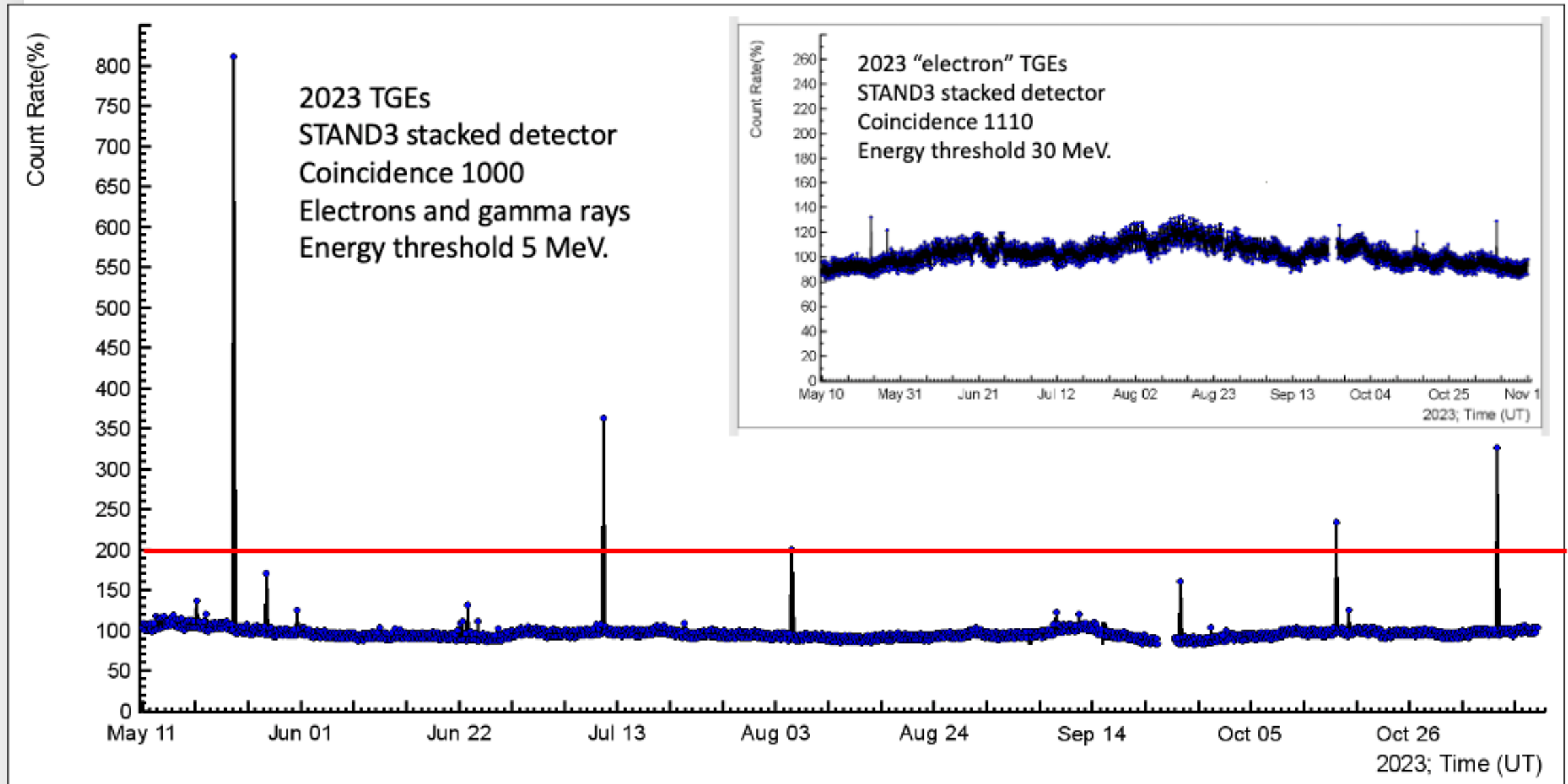
Сеть детекторов STAND1 на высокогорной станции Арагац покрывает площадь в 50,000 м²



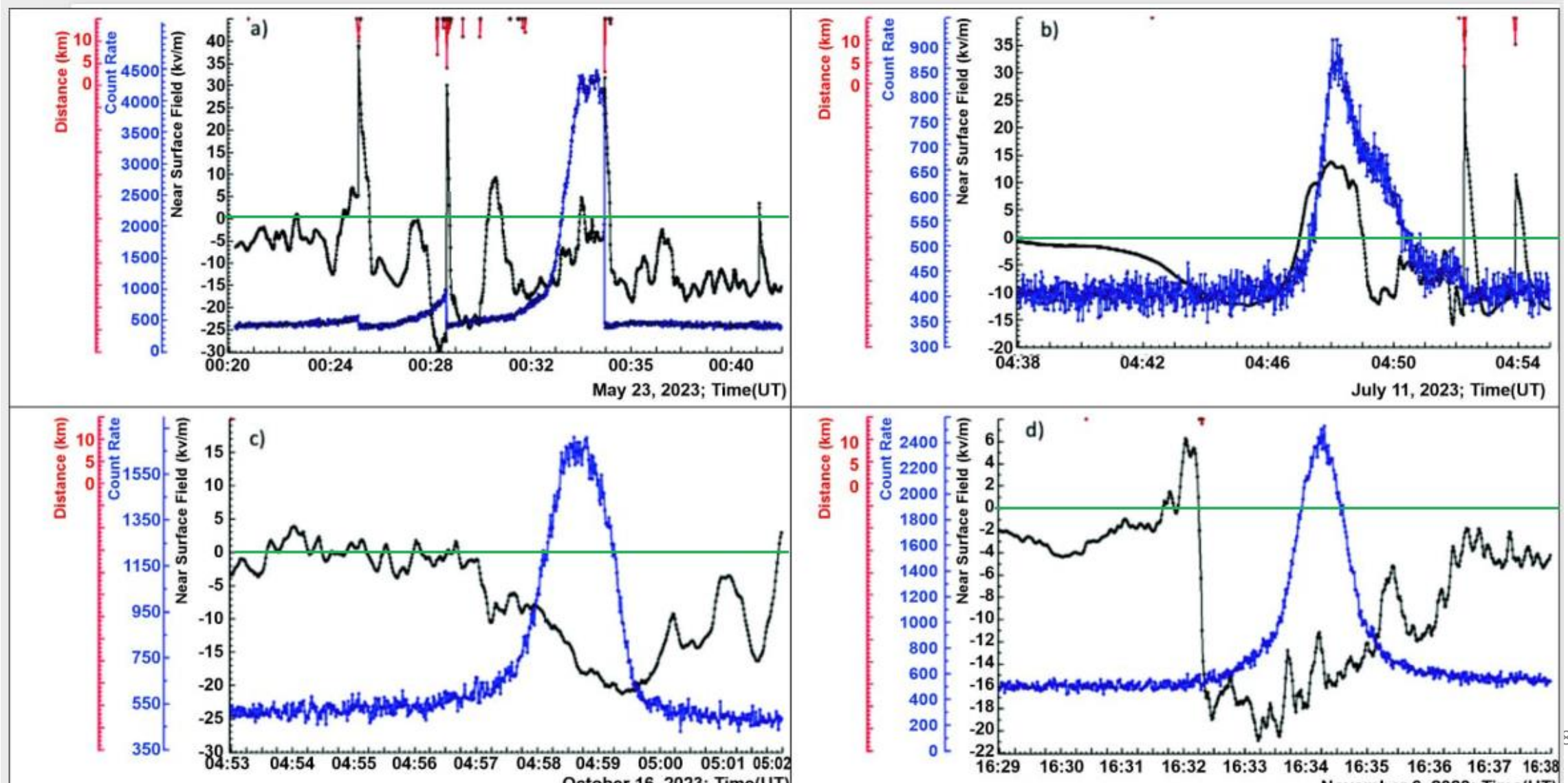
Black shows disturbances of the NSEF measured by EFM 100 electric mills produced by the BOLTEK firm; blue shows a time series of 1-minute count rates of a STAND3 plastic scintillator with a 1 m² area and 3 cm thickness (1000 coincidence, signal only in the upper scintillator); red shows distances to lightning flashes.



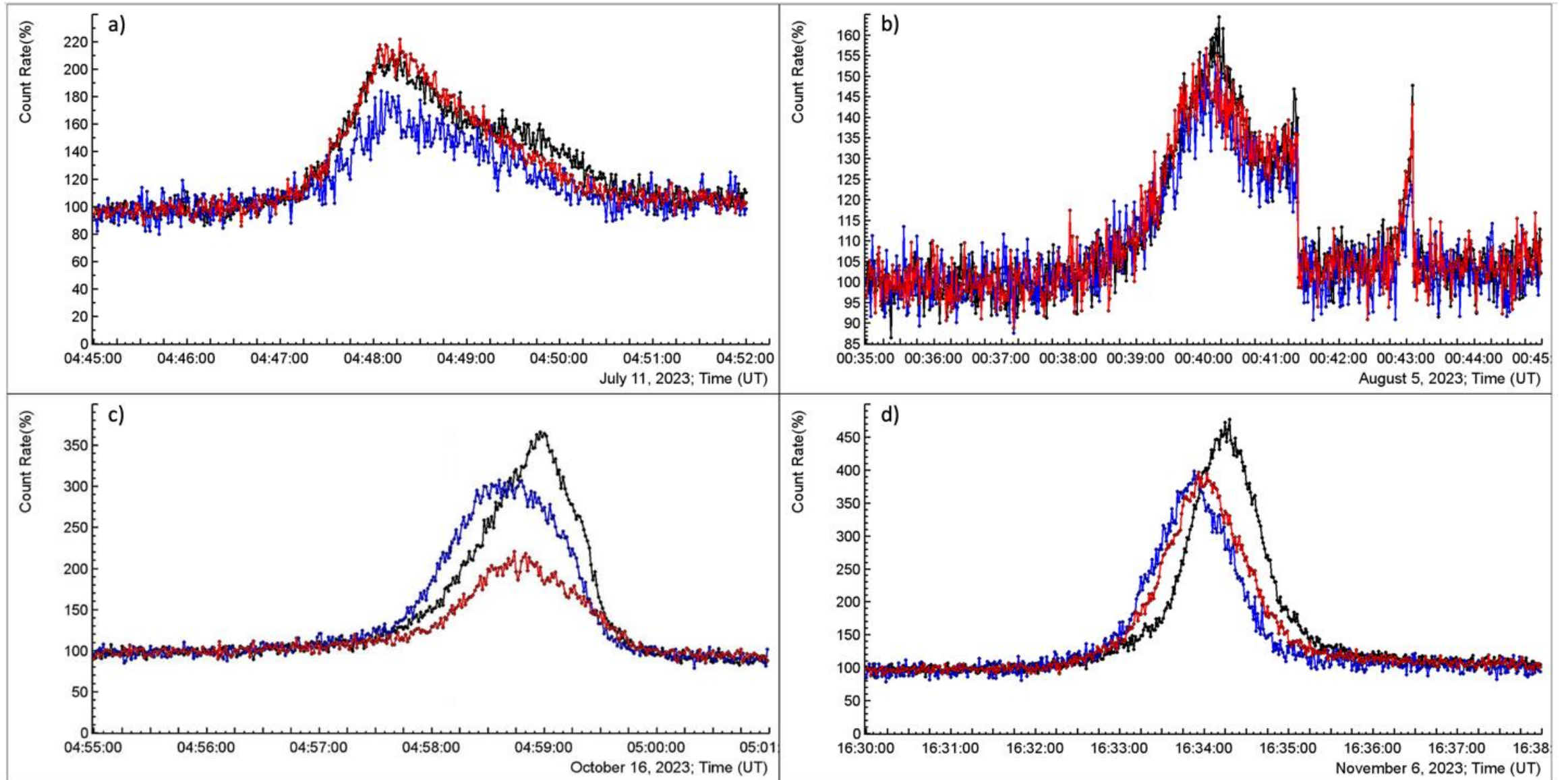
TGE events occurred on Aragats from May to November 2023—1-minute time series of the STAND1 detector. The “1000” coincidence selects low-energy electrons and gamma rays, and the “1110” coincidence (in the inset) - high-energy electrons.



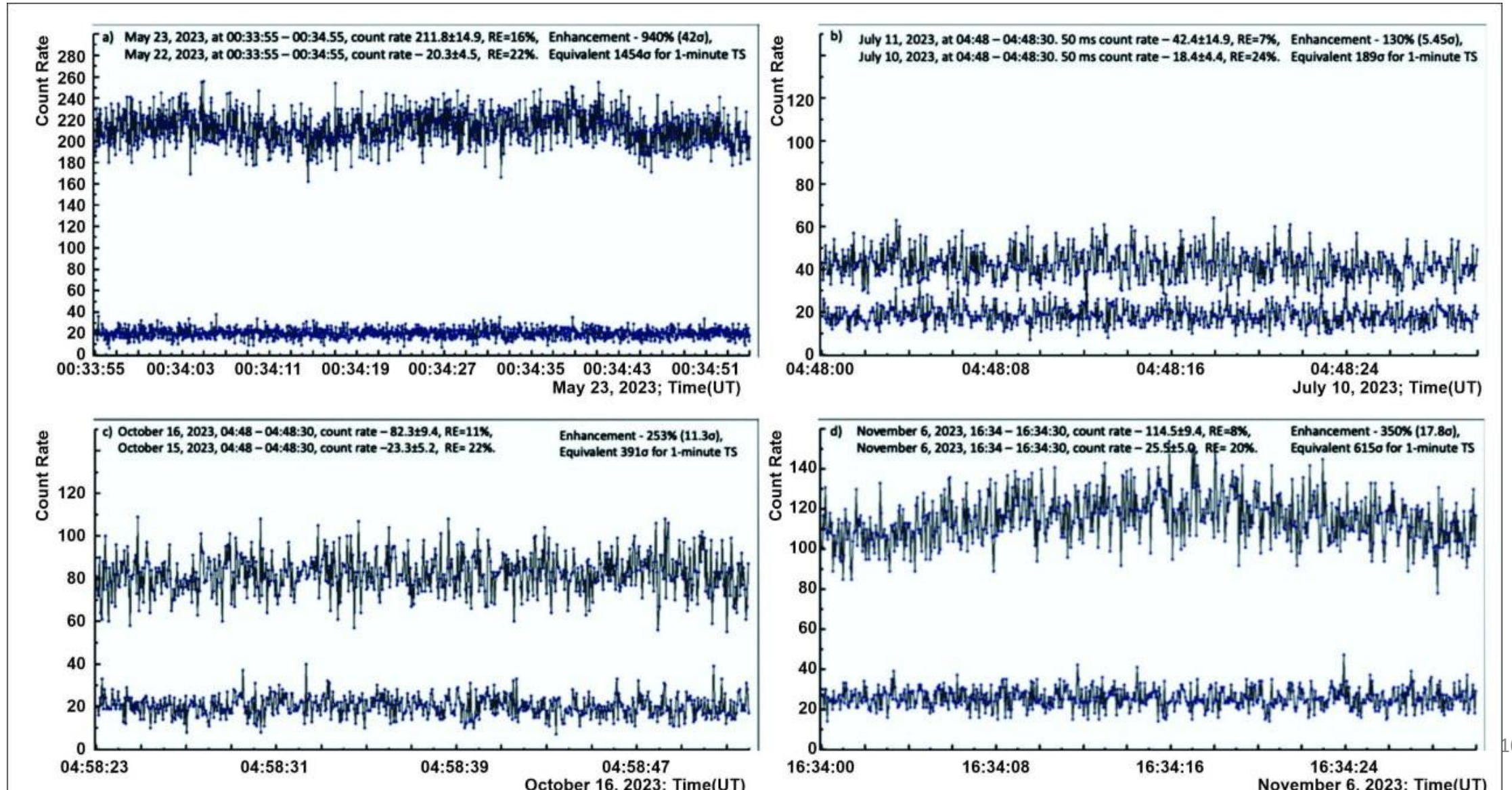
Грозовые наземные усиления (ГНП), Околоземные электрические поля (ОЭП) и Молнии



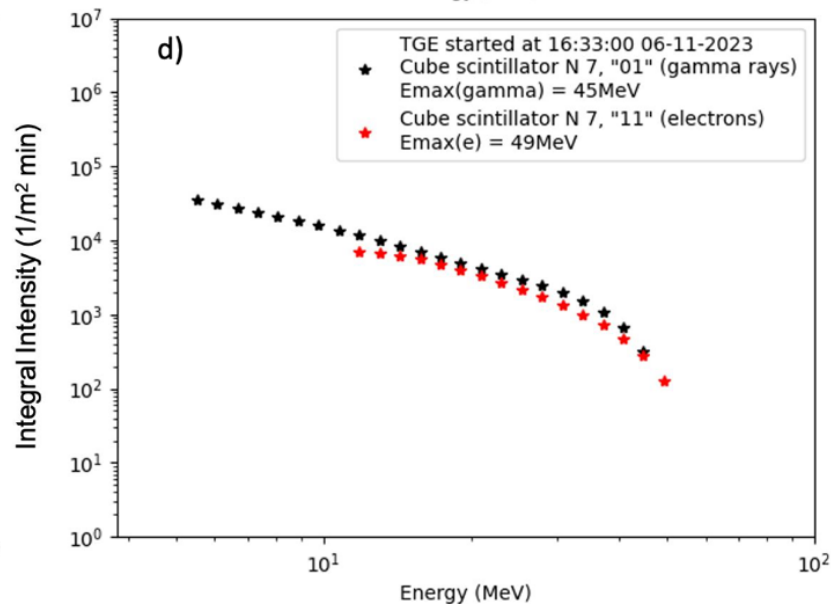
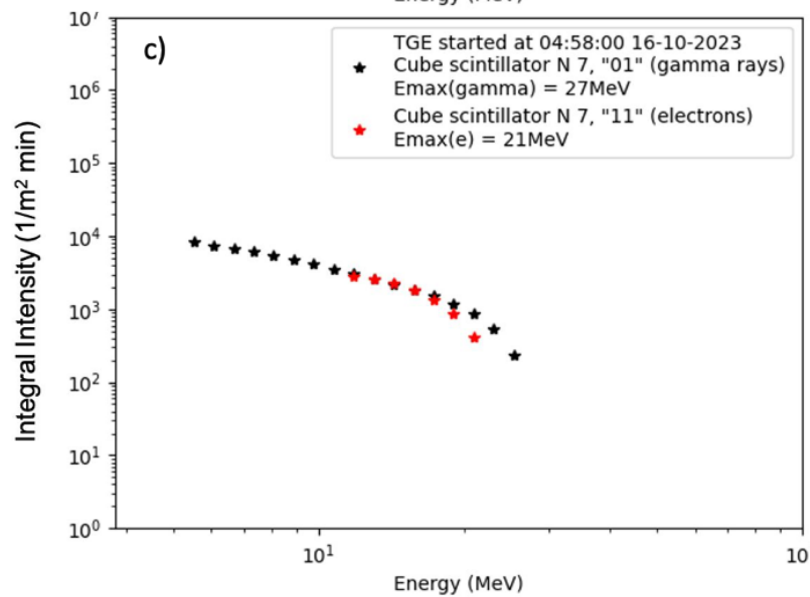
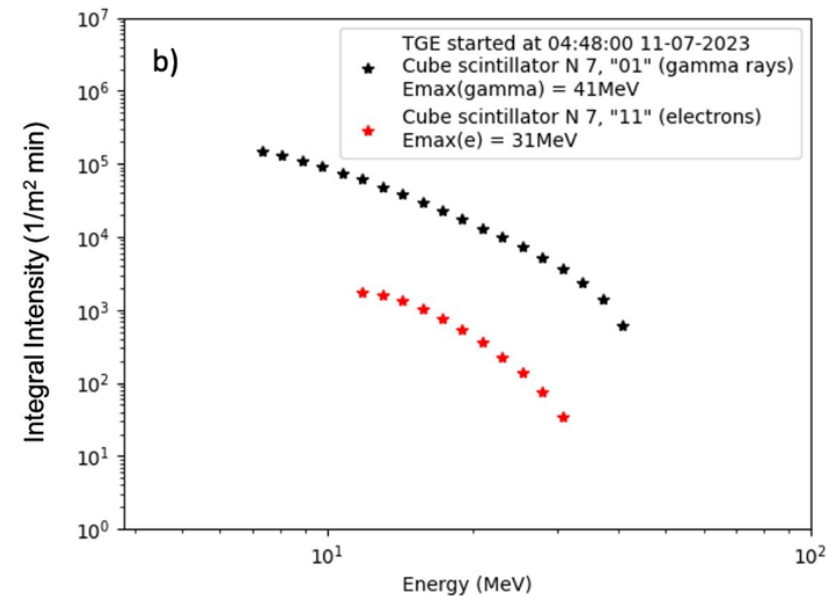
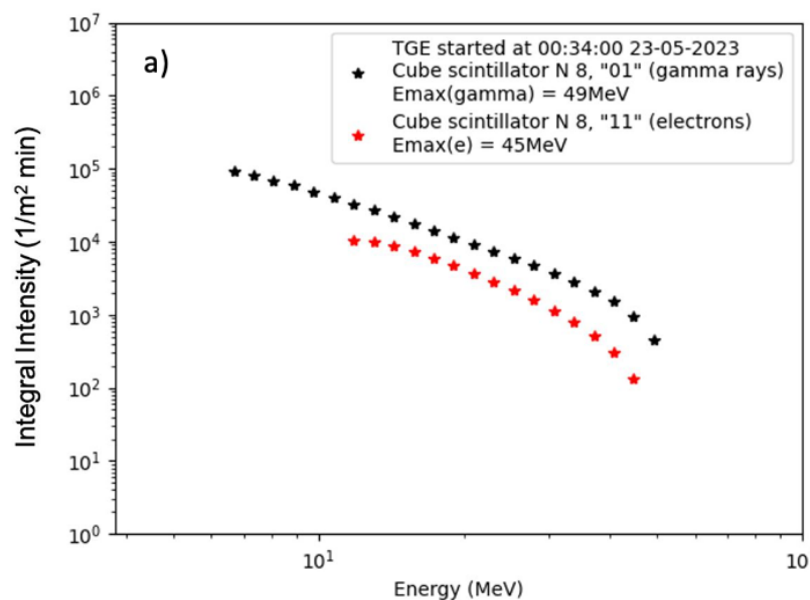
Односекундные временные ряды скоростей счета верхних сцинтилляторов распределенной сети детекторов частиц STAND1. Черный – STAND1 на крыше экспериментального зала GAMMA; синий – рядом с залом МАКЕТ, красный – рядом с экспериментальными залом SKL.



50мс временные ряды счета верхнего сцинтиллятора детектора STAND1 толщиной 1 см и площадью 1 м². Нижняя кривая в каждом кадре соответствует скорости счета, измеренной в ясную погоду в то же время за день до ГНП. В каждом кадре показаны средний счет, стандартные ошибки и значимость.

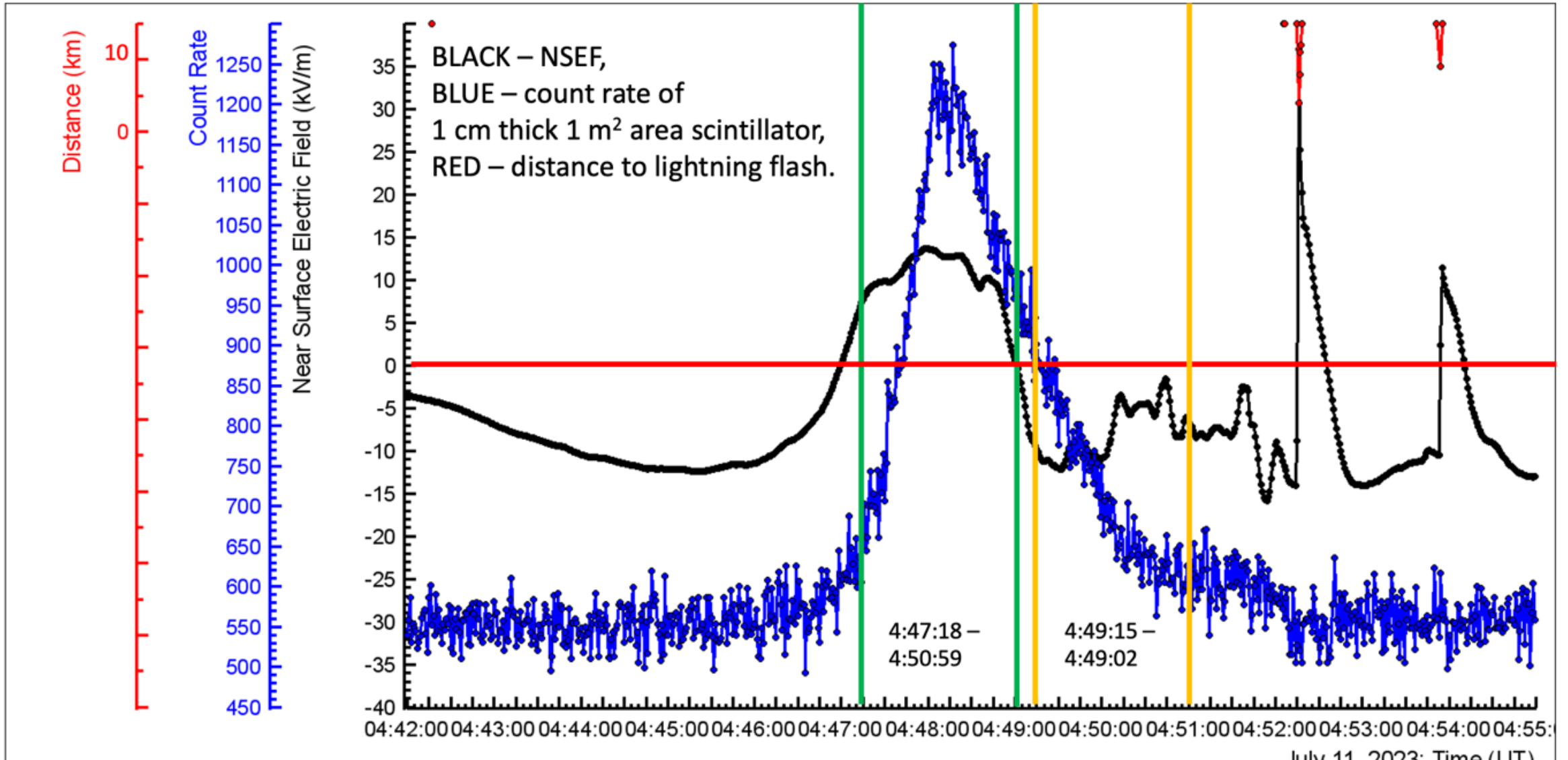


Интегральные энергетические спектры крупнейших ГНП: красные электронные, черные гамма кванты

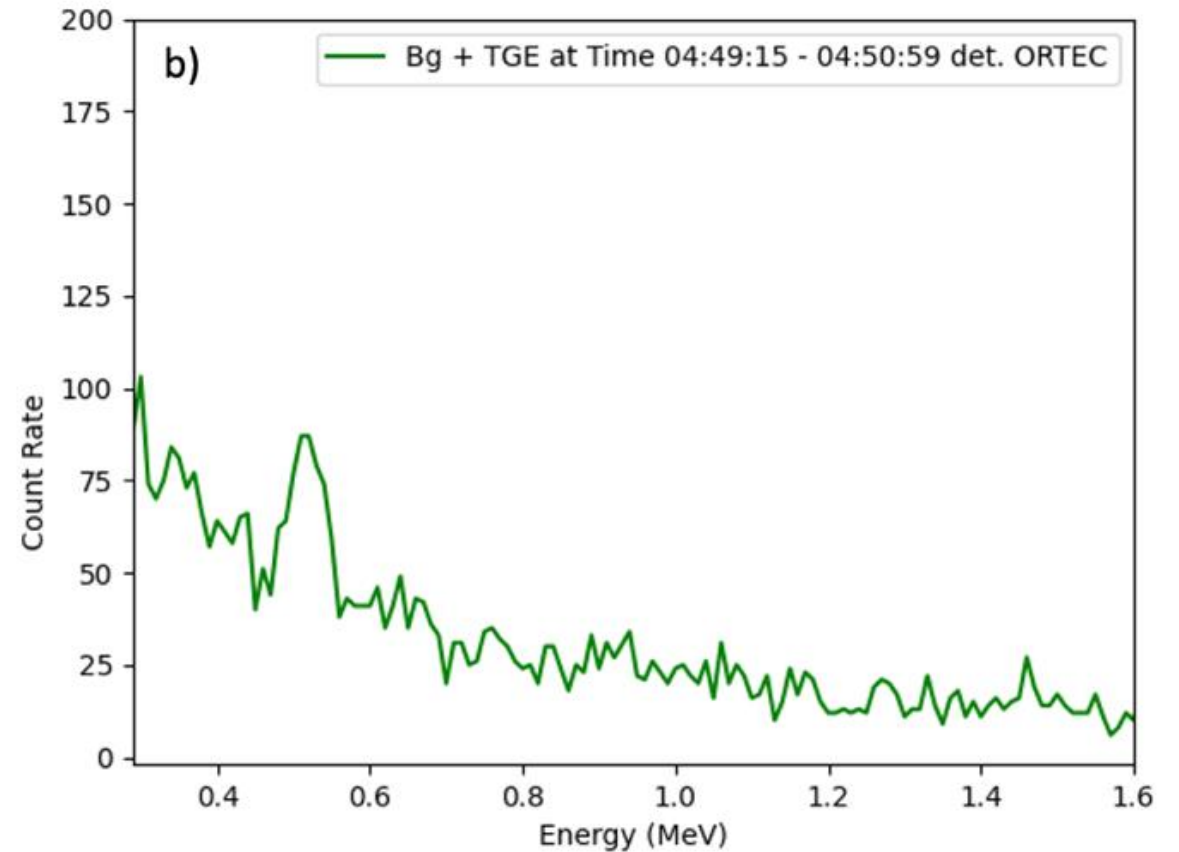
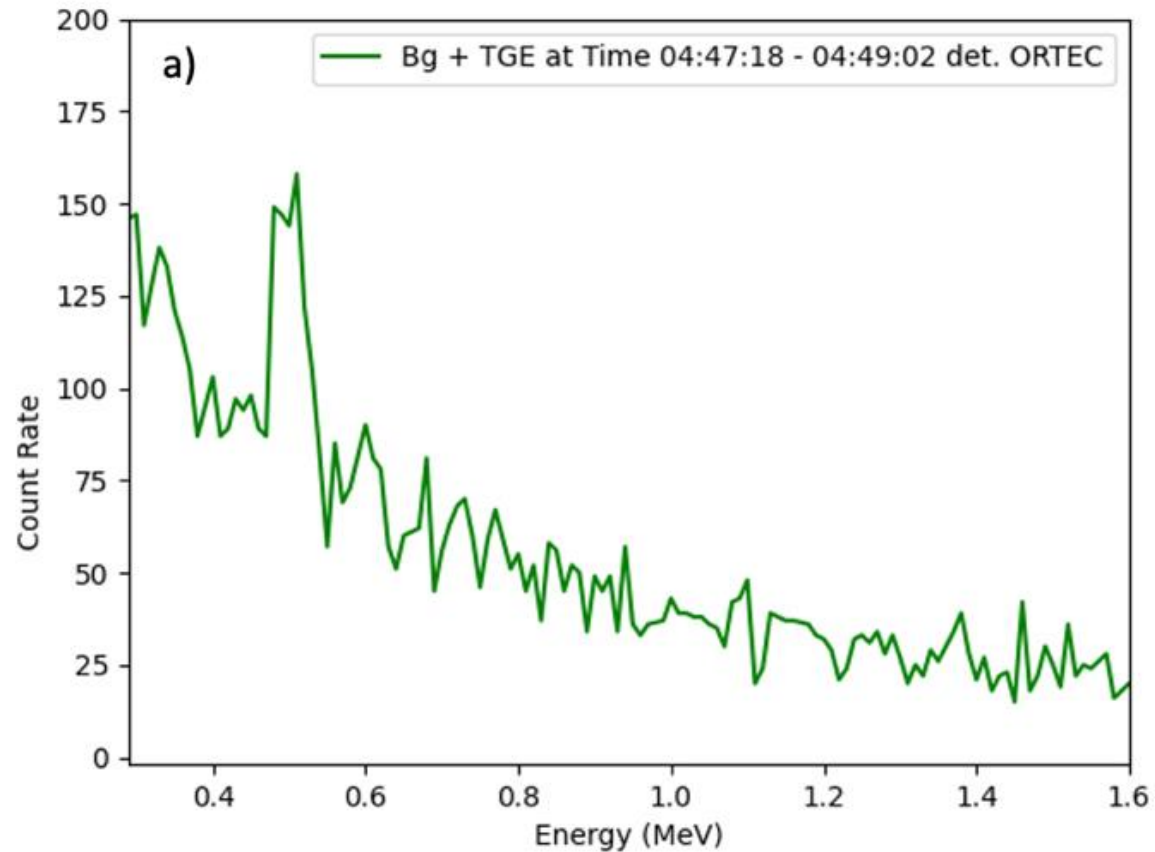


Односекундные временные ряды счета сцинтиллятора STAND1 (синий) и ОЭП (черный).

Вертикальные зеленые и желтые линии показывают время положительного и отрицательного ОЭП, а горизонтальная красная линия разделяет положительную и отрицательную области ОЭП.

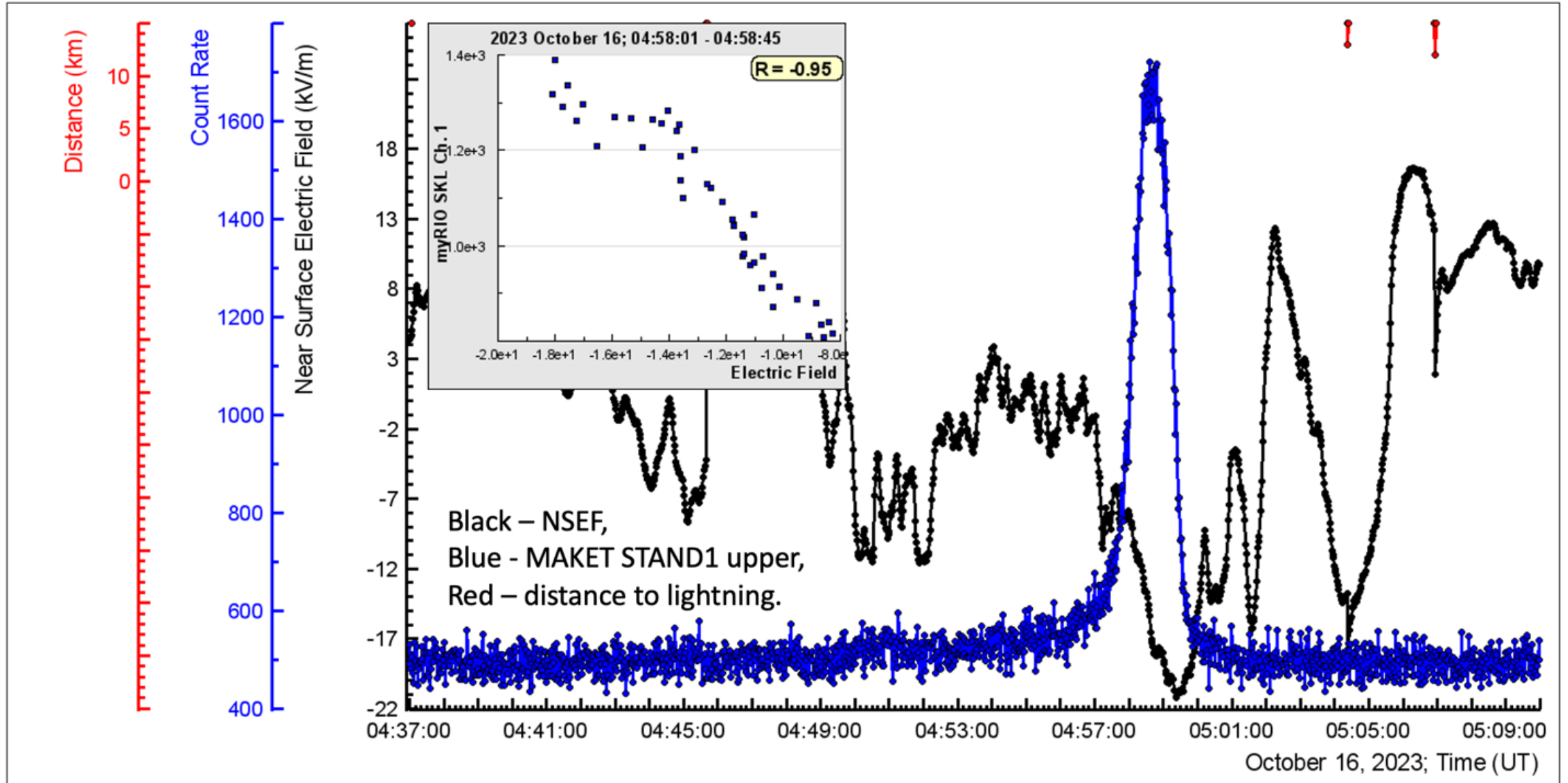


Спектрограммы при положительных а) и отрицательных б) ОЭП (каждый период равен 105 секундам). Ширина ячейки гистограммы равна 10 кэВ.

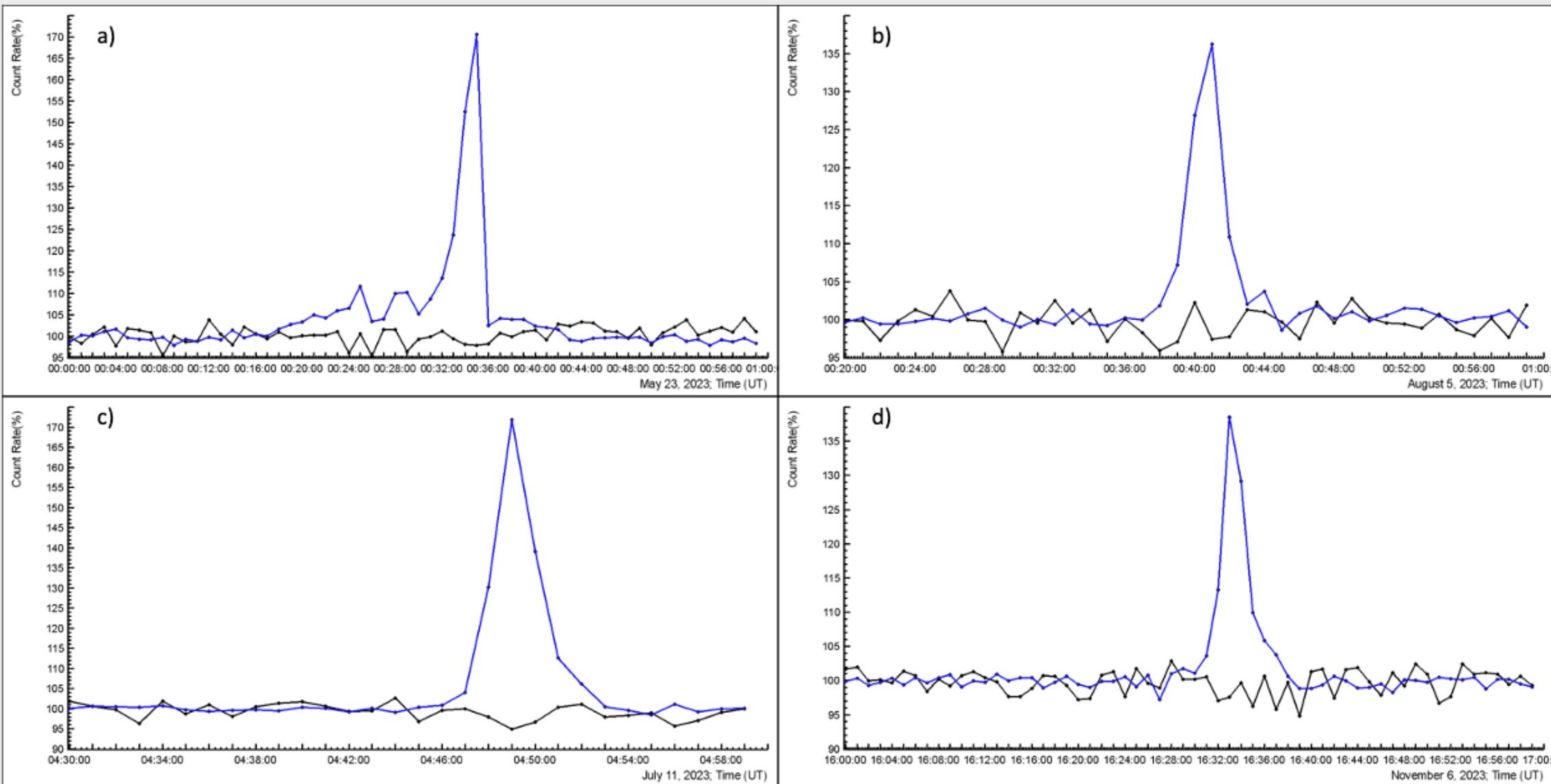


11 Июля 2023 г., Гамма-излучение с энергией 511 кэВ показывает замечательное усиление на 500% при положительном ОЭП и 150% при отрицательном ОЭП, что подчеркивает существенное влияние возникающего LPCR и четвертого диполя на поток позитронов. Поток позитронов усиливается в АЭП тормозящих электроны, что может объяснить высокий поток астрофизических позитронов (АМС2, Памелла) ускорением позитронов и торможением электронов в космической плазме.

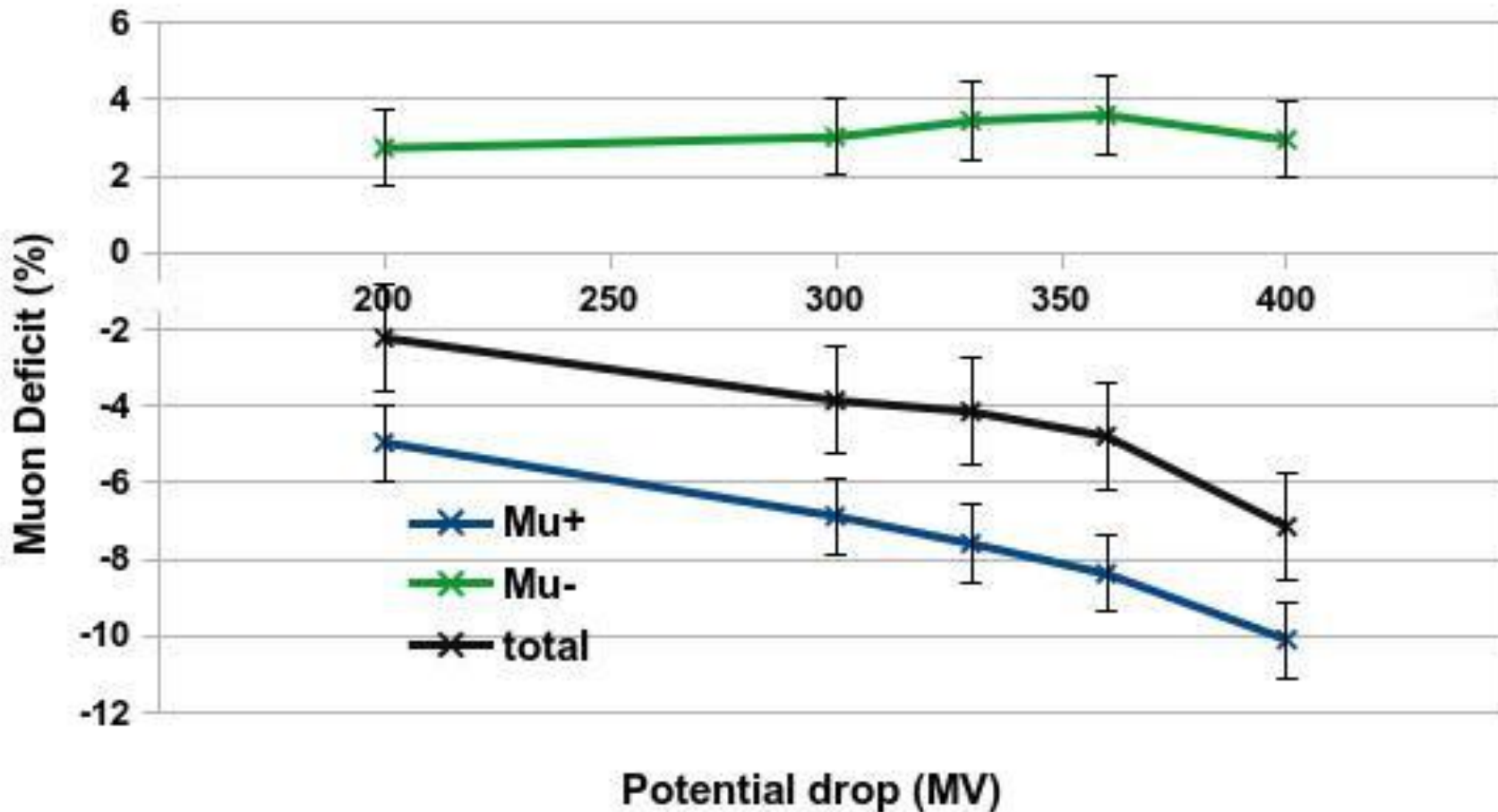
1с временные ряды возмущений ОЭП (черная кривая) и скорость счета верхнего сцинтиллятора сети STAND1. Красными линиями обозначены расстояния до вспышек молний. На врезке показана диаграмма рассеяния между потоком частиц и ОЭП.



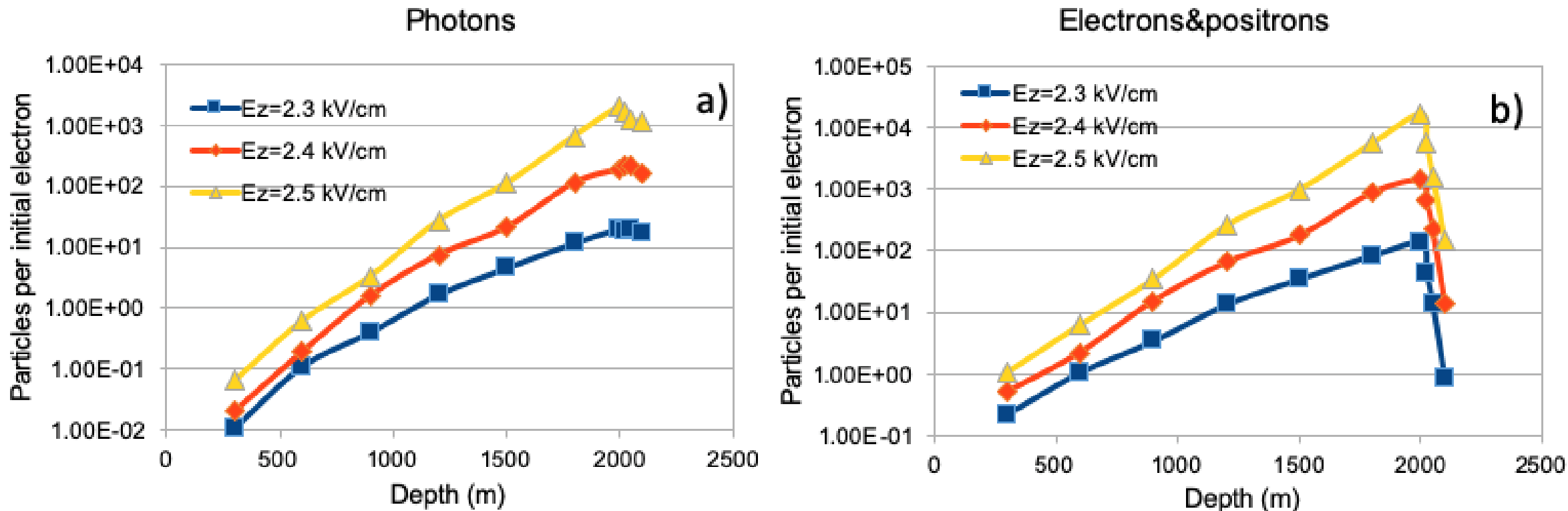
1 минутные временные ряды счета мюонов (черная кривая) и электронов и гамма-квантов (синяя кривая (по совпадениям 111 и 100 детектора SEVAN).



Связь между падением потенциала и дефицитом мюонов для положительных и отрицательных мюонов и их суммы.

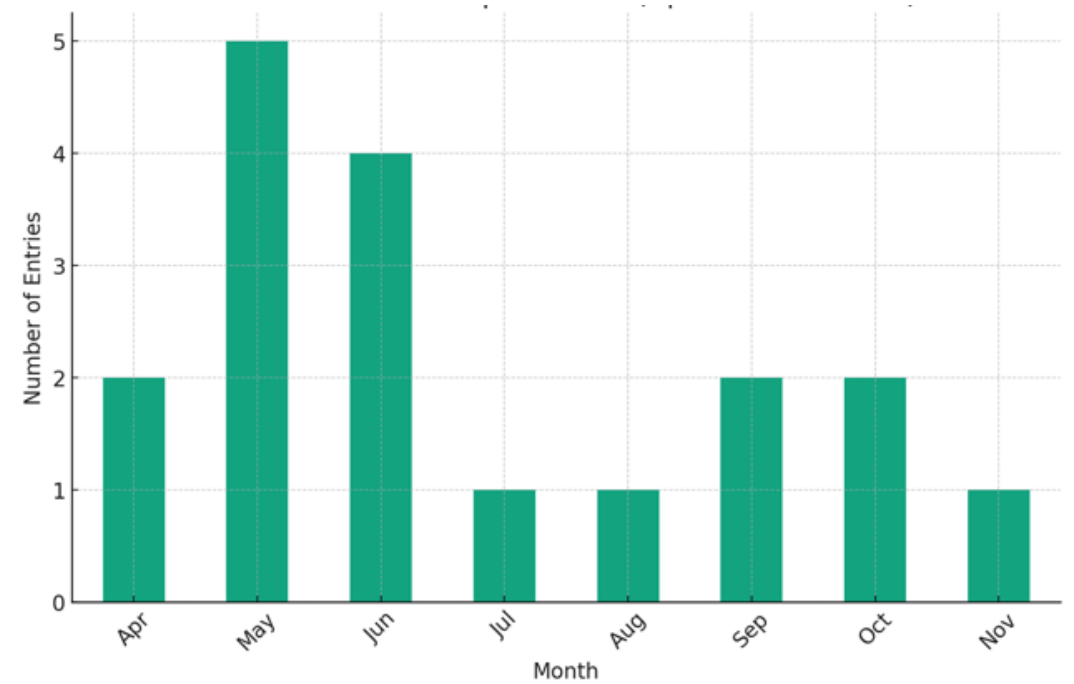
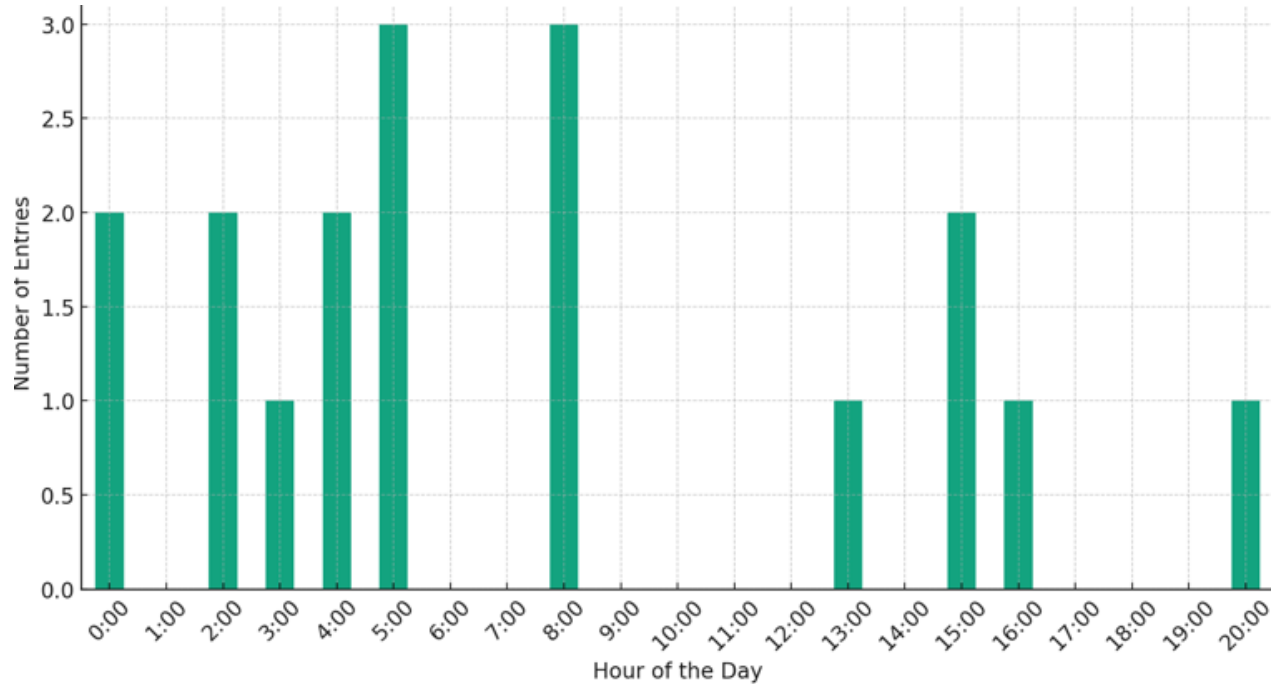


Развитие электромагнитной лавины в атмосфере. Лавина началась на высоте 4600 м, 2 км над детектором SEVAN. Количество частиц лавины рассчитывается каждые 300 м. После выхода из электрического поля лавина отслеживается еще на 100 м.



На остроконечной горе Ломницкий Штит электрическое поле достигает очень больших напряженностей, и увеличения интенсивностей RREA достигают значений значительно превышающих измеренных на Арагаце. Эффект торможения мюонов [10], впервые наблюдаемый детекторами частиц на Арагаце, также проявляется на Ломницком Штите с гораздо более "глубоким" снижением интенсивности высокоэнергетических мюонов. Это приводит к разности потенциалов в ≈ 500 МВ во время экстремального события на Ломницком Штите 10 июня 2017 года.

Распределения ГНП по часам суток и месяцам; крупнейшие ГНП с увеличением счета > 20% по показаниям детектора STAND3, “1000”.



Вольшинство крупных ГНП 2023 г. произошло ночью или рано утром. Ежемесячное распределение выделяет май и июнь как наиболее частые месяцы для возникновения ГНП.

Гистограмма расстояний до вспышки молнии для двух групп событий: тех, которые внезапно закончились вспышкой (зеленым цветом) и тех, которые плавно закончились (красным цветом).

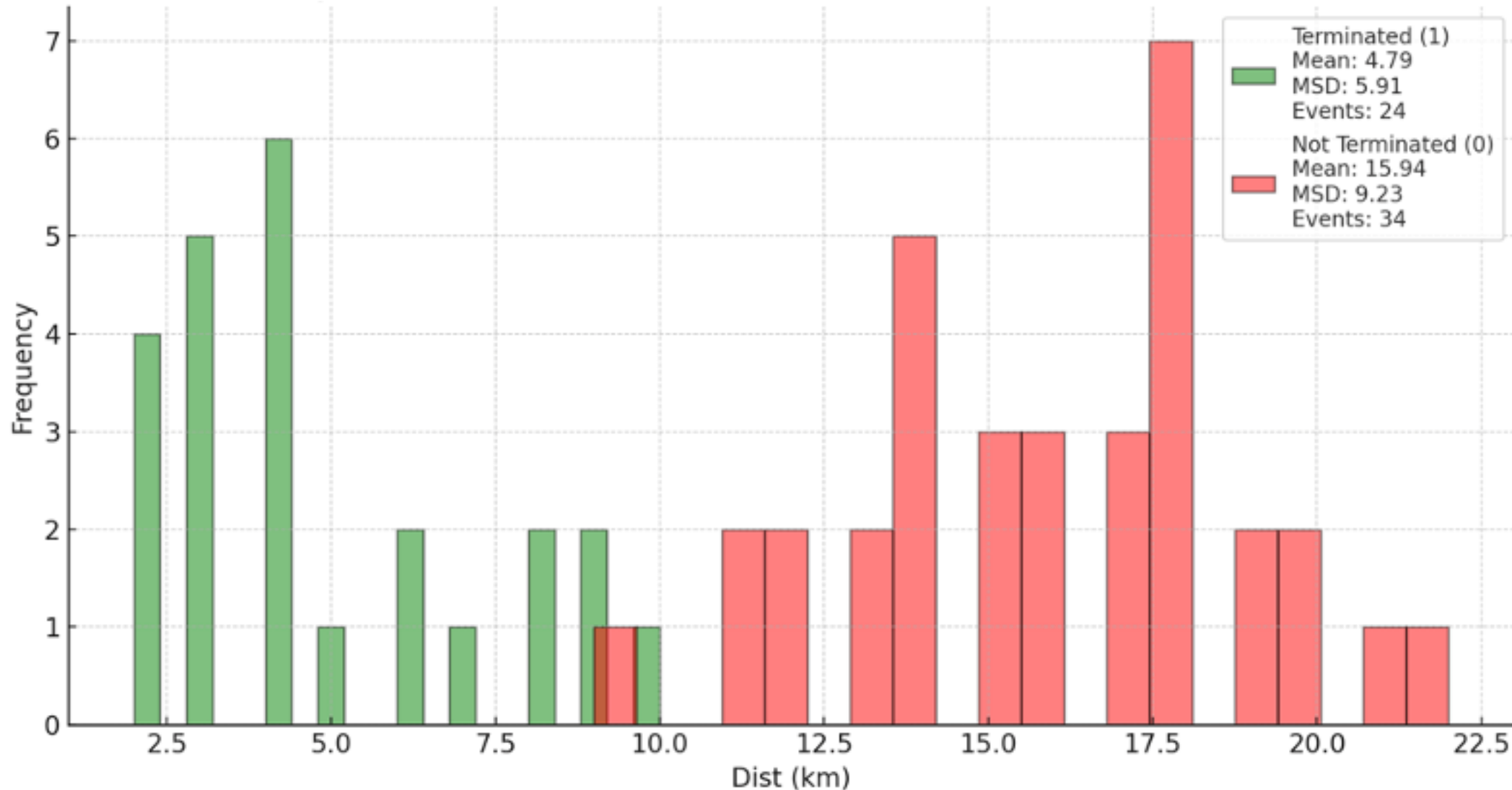
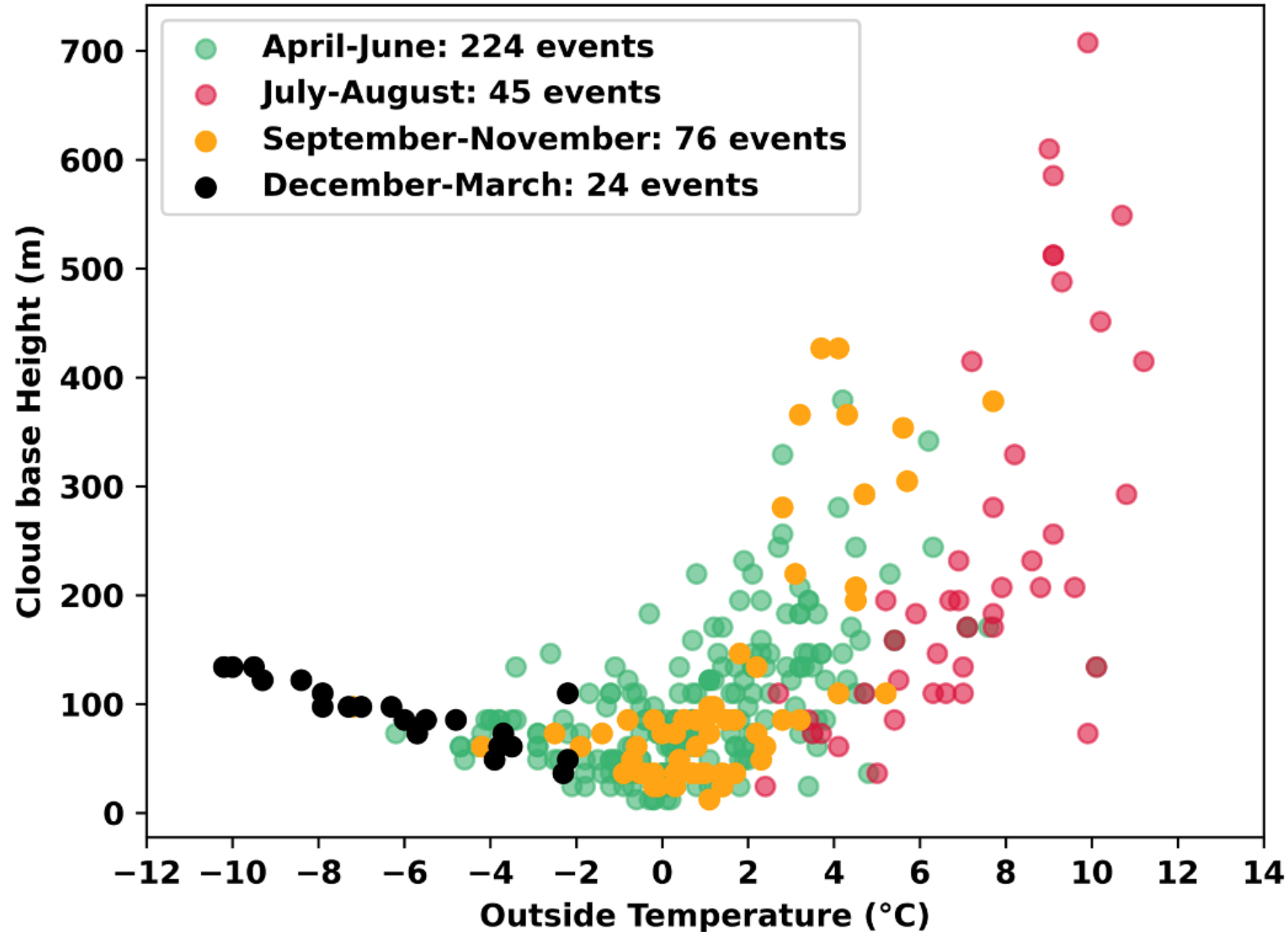


Диаграмма рассеяния между высотой облака и температурой

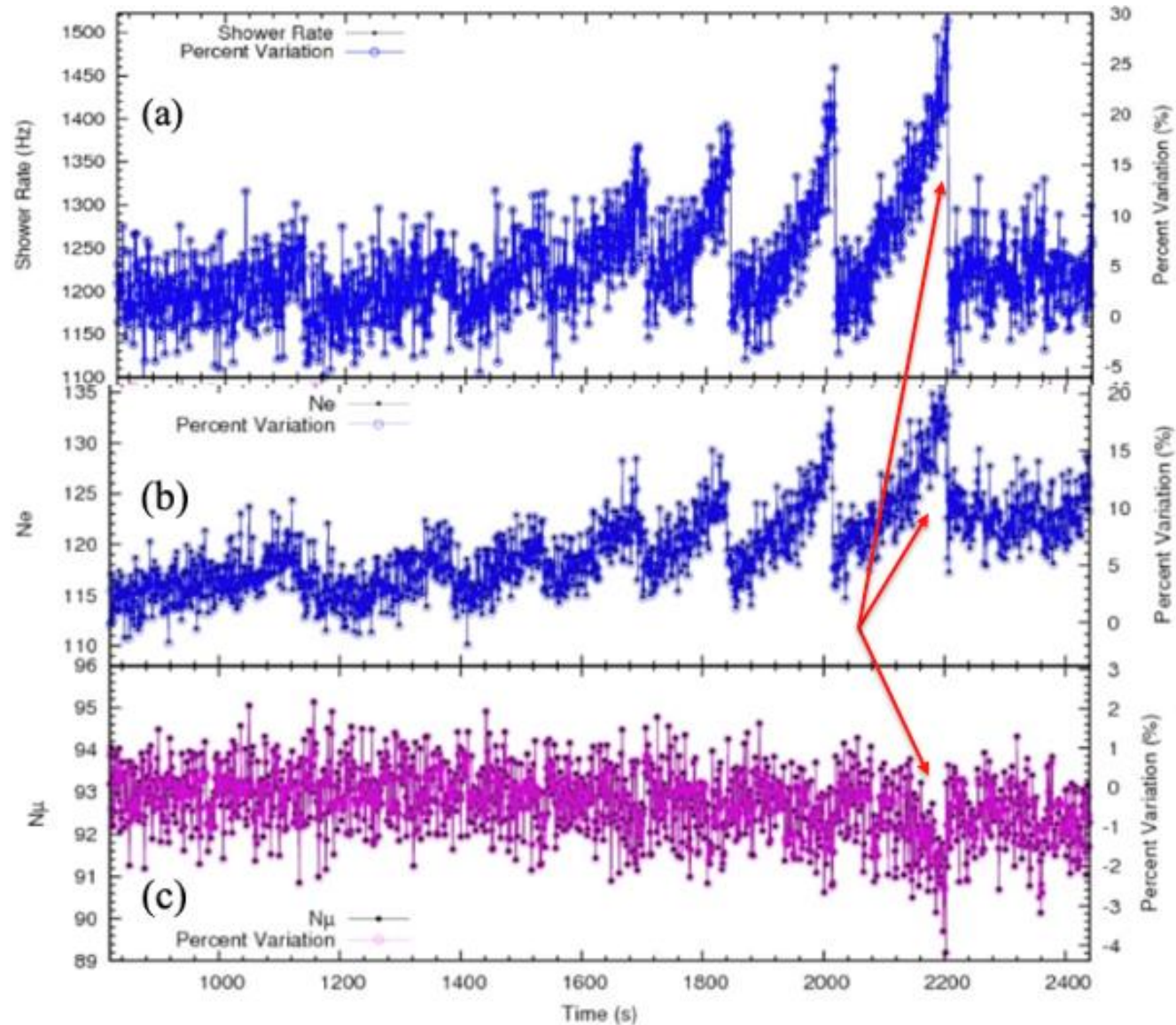


Большинство ГНП происходило весной и осенью (80%), когда температура наружного воздуха находилась в диапазоне от -3°C до $+3^{\circ}\text{C}$ и облака были очень низкими над станцией «Арагац» (желтый и зеленый цвета на гистограмме).

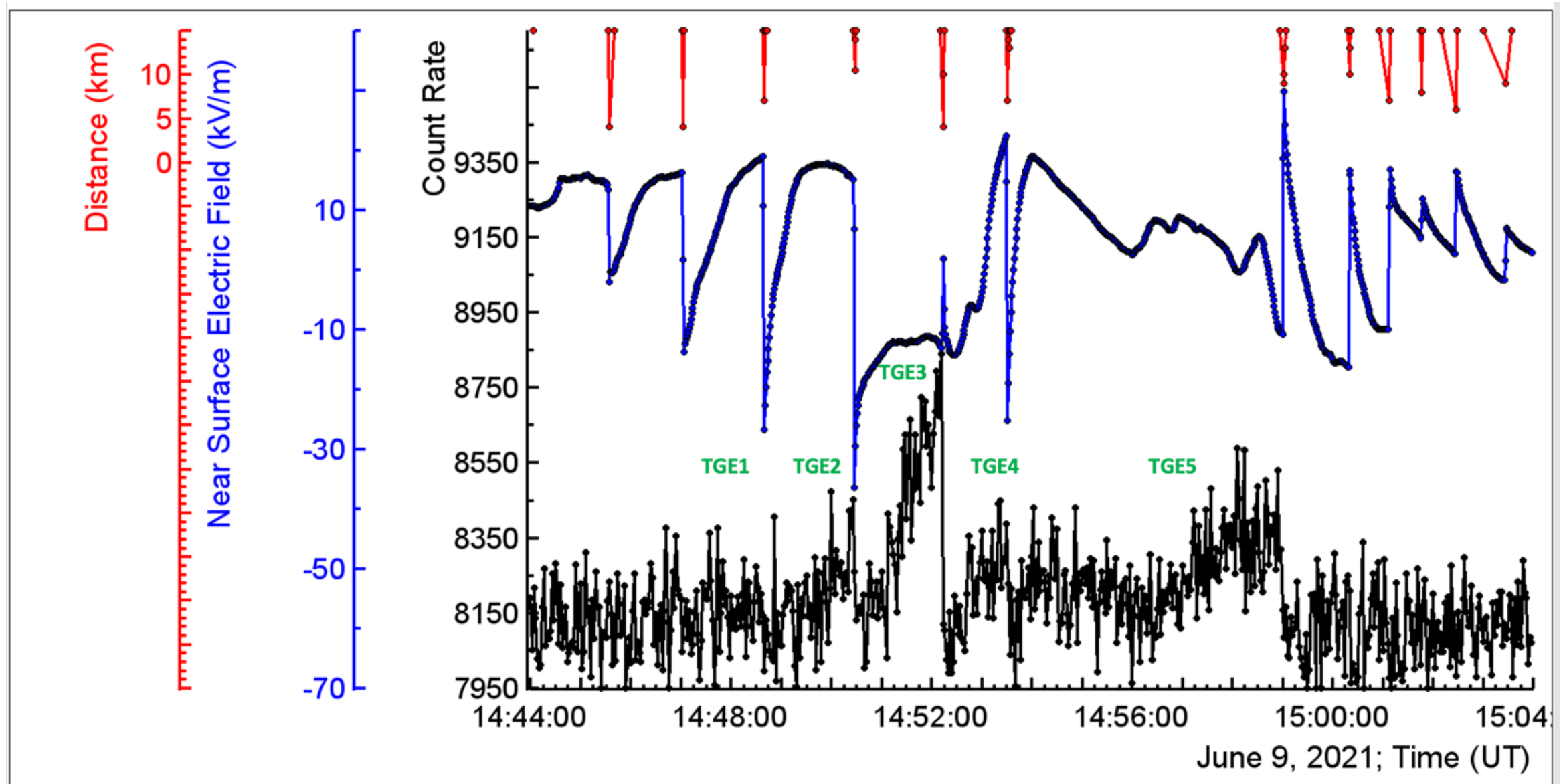
Влияние атмосферных электрических полей на ШАЛ: все детекторы наблюдали 20-30% увеличении частоты триггера и счета детекторов

- Ранние измерения детектора ШАЛ-ТОР в Италии (Aglietta et al., 1989) показали значительное увеличение частоты срабатывания во время гроз
- Эксперимент ARGO-YBJ Обнаруженная в 2012 г. средняя продолжительность 20 эпизодов повышенной частоты срабатывания коррелировала с грозами. Увеличение частоты 20-30%.
- Обсерватория LHAASO расположенная на горе Хайцзи в уезде Даочэн, провинция Сычуань, на краю Тибетского плато на высоте 4410 м. Тибетское плато известно частыми грозами и большими электрическими полями, вертикальный профиль которых может достигать 1-2 км.
- Обсерватория высокогорного водяного Черенковского детектора (HAWC) находится в седловине между горами Сьерра-Негра и Пико-де-Орисаба в Мексике. Она расположена на высоте 4100 метров над уровнем моря.
- Обсерватория Пьера Оже (AUGER, 2004) — крупный наземный эксперимент в аргентинской Пампе. Охватывая площадь 3000 км², она используется для идентификации ультравысокоэнергетических космических лучей.
- ШАЛовский детектор МАКЕТ ANI на Арагаце 19 Сентября 2009 частота триггера увеличилась в 4 раза

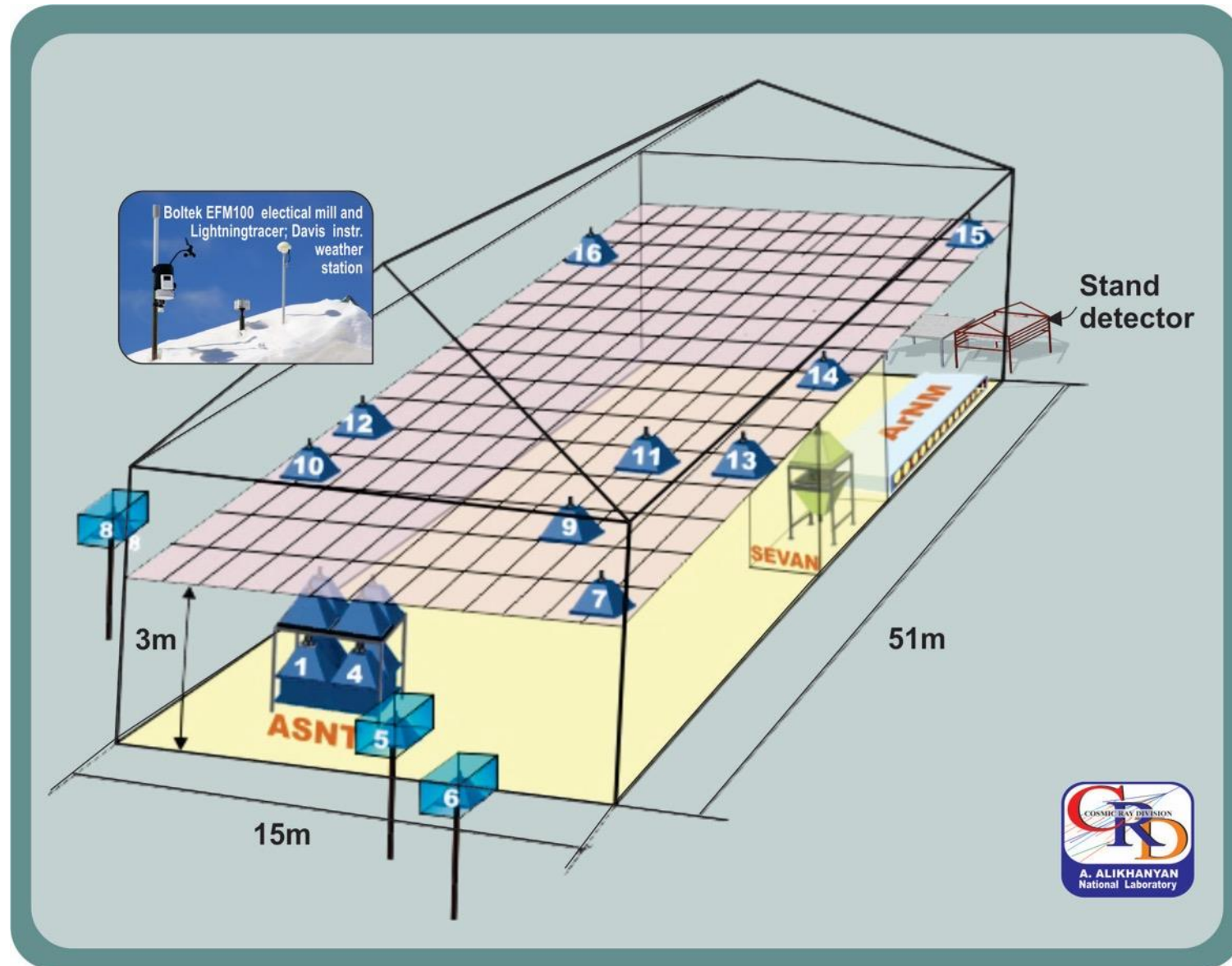
Вариации частоты срабатывания детектора KM2 LHAASO (a), N_e (b) и N_μ (c) во время грозы 10 июня 2021 г.

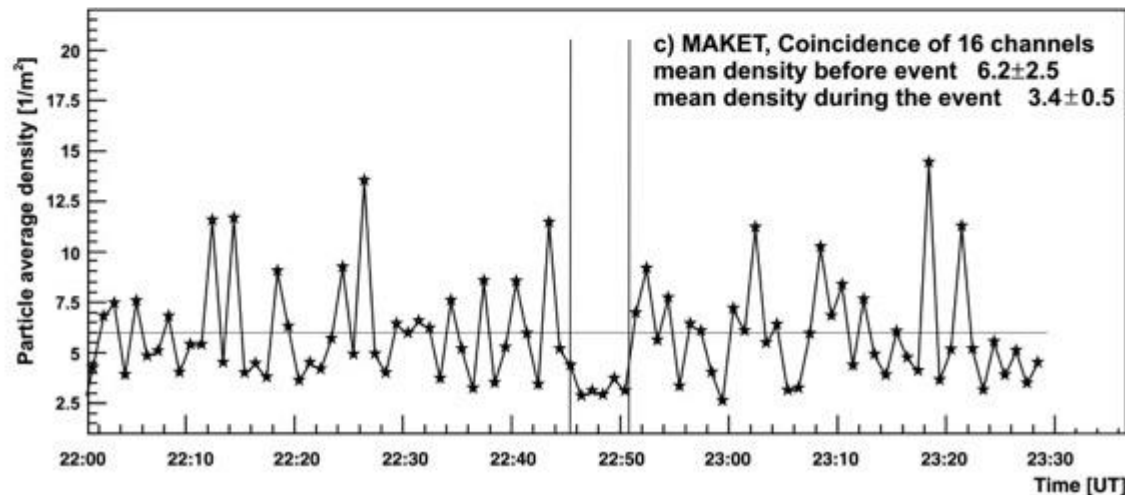
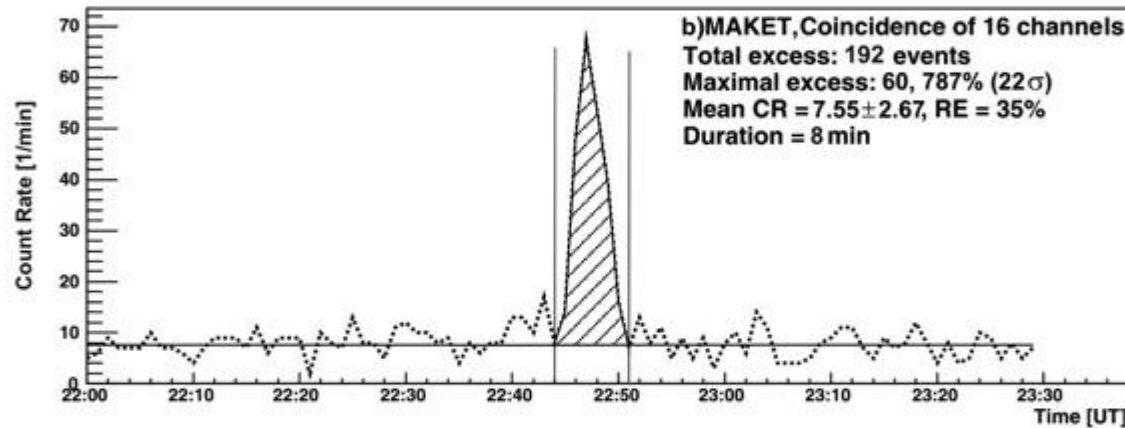
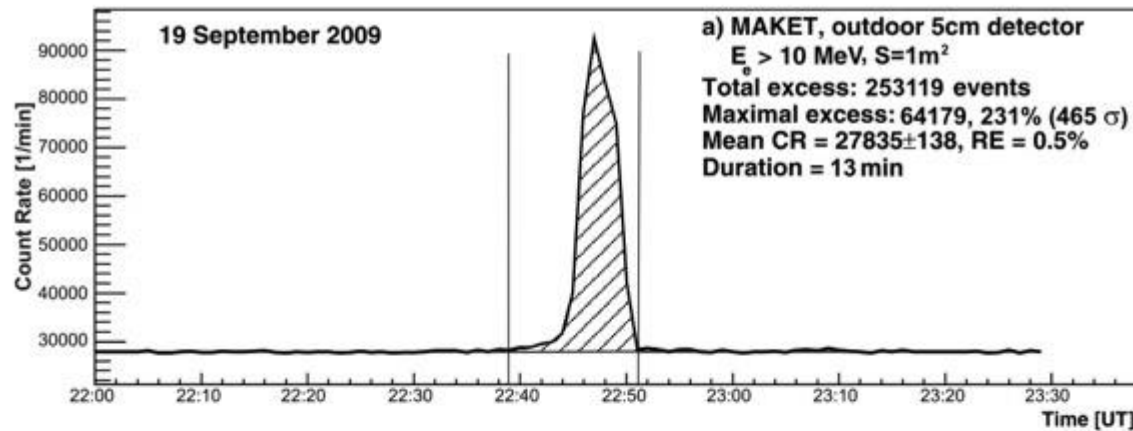


2-second time series of count rates of 4 m² area and 60 cm thickness scintillator, black; disturbances of the NSEF, blue; distances to lightning flashes, red.



MAKET ANI experimental hall



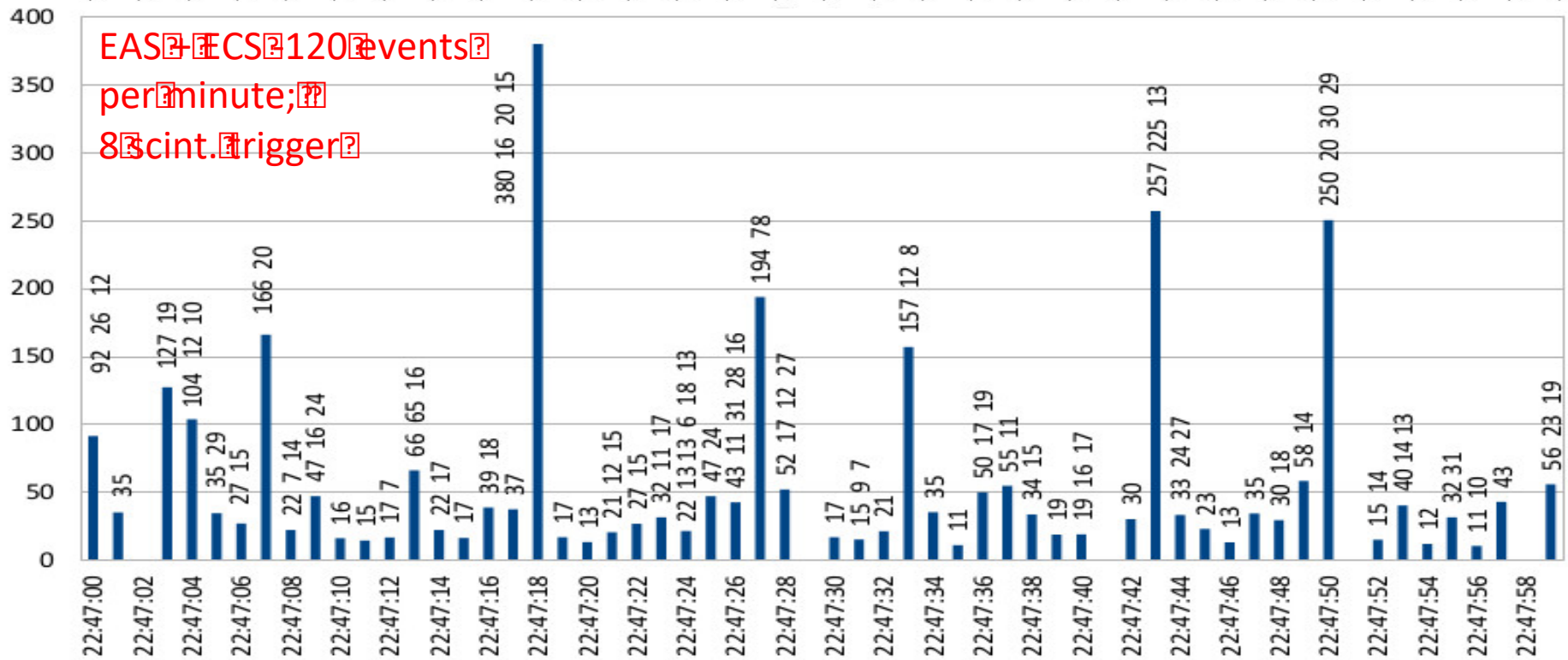
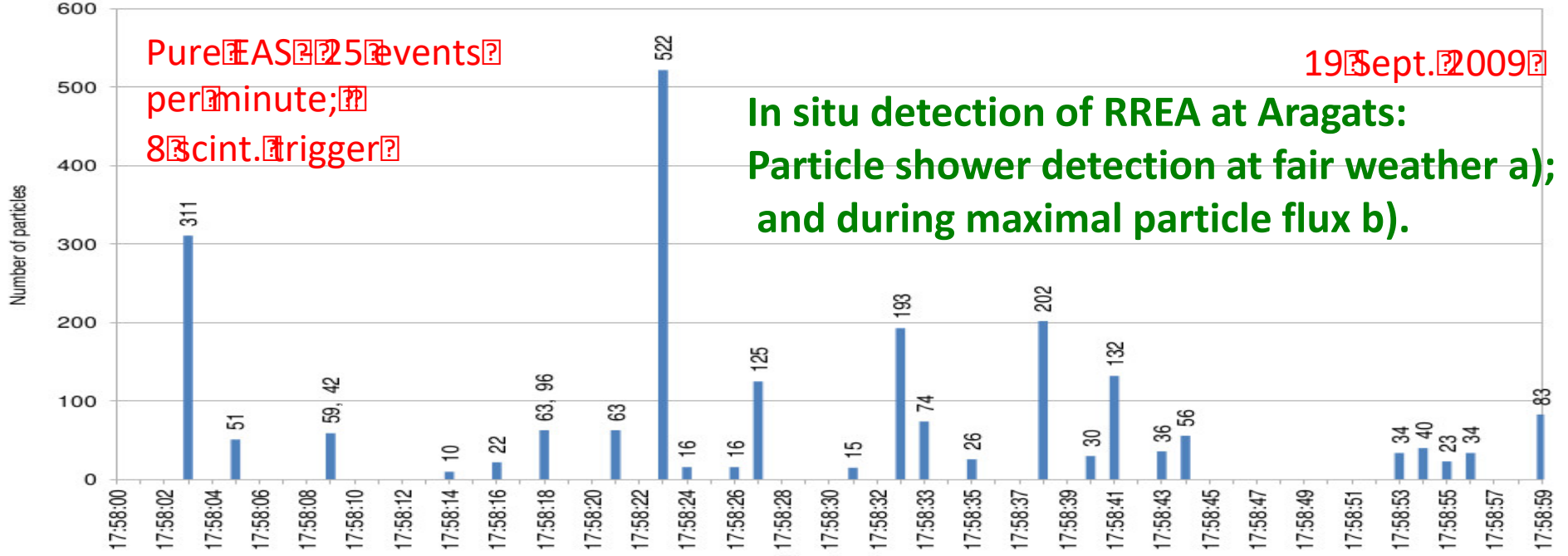


MAKET – a surface array continuously detects Extensive Air showers (EAS) selecting shower axes from area of ~10000 m.sq., Primary particle energy ~100-1000 TeV;

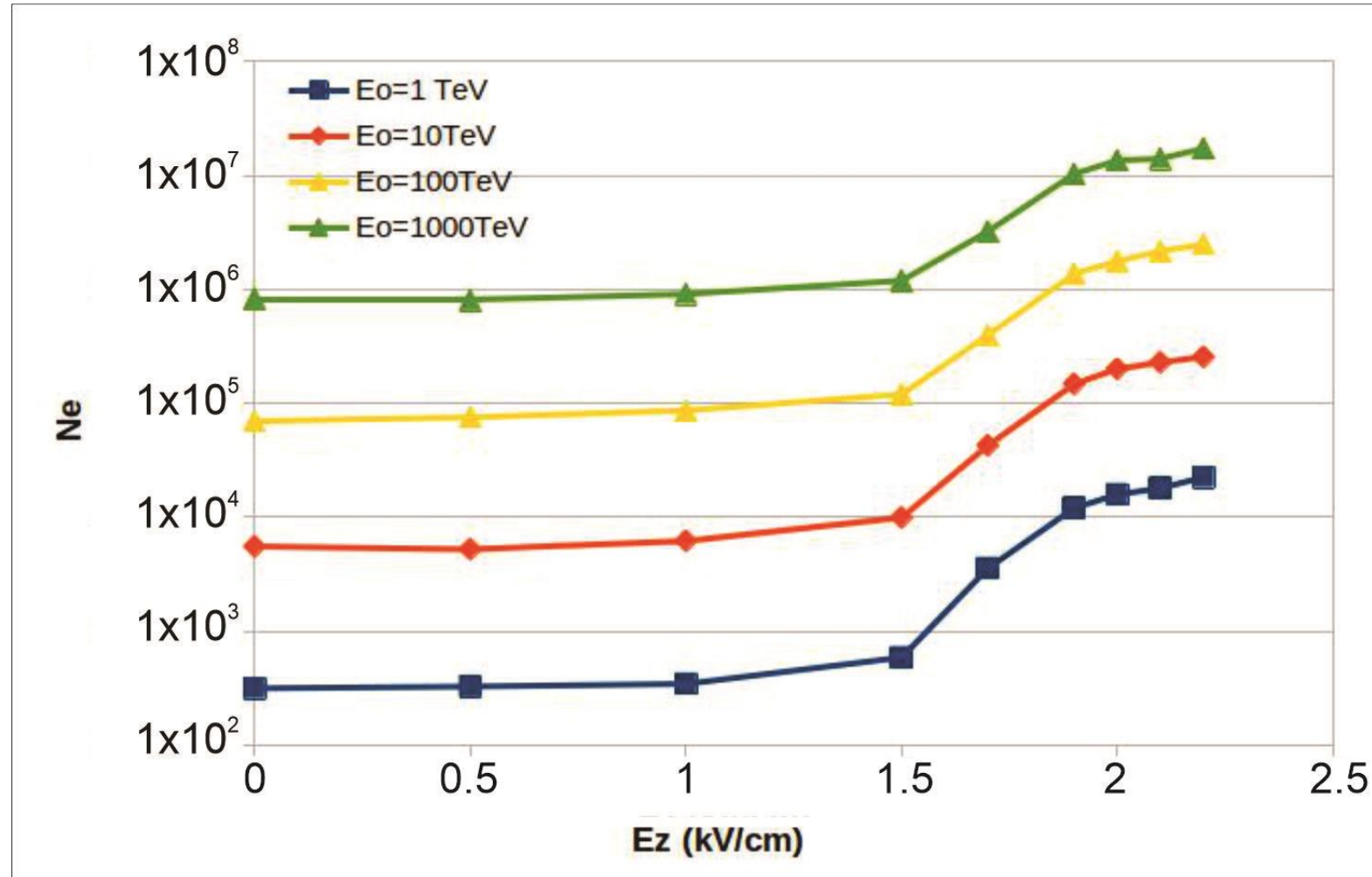
At 19 September 2009 MAKET detects new type of showers – Extensive cloud showers (ECS), Gurevich call it Micro Runaway breakdown (MRB).

ECS (MRB) is short coherent particle burst (within 0.4 μsec) from one Runaway electron; Plenty of ECSs make a TGE lasting several minutes;

ECSs (MRB) can be distinguished from EASs by the lower density.



Количество электронов, зарегистрированных на поверхности Земли после пересечения АЭП различной напряженности. Первичный гамма квант входит в электрическое поле на высоте 6460 м.

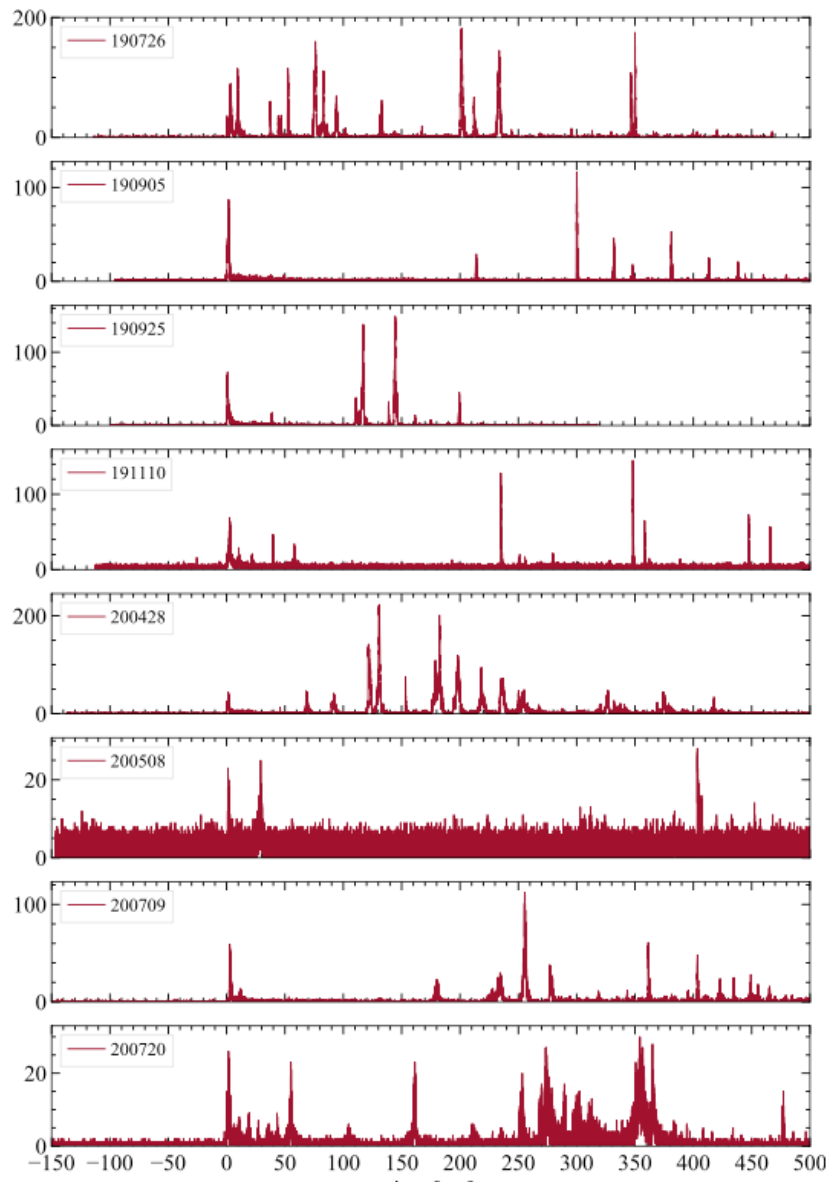


Для низких первичных энергий (1 ТэВ) искажение в оценке энергии первичных гамма-лучей может быть десятикратным, а для более высоких энергий (1 ПэВ) оно может составлять $\approx 2,5$ раза.

Молнии и всплески элементарных частиц (ГНП –ЗГВ; TGE-TGF)

- Во время многочисленных гроз на Арагаце не было зарегистрировано ни одного потока частиц одновременно с молнией;
- Было зафиксировано около 200 событий, когда молния резко прекращала поток частиц из облаков;
- Сравнения импульсов от детекторов частиц и атмосферных разрядов доказывают, что все импульсы от детекторов являются электромагнитными помехами (ЭМИ), потому что:
 - только некоторые детекторы частиц показывают импульсы ЭМИ; например, в штабелированных детекторах верхние сцинтилляторы не показывают пиков, а третий снизу детектор демонстрирует огромный пик из-за плохой экранировки;
 - все пики состоят из биполярных импульсов; импульсы от настоящих частиц имеют униполярную форму;
 - ось ШАЛ, вблизи нейтронного монитора или другого детектора, генерирует множественные нейтроны дающие всплески в детекторах, не имеющие никакого отношения к молниям.
- Только подтвержденные быстрой электроникой импульсы частиц могут быть приняты за подлинные.
- Наблюдаемые на Арагаце потоки электронов, гамма-лучей и нейтронов могут быть объяснены стандартной теорией RREA + MOS, молнии не генерируют высокоэнергетические частицы!

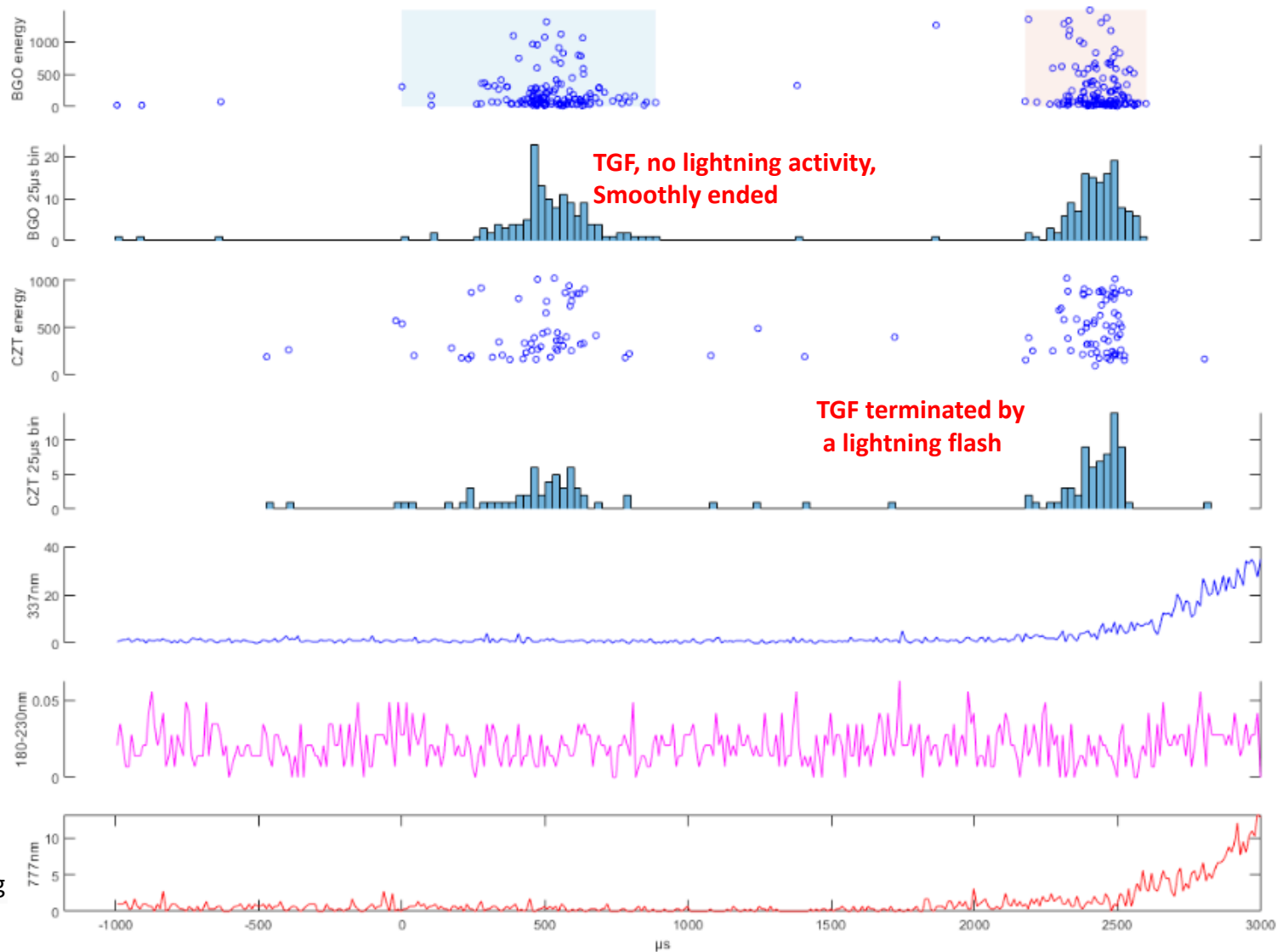
ASIM's multi-pulse TGFs was always produced before the optical associated pulse



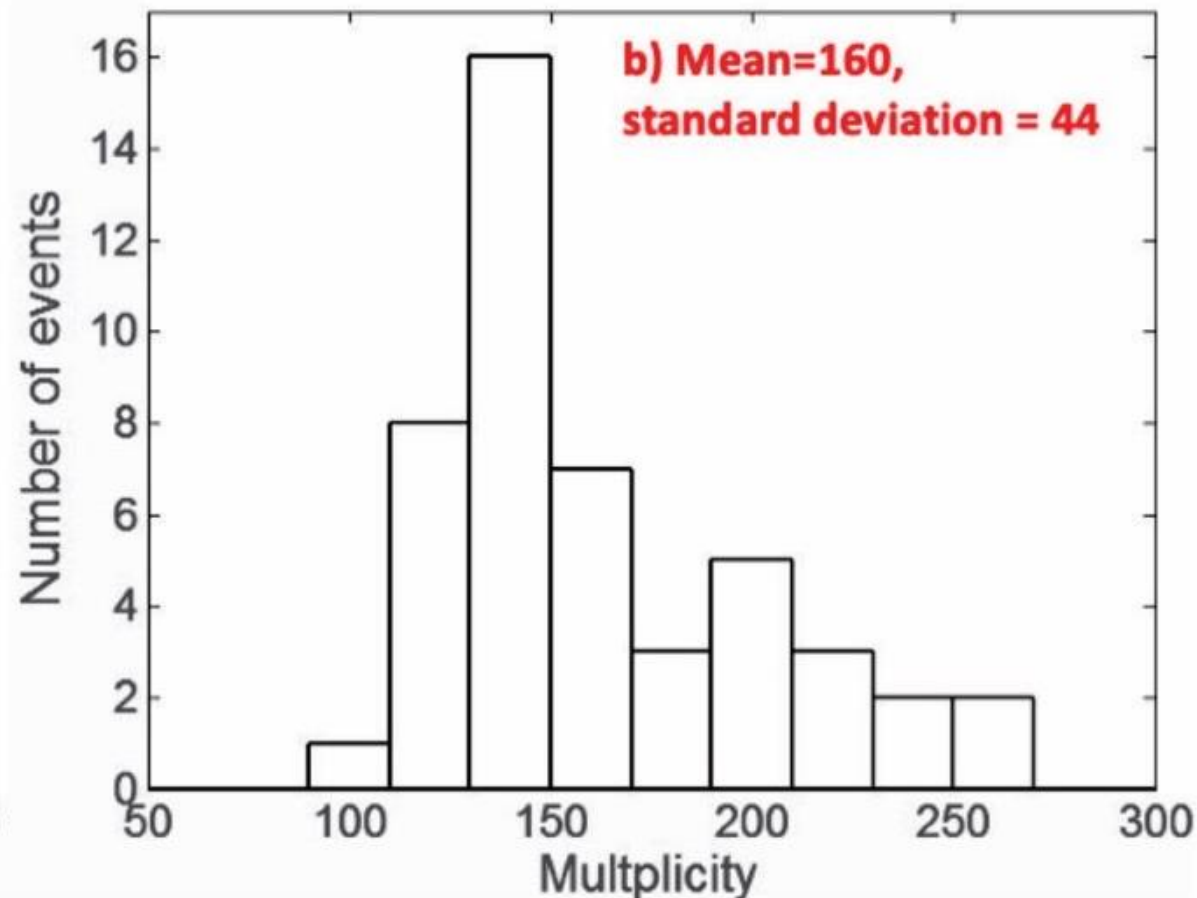
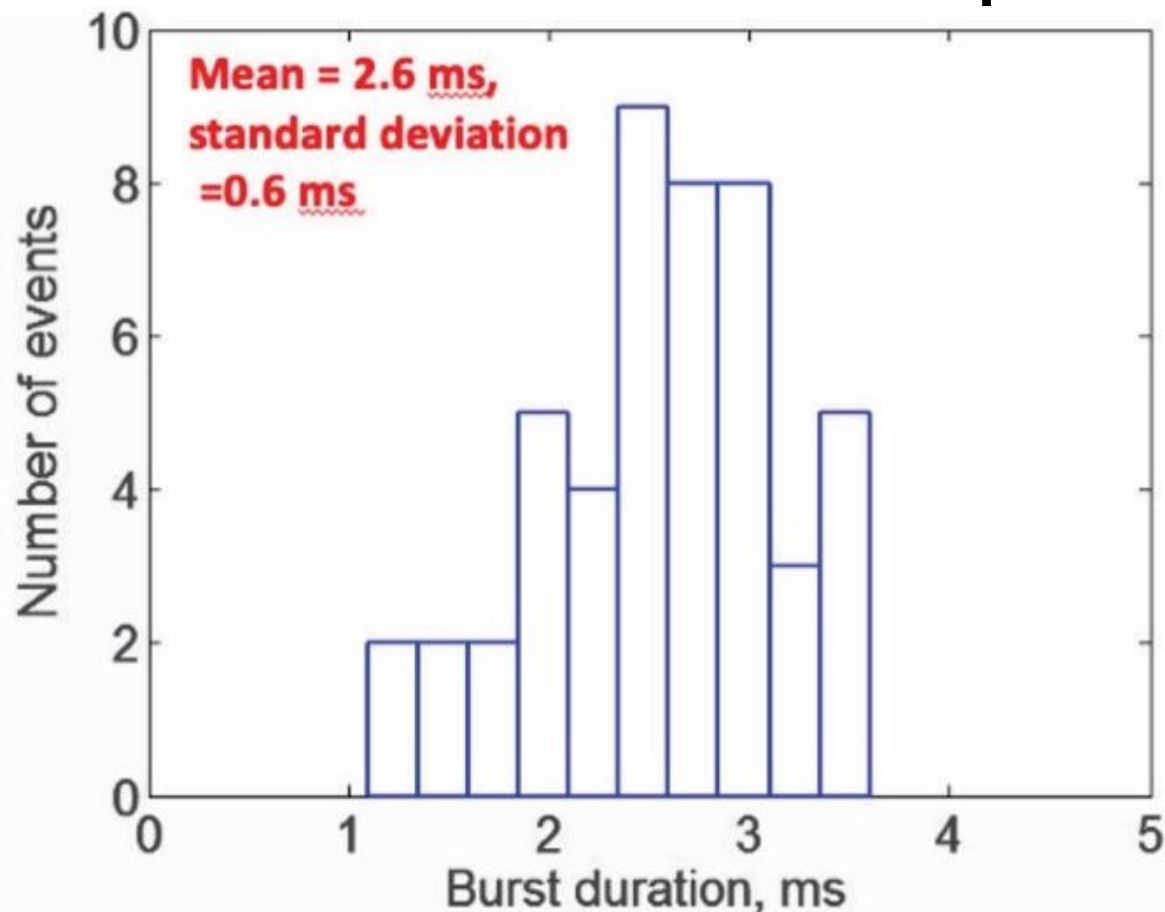
Optical data from the 777 nm photometer for 8 TGFs with lightning activity following the TGF.

The TGF time is at time = 0

associated pulse

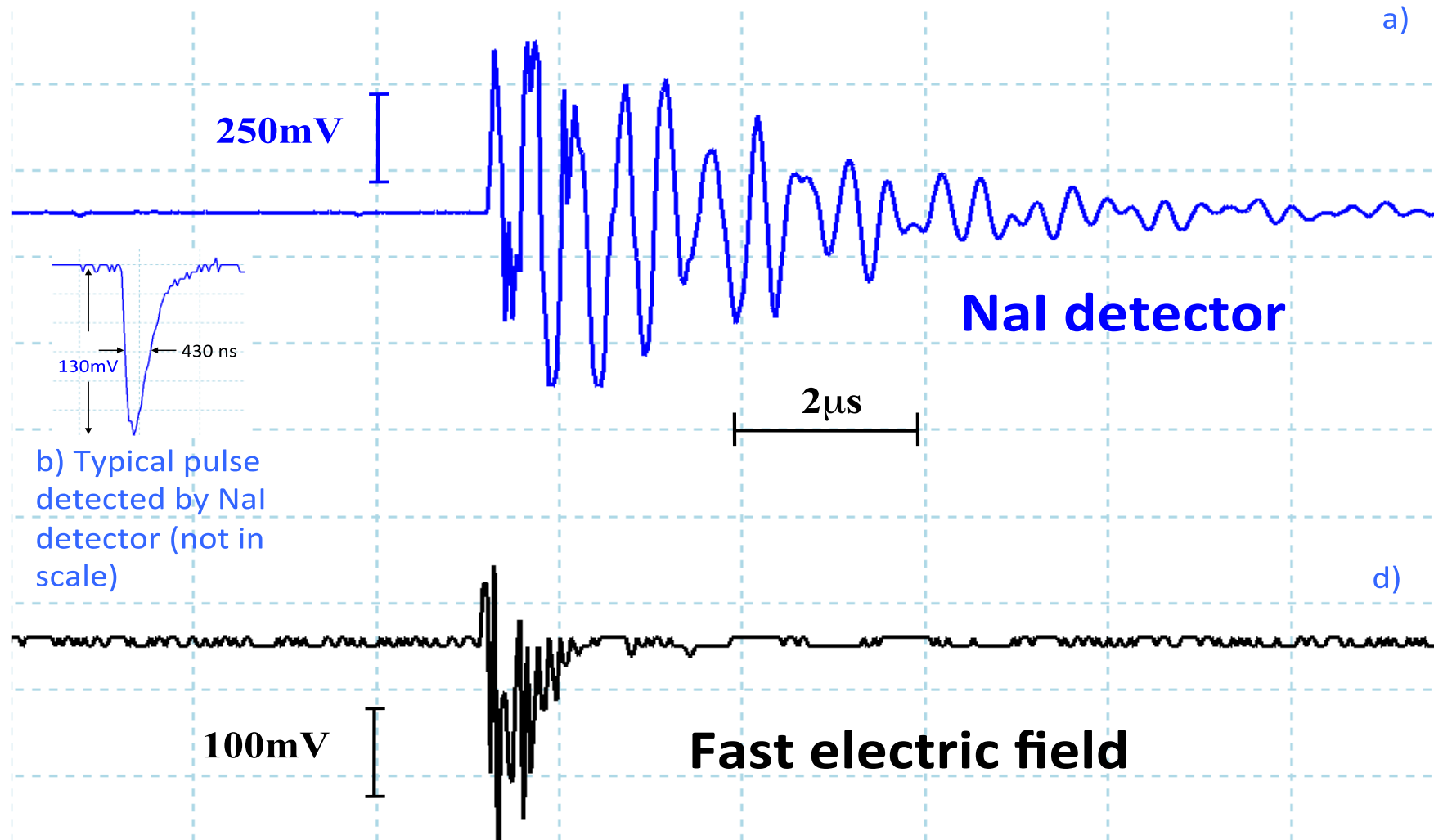


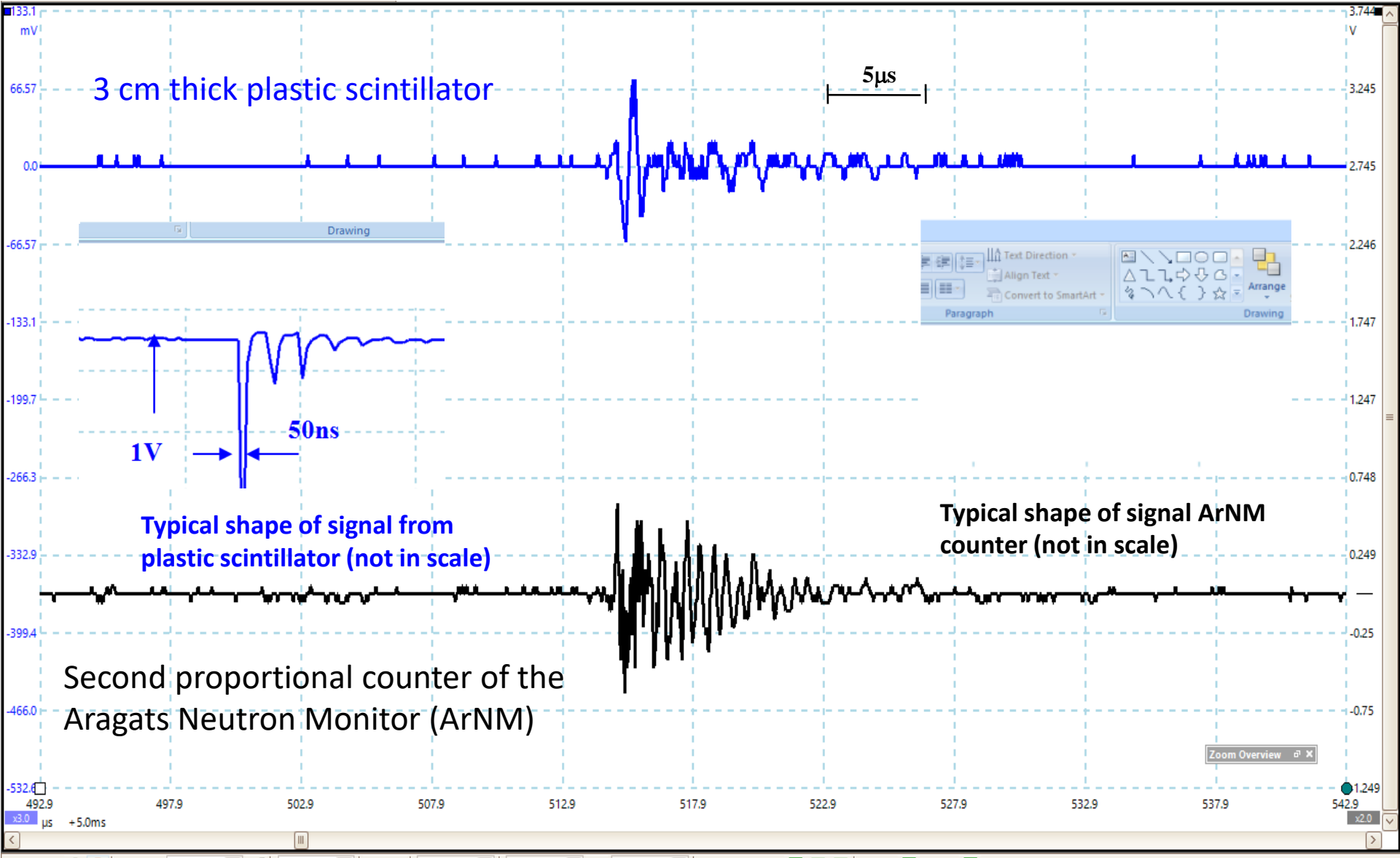
Гистограмма длительности нейтронного всплеска (а) и соответствующая гистограмма кратности (b).



Нейтронный монитор увеличивает очень короткий временной профиль ШАЛ (20-30 нс) примерно на 5 порядков величины (2-3 миллисекунды, совпадает с установкой УРАН, НЕВОД), что позволяет использовать довольно медленное устройство (нейтронный монитор) для регистрации ШАЛ, Измеренная кратность пропорциональна энергии ШАЛ и близости его оси к детектору. Таким образом, по распределению кратностей можно оценить энергетический спектр первичных КЛ.

EMI and genuine particles response





Интригующие проблемы физики высоких энергий в атмосфере (ФВЭА НЕРА).

Вопросы в докладе ТЕПА в 2019, ответы 2024 – красный

1. ГНП и ЗГВ (TGE and TGF) отношение к RREA; **Эквивалентны**
2. Рождаются ли элементарные частицы в молниях (электроны, нейтроны и гамма-кванты) или только в процессе RREA? **RREA**
3. Нужны ли дополнительные механизмы генерации затравочных частиц (Холодный RREA)? **нет**
4. Что мы можем понять из наблюдаемых ГНП об электрификации облаков: трипольная модель, (LPCR); **Зарядовая структура уточнена: 5 диполей**
5. Как измерить/оценить размер излучающей области в облаке; **13 км от Арагаца до Нор Амберда**
6. Как молния «отключает RREA»: временные шкалы, расстояния. **Расстояние < 10 км!**
7. Какие атмосферные условия поддерживают ГНП (Возникновение LPCR, роль влажности и осадков)? **Падение Граупеля во время положительного NSEF**
8. Как объяснить энергетические спектры ГНП, расширенные до 100 МэВ? **После 60 МэВ MOS!**
9. «Открывают» ли RB/RREA проводящие каналы для молнии? **Да, ASIM подтверждает!**
10. Генерация нейтронов гамма квантами лавинах и их регистрация на поверхности Земли; **Данные LS по нейтронам, вместо 5% на Арагаце 50% на ЛС.**
11. Способствуют ли EAS распространению лидера молнии (процесс EAS-RB)? **Нет**
12. Максимальная разность потенциалов в грозовых облаках, оцененная по эффекту остановки мюонов и потокам ТГЭ на Арагаце и Ломицком стуите, **300 и 500 МВ.**
13. Эффект остановки мюонов, зарегистрирован сетью СЕВАН и подтвержден **детекторами EAS.**
14. Усиление потока позитронов, подтвержденное выявлением **4-го диполя**

Конкурс на установку детекторов на Арагаце. Мы предоставляем небольшую лабораторию в которой установлены с датчиком EFM-100, метеостанцией DAVIS и двумя камерами кругового обзора. Все устройства имеют доступ в Интернет.





совместно с сотрудниками ОКЛ Ереванского физического института им. А.И.Алиханяна запустила на в/с Арагац многоканальный изображающий фотометр для исследования кратковременных свечений в нижней атмосфере.

