

ШИРОКИЕ АТМОСФЕРНЫЕ ЛИВНИ НА ТЯНЬ-ШАНЬСКОЙ ВЫСОКОГОРНОЙ СТАНЦИИ ФИАН: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

А.П.Чубенко^a, А.Л.Щепетов^a, Л.И.Вильданова^a,
В.В.Жуков^a, О.Н.Крякунова^b, Р.А.Нам^a, В.П.Павлюченко^a,
В.В.Пискаль^a, В.А.Рябов^a, Н.О.Садуев^c, Т.Х.Садыков^d,
Н.М.Салихов^b

(а) Физический институт им. П.Н.Лебедева, Москва, Россия

(б) Институт ионосферы, Алматы, Казахстан

(с) Казахский национальный университет, Алматы, Казахстан

(д) Физико-технический институт, Алматы, Казахстан

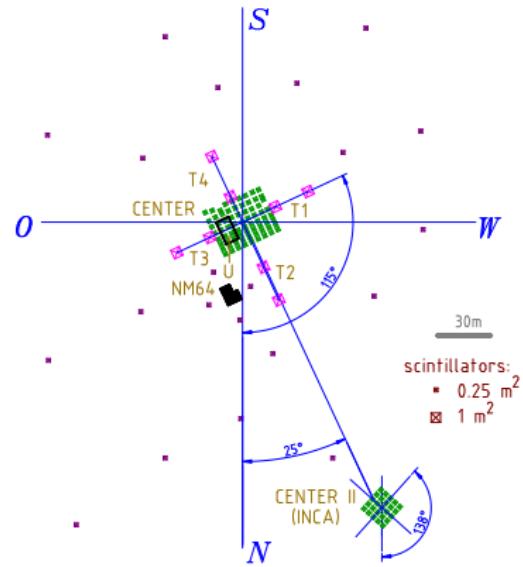
СОДЕРЖАНИЕ

- Модернизированный комплекс детекторов для регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ) на Тянь-Шаньской высокогорной станции.
- Текущие результаты регистрации ШАЛ:
 - * энергетический спектр, возраст, ФПР;
 - * направления прихода;
 - * нейтронная компонента ШАЛ;
 - * нейтронные события на подземном мониторе;
 - * мониторинг интенсивности радиационного фона;
 - * ШАЛ & акустика (сейсмология);
 - * радио сигнал ШАЛ;
 - * стволы ШАЛ в ионизационном калориметре.

Исходные требования к установке для исследования центральной области ШАЛ

- комплекс детекторов для одновременной регистрации различных компонент ШАЛ (e/γ , заряженные и нейтральные адроны, мюоны, фотоны черенковского излучения); «комплексная установка»;
- плотное расположение детекторов частиц с пространственным шагом того же порядка, что и характерный размер стволов ШАЛ с энергией $10^{14} - 10^{17}$ эВ ($\leq 5 - 10$ м; «установка с центральной частью»);
- динамический диапазон измеряемых сигналов $\sim 10^5 - 10^6$;
- возможность определения направления прихода ШАЛ.

Комплекс ливневых детекторов ТШВНС



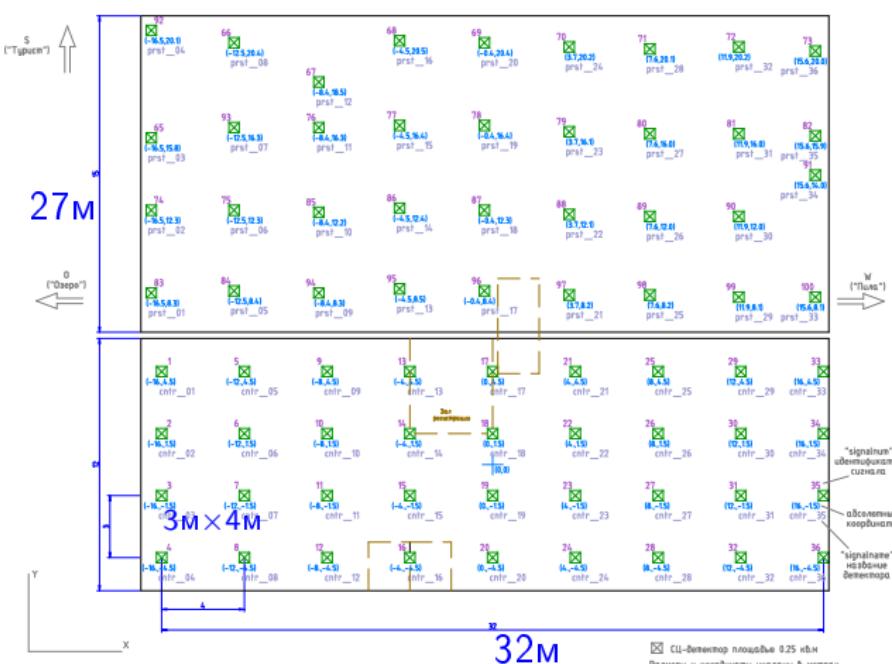
- CENTER-I:

- * сцинтилляторы;
- * нейтроны;
- * подземелье;
- * радио.

- CENTER-II:

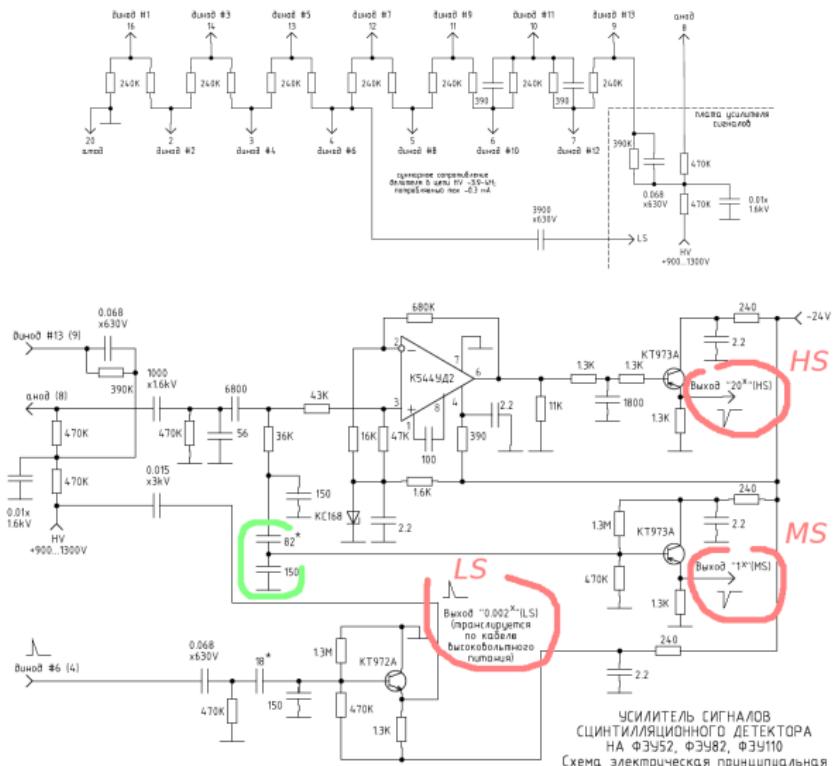
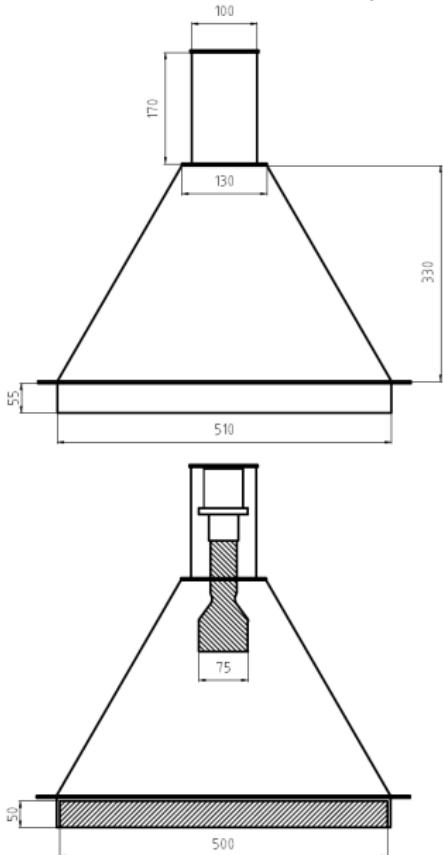
- * сцинтилляторы;
- * ионизационно-нейtronный калориметр.

Схема сцинтилляционной установки CENTER

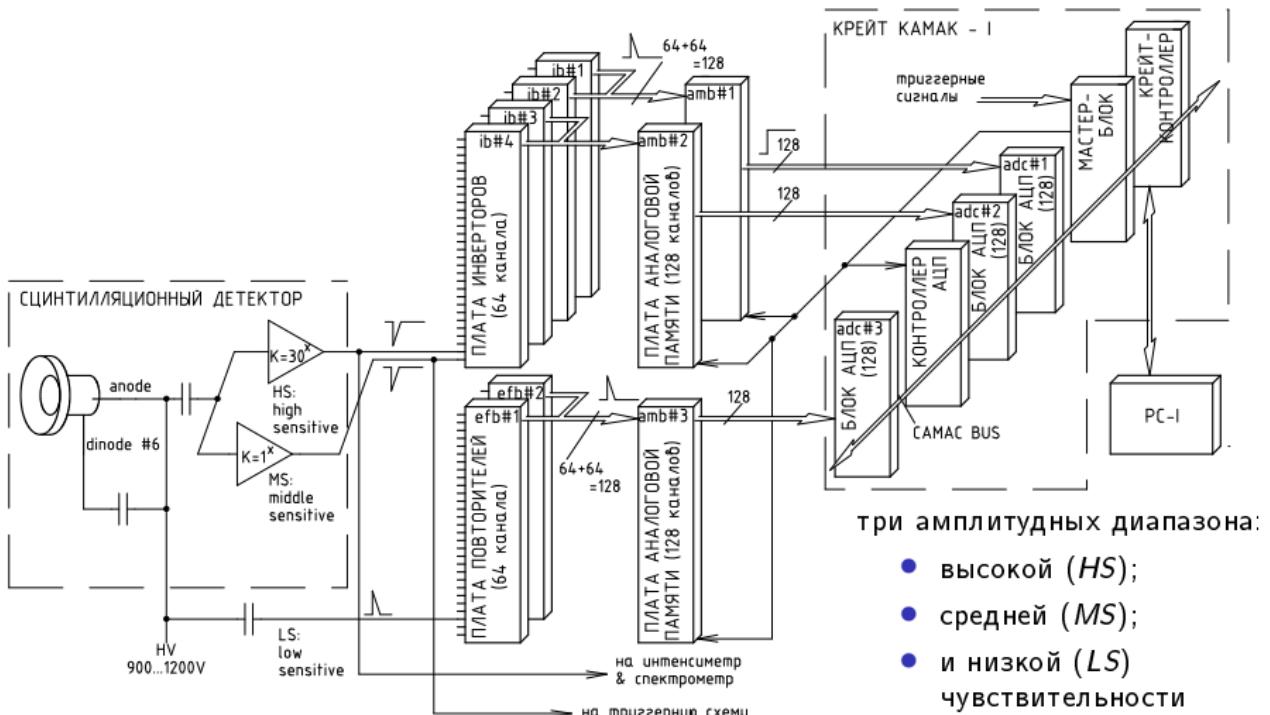


- общая площадь центрального «ковра» 900 м²;
- 72 детектора с чувствительной площадью 0.25 м².

Сцинтиляционный детектор



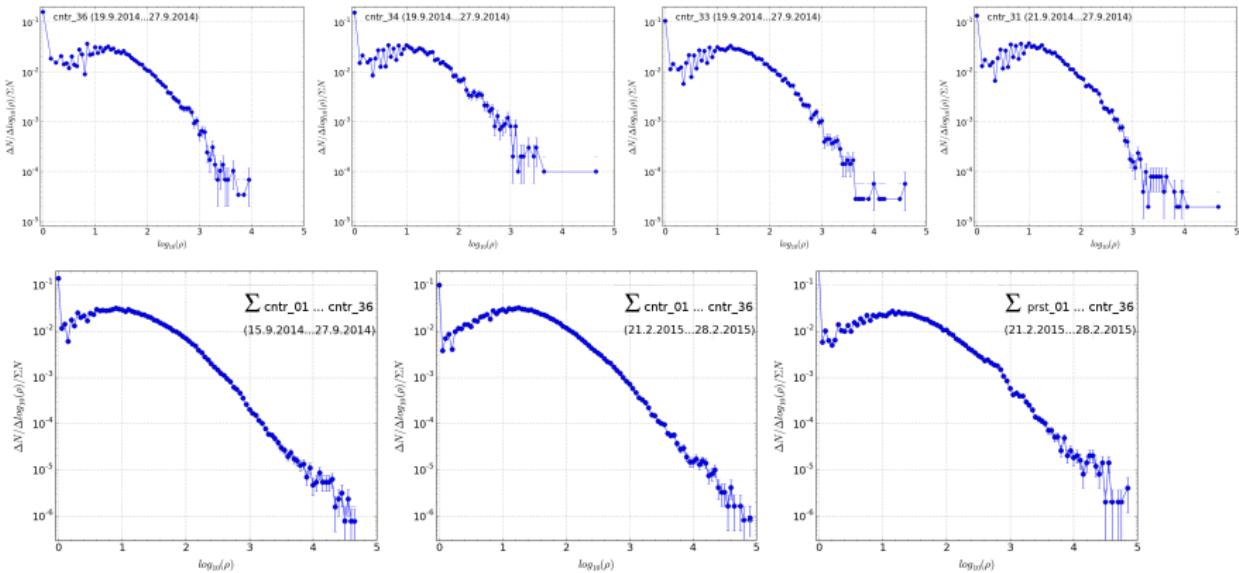
Блок-схема ливневой установки: система АЦП



СИНТИЛЛИЯЦИОННАЯ ЛИВНЕВАЯ УСТАНОВКА "CENTER"
Блок-схема системы АЦП

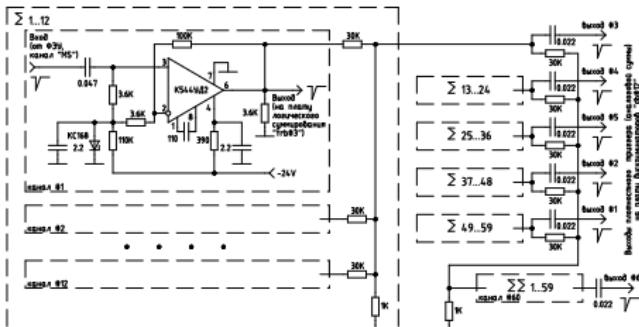
Динамический диапазон измерений плотности частиц

$D^{max} \sim 50000 - 70000$
(по двум амплитудным диапазонам)



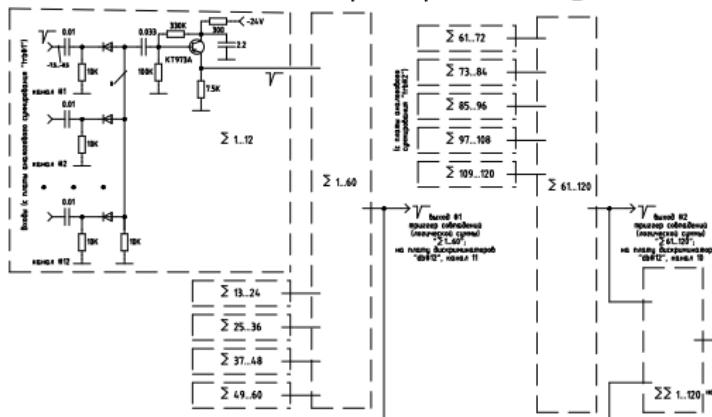
Схемы генерации триггерных сигналов

«Плотностной триггер»: $\sum_{\forall D} (A_D) > T$



СХЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТРИГГЕРНОГО СИГНАЛА
ПЛАТЫ "TRBII,2": АНАЛОГОВЫЙ СУММATOR
Схема электрическая принципиальная

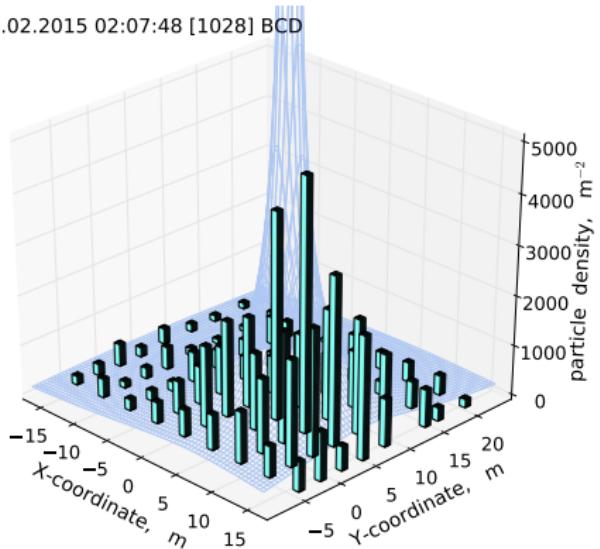
«Толчковый триггер»: $\exists D : A_D > T$



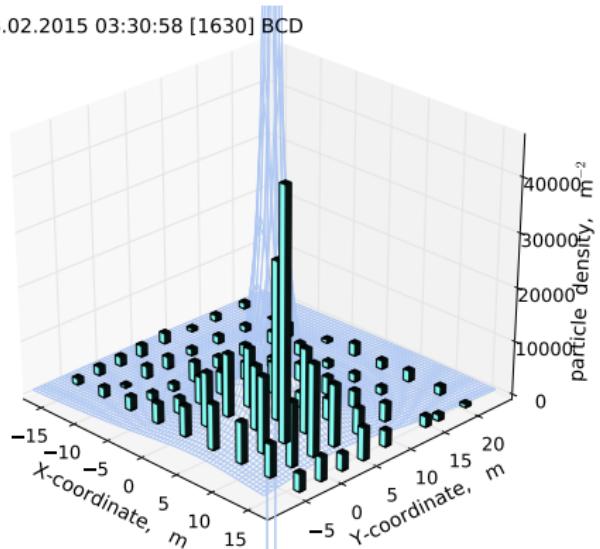
Аппроксимация плотности потока частиц

$$\chi^2 = \sum_D \left(\frac{n_D/S_D - \rho_{NKG}(r_D(x_0, y_0), s, N_e)}{\sigma(n_D/S_D)} \right)^2 \rightarrow \min_{[x_0, y_0, s, N_e]}$$

23.02.2015 02:07:48 [1028] BCD



23.02.2015 03:30:58 [1630] BCD

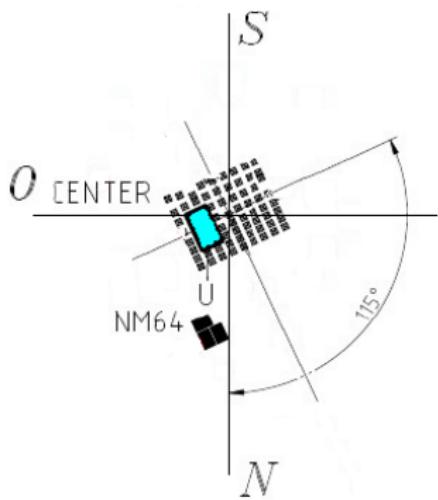


max: 5035; sum: 61163; shower: 6.3 4.2 2.5e+06 0.94 35.6

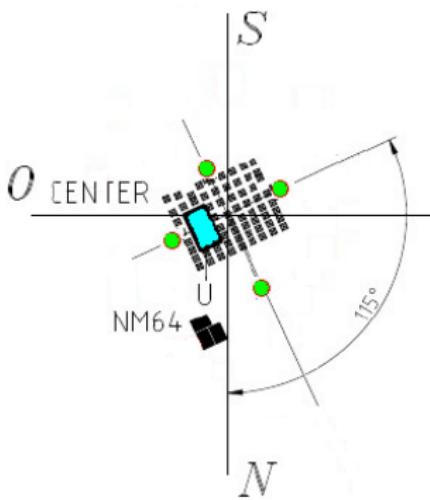
max: 46530; sum: 348186; shower: 7.1 1.0 1.2e+07 0.87 219.5

Система *CENTER*: три серии измерений

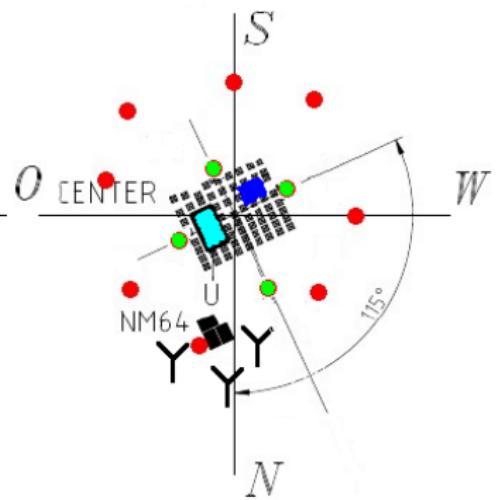
- 2014-2015



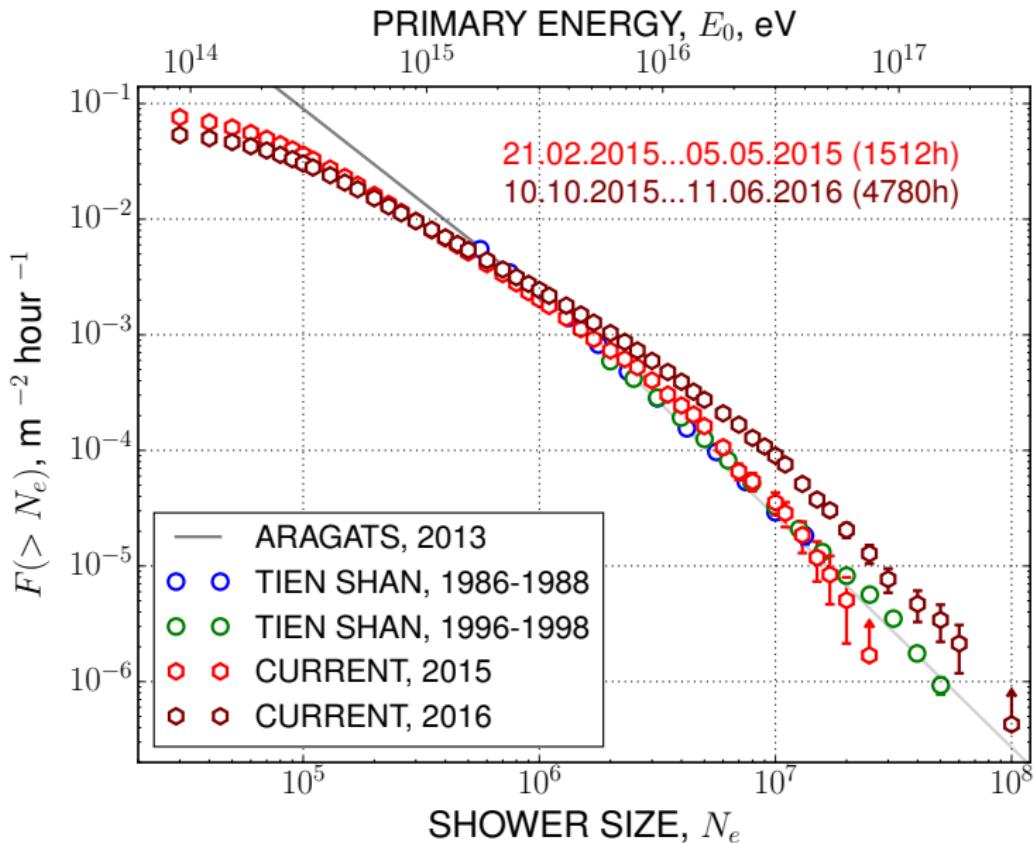
- 2015-2016



- 2016-2017



Спектр ШАЛ по числу частиц



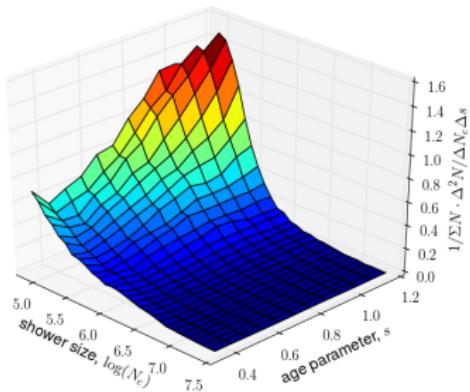
Спектр ШАЛ & статистика

Ожидаемое количество событий за 1000 часов измерений

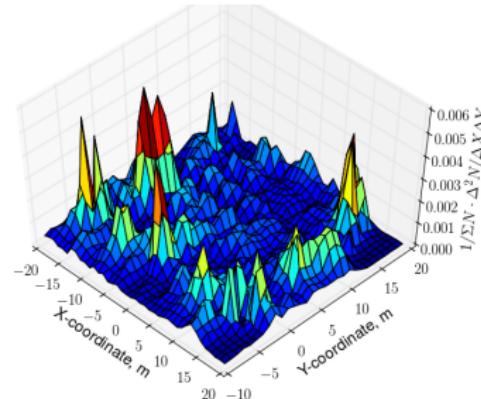
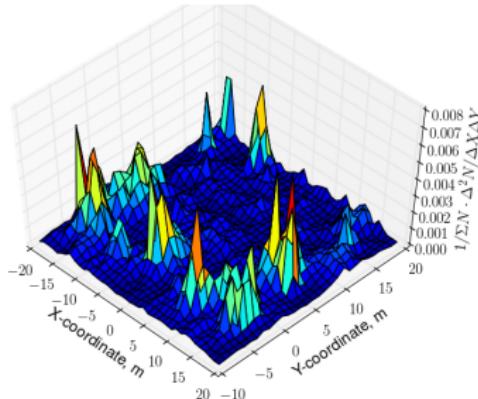
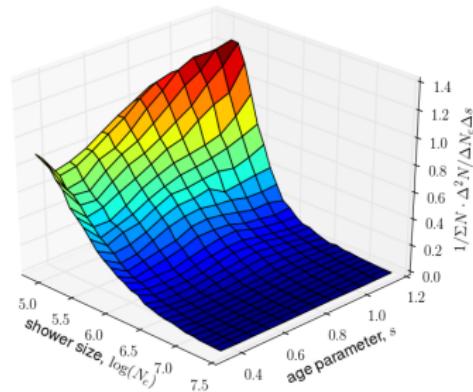
Порог	<i>CENTER</i> (запущенная часть)	<i>CENTER +</i> периферия $R \lesssim 100\text{м}$
$N_e > 10^5$ ($E_0 \gtrsim 3 \cdot 10^{14}\text{eV}$)	$2 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$
$N_e > 10^6$ ($E_0 \gtrsim 3 \cdot 10^{15}\text{eV}$)	$6 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$
$N_e > 10^7$ ($E_0 \gtrsim 3 \cdot 10^{16}\text{eV}$)	60	200
$N_e > 10^8$ ($E_0 \gtrsim 3 \cdot 10^{17}\text{eV}$)	—	2

Возраст & положение оси ШАЛ

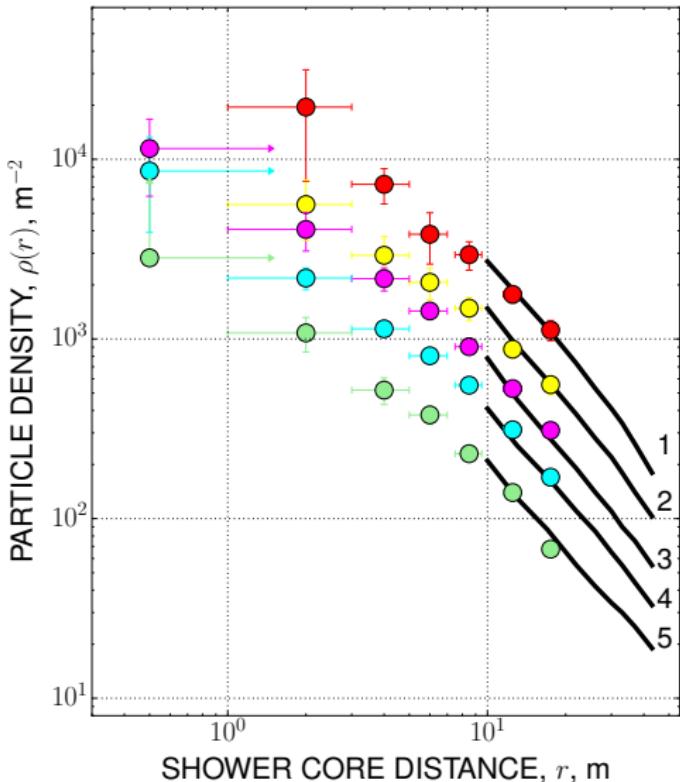
- 2014-2015



- 2015-2016



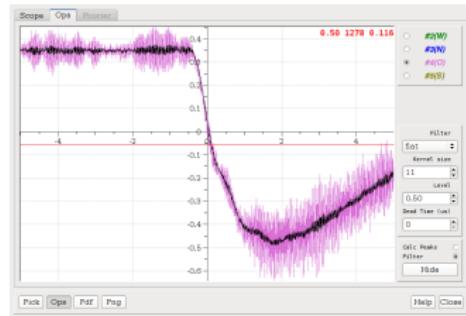
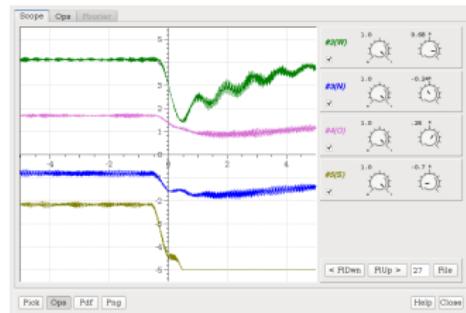
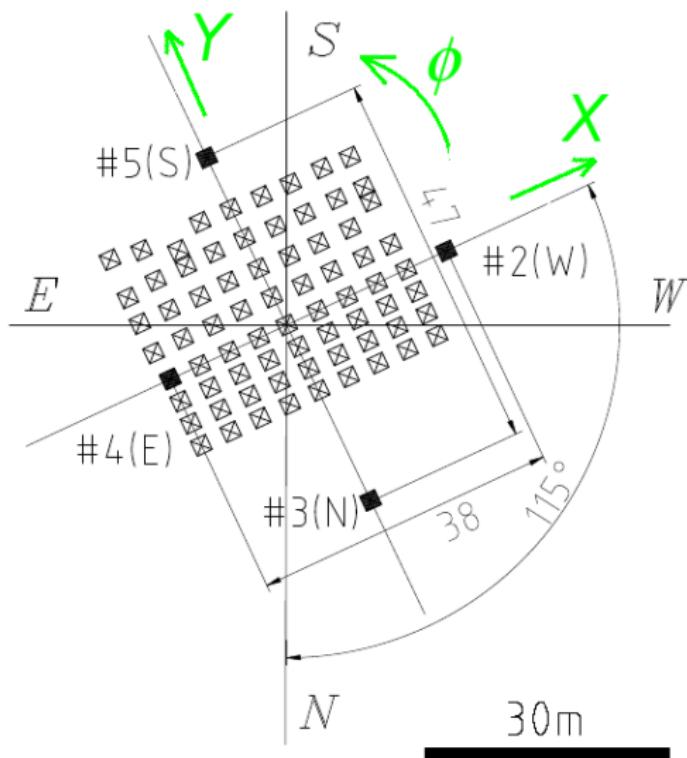
Пространственное распределение ливневых частиц



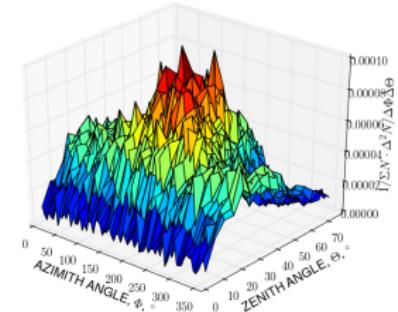
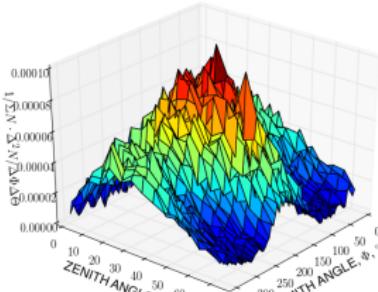
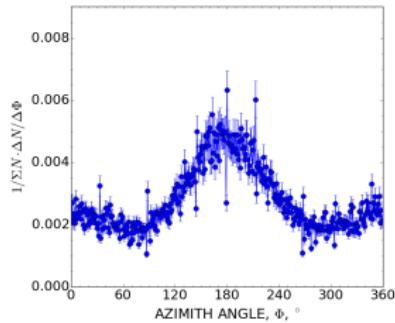
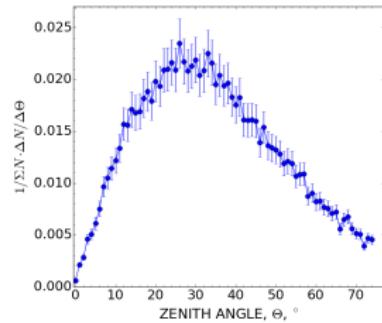
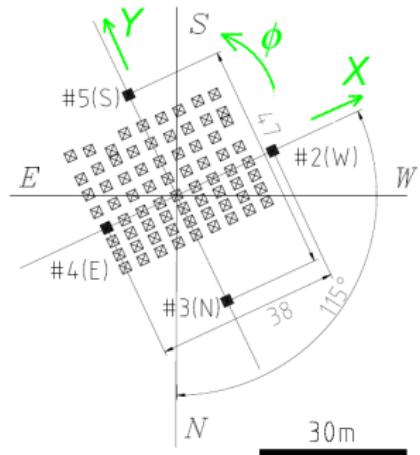
TIEN SHAN, 2014-2016:

- $N_e = 7.3 \cdot 10^6$ (1)
- $N_e = 4.1 \cdot 10^6$ (2)
- $N_e = 2.3 \cdot 10^6$ (3)
- $N_e = 1.3 \cdot 10^6$ (4)
- $N_e = 7.3 \cdot 10^5$ (5)
- ARAGATS (lines)

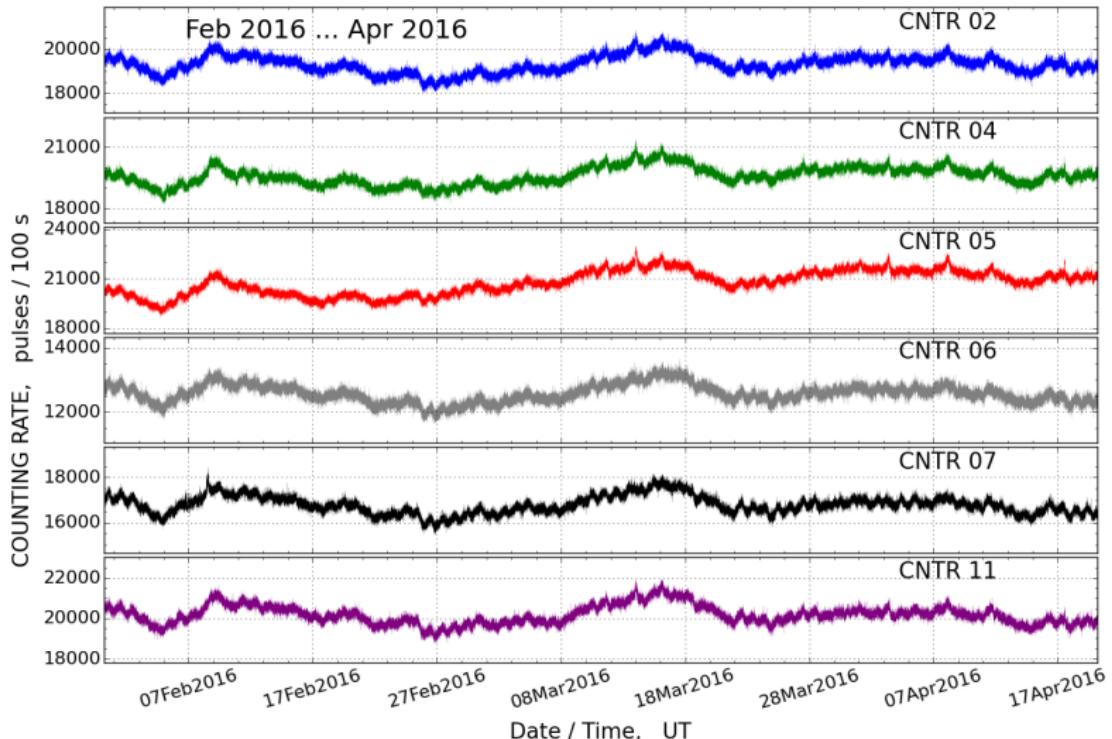
Направления прихода ШАЛ — I



Направления прихода ШАЛ — //



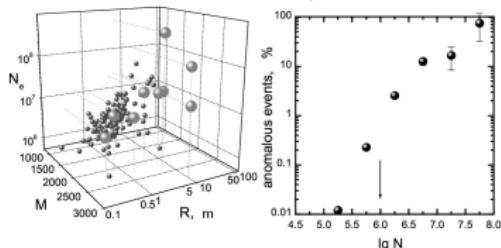
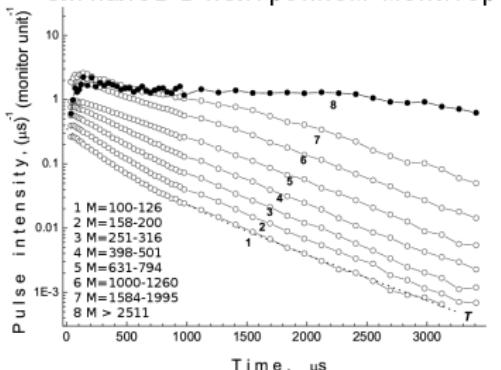
Мониторинг фоновой интенсивности заряженных частиц



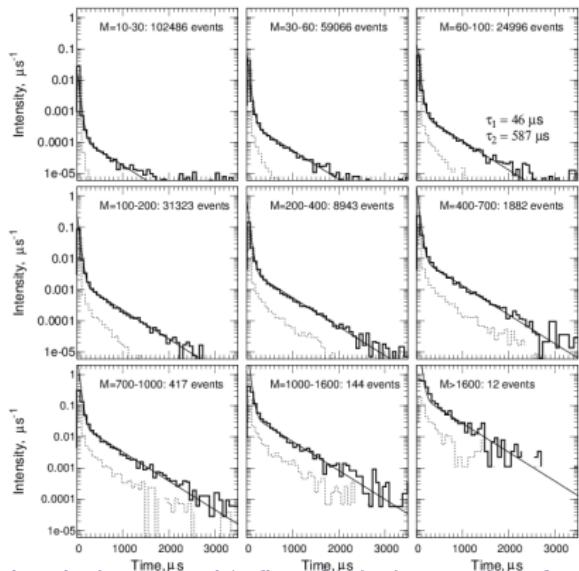
- ~100 детекторов с площадью 0.25 м^2
- непрерывный многомесячный цикл работы
- исходная запись с временным разрешением 10 с

ШАЛ & нейтроны (1992-2010)

- временные распределения сигналов в нейтронном мониторе



- измерения с высоким временным разрешением (нейтроночувствительные сцинтилляторы)

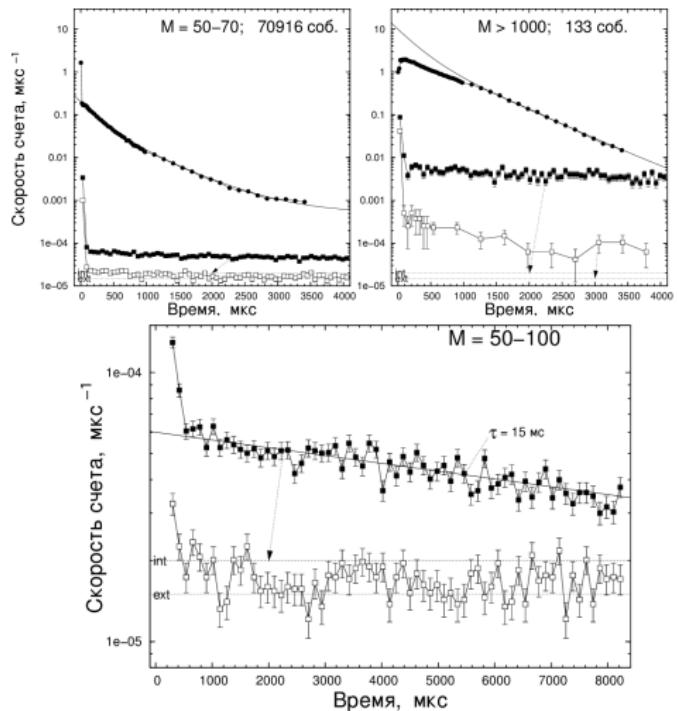
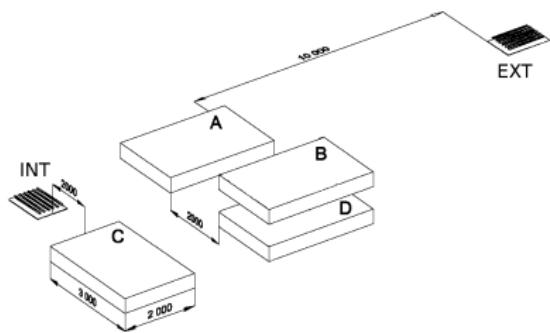


A.P.Chubenko *et al* Anomalous time structure of extensive air shower particle flows in the knee region of primary cosmic ray spectrum // Journal of Phys.G, 2002, 2, 251.

Н. М. Нестерова и др. Потоки адронов с энергией 10-2000 ГэВ в ШАЛ от ПКИ в области 1-100 ПэВ по тянь-шаньским данным. Изв. РАН Сер. физ., 2005, 69, 337.

A.D.Erlykin The neutron "thunder" accompanying the extensive air shower // Journal of Phys.G, 2006, 34, 565.

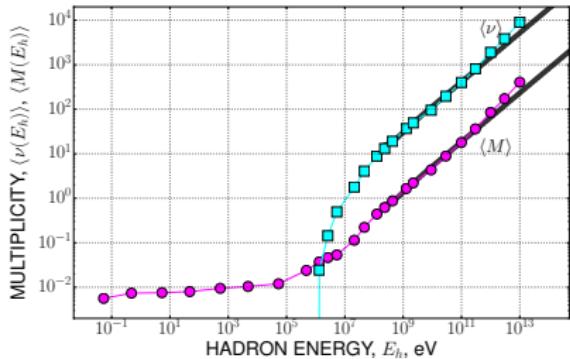
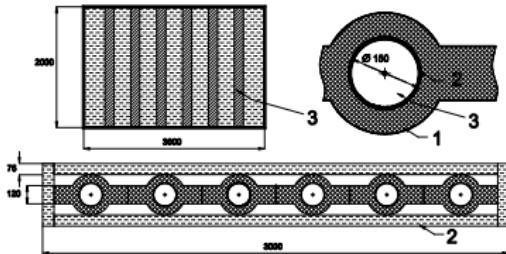
ШАЛ & нейтроны низкой энергии (1996-2006)



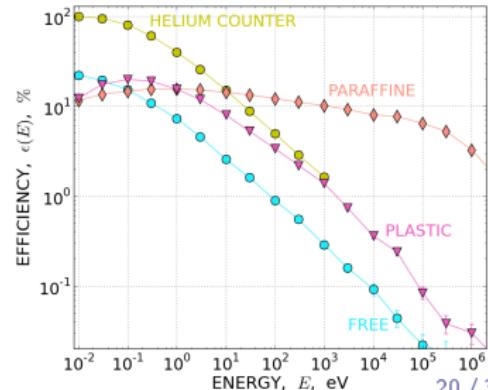
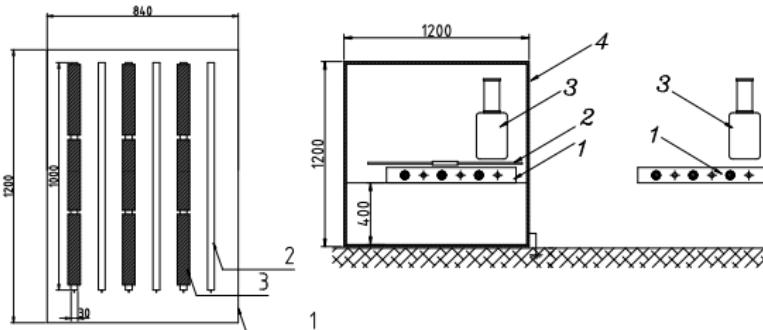
A.P.Chubenko et al The influence of background radiation on the events registered in a neutron monitor at mountain heights // Journal of Phys.G, 2008, 35, 085202.

Нейтронные детекторы

- Нейтронный монитор HM64

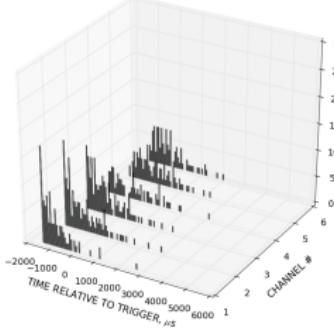


- Детектор нейтронов низкой энергии
в 2016–2017 г

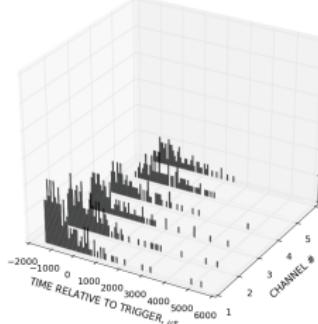


Стволы ШАЛ в нейтронном мониторе: 2016–1017 гг

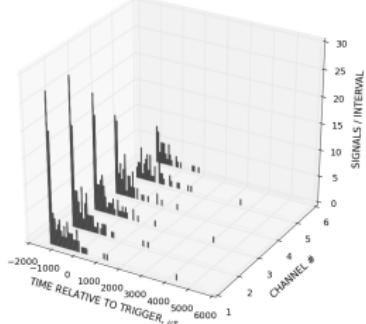
6 // 32: 01.12.2016 12:55:09



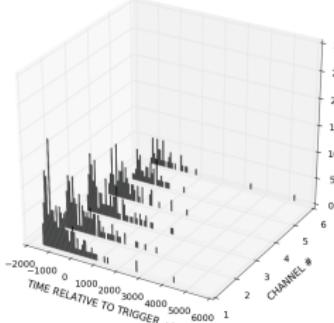
2 // 32: 13.01.2017 22:42:40



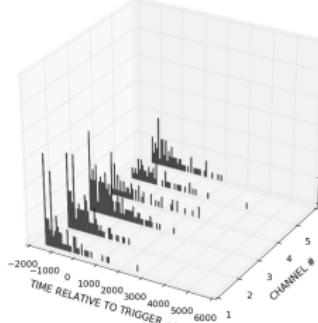
11 // 32: 11.12.2016 09:09:39



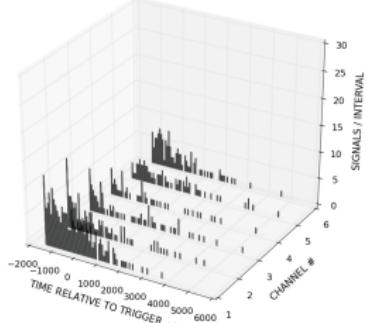
8 // 32: 28.01.2017 11:23:01



13 // 32: 21.12.2016 09:10:14



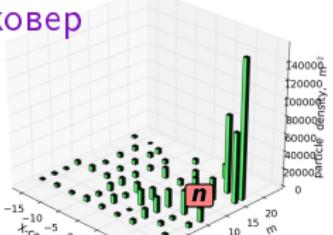
3 // 32: 03.02.2017 13:54:11



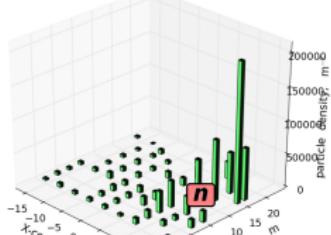
ШАЛ & нейтроны

10.11.2016 17:28:22 [4536] ABCD

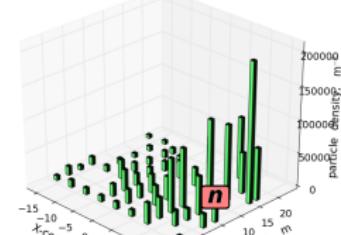
СЦ ковер



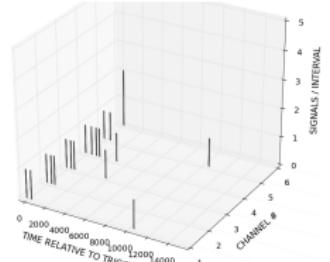
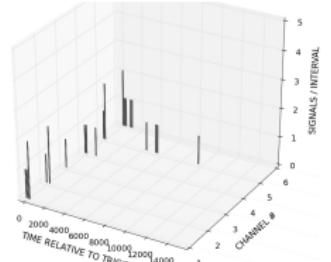
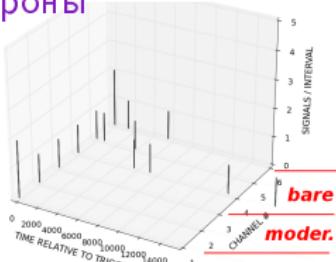
25.11.2016 20:49:19 [3634] BCD



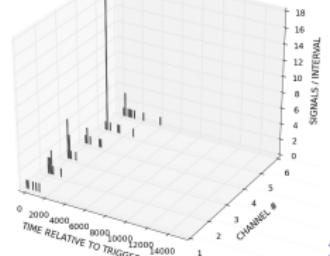
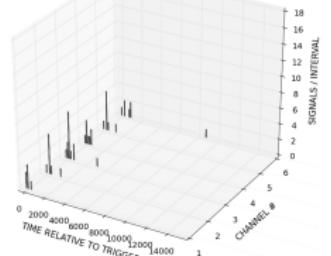
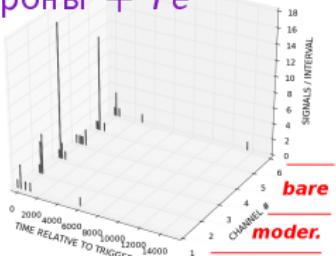
22.12.2016 11:13:33 [2420] BCD



Нейтроны



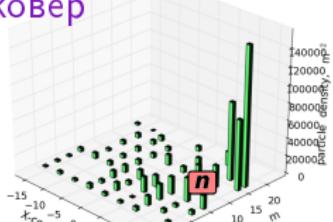
Нейтроны + Fe



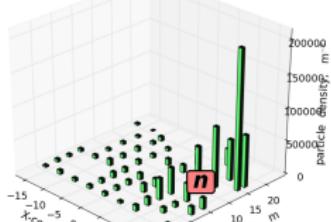
ШАЛ & гамма-фон

10.11.2016 17:28:22 [4536] ABCD

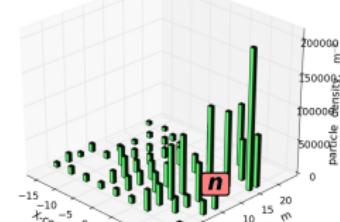
СЦ ковер



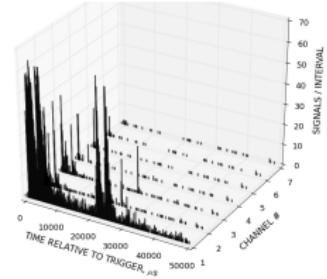
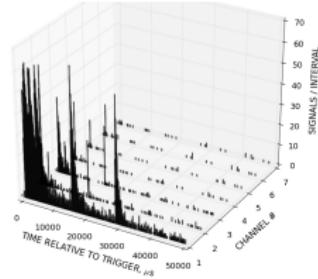
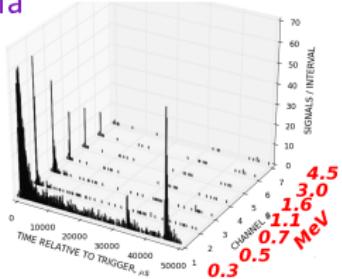
25.11.2016 20:49:19 [3634] BCD



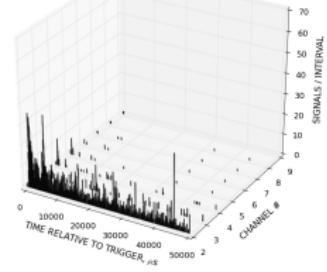
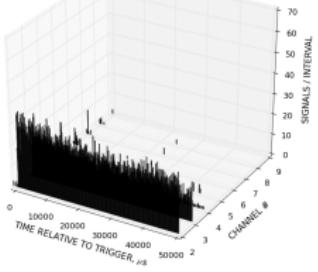
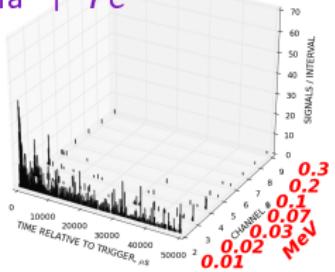
22.12.2016 11:13:33 [2420] BCD



Гамма



Гамма + Fe



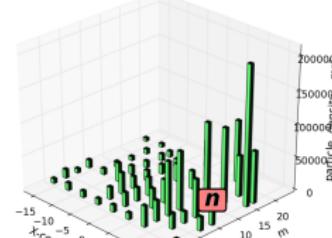
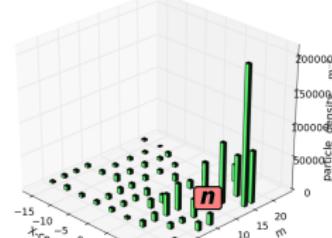
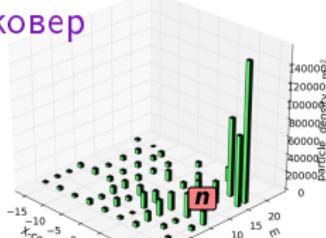
ШАЛ & начало гамма-фона

10.11.2016 17:28:22 [4536] ABCD

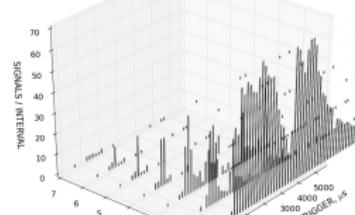
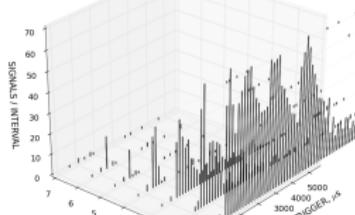
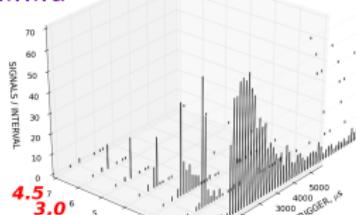
25.11.2016 20:49:19 [3634] BCD

22.12.2016 11:13:33 [2420] BCD

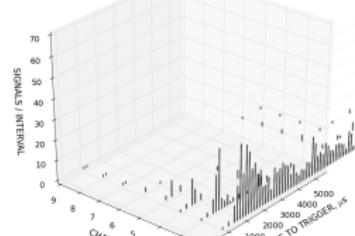
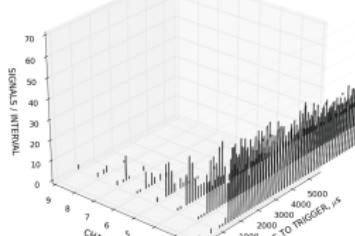
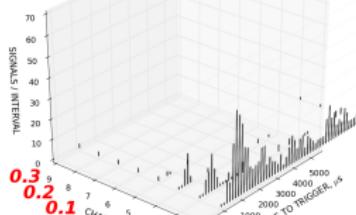
СЦ ковер



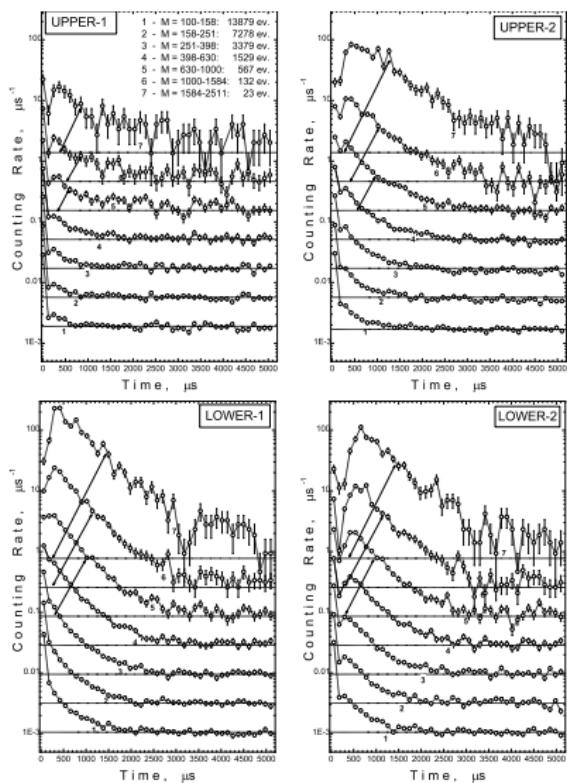
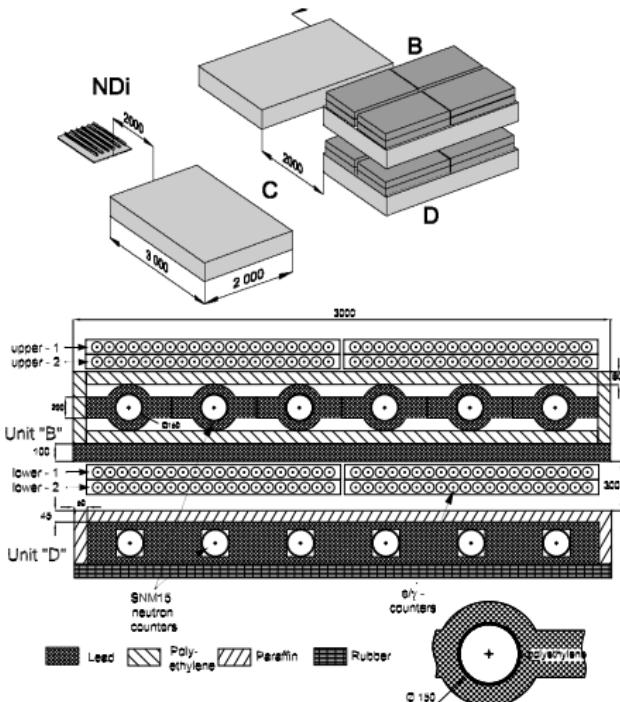
Гамма



Гамма + Fe

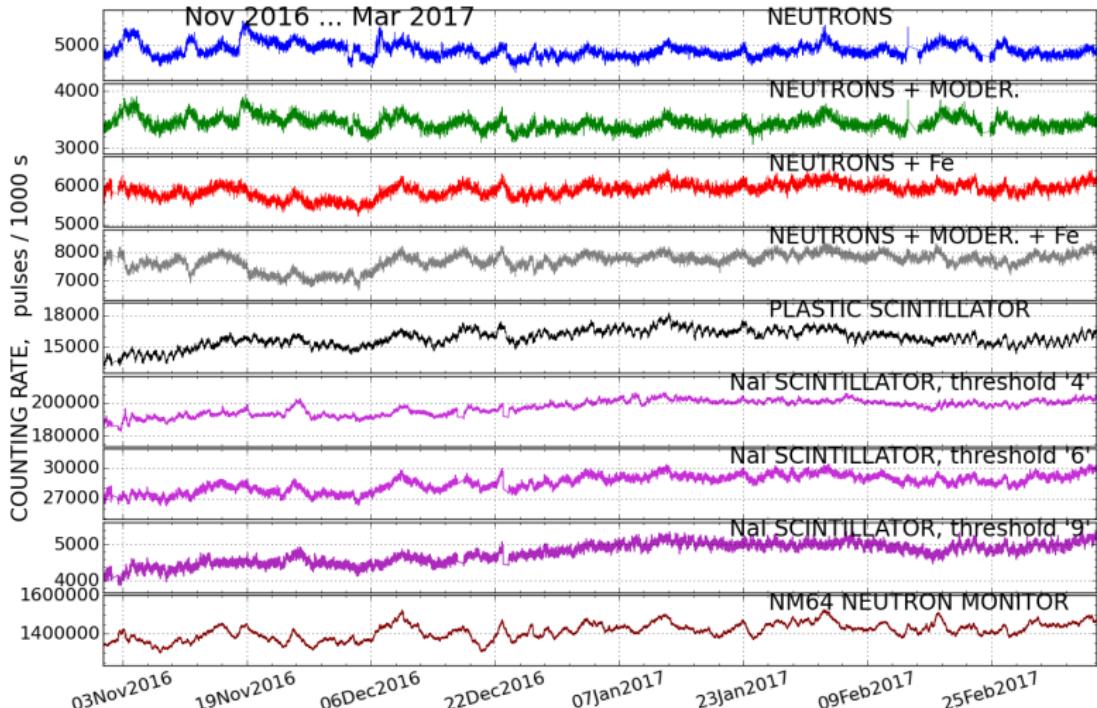


ШАЛ & гамма-фон в 1990-х годах



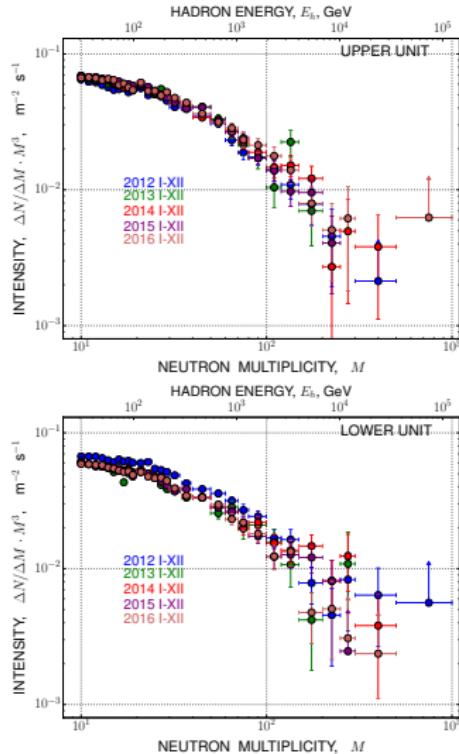
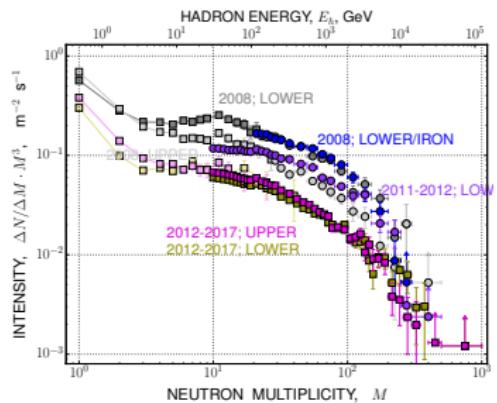
A.P.Chubenko et al The influence of background radiation on the events registered in a neutron monitor at mountain heights // Journal of Phys.G, 2008, 35, 085202.

Мониторинг фоновой интенсивности нейтронов



- эффективная регистрация нейтронов различной энергии
- Date / Time, UT
- исходная запись с временным разрешением 10 с
- непрерывный многомесячный цикл работы

О подземном нейтронном мониторе

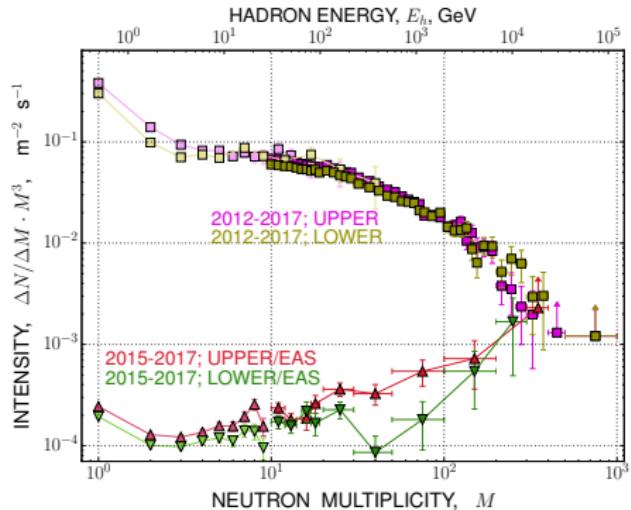


A.P.Chubenko et al Neutron Events in the Underground Monitor of the Tien Shan High-Altitude Station // BLPH vol. 38, 2007, 34, 4, 107–113.

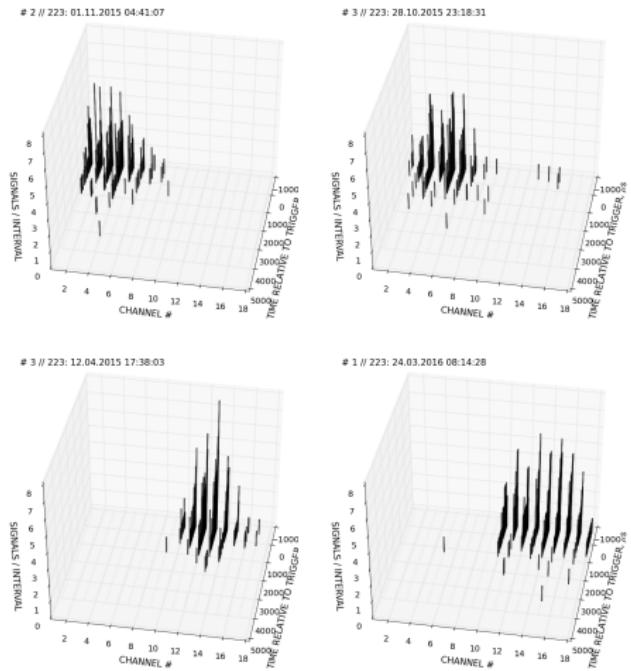
A.P.Chubenko et al The underground neutron events at Tien-Shan // Proc. of 30th ICRC, 2008, 4, 3–6.

Нейтронные события в подземном мониторе

- спектр событий с ливневым триггером



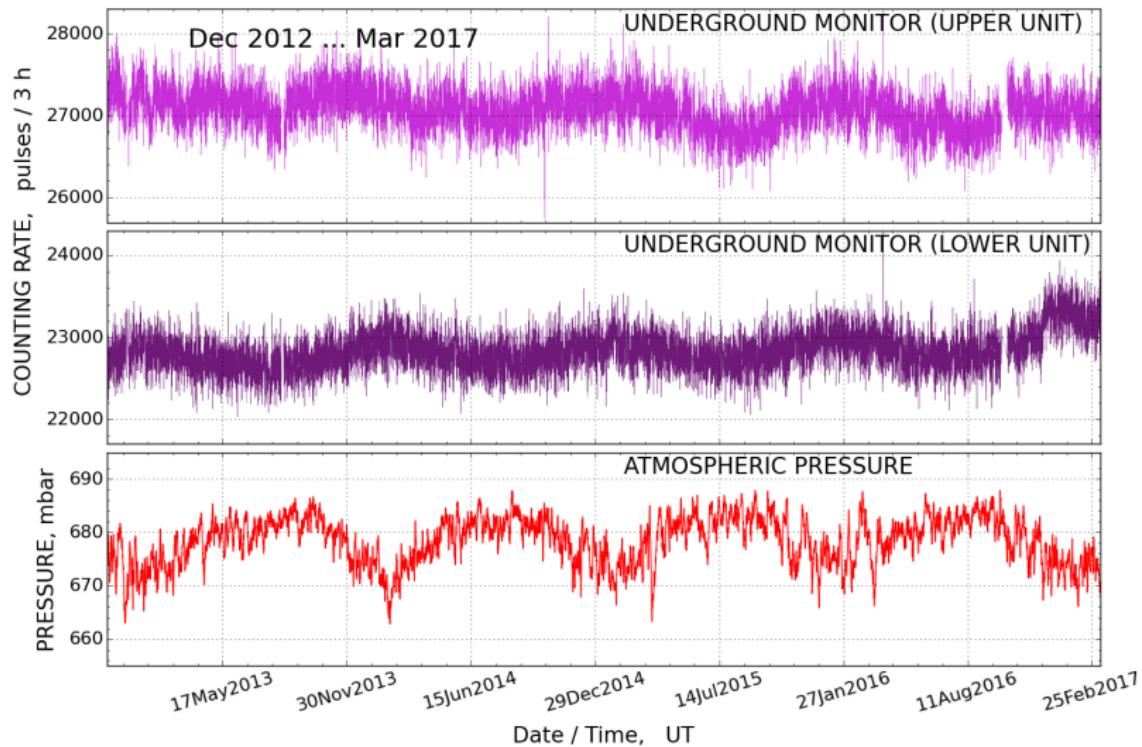
- примеры нейтронных событий с высокой кратностью



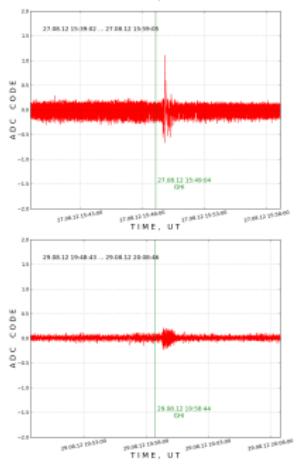
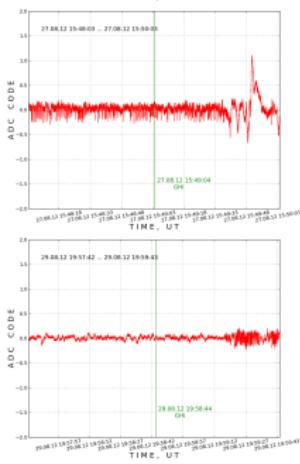
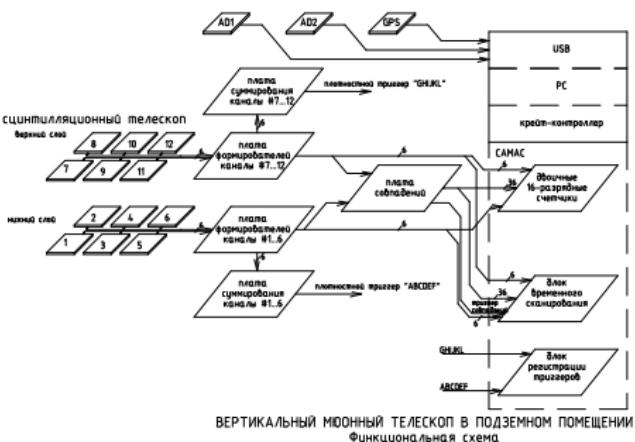
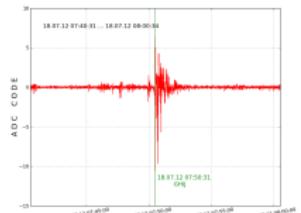
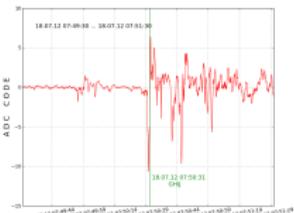
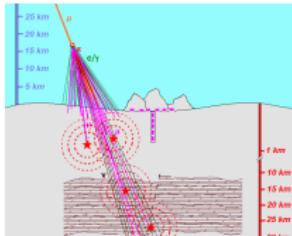
- статистика за 1000 ч

- * $M \gtrsim 100$: 31 события, из них 1.2 ливневых;
- * $M \gtrsim 200$: 6 соб., 0.4 лив.;
- * $M \gtrsim 300$: 0.2 соб., 0.1 лив.;

Мониторинг нейтронов на подземном детекторе



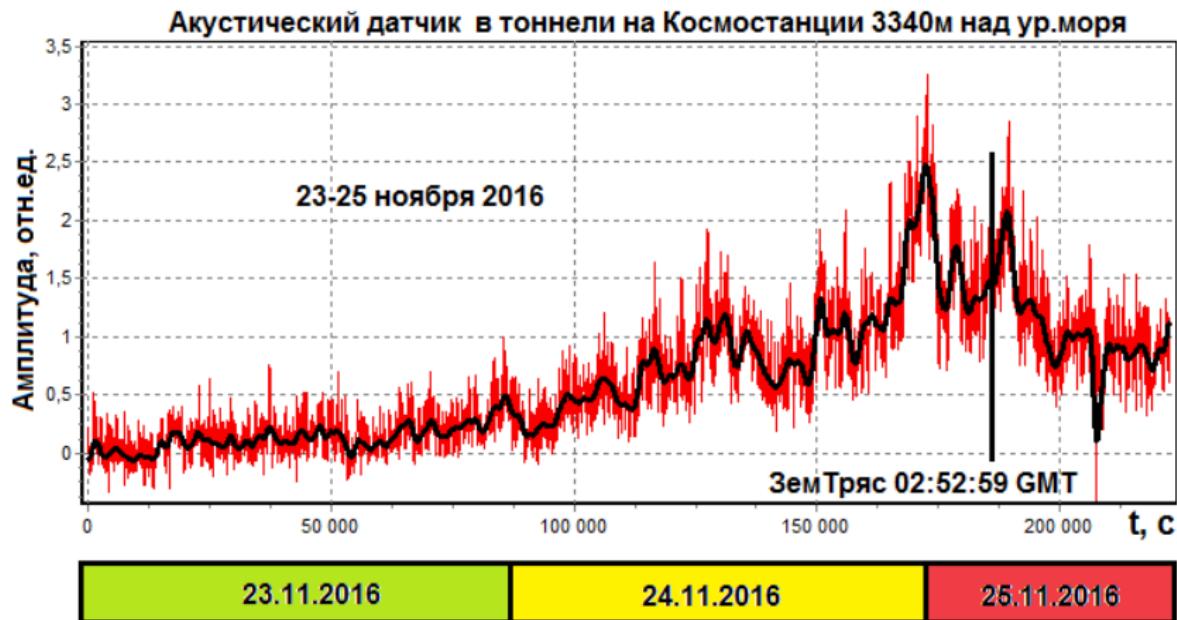
ШАЛ & сейсмология (2012)



G.A. Gusev et al Cosmic Rays as a New Instrument of Seismological Studies // BLPH vol. 38, 2011, 12, 374.

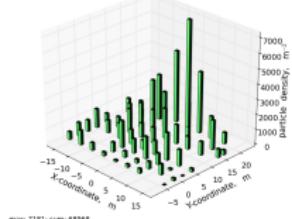
G.A. Gusev et al The First Results of Observations of Acoustic Signals Generated by Cosmic Ray Muons in a Seismically Stressed Medium // BLPH vol. 40, 2013, 3, 74.

Сейсмология в 2016 г

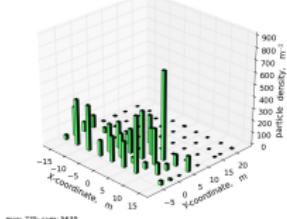


ШАЛ & сейсмология: сезон 2016–2017

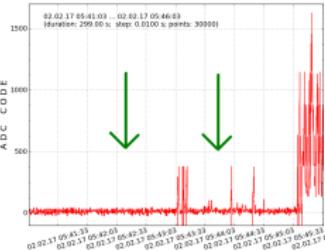
02.02.2017 05:42:39 [1107] BC



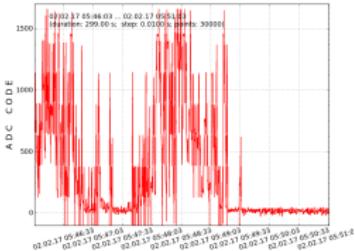
02.02.2017 05:44:25 [1112] C



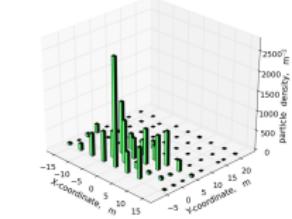
02.02.17 05:41:03 ... 02.02.17 05:46:03
Duration: 299.00 s; step: 0.0100 s; points: 30000



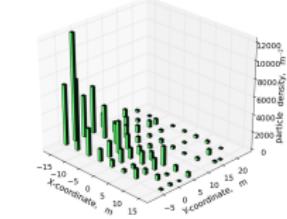
02.02.17 05:46:03 ... 02.02.17 05:50:53
Duration: 299.00 s; step: 0.0100 s; points: 30000



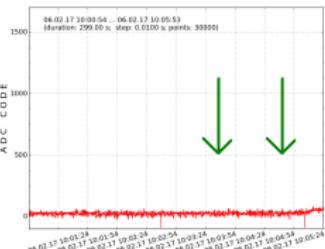
06.02.2017 10:04:02 [1905] C



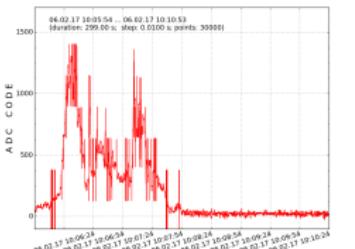
06.02.2017 10:05:20 [1909] BC



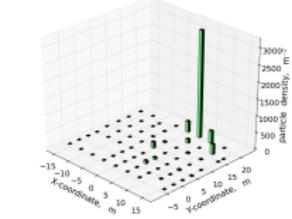
06.02.17 10:09:54 ... 06.02.17 10:05:53
Duration: 299.00 s; step: 0.0100 s; points: 30000



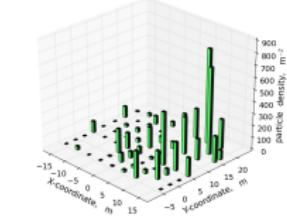
06.02.17 10:05:54 ... 06.02.17 10:10:53
Duration: 299.00 s; step: 0.0100 s; points: 30000



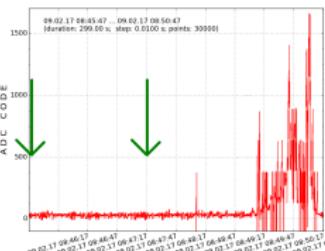
09.02.2017 08:45:47 [1692] B



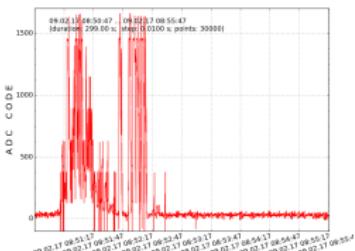
09.02.2017 08:47:47 [1694] BC



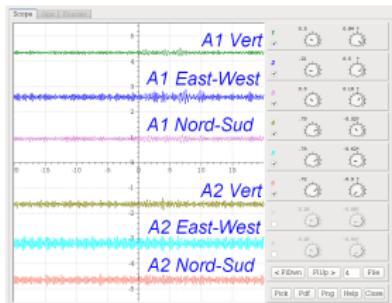
09.02.17 08:45:47 ... 09.02.17 08:50:47
Duration: 299.00 s; step: 0.0100 s; points: 30000



09.02.17 08:50:47 ... 09.02.17 08:55:47
Duration: 299.00 s; step: 0.0100 s; points: 30000



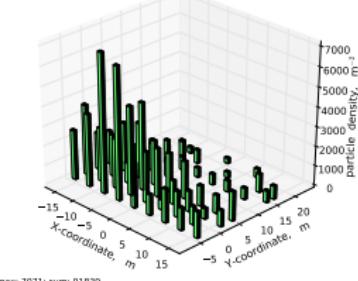
Регистрация радио-сигнала от ШАЛ — I



- диапазон частот 25-75 MHz;
- 3 пункта регистрации вокруг сцинтиляционного ковра *CENTER-I*;
- 2 антенны с горизонтальной и одна с вертикальной поляризацией в каждом пункте;
- 12 битный АЦП с разрешением 4 нс; 8 информационных каналов \times 10000 временных интервалов;
- синхронизация по триггеру ШАЛ.

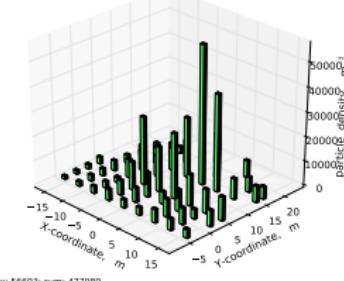
Регистрация радио-сигнала от ШАЛ — //

04.08.2016 18:28:09 [3885] BCD



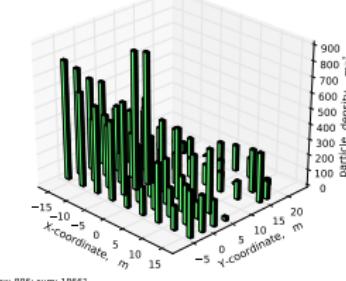
max: 7071; sum: 91839

04.08.2016 22:30:26 [5509] BCD



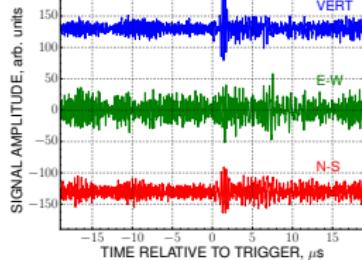
max: 56693; sum: 477089

04.08.2016 09:35:43 [1338] BC

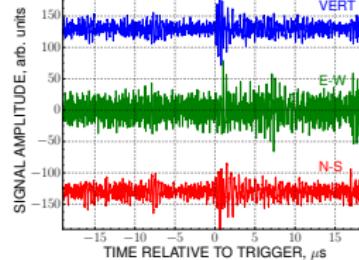


max: 886; sum: 18661

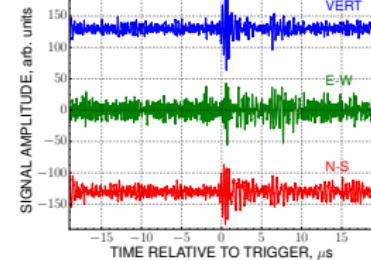
04.08.2016 18:28:09



04.08.2016 22:30:26



04.08.2016 09:35:44



Стволы ШАЛ в ионизационном калориметре

