

# ДЕТЕКТОРЫ ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ

Матаркин С.В. ИКФИА СО РАН

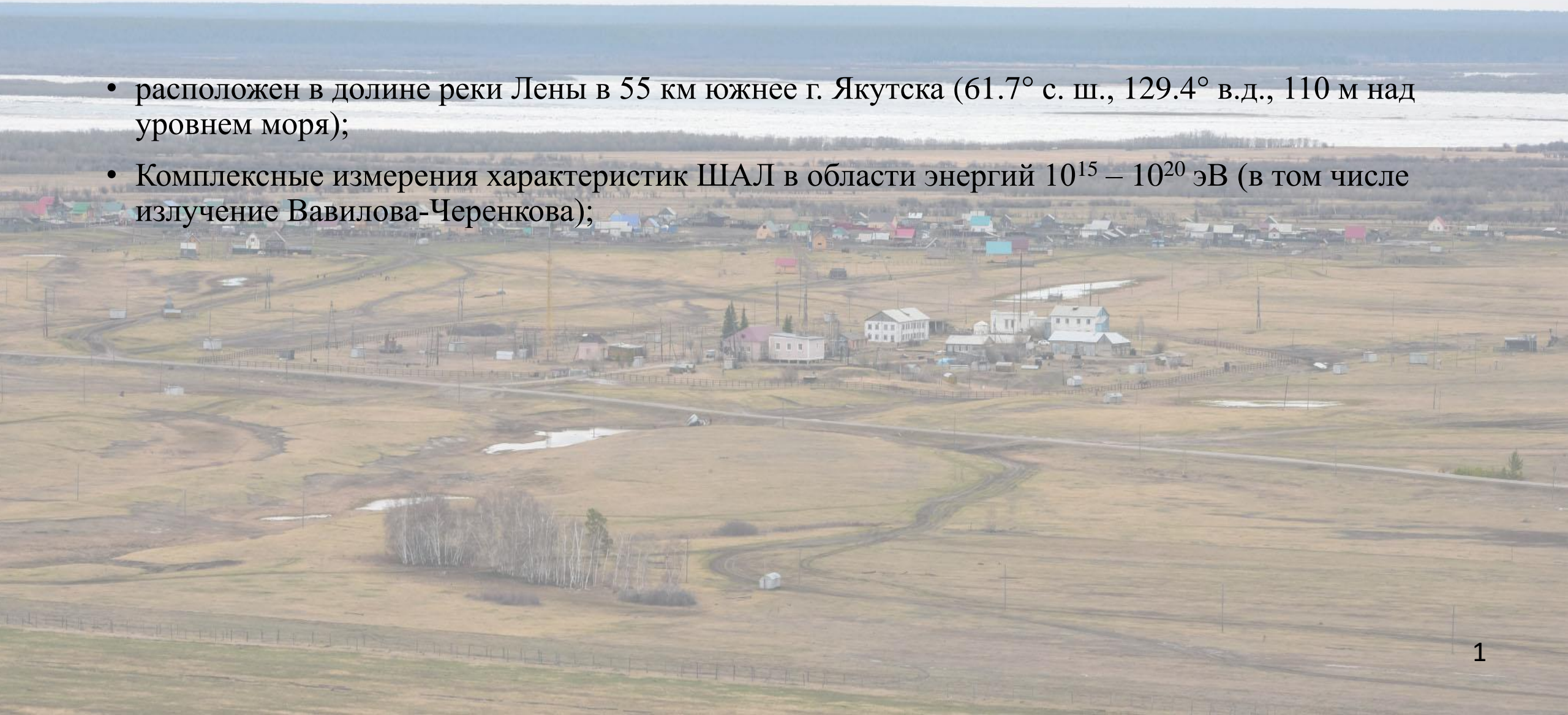
[MatarkinSV@ikfia.ysn.ru](mailto:MatarkinSV@ikfia.ysn.ru)

Skype-адрес:

<https://join.skype.com/invite/VweQhxsHIYie>

# ЯКУТСКАЯ УСТАНОВКА ШАЛ

- расположен в долине реки Лены в 55 км южнее г. Якутска (61.7° с. ш., 129.4° в.д., 110 м над уровнем моря);
- Комплексные измерения характеристик ШАЛ в области энергий  $10^{15} - 10^{20}$  эВ (в том числе излучение Вавилова-Черенкова);

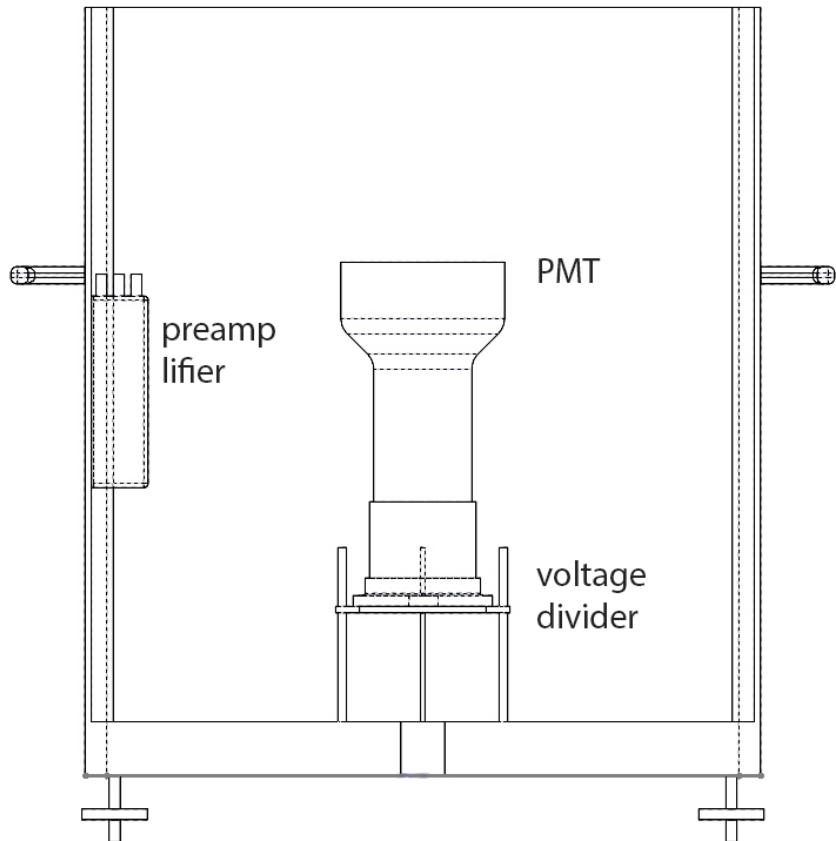


**CHID** – черенковский интегральный детектор для прецизионного определения углов прихода ШАЛ



- ФЭУ 75 мм ET Enterprises Type 9305KB;
- Линза Френеля, размер 31x31 см;
- 16-разрядный АЦП DRS4 с частотой дискретизации 0,7-5 GSPS;
- Апертура  $-15^\circ < \theta < 15^\circ$ ;
- Расстояние между детекторами в 2019-2020 гг. - 19 м;
- Локальный сбор данных из 4-х детекторов;
- Возможность синхронизации с системой отбора событий Якутской установки.

# Описание



- Возможность работы в условиях Крайнего Севера
- Транспортабельность
- Возможность оценки углового распределения ШАЛ
- Требуется утепленное помещение рядом для размещения источников питания, АЦП и ноутбука с установленным программным обеспечением
- Невысокая стоимость





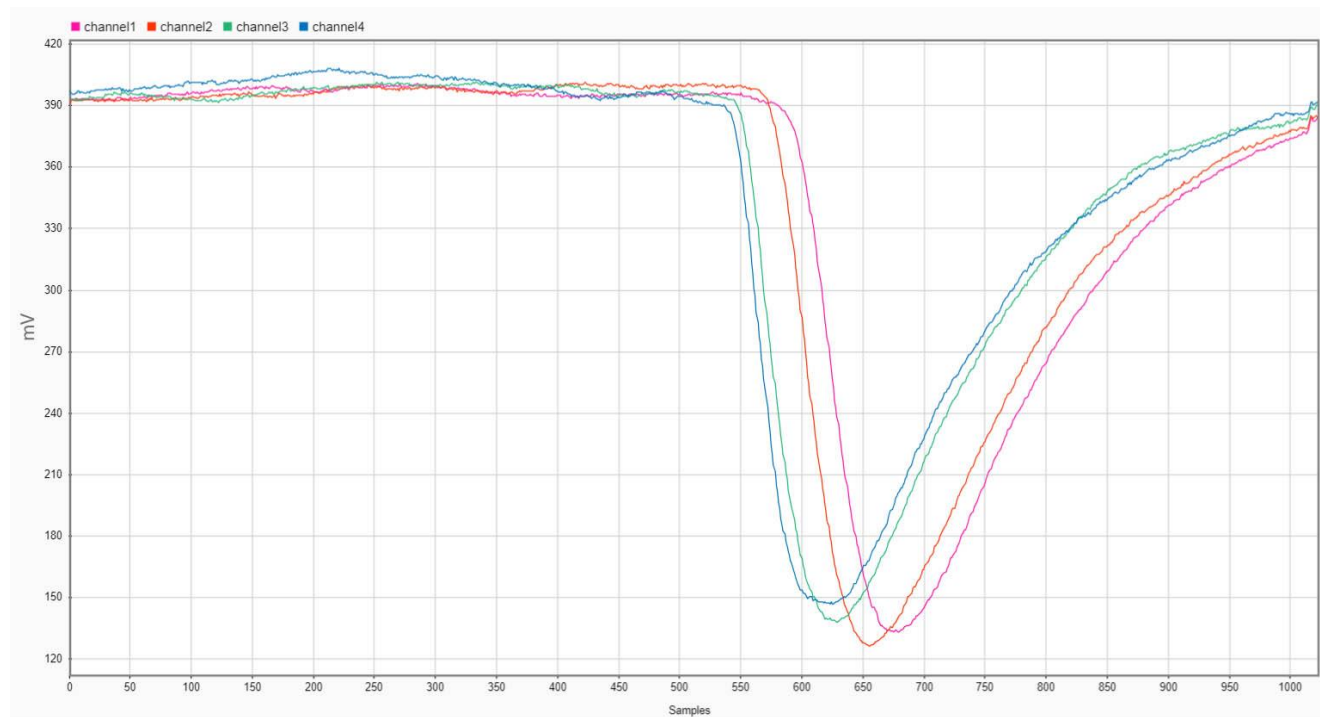
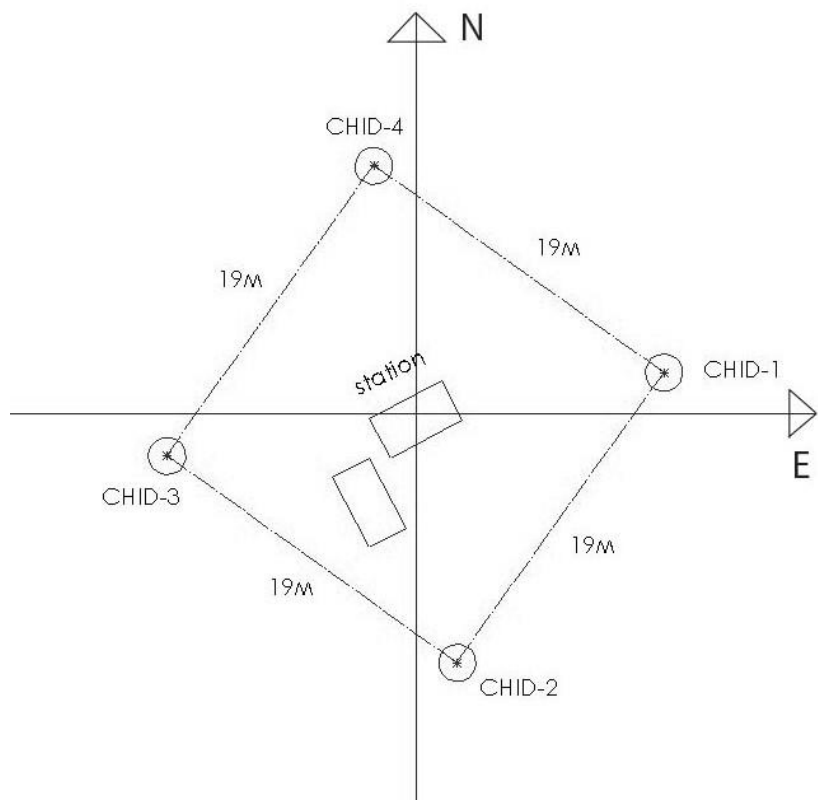


Схема размещения в 2019-2020 гг.

Пример черенковского события

# Оценка направления прихода ливня

Методика используется в обработке данных станций наблюдения Якутской установки. Она была подогнана для обработки данных СНИД

Суть в следующих выражениях:

$$t_i = \frac{nr_i}{c} + T_0 = (n_x r_{xi} + n_y r_{yi}) / c + T_0^*$$

$$\chi^2 = \sum W_i (t_i - \tau_i)^2^{**}$$

$t_i$  - время пересечения ливнем точки с радиусом-вектором  $r_i$

$W_i$  - вес  $i$ -ого детектора;

$n$  - единичный вектор в направлении движения ливня;

$\tau_i$  - данные временного канала  $i$ -ого детектора;

$r_i$  - радиус-вектор  $i$ -ого детектора;

$c$  - 0.3 м/нс (скорость света);

$T_0$  - момент прохождения ливнем через начало координат;

$i$  - от 1 до 4-х.

Направление прихода оценивается методом наименьших квадратов. Выражения для оценки зенитного и азимутального углов прихода ливня:

$$\theta = \arcsin(|n_{xy}|), \quad \varphi' = \arccos(n_x/n_{xy})$$

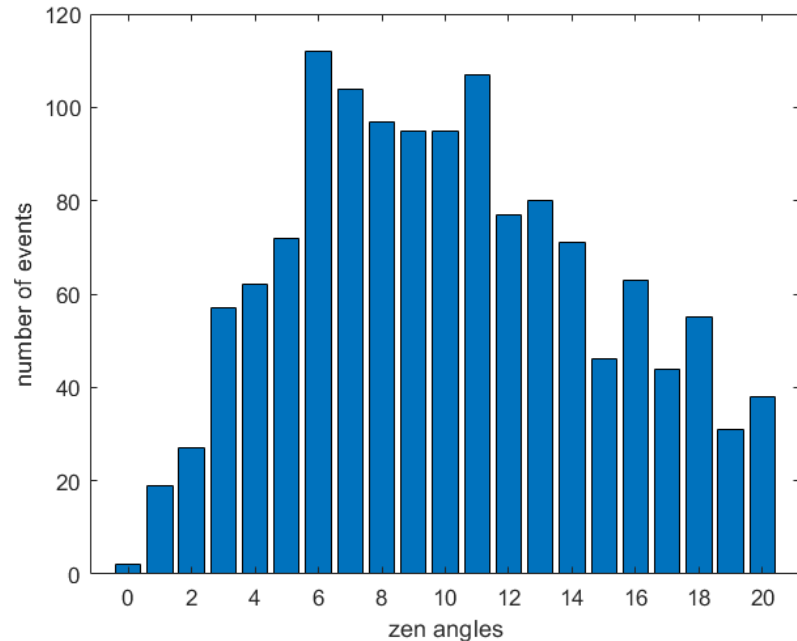
$$\varphi = \varphi' \text{ при } n_y \geq 0, \quad \varphi = 2\pi - \varphi' \text{ при } n_y < 0$$

Для оценки углового распределения были отобраны 1509 событий с 28.12.2019 по 17.03.2020

\* Детекторы выравниваются лазерным уровнем, поэтому z-компоненту радиус-вектора можно опустить;

\*\* Вес детектора для упрощения расчетов принимается равным единице, так как детекторы относительно идентичны и расположены в одинаковом удалении от центра

# Зенитные углы. Предварительные результаты



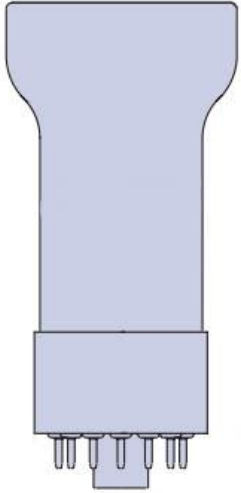
Как видно из рисунка, зенитные углы существенной доли событий выходят за рамки апертуры детекторов, и никак не должны были быть получены при идеальных условиях.

Стоит заметить, что проделанная оценка углов не претендует на истинность, поскольку имеются факторы, значительно искажающие действительность:

- ограниченное количество детекторов;
- вклад ФЭУ;
- погрешности GPS при определении географических координат детекторов;
- ошибки вычислений, связанные с несовершенством методик расчета



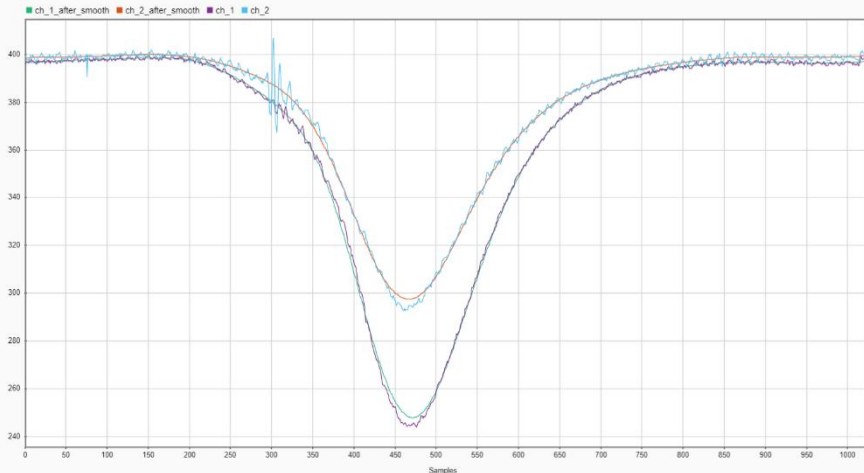
# Вклад ФЭУ



ФЭУ одной модели с разными интервалами рабочих напряжений влияют на положение импульса во временной оси.

Например, импульсы от ФЭУ с более высоким рабочим напряжением, систематически опережают тех, у которых оно меньше.

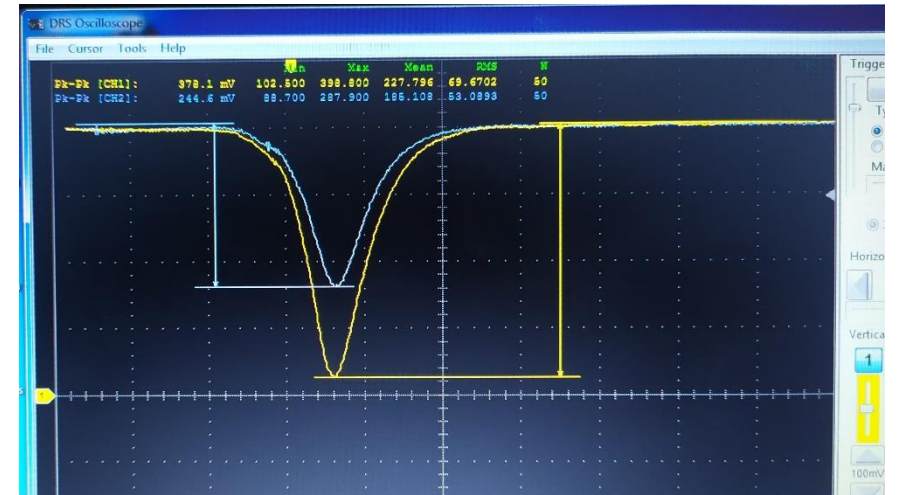
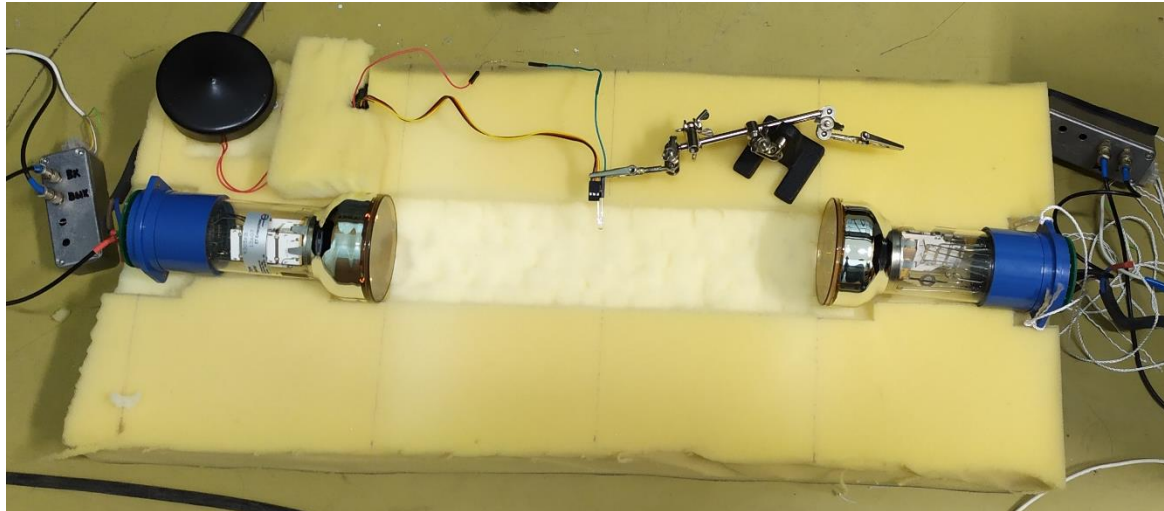
Для минимизации данного эффекта ведутся измерения смещений импульсов во временной оси от разных ФЭУ относительно одного выбранного, с наилучшими характеристиками.



Источники импульсов:

- Реальные черенковские события;
- LED NSPB500AS на базе FPGA Altera Cyclone IV E EP4CE10 (на картинке)

# ИЗМЕРЕНИЕ СМЕЩЕНИЙ ПО ГРАНУЛИРОВАННОМУ СЦИНТИЛЛЯТОРУ И LED



# Результаты

- Были обнаружены и частично устранены многие недочеты во время первого сезона эксплуатации;
- Получены данные черенковских событий, проведена обработка;
- Проведена предварительная оценка углового распределения ШАЛ;
- Создан прототип калибровочного прибора на основе LED и FPGA;
- Общие со штатными детекторами Якутской установки события ШАЛ не обнаружены.

Спасибо за внимание