

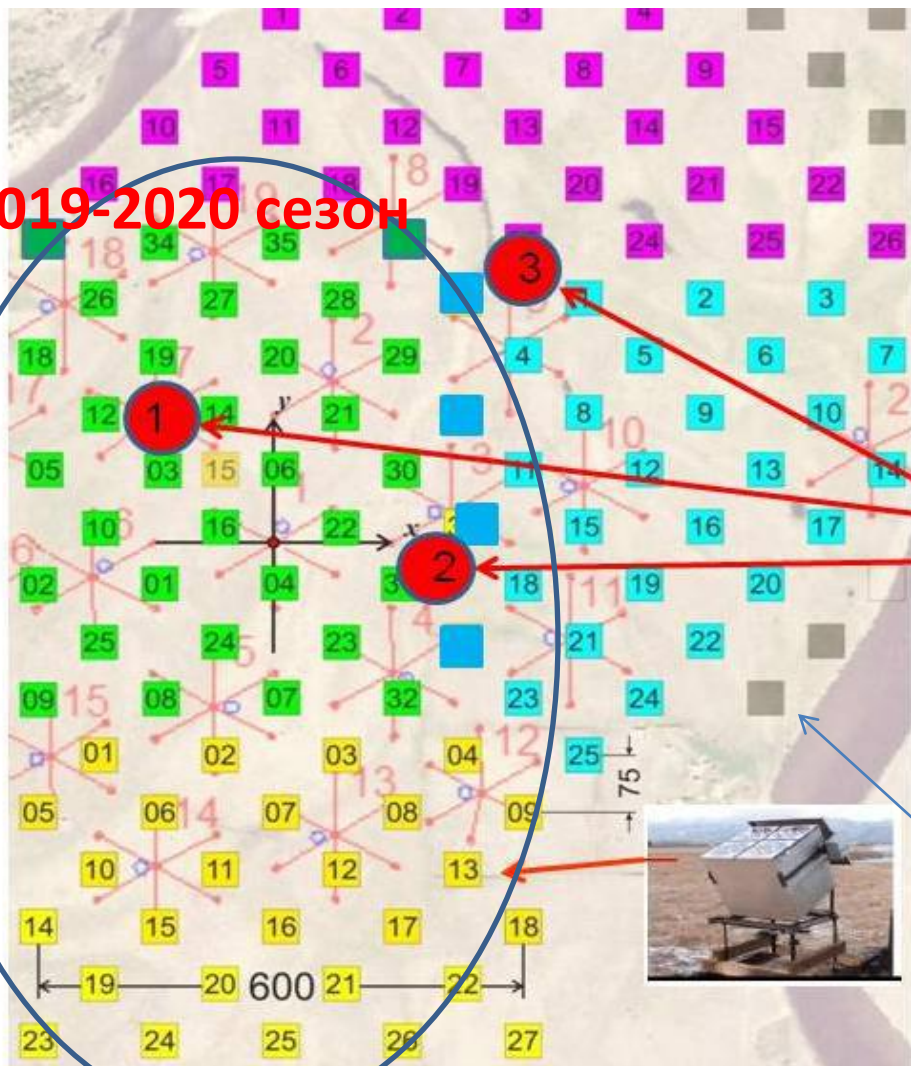
**Регистрация гамма-квантов от Крабовидной туманности  
в области энергий более 4 ТэВ атмосферным  
черенковским телескопом с регистрацией имиджа в  
эксперименте TAIGA**



**Л.Г.Свешникова  
от  
коллекции TAIGA**

# TAIGA- Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma-ray Astronomy

2019-2020 сезон



## ЗАДАЧИ

Поиск предела ускорения частиц в известных остатках сверхновых и пульсарных туманностях в области высоких энергий  $> 3-4$  ТэВ только с помощью IACT и более 40-50 ТэВ гибридной установкой IACT + HiSCORE. В частности Крабовидная туманность и Boomerang (пульсарные туманности), Тихо Браге и Кассиопея А (остатки сверхновых), Dragonfly Nebula (Cygnus region) ARGO J2031+4157 (Cygnus Cocoon) (Superbubble).



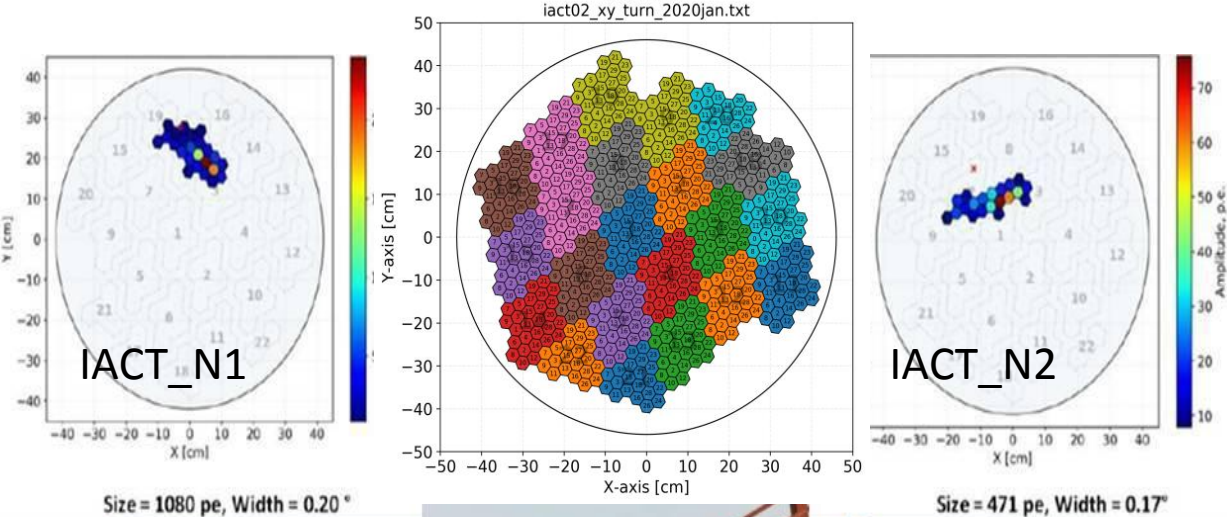
Л.А.Кузьмичёв  
утро 29.09 доклад



Схема расположения оптических станций широкоугольной черенковской установки TAIGA-HiSCORE и трех АЧТ установки TAIGA-IACT астрофизического комплекса TAIGA.

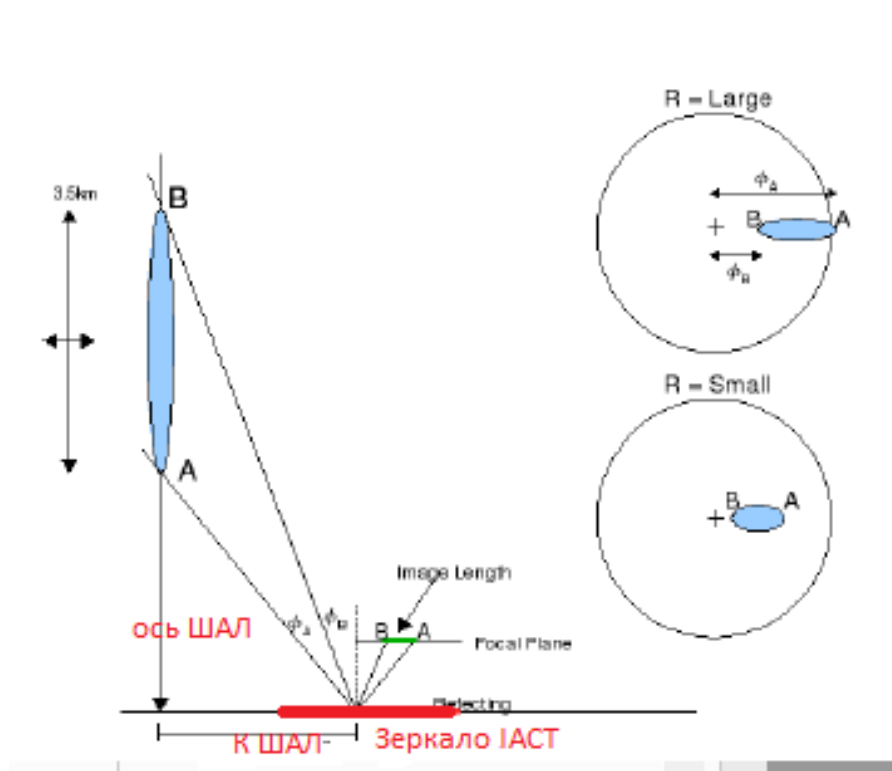
# Телескоп TAIGA-IACT1

Камера, 22 кл, 32 pix



IACT1 (Телескоп TAIGA-IACT ):  
зеркало системы Дэвиса–  
Коттона площадью 8.5 м<sup>2</sup> из  
29 сегментов, фокусное Р  
расстоянием — 4.75 м. В  
фокусе - камера из 548 ФЭУ  
диаметр 19 мм каждый  
(0.360); Диаметр камеры  
около 110 см (9.60).

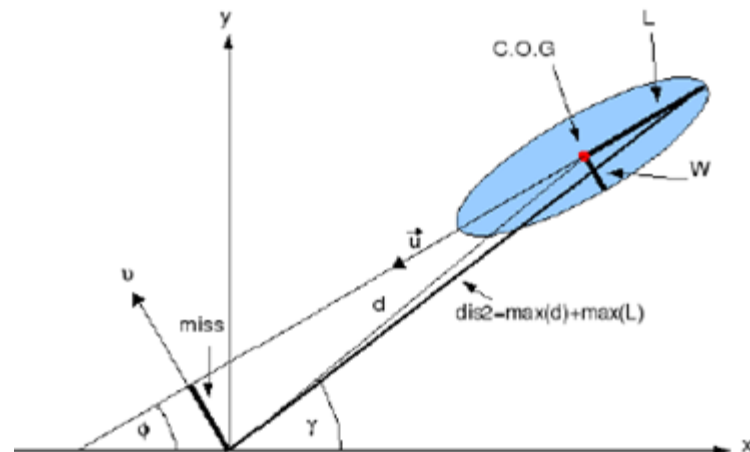
# Формирование имиджа в камере от черенковского света ШАЛ



Ч. свет от ШАЛ отражается от зеркала Телескопа и регистрируется камерой Телескопа, расположенной в ФП.

Параметры Хилласа – Dist (положение), length (длина), Width (ширина), alfa ( угол между основной осью эллипса) и направлением на центр и т.д.

параметры имиджа Хилласа



Параметры имиджа отличаются для гамма и протон-иницированных ливней

# Время наблюдения Краба 2019-2020

data	N	dHours	Rate	TmBMest	TmEMe	<tet>
04.10.19	25582	0.74	9.55	27.28	28.02	39.25
04.11.19	101050	4.59	6.12	25.24	29.83	33.13
05.11.19	61486	3.72	4.59	26.22	29.94	34.34
06.11.19	105679	4.07	7.21	25.97	30.04	33.64
23.11.19	205702	4.96	11.52	24.00	28.96	33.66
24.11.19	112414	4.99	6.26	23.93	28.93	34.65
26.11.19	202363	4.95	11.35	23.80	28.76	33.68
27.11.19	199324	4.88	11.34	23.74	28.62	33.57
29.11.19	180535	4.91	10.21	23.61	28.52	33.45
31.10.19	118963	4.33	7.63	25.51	29.84	33.04
02.12.19	106406	3.01	9.82	25.28	28.29	32.46
05.12.19	58141	1.58	10.24	26.50	28.08	34.73
06.12.19	35750	0.93	10.62	27.06	27.99	36.46
21.12.19	176994	4.92	9.99	22.16	27.09	33.56
24.12.19	86071	4.89	4.89	21.97	26.86	34.11
29.12.19	145504	4.08	9.90	22.47	26.55	32.63
02.01.20	29995	0.90	9.30	25.52	26.42	37.95
03.01.20	16881	0.52	9.05	25.65	26.17	38.04
15.01.20	54410	1.73	8.76	21.45	23.18	31.34
16.01.20	122614	3.98	8.55	20.46	24.44	32.93
19.01.20	132738	4.46	8.26	20.69	25.15	32.84
23.01.20	99983	3.06	9.09	21.68	24.73	32.07
26.01.20	161778	4.83	9.30	19.85	24.68	33.59
27.01.20	124128	4.51	7.64	20.35	24.86	33.52
28.01.20	99387	3.00	9.20	21.49	24.49	32.35

Полное время наблюдения при хорошей погоде (4-5 ) 100 ~часов (из них ~94 часа с рейтом >4 Hz

-----  
**~ 42-48 часа Октябрь-Ноябрь – основные данные**  
 -----

~ 38 часов – Декабрь-Январь: недопонятые данные, которые обсуждаются

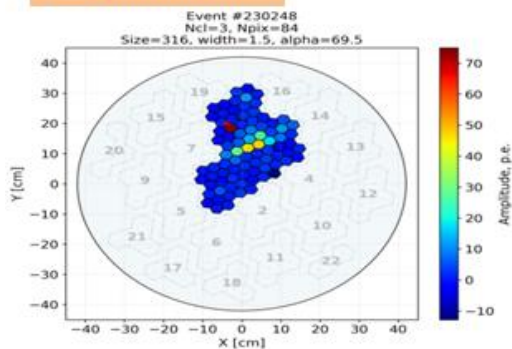
~ 13 часов февральские данные получены с жестким

data	N	dHours	Rate	TmBMe
13.02.20	48100	1.82	7.33	21.56
14.02.20	27308	1.11	6.82	22.46
15.02.20	78547	2.90	7.53	20.47
16.02.20	74244	2.70	7.64	20.64
21.02.20	57962	2.35	6.85	20.74
25.02.20	43849	2.13	5.71	20.74

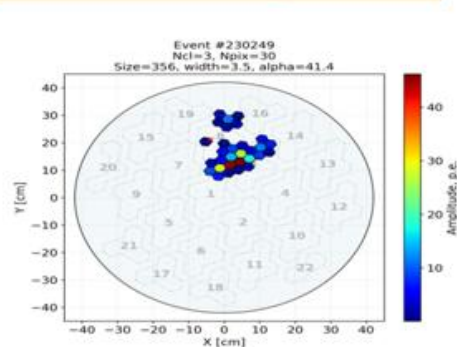
# Обработка данных IAST

- 1 шаг:** Суммирование информации, записанной в каждом кластере. Вычитание пьедесталов, перевод данных из токов в фотоэлектроны, введение поправок на чувствительность ФЭУ; получение первого варианта имиджа ( $Amplitude(X, Y)$ )
- 2 шаг:** Считывание информации из файлов слежения телескопа и определение позиции источника в камере (On) и точки позиции фона (off)
- 3 шаг:** Удаление данных из плохо-работающих пикселей и пикселей со звездой

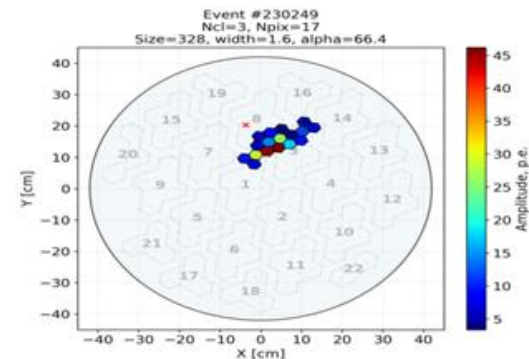
До клининга



После мягкого клининга



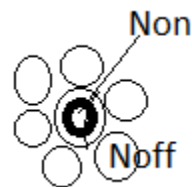
После жесткого клининга



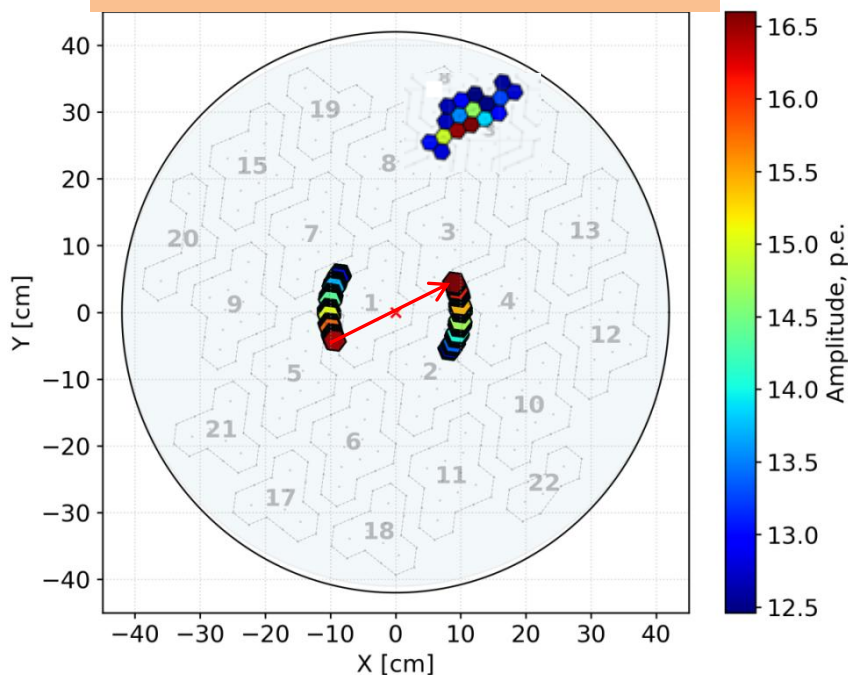
- 4 шаг:** клининг: выделение имиджа над фоном: при двух порогах  $N1 \sim 6\text{sig}$  и  $N2 \sim 3\text{sig}$  фон
- 5 шаг:** Расчет параметров Хилласа и других параметров имиджа
- 6 шаг:** Подавление фона и выявление гамма-подобных ливней по параметрам имиджей

# Процедура деления событий On (события от источника) и Off (события от фона) при изменении времени наблюдения **см. постер Д.Журова**

**Source Ra=83.633 Dec=22.014,**



Позиция источника в камере во времени

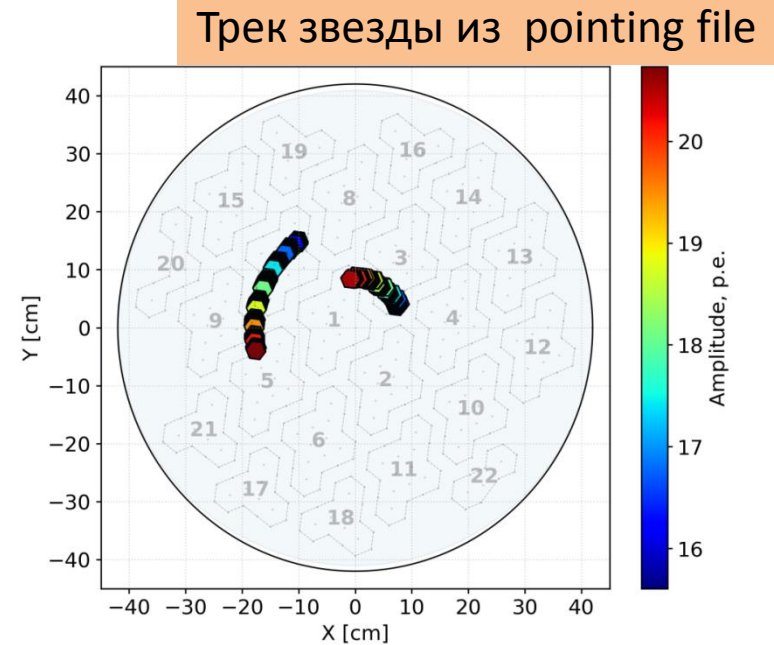
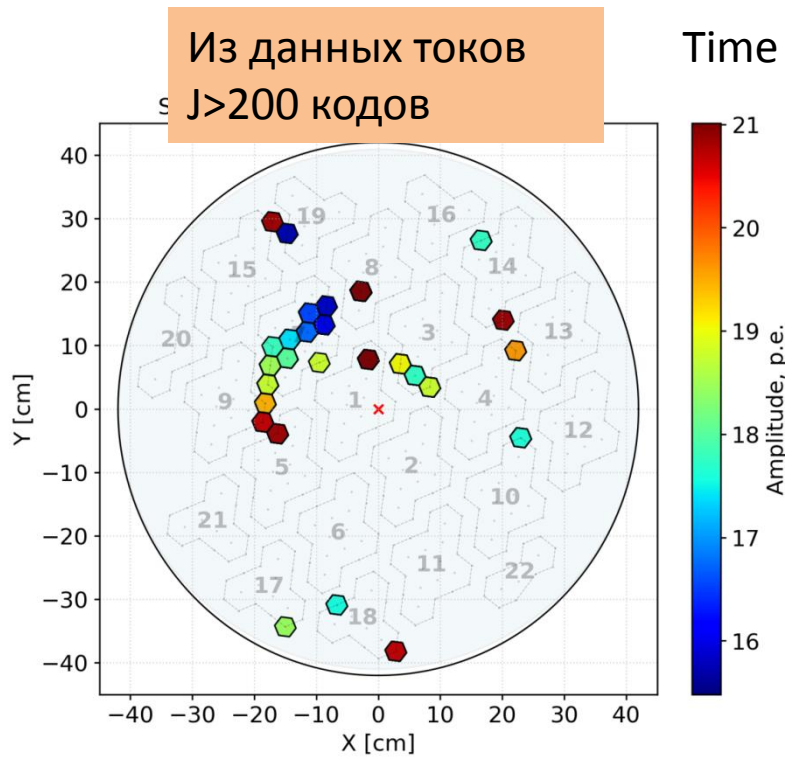


В 2019-2020 гг телескоп следит за Крабом в Режиме (Wobbling): Центральная ось телескопа направлена на точку, сдвинутую относительно направления на краб (RaCrab+1.2o в течении 20 мин затем RaCrab-1.2 o еще 20 мин.)

Позиция фона берется как анти-источник те через 20 -минутный сдвиг. Для каждого имиджа мы можем посчитать параметры On и Off . Тем самым преодолевая проблему необходимости деления времени наблюдения между измерением фона и измерениями источника.

# Исключение треков звезды и плохих пикселей

1) Основная яркая звезда рядом с Крабом Dzeta Tau,



Оба метода дают близкие результаты usually 4-6 pixels



# Основные параметры имиджей после обработки



**Nsob** –Номер события

**Time** - время события

**Size** - Сайз- полное число фе

**N\_im2** – число пикселей

**Ro**- расстояние до центра камеры

**width** - ширина

**length** – длина

**con1 con2** – концентрация (basic image parameters that do not

Положение источника в камере

Положение точки фона в камере

**On**

**Xc, Yc, dist** – координаты взвешенного центра относительно пикселя источника

**Alfa** – угол между основной осью эллипса и направлением на источник

**oFF**

**Xc, Yc, dist** – координаты взвешенного центра относительно пикселя источника

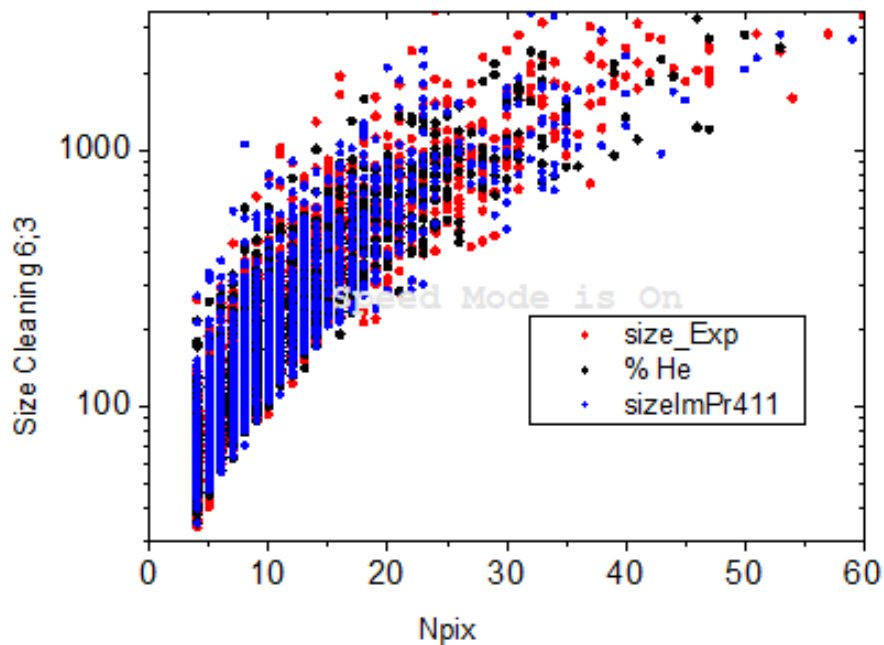
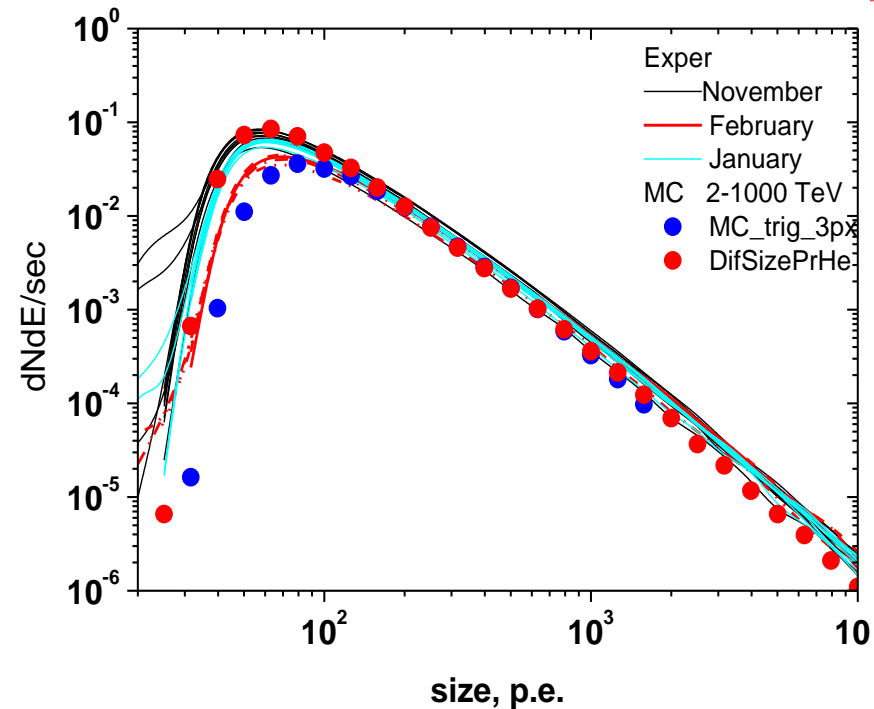
**Alfa** – угол между основной осью эллипса и направлением на источник

# Монте-Карло симуляции Corsika IACT + метод регистрации (А.Гринюк ОИЯИ)

- 1) Настройка M\_K по экспериментальным данным: учет кластерной структуры данных, симуляция триггерной системы, симуляция воздушного фона. Добиваемся согласования спектров фоновых имиджей по сайзам, рейтам, равномерности по XY камеры
- 2) Настройка по экспериментальным данным (КЛ) параметров имиджей
- 3) Оптимизация катов по параметрам имиджей для выделения гамма-квантов над фоном адронов

# Спектры сайзов и зависимость Size-Npix в сравнении с М-К

1



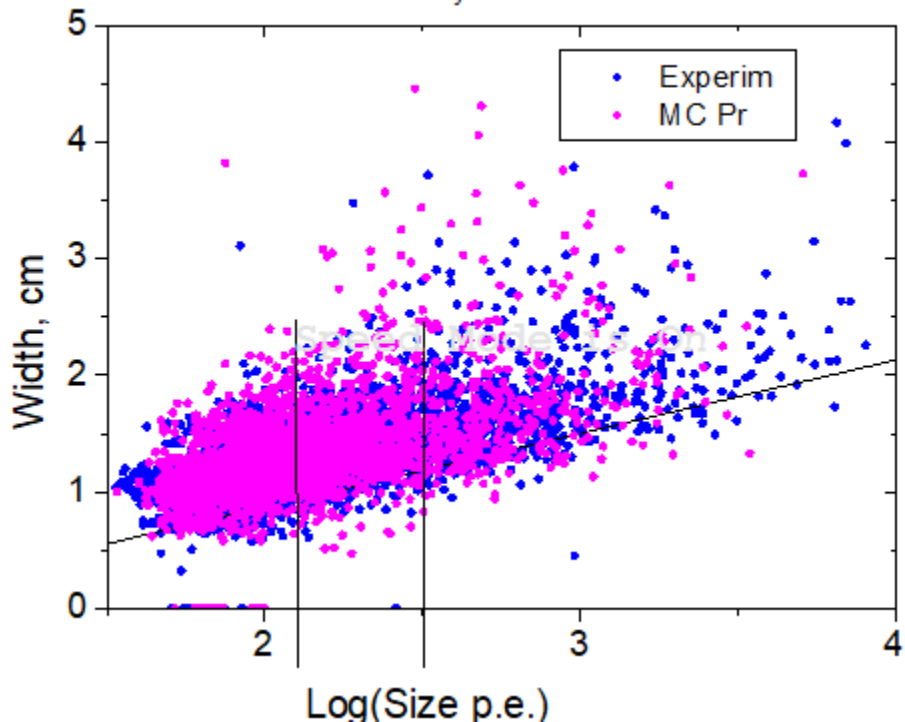
Спектры сайзов – линии – эксперимент  
красные точки – М-К для  $Tr=2px$   
Синие точки – М-К  $Tr=3Px$

Size-  $Npix$  : красные точки -Эксперимент  
синие – М-К - Протон  
черные - М-К - Гелий

# Width-Size зависимость

Experiment- MC protons

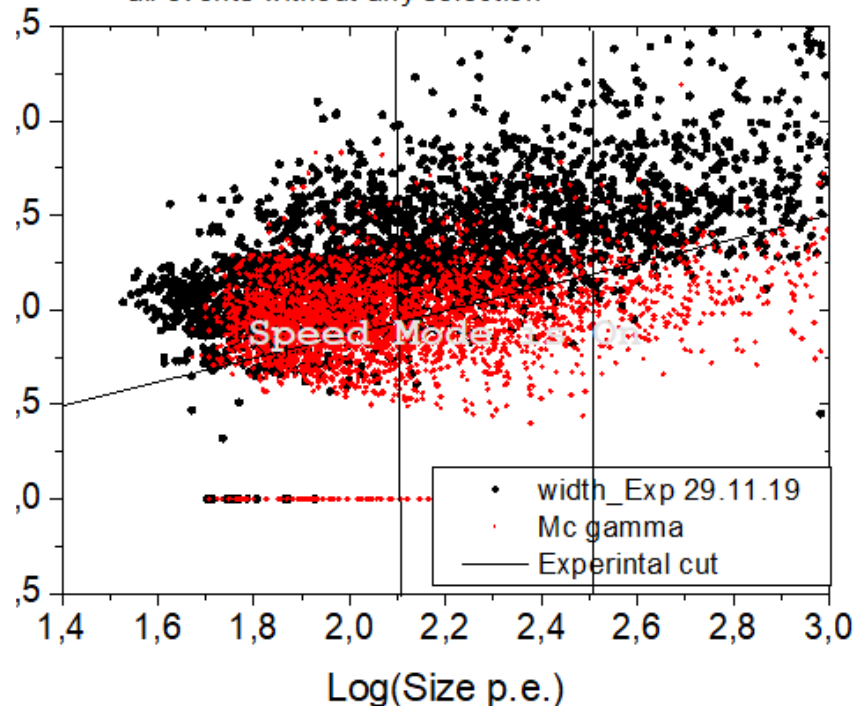
all events without any selection



Mc protons

MCgamma

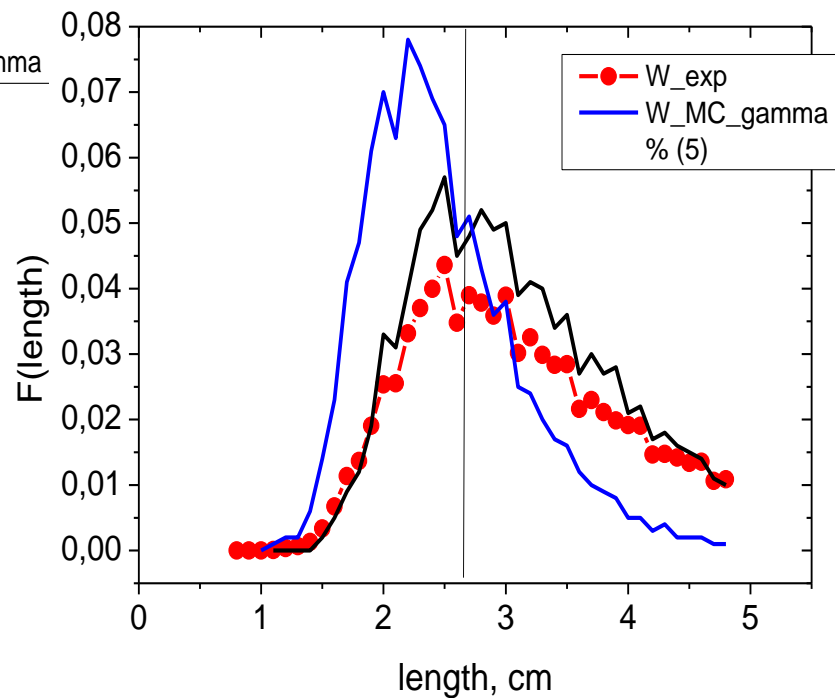
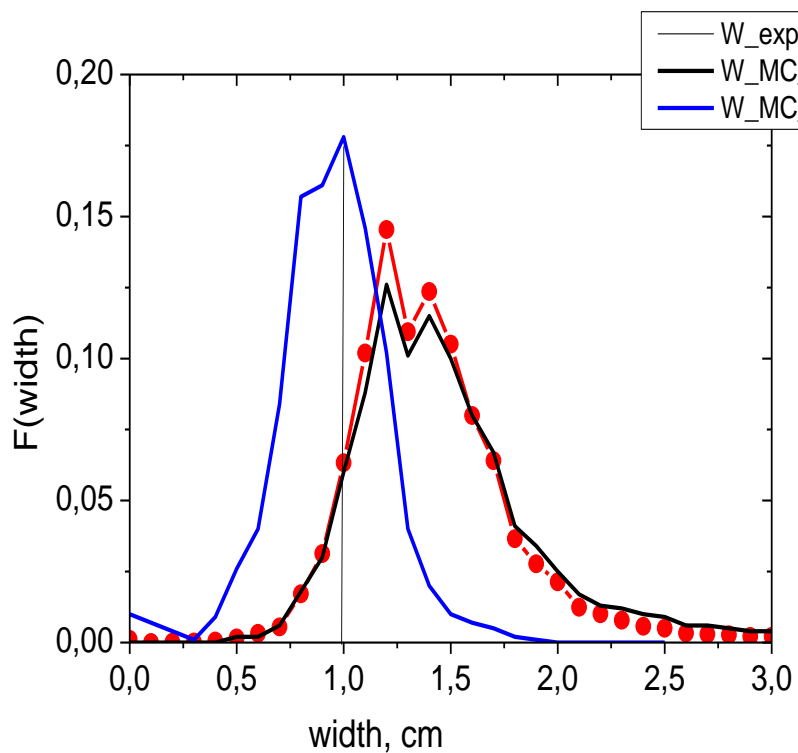
all events without any selection



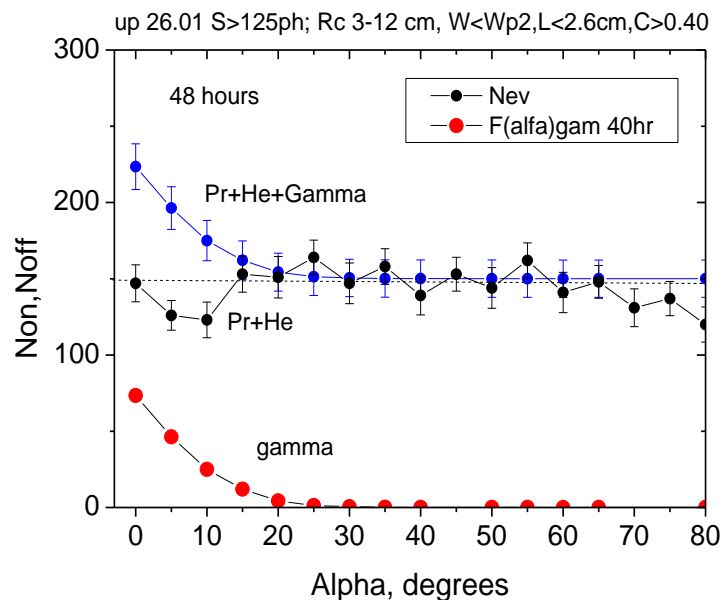
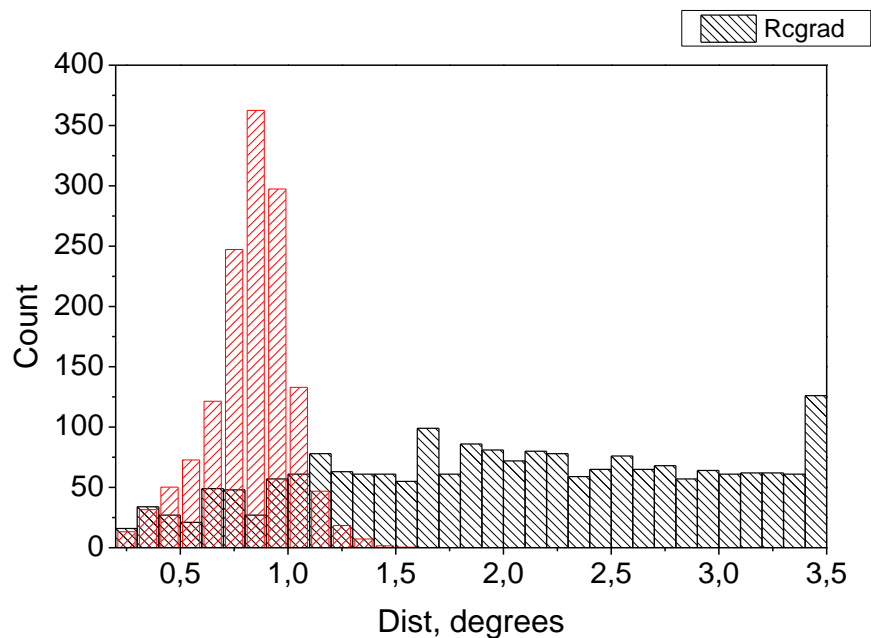
Черные линии – каты, которые мы используем для подавления фона

# Width, length

Эксперимент – MC Pr ----- black , MC gam -----



# М-К:наиболее чувствительные параметры: dist и alpha

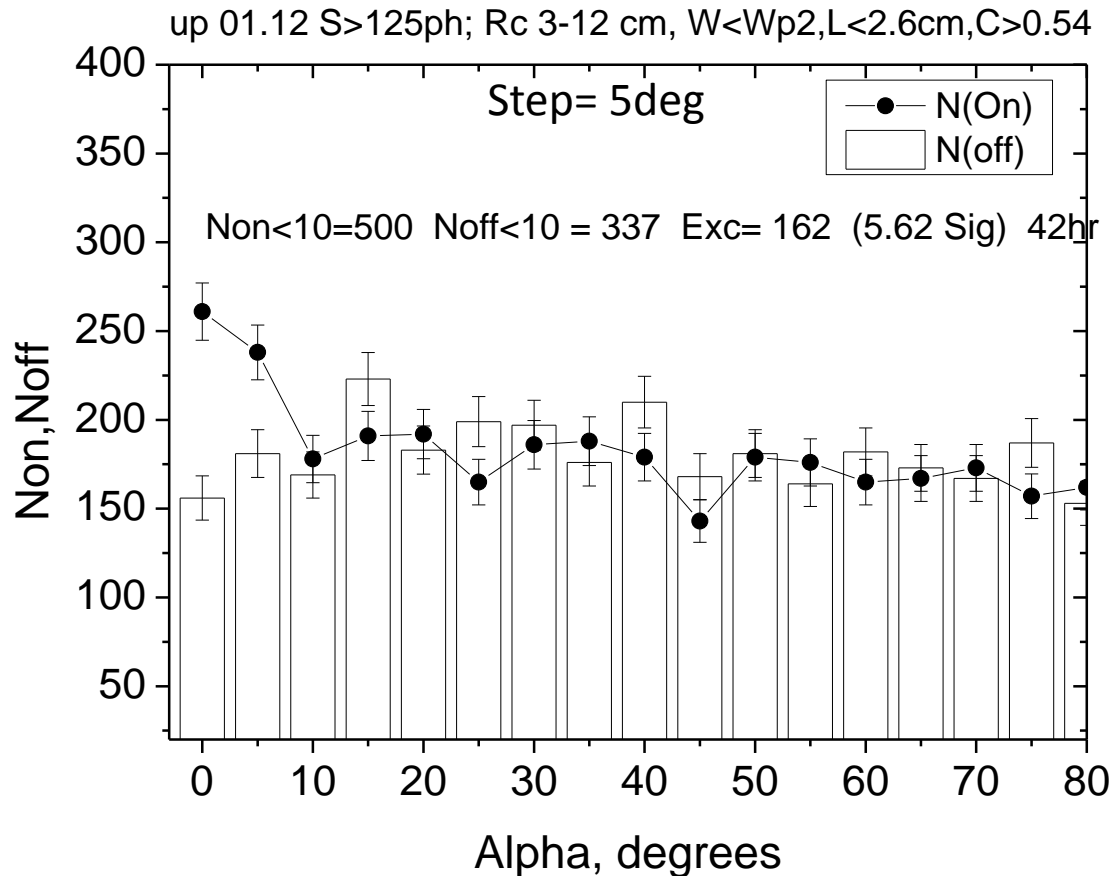


Распределение по Dist для PrHe (-----) (в см)  
И для гамма-квантов (-----)

Распределение по alpha для PrHe (-----)  
И для гамма-квантов (-----)

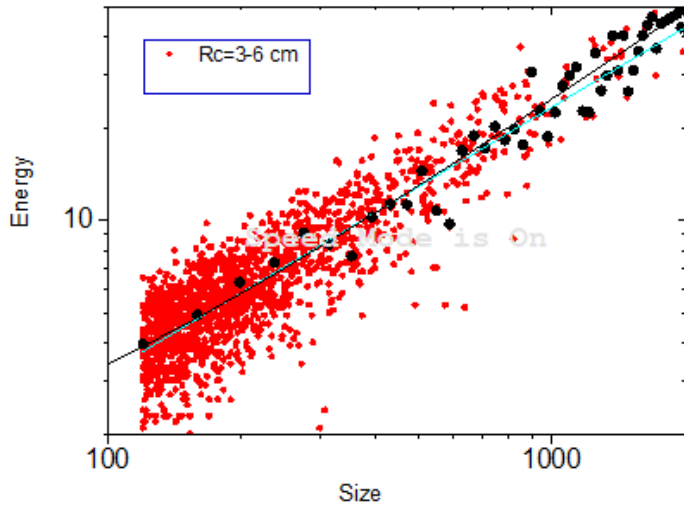
Size>120 p.e., 125 p.e., 140 p.e. dist=0.36-1.53°, от координаты источника  
R0<2.1°, от центра камеры – эффективный FOV< 4.5°  
Length<0.31°, Con2>0.44-0.54, width< 0.076°\*LgSize-0.047°

# Результаты: Октябрь-Ноябрь ~48 hr



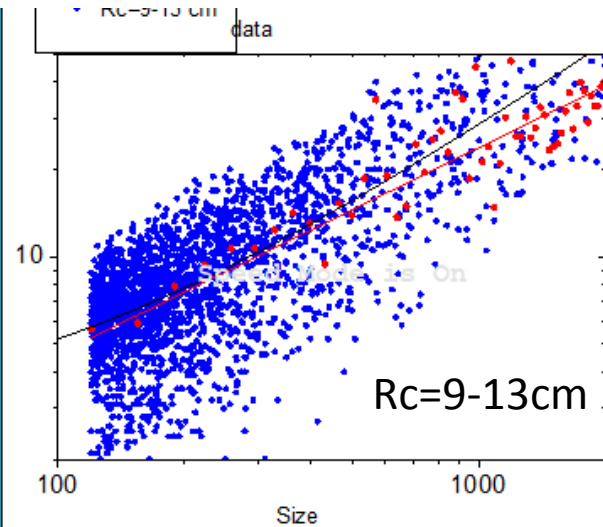
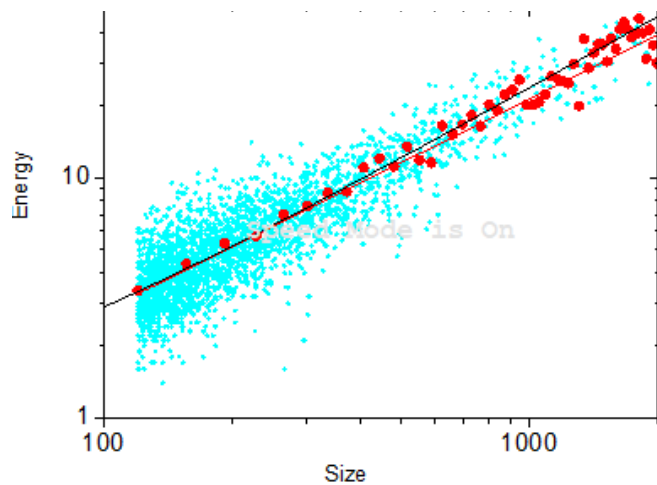
**Oct-Nov: Non<10=500 Noff<10 = 337 Exc= 162 (5.62 Sig)**  
**time of observation : 48hr**

# M-K калибровочные кривые энергия-SIZE(Rc)



Rc < 6 cm  
6 cm < Rc < 9 cm  
9 < Rc < 13 cm

$E_{reco} = 0.6 + 0.023 * size$   
 $E_{reco} = 0.9 + 0.023 * size$   
 $E_{reco} = 2.6 + 0.026 * size$



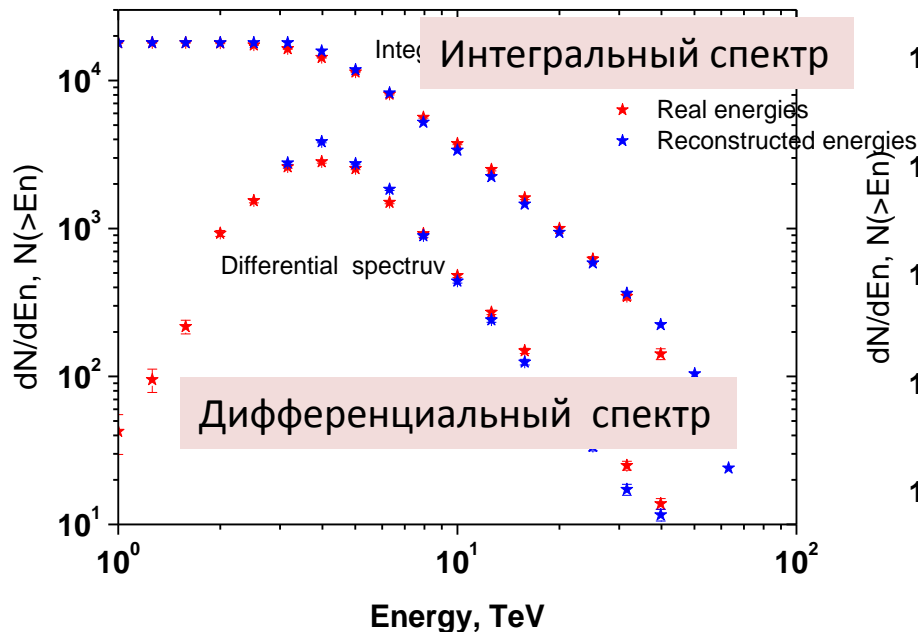


# Спектры по восстановленной энергии $E(\text{size}, R_c)$ для гамма и адронов в Монте-Карло

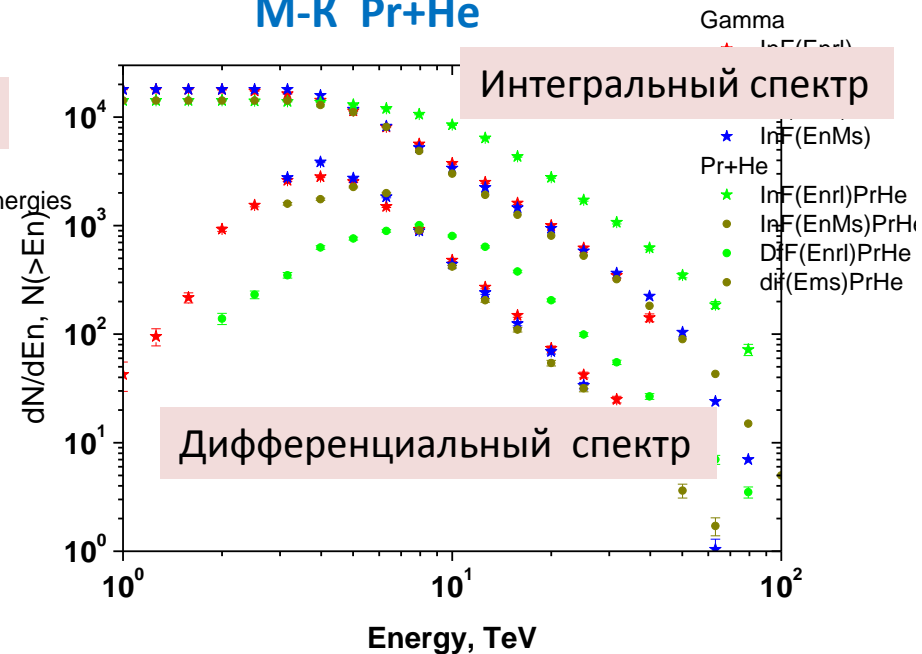
--- истинные  $E_n$ , --- reco  $E_n$

--- истинные  $E_n$ , --- reco energies

**М-К gamma**

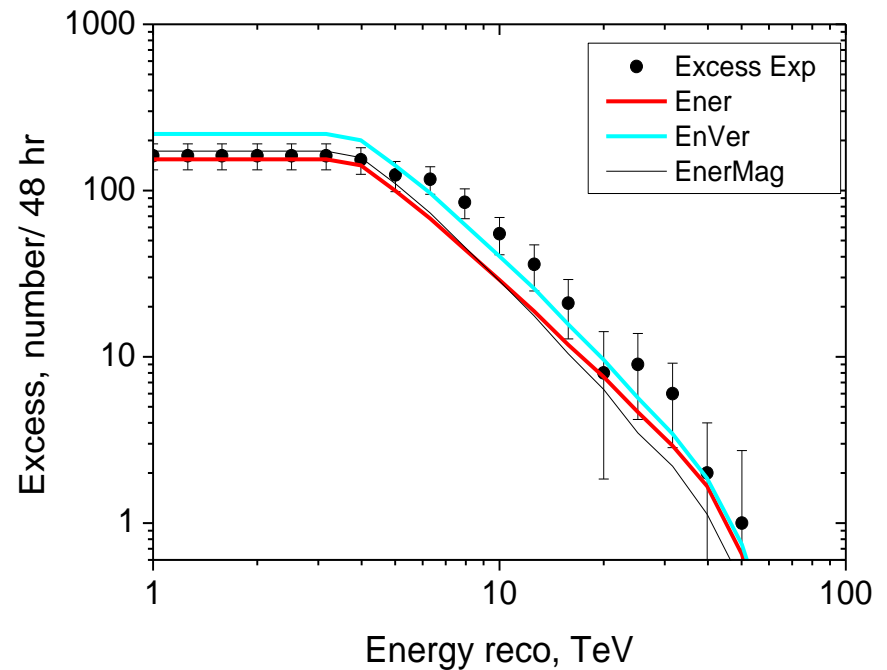
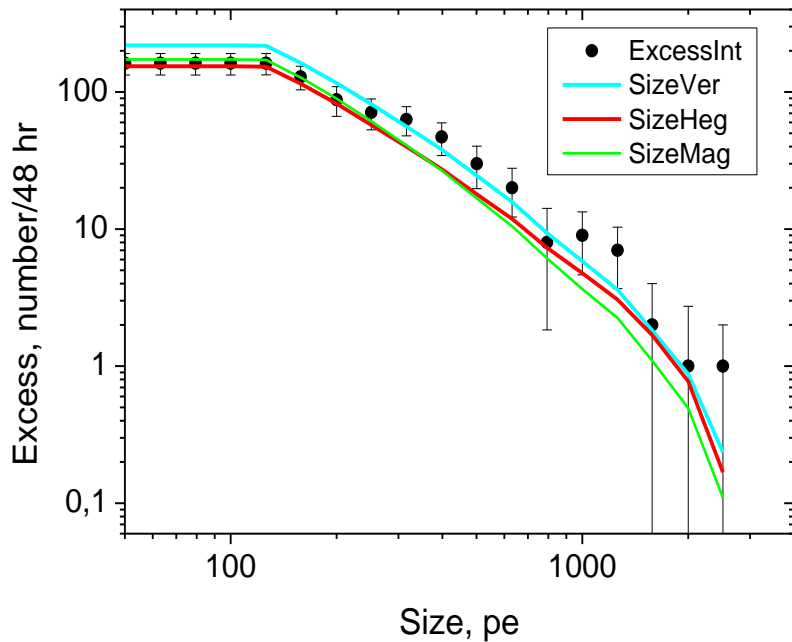


**М-К Pr+He**



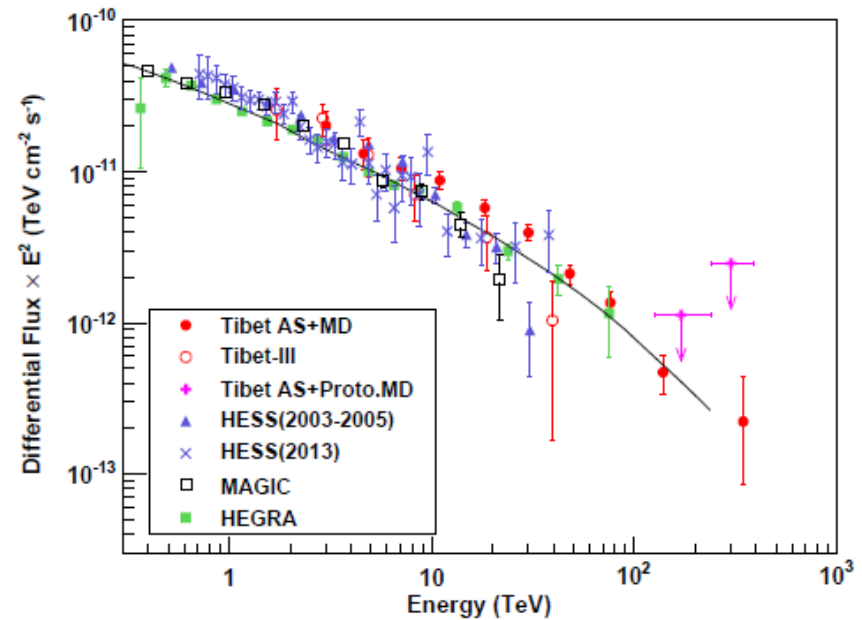
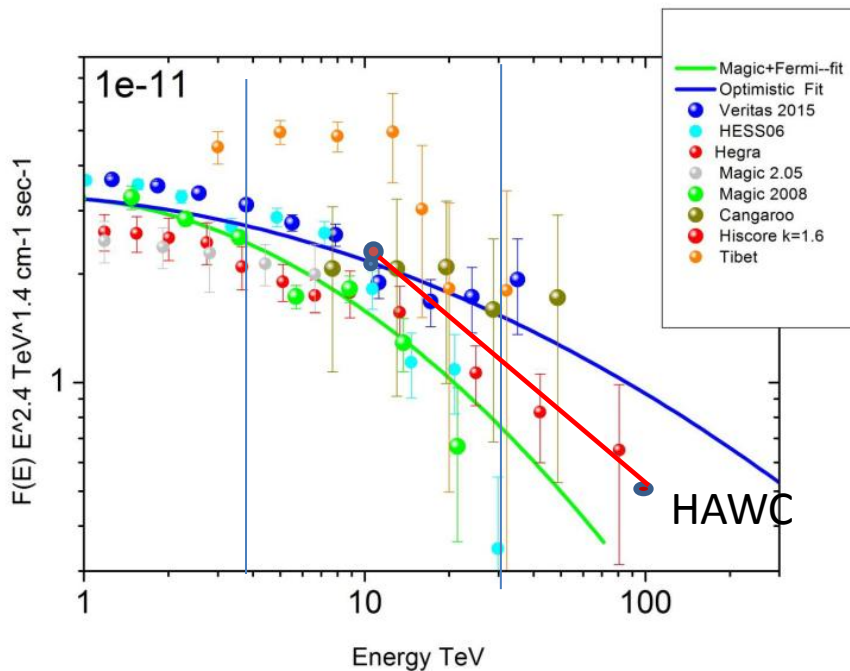
Точность восстановления энергии –около 40-60 % , но спектр восстанавливается достаточно хорошо, пороговая энергия около 4 ТэВ

# Интегральные спектры по сайзам и по восстановленной энергии в сравнении с М-К



Решение прямой задачи: М-К ливни (с показателем  $\gamma = -2.6$ ) 'пропускаются' через наш телескоп и с нашими триггерами и критериями отбора, и нормируются на первичный спектр в соответствии с аппроксимациями, полученными в экспериментах VERITAS (голубая линия) и HEGRA (красная линия). Экспериментально полученные спектры по сайзам и по энергии (Non( $\alpha < 10^\circ$ )-Noff( $\alpha < 10^\circ$ )) для полученного избытка сравниваются с VERITAS и HERGRA

# Измерения Краба на других установках



## TAIGA

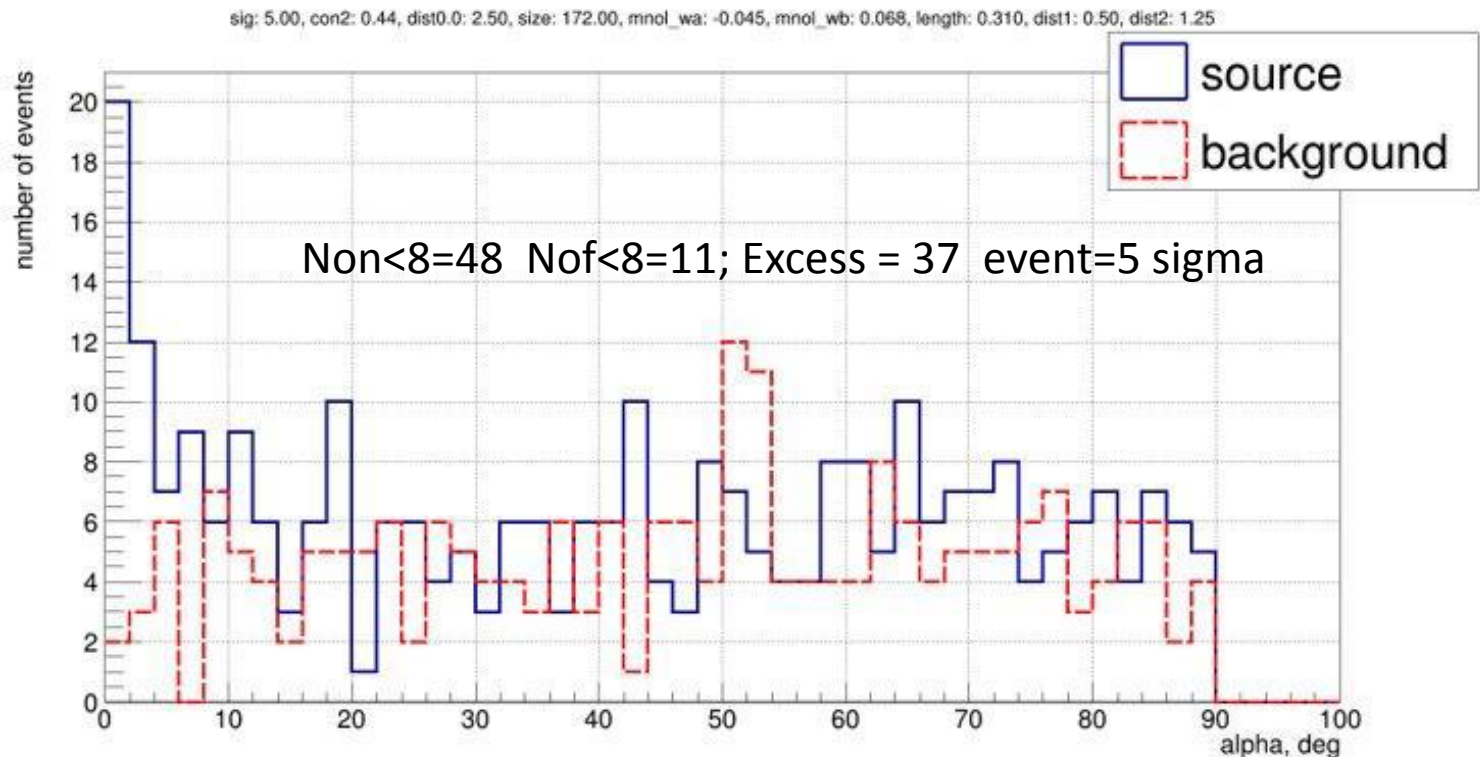
Область исследования 1 IACT : 4-30 ТэВ

Стереосистема 2-3 IACT : 10-100 ТэВ

IACT+ HiSCORE станции : >40 ТэВ

# Регистрация источника гамма-квантов Маркарян 421 телескопом установки TAIGA-IACT

Постер: ID-85\_П.Волчугов от коллаборации TAIGA

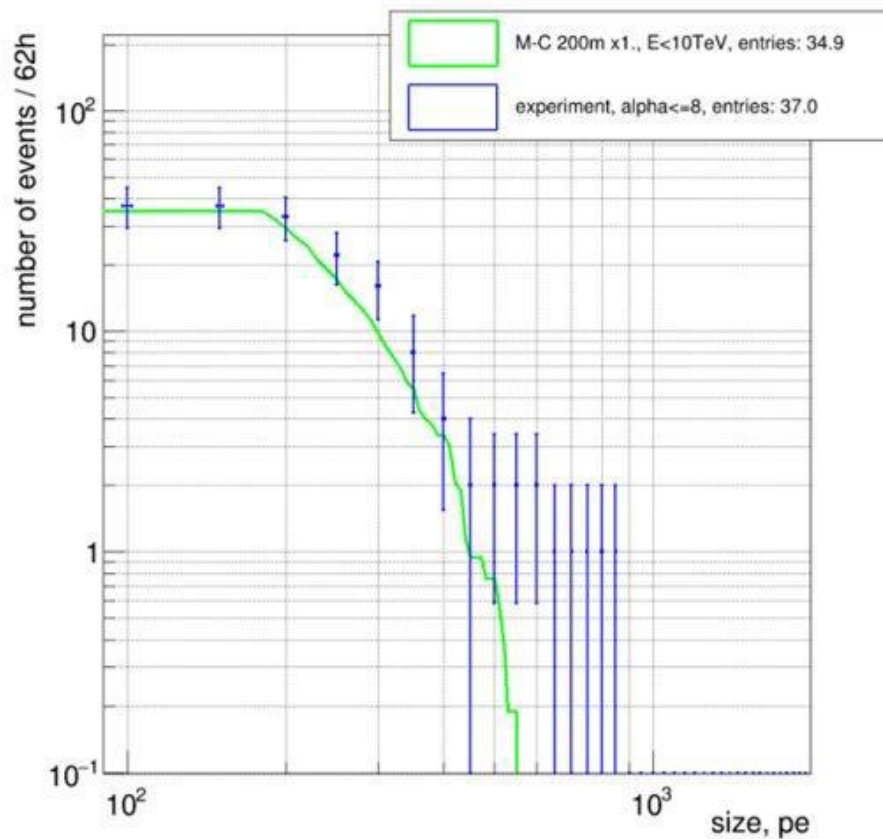


- Из полученных распределений параметров Хилласа были определены следующие каты

$$con_2 \geq 0.44, distance_0 \leq 2.5^\circ, size \geq 172pe$$

$$length \leq 0.31^\circ, 0.5^\circ \leq distance_{1,2} \leq 1.25^\circ$$

# Интегральный спектр по Size



Синие точки — эксперимент, зеленая кривая — спектр по сайзу смоделированных гамма-квантов, нормированный на 62 часа наблюдения

# Эффективность подавления фона

Trigger	2px	trigger2 px
Size> 0 000 (1 TeV)	44000	481000
	gamma	Pr+He
-----		
Size> 120 pe (3-4 TeV)	21000	207000
Rc=3-12cm		
Width Wp2		
Length 1.3logS		
Con2>0.54	4842/21000= 0.23	76/207000 = 3.6e-4
Sqrt=0.019		

$$\text{epsGam}=0.23$$

$$\text{sqrt}(\text{eps Phe})=0.019$$

$$\text{Q factor}=\text{eps Gam})/\text{sqrt}(\text{epsPHe})= 12$$

# Выводы

1. Оработана методика восстановления имиджей и определения параметров в камере телескопа TAIGA IACT
2. Показана эффективность Wobbling моды слежения телескопом за источником , позволяющей эффективно использовать время слежения.
2. Проведено М-К моделирование регистрации гамма-квантов и адронов и согласование с экспериментом
3. Найдены оптимальные параметры подавления фона
4. Получен избыток гамма квантов от Крабовидной туманности в интервале энергией  $\sim 4$  ТэВ-30 ТэВ (около 160 частиц) со значимостью  $\sim 5.6$  sigma
5. Получен избыток частиц от блазара Mrk 421,  $\sim 40$  частиц в области энергий 3-10 ТэВ со значимостью  $\sim 5$  sigma

Спасибо за внимание!