

# Установка Тунка и гамма- обсерватория TAIGA

Л.Кузьмичев (НИИЯФ МГУ) от коллаборации TAIGA

36 ВККЛ, НИИЯФ МГУ, 29.09 2020

# Содержание доклада

1. Введение: Астрофизический комплекс в Тункинской долине. Космические лучи сверхвысокой энергии.
2. Гамма астрономия высоких энергий и проект TAIGA
3. TAIGA - текущий статус
4. Гамма-астрономия – первые результаты
5. Планы на будущее
6. Заключение

# TAIGA - collaboration

## Germany

Hamburg University(Hamburg)  
DESY (Zeuthen)  
MPI (Munich)

## Italy

Torino University (Torino)

## Romania

ISS (Bucharest)

## Russia

MSU (SINP) ( Moscow)  
ISU (API) (Irkutsk)  
INR RAS (Moscow)  
JINR (Dubna)  
MEPhI (Moscow)  
IZMIRAN (Moscow)  
BINR SB RAS (Novosibirsk)  
NSU (Novosibirsk)  
ASU (Barnaul)

# 1. Астрофизический комплекс в Тункинской долине



Тункинская долина , республика  
Бурятия, 50 км от озера Байкал

51° 48' 35" N  
103° 04' 02" E  
675 m a.s.l.



# Все установки комплекса TAIGA

1. Tunka-133
2. Tunka-Grande

Cosmic rays with energy  $> 10^{15}$  eV

3. TAIGA-HiSCORE
4. TAIGA-IACTS
5. TAIGA-MUONs

TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic rays and Gamma - Astronomy)

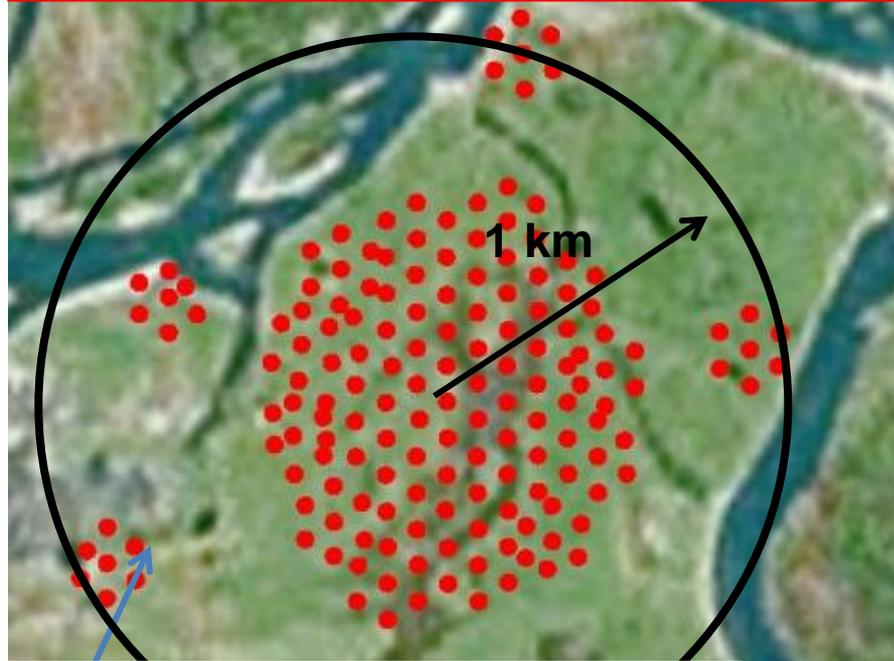
The main aim of TAIGA project:

Study of very high energy ( $>30$  TeV) gamma rays from Galactic accelerators with large area array ( $\sim 10$  km<sup>2</sup>)

# Комплекса TAIGA и космическe лучи $> 10^{15}$ eV

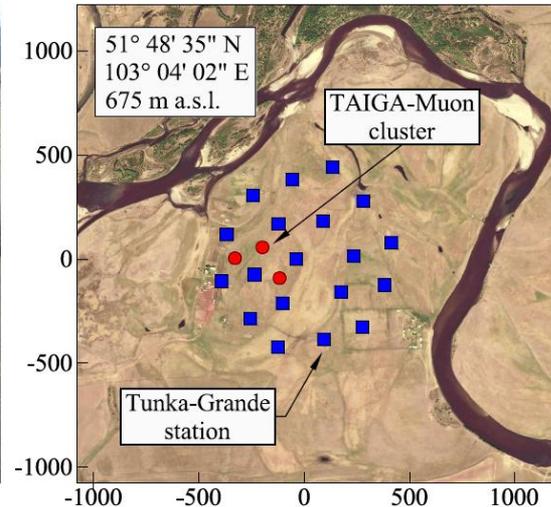


**Tunka-133 -  
175 optical  
detectors on  
the area of 3 km<sup>2</sup>**

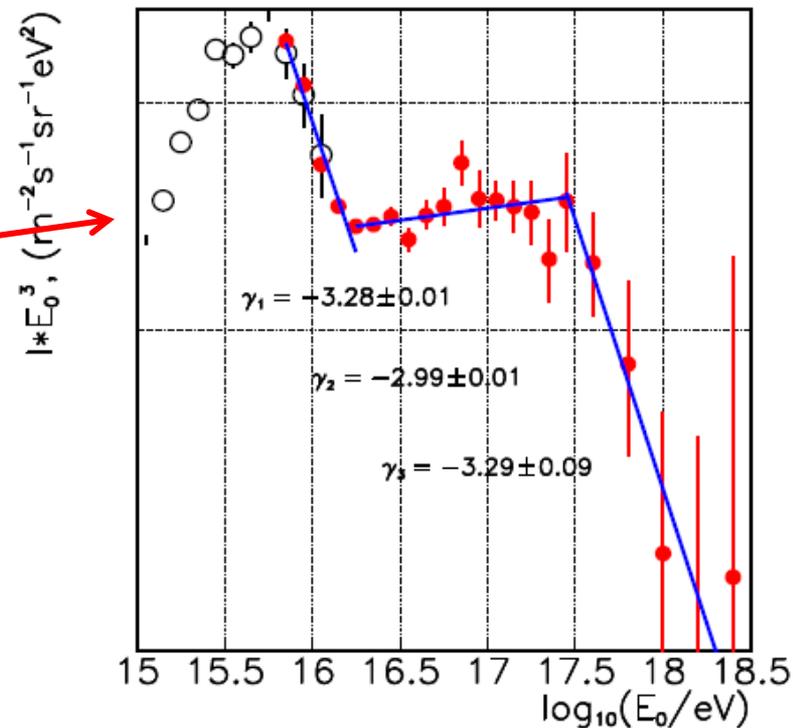
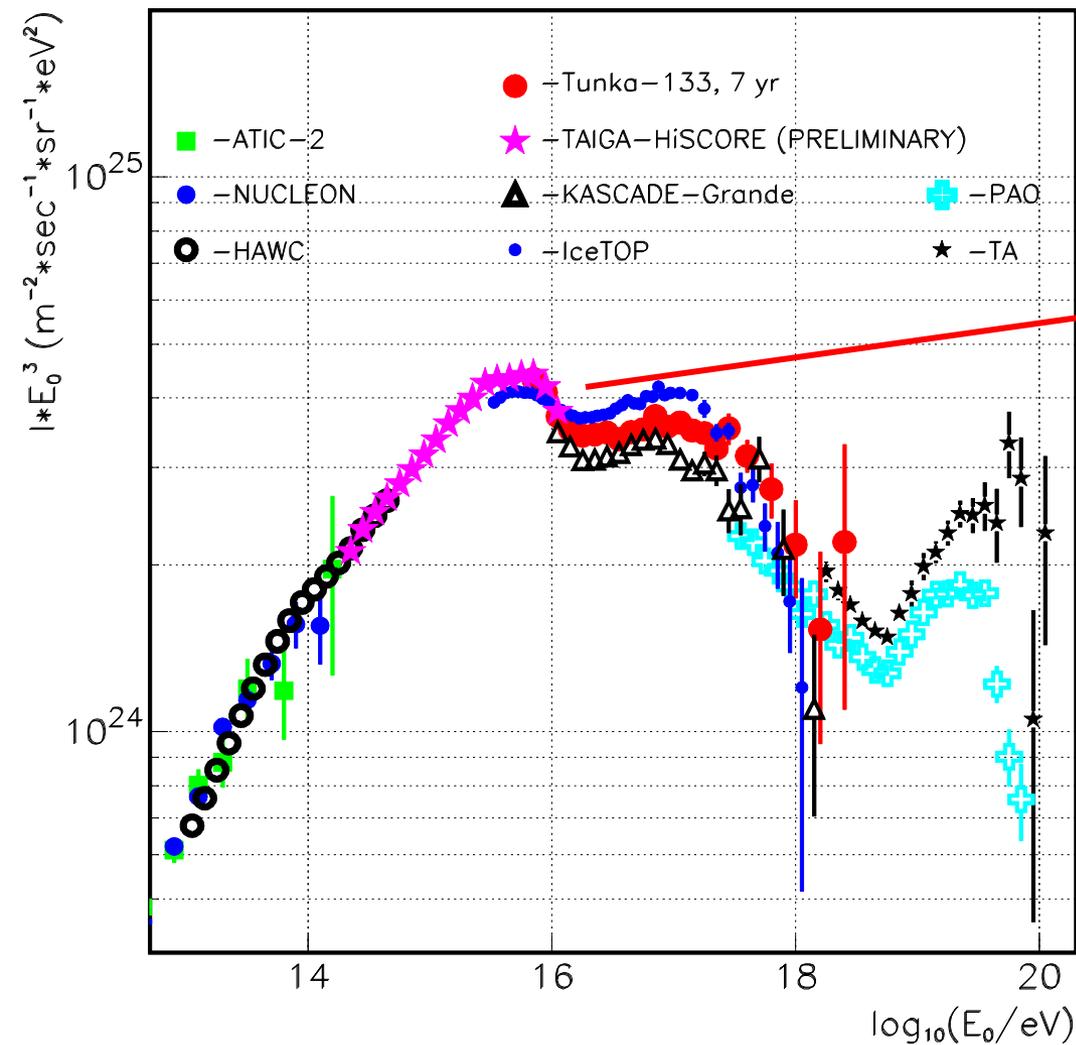


**Tunka- Grande –  
380 scintillation counters  
for detection of  
EAS charged particles**

## TAIGA\_Muon



# Энергетический спектр в диапазоне $10^{14} - 10^{18}$ eV

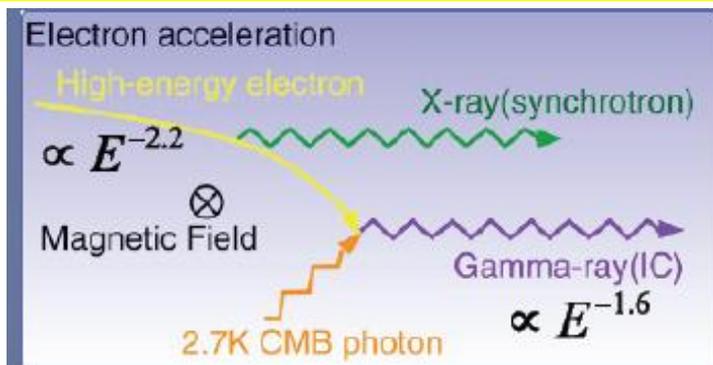


## 2. Гамма-астрономия высоких энергий и комплекс TAIGA

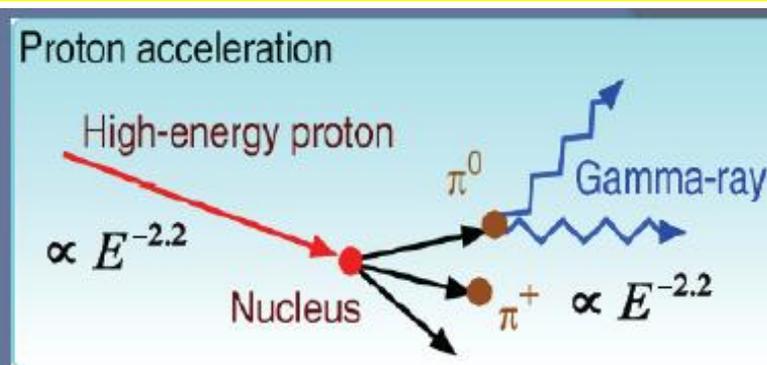
# Гамма-астрономия высоких энергий

1. Происхождение космических лучей
2. Релятивистские джеты и АГЯ
3. Поиск темной материи
4. Прозрачность Вселенной и аксионы
5. Поиск нарушений Лоренц инвариантности

# Как рождаются гамма-кванты высоких энергий

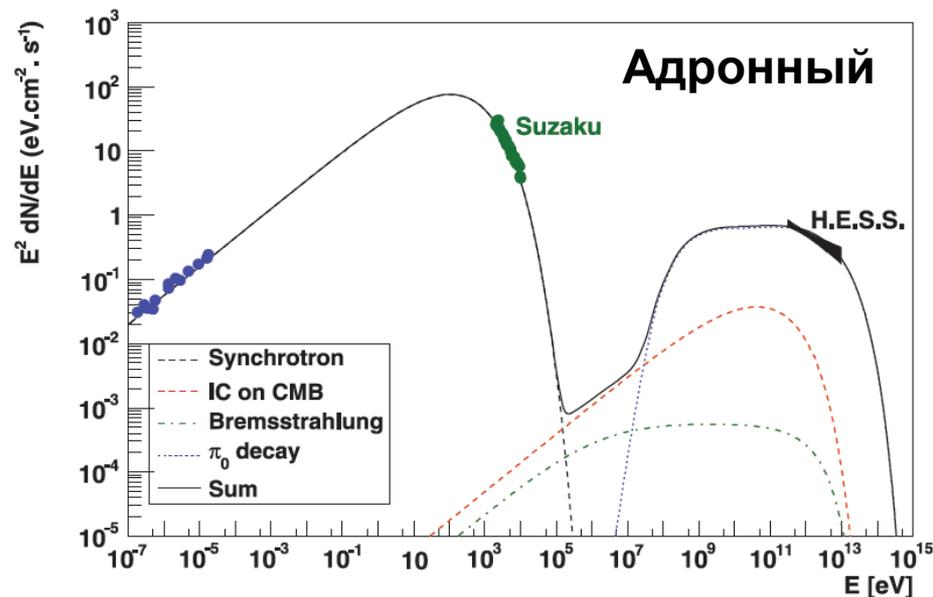
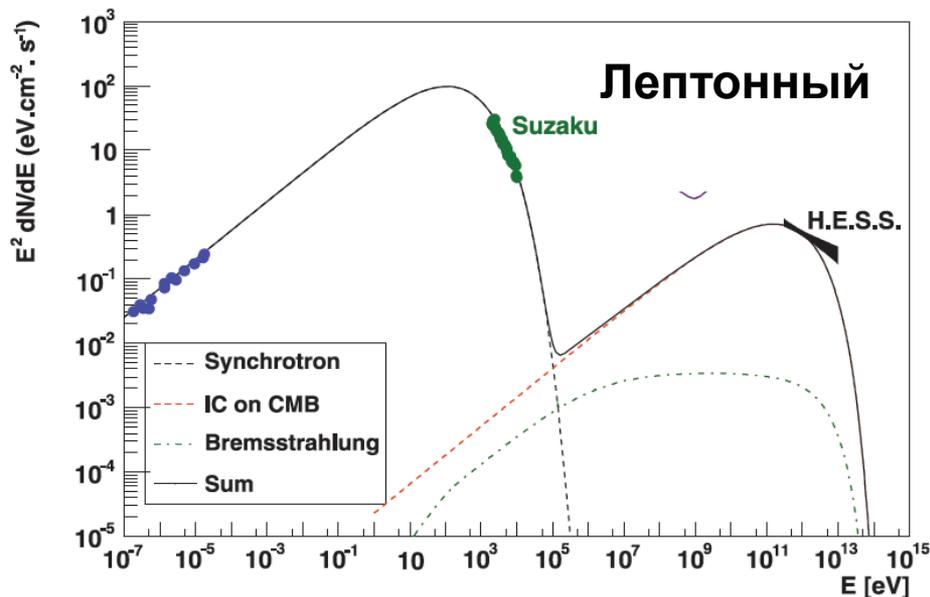


Лептонный

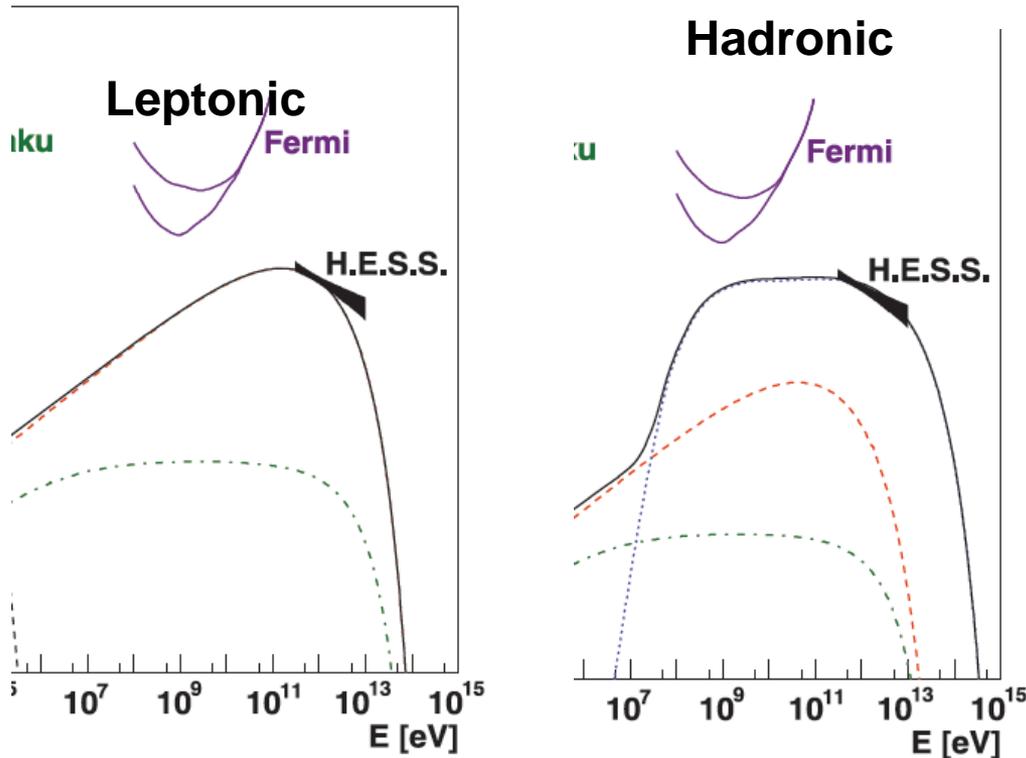


Адронный

SN 1006 : какой механизм генерации гамма-квантов?  
 Надо исследовать спектр в области больших энергий



# Как понять механизм рождения гамма-квантов



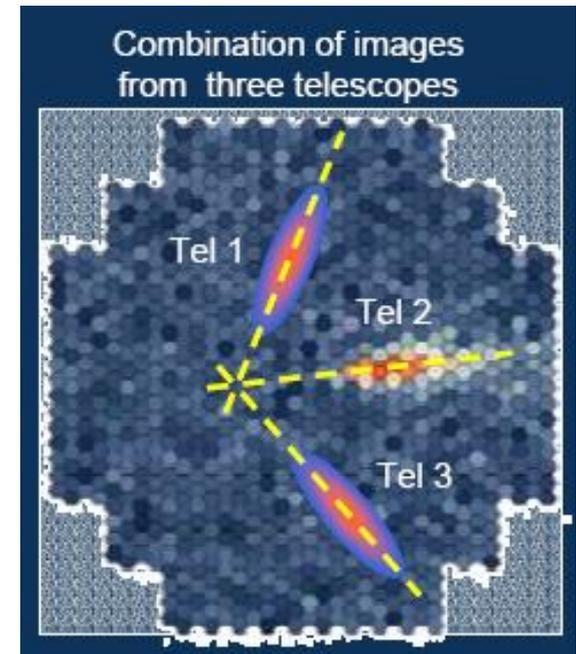
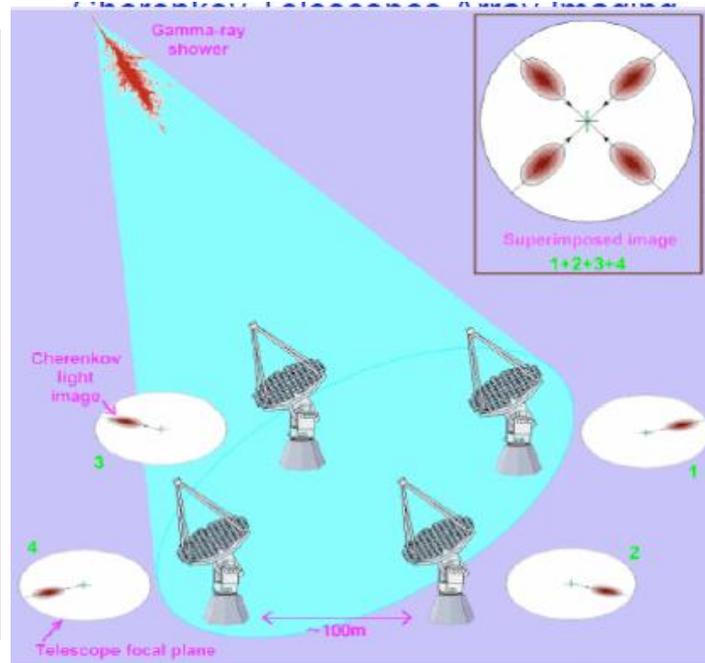
to study high-energy cut-of of energy spectrum:

The contribution of gamma rays generated by electrons during IC scattering should be suppressed at high energies due to a decrease in the scattering cross section (Klein-Nishima effect)

# Imaging Atmospheric Cherenkov Arrays (2-5 IACT)

**Whipple**  
**HEGRA**  
**H.E.S.S.**  
**MAGIC**  
**VERITAS**

**S ~ 0.1 km<sup>2</sup>**



Основной метод выделения гамма-квантов – регистрация одного ШАЛа двумя и большим числом телескопов – стереоскопический метод

Для исследования области энергий гамма-квантов нужны установки с площадью ~10 км<sup>2</sup>

# CTA project : 100 IACT on the area 10 km<sup>2</sup>

## Low energies

Energy threshold 20-30 GeV

23 m diameter

4 telescopes

**(LST's)**

## Medium energies

100 GeV – 10 TeV

9.7 to 12 m diameter

25 telescopes

**(MST's/SCTs)**

## High energies

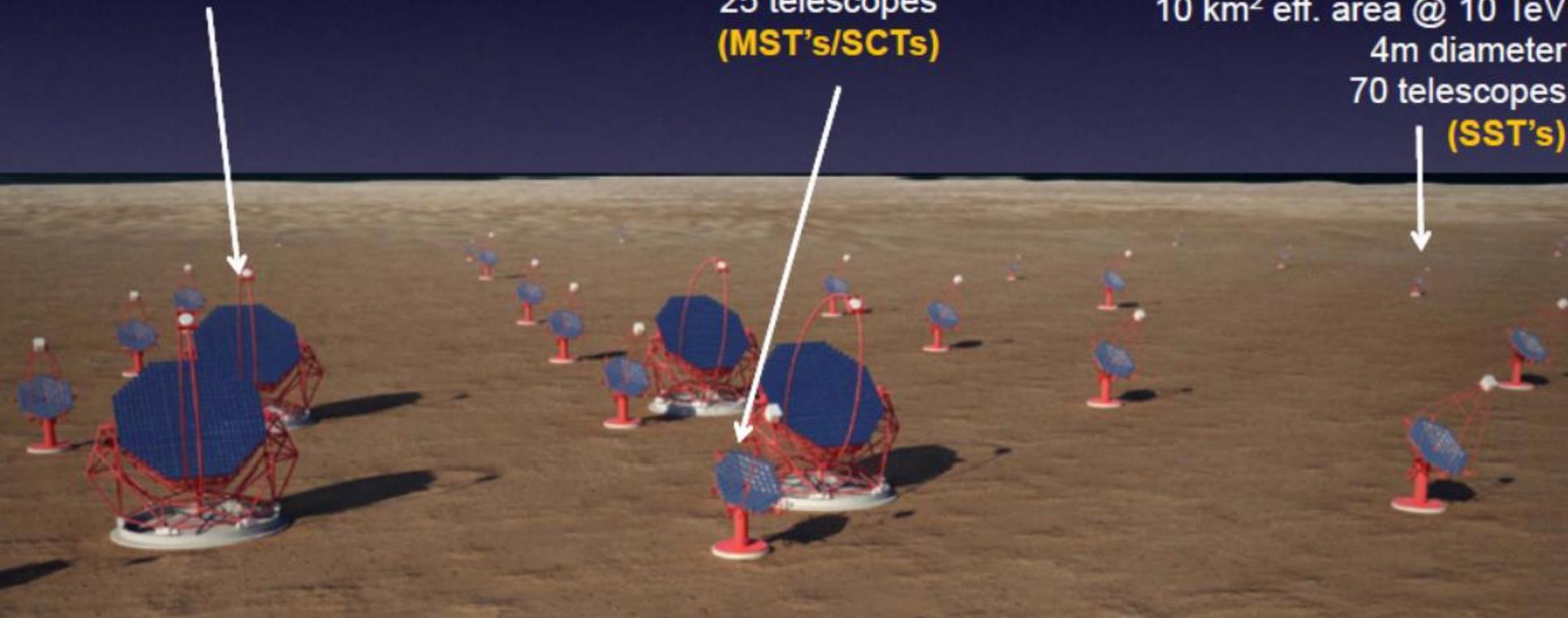
Up to > 300 TeV

10 km<sup>2</sup> eff. area @ 10 TeV

4m diameter

70 telescopes

**(SST's)**



# The TAIGA experiment - a hybrid detector for very High energy gamma-ray astronomy and cosmic ray physics in the Tunka valley

**The main idea:** A cost effective approach for construction of large area installation is a joint operation of wide-field-of-view timing Cherenkov detectors (the *non-imaging technique*) with a few *small-size imaging Air Cherenkov Telescopes*.



**The first stage of TAIGA - 1 km<sup>2</sup> area installation with 120 wide-angle timing detectors and 3 IACTs.**

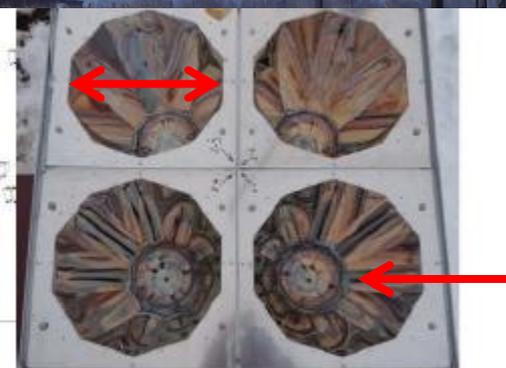
**Commissioning of installation in 2021**

# Широкоугольная станция HiSCORE



Сеть станции ( шаг 100 м) –  
восстановление угла прихода  
ШАЛ ( 0.1- 0.4 град) и энергии

Плохая режекция адронов.  
Как повысить?

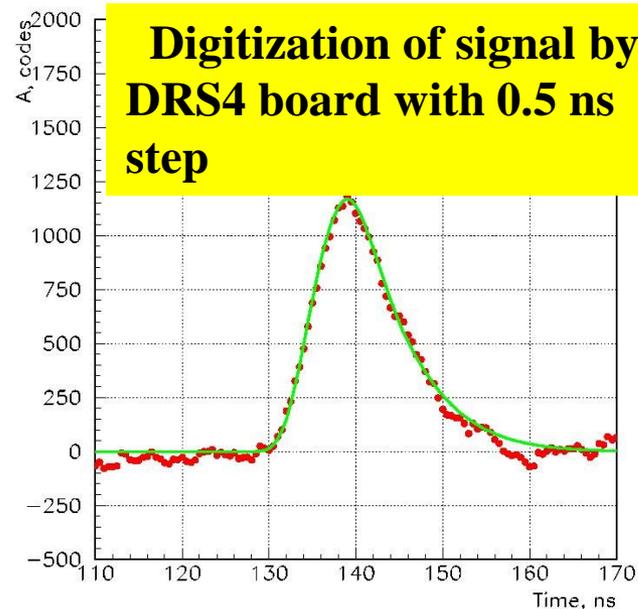


Winston cone and PMT  
with 20-25 cm  
photocathode diameter

$$S_{\text{tot}} = 0.5 \text{ m}^2$$

(R5912, R7081, ET9352)

Постер А.Пахорукова



# TAIGA-IACT



Area of mirrors - 9.6 m<sup>2</sup> ( 34mirrors ) \*

Focus length                    4.75 m

**FOV                                9.6°**

pixel FoV                    0.36°

560 pixels( pmt XP1911)

PSF ~0.1°

CCD for checking telescope pointing direction.

**Постер Д.Журова**

Большое поле зрение – регистрация ШАЛ с больших расстояний ( до 350 м)

В настоящее время только два широкоугольных телескопа сдали экзамен – зарегистрировали Краб – TAIGA-IACT и ASTRI ( СТА)

# Четыре подхода к регистрации гамма-квантов в эксперименте TAIGA

1. Автономная работа одного телескопа  $E < 10-15$  ТэВ
2. Стереоскопический подход при больших расстояний между телескопами  $E \geq 10$  ТэВ
3. Гибридный подход – совместная работа HiSCORE и телескопов  $E \geq 30$  ТэВ
4. HiSCORE и мюонные детекторы  $E \geq 300-500$  ТэВ

# Научная программа

Обсерватория TAIGA будет самой северной гамма-обсерваторией, и это расположение обеспечивает определенные преимущества для наблюдения источников с большими склонениями - источник гамма-излучения в остатке сверхновой Тихо Браге, практически недоступный для установок HAWC и LHAASO [будет в поле зрения детекторов обсерватории TAIGA в течение 500 ч в год.

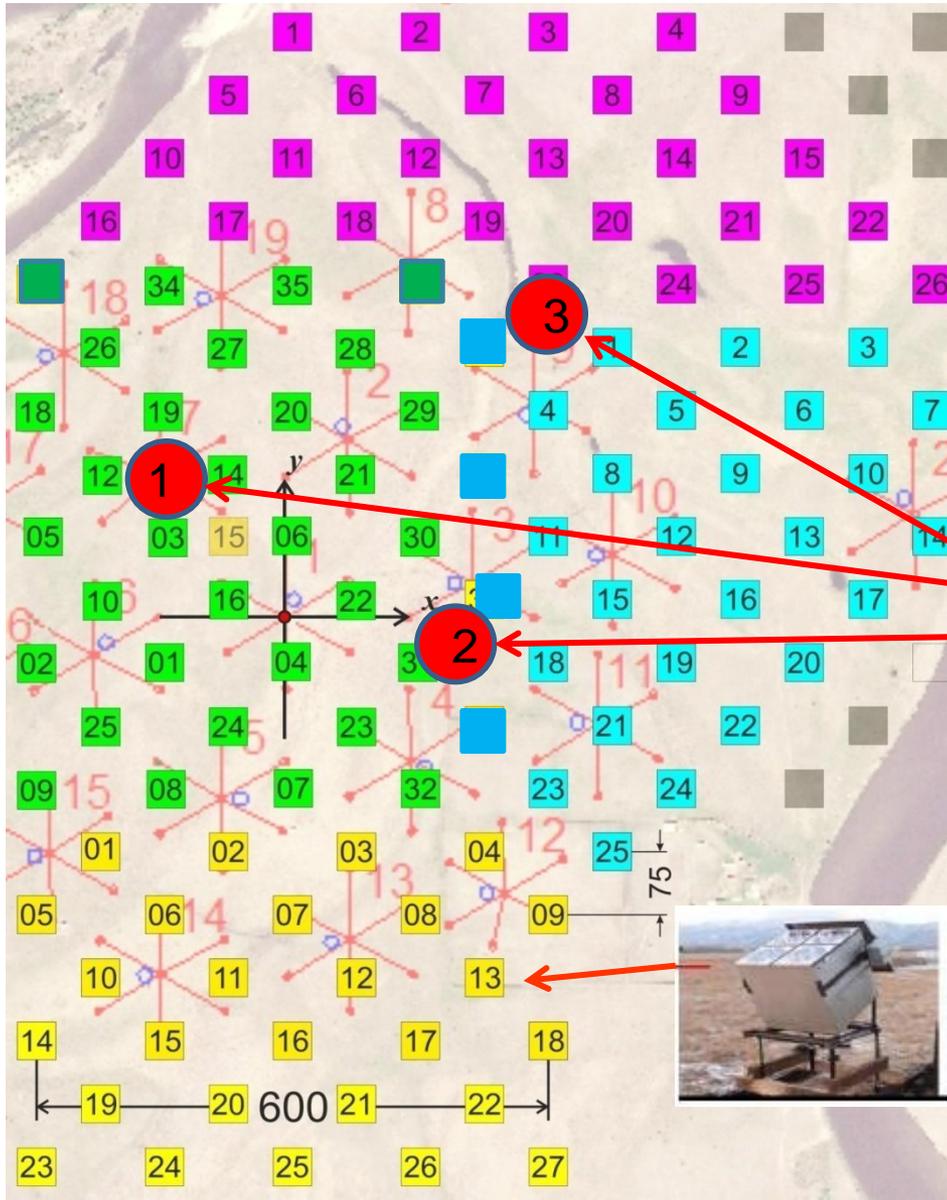
1. Поиск предела ускорения частиц в известных остатках сверхновых и пульсарных туманностях: Крабовидная туманность и Boomerang (пульсарные туманности), Тихо Браге и Кассиопея А (остатки сверхновых) и других

2. Длительный мониторинг и исследование края энергетического спектра ярких блазаров как метод поиска аномалий в распространении гамма-квантов во Вселенной и поиска аксионо-подобных частиц.

3. Поиск избыточного диффузного излучения гамма-квантов с энергией в диапазоне энергий  $10^{14}$ – $10^{15}$  эВ, и области энергии выше  $10^{17}$  эВ. Поиск диффузного гамма-излучения в диапазоне энергий  $10^{14}$ – $10^{15}$  эВ позволит обнаружить избыточный поток гамма-квантов, сопровождающих астрофизические нейтрино, или поставить верхний предел на поток, тем самым подтвердив или опровергнув галактическое происхождение существенной доли астрофизических нейтрино, зарегистрированных телескопом IceCube.

## 3. TAIGA текущий статус

TAIGA - : 90 станций и 2 телескопа



3-й телескоп установлен, но без зеркал и камеры (covid-19 !)

Телескопы пережили 7 бальное землетресение



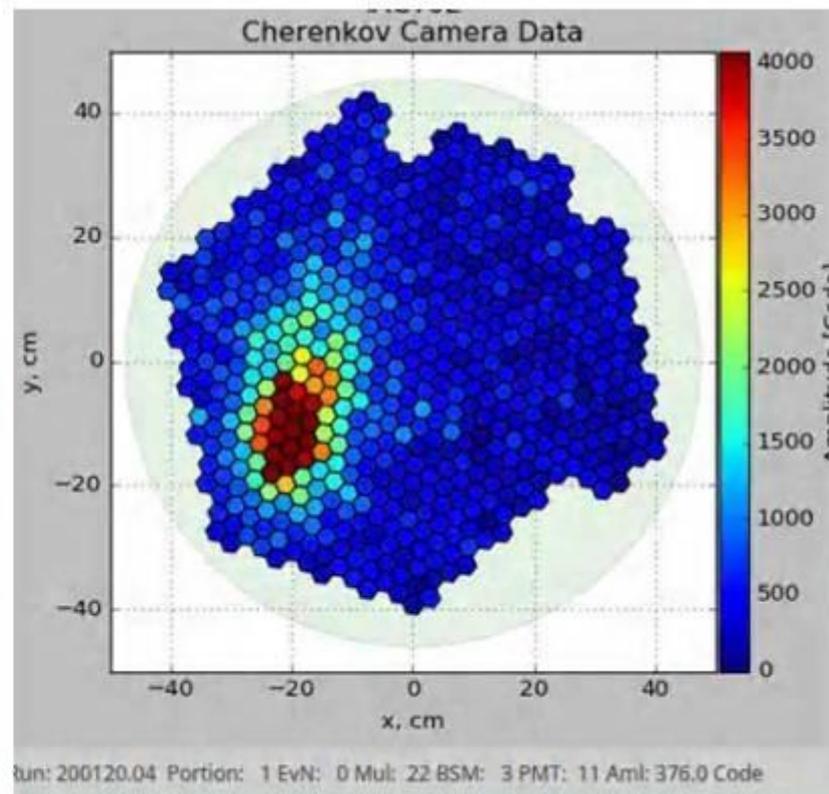
# Установка камеры на 2-й телескоп (20 января, 2020)



# Второй телескоп в Тунке( с 20.01 2020)



The second IACT



one of the first evnts

# Два телескопа на расстоянии 320



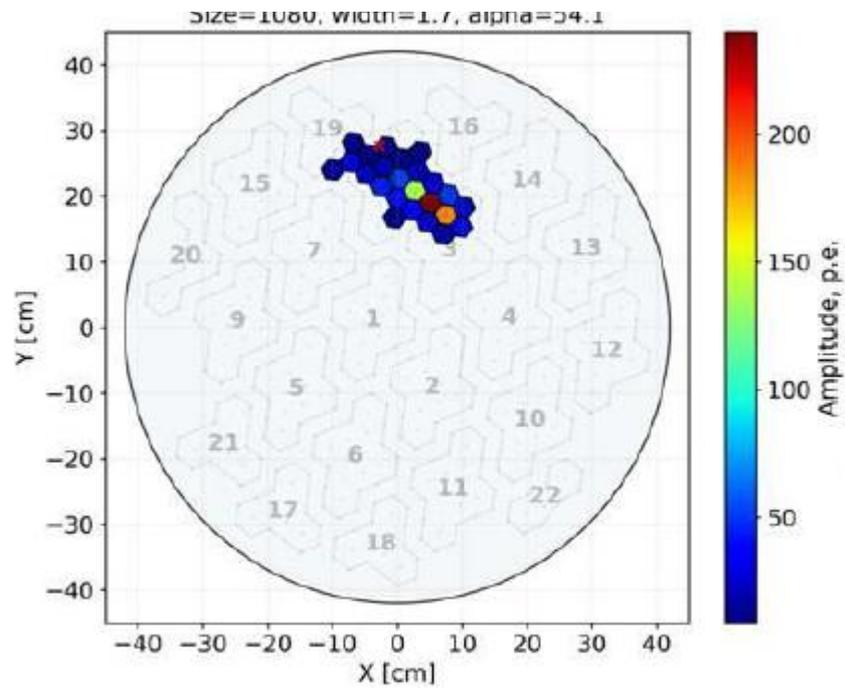
# 4. Первые результаты в области гамма-астрономии – тест работы телескопов

Доклад Л.Г.Свешниковой + постер П. Волчугова.

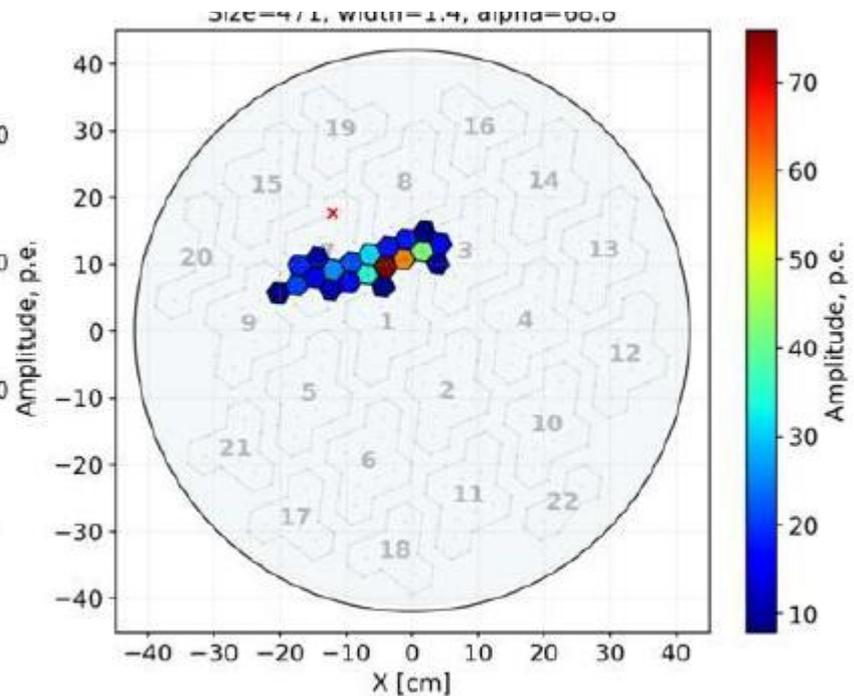
Crab - 6 sigma

Mkr421 – 5 sigma

# Стереоскопический подход



Size = 1080 pe, Width = 0.20 °



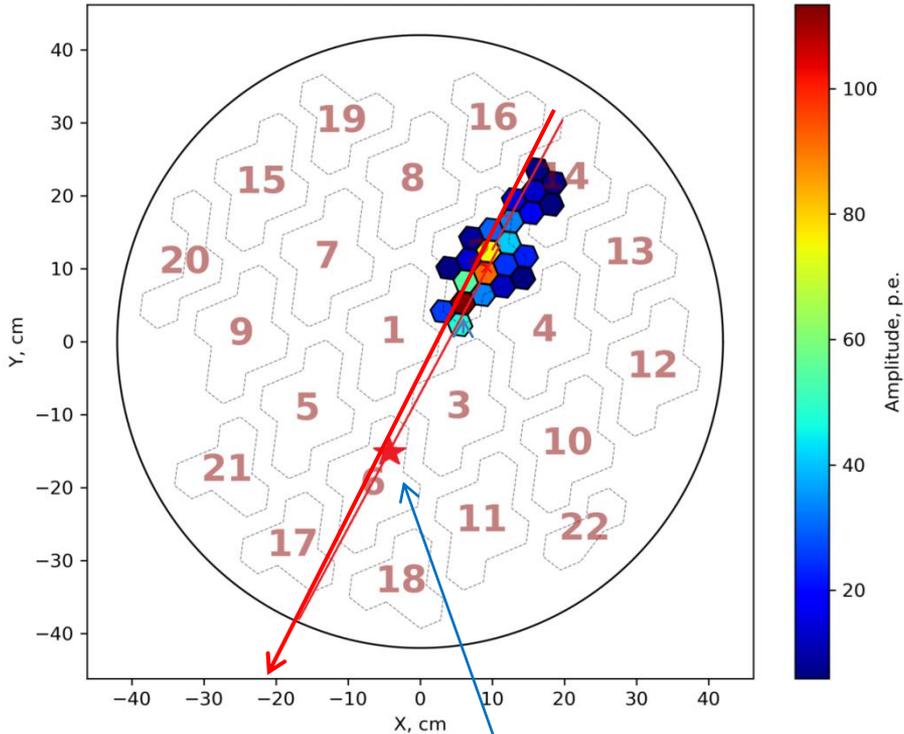
Size = 471 pe, Width = 0.17 °

# FIRST EXAMPLE OF HYBRID "GAMMA-LIKE" EVENT

IACT data

Width=0.13°, length=0.69°, alpha=8.9°, size=709p.e.

Width=1.6 cm,  $\alpha=8.8$  deg

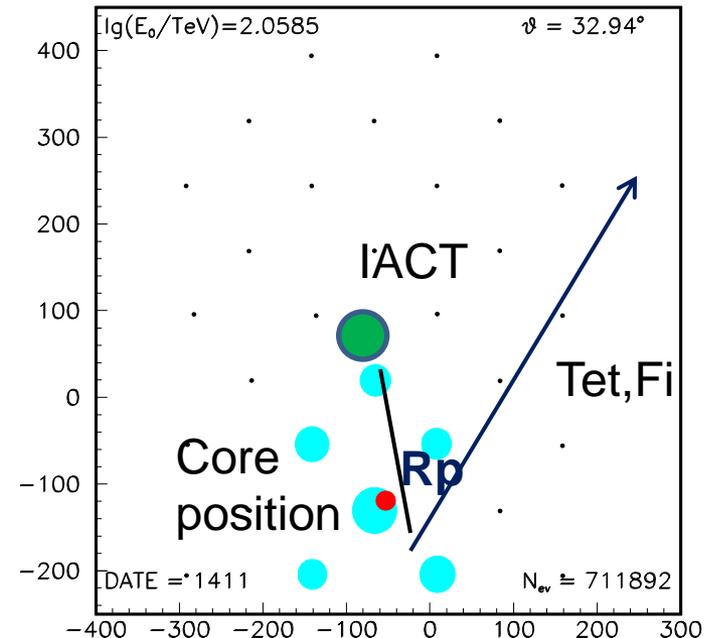


Recalculated core position in IACT plane after introduction of scaling factor  $Rp' = Rp/1500$

HiSCORE data

$E = 55$  TeV

Tet = 32.9, Fi = 33.58



# События от гамма-квантов (кандидаты)

Cuts:

Width  $< 0.17^\circ$

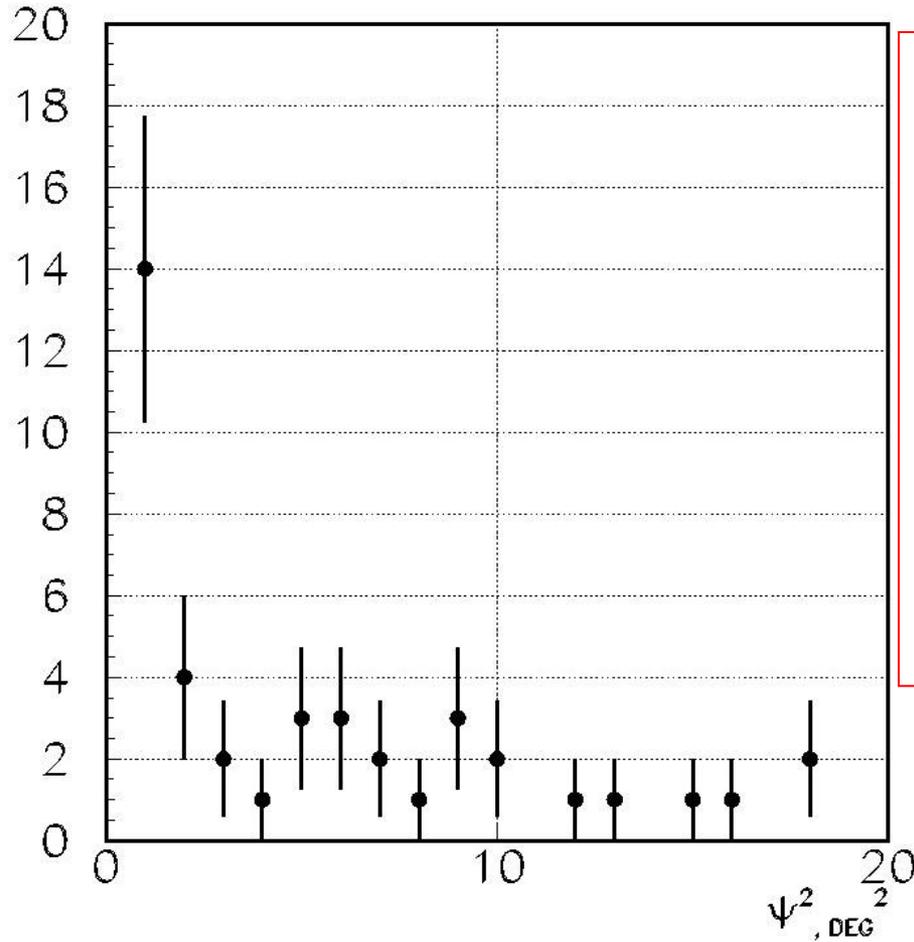
Alfa  $< 15^\circ$

50 событий

14 событий

$\Psi < 1^\circ$

E – 45-60 ТэВ



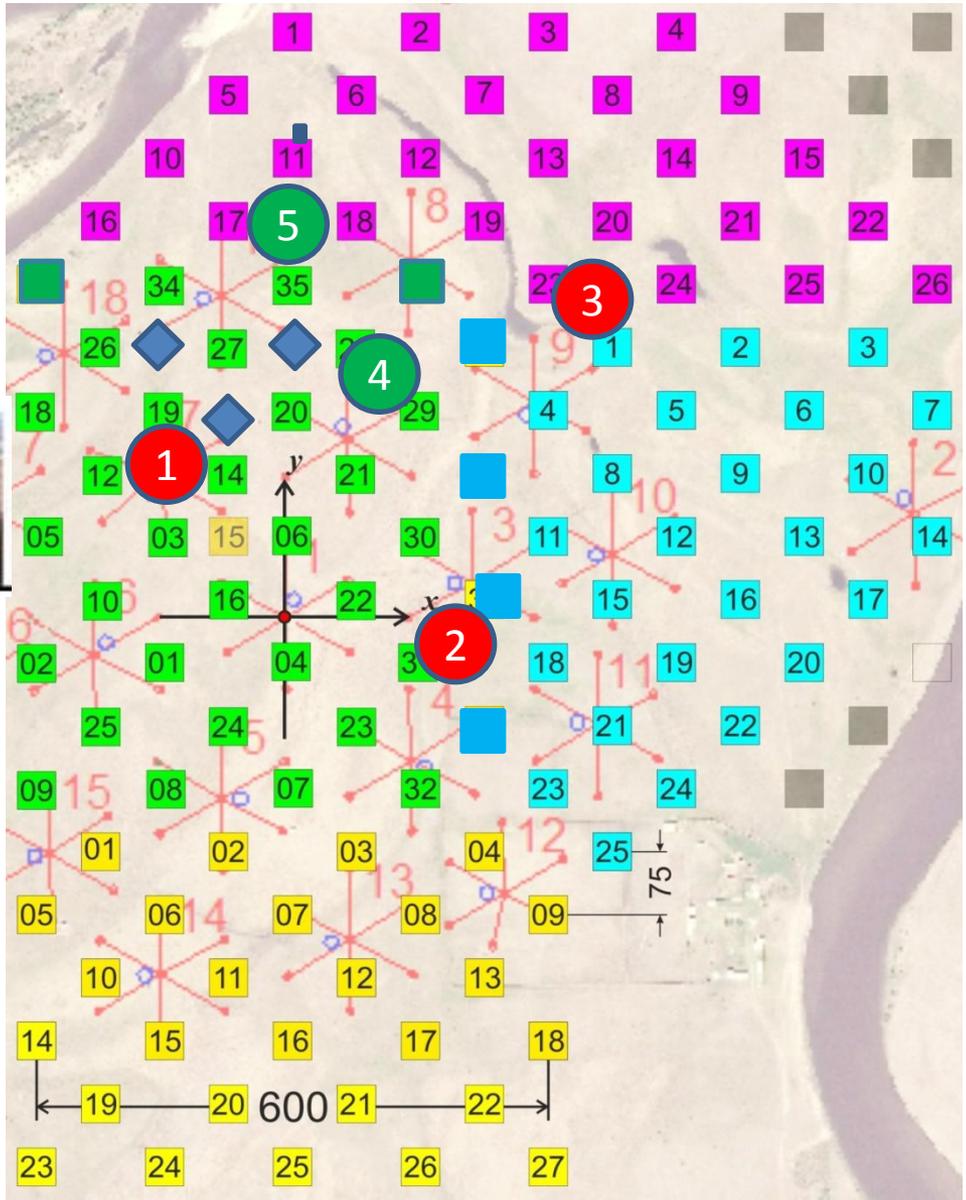
для 100 часов на  
первой очереди TAIGA:

$3 \cdot 10^5$  гибридных событий  
(изучение массового  
состава КЛ)

50-100 гибридных  
событий  
от Краба ( $E \geq 40 \text{ TeV}$ )

# 5. Планы на будущее

# TAIGA -2022-24



)

# The TAIGA-Muon scintillation array

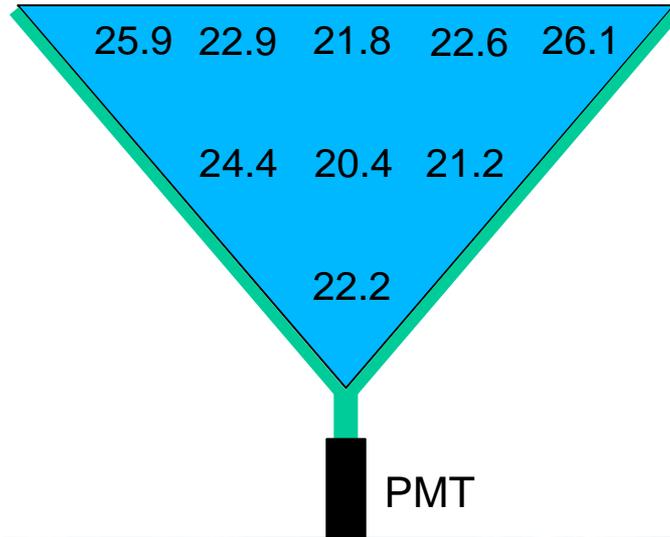
Доклад Е.Кравченко – 28.09

6 мюонных кластеров ( по 16 счетчиков)

Counter  
dimension 1x1  
m<sup>2</sup>.

Wavelength  
shifting bars are  
used for  
collection of the  
scintillation light.

Mean amplitude  
from cosmic  
muon is 23.1 p.e,  
with  $\pm 15\%$   
variation.

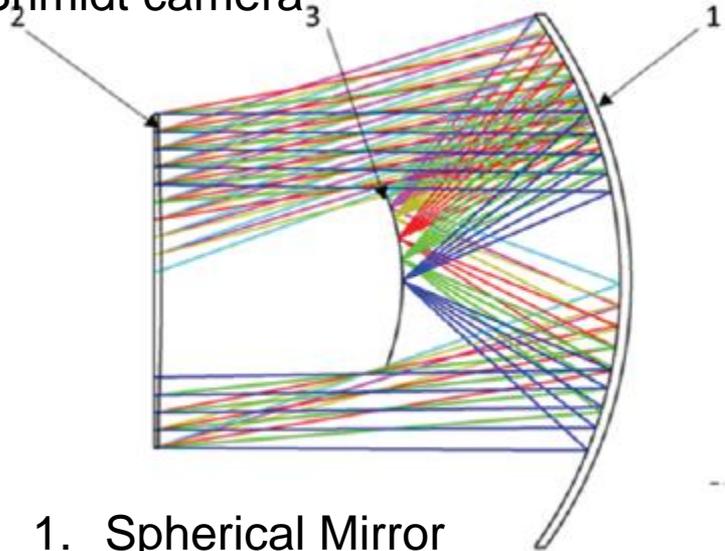


# Широкоугольный телескоп на SiPMs

FoV of TAIGA-HiSCORE detectors is  $60^\circ$  but TAIGA-IACT –  $10^\circ$  as a result we have only 4% of joint events.

To study the gamma-ray with energy above 30 TeV we started off a development of a Small Image Telescopes (SIT) with a SiPM-based camera with a FoV up to  $60^\circ$  and an effective recording area of  $1\text{m}^2$ . We intend to test 3 variants of the SIT optical system: spherical mirror, a system of Fresnel lenses, combination of the two mentioned technologies

Schmidt camera



1. Spherical Mirror
2. Corrected lens
3. Focal surface

FOV  $\sim 15^\circ$

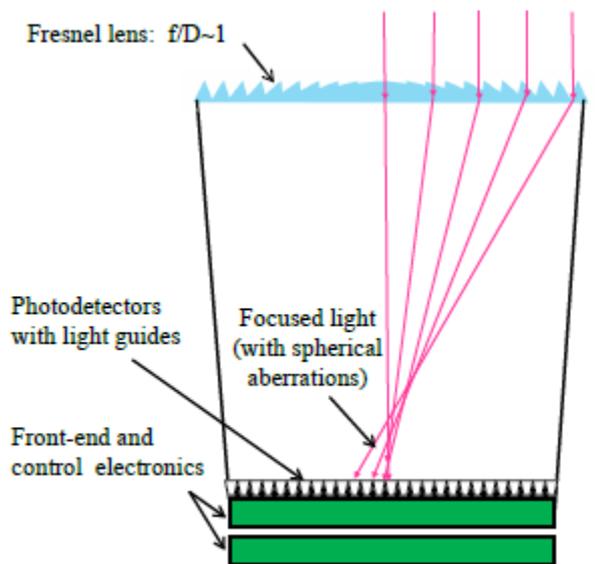
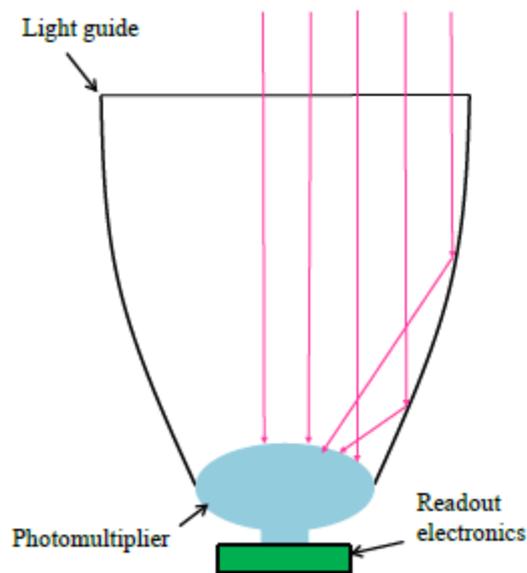
$S \sim 1\text{ m}^2$

Number of pixels  $\sim 1000-1200$

FOV for one pixel  $\sim 0.4^\circ$

Energy threshold  $\sim 10\text{ TeV}$

# Малый черенковский телескоп (Small Imaging Telescope): $S \sim 0.5 \text{ м}^2$ , 100 каналов



100 каналов

Фон в 100 раз -  
Порог в 10 раз  
ниже.

События от гамма-  
квантов – в одном  
пикселе

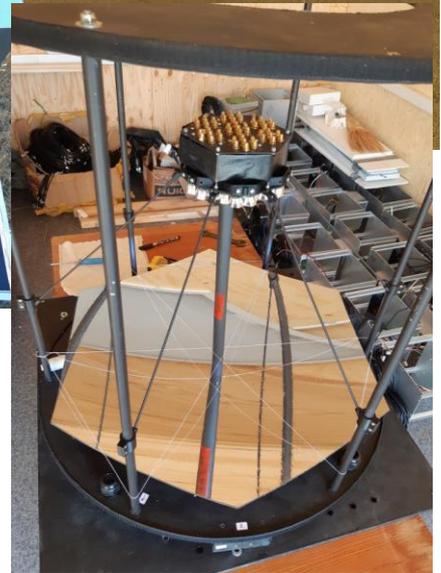
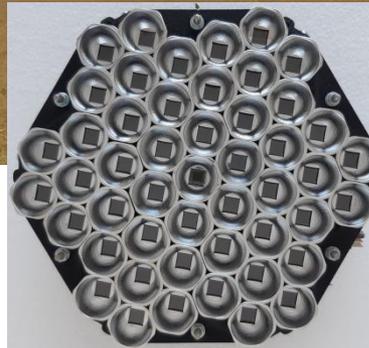
$$\Delta\Omega \sim 0.6 \text{ sr} \gg 0.03 \text{ (for EAS)}$$

# SIT прототип

Prototype SIT (FOV  $\sim 20^\circ$ ,  $S \sim 0.1 \text{ m}^2$ , 49 SIPM SensL MicroFC-60035-SMT,  $6 \times 6 \text{ mm}^2$ ) was installed in the Tunka Valley for operation together with the TAIGA-HiSCORE array in September 2019. – см. Постер Е.Бонвеч и др.



Prototype SIT



## Examples of detected events by the SIT prototype

432024



432884



433114



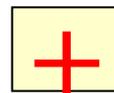
433173



433985



# Успех первой очереди установки TAIGA позволит обсуждать будущее расписание установки



## A site requirement:

- altitude – 2000 m about,
- no artificial light background,
- good astroclimate,
- enough vacant rather flat space,
- acceptable logistic condition,
- availability of electrical power

Tunka, Altay.....??????????



## TAIGA-HiSCORE - array.

A net of 1000 non imaging wide-angle detectors distributed on area 10 km<sup>2</sup> with spacing 100 m about

An EAS core position, direction and energy reconstruction.

TAIGA-IACT - array of 12 - 16 IACT with mirrors – 4.3 m diameter.

Charged particles rejection using imaging technique.

TAIGA-Muon array of scintillation detectors, including underground muon detectors with area -2000 – 3000 m<sup>2</sup>

Charged particles rejection

# 6. Заключение

1. Сформулирована научная программа и завершается развертывание первой очереди комплекса TAIGA – 120 станций HiSCORE и 3 телескопа. Результаты первых тестовых сезонов работы комплекса, как гамма обсерватории вполне успешны:
  - Зарегистрированы сигналы от Краба и Mrk-421
  - Выделены первые “gamma-like” события при совместной работе HiSCORE и Атмосферного черенковского телескопа
2. Комплекс TAIGA расширяет возможности установки Тунка-133 по исследованию космических лучей сверхвысоких энергий. Особенности энергетического спектра в диапазоне  $10^{14}$  -  $10^{18}$  эВ по данным установок Тунка-133 и HiSCORE требуют теоретической интерпретации.
3. Начаты работы по созданию широкоугольных камер для на базе SiPM для совместной работы с HiSCORE

Спасибо за внимание

