

# Поиск источников гамма-излучения сверхвысоких энергий по данным установки TAIGA-HiSCORE



В.С. Самолига\*<sup>а</sup> для коллаборации TAIGA<sup>б</sup>

<sup>а</sup>*Иркутский государственный университет,*

*\*E-mail: samoligavs@gmail.com*

*Skype: vladimir.samoliga*

<sup>б</sup>*Список участников коллаборации*  
<https://taiga-experiment.info/members>



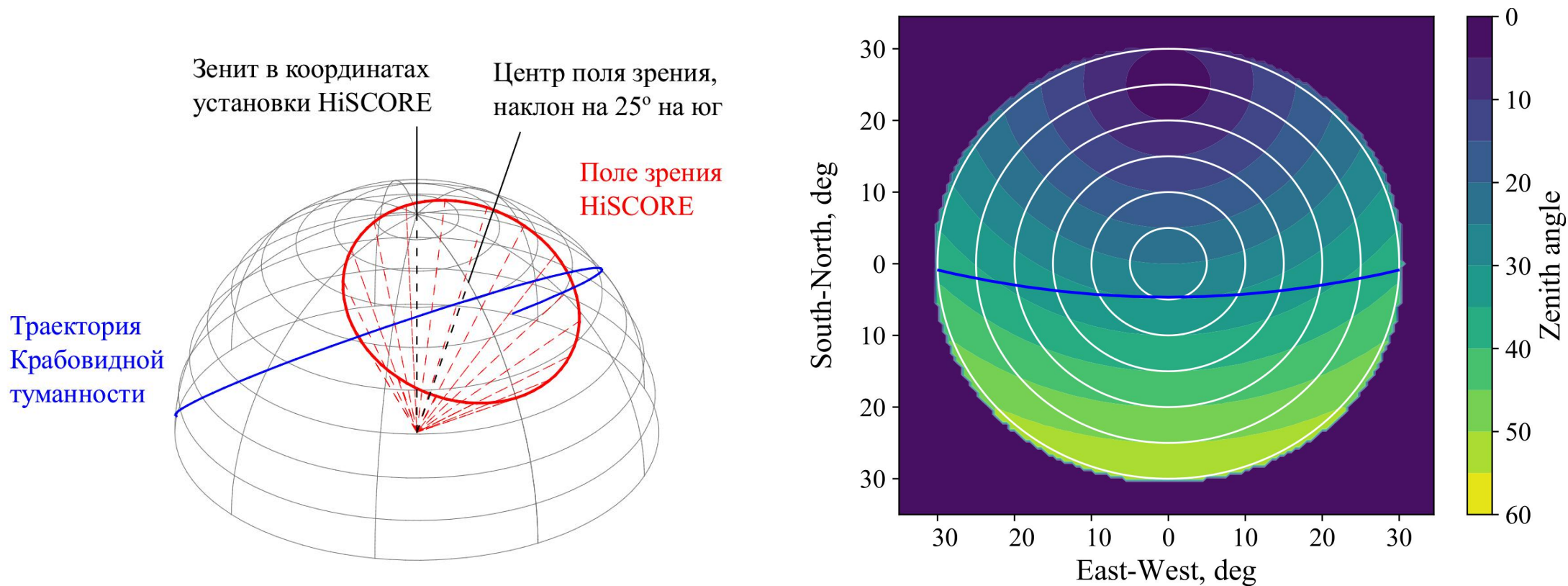
# Тезисы

Установка TAIGA-HiSCORE регистрирует космические лучи с энергиями 50 ТэВ - 1000 ПэВ с помощью широкоугольных детекторов черенковского излучения ШАЛ. Совместная работа установки с телескопами типа IACT нацелена на поиск источников гамма-излучения. Такой поиск предполагает классификацию первичных частиц, порождающих ШАЛ, на гамма-кванты и адроны. В работе предложен метод обнаружения известных источников без применения классификации ШАЛ по превышению сигнала - потока ПЧ от источника - над фоновым потоком. Представлены результаты обработки экспериментальных данных установки TAIGA-HiSCORE. Приведены оценки необходимого уровня сигнала для обнаружения источника предложенным методом.



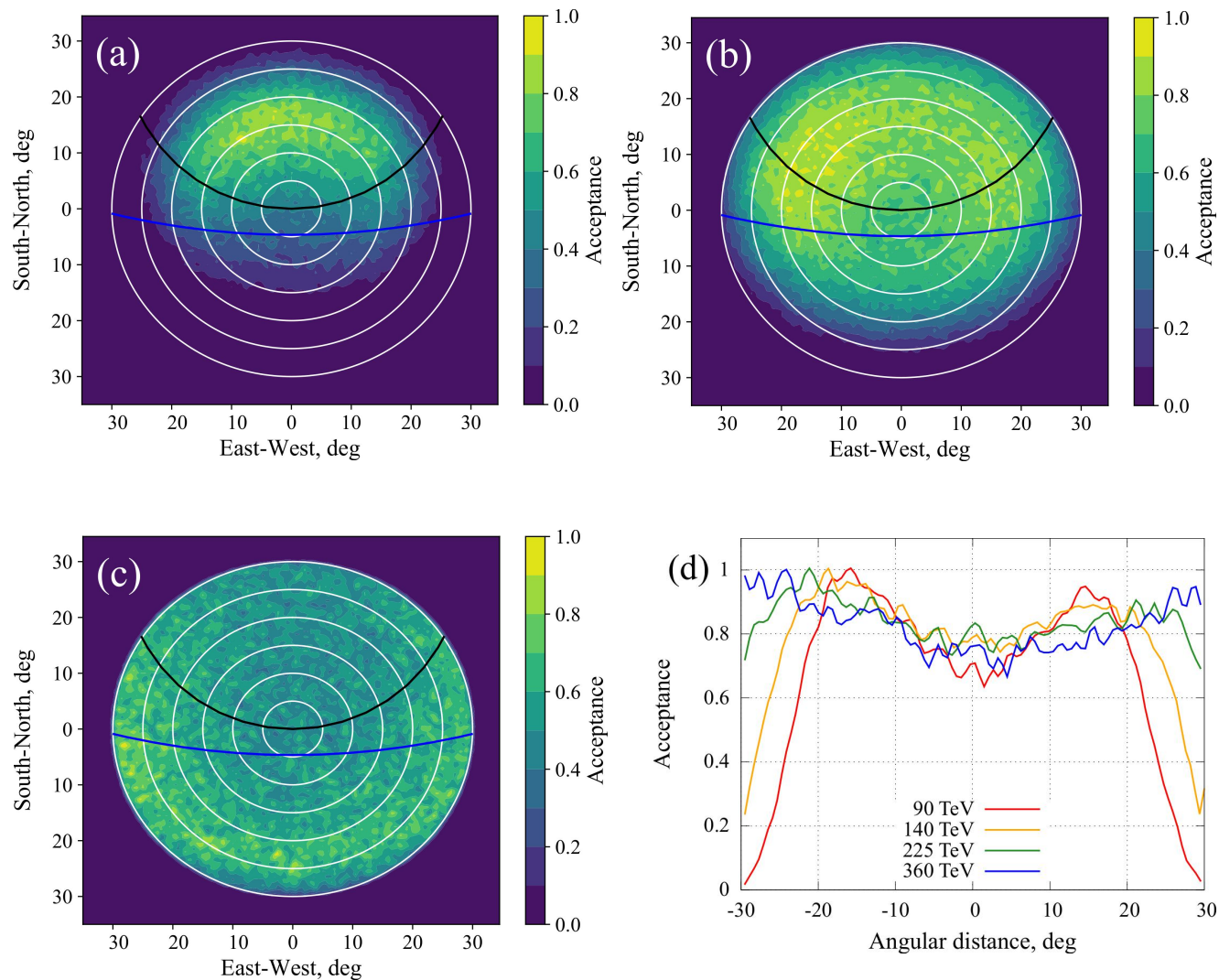


# Поле зрения установки TAIGA-HiSCORE



Система координат (слева) и поле зрения (справа) установки TAIGA-HiSCORE.  
Белые кольца - угловое расстояние от центра поля зрения с шагом 5 градусов.

# Распределение зарегистрированных событий



В работе [2] было определено распределение регистрируемых событий в поле зрения установки, которое связано с конструктивными особенностями детекторов. Итоговое распределение суммируется из зависимости от зенитного угла прихода первичной частицы и углового расстояния от центра поля зрения (радиальное распределение). С ростом энергии события производят больше черенковских фотонов, распределение стремится к равномерному (рисунки слева):

a) 50 - 100 ТэВ

b) 100 - 300 ТэВ

c) 300 - 1000 ТэВ

d) Радиальные распределения

Черные линии на рис. а-с показывают диапазон зенитных углов 24.5-25.5 градусов, в которых проводился отбор событий для определения радиального распределения, при этом снимая зависимость от зенитного угла.

# Метод оценки сигнала

Предполагается, что события, приходящие от точечного источника, регистрируются установкой с некоторой погрешностью, обусловленной угловым разрешением. Пусть разброс событий является двумерным нормальным распределением

$$f(r) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

где  $r$  - угловое расстояние до источника,  $\sigma$  - СКО разброса. Тогда вероятность попадания события в круг радиуса  $R$  есть

$$F(R) = \int_0^{2\pi} \int_0^R \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) r dr d\phi \quad (2)$$

Предлагается проходить по координатной сетке вокруг источника с заданным шагом и в каждой точке суммировать события в радиусе  $R=3\sigma$ , применяя к событиям веса  $w(r)=\exp(-r^2/2\sigma^2)$ , так что

$$S(R) = k \int_0^{2\pi} \int_0^R \rho(r) \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) r dr d\phi \quad (3)$$

где  $k$  - коэффициент нормировки для получения исходного сигнала  $S$ .

В случае наблюдения точечного источника число зарегистрированных событий  $N_s$  распределены как

$$\rho(r) = \frac{N_s}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

Подставив выражение (4) в (3), получим  $S_s = kN_s/2$ , тогда  $k=2$ .

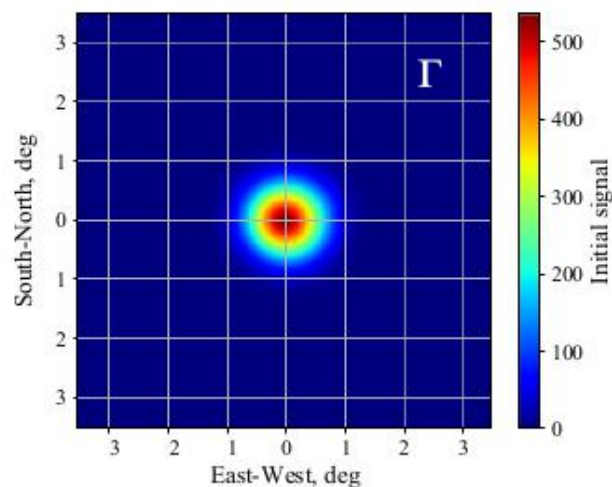
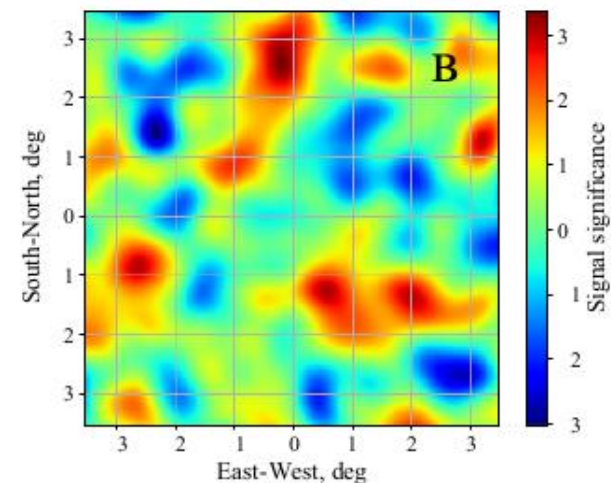
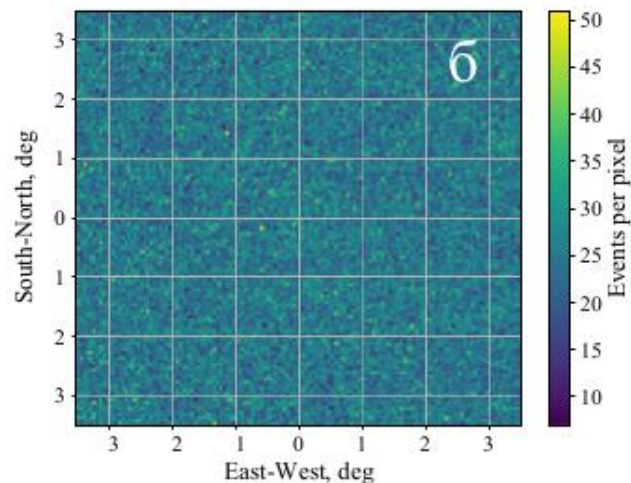
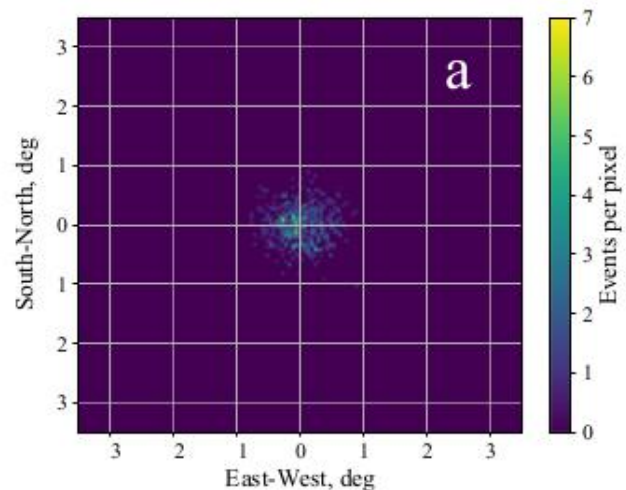
Учитывая среднее значение плотности фоновых событий  $\rho(r)=\rho_{bg}$ , получим условное значение шумового сигнала  $S_{bg}=4\pi\sigma^2\rho_{bg}$ . Это значение используется для определения числа событий от источника  $N_s$ , необходимых для получения достоверного сигнала (5 сигма):

$$N_s = 5\sqrt{S_{bg}} = 5\sqrt{4\pi\sigma^2\rho_{bg}} \quad (5)$$

Так, при  $\rho_{bg}=10^4/\text{град}^2$  и  $\sigma=0.3$  градуса получаем  $N_s=532$ . Ниже на рисунках показаны результаты моделирования такого случая. Стоит учесть, что при недостатке фоновых событий вблизи положения источника требуется  $N_s > 5$  сигма. Например, при значимости сигнала фоновых событий -3 сигма в области источника необходимо иметь  $N_s=8$  сигма.

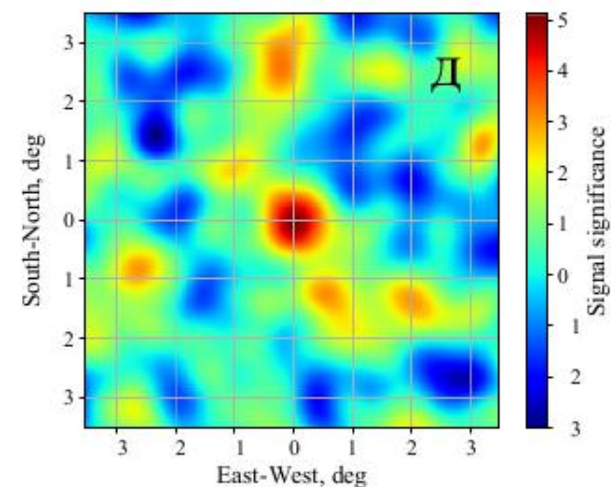


# Метод оценки сигнала



Моделирование источника на фоне шума и его обнаружение предложенным методом:

- а) Распределение событий от источника, регистрируемых с  $\sigma=0.3$  градуса
- б) Распределение фоновых событий и событий от источника
- в) Значимость сигнала без событий источника
- г) Уровень восстановленного сигнала от источника, исходное значение  $N_s$  достигается в точке расположения источника
- д) Значимость сигнала при наличии событий от источника



# Обработка данных установки

Предлагаемый метод оценки сигнала был применён на экспериментальных данных установки TAIGA-NiSCORE за 3 года наблюдений (2017-2020). При этом отбирались события в радиусе 5 вокруг Крабовидной туманности в нескольких энергетических диапазонах. Для каждого диапазона были определены корректирующие веса для событий в соответствии с их распределениями по зенитному углу и радиальному в поле зрения установки. На рисунках справа показаны результаты:

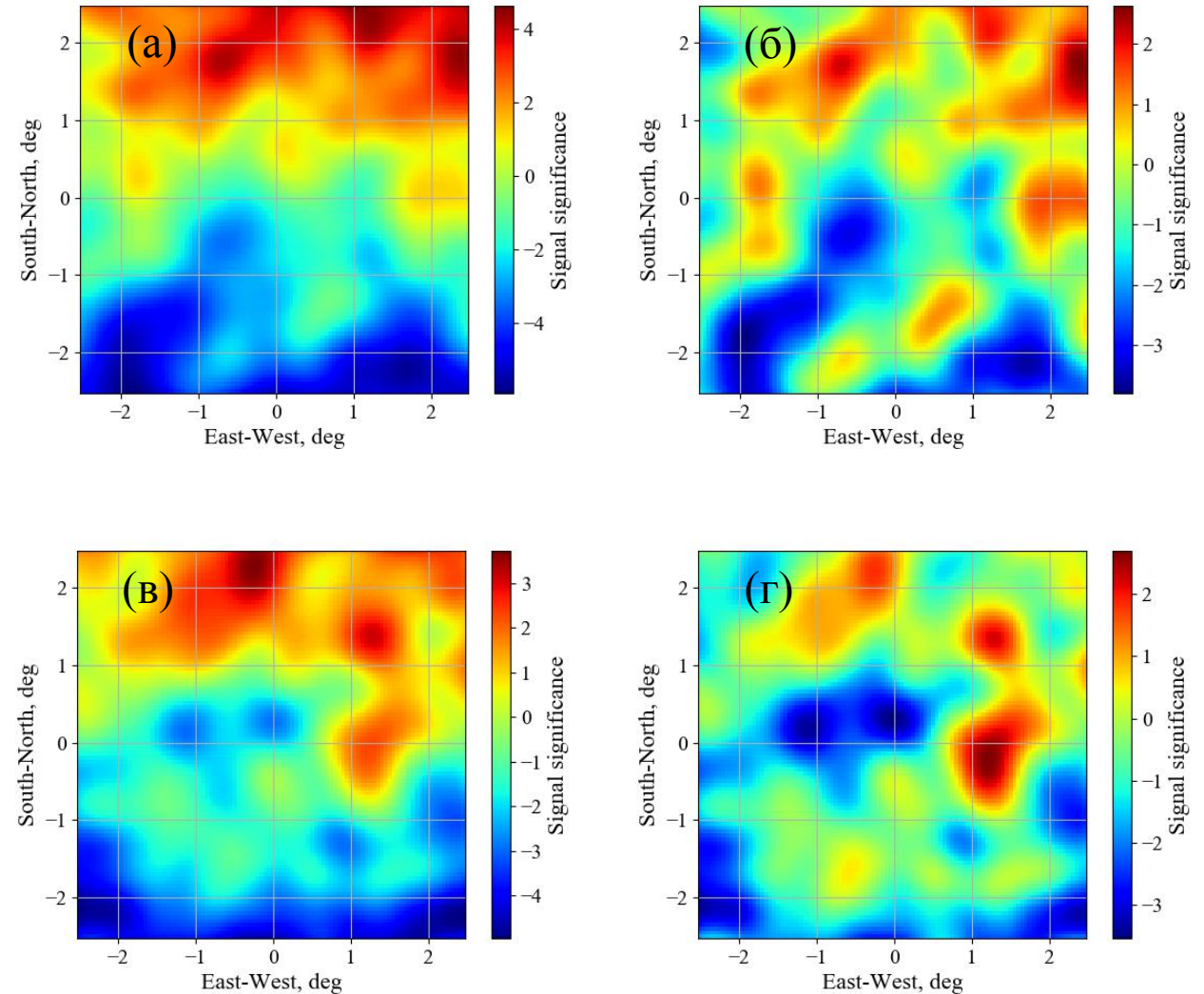
100 -125 ТэВ, около 90 000 событий

а) без коррекции, б) с коррекцией

125 - 160 ТэВ, около 100 000 событий

в) без коррекции, г) с коррекцией

Заметно влияние зависимости от зенитного угла в распределениях событий без коррекции. После коррекции наблюдается приближение распределения к нормальному в пределах  $(-3\sigma, +3\sigma)$





# Заключение

- предложен метод обнаружения источника гамма-излучения по превышению числа событий с направления источника над уровнем фоновых событий от КЛ
- получена оценка соотношения числа событий от источника и фона для обнаружения источника
- метод применён на экспериментальных данных установки TAIGA-HiSCORE. Данные были подготовлены к применению метода путём выравнивания распределения событий вокруг источника с помощью весовых функций, полученных их распределений событий по зенитному углу и радиальному распределению в поле зрения установки
- полученные результаты демонстрируют выравнивание распределений в сторону нормального распределения в диапазоне, близком к  $(-3\sigma, +3\sigma)$
- на данный момент таким методом не удалось обнаружить сигнал от Крабовидной туманности в силу недостаточного числа зарегистрированных событий

# Литература, благодарности

[1] N. Budnev et al., The TAIGA Experiment: From Cosmic Ray Physics to Gamma Astronomy in the Tunka Valley, Phys.Part.Nucl. 49 (2018) no.4, 589-598.

[2] V. Samoliga and A. Pakhorukov, Correction for angular acceptance of the TAIGA-HiSCORE. Journal of Instrumentation, Vol.15 (2020) no.7, C07010--C07010

Работа поддержана Российским научным фондом (грант 19-72-20067), Российским фондом фундаментальных исследований (гранты № 19-52-44002, 19-32-60003) и Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2019-1631)