Баксанская нейтринная обсерватория
Института ядерных исследований
Российской академии наук

ВККЛ-26

Поиск фотонов сверхвысокой энергии от транзиентных источников на установке «Ковер-3» БНО ИЯИ РАН.

Романенко Виктор

Дубна 2026

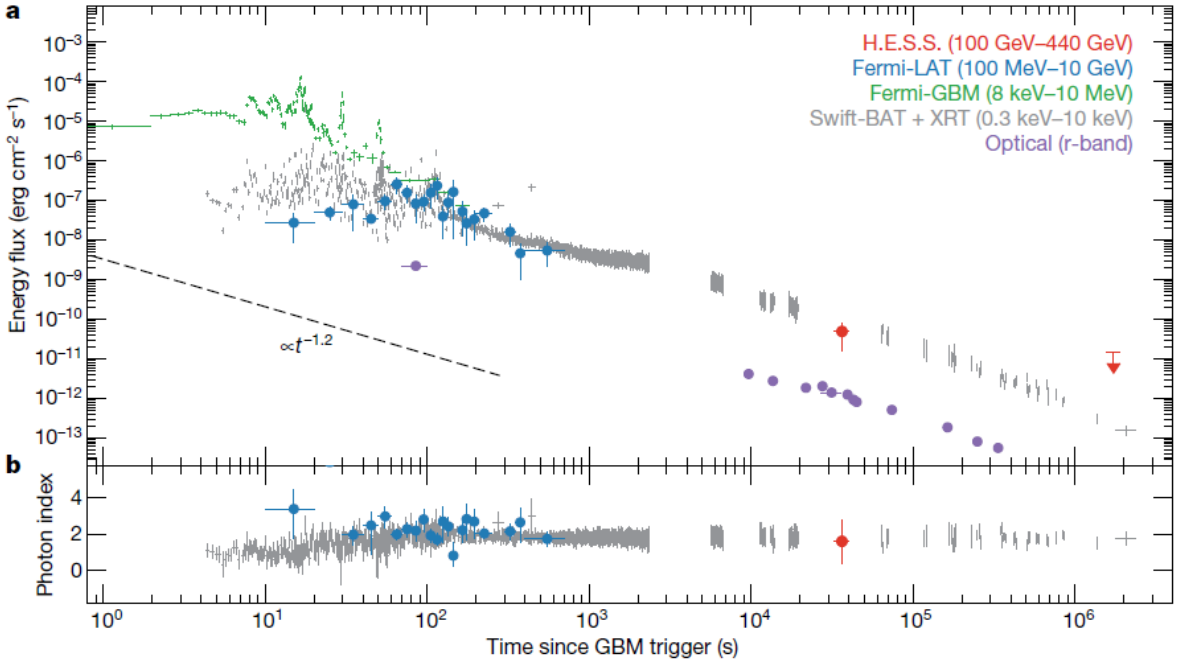
Введение

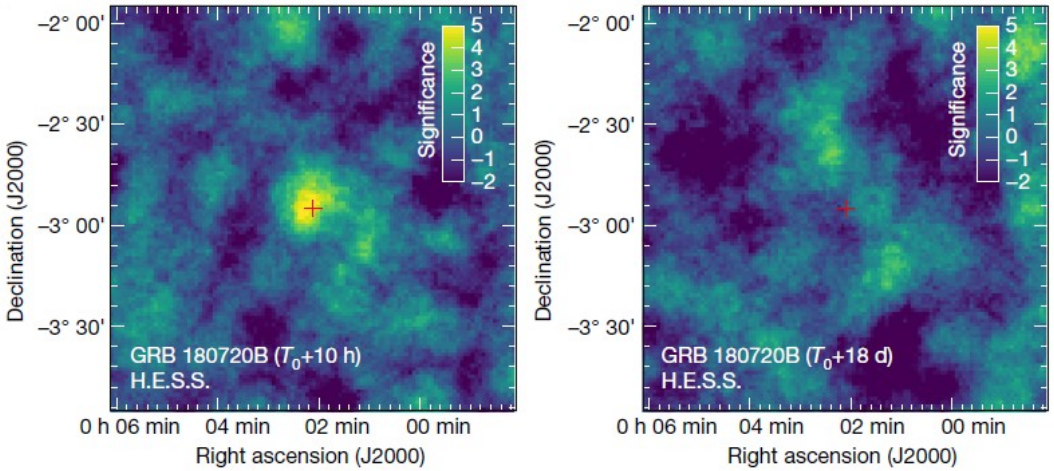
GRB 180720B — первый результат в VHE диапазоне

Зарегистрирован обсерваторией H.E.S.S. (Намибия)
через 10-12 часов после события

119 избыточных гамма-квантов
(стат. знач. ~ 5.3 ст. откл.)

Первое наблюдение гамма квантов с энергией более 100 ГэВ на стадии послесвечения (afterglow), что указало на наличие ускоренных частиц спустя длительное время после взрыва.



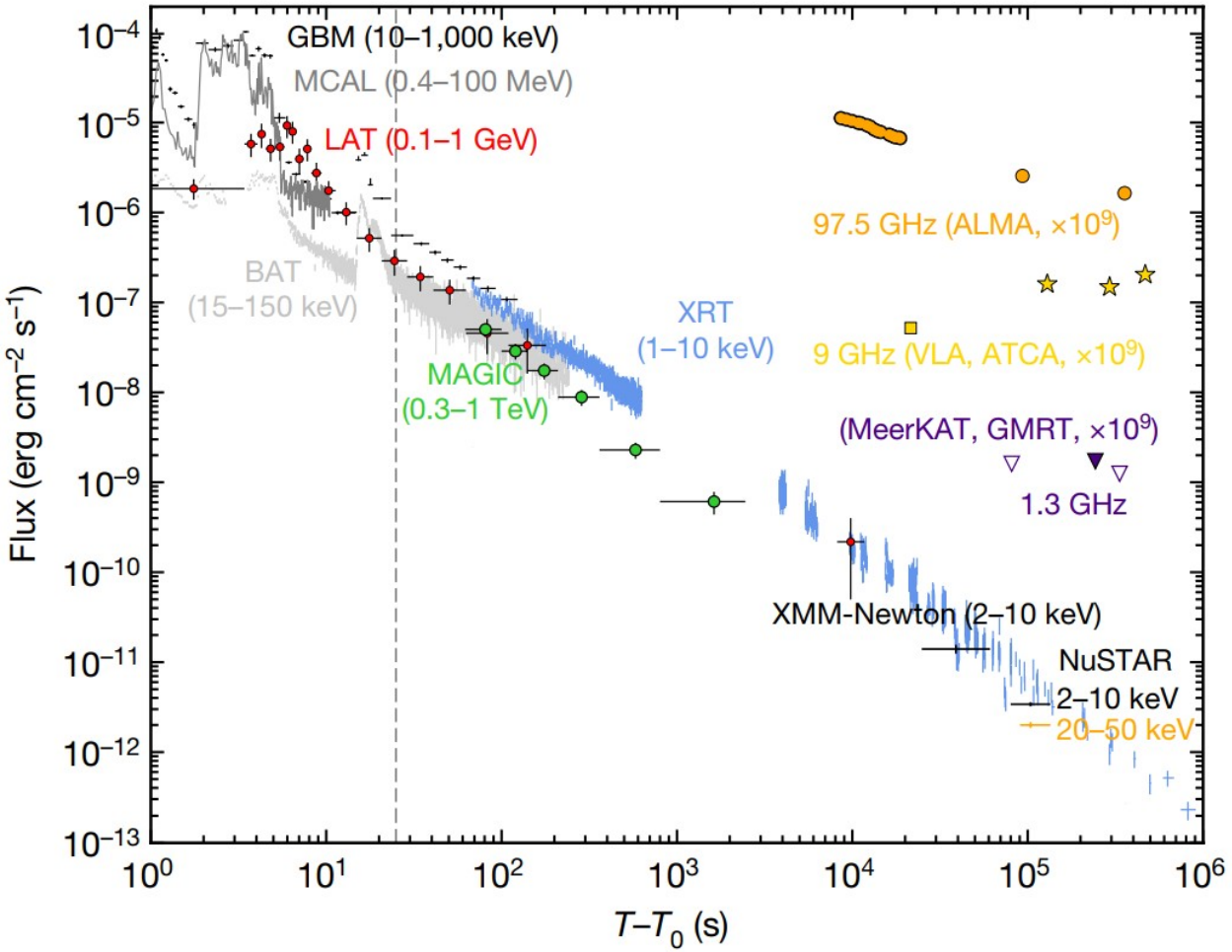


Введение

GRB 190114C – новый этап

Зарегистрирован телескопами MAGIC излучения с энергиями 0.2 - 1 ТэВ, красное смещение z = 0.4245.

Гамма-всплеск всплеск позволил изучить двухкомпонентную природу спектра (синхротронное излучение + обратное комптоновское рассеяние)



Введение

GRB 221009A — самый яркий в истории z = 0.151 (~640 Мпа).

BOAT (Brightest Of All Time — «Самый яркий за всё время»)

Зарегистрирован многими экспериментами.

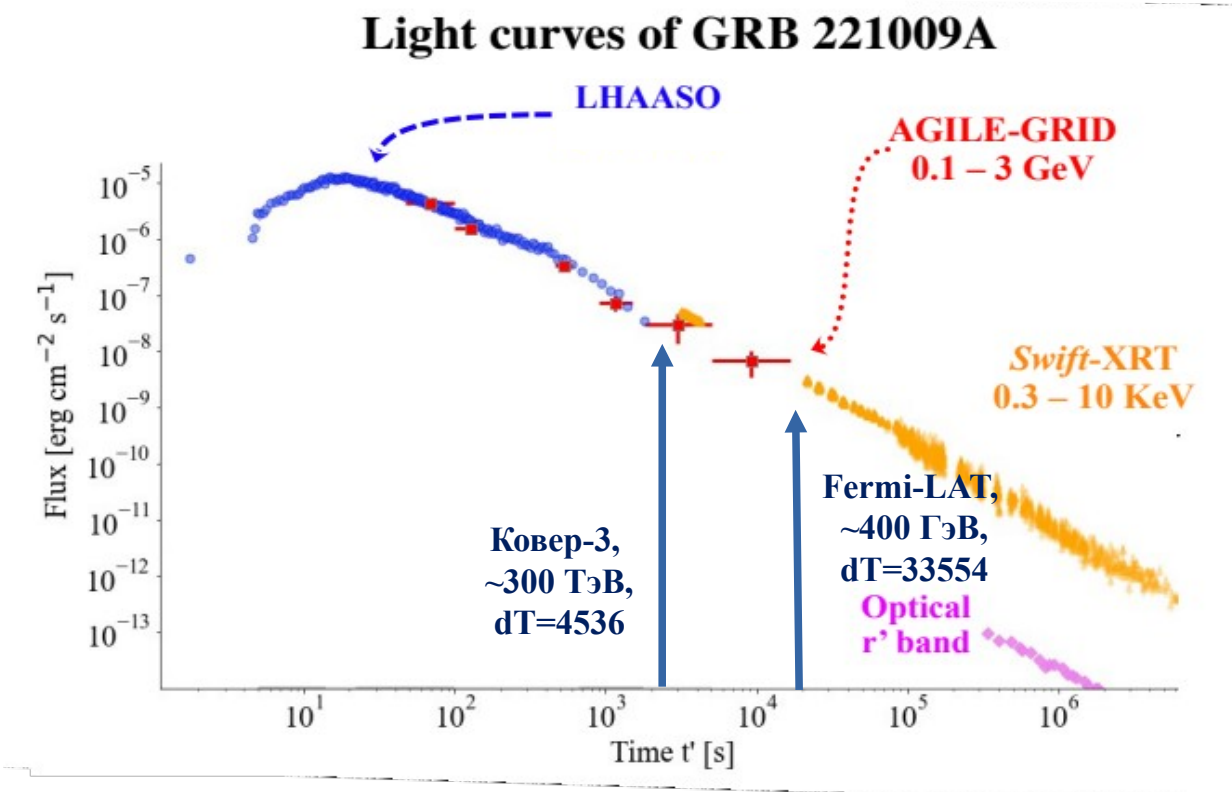
Fermi - GBM&LAT + фотон 400 ГэВ, через 9 ч. (GCN 32748)

Konus-Wind – смог измерить полную энергию всплеска, 0.052 эрг/см² — рекордное значение за почти 28 лет работы

LHAASO – фотоны с энергиями от 0.5 до 18 ТэВ

Ковер-3 – фотоноподобное событие E = 300 TeV
T_0 + 4536 сек

Physical Review D, 111(10), 102005.



The Astrophysical Journal Letters, 973(2), L44.

Введение

Загадка: как фотоны «выжили»?

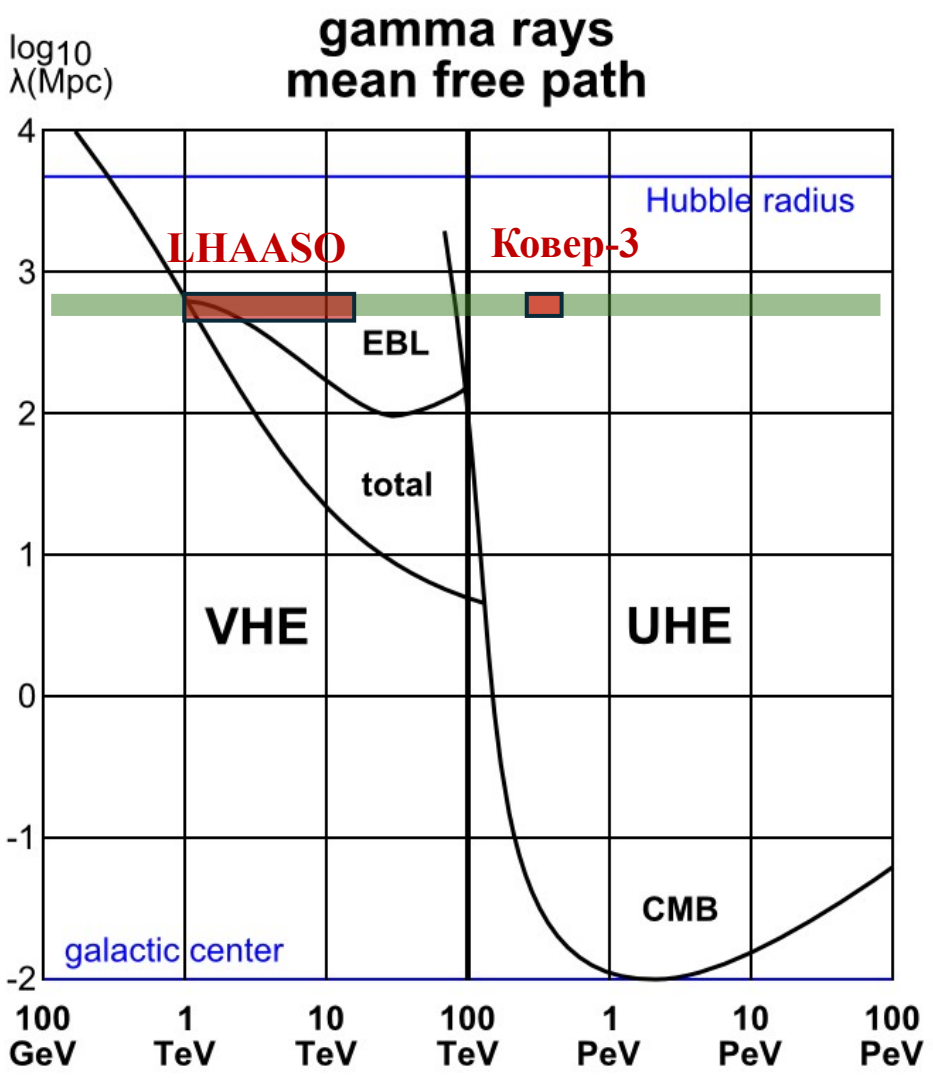
Проблема: Фотоны с энергией в сотни ТэВ должны поглощаться фоновым излучением (EBL + CMB), превращаясь в электрон-позитронные пары.

Можно попытаться объяснить с помощью новых физики

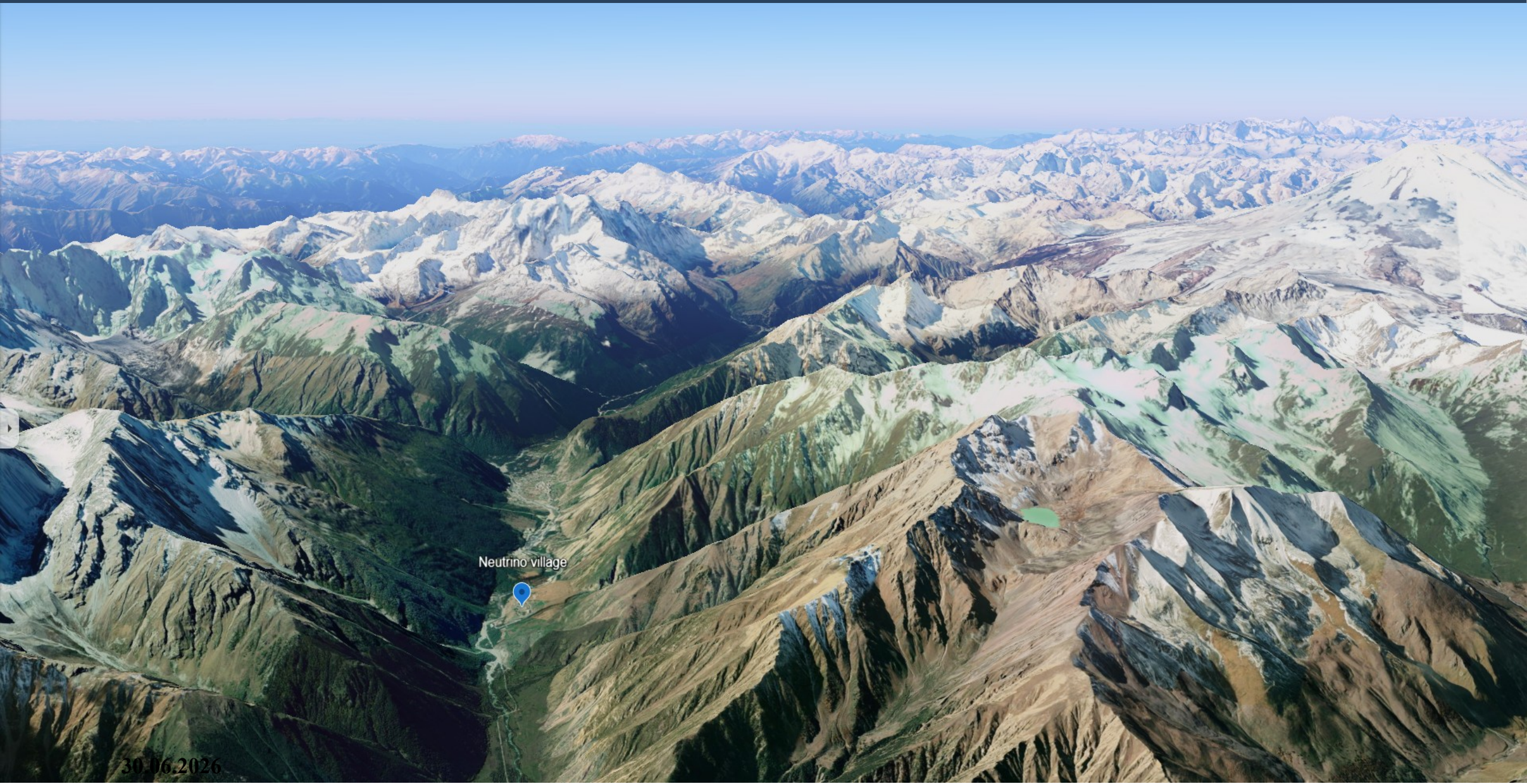
- Нарушение Лоренц-инвариантности;
- Смешивание фотонов с аксионоподобными частицами.

Более классическими

- Рождаются протоны сверхвысоких энергий, а ГЗК-процесс дает вторичные фотоны (из распадов π_0)
- Электромагнитные каскады дают вторичные фотоны



Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН, п. Нейтрино

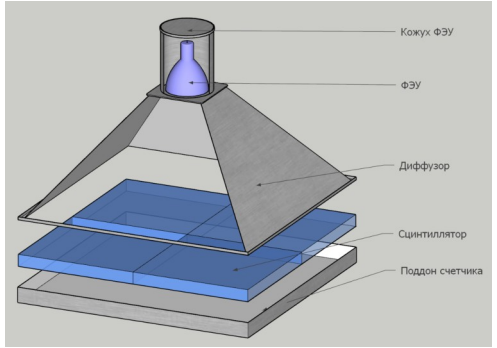


Установка «Ковер-3»

Набор данных 410 м² с 6 июня 2022 года

Подземный мюонный детектор

Два паралельныйх туннеля, каждый 205 м², порог 1 ГэВ.



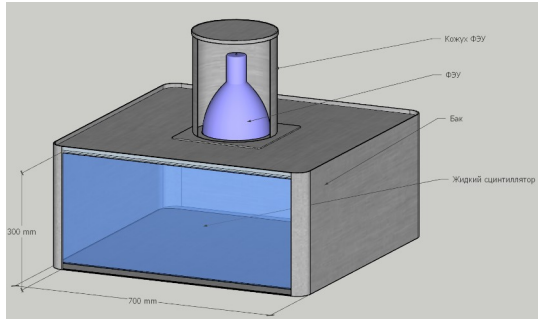
Четыре пластины сцинтиллятора, 50×50×5 см³ каждая.

1 р.ч. ~ 10 МэВ

Наземная часть

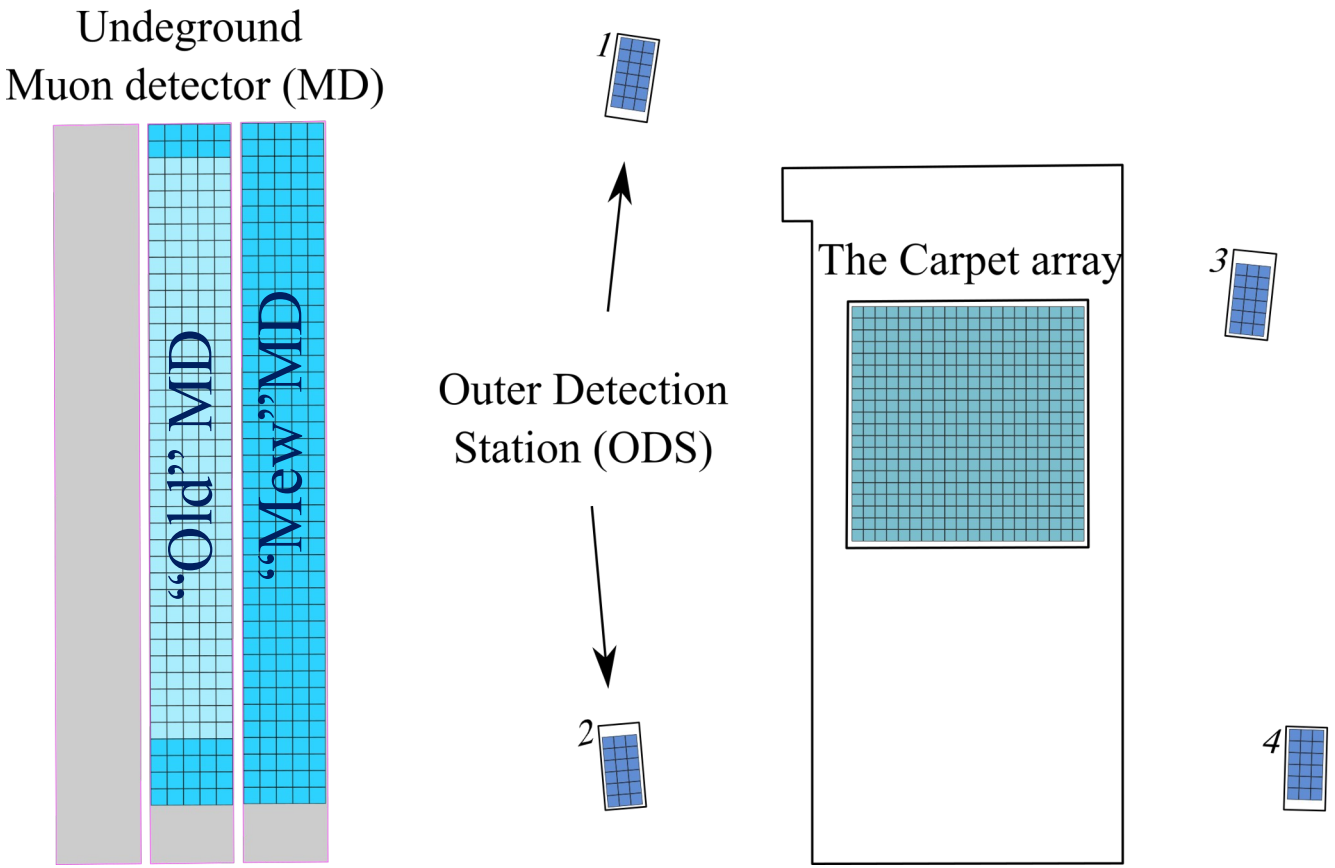
Ковер – 400 дет. на основе жидкого сцинтиллятора, эфф. площадь ~159 м²

Выносные пункты регистрации, 18 дет., площадь каждого ~ 9 м²



Бак объемом 70×70×30 см³, объем 150 литров

1 р.ч. ~ 50 МэВ



Реконструкция параметров ШАЛ

Основным критерием для восстановления является локализация оси ШАЛ в пределах установки **«Ковёр»**.

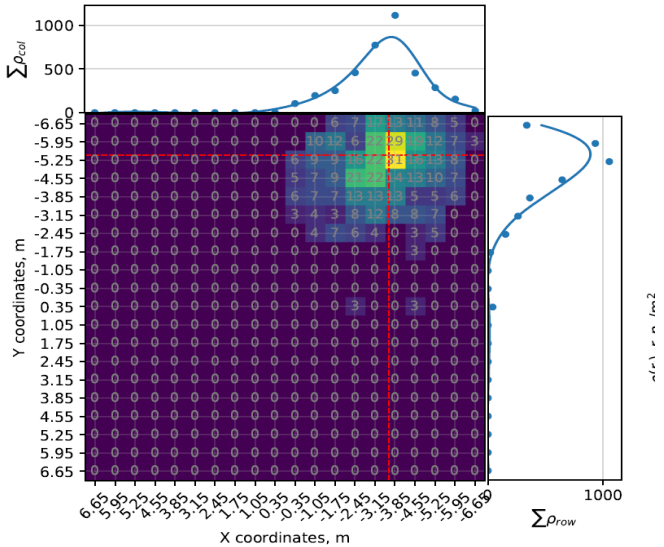
Для измерения энерговыделения (плотности частиц), используются логарифмические **LC-преобразователи**, преобразуют сигнал с **7-го** динода ФЭУ в длительность t_i, пропорциональную логарифму энерговыделения. Кол-во р.ч. в детекторе оценивается выражением:

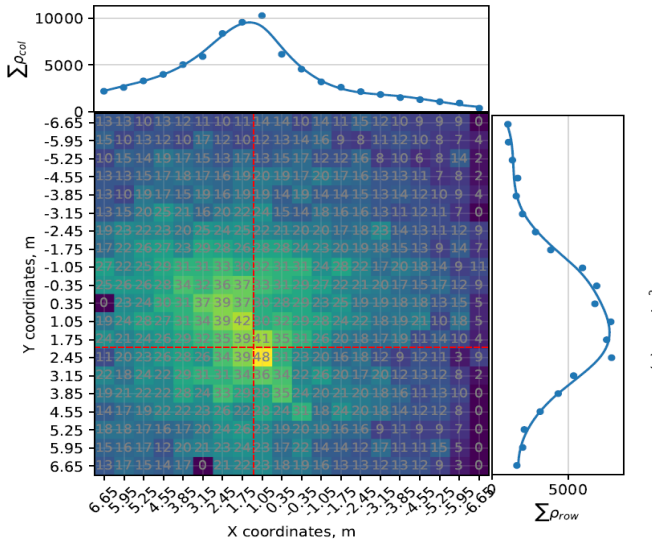
$$\rho_0 = 8 \cdot 1.12^{t_i - 1} / S_0$$

Мощность $N_{р.ч.}$ и возраст s **ШАЛ** вычисляется путем фитирования не модифицированной **НКГ** функции:

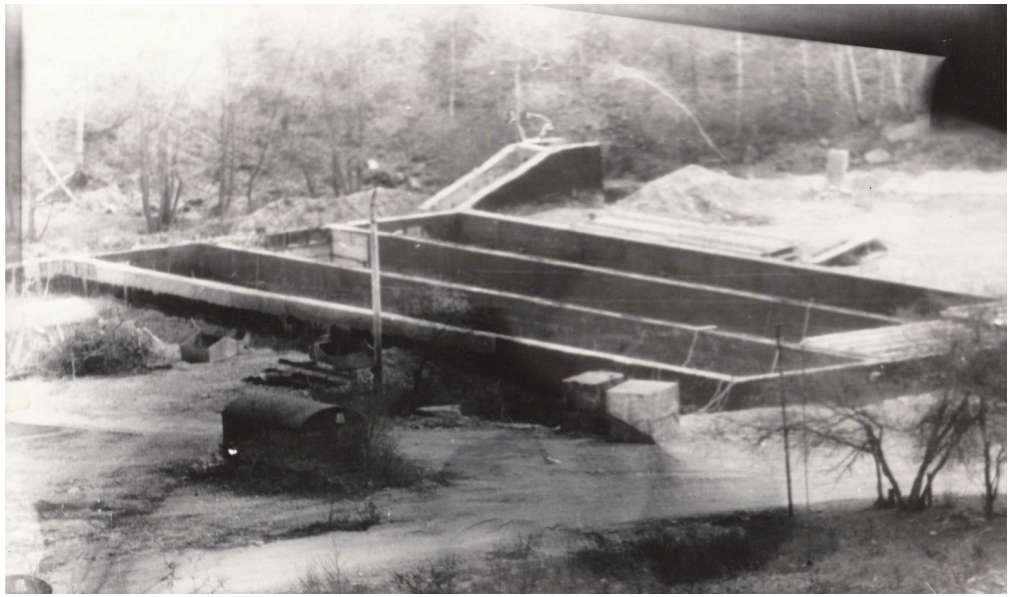
$$\rho_{р.ч.}^{НКГ}(r, s) = \frac{N_{р.ч.}}{r_m^2} \cdot C(s) \cdot \left(\frac{r}{r_m}\right)^{s-2} \cdot \left(1 + \frac{r}{r_m}\right)^{s-4.5}$$

Направление прихода **ШАЛ** (θ, φ) вычисляется с использованием относительных временных задержек **ВПР**.
Угловое разрешение установки **4.7 градуса** (90% событий)

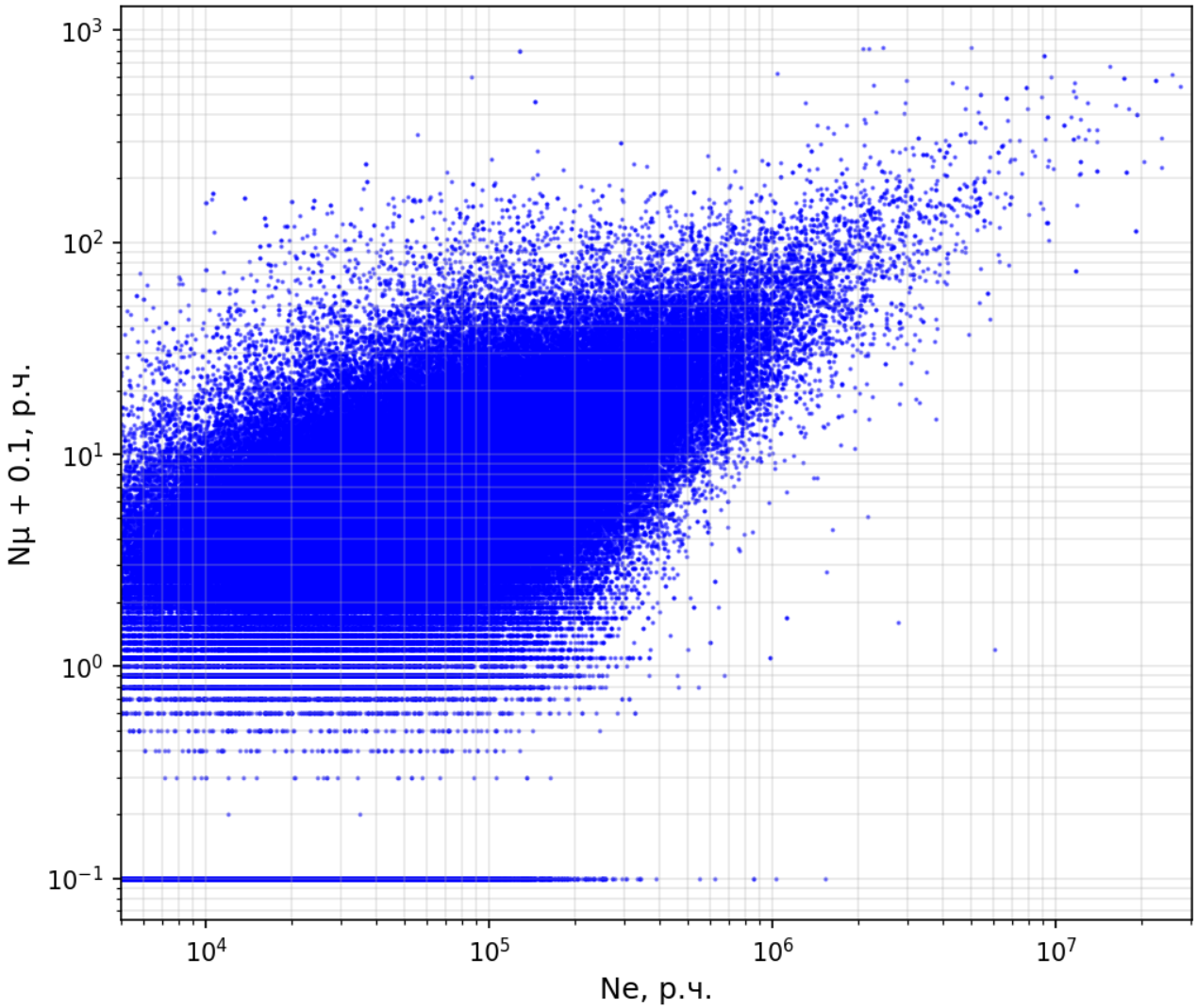


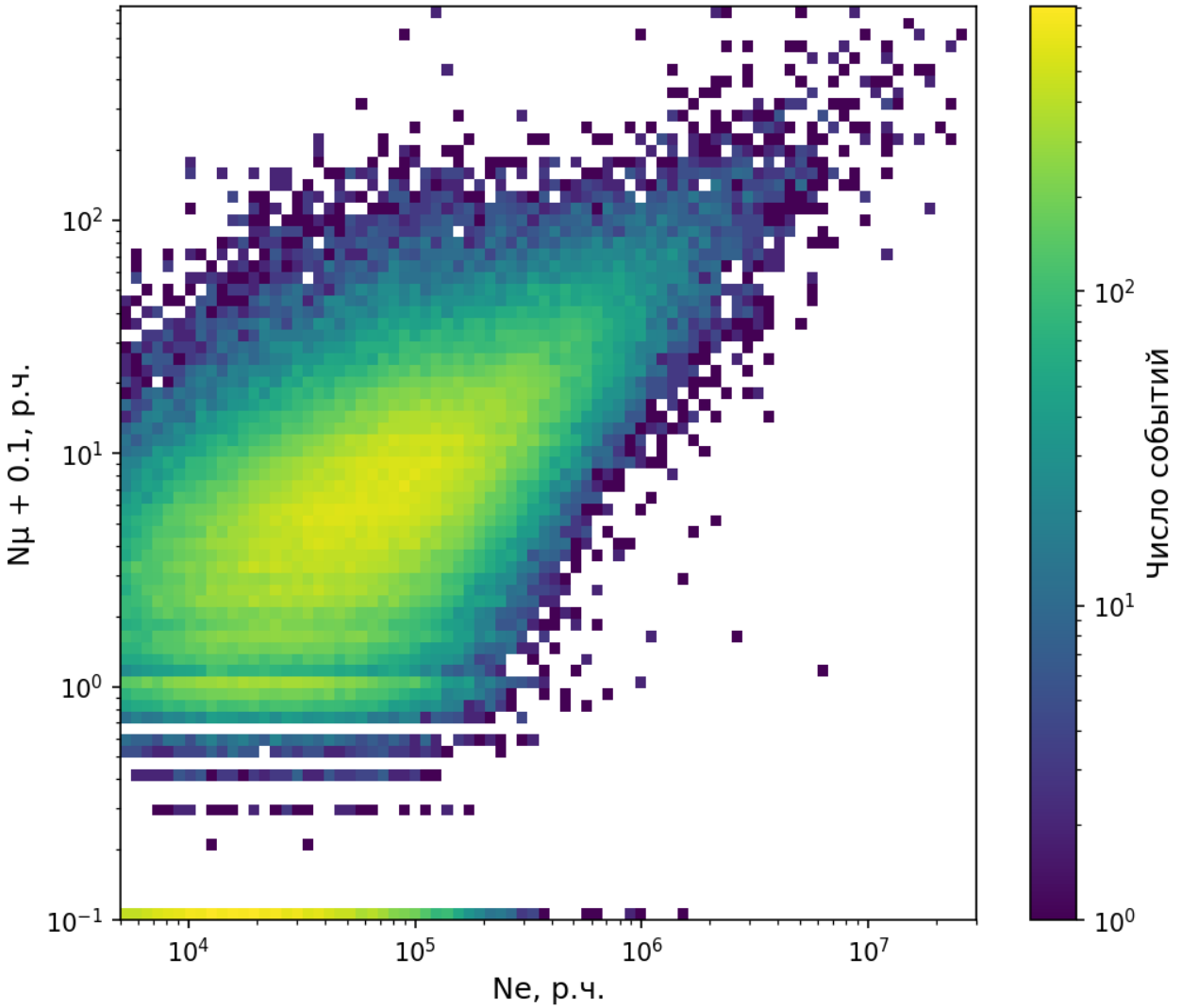


Установка «Ковер-3»

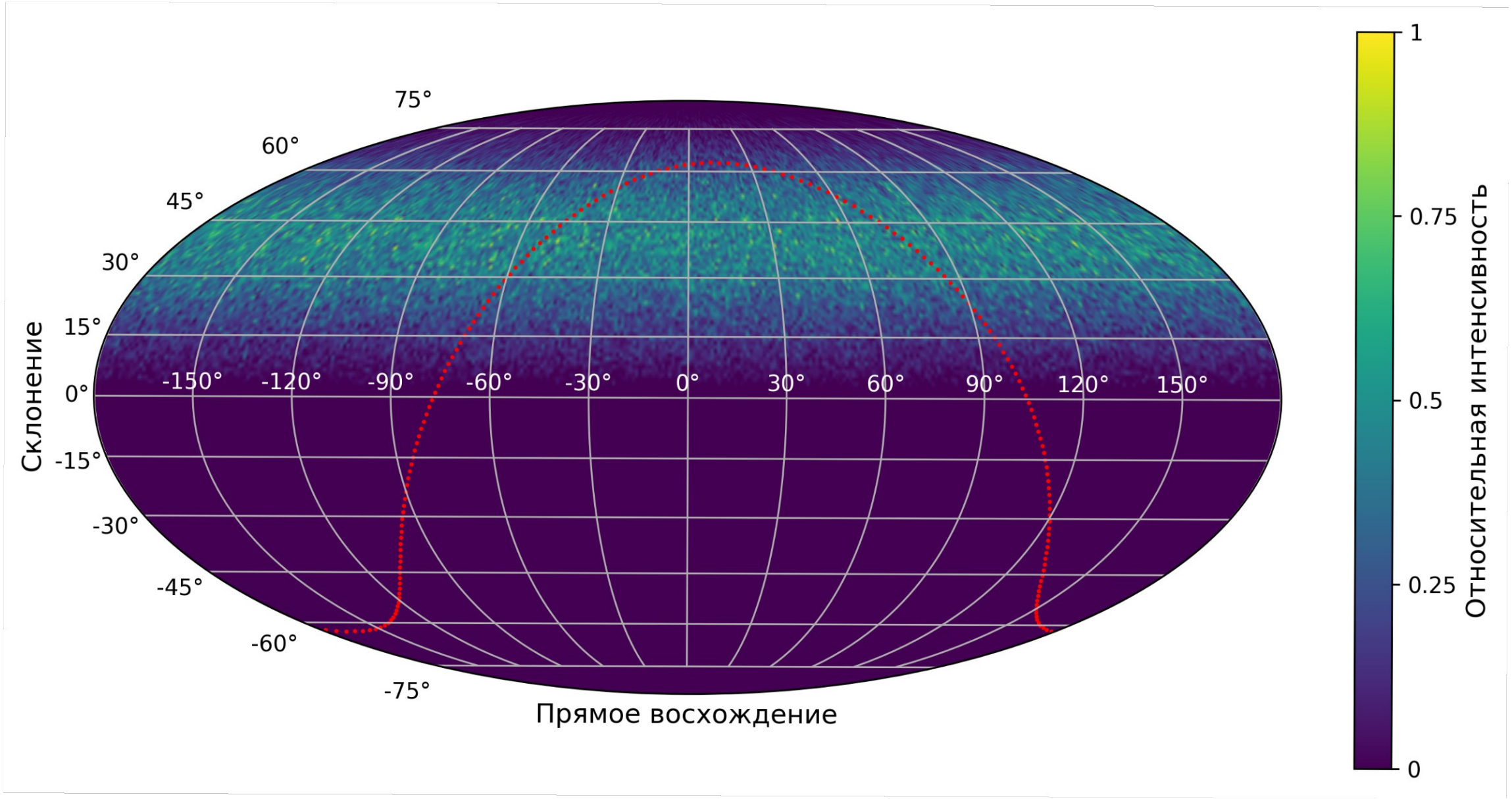


Распределение $N_{р.ч.}$ - n_{μ}



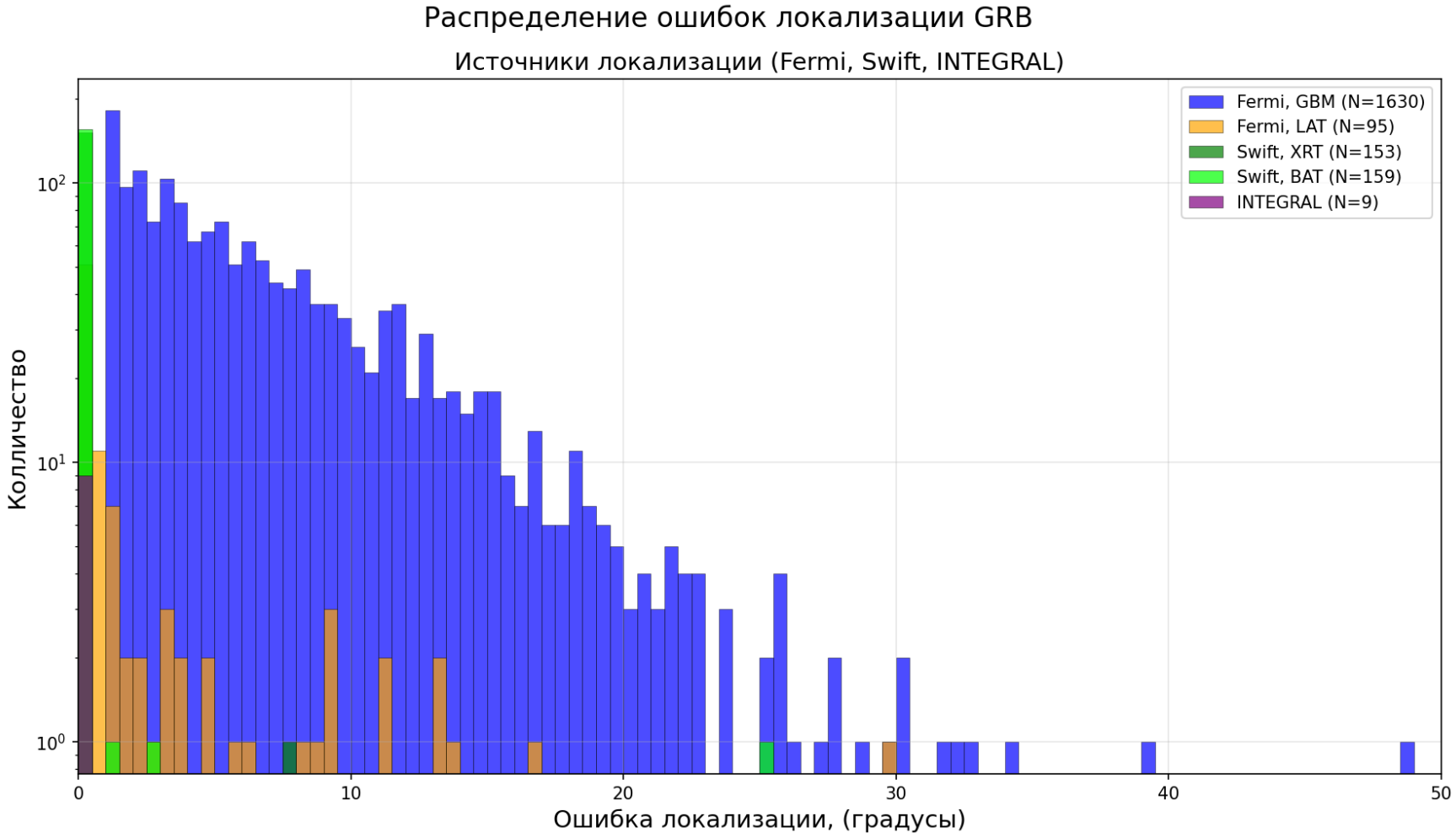


Распределение всех событий на небесной сфере



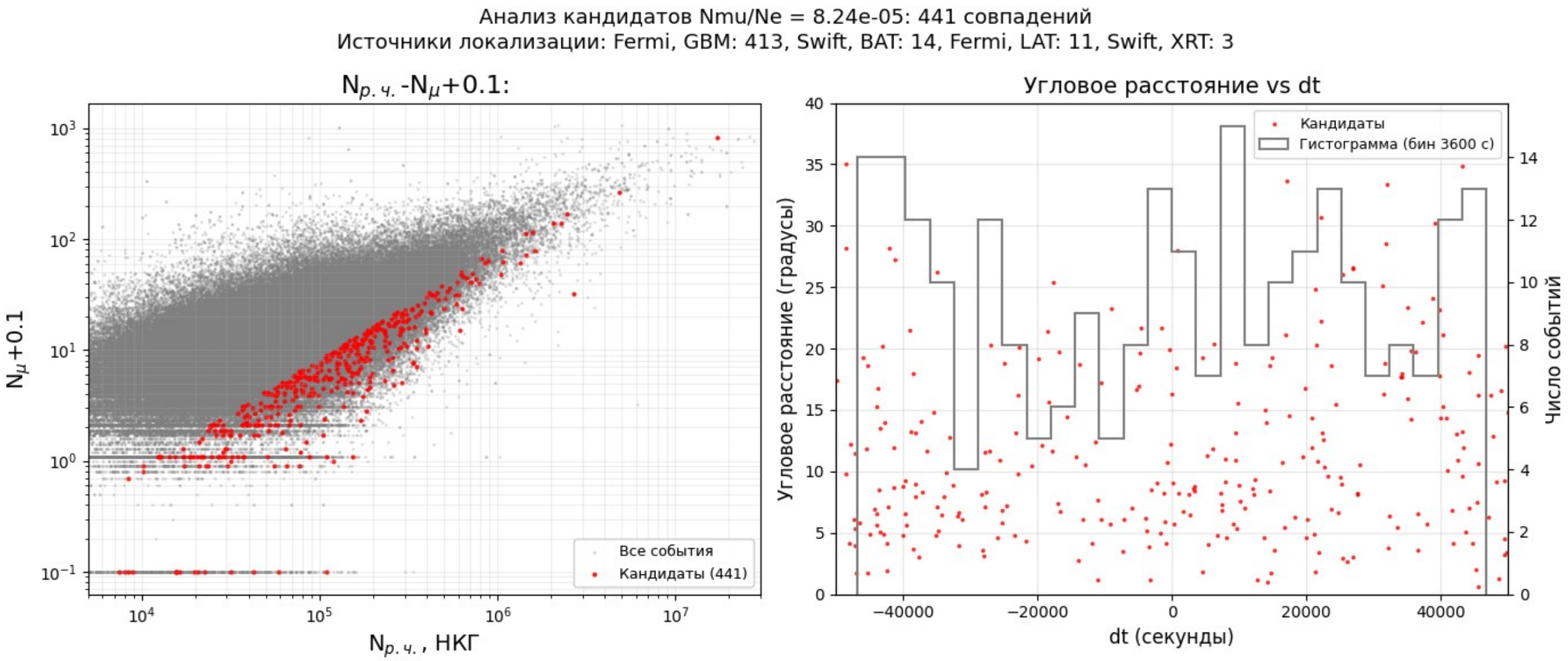
Гамма-всплески, данные HEASARC

Fermi / Swift / Integral

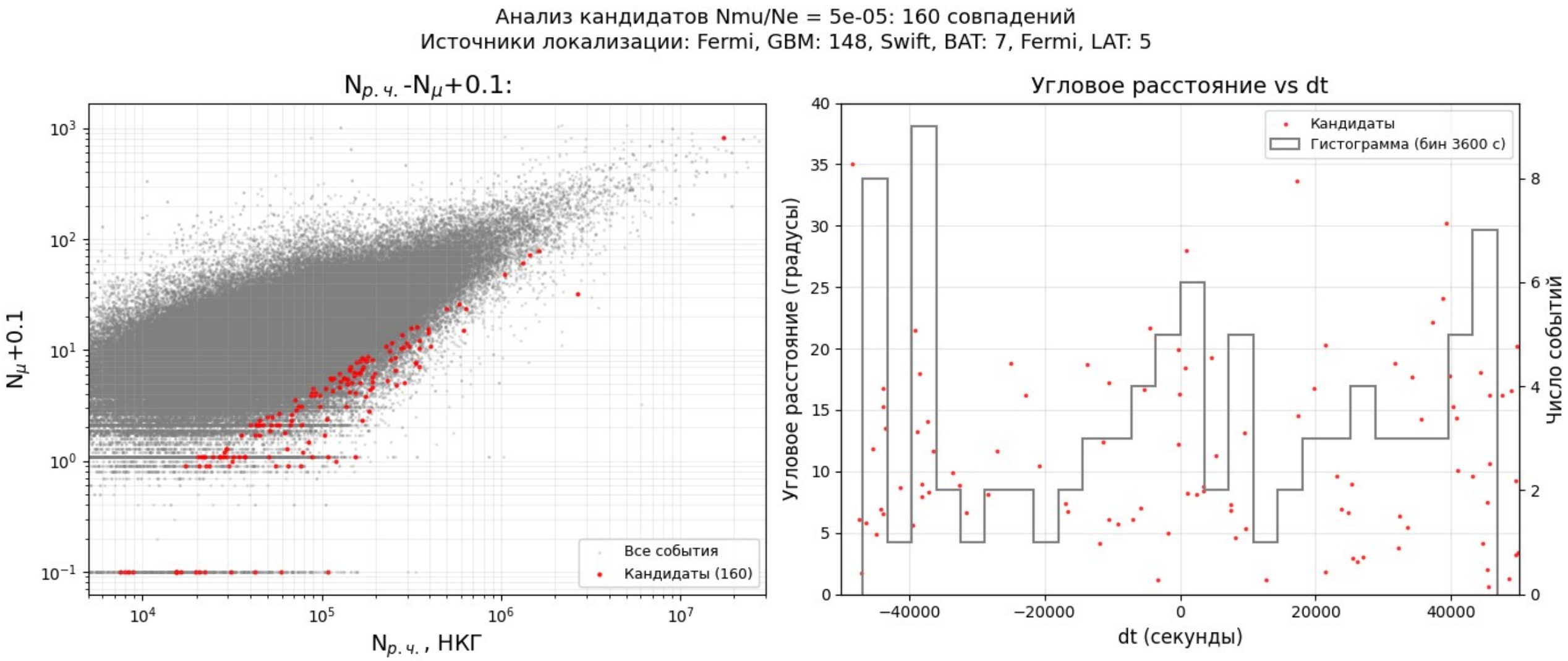


https://heasarc.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/W3Browse/w3browse.pl

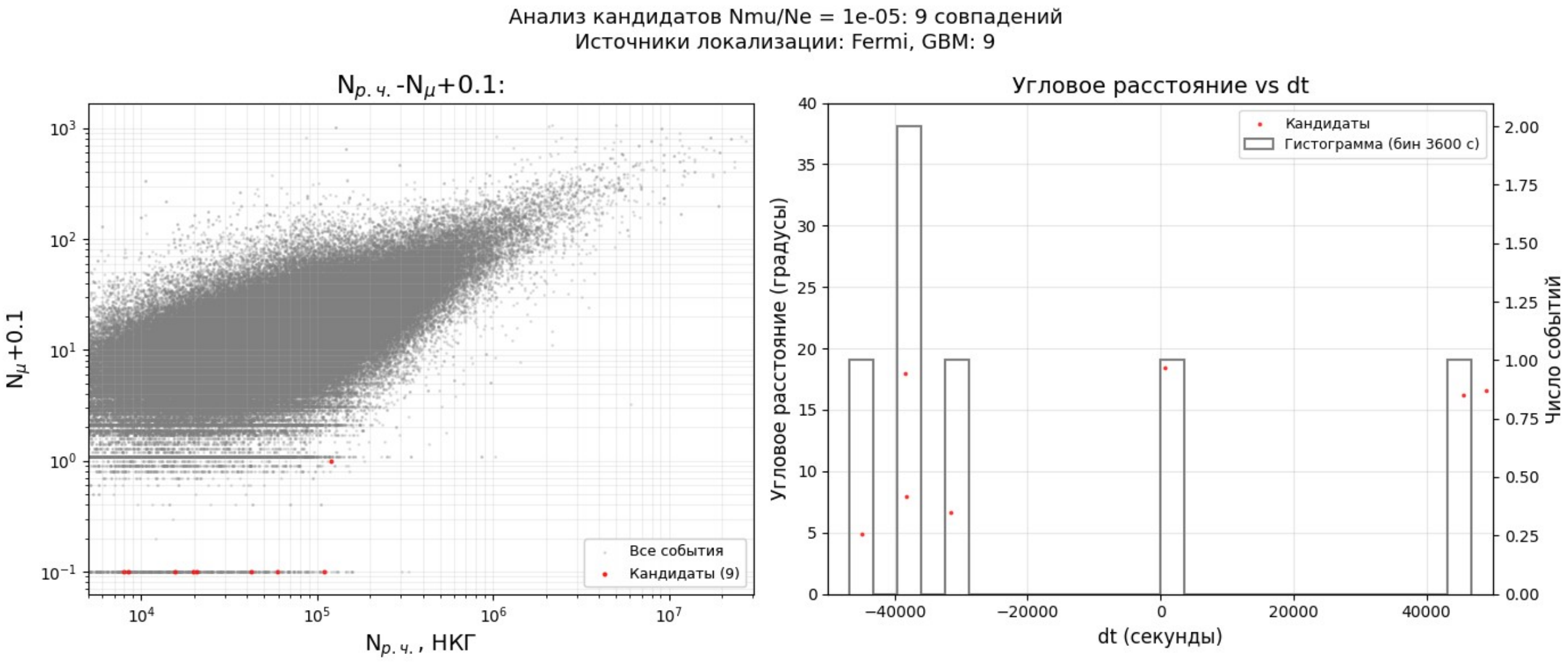
Совпадения, n_μ / $N_{р.ч.}$ = $8.25 \cdot 10^{-5}$ (GRB221009A)

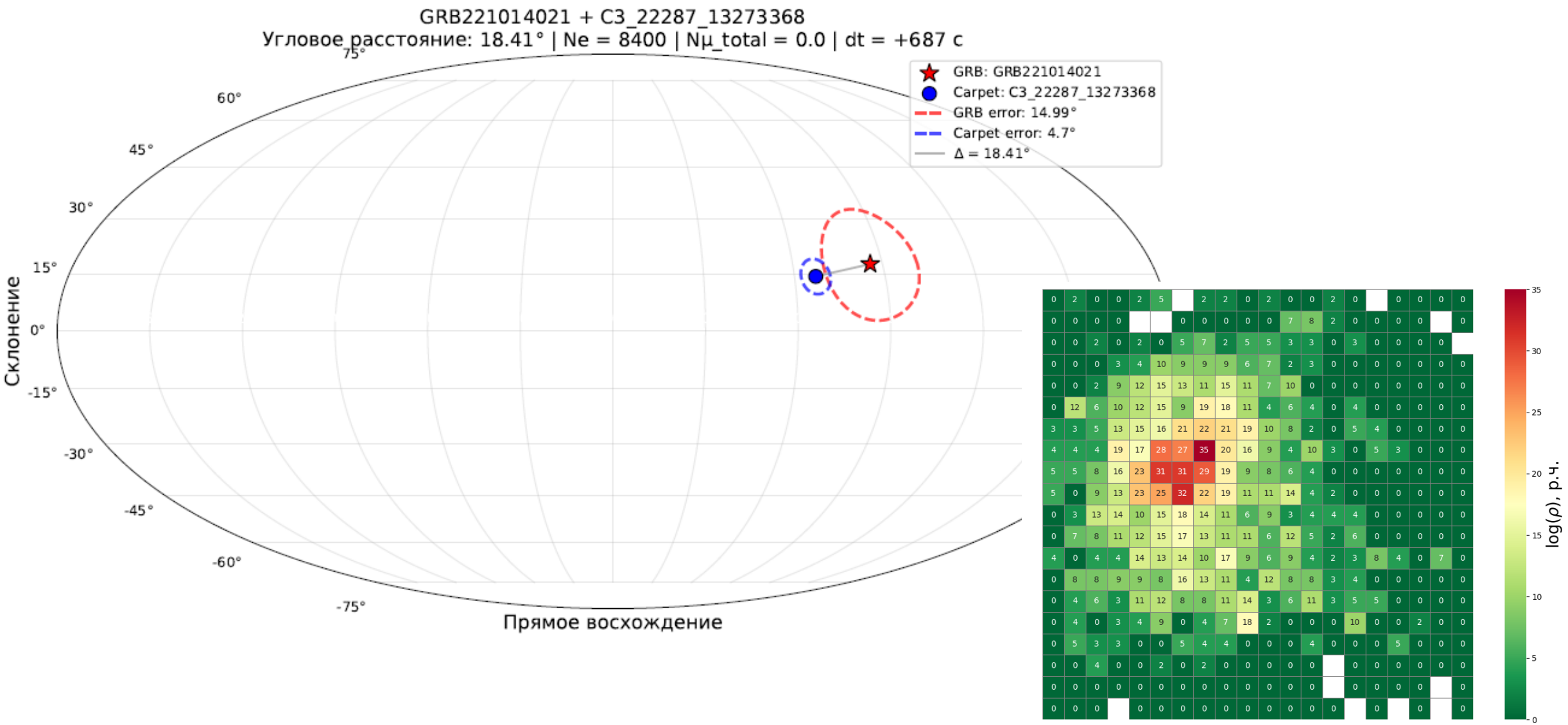


Совпадения, $n_\mu / N_{р.ч.} = 5 \cdot 10^{-5}$



Совпадения, $n_\mu / N_{р.ч.} = 10^{-5}$




GRB221014021 + C3_22287_13273368
Угловое расстояние: 18.41° | Ne = 8400 | Nμ_total = 0.0 | dt = +687 c
GRB: GRB221014021
Carpet: C3_22287_13273368
GRB error: 14.99°
Carpet error: 4.7°
Δ = 18.41°
75°
60°
45°
30°
15°
0°
-15°
-30°
-45°
-60°
-75°
Склонение
Прямое восхождение
log(ρ), р.ч.
35
30
25
20
15
10
5
0

Заключение

- **На установке «Ковер-3» ведется набор данных с июня 2022 года и по настоящее время**

- **Гамма-всплеск GRB221009A подстегнул поиск возможных совпадений с другими транзиентами.**

- **Кандитов в фотоноподобные события совпавших с гамма-всплесками не обнаружено, совсем.**

- **Ограничения на потоки гамма-квантов от транзиентных источников будут опубликованы.**

Спасибо за внимание!

The Carpet-3 collaboration

D. D. Dzhappuev[1], I. M. Dzaparova[1,2], T. A. Dzhatdoev[1,3], I. S. Karpikov[1], M. M. Khadzhiev[1], N. F. Klimenko[1], A. U. Kudzhaev[1], A. N. Kurenya[1], A. S. Lidvansky[1], O. I. Mikhailova[1], V. B. Petkov[1,2], N. A. Pozdnukhov[1], V. S. Romanenko[1], G. I. Rubtsov[1], S. V. Troitsky[1,3], I. B. Unatlokov[1], N.A. Vasilev[1] , A. F. Yanin[1], K. V. Zhuravleva[1]

[1] Institute for Nuclear Research of the RAS, Moscow, Russia

[2] Institute of Astronomy, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[3] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia