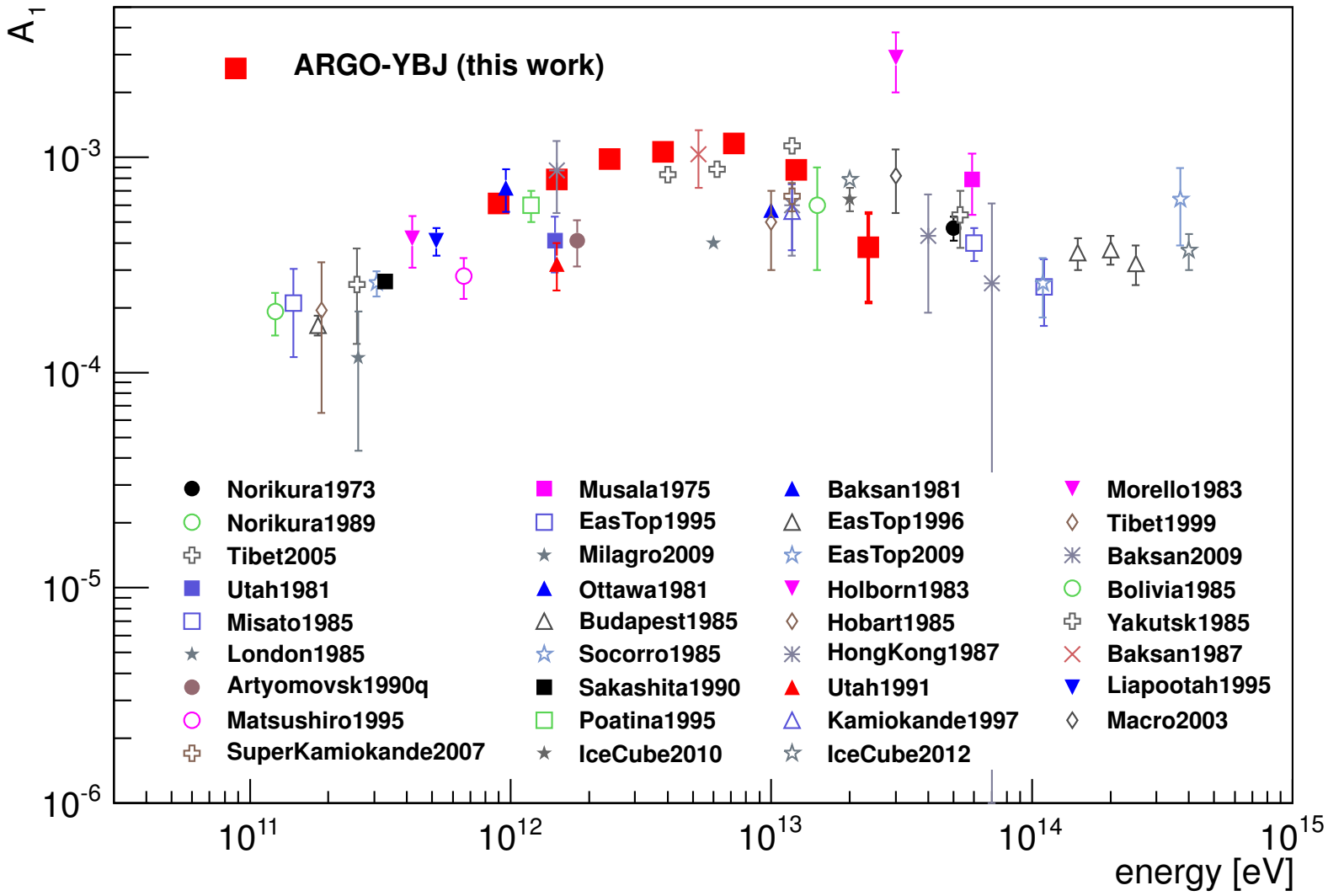
Области повышенного потока космических лучей по данным установок ФИАН и МГУ

Е. Н. Гудкова (1), М. Ю. Зотов (2), Н. Н. Калмыков (2),
Г. В. Куликов (2), Н. М. Нестерова (1), В. П. Павлюченко (1)

1. Физический институт им. П. Н. Лебедева
Российской Академии наук
2. Научно-исследовательский институт ядерной физики
им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова

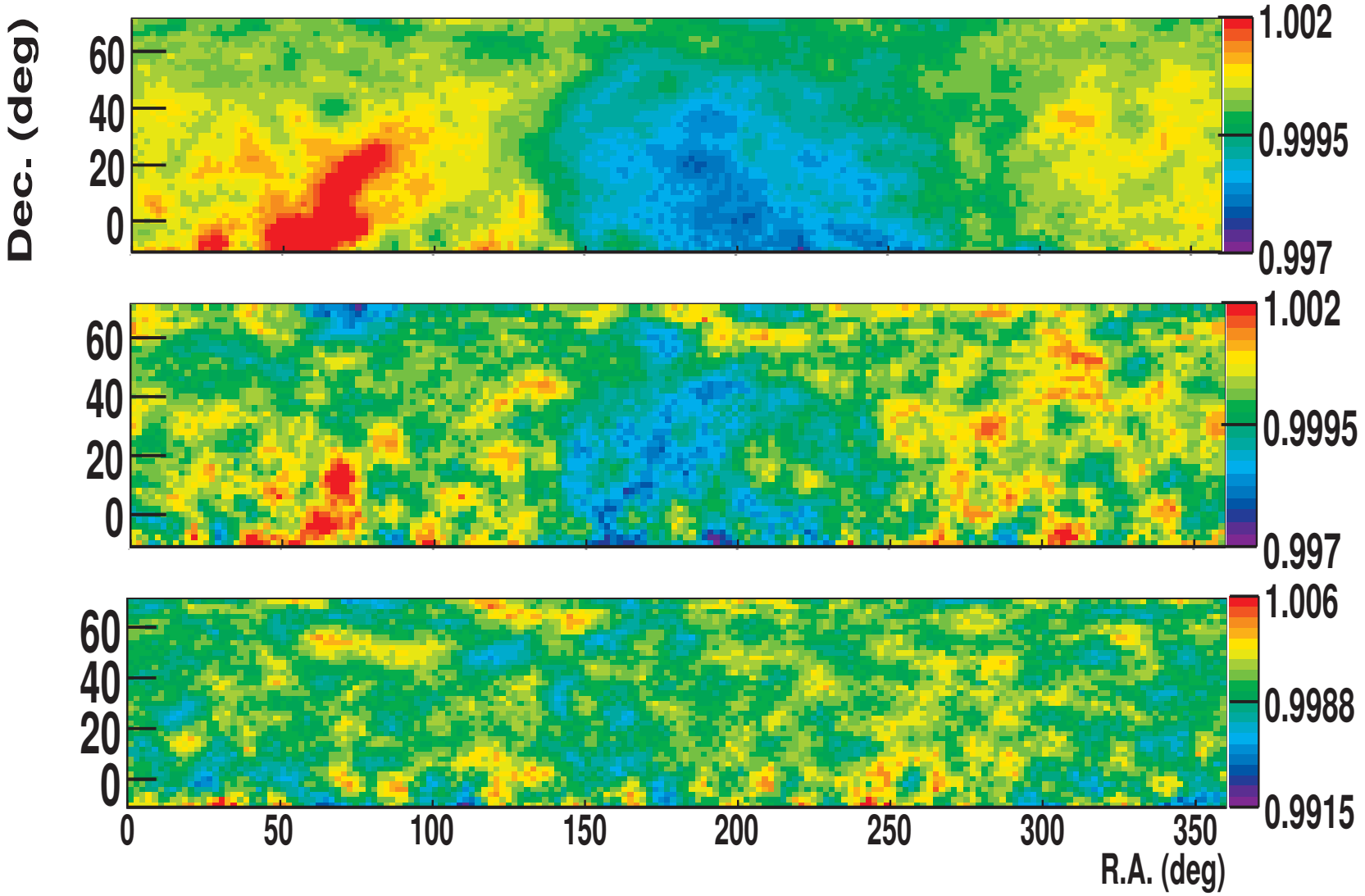
ВККЛ 2014, Дубна

Крупномасштабная анизотропия КЛ



Амплитуда первой гармоники как функция энергии
[Di Sciascio, `arXiv:1210.2635`]

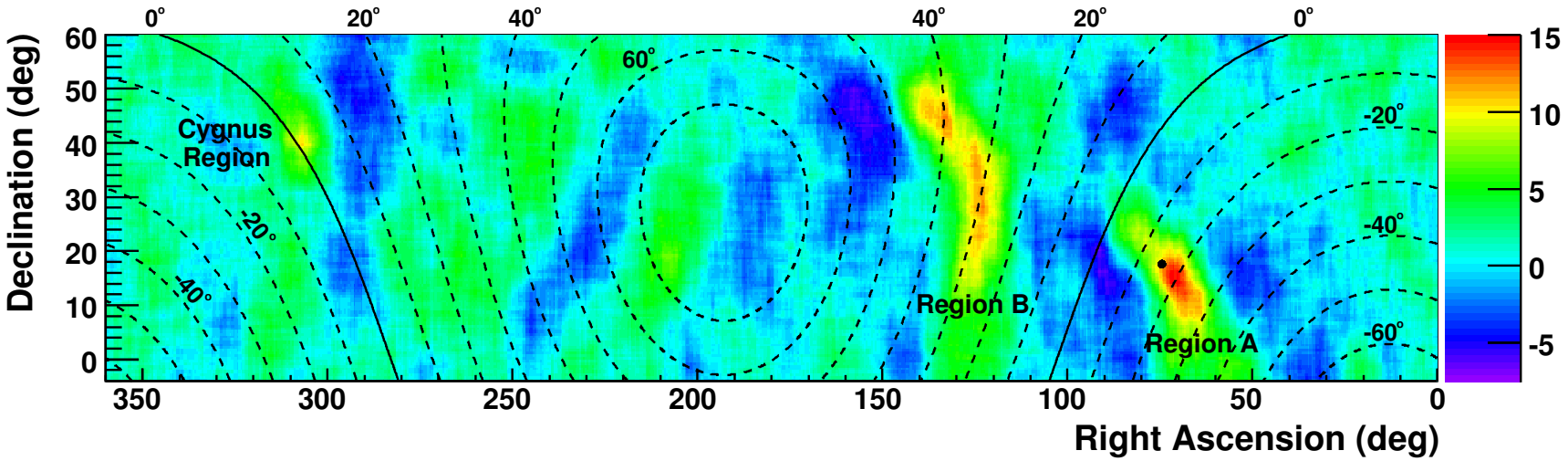
Tibet-ASγ: зависимость от энергии



Сверху вниз: median $E = 12$ ТэВ, 50 ТэВ, 300 ТэВ

[M. Amenomori et al., *Science* **314** (2006) 439 (astro-ph/0610671)]

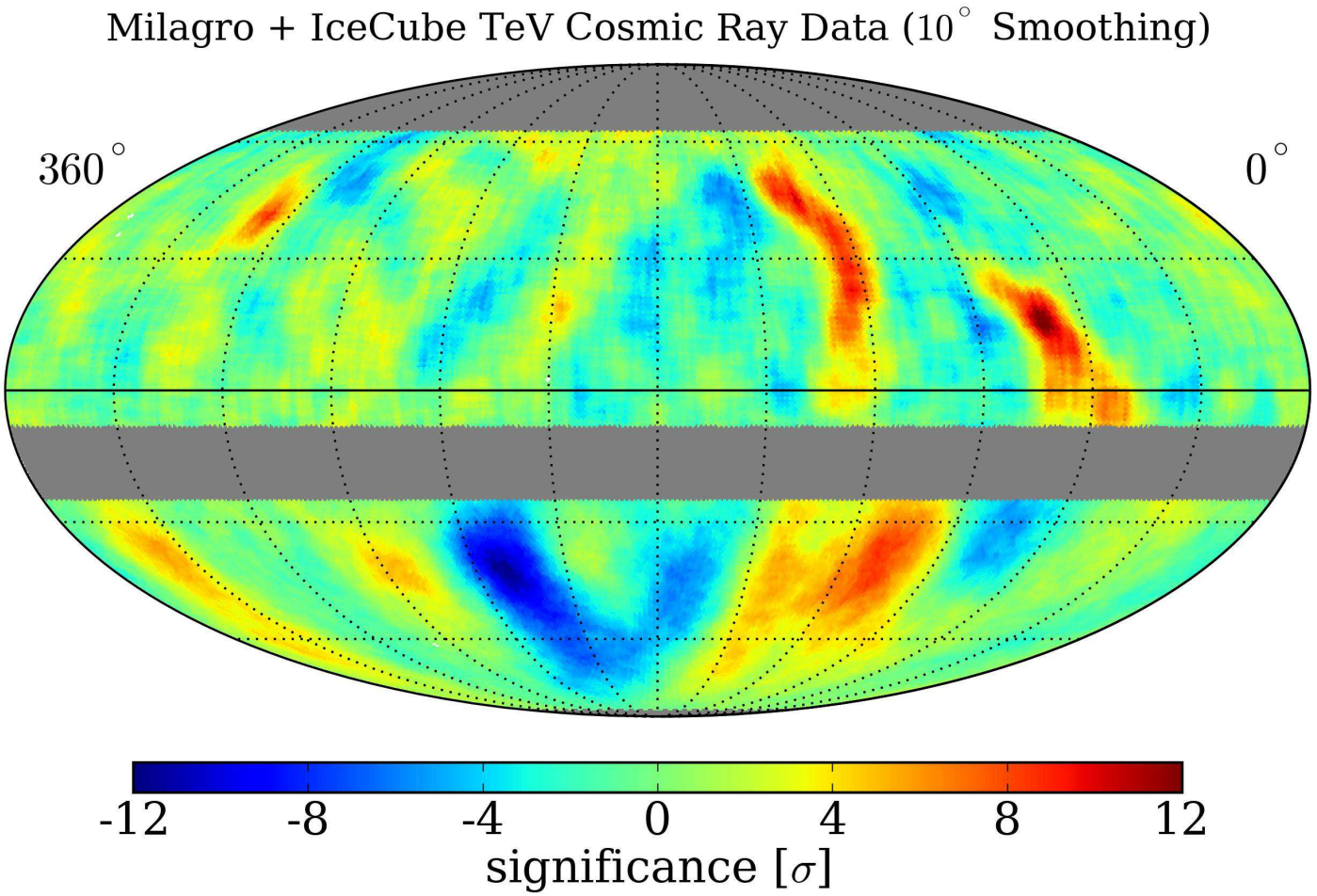
Milagro



Milagro: $2.2 \cdot 10^{11}$ events, median $E = 10$ TeV

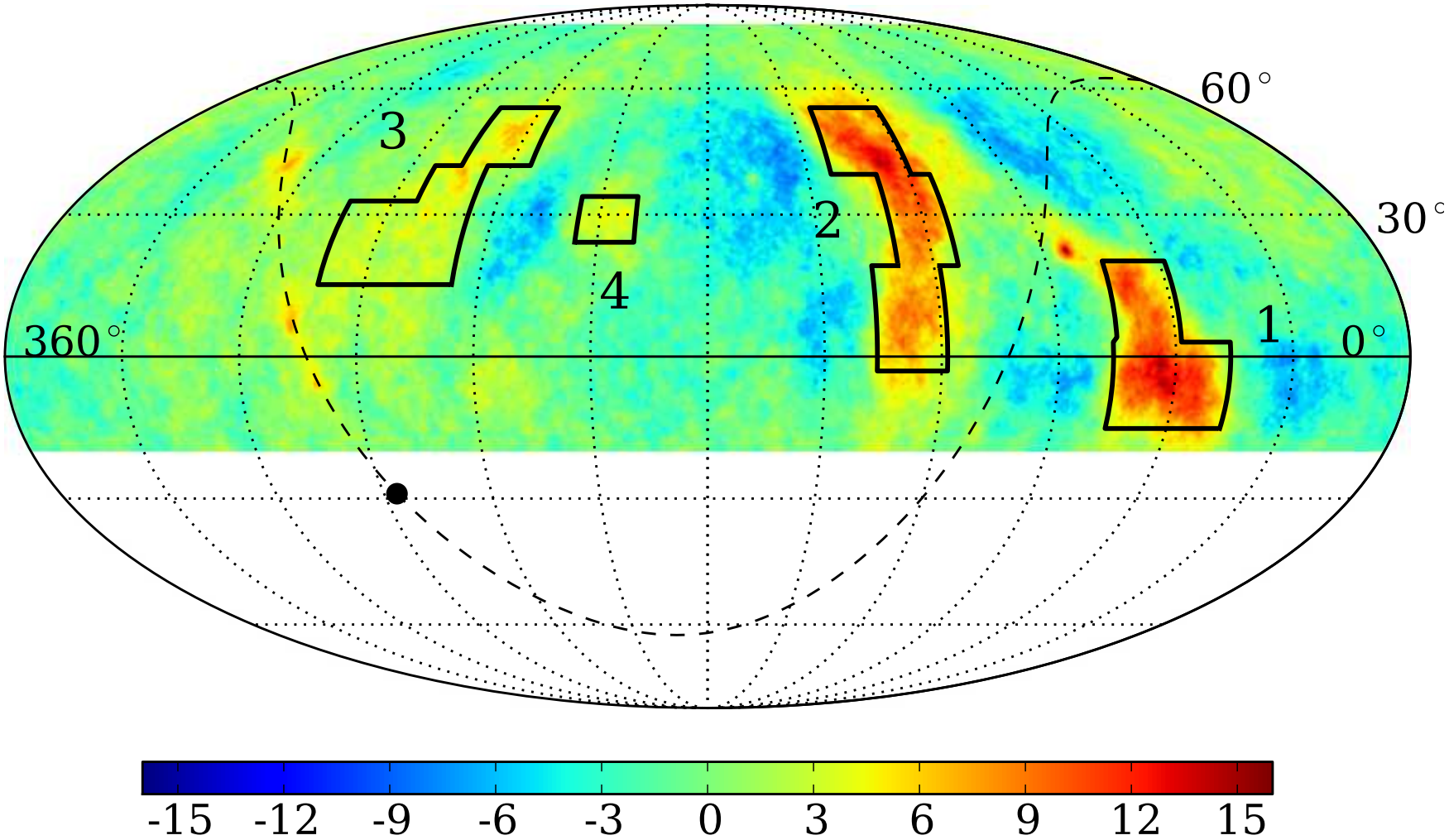
[A. Abdo et al. *Phys. Rev. Lett.* **101** (2008) 221101 (`arXiv:0801.3827`)]

Milagro+IceCube



IceCube: $3.2 \cdot 10^{10}$ muons from CRs with median $E = 20$ TeV
[Abbasi et al., *ApJ* **16** (2011) 740 (`arXiv:1105.2326`)]

ARGO-YBJ

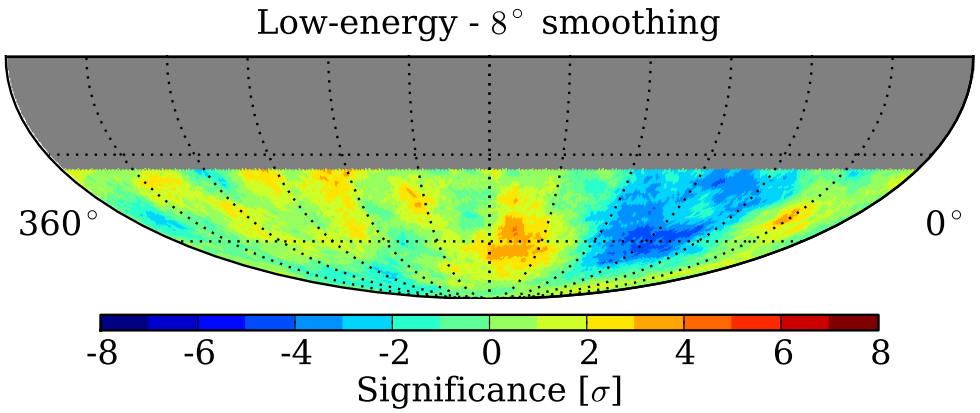


ARGO-YBJ: $3.7 \cdot 10^{11}$ events, median $E = 1.8$ TeV

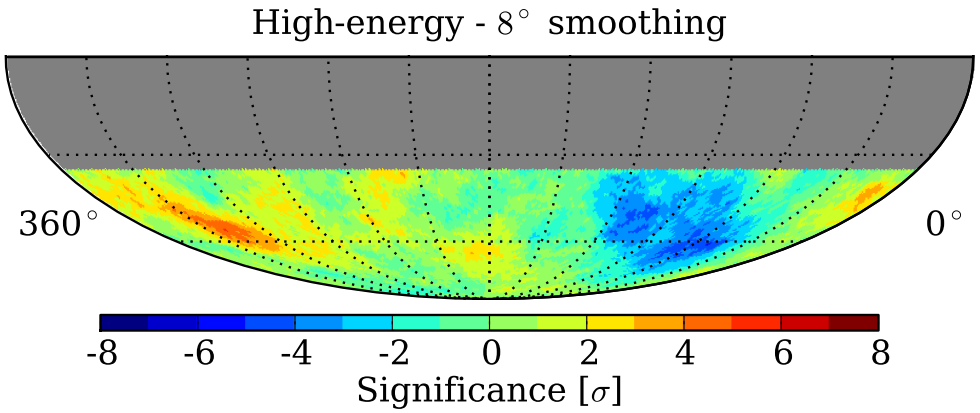
Подтверждение результата Milagro + new structures?

[Bartoli et al., *Phys. Rev. D* **88** (2013) 082001 (`arXiv:1309.6182`)]

IceTop



$2.86 \cdot 10^8$ events, median $E = 400$ TeV



$0.64 \cdot 10^8$, median $E = 2$ PeV

[Aartsen et al., *ApJ* **765** (2013) 55 (`arXiv:1210.5278`)]

Экспериментальные данные ФИАН и МГУ

	Годы	$N_{\mathrm{EAS}} \times 10^{-6}$	E
Клара-Хронотрон	1978–1982	23	50–500 ТэВ
ПРО–1000 (МГУ)	1997–1999	1.3	50 ТэВ–5 ПэВ
ШАЛ МГУ	1984–1990	0.5	0.2–20 ПэВ

Клара-Хронотрон: $20^\circ < \theta < 60^\circ$

ШАЛ МГУ, ПРО–1000: $\theta < 45^\circ$

Погрешность определения направлений прихода КЛ: $\sim 3^\circ$

Как изучать «мелкомасштабную» анизотропию?

Два основных вопроса:

1. Как определить ожидаемый фон?
2. Как вычислить статистическую значимость отклонения от ожидаемого фона?

Определение фона: shuffling technique

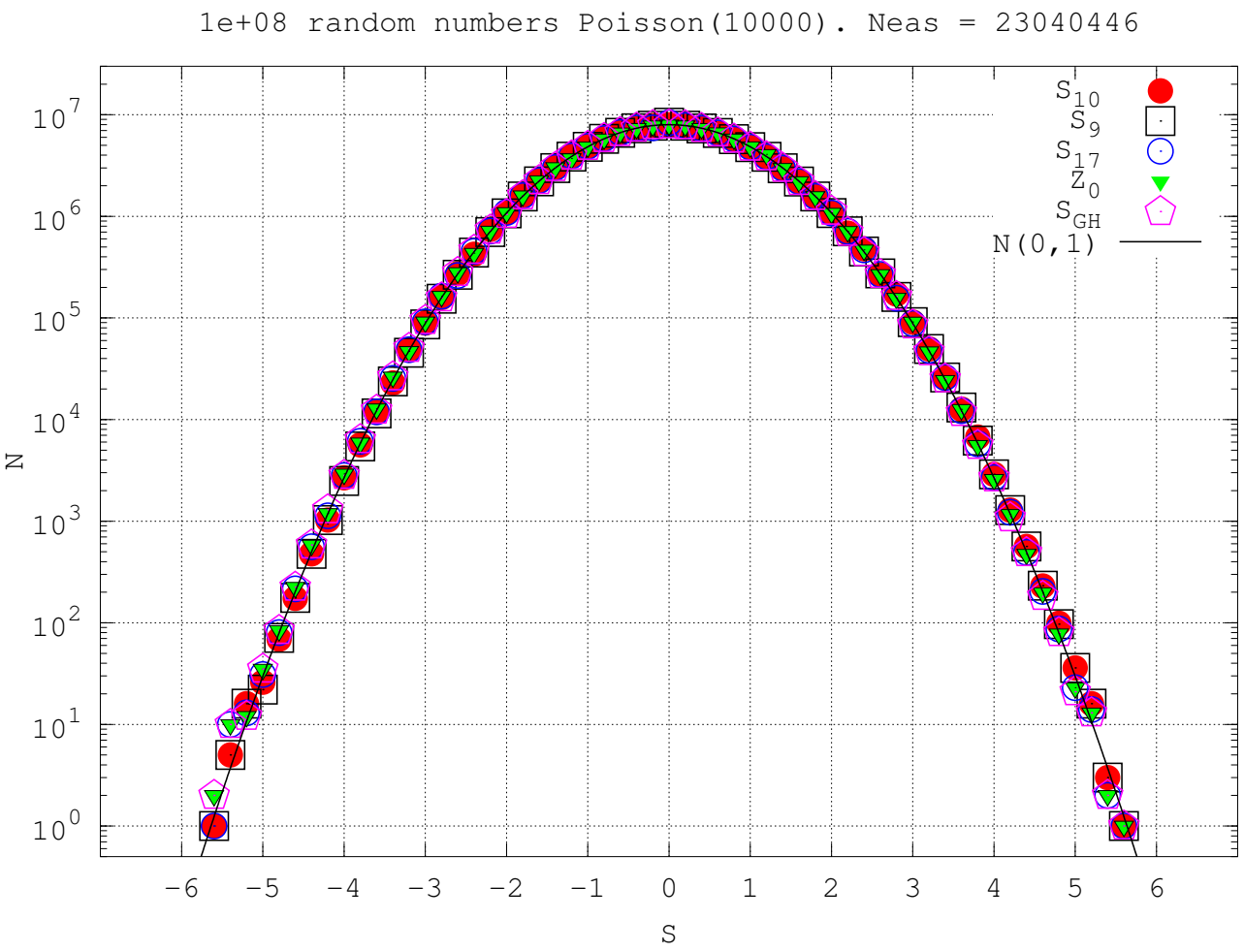
Fly's Eye (1989), CYGNUS (1991): метод вычисления *ожидаемого* потока КЛ («фона») в предположении его изотропности на основе данных эксперимента.

Основная идея: реальные данные эксперимента многократно «перемешиваются» (shuffling, scrambling) таким образом, что сохраняется распределение по склонению. Полученные «фоновые карты» усредняются.

Метод учитывает особенности работы конкретного эксперимента.

Применялся экспериментами KASCADE, HiRes, Milagro, Auger, ARGO-YBJ, Fermi-LAT, IceCube, Telescope Array

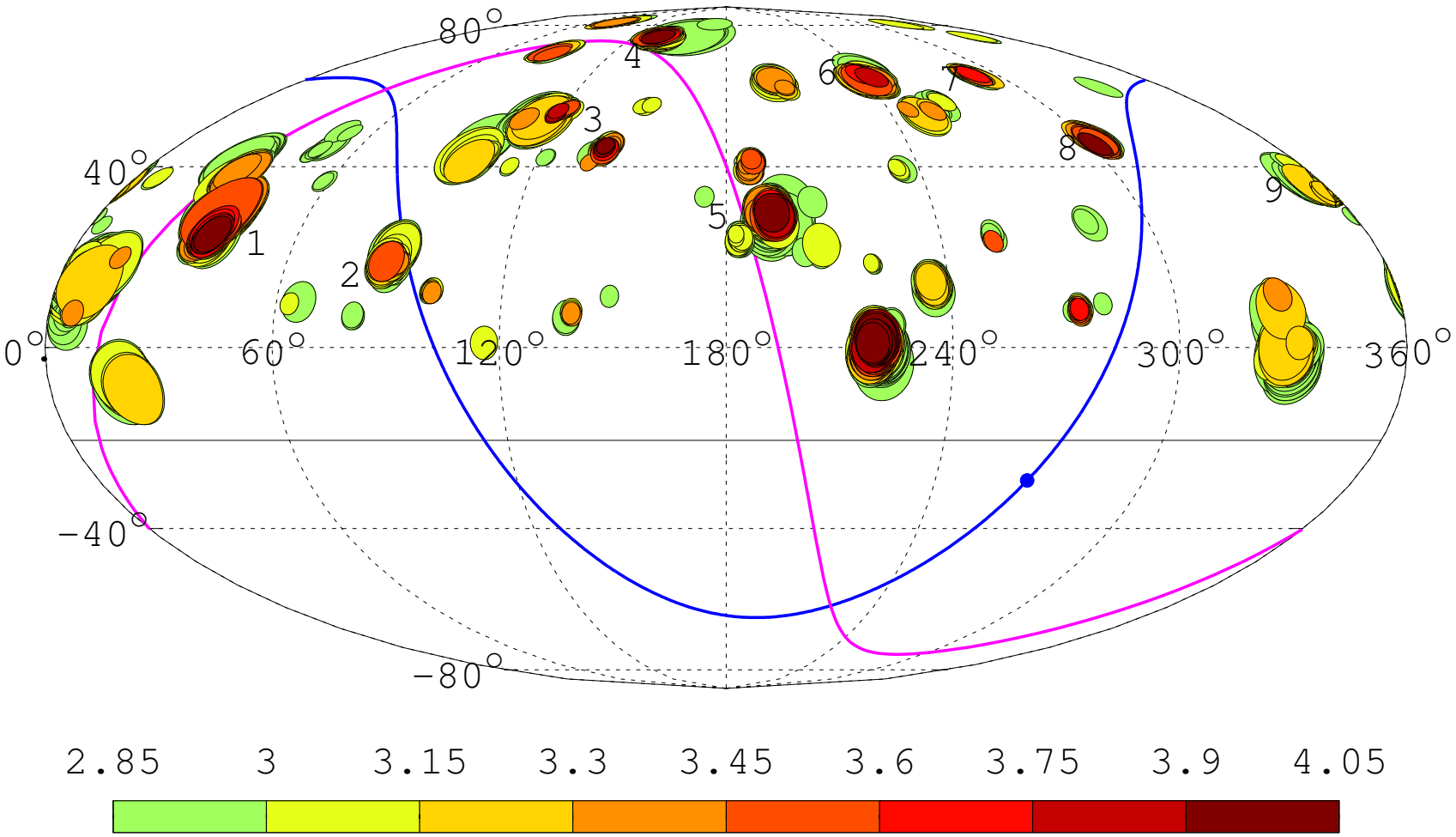
Статистическая значимость отклонений



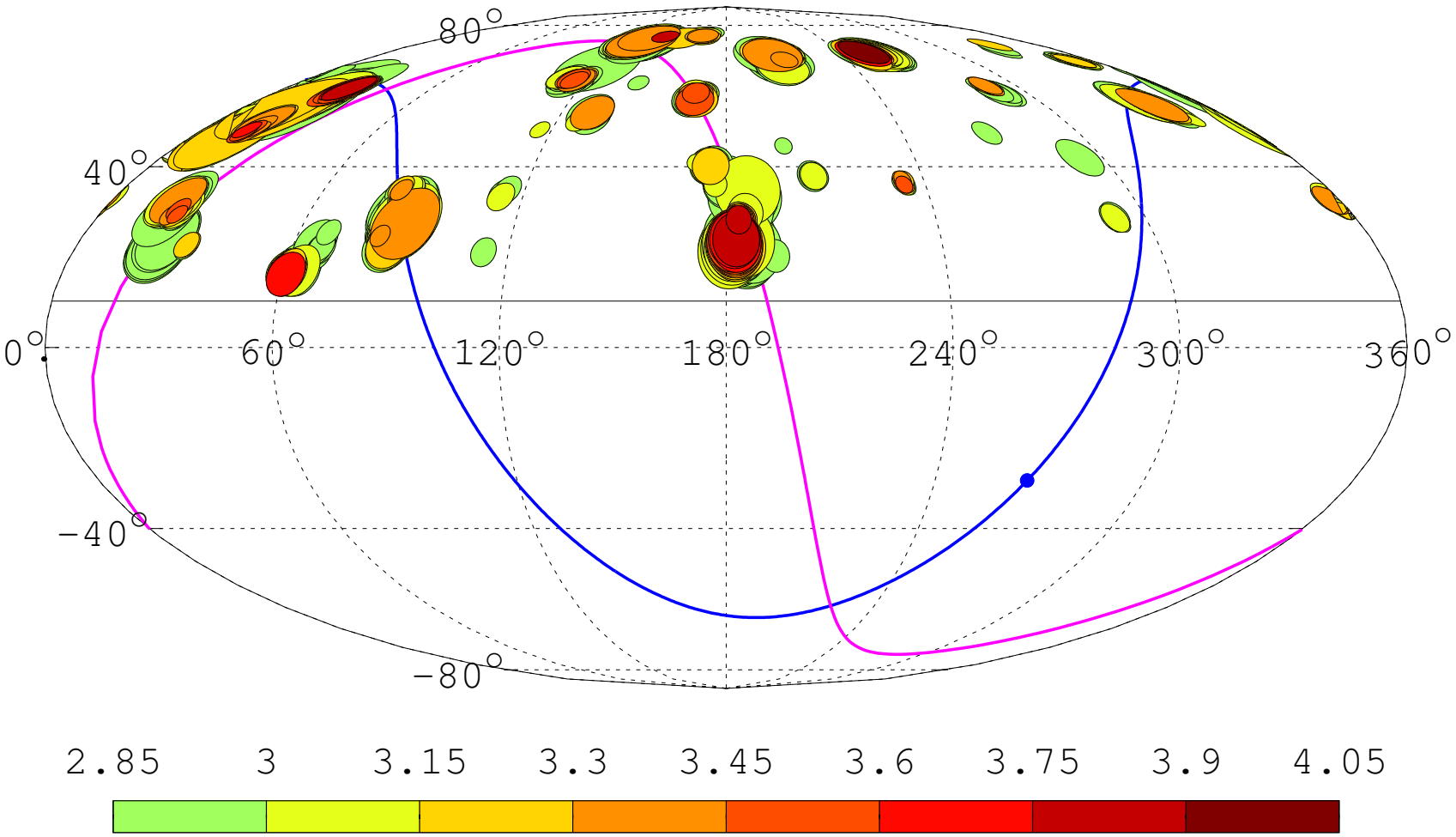
$$S_{17} = \sqrt{2}\left\{N_{\rm on}\ln\left[\frac{1+\alpha}{\alpha}\left(\frac{N_{\rm on}}{N_{\rm on}+N_{\rm off}}\right)\right] + N_{\rm off}\ln\left[(1+\alpha)\left(\frac{N_{\rm off}}{N_{\rm on}+N_{\rm off}}\right)\right]\right\}^{1/2},$$

$N_{\rm off} = N_{\rm EAS} - N_{\rm bg}$, $\alpha = N_{\rm bg}/N_{\rm off} \ll 1$ **[Li, Ma *ApJ* 272 (1983) 317]**

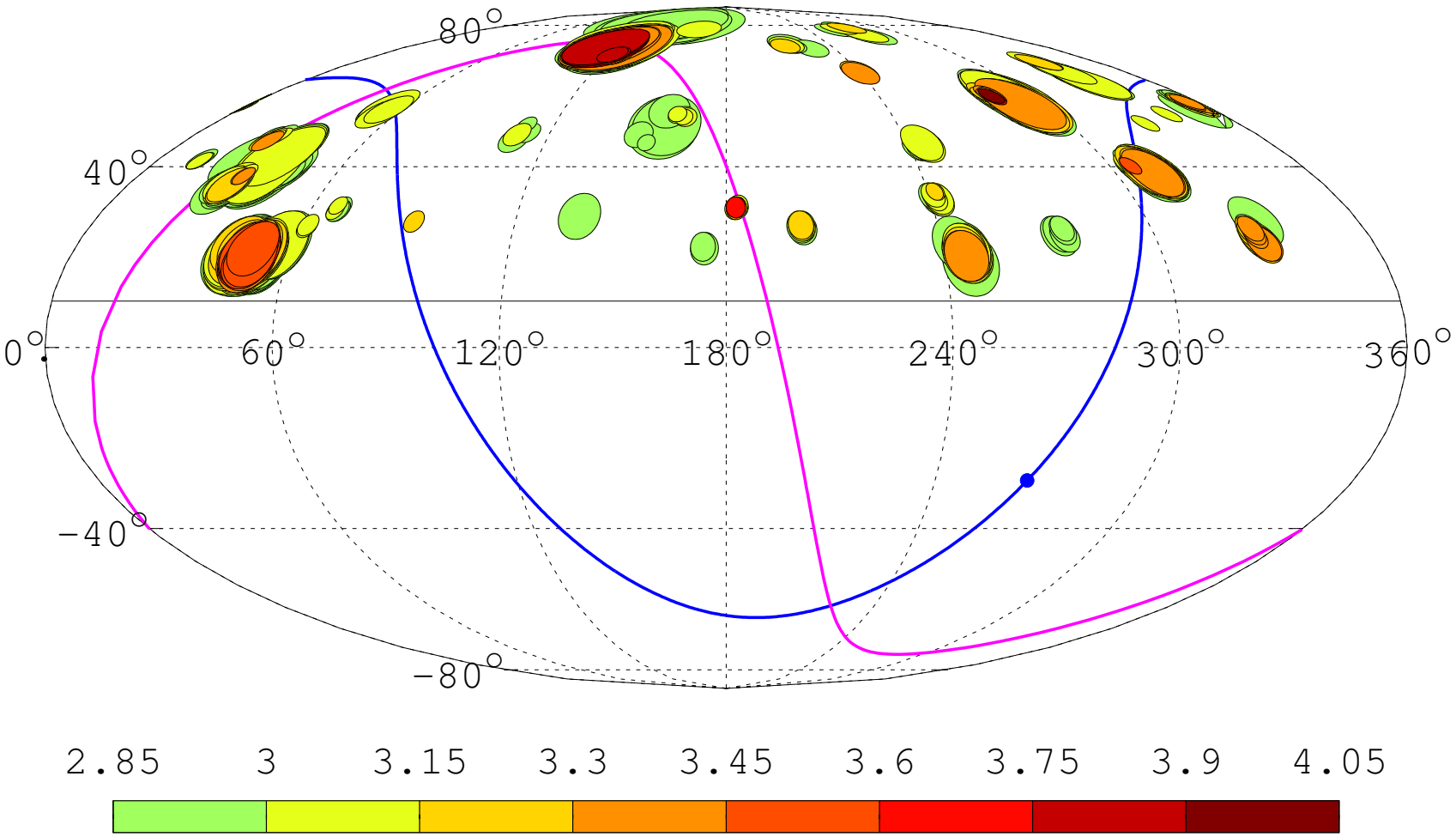
ОПП по данным ФИАН

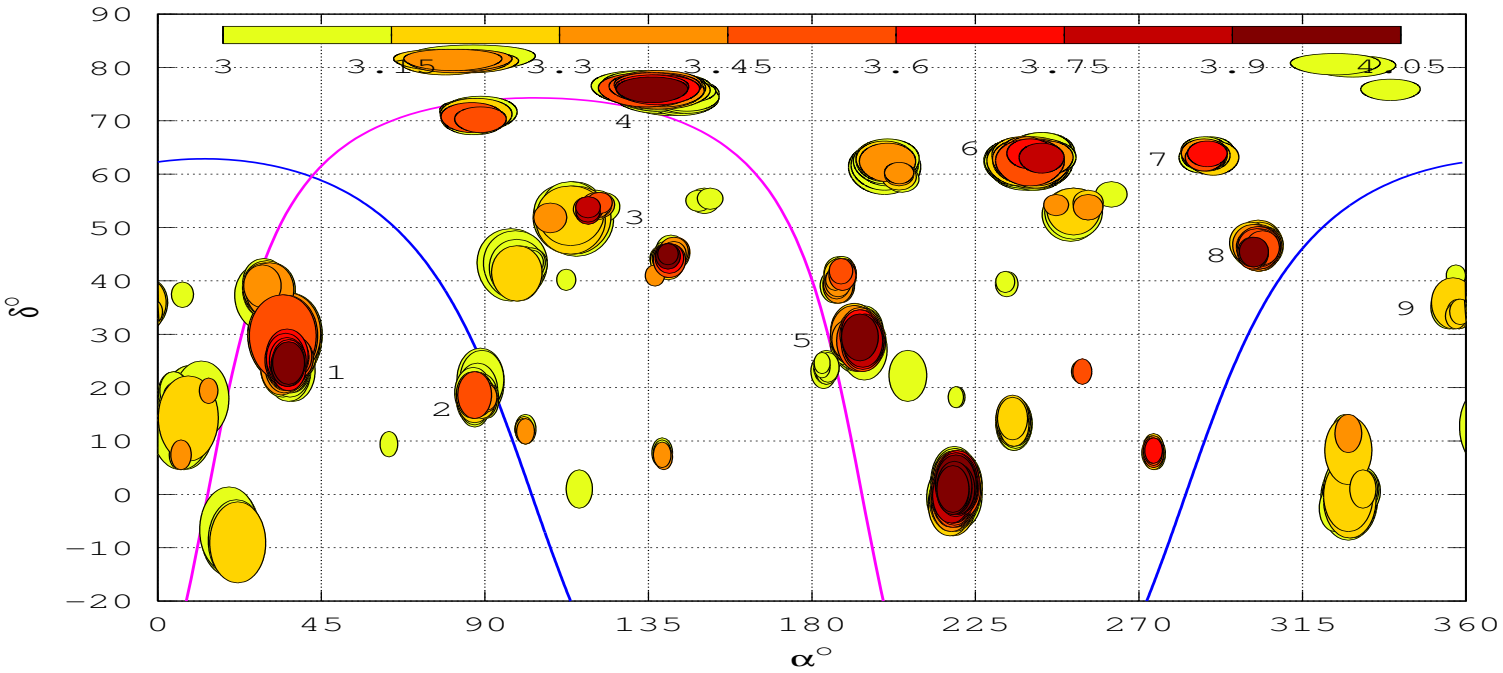


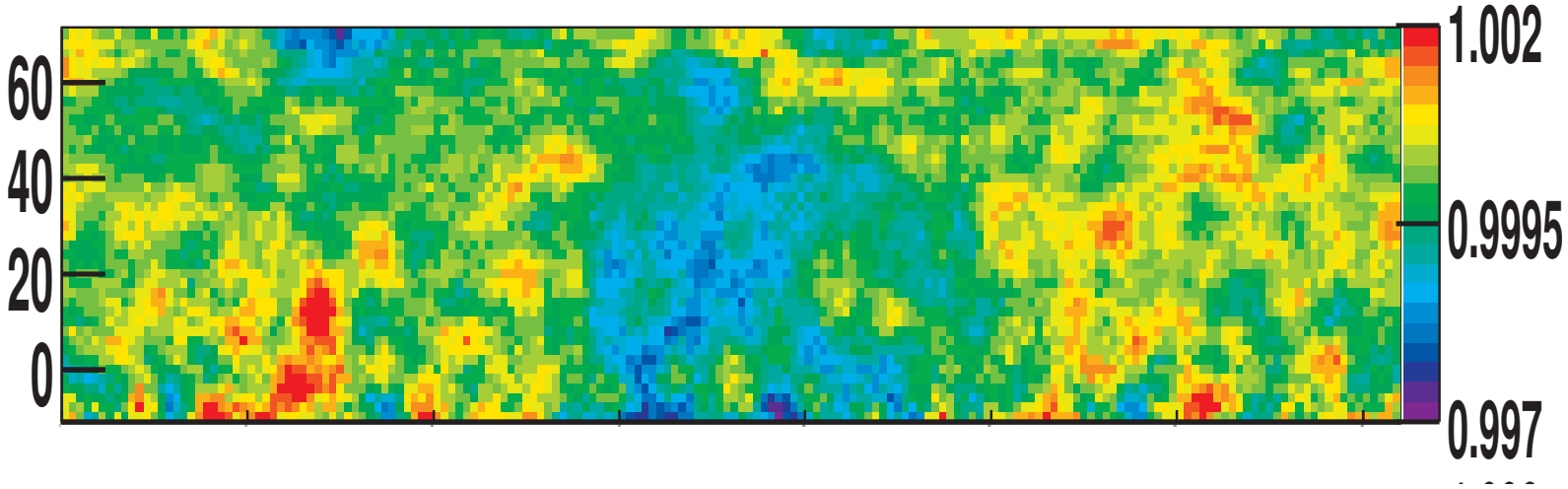
ОПП по данным ПРО-1000



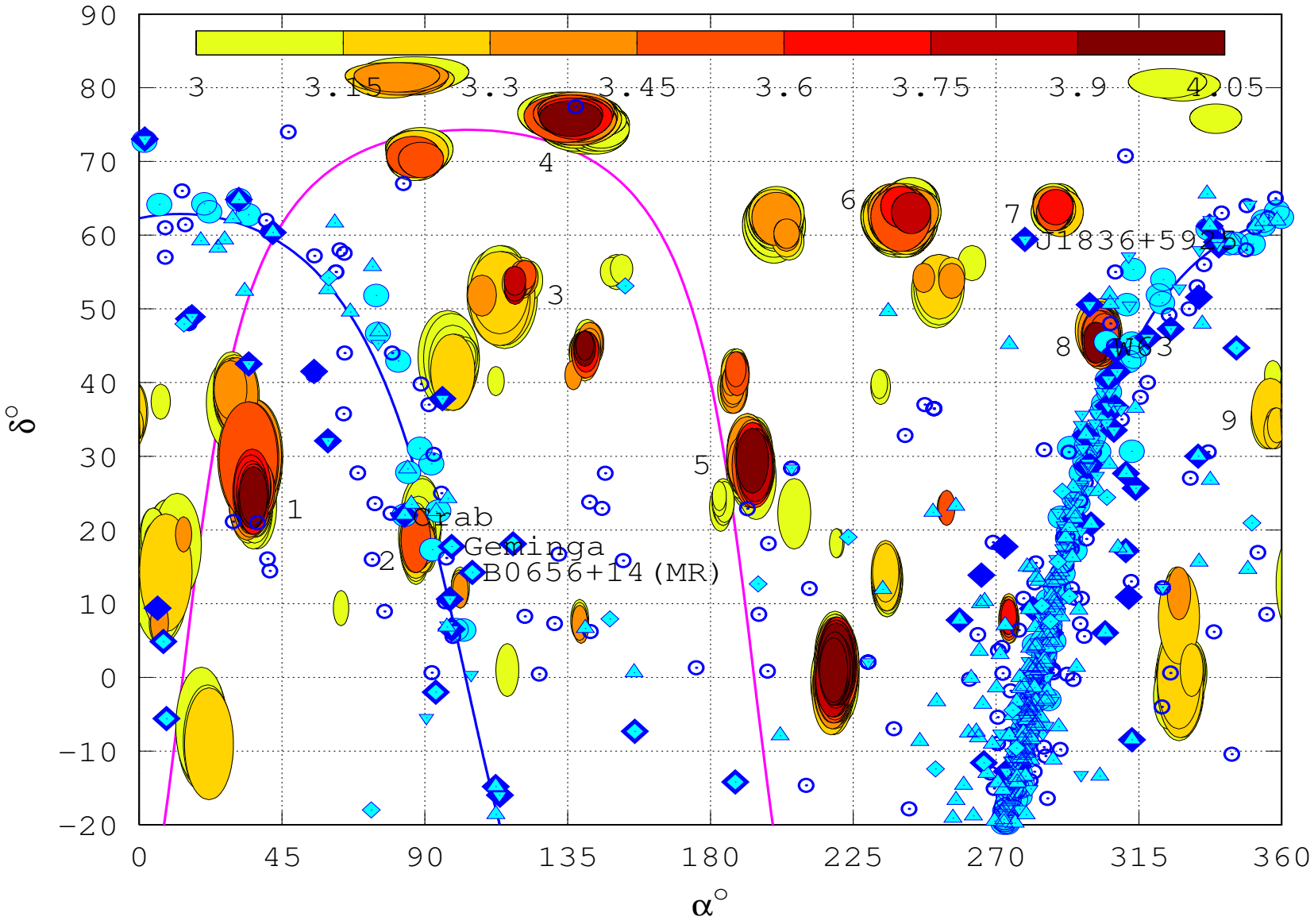
ОПП по данным ШАЛ МГУ







Вверху: ФИАН, внизу: TibetASγ, 50 ТэВ



ФИАН:

#	N_{on}	N_{bg}	S_{17}	$N_{\mathrm{on}}/N_{\mathrm{bg}}$
2	78061	77061.2	3.59	1.013
5	67103	66071.3	4.00	1.016
7	40860	40131.5	3.62	1.018
8	26970	26327.2	3.94	1.024

В итоге...

- По данным трех экспериментов на уровне значимости от 3σ до 4σ найдено около 20 компактных областей с избытком КЛ с энергиями $\sim$ 50 ТэВ...20 ПэВ
- Часть областей наблюдается в 2 или 3 наборах данных.
- Имеется ряд совпадений «парных» ОПП с возможными источниками галактических КЛ, включая гамма-пульсары.

Анализ данных ФИАН по другой методике: постер ID82

Как объяснить?

Общепринятого объяснения мелкомасштабной анизотропии КЛ при энергиях ТэВ–ПэВ нет

- Сочетание галактического и локального магнитных полей? Результат дипольной анизотропии в присутствии локального турбулентного магнитного поля?
- Результат влияния одного или нескольких близко расположенных источников типа Геминги?
- Локальные источники плюс магнитные ловушки/линзы?
- Экзотические сценарии

[Обзор Di Sciascio, Iuppa, `arXiv:1407.2144`]

Дальнейшие планы

Планируем:

- Произвести «сглаживание» ОПП (smoothing)
- Рассмотреть области с дефицитом КЛ
- Проанализировать данные в разных интервалах по N_{e}