

# *15 лет рентгеновских обзоров на спутнике ИНТЕГРАЛ*

Роман Кривонос

ИКИ РАН

Отдел астрофизики высоких энергий



# 17 октября 2002 года

Обсерватория ИНТЕГРАЛ была выведена на орбиту с помощью российской ракеты-носителя «Протон»

Российские ученые получили 25% наблюдательного времени миссии



IBIS – кодированная маска

JEM-X – кодированная маска

Оптический монитор (ОМС)

Спектрометр (SPI)

ЭВМ и электроника  
обеспечения работы  
приборов

Детектор телескопа  
IBIS

Детектор рентгеновского  
телескопа JEM-X

Блок управления  
энергоснабжением

Реактивное колесо  
наведения КА

Аппаратура обработки  
данных и связи

Служебный модуль

Звездные датчики

ЭВМ и электроника  
обеспечения работы  
приборов

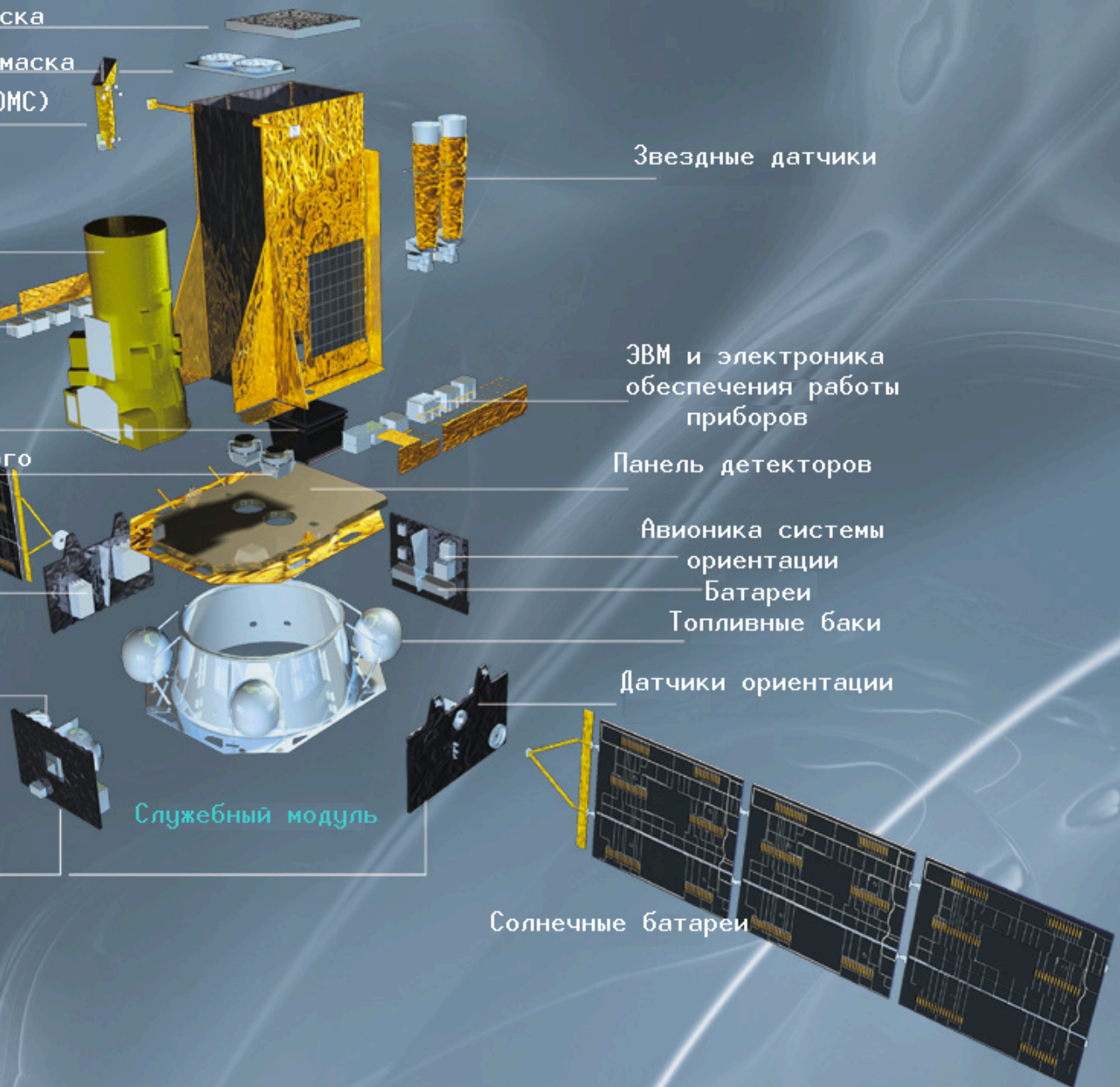
Панель детекторов

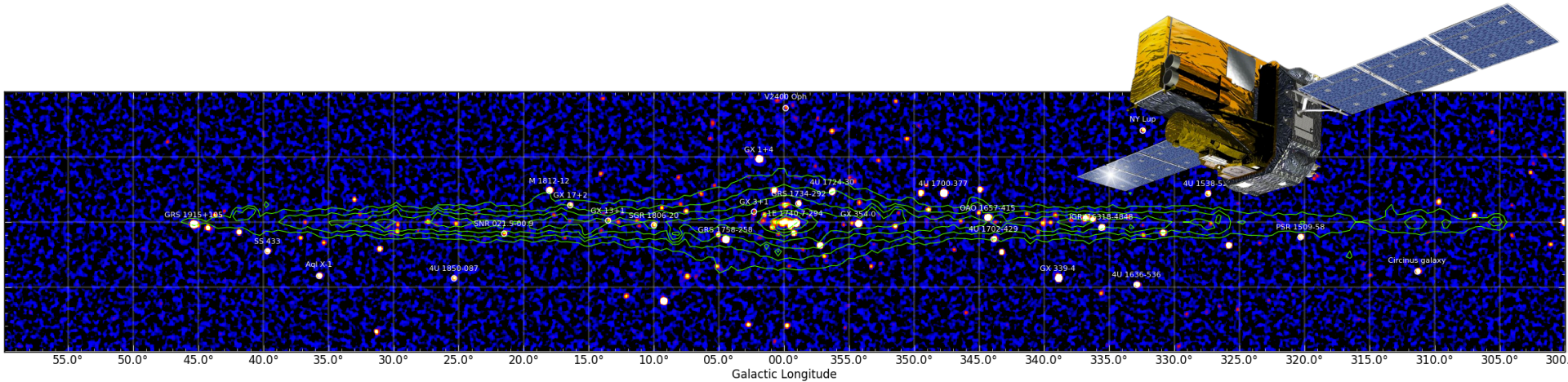
Авионика системы  
ориентации

Батареи  
Топливные баки

Датчики ориентации

Солнечные батареи



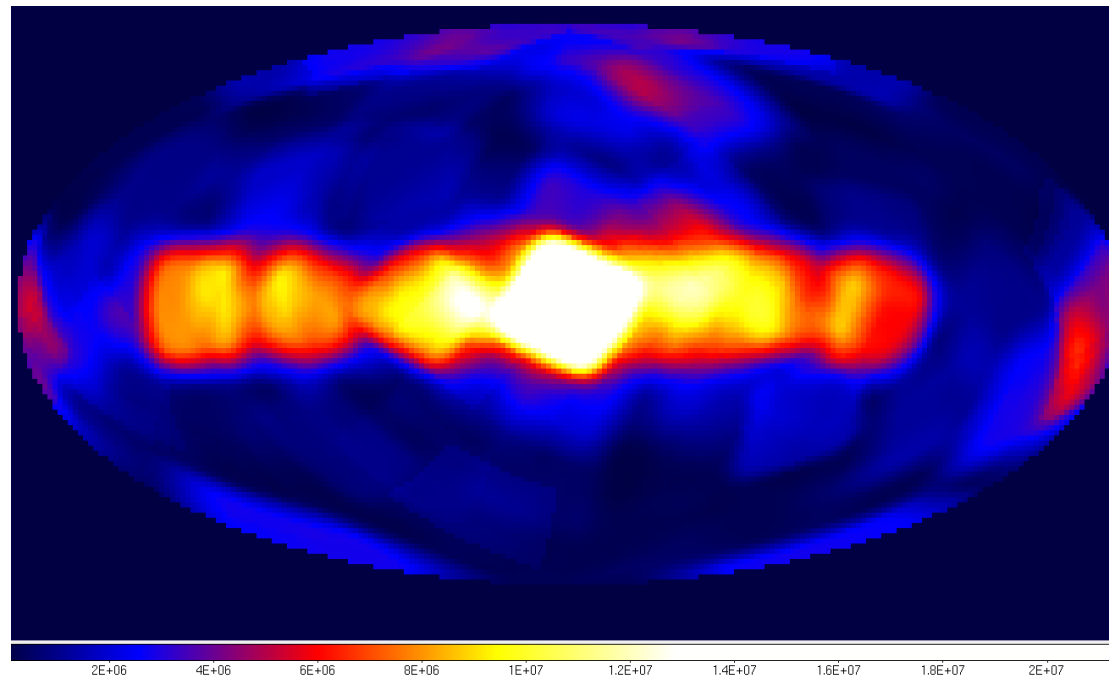


# Что значит рентгеновский обзор Галактики?

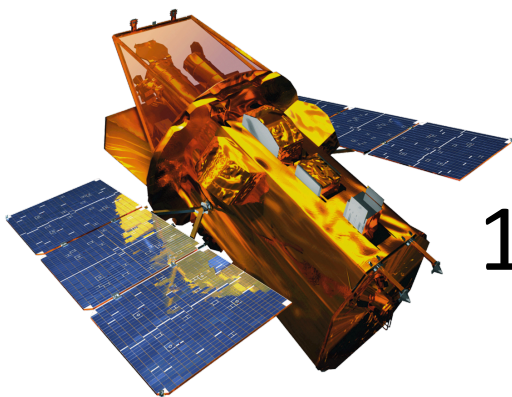
- Систематическое исследование популяций галактических источников
- Поиск новых явлений (новых типов источников)
- Единственный способ сделать «снимок» Галактики
- Возможность исследовать рентгеновские источники малой светимости
- Целенавешение для других телескопов



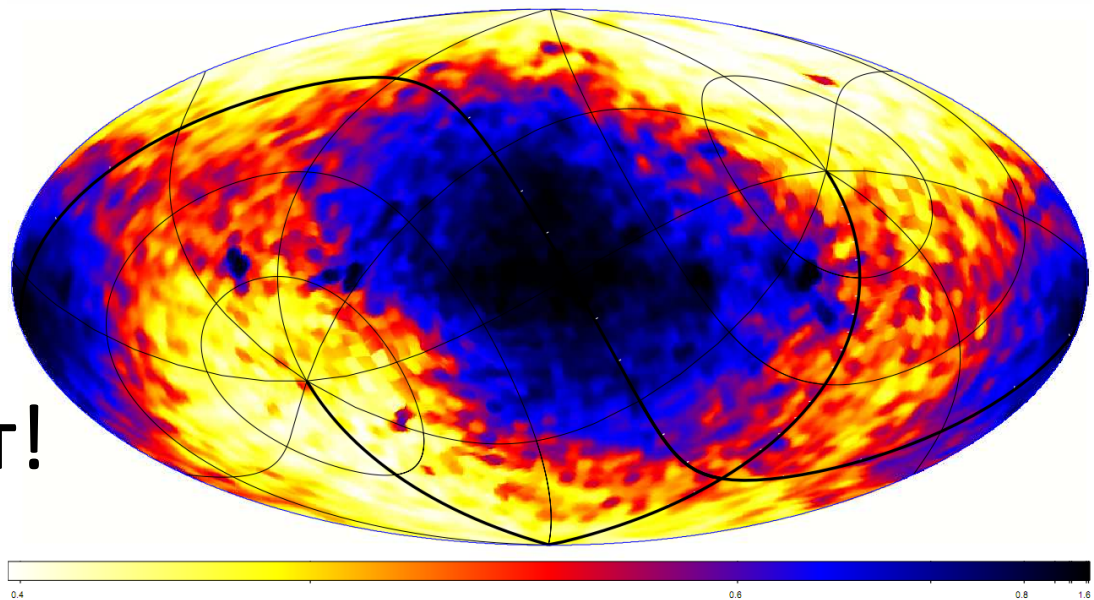
# INTEGRAL/IBIS карта экспозиции



# SWIFT/BAT карта чувствительности: (Cusumano et. al., 2009)



13 лет!



# INTEGRAL/IBIS

## All-sky survey

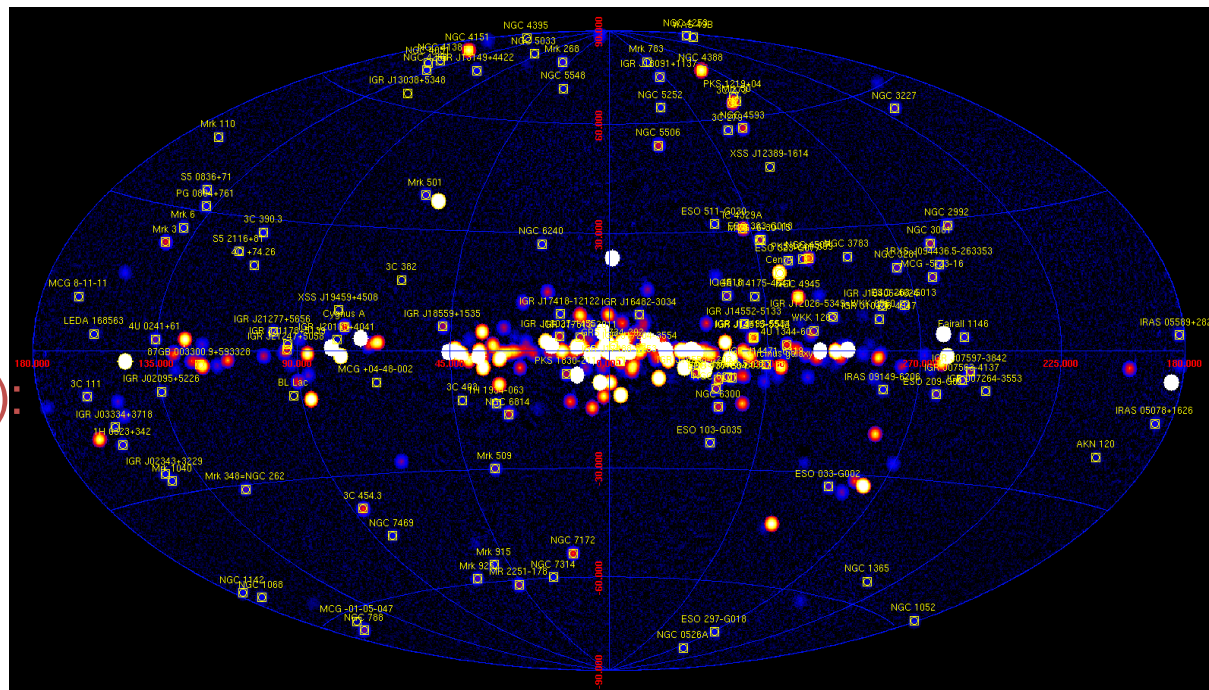
(Krivonos et al., 2010)

~1030 detections (42% IGRs)

~50% Galactic (45% IGRs)

~40% ExtraGal.

~10% Unident.



# SWIFT/BAT 70 m

## all-sky survey

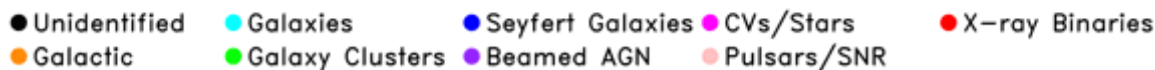
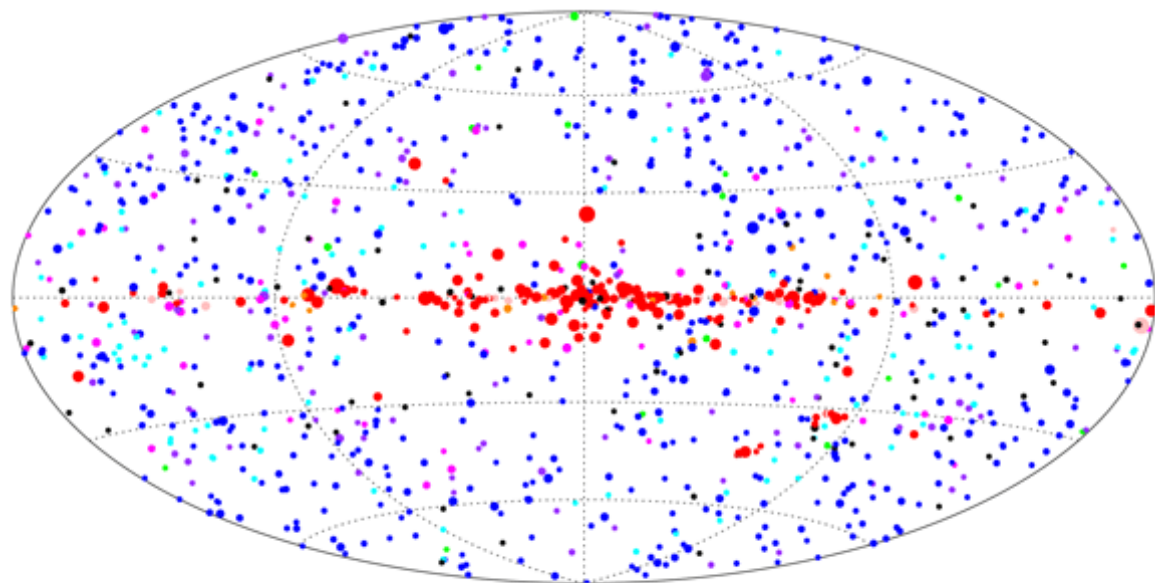
(Baumgartner et al., 2013)

~1200 detections:

~21% Galactic

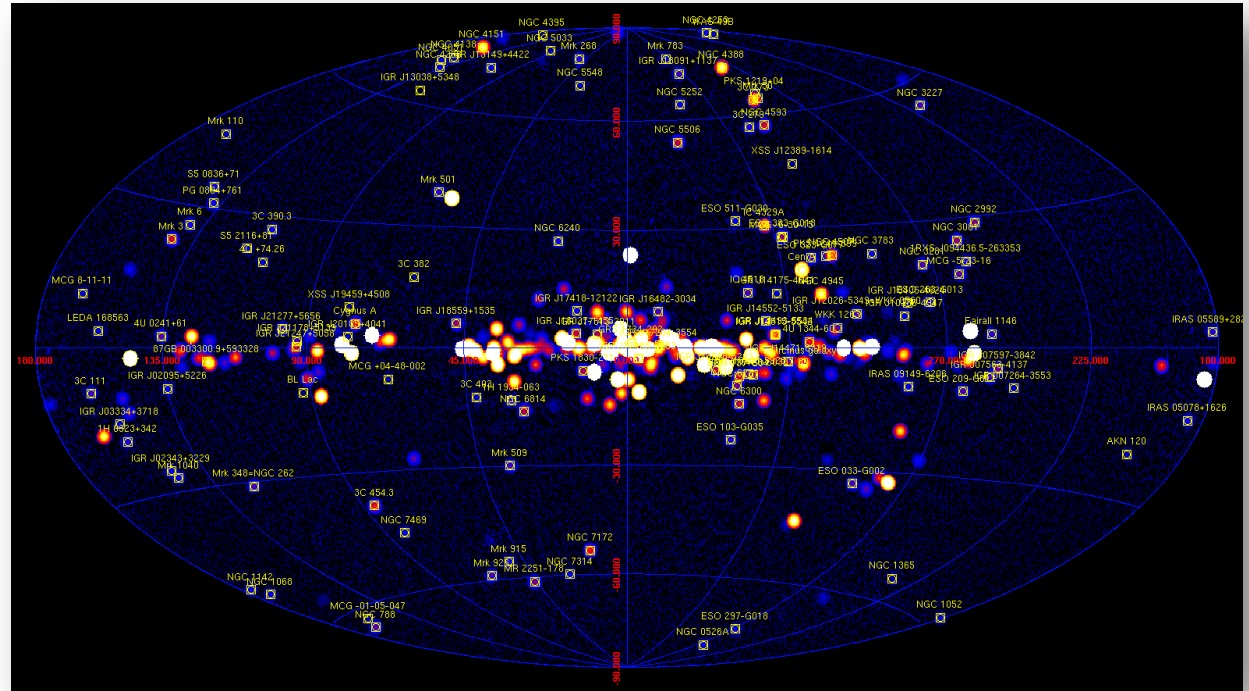
~60% ExtraGal.

~19% Unident.





# Рентгеновские обзоры ИНТЕГРАЛа:



Molkov et al., 2004;

Lebrun et al., 2004;

Revnitsev et al., 2004,2006;

Krivosos et al., 2005, 2007, 2010, 2012, 2015, 2017;

Bird et al, 2006, 2007, 2010, 2016;

Bassani et al. 2006;

Bazzano et al., 2006;

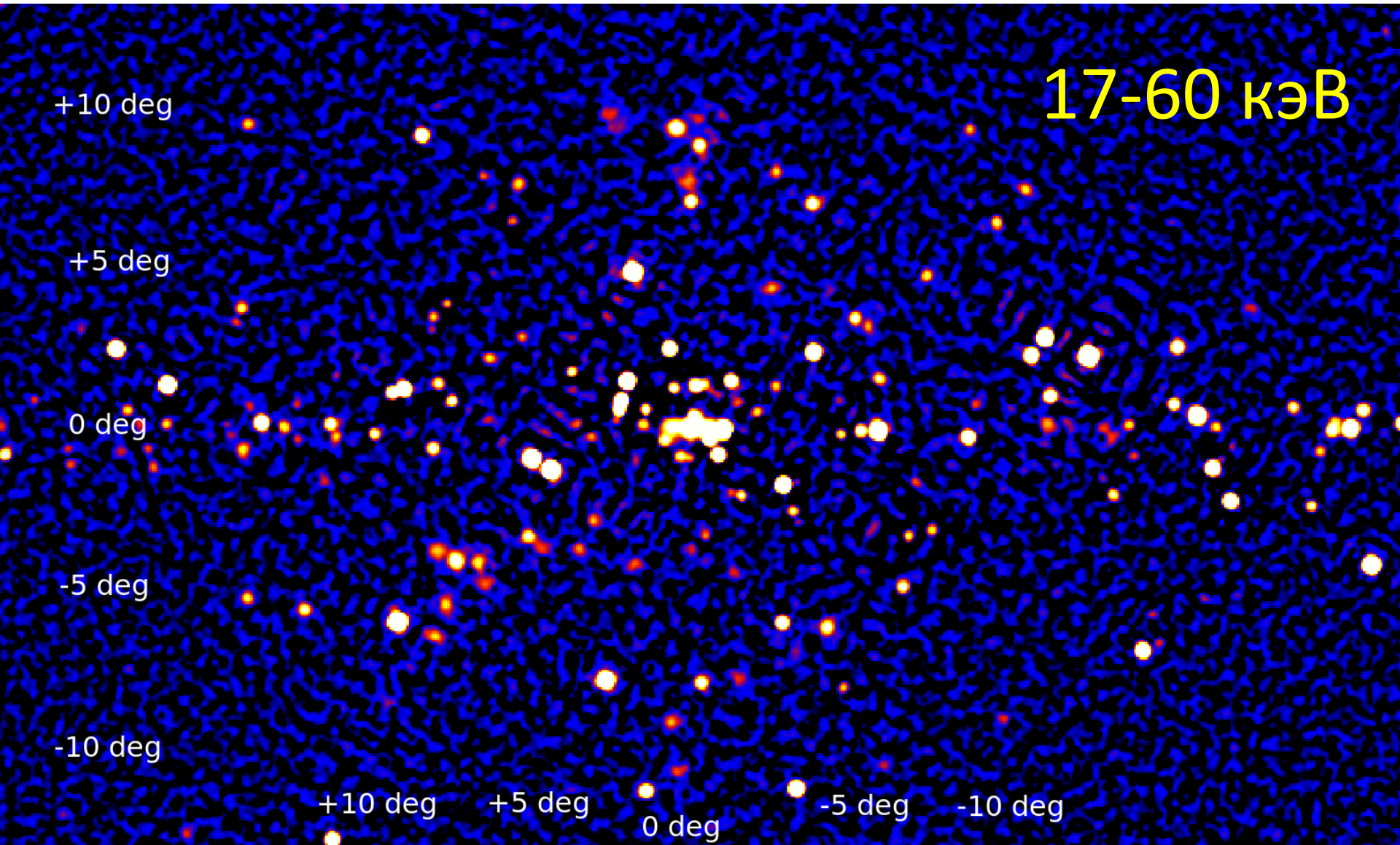
Beckmann et al. 2006;

Grebenev et al. 2013, 2015;

Tsygankov et al., 2015;

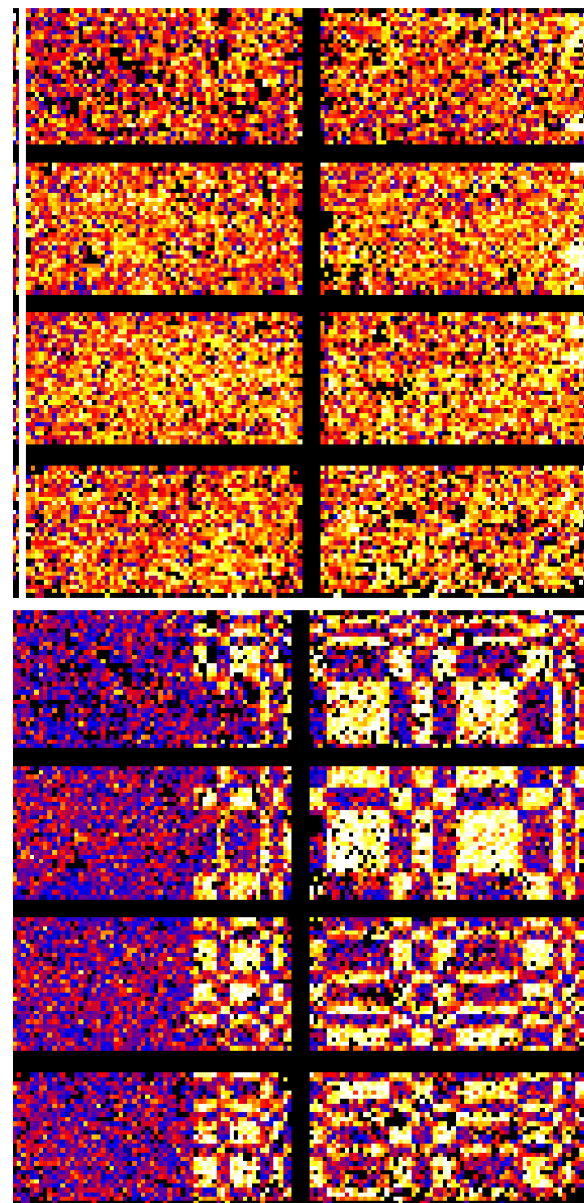
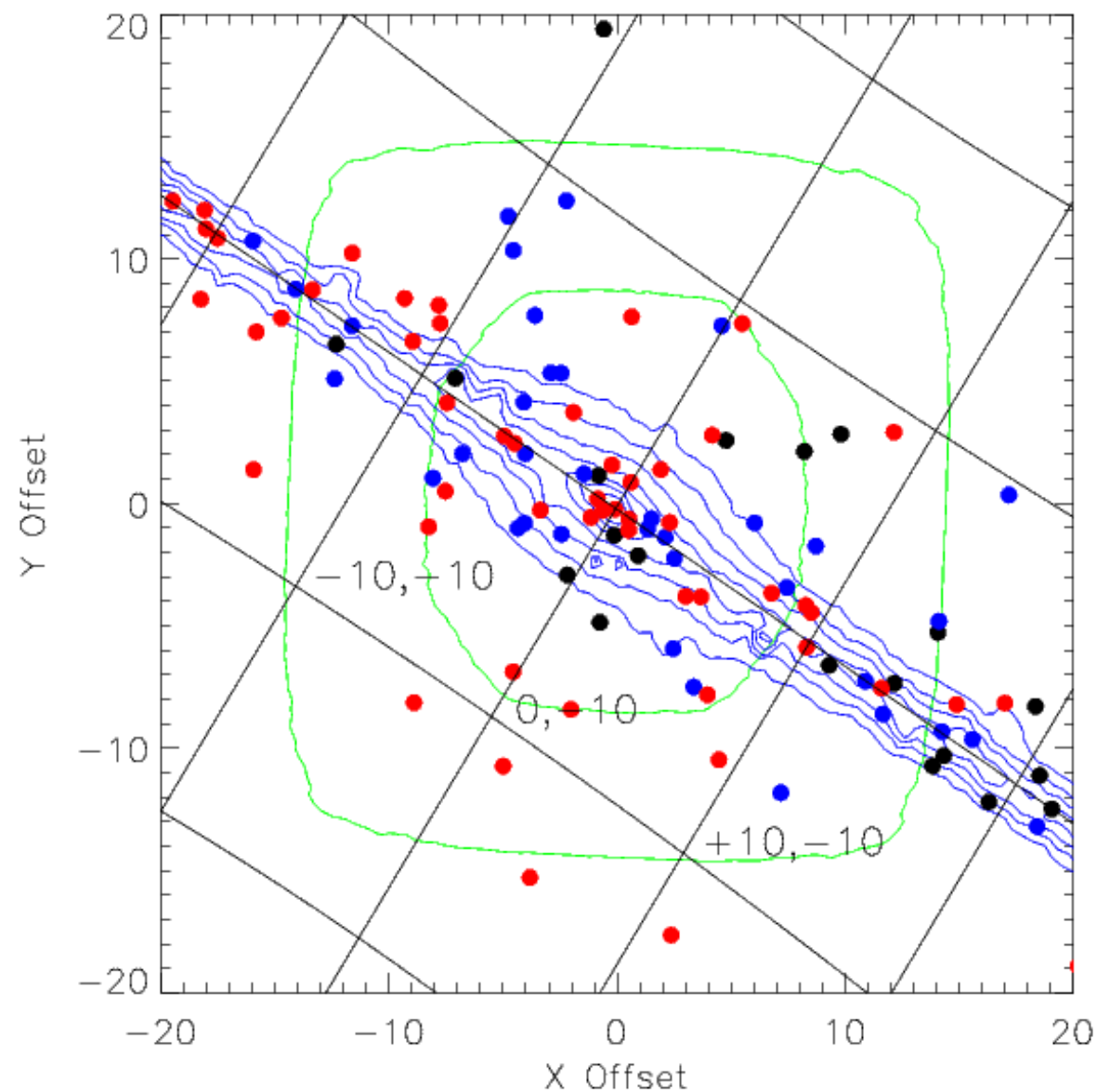
Mereminskiy et al., 2016;

# Центр Галактики 40 млн. сек.

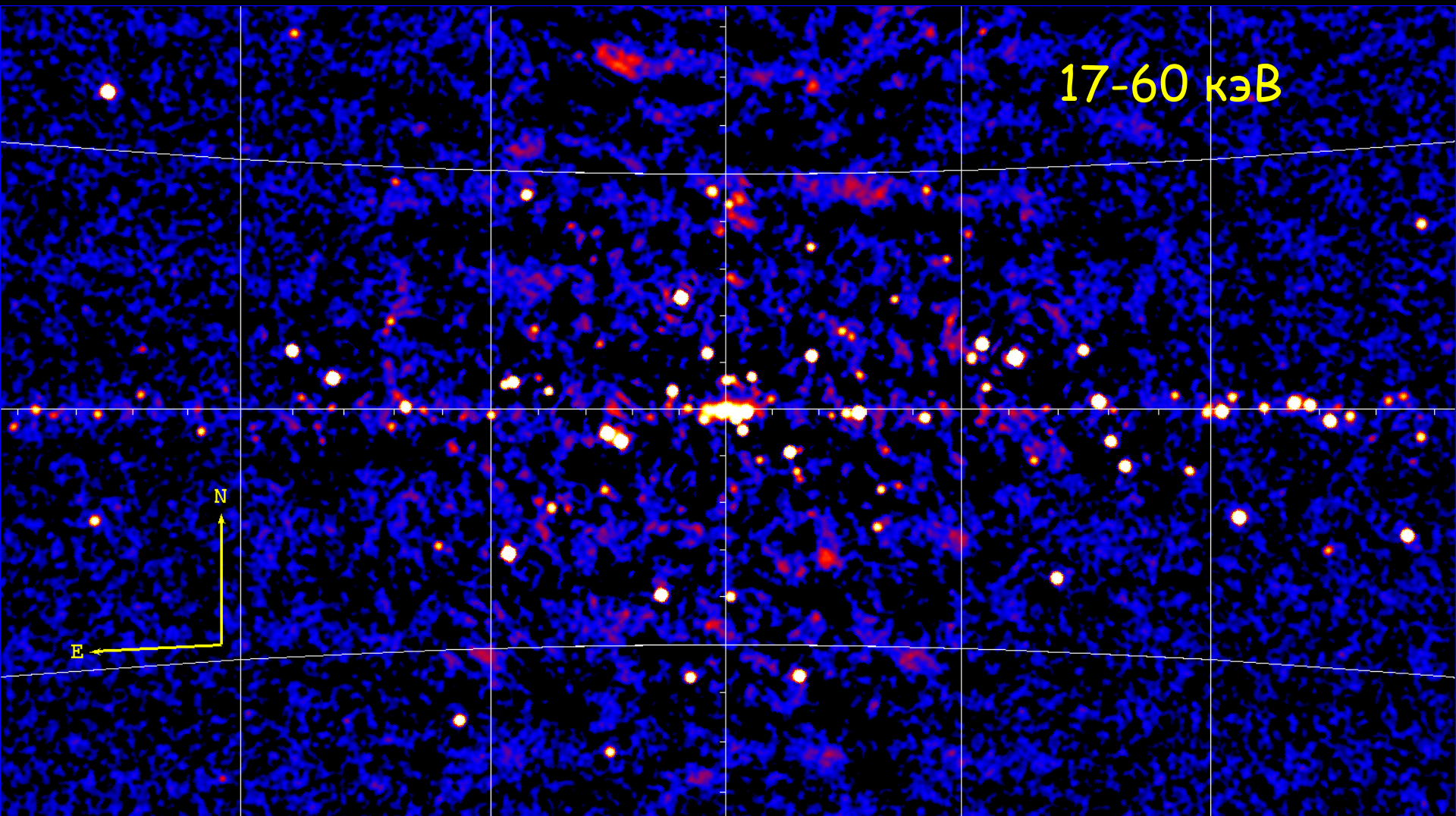




# на пределе телескопа кодированной апертуры

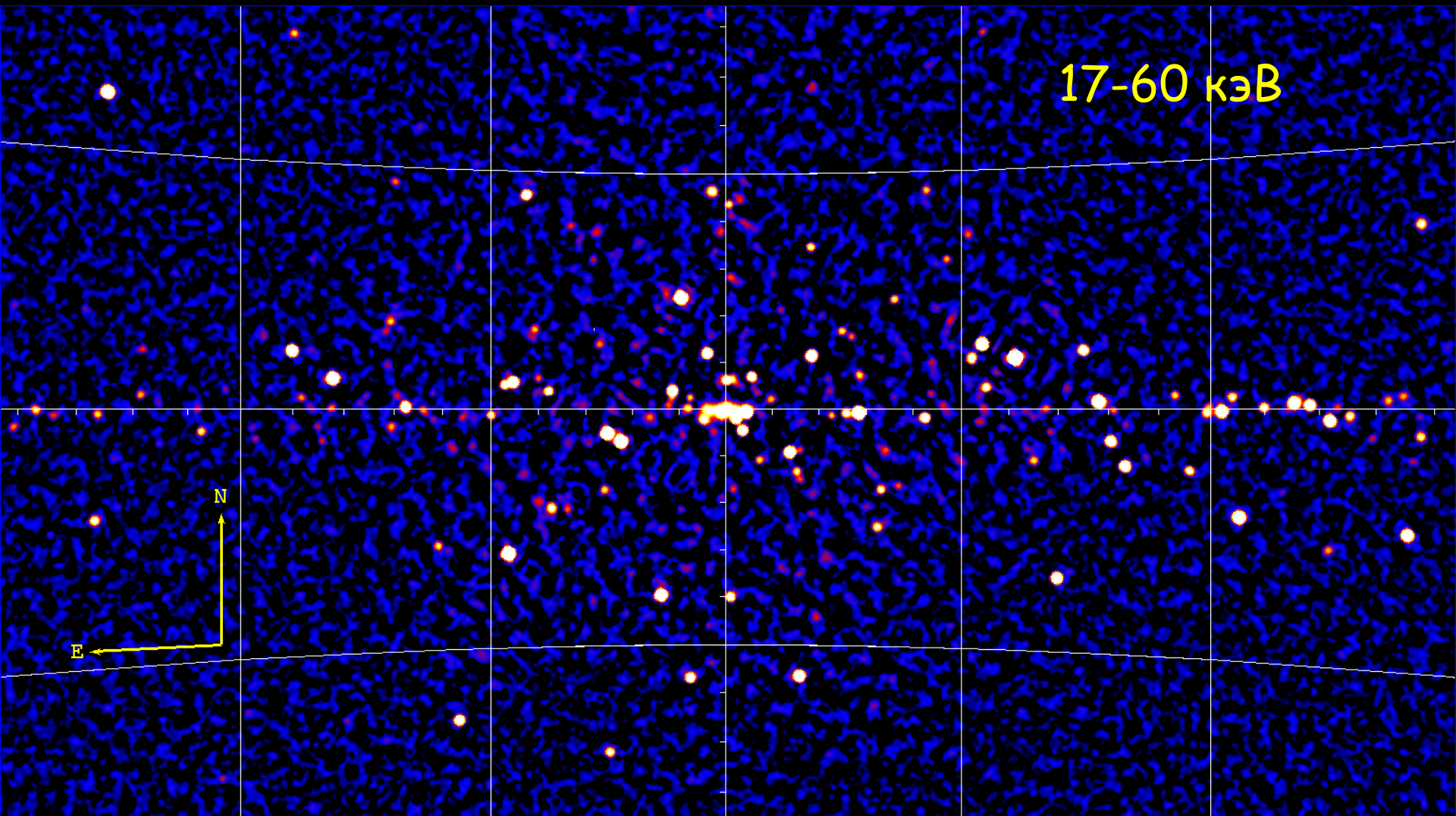


# Центр Галактики 20 млн. сек.

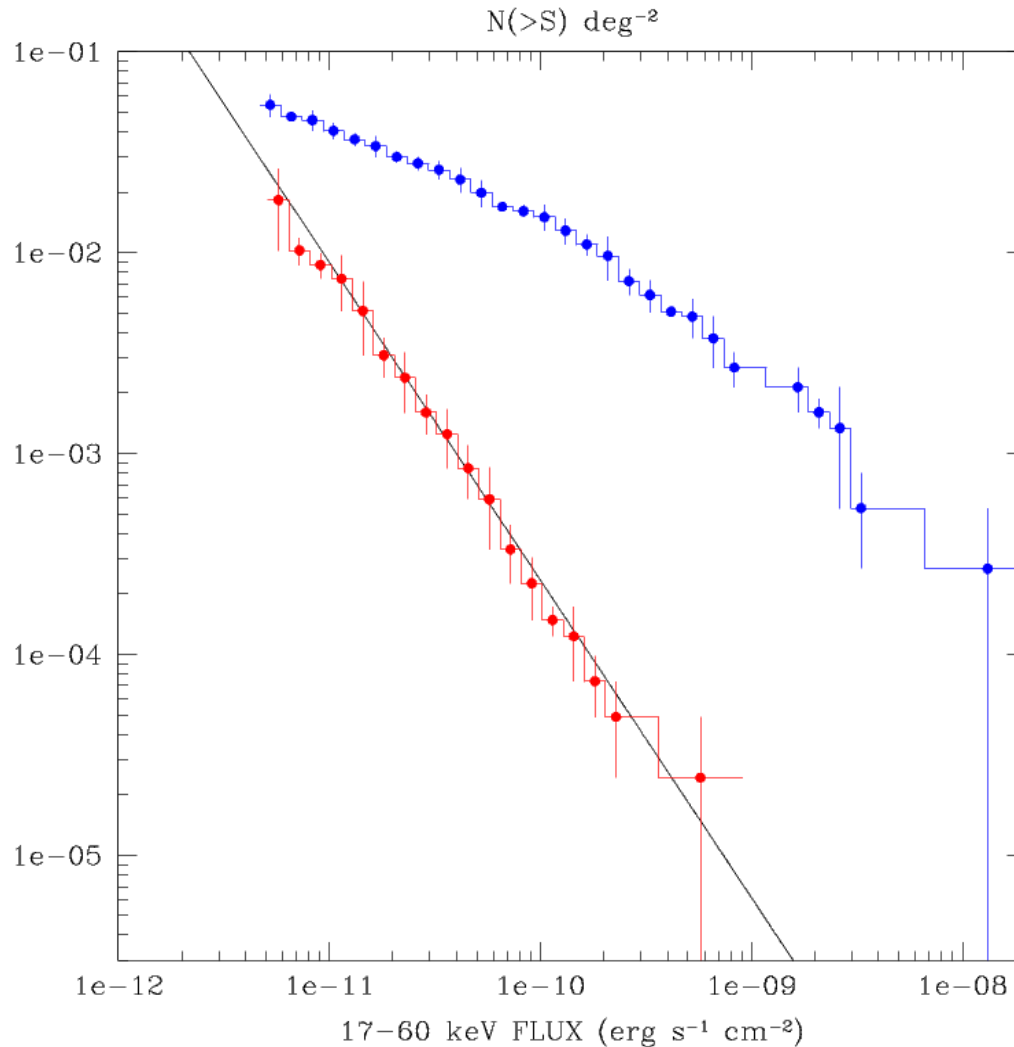




# Центр Галактики 20 млн. сек.



# Поверхностная плотность рентгеновских источников: Галактика и «внегалактика»

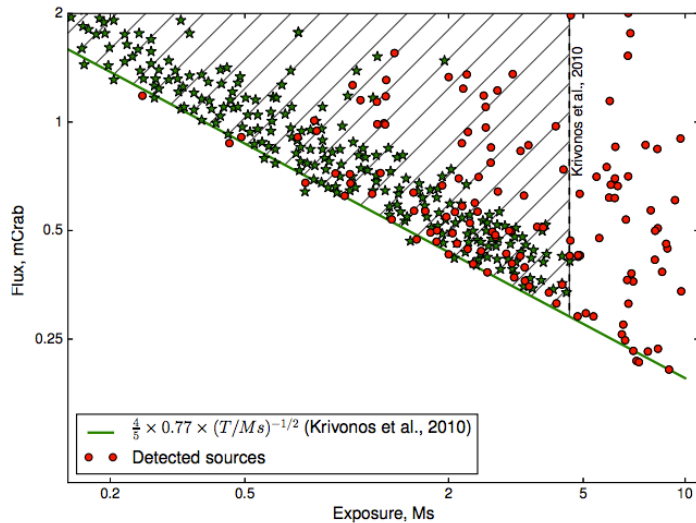




# Глубокие поля «внегалактики»

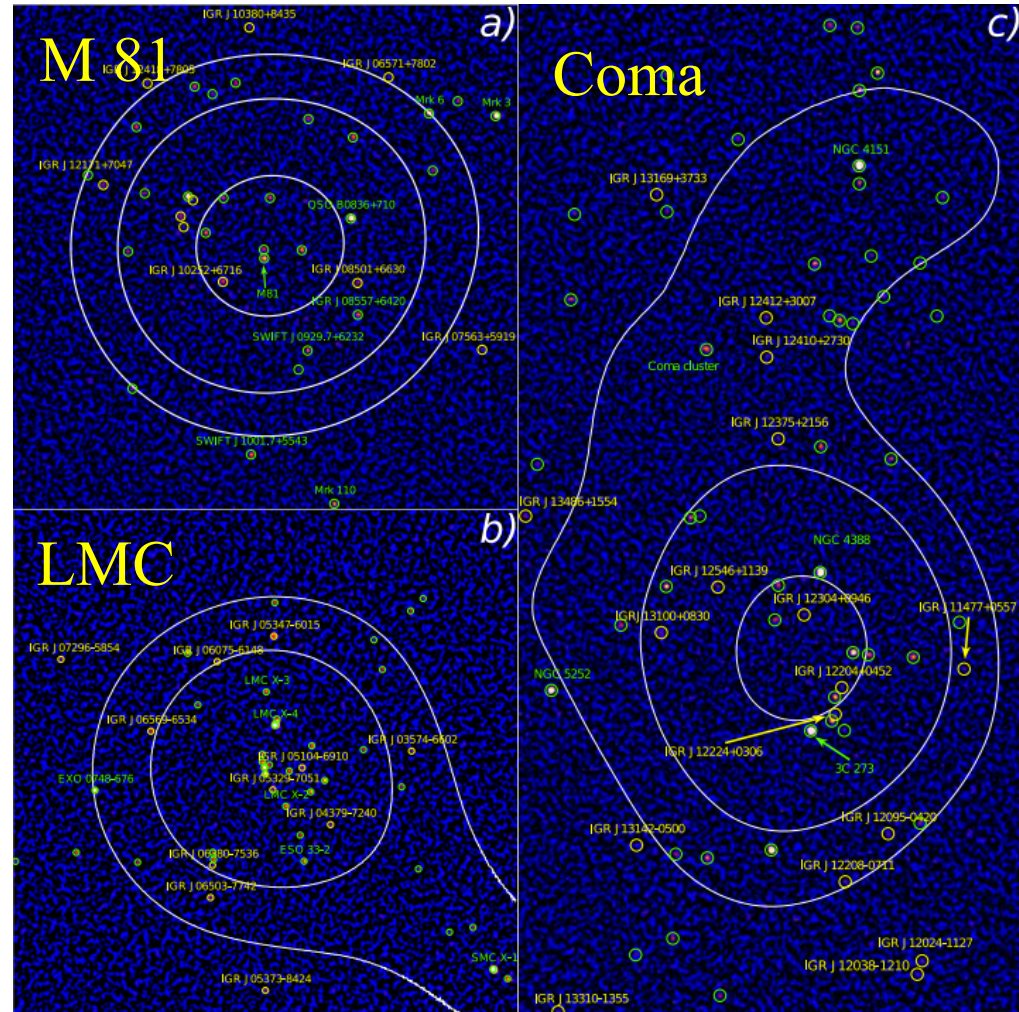
Мереминский и др., (2016)

$$f_{lim}^{5\sigma} = 0.77 \times (T/Ms)^{-1/2} \text{ mCrab}$$



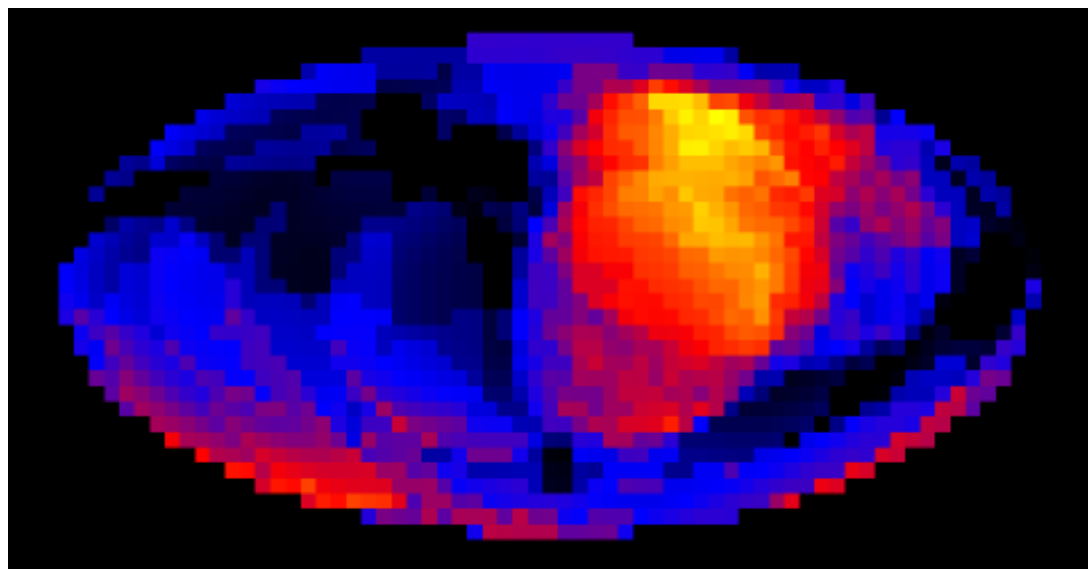
4 $\sigma$  peak sens. 0.18 mCrab  
(2.6e-12 erg/s/cm<sup>2</sup>)

10% 0.25 mCrab  
90% 0.87 mCrab

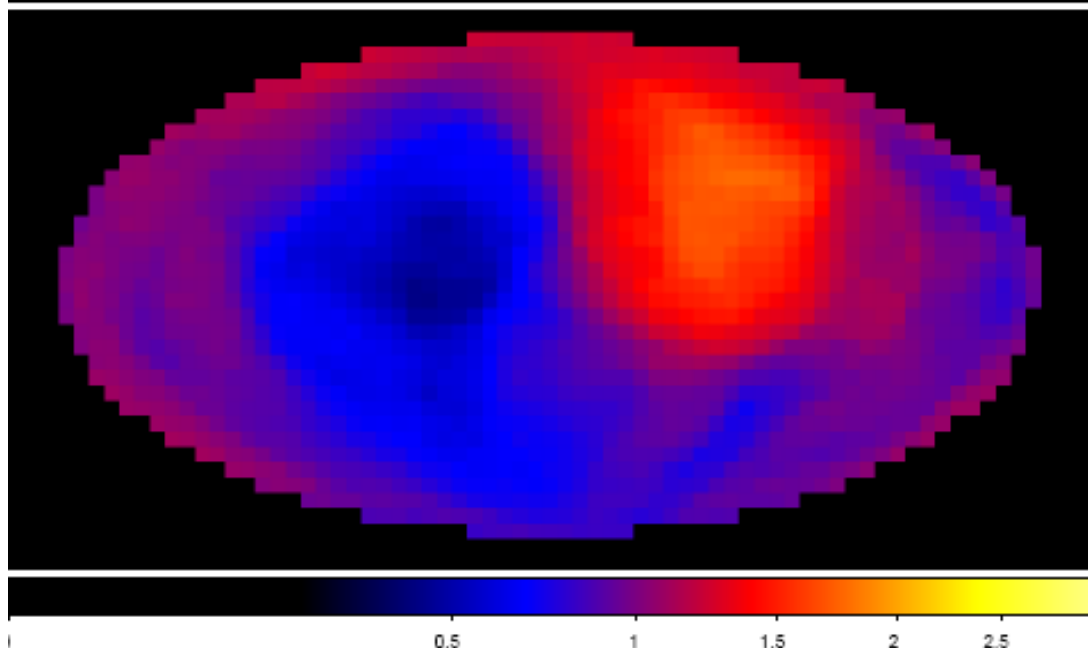


# Анизотропия АЯГ в ближней Вселенной (<70 Мпк)

40 АЯГ:  
(ИНТЕГРАЛ)

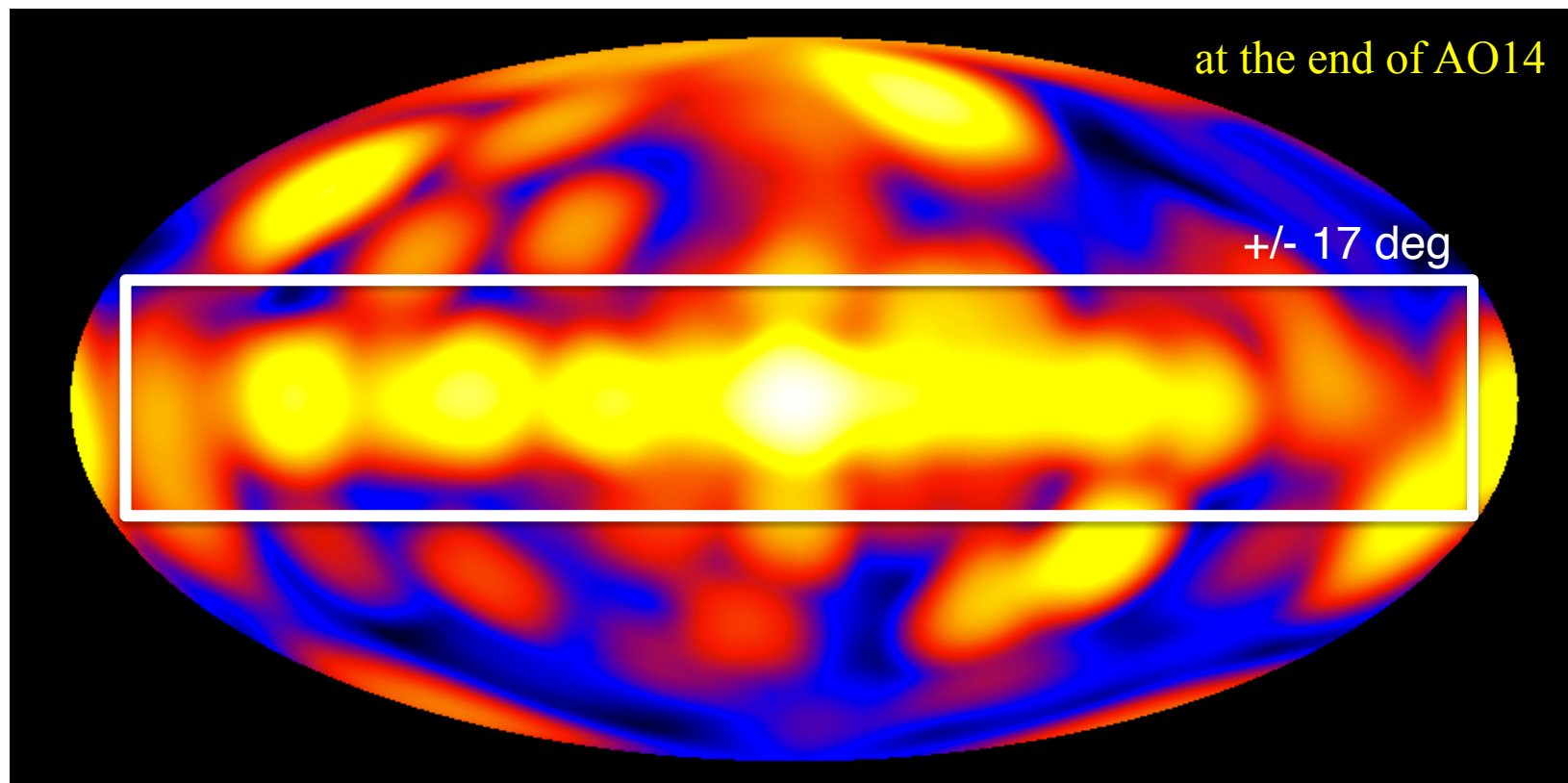


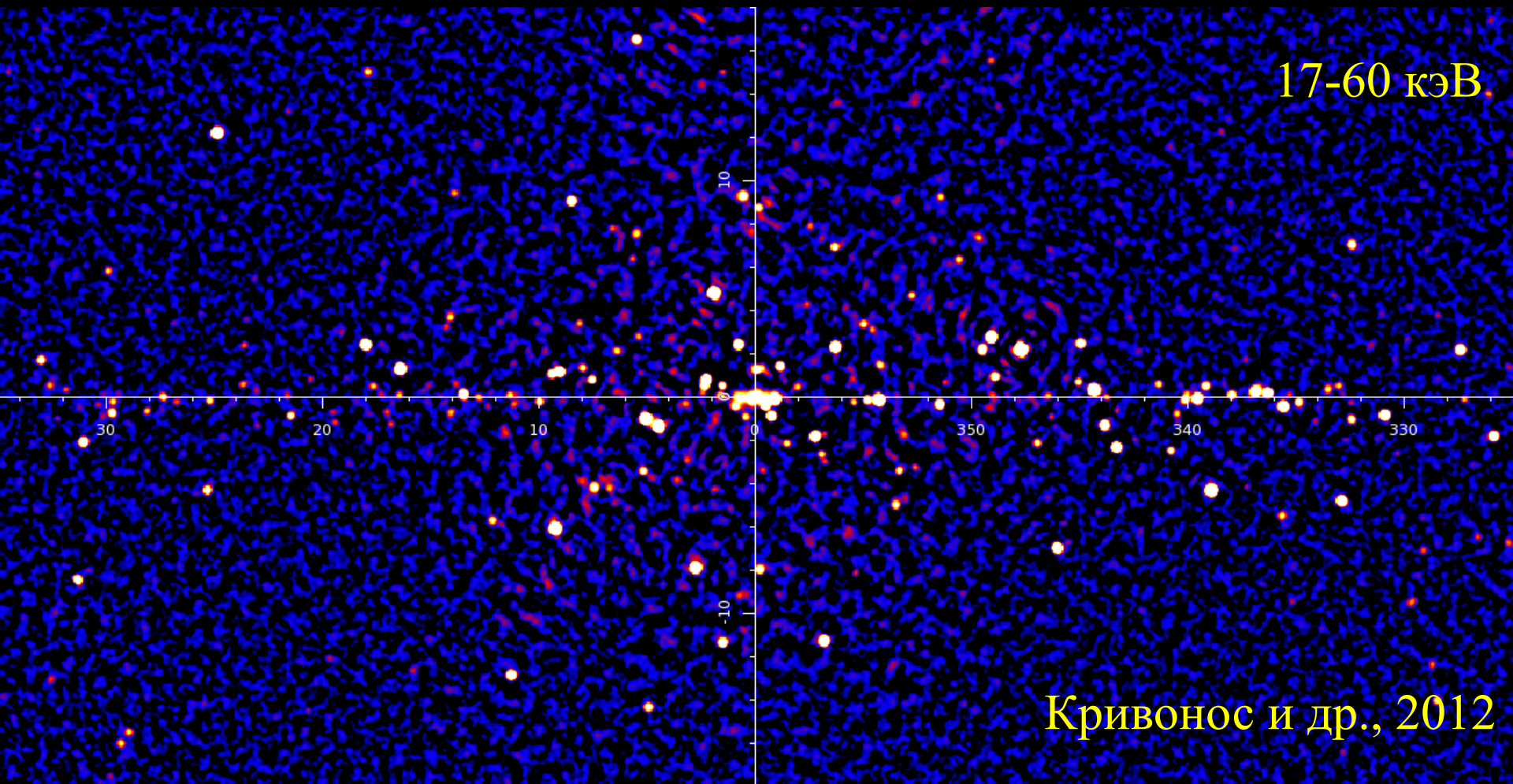
~5,000 галактик:  
(обзор *IRAS PSCz*)





# Карта экспозиции ИНТЕГРАЛа





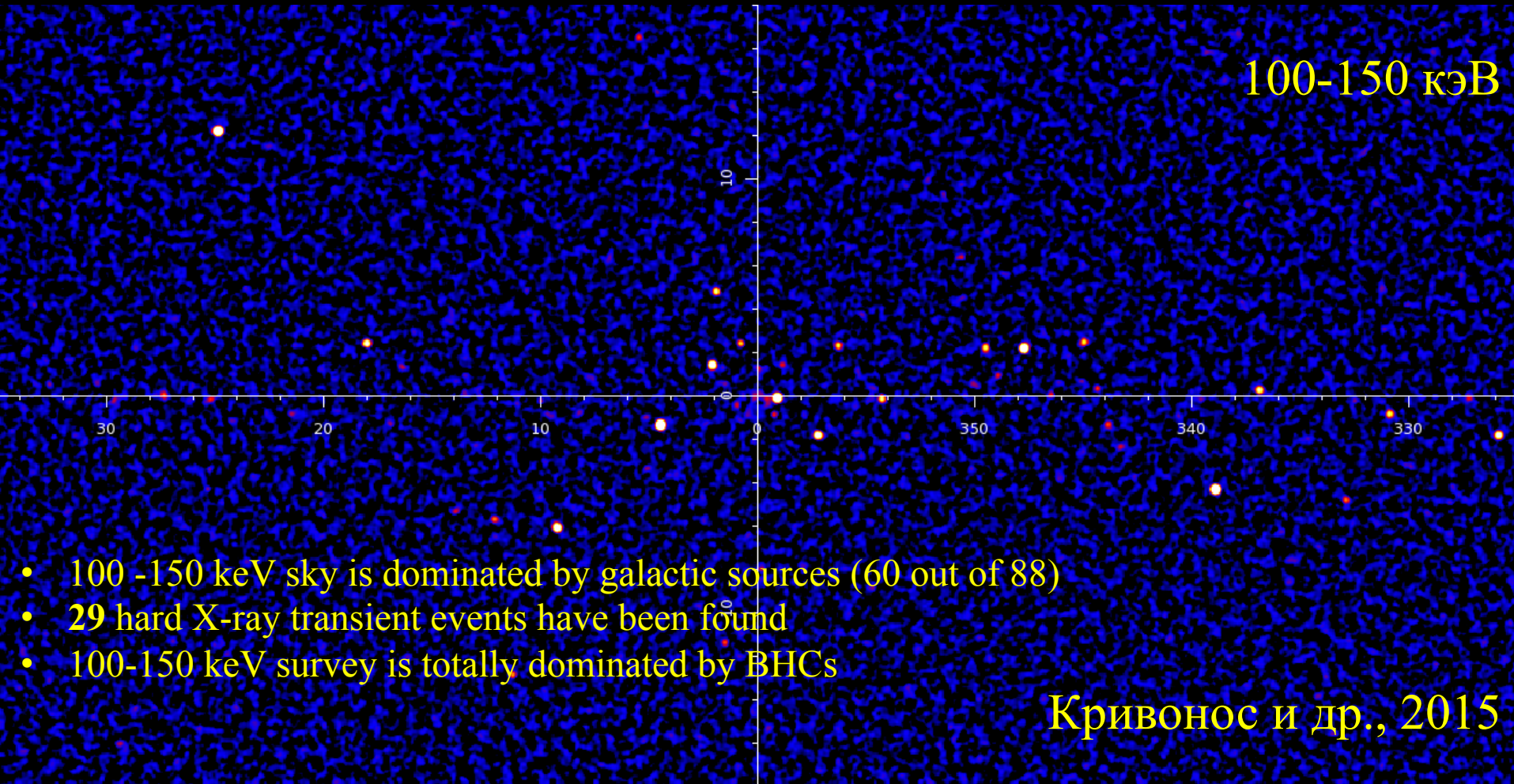
17-60 кэВ

Кривонос и др., 2012

AGN: 116, LMXB: 108, HMXB: 82, CV: 35 ( $|b| < 17$  deg)



100-150 кэВ



- 100 -150 keV sky is dominated by galactic sources (60 out of 88)
- **29** hard X-ray transient events have been found
- 100-150 keV survey is totally dominated by BHCs

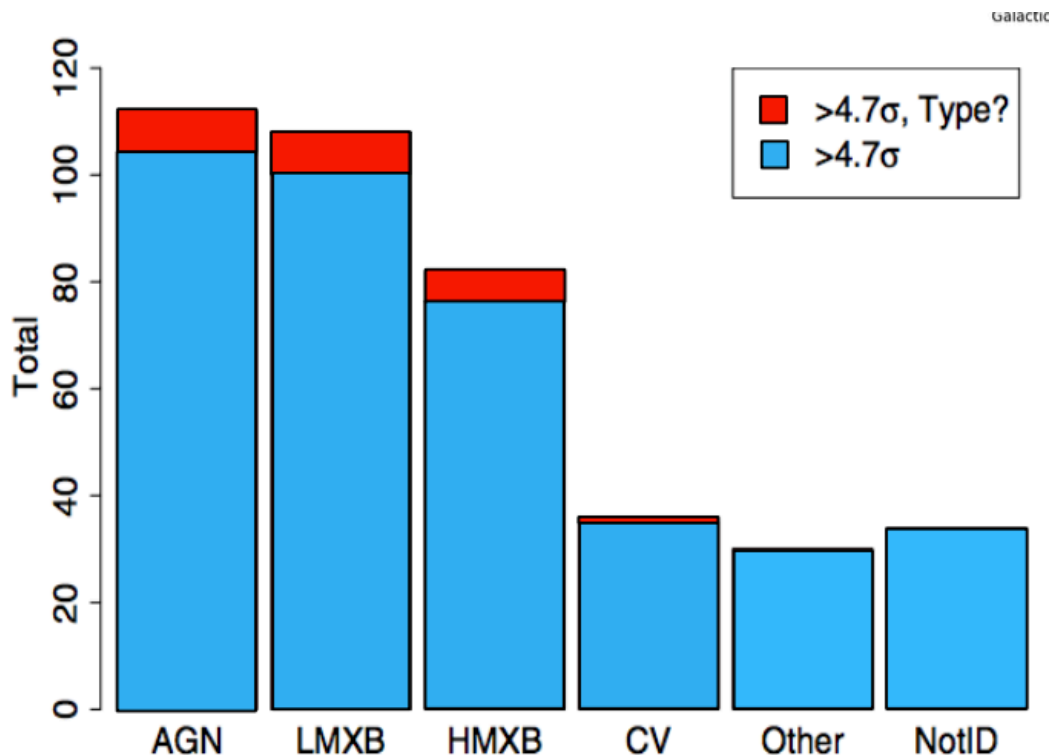
Кривонос и др., 2015

AGN: **28**, LMXB: **38**, HMXB: **10**, PSRs: **12**, CV: **0** ( $|b| < 17$  deg)

# 2012: Обзор плоскости Галактики

## 9 лет экспозиции, **17-60 keV**

- 402 источника  $> 4.7$  сигма
- Галактика: 253 (полнота 92%), «Внегалактика»: 115, не отождествлены: 34

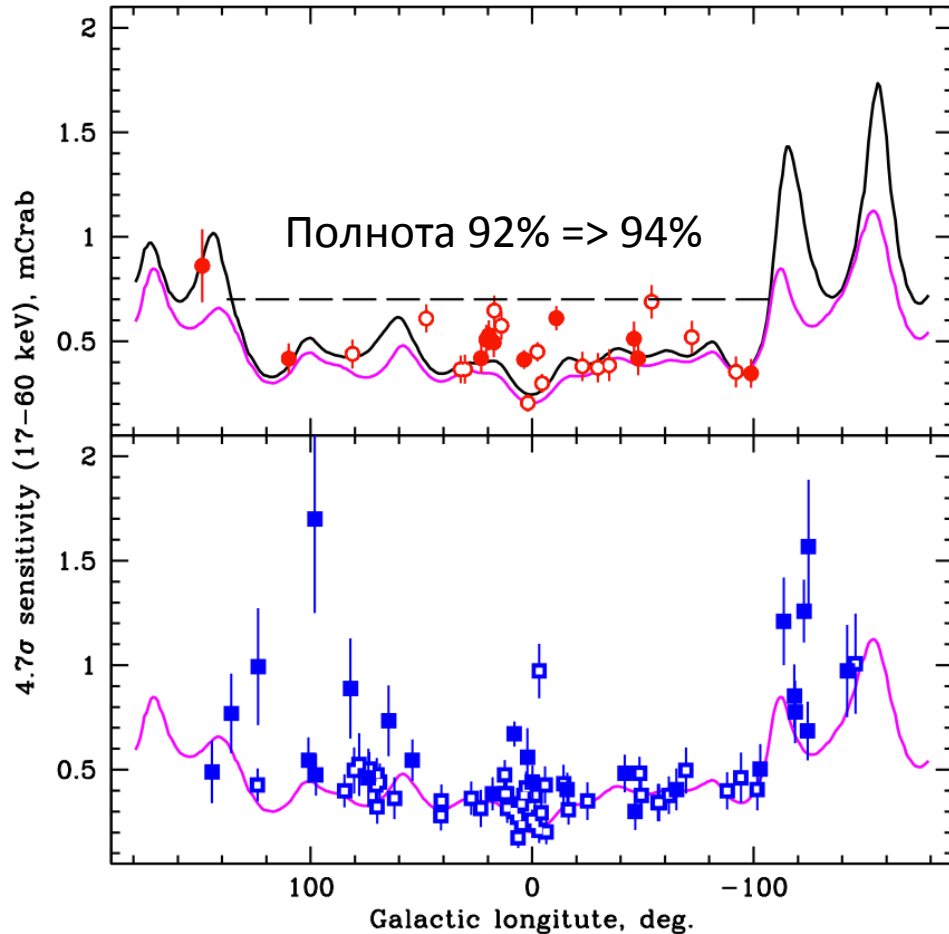


Krivosos et al. (2012)

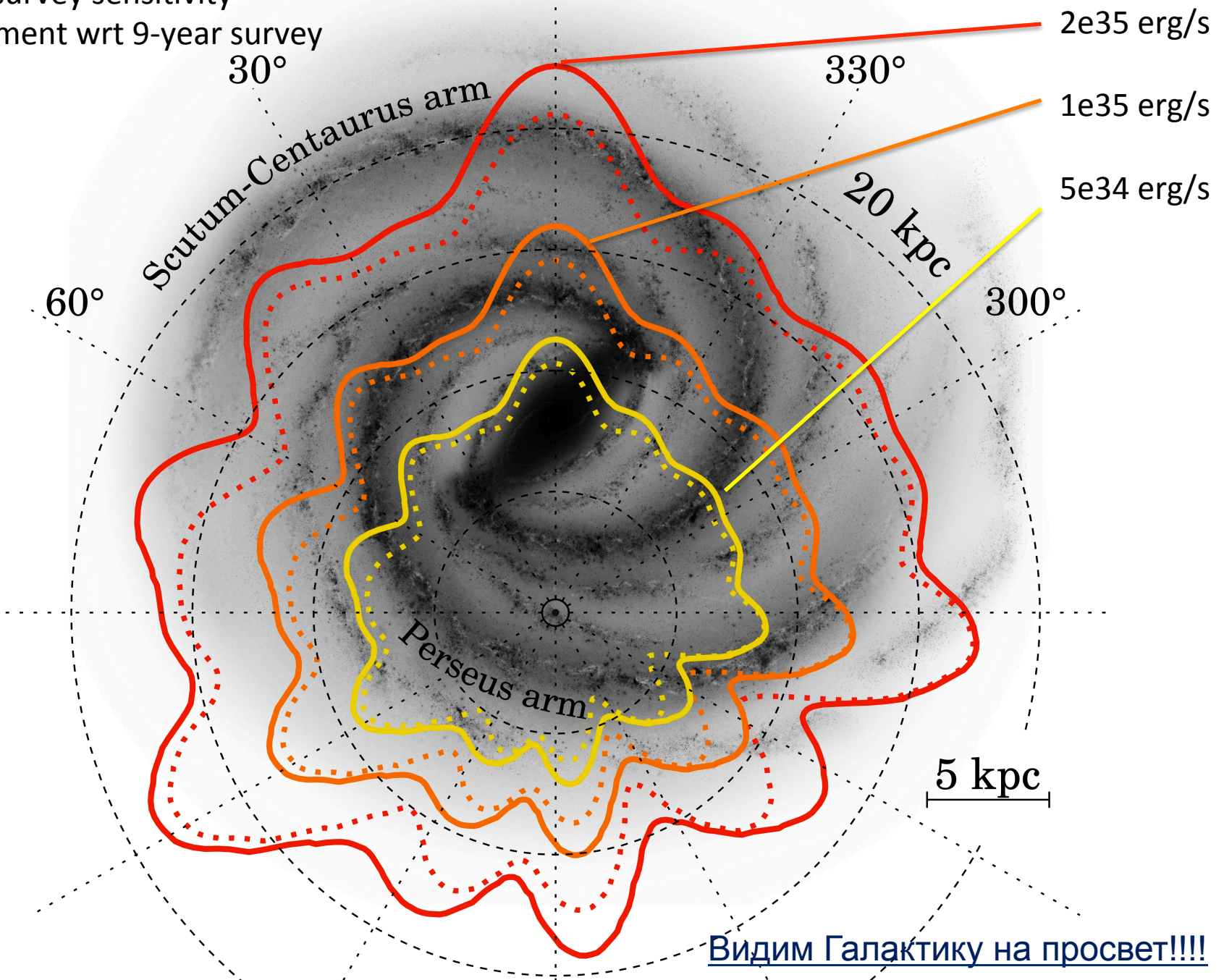


# 2017: Обзор плоскости Галактики, 14 лет экспозиции, **17-60 keV**

- 522 источника > 4.7 сигма
- Экспозиция 220 Мсес, 124727 отдельных наведений
- Предельная чувствительность  **$2.2 \times 10^{-12}$  erg/s/cm<sup>2</sup> (0.15 mCrab)**
- **72 новых источника**

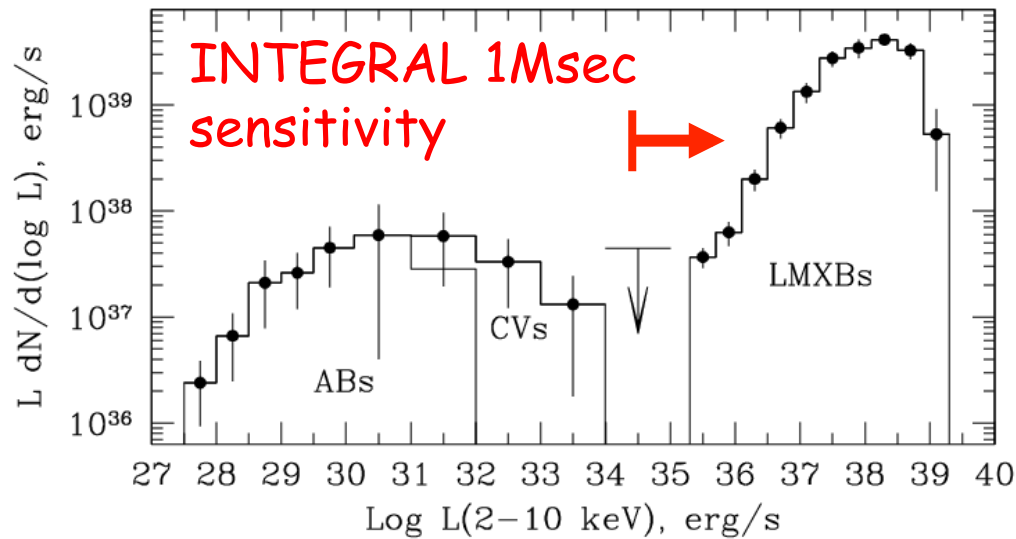


14-year survey sensitivity  
improvement wrt 9-year survey

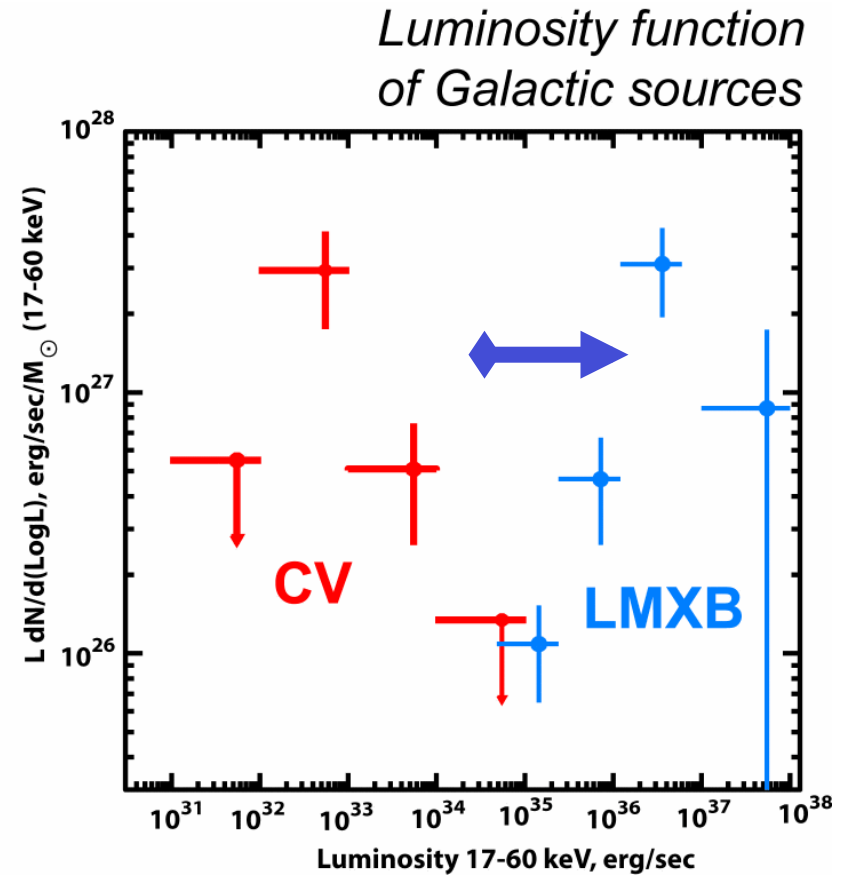


Видим Галактику на просвет!!!!

# Функции светимости галактических источников



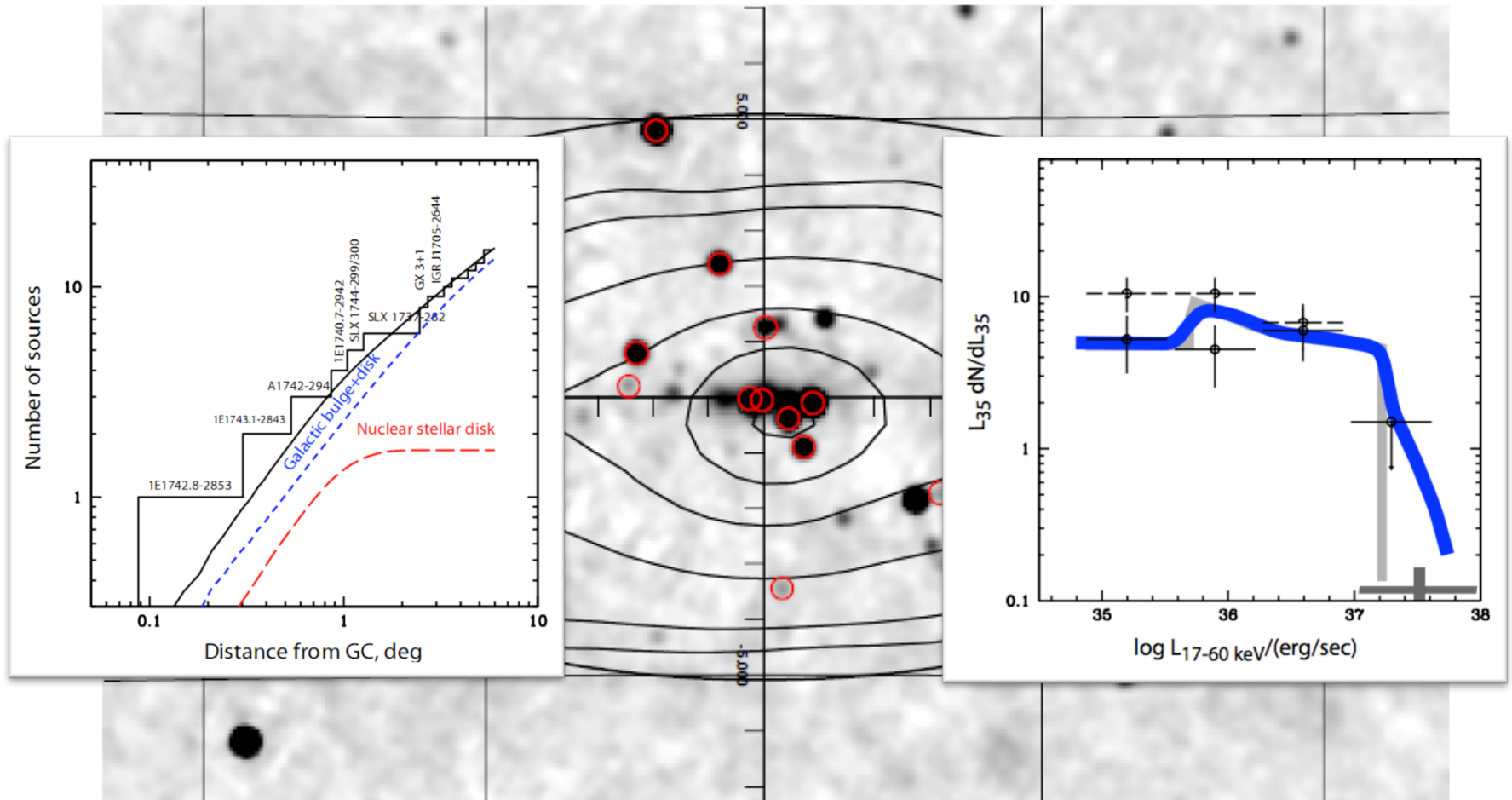
Сазонов и др., 2006



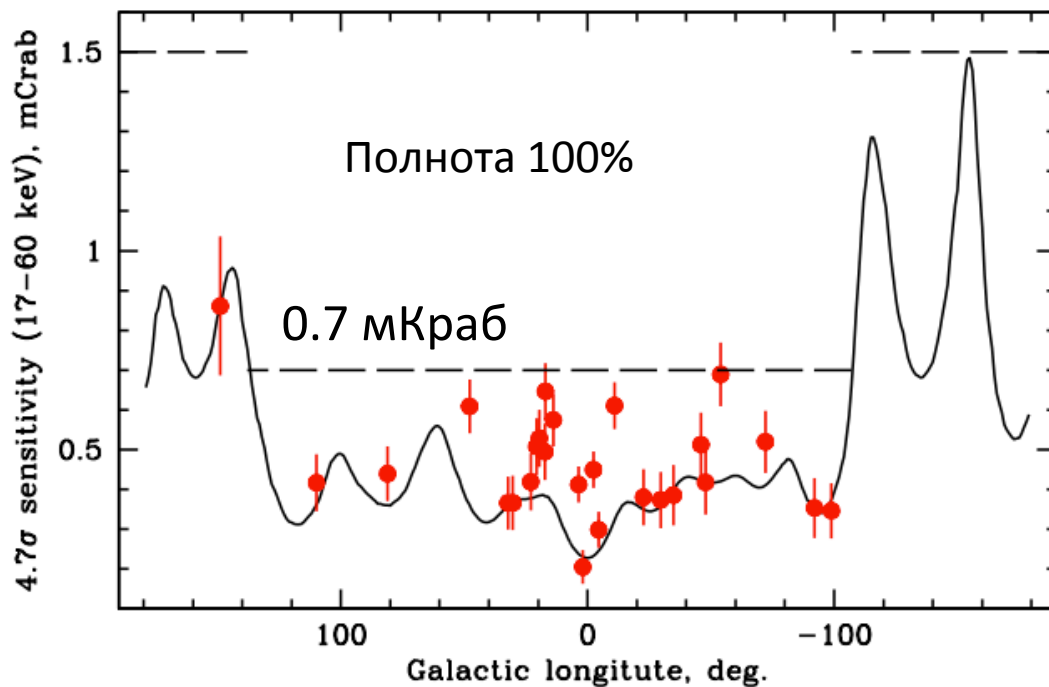
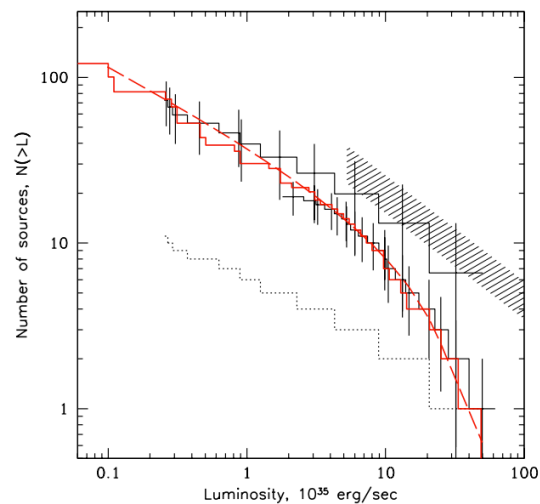
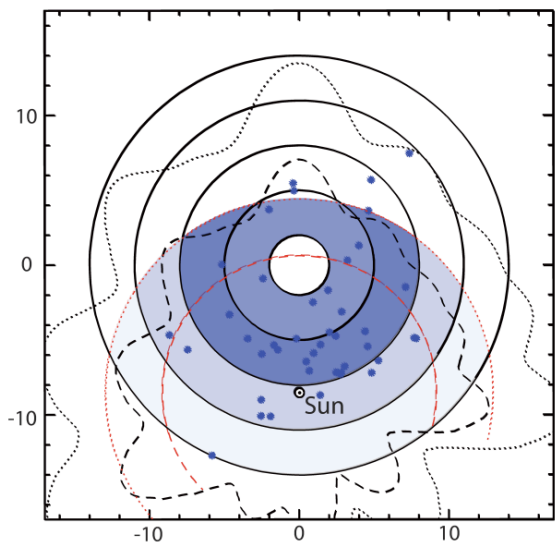
Ревнивцев и др., 2008



# Маломассивные рентгеновские двойные в галактическом «балдже»

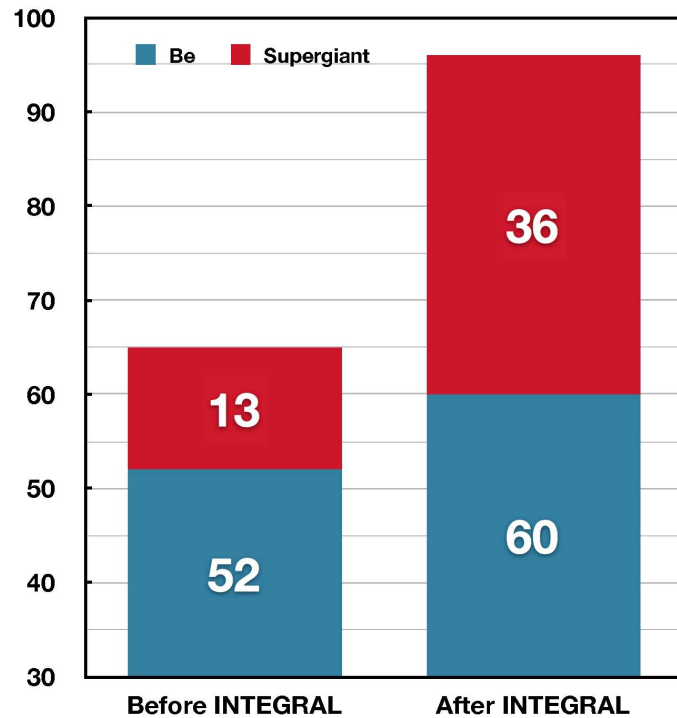


# Популяция массивных рентгеновских двойных в Галактике (Лутовинов и др., 2013)



26 non-ID sources below 0.7 mCrab from INTEGRAL 9-year survey (Krivonos+ 2012)

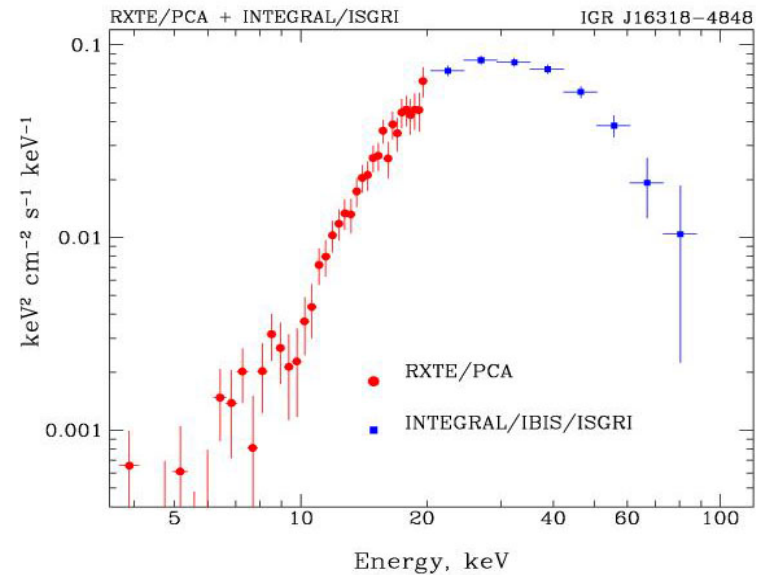
# Heavily absorbed systems



*Walter et al. 2015*

**IGR J16318-4848**

*Courvoisier et al. 2003*



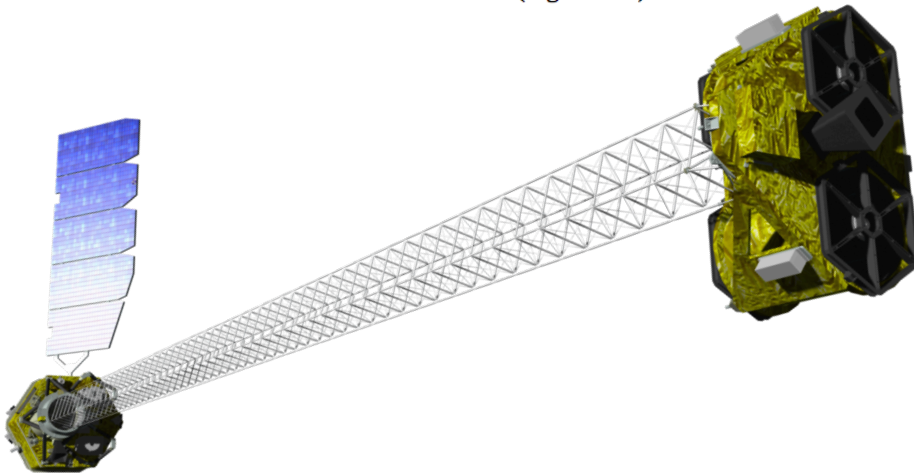
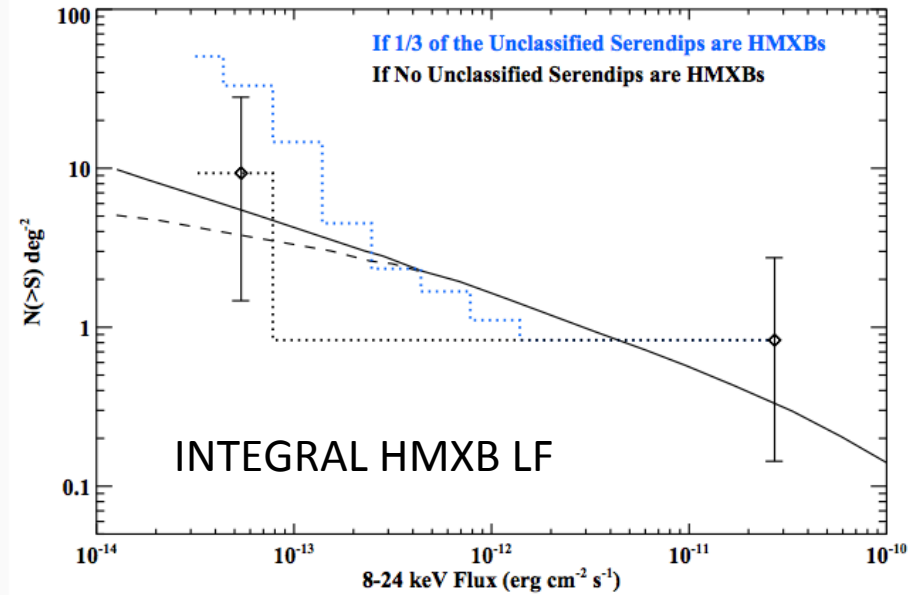
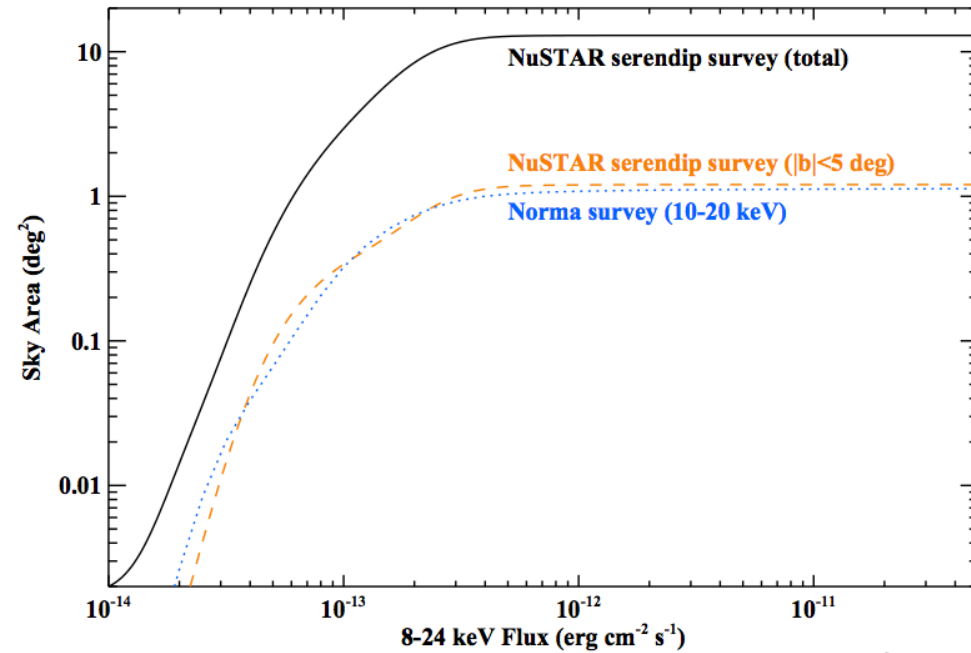
Ревнивцев и др., 2003



# Обзор Галактики телескопа NuSTAR |b| < 5 град.

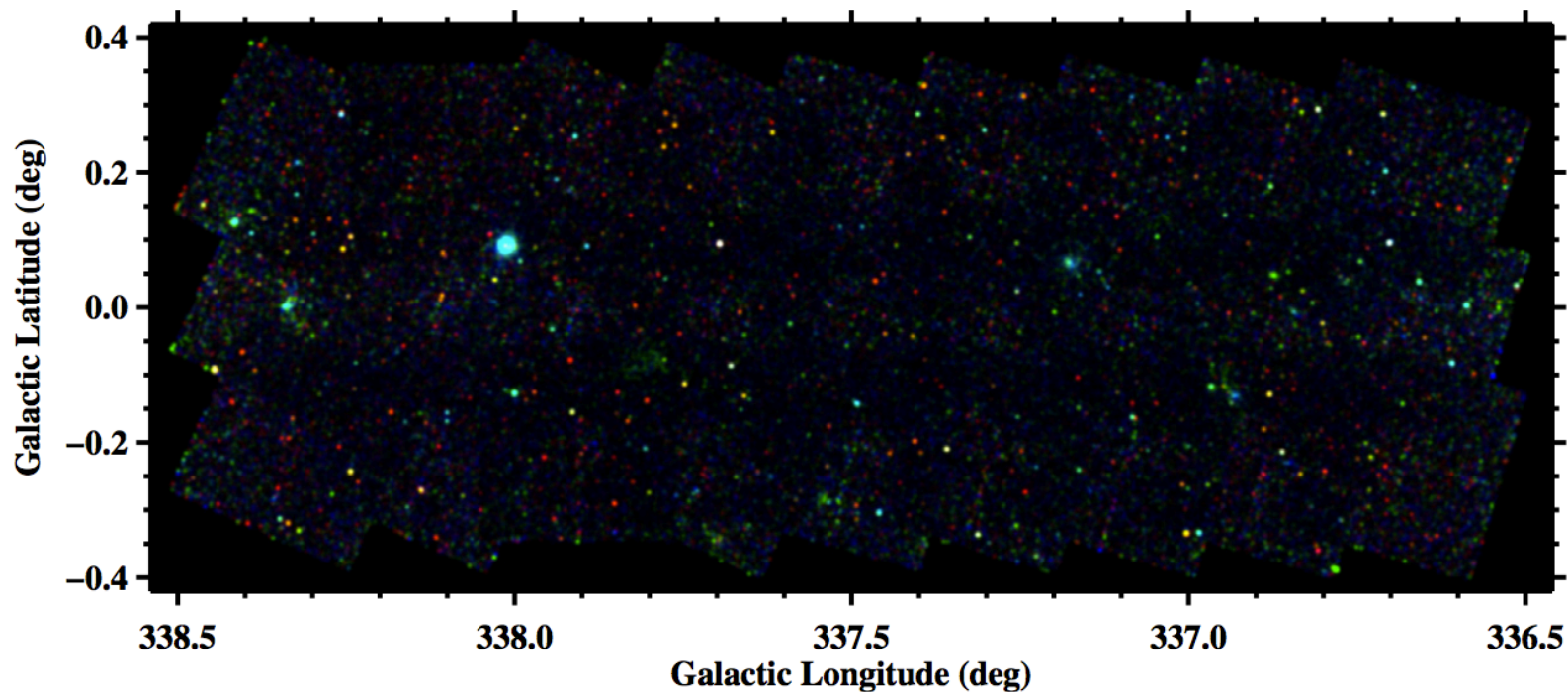
Томсик и др., 2017

- 30 «случайных» источников
- 4 отождествлены
- 2 массивные двойные



# Обзор спирального рукава Нормы по данным спутника Чандра

Fornasini et al., (2013)

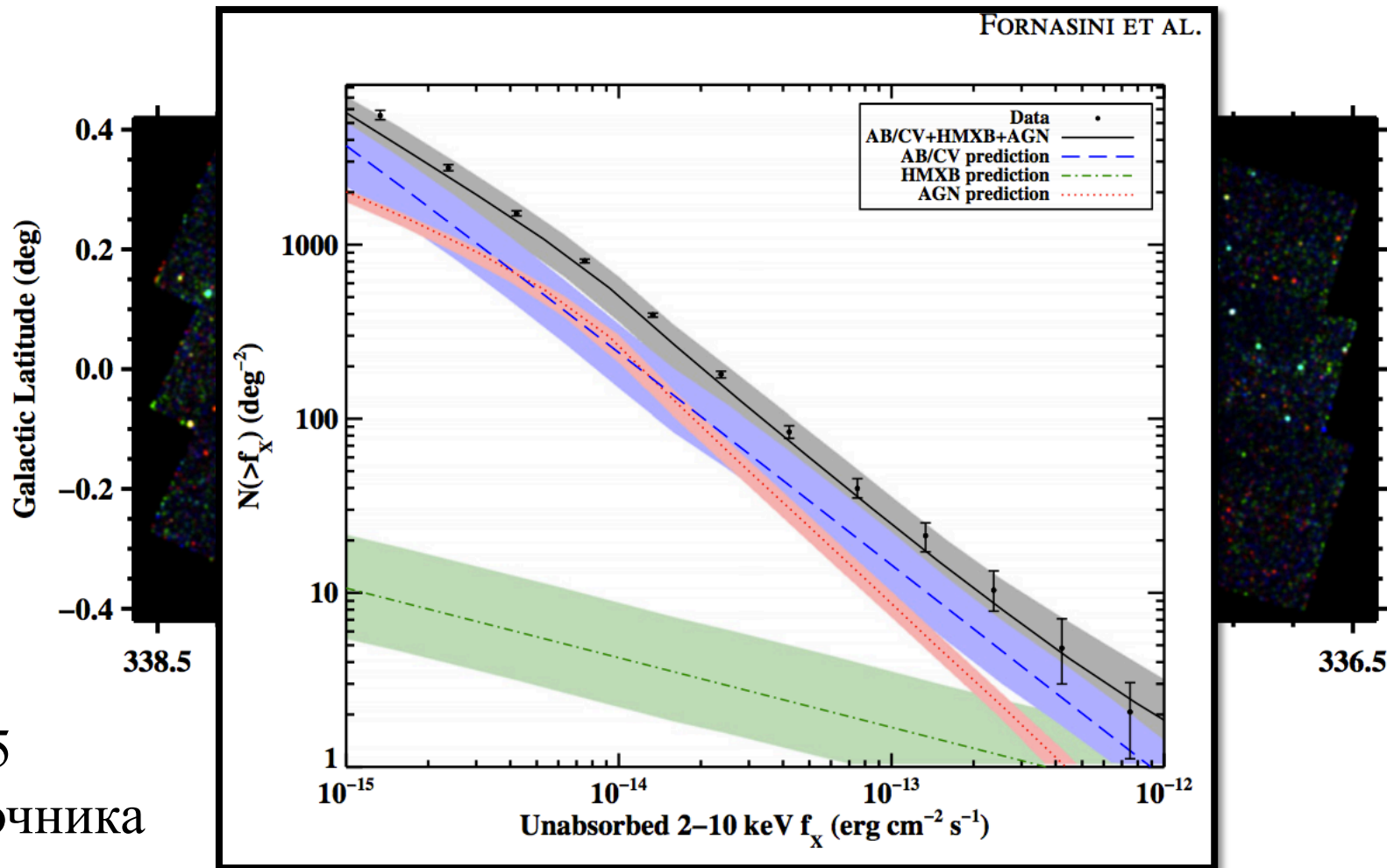


1415

источника

# Обзор спирального рукава Нормы по данным спутника Чандра

Fornasini et al., (2013)

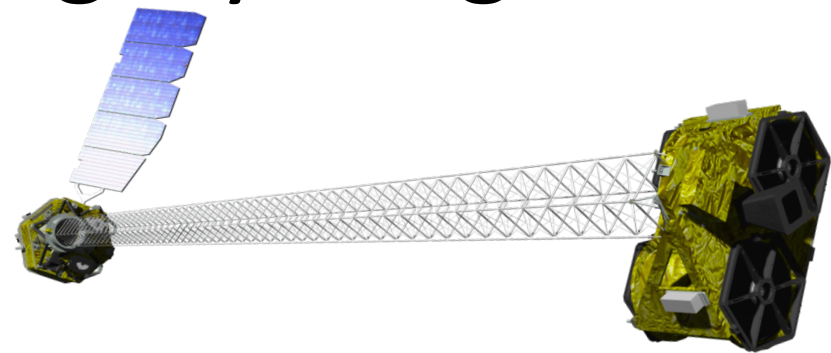
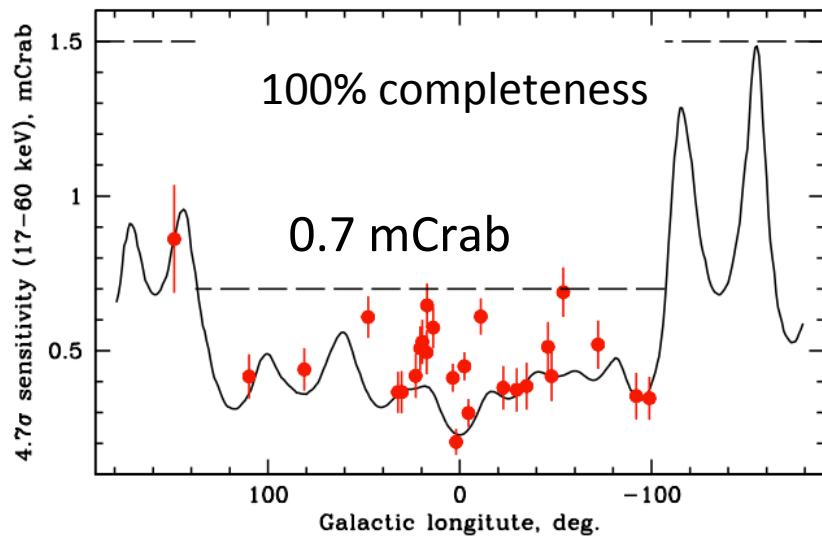


1415

ИСТОЧНИКА



# NuSTAR: IGR Legacy Program



26 non-ID sources below 0.7 mCrab from  
INTEGRAL 9-year survey (Krivonos+ 2012)

Total exposure: 725 ks

IGR J04059+5416

IGR J08297-4250

IGR J10447-6027

**IGR J14091-6108**

IGR J16181-5407

IGR J17164-3803

IGR J17233-2837

IGR J17315-3221

IGR J17402-3656

AX J1753.5-2745

IGR J18088-2741

IGR J18134-1636

**IGR J18293-1213**

IGR J18381-0924

IGR J18497-0248

IGR J19113+1413

Swift J2037.2+4151

IGR J20569+4940

# NuSTAR: IGR Legacy Program

- **IGR J18293-1213**: Eclipsing IP (Clavel et al. 2016)
- **IGR J10447-6027**: AGN ( $z = 0.046$ )
- **IGR J20569+4940**: Likely blazar
- **IGR J17402-3656**: X-ray binary or CV/IP
- **IGR J16181–5407**: AGN

## **All observations were successful:**

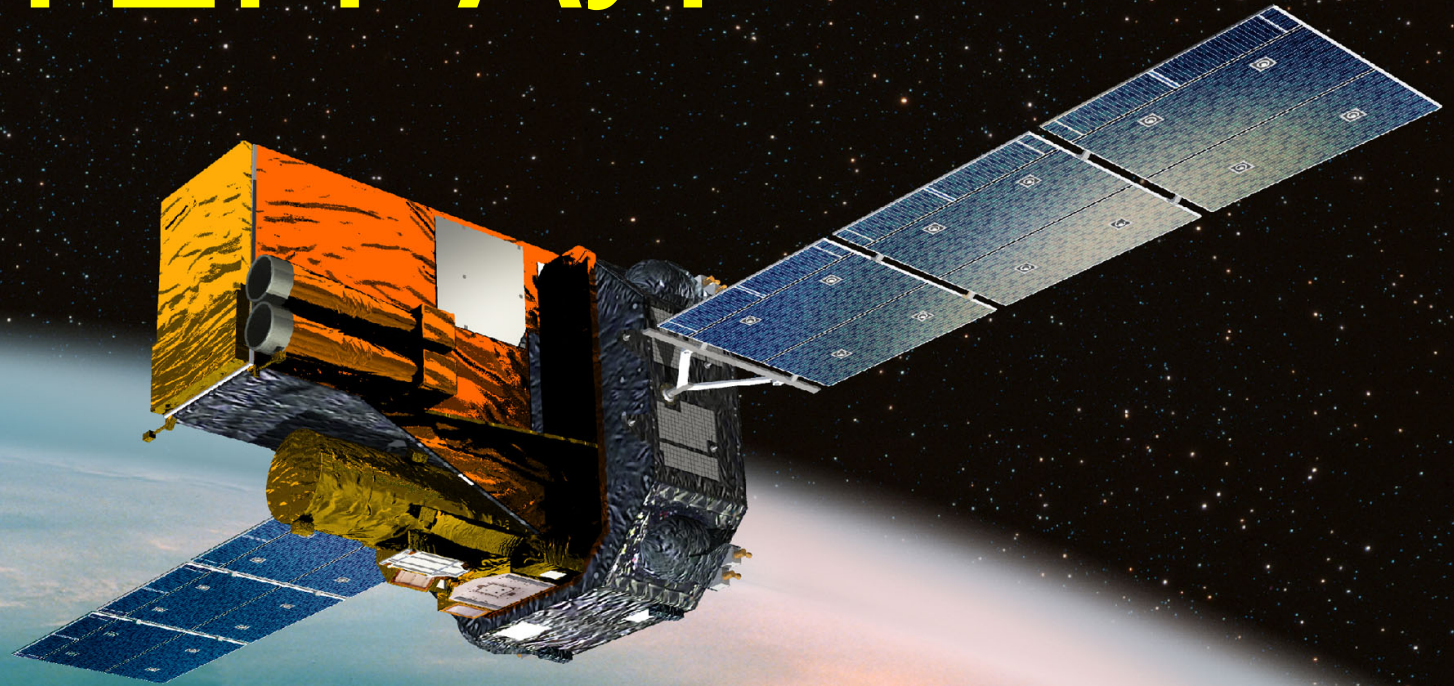
- Sources detected at anticipated count rate
- NuSTAR spectral analyses performed
- Secure or likely identification for all sources.

# Резюме

- Рентгеновские обзоры неба обсерватории ИНТЕГРАЛ предоставляют статистически чистую выборку рентгеновских источников галактического и внегалактического происхождения с высокой степенью полноты, что является основой для систематического анализа популяций этих объектов.



# ИНТЕГРАЛ



15 лет успешной  
работы на орбите