

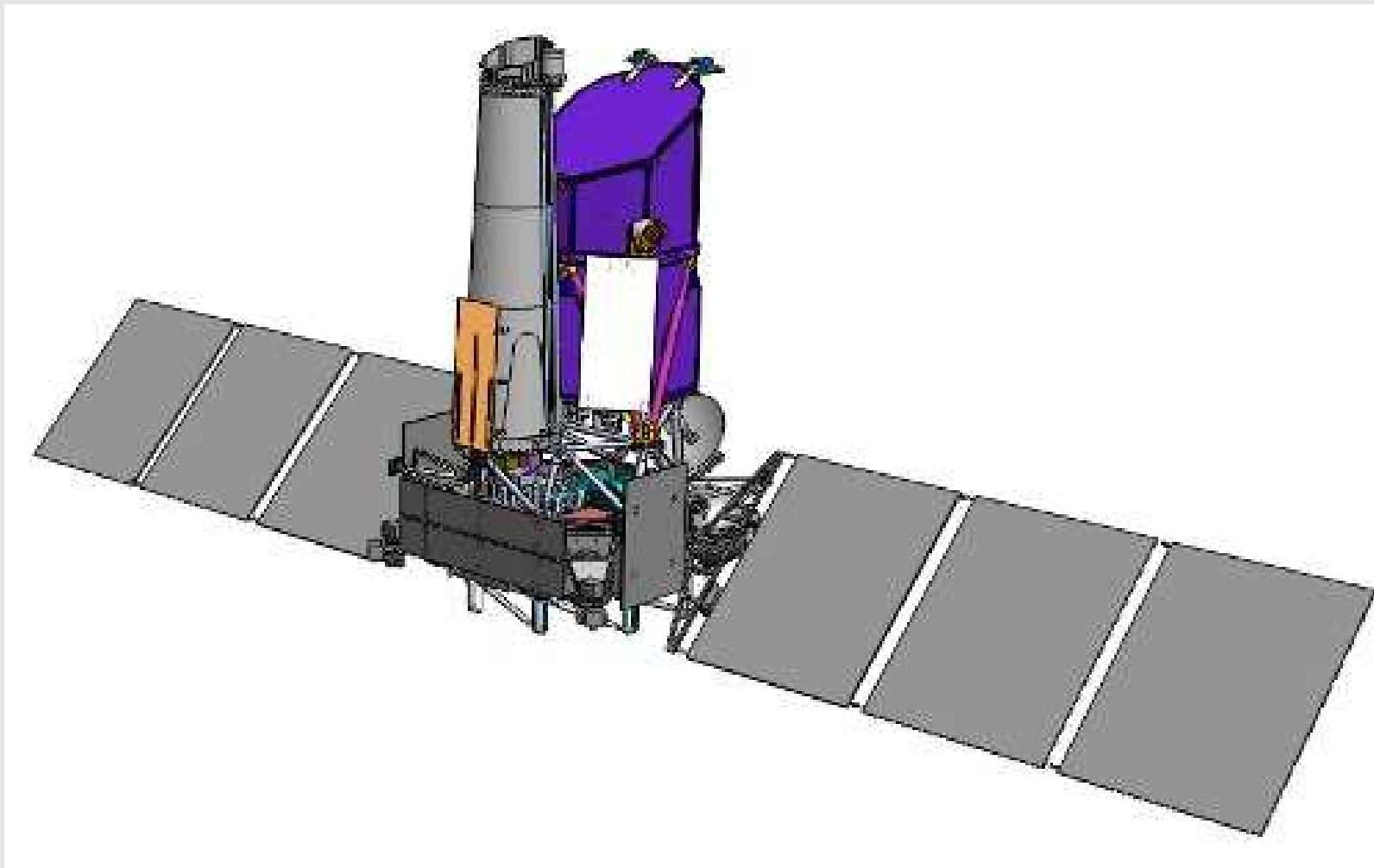
# Поддержка рентгеновского обзора всего неба обсерватории SRG в оптическом диапазоне

**Р. Буренин**

*ИКИ, Москва*

*ГАИШ, 11 марта, 2013 г.*

## Спектр-рентген-гамма (СРГ)



АРТ (Россия), eРОЗИТА (Германия)

# ePOЗИТА

Обзор в  $\sim 100$  раз глубже обзора всего неба ROSATa, в  $\sim 100$  больше по площади, по сравнению с обзорами сравнимой глубины:

- $\sim 100000$  скоплений галактик, включая *ВСЕ* массивные скопления в наблюдаемой части Вселенной
- $\sim 3000000$  активных ядер галактик и квазаров:
  - АЯГ наибольшей рентгеновской светимости
  - квазары на высоких красных смещениях,  $z > 6$ , реионизация
  - поглощенные АЯГ и квазары 2-го типа на высоких красных смещениях
- $\sim 1000$ –??? аккрецирующих белых карликов в рентгеновских двойных системах, включая (видимо) *ВСЕ* системы в диске Галактики, расположенные на высоких галактических широтах
- $\sim 100000$  звезд с хромосферной активностью
- одиночные нейтронные звезды
- ...

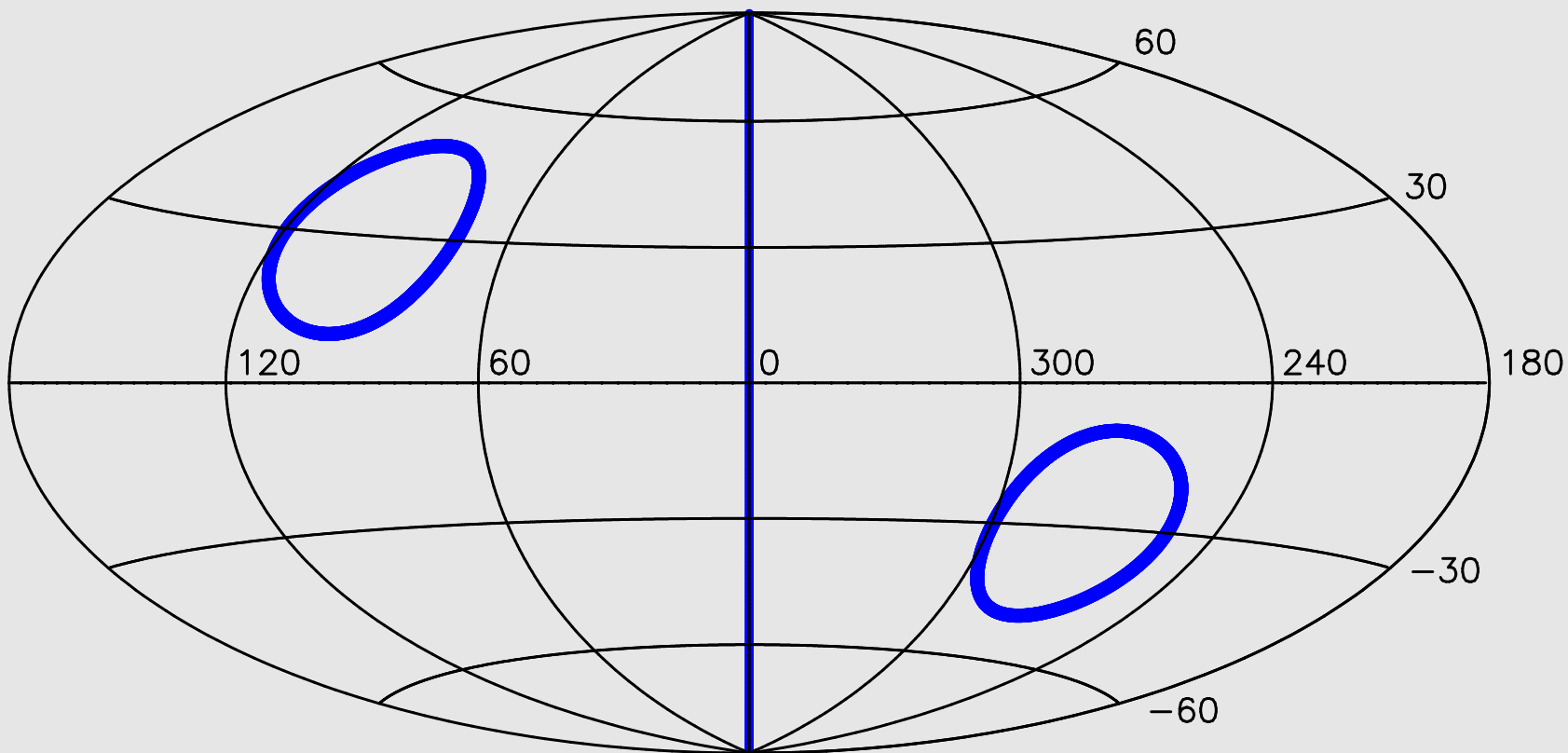
# ART

Обзор в  $\sim 10$  раз глубже обзора ИНТЕГРАЛа и *Swift-BAT*:

- Полная выборка АЯГ в местной части Вселенной, включая поглощенные АЯГ
- Обзор плоскости Галактики в неисследованном диапазоне рентгеновских светимостей —  $10^{33} - 10^{35}$  эрг  $\text{с}^{-1}$
- Уточнение измерений температур близких богатых скоплений галактик
- . . .

# Граница раздела данных обзора ePOZITA

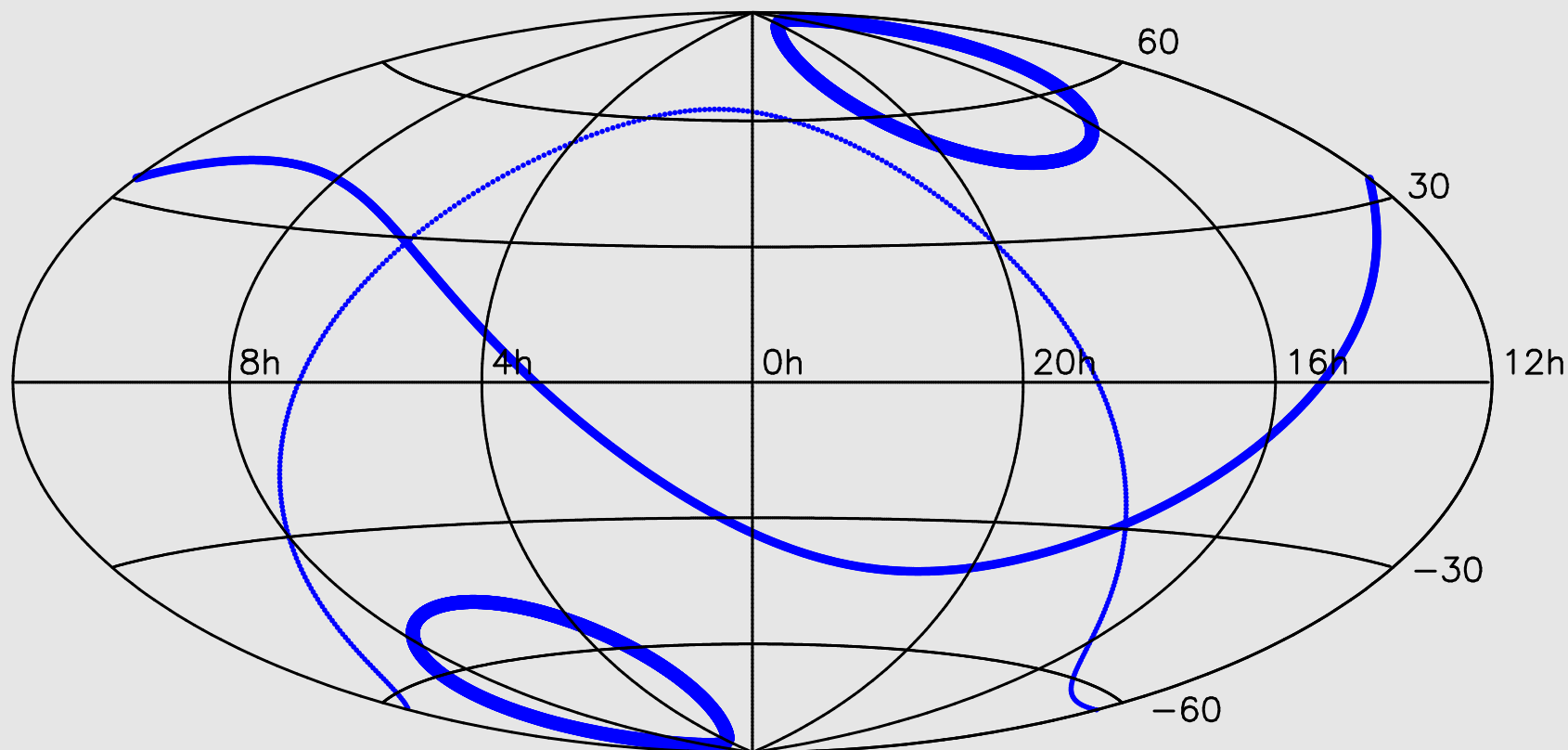
Галактические координаты:



Российская часть неба — слева

# Граница раздела данных обзора ePOЗИТА

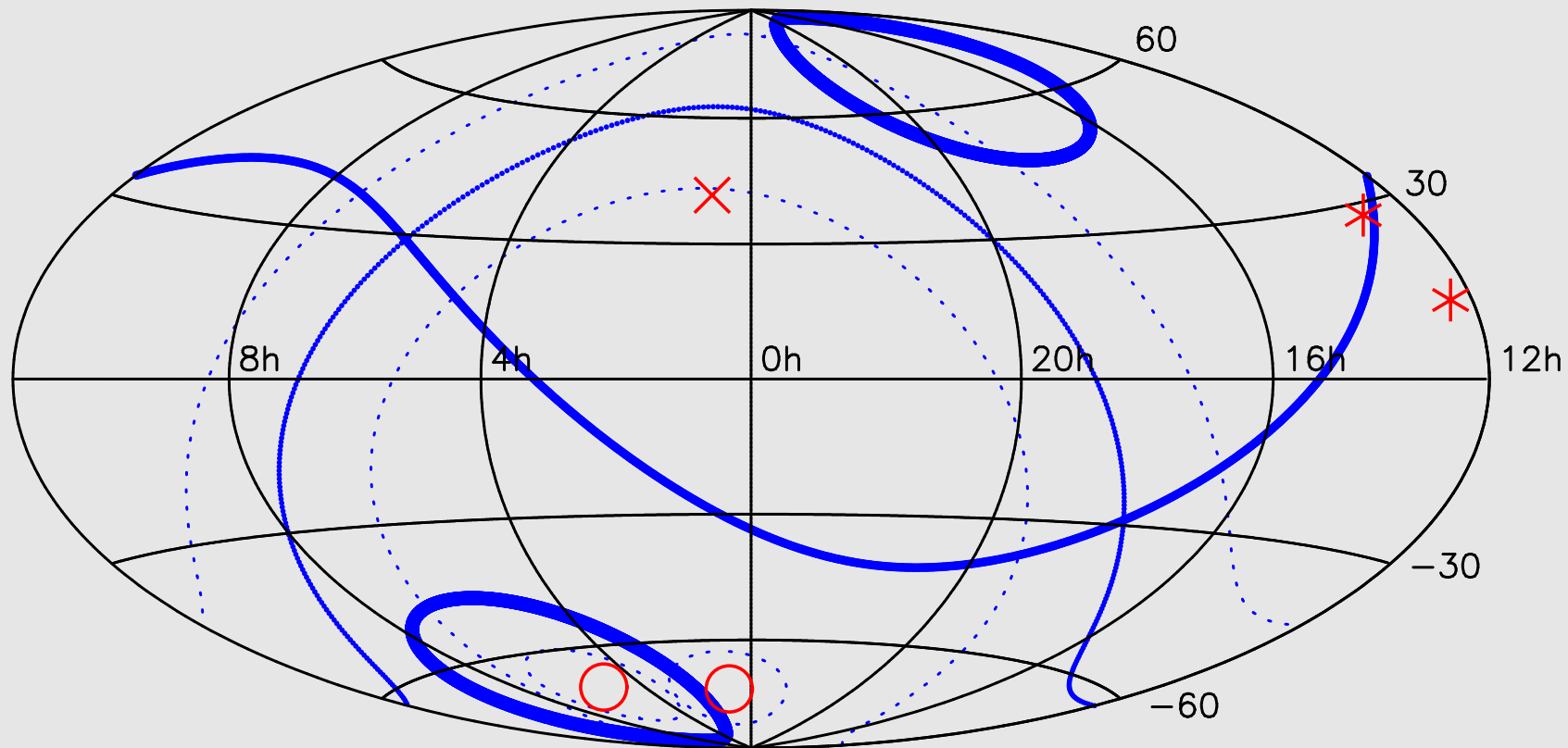
Экваториальные координаты:



Российская часть неба — «север»

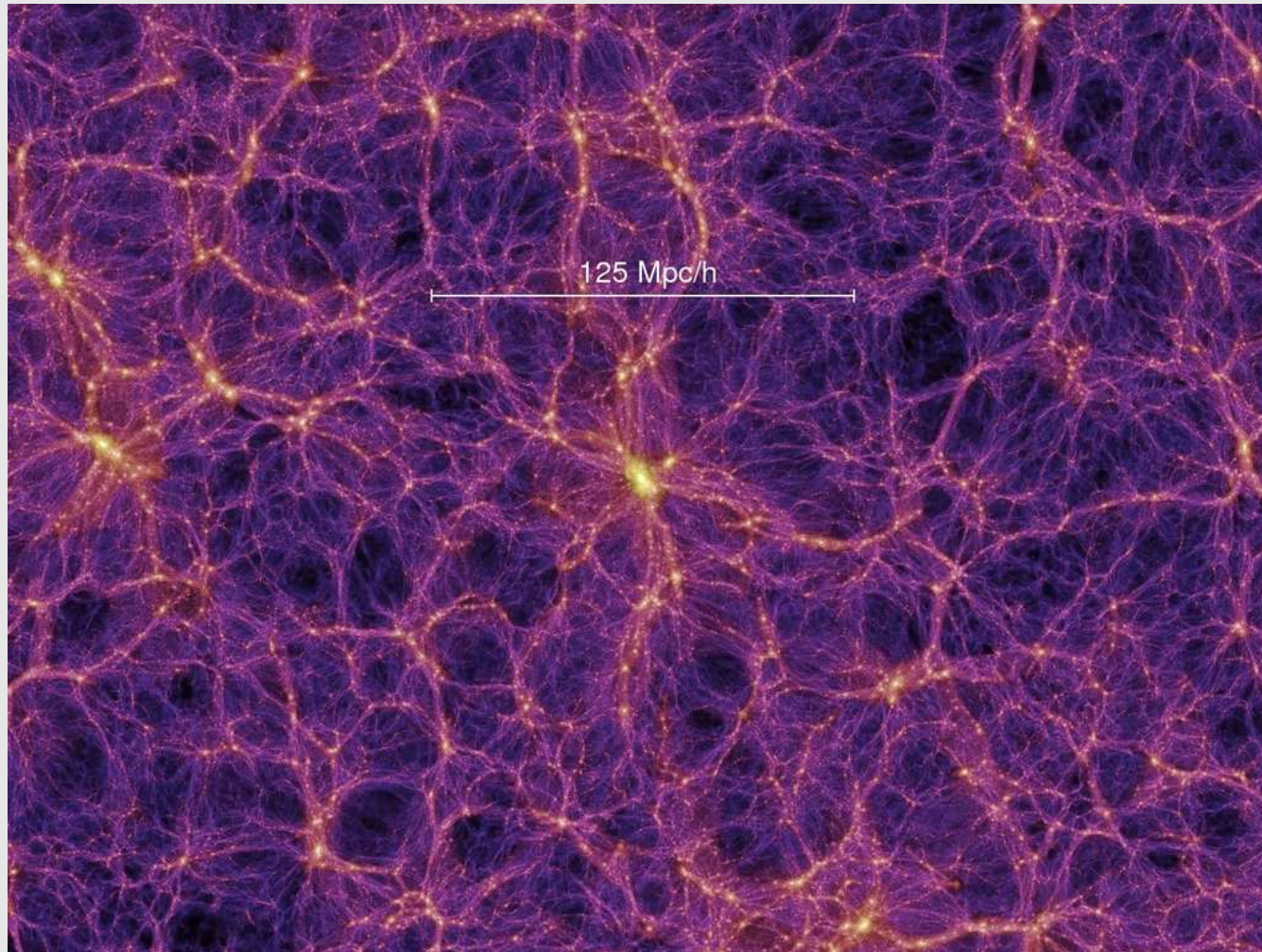
С севера (юга) можно наблюдать примерно 1/3 южной (северной) половины

# Некоторые близкие объекты



○ — БМО, ММО, × — М31, \* — скопления ВВ и Девы

# Скопления галактик

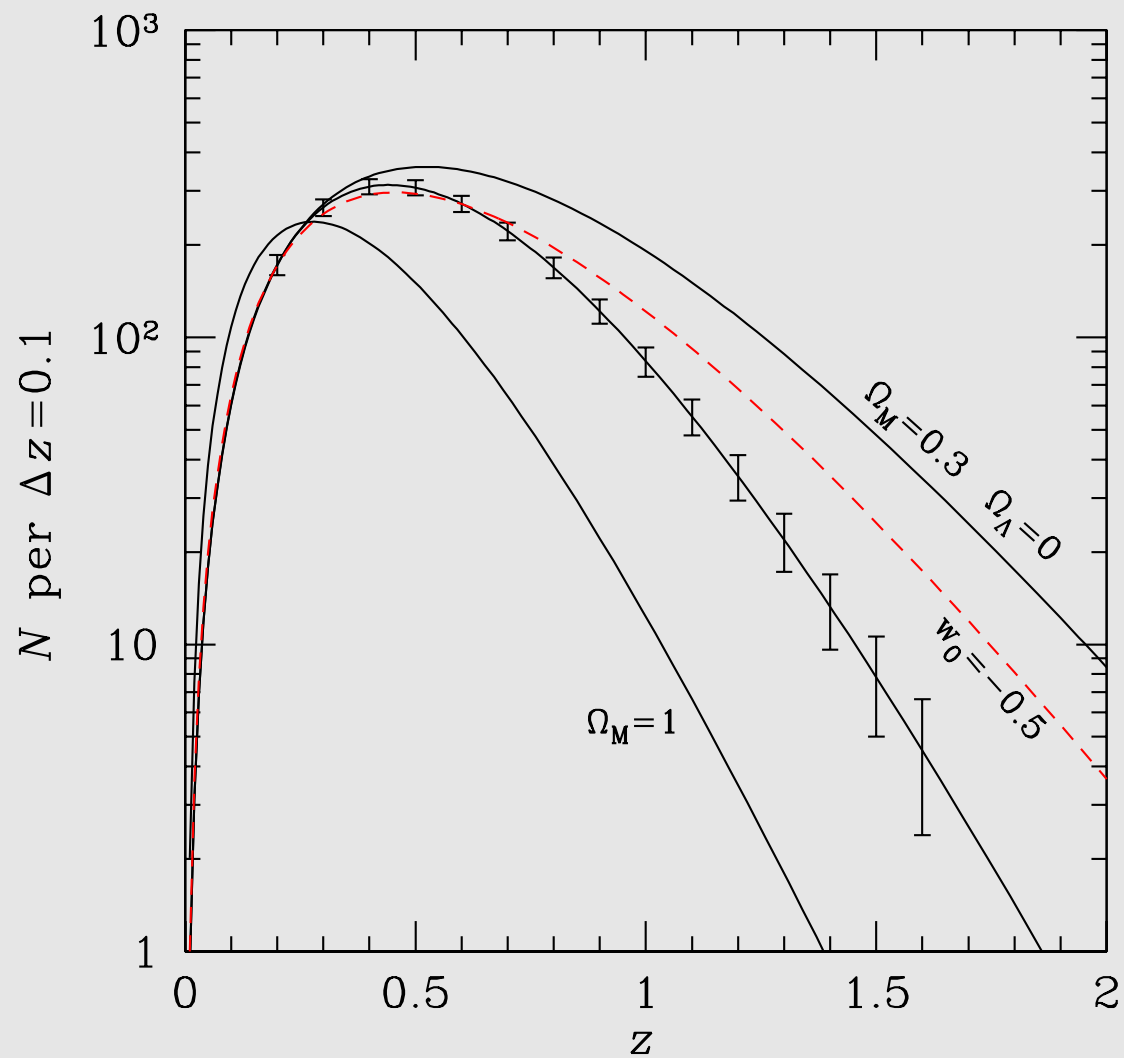


Моделирования тысячелетия (Millenium simulations)

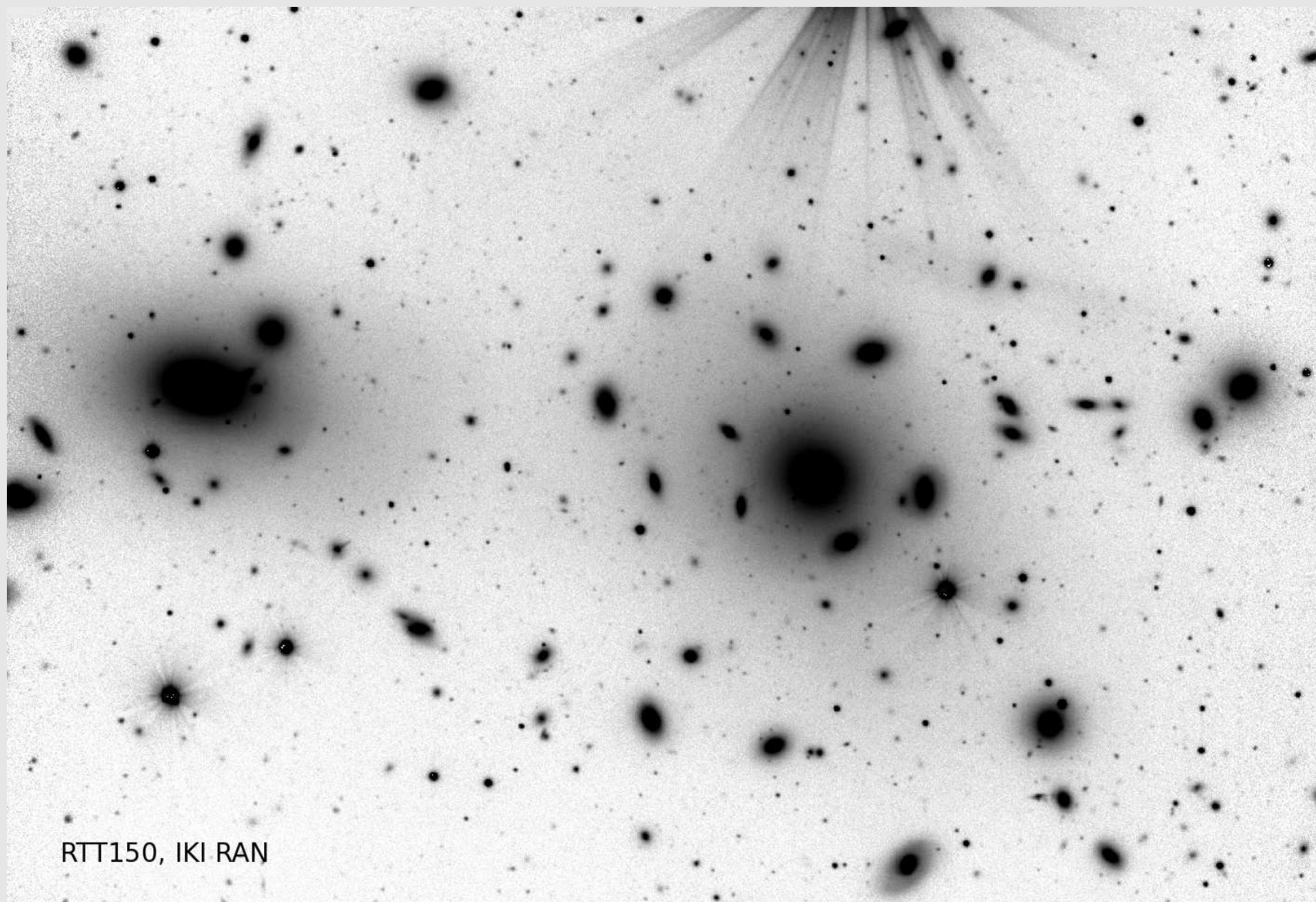
Функцию масс скоплений можно откалибровать с точностью  $\sim 1\%$



# Распределение массивных скоплений по $z$

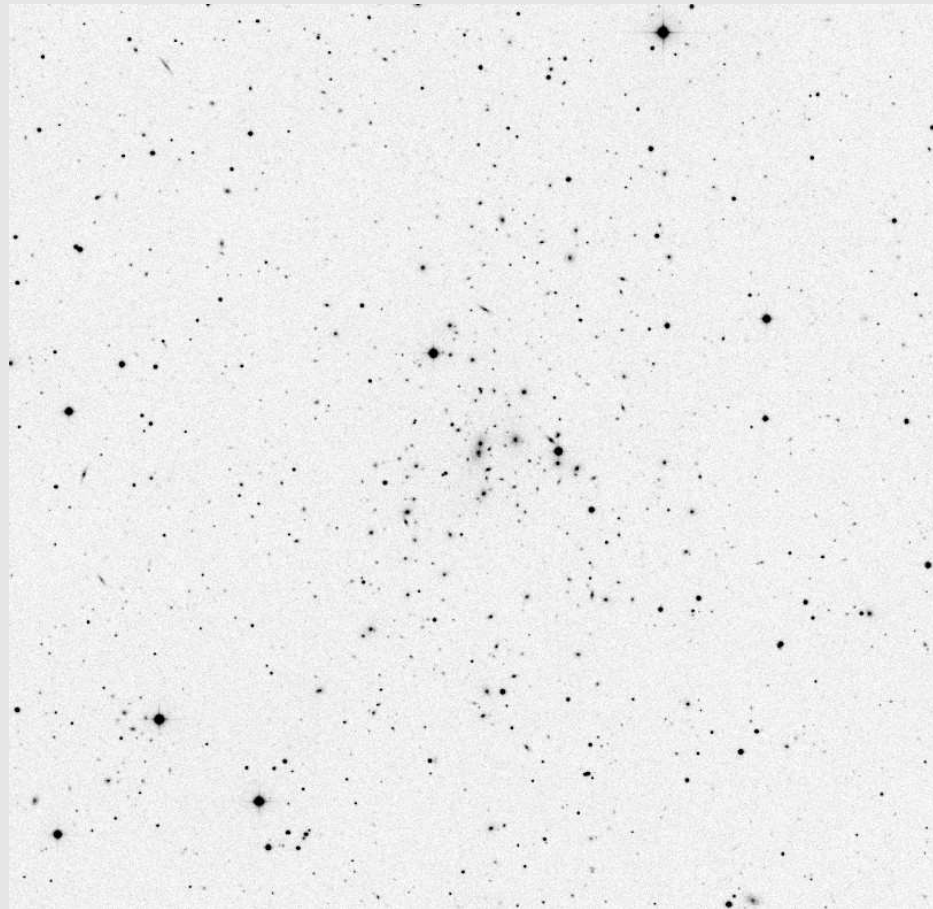


## Как следует искать скопления?



## Как следует искать скопления?

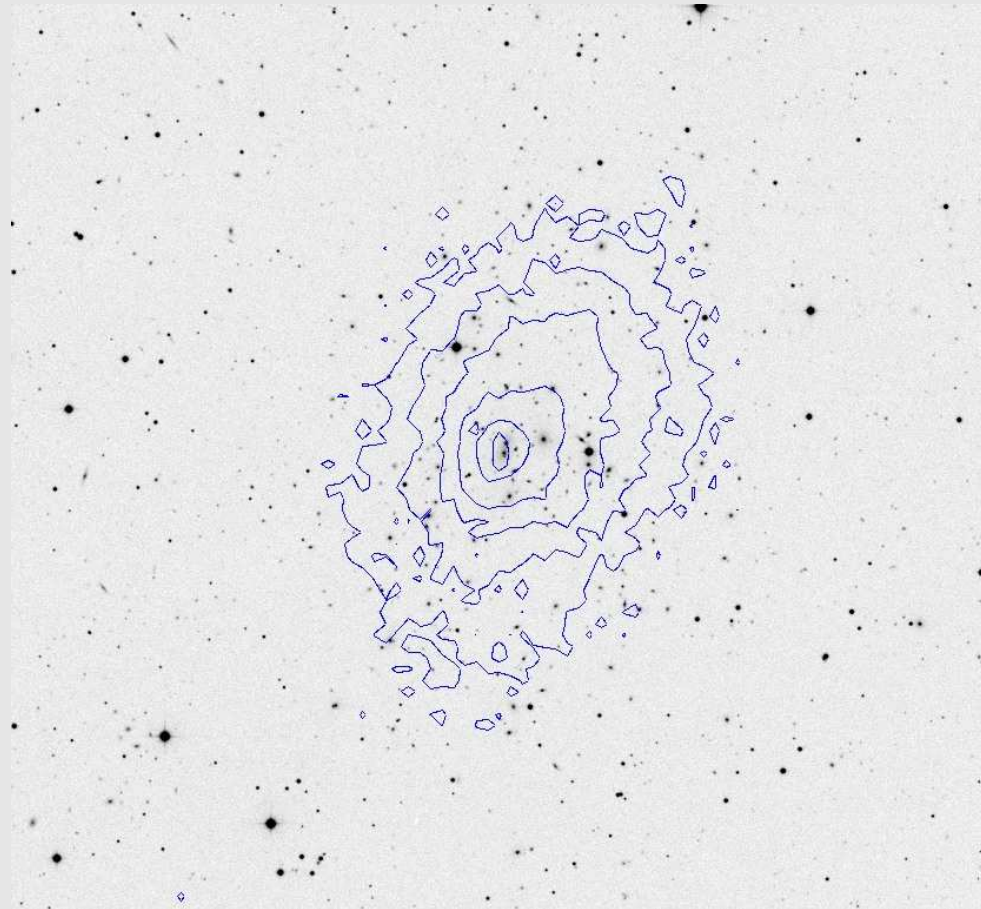
A2065, DSS:



на самом деле, в оптике — плохо

## Как следует искать скопления?

A2065, излучение горячего газа:



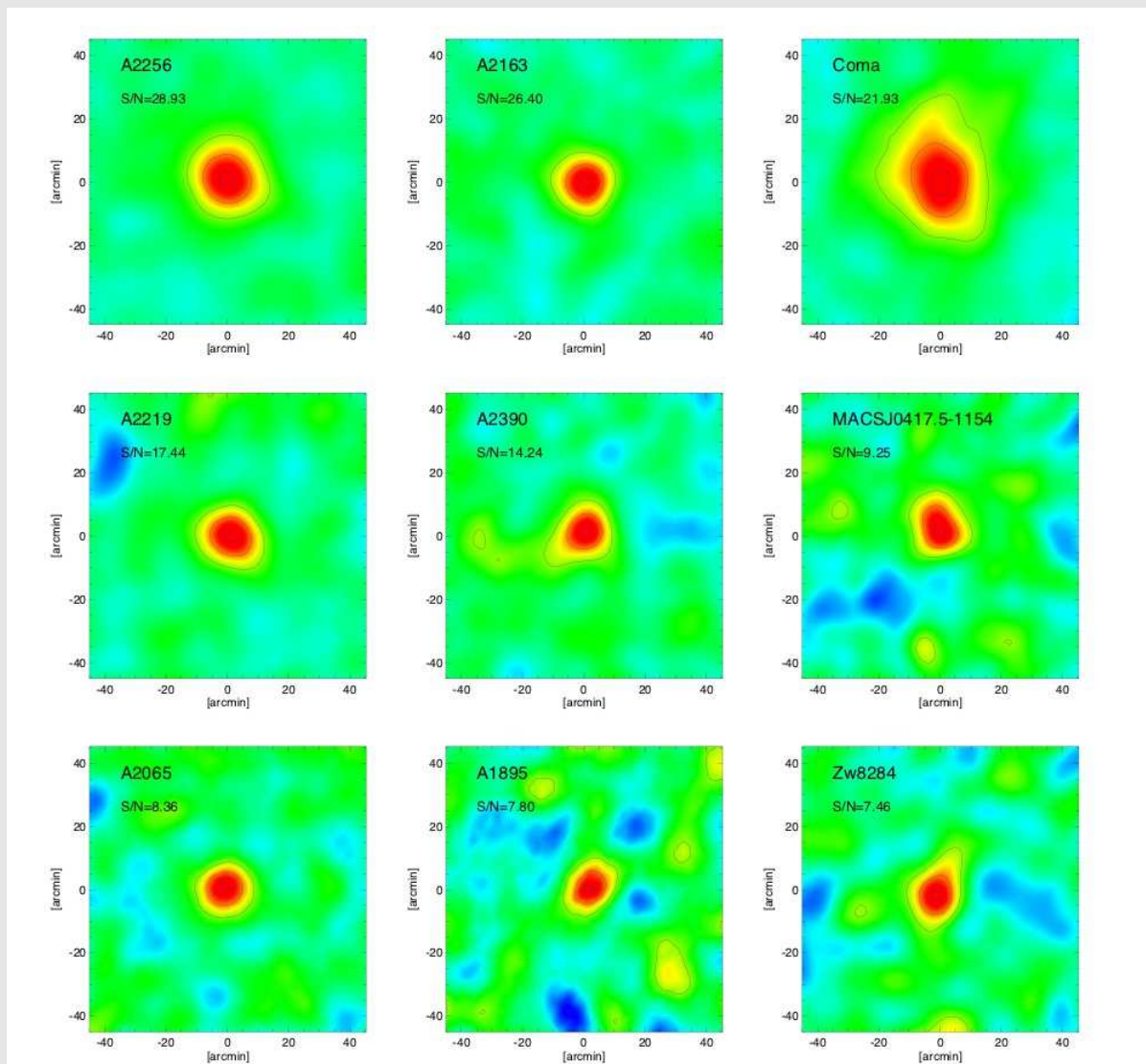
$$R_X \approx 200 \text{ кпк},$$

$$R_{Abell} \approx 2 \text{ Мпк}$$

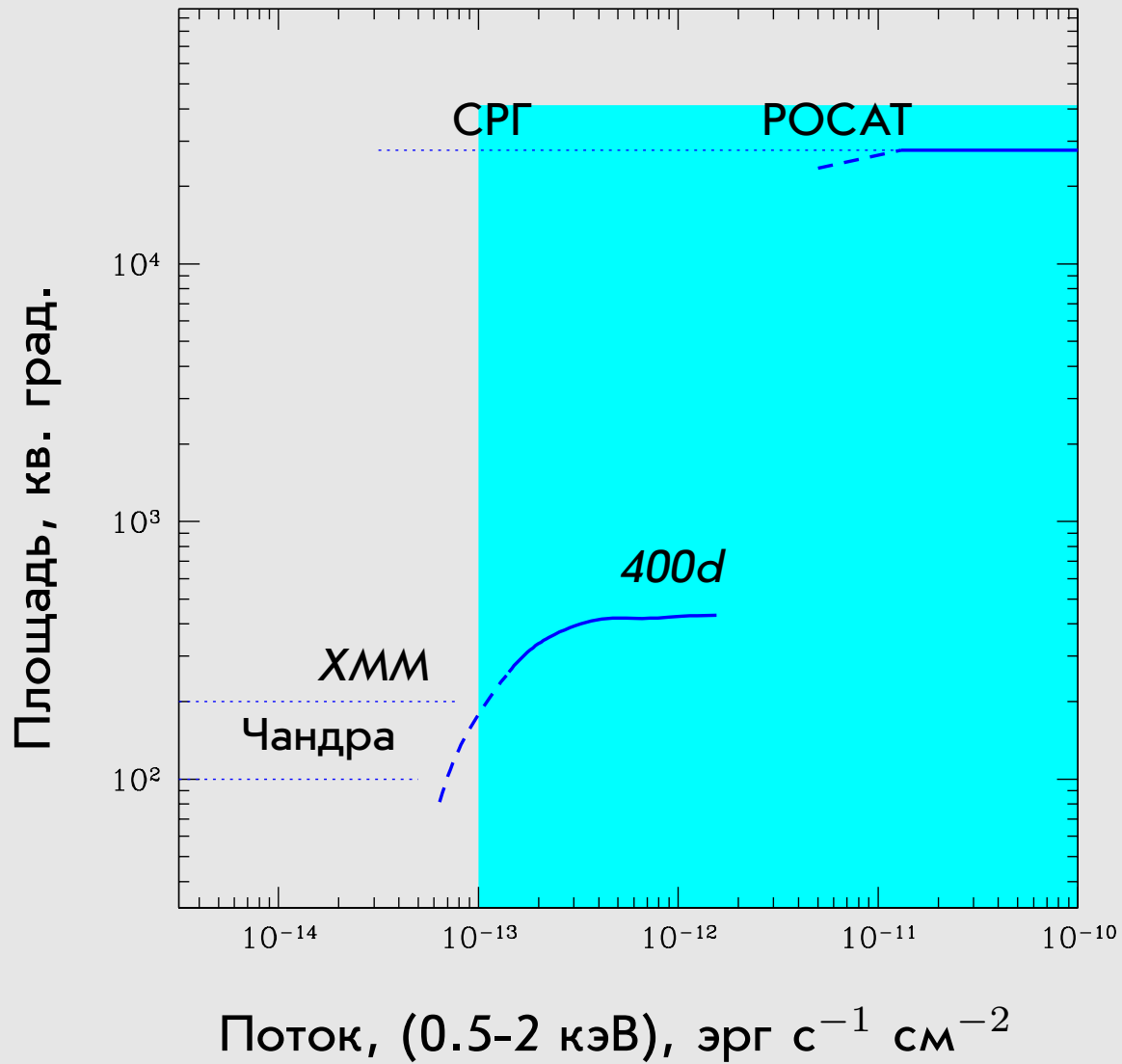


# Эффект Сюняева-Зельдовича

обсерватория им. Планка:

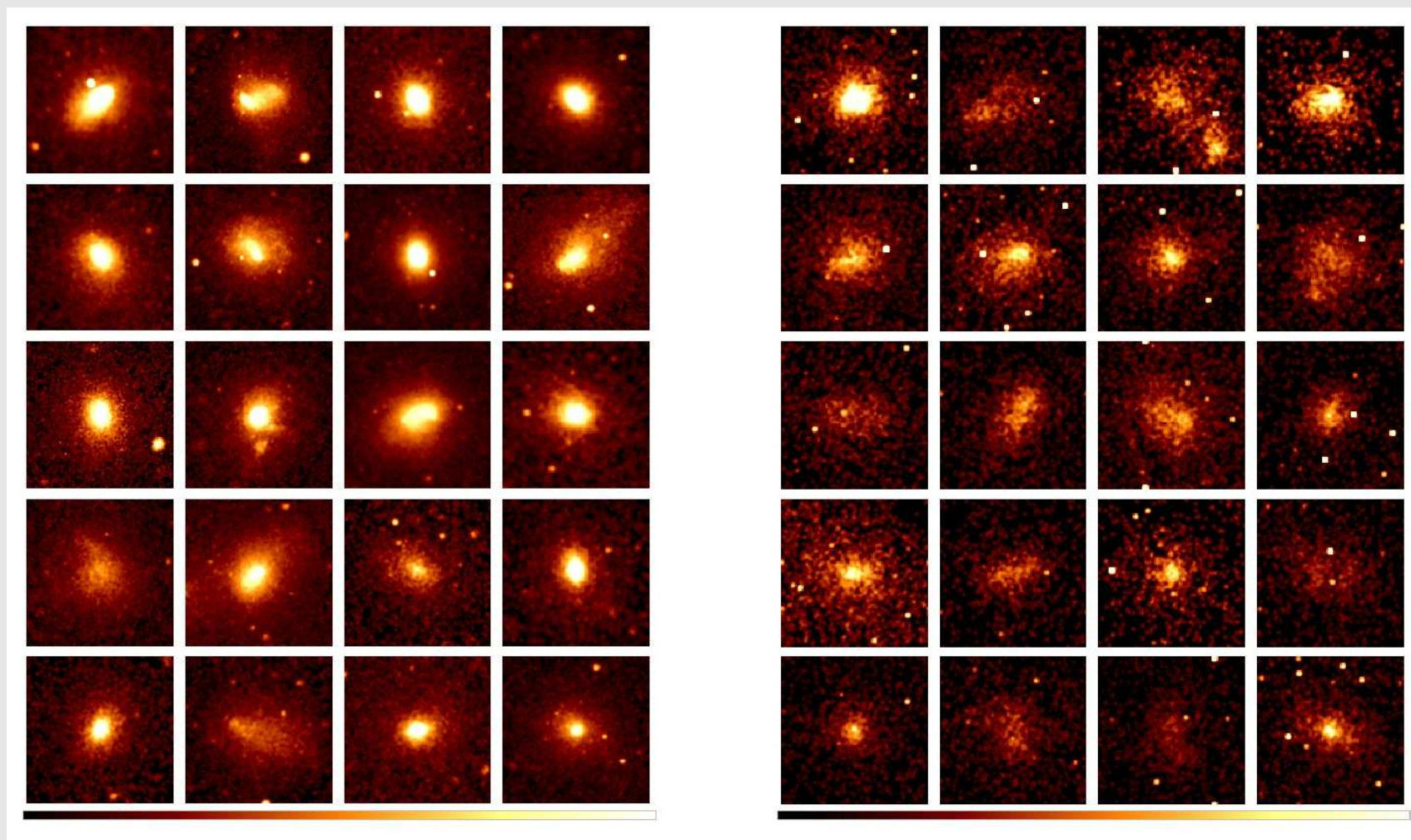


# Что сделано сейчас?



400d + RASS —  
86 массивных  
скоплений

# Chandra Cluster Cosmology Project — CCCP

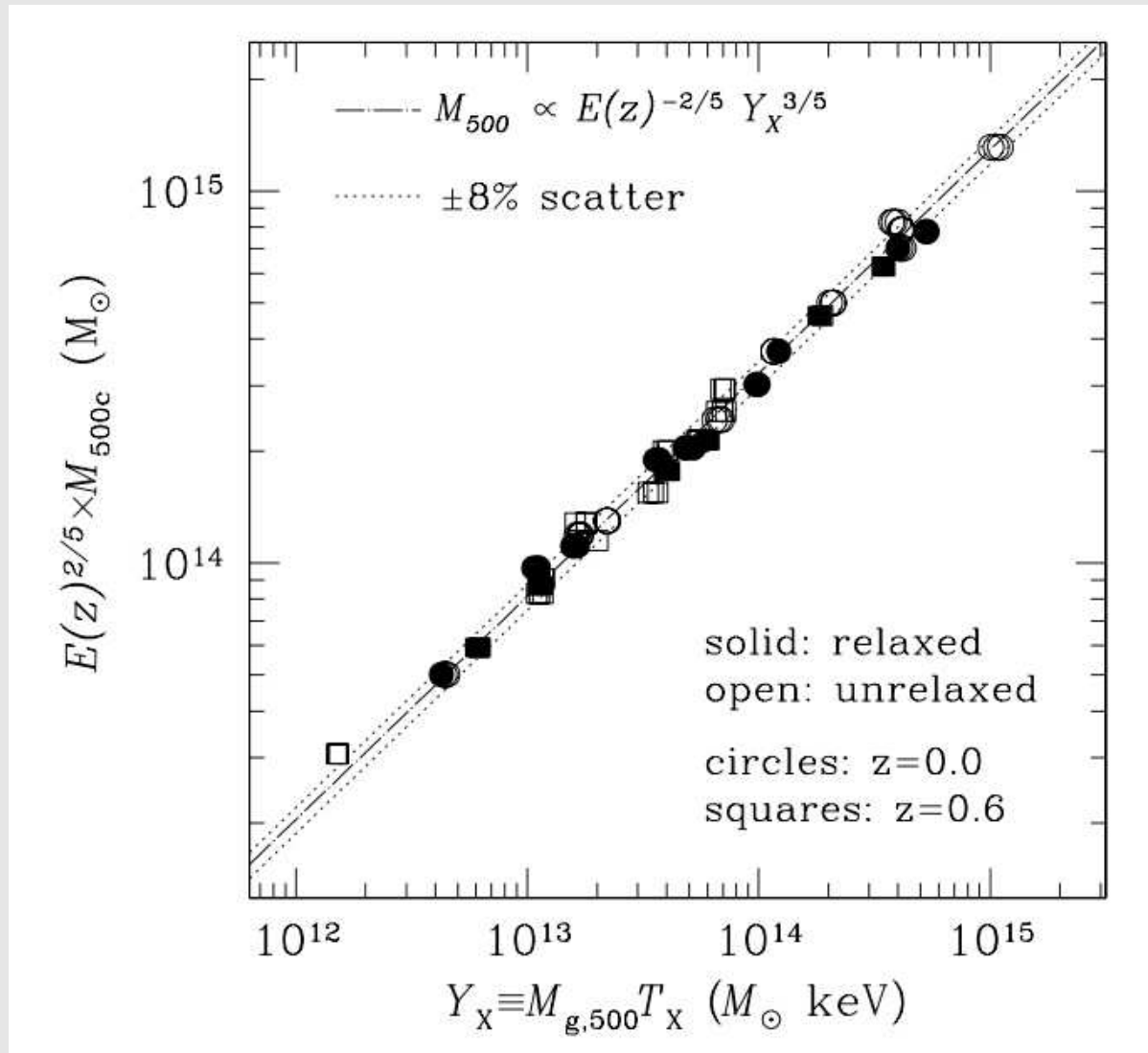


$z < 0.1$

$z > 0.45$

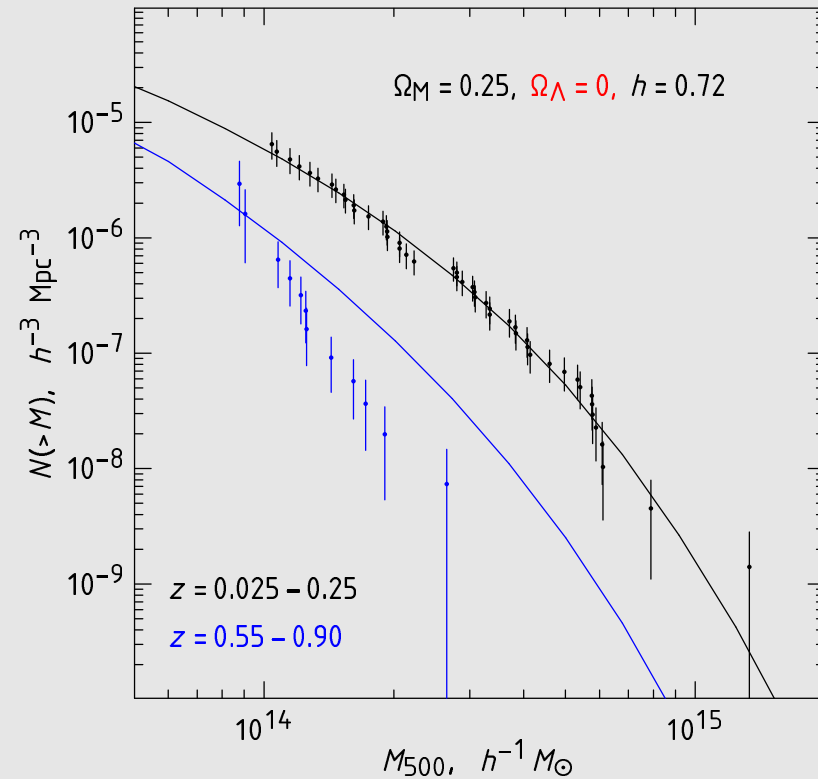
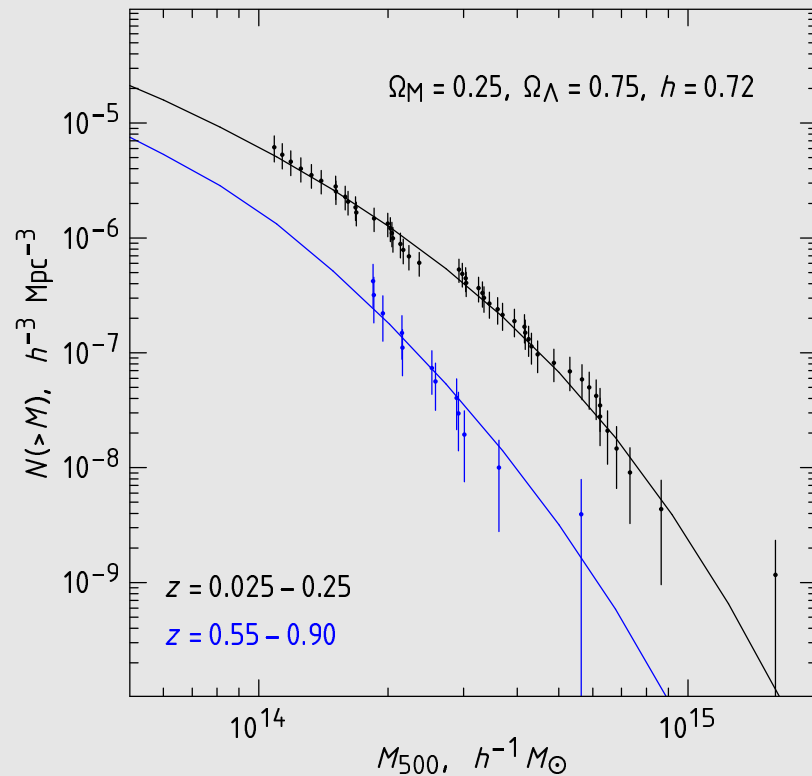
86 близких и далеких массивных скоплений

# Измерение масс скоплений





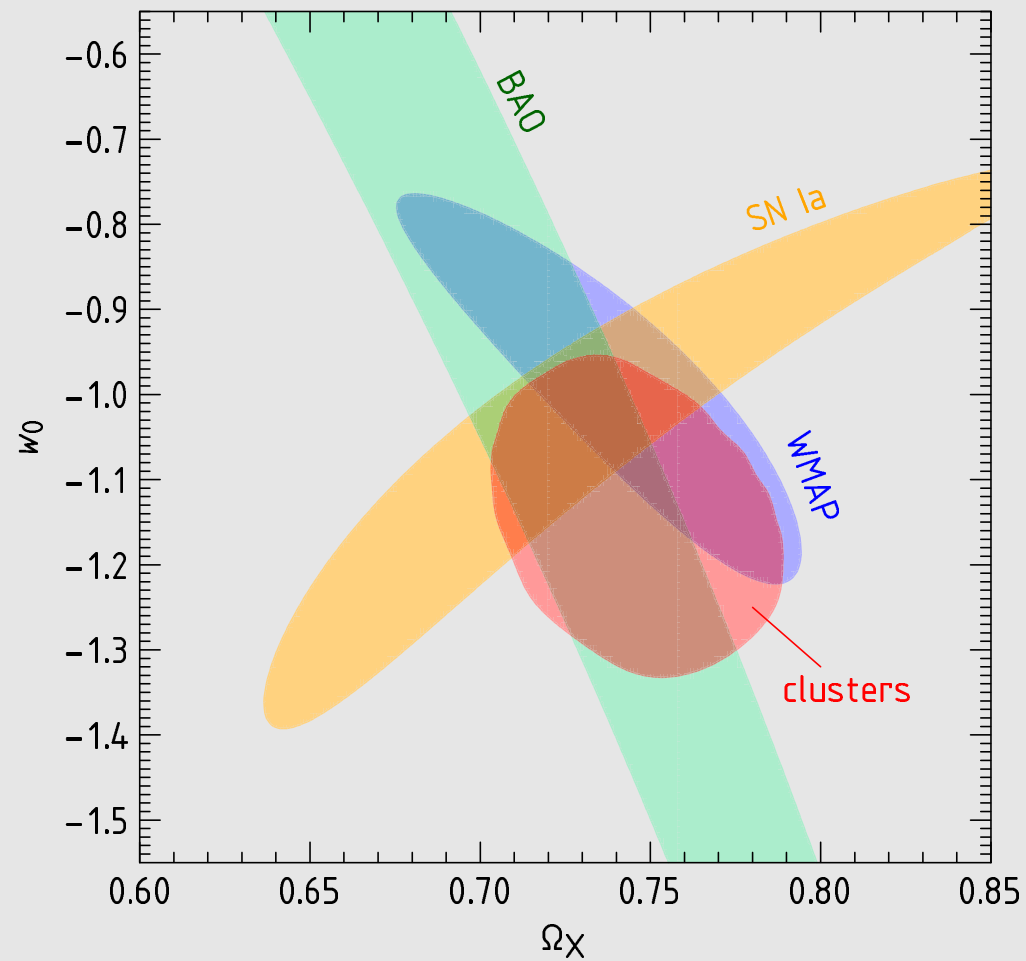
# Функция масс скоплений



Независимое подтверждение существования темной энергии

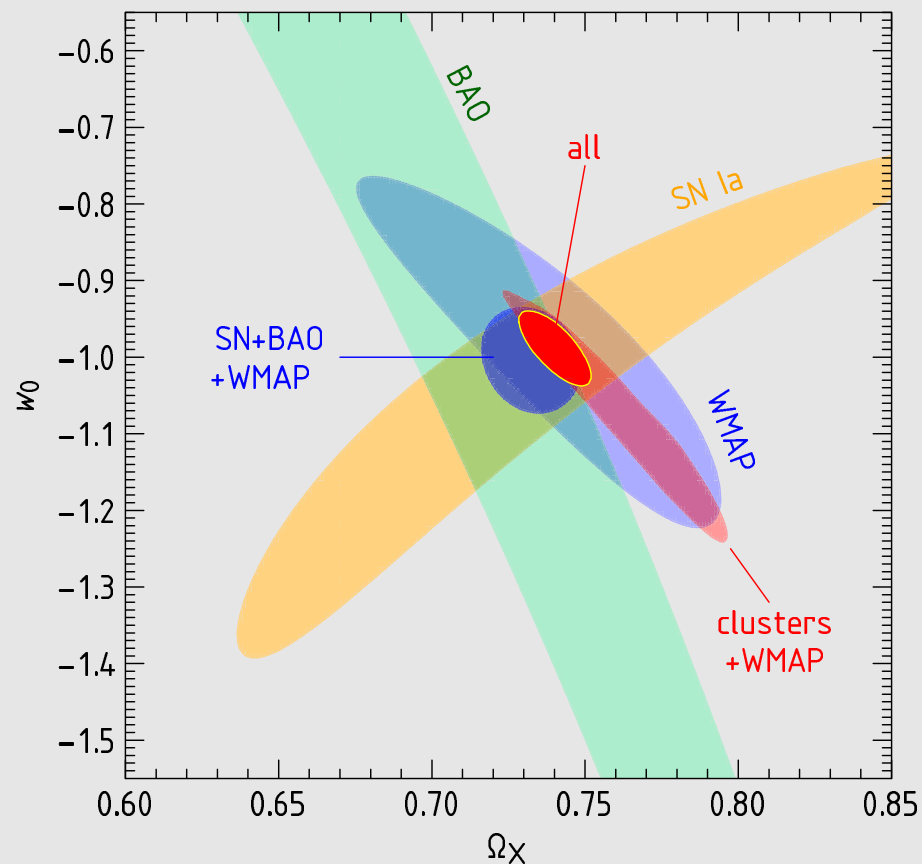
Вихлинин и др., 2009, *ApJ*, 672, 1060

# Уравнение состояния темной энергии



Вихлинин и др., 2009, *ApJ*, 672, 1060

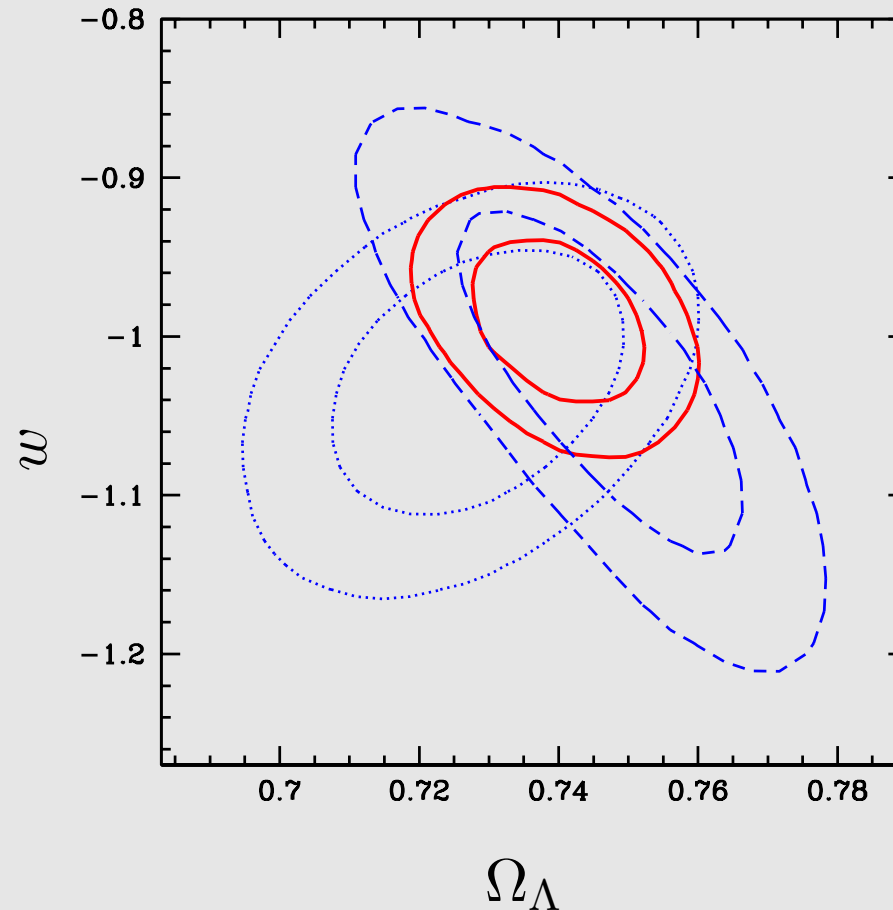
# Уравнение состояния темной энергии



без скоплений

$$w_0 = -0.991 \pm 0.045 \text{ (стат.)} \quad \pm 0.067$$
$$\pm 0.039 \text{ (сист.)} \quad \pm 0.076$$

# Уравнение состояния темной энергии

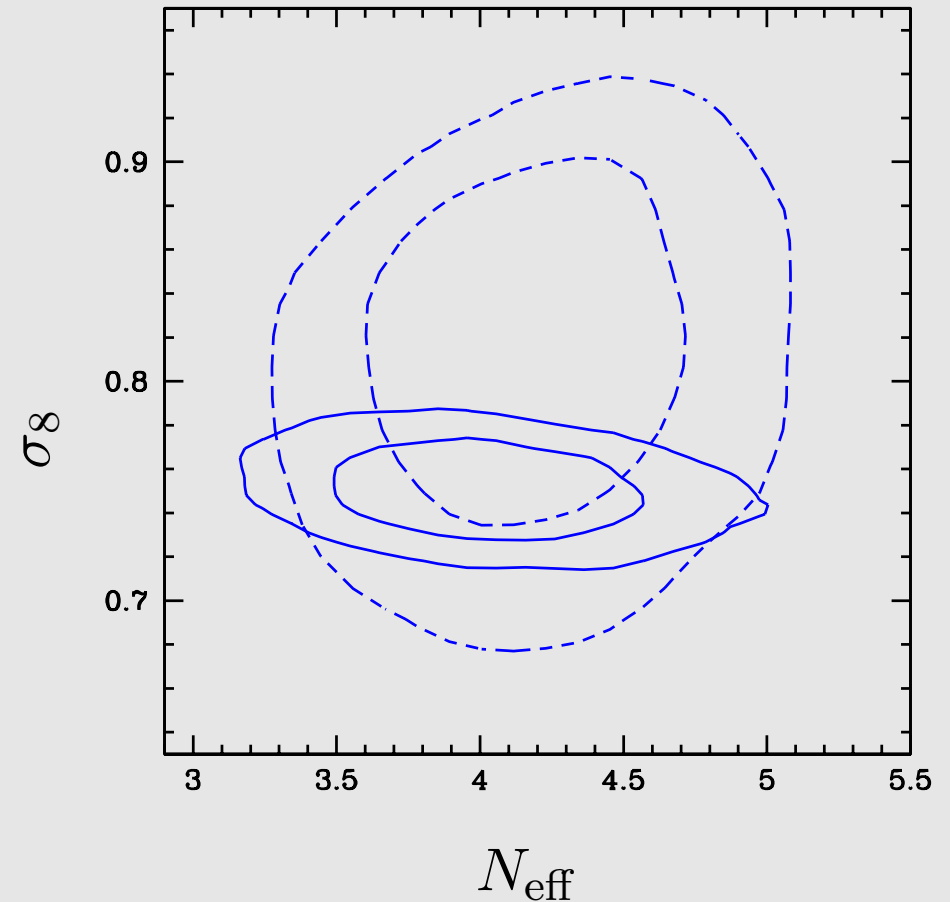
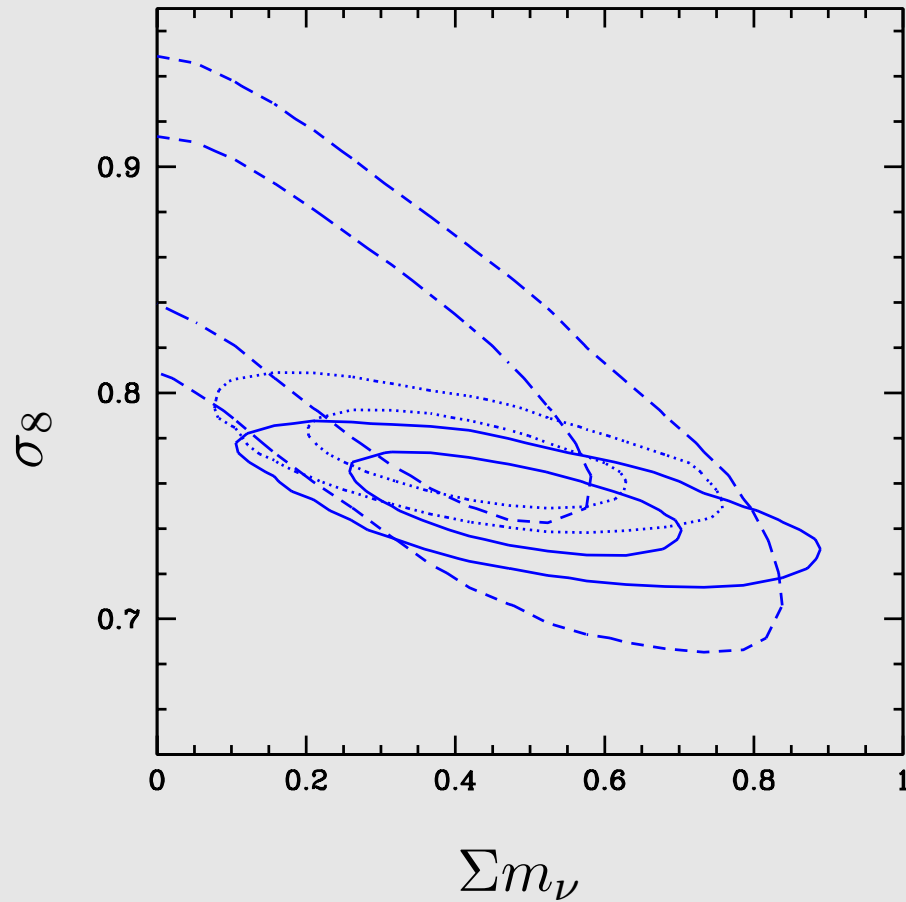


Комацу и др., 2011,  $w = -0.980 \pm 0.053$

$w =$  **WMAP7+ $H_0$ +BAO+SPT+SN:**  $-1.020 \pm 0.048$  (стат.)  $\pm 0.052$  (сист.)  
**+ скопления:**  $-0.990 \pm 0.034$  (стат.)  $\pm 0.043$  (сист.)

Буренин и Вихлинин, 2012, ПАЖ

# Количество видов и суммарная масса нейтрино

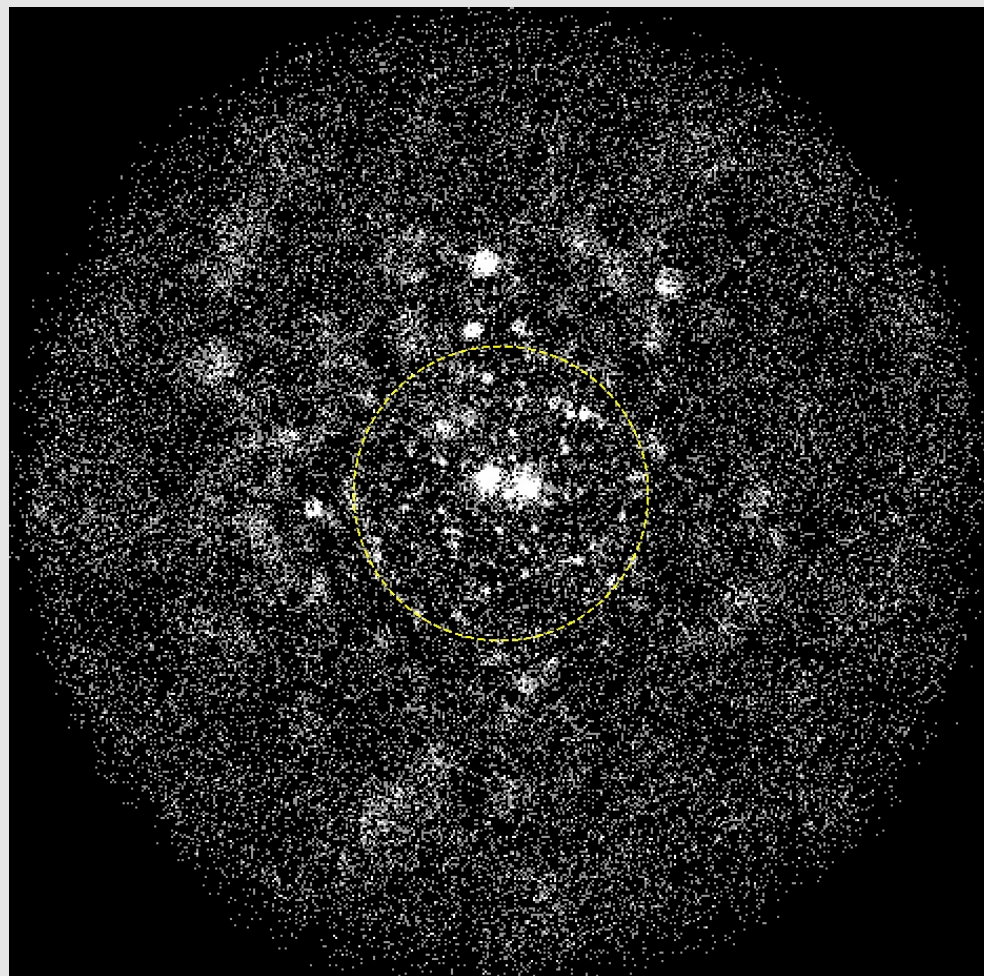
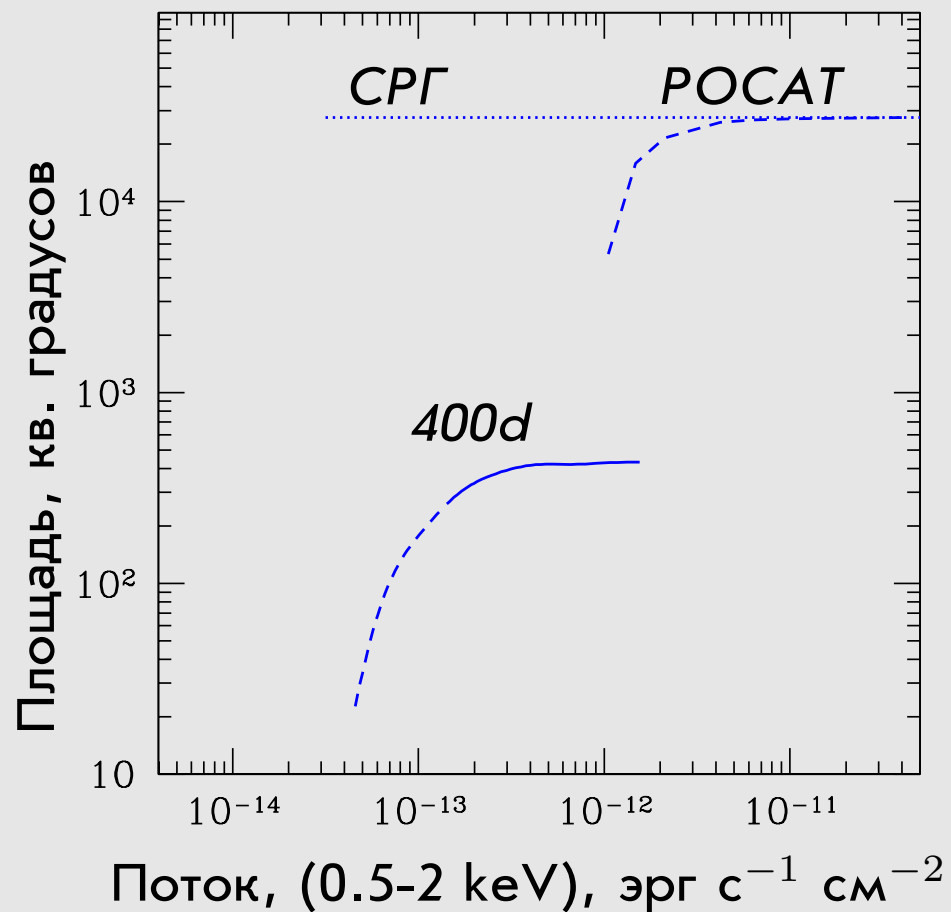


$N_{\text{eff}} \approx 4$ ,  $\Sigma m_\nu \approx 0.5$  эВ, значимость  $> 3\sigma$

# Обзор скоплений галактик обсерватории СРГ

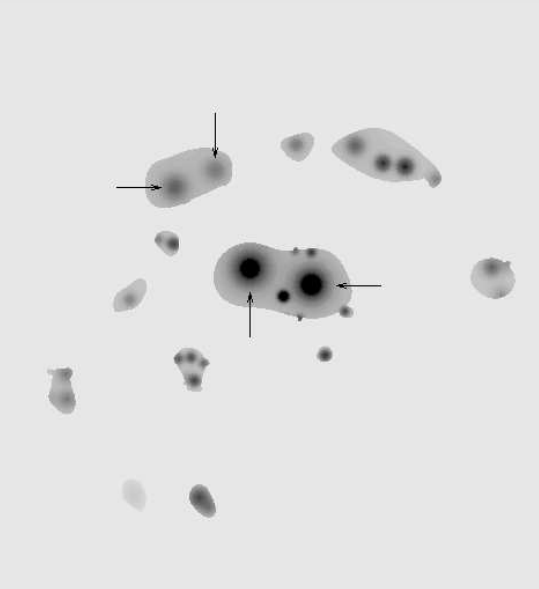
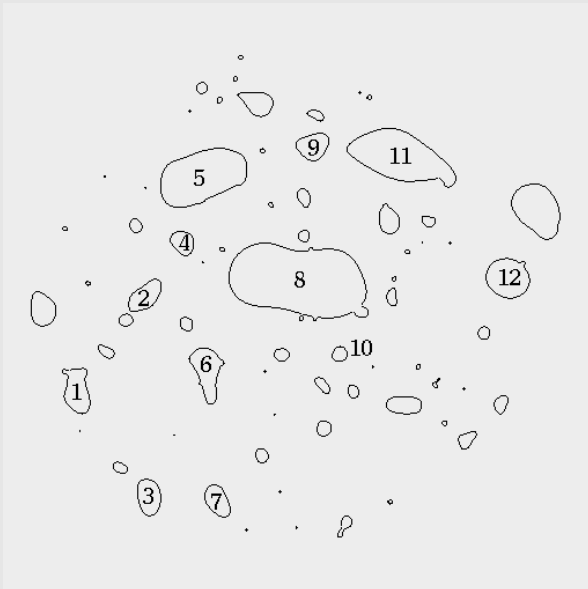
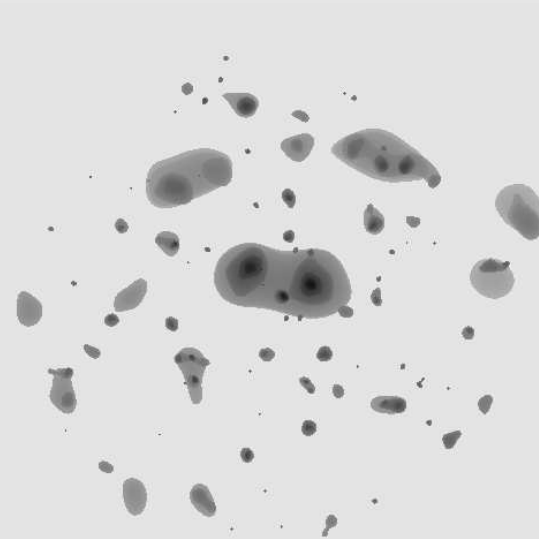
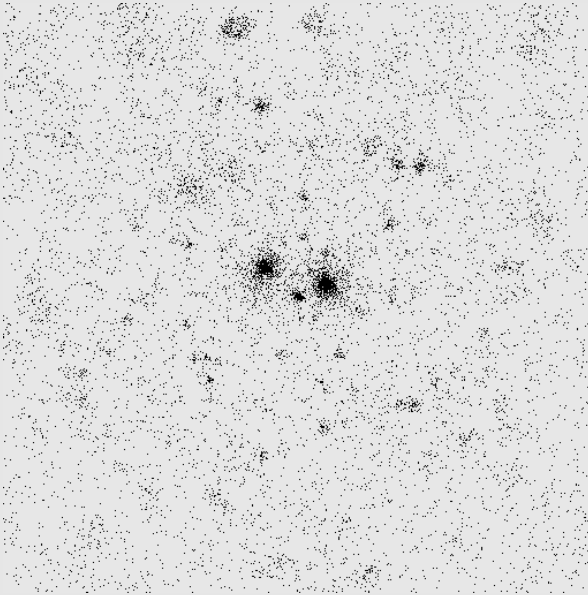
- Сейчас космологические ограничения получены на основе выборок объемом  $\sim 100$  скоплений галактик
- Для того, чтобы можно было использовать выборки объемом, например,  $\sim 10000$  скоплений, требуется знать систематику на уровне  $\sim 1\%$
- Отбор скоплений является гораздо более сложной задачей, чем раньше
- Большое количество объектов — для оптического отождествления, в основном, должны использоваться широкоугольные обзоры неба
- Для калибровки отбора скоплений можно использовать обзор площадью 400 кв. градусов (Буренин и др., 2007)

# Отбор скоплений галактик в обзоре СРГ



Центральная часть поля зрения РОСАТа: глубина и угловое разрешение очень близки, площадь обзора СРГ — примерно в 100 раз больше.

# Алгоритм поиска скоплений



Пример:

обзор 160d, Вихлинин и др.,  
1998, *ApJ*, 502, 558

изображение →

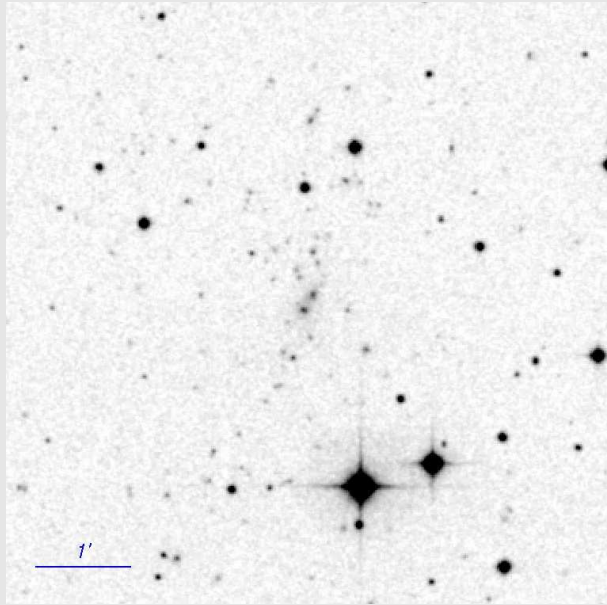
вэйвлет-разложение →

метод максимального  
правдоподобия

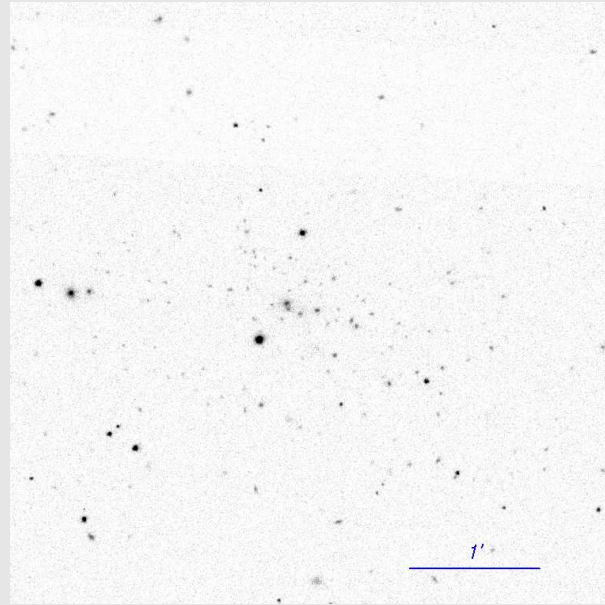
также используется в обзоре  
400d (Буренин и др., 2007)



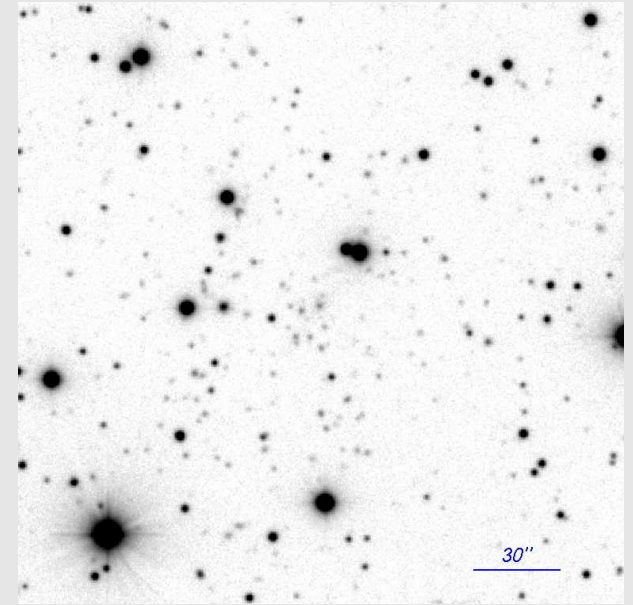
# Поверхностная плотность галактик



*DSS*,  $z = 0.27$



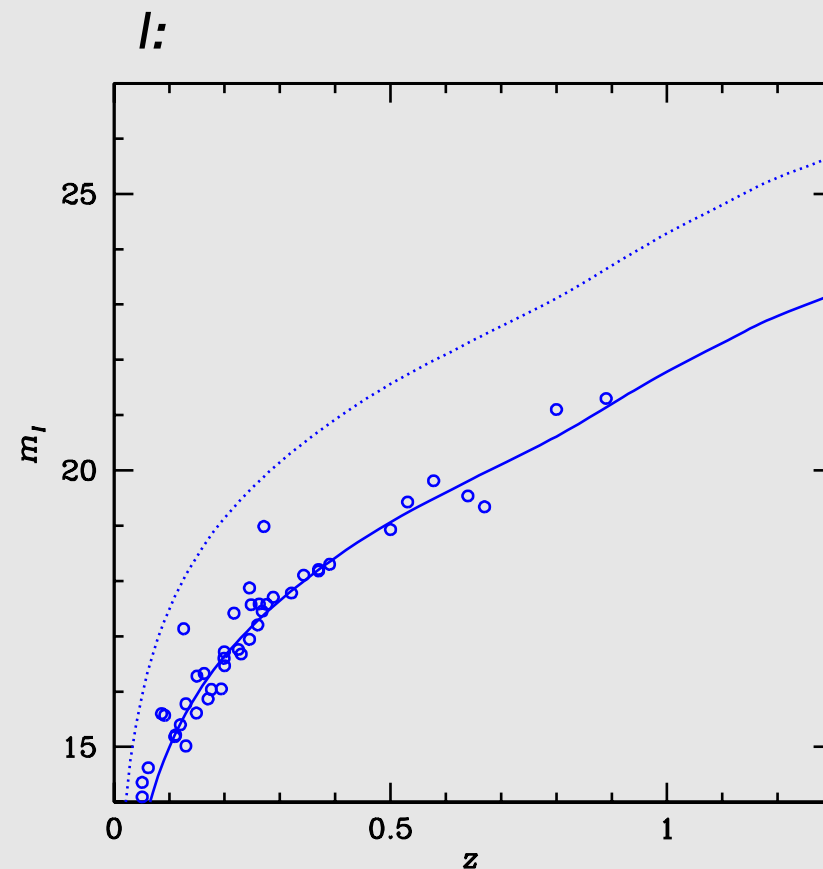
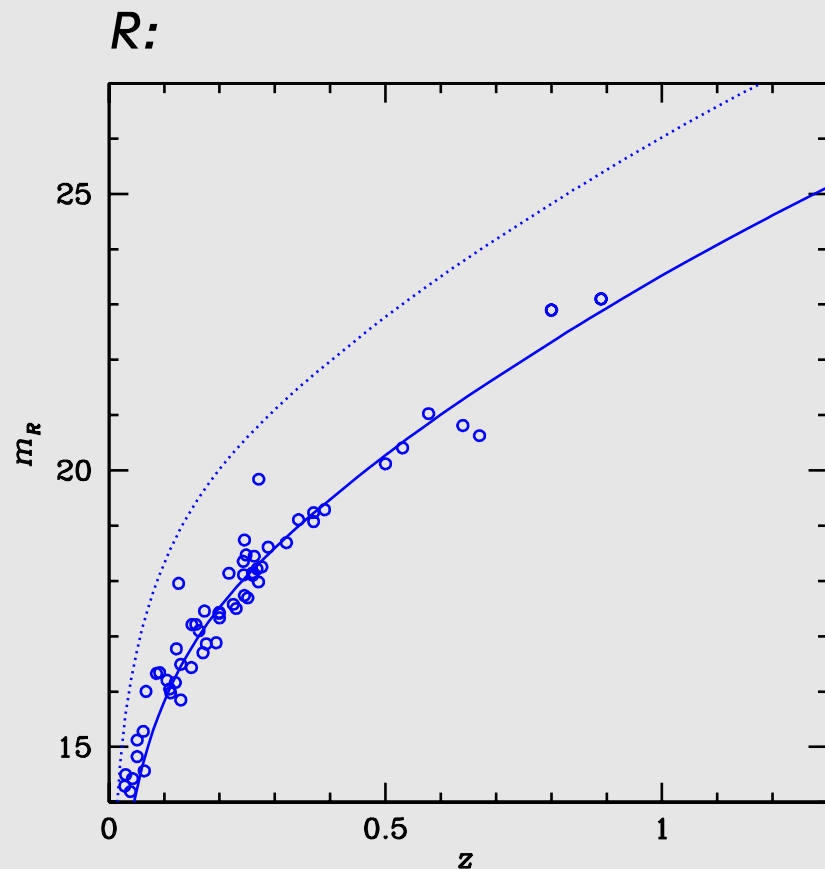
*SDSS*,  $i'$ ,  $z = 0.44$



*PTT-150*,  $i$ ,  $z \approx 0.8$

Размер поля — 1.5 Мпк

# Величины

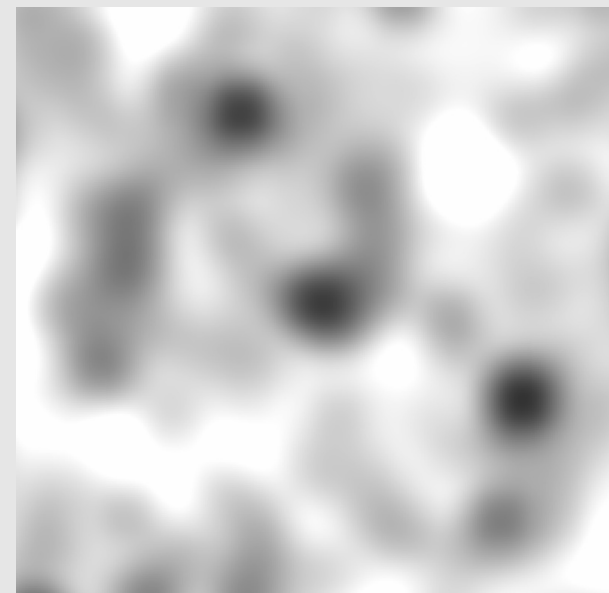
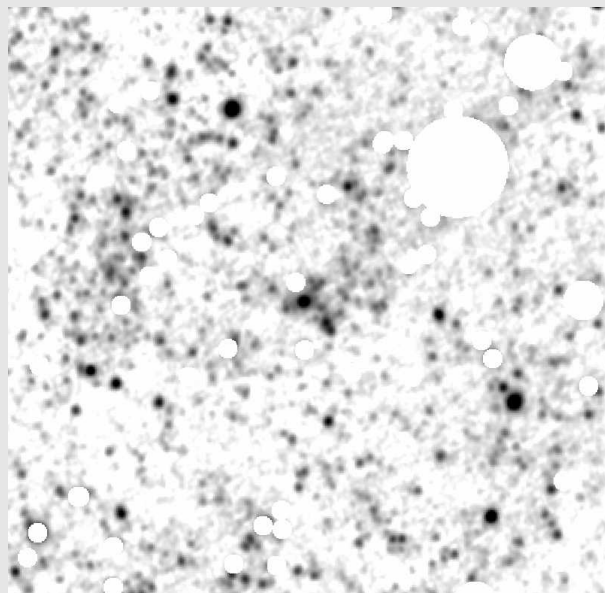
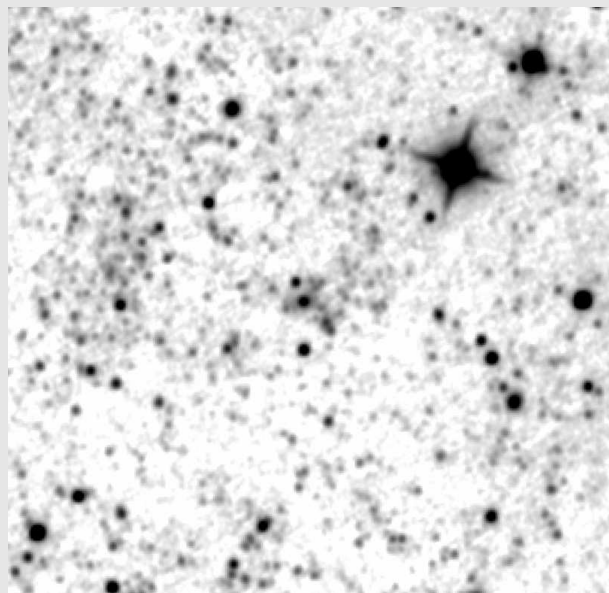


Экспозиции на 1.5-м телескопе:  $z \approx 0.5$  — 15 мин,  $z \approx 0.7-0.9$  — часы.

Для скоплений на  $z \approx 1$  и выше следует использовать большой телескоп.

Обзоры: DSS —  $z < 0.3$ , SDSS —  $z < 0.6$ , PanStarrs —  $z < 0.8(?)$ , WISE —  $z \sim 1$

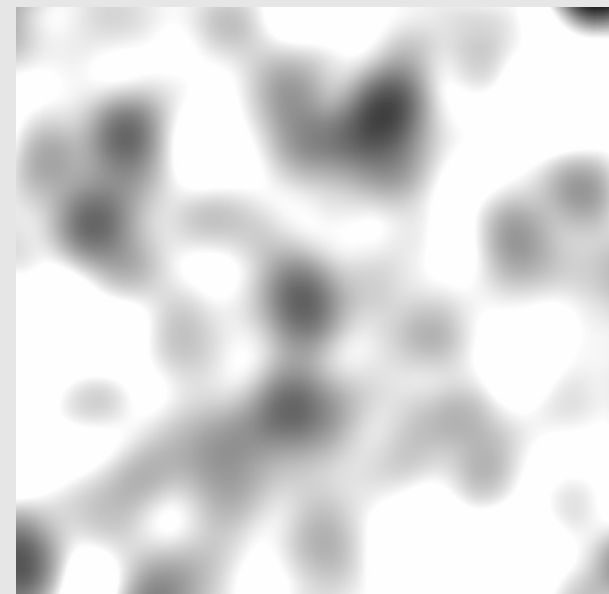
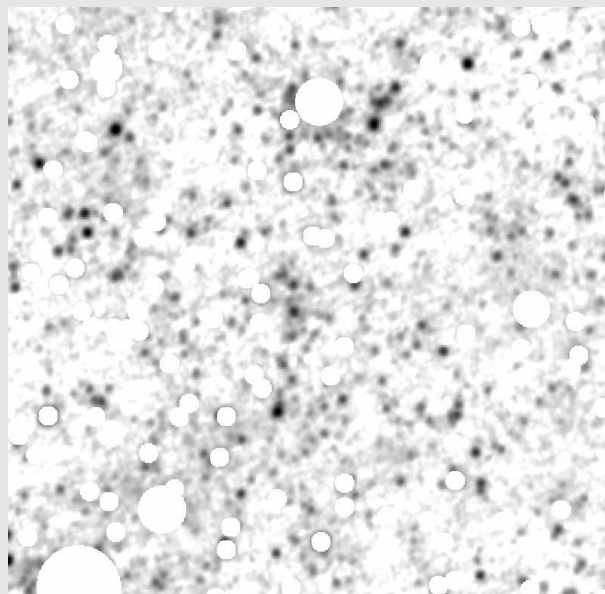
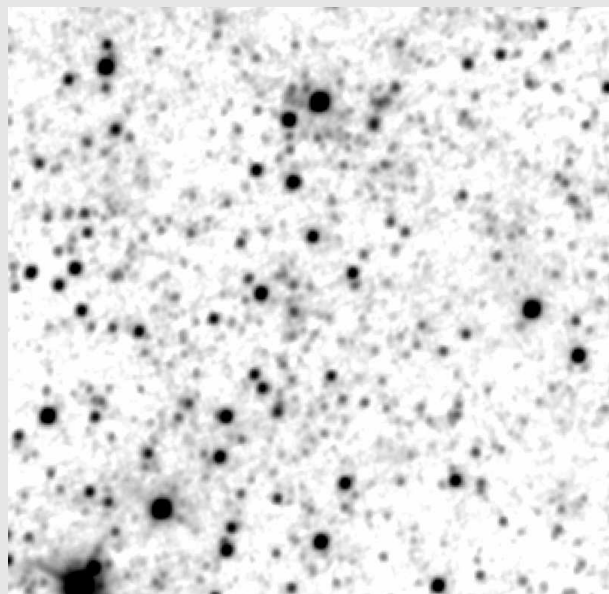
# Отождествление скоплений на изображениях телескопа *WISE*



скопление из обзора 400d на  $z = 0.89$

- диапазон w1 ( $3.4 \mu\text{m}$ )
- звезды исключаются, используя дополнительные данные
- скопления отождествляются, хотя отдельные галактики неразличимы

# Отождествление скоплений на изображениях телескопа WISE



скопление из обзора 160d на  $z = 1.26$  (!)

— 98% скоплений из обзора 400d со светимостью  $L_{44} > 0.5$  на всех  $z$  отождествляются при помощи автоматической процедуры

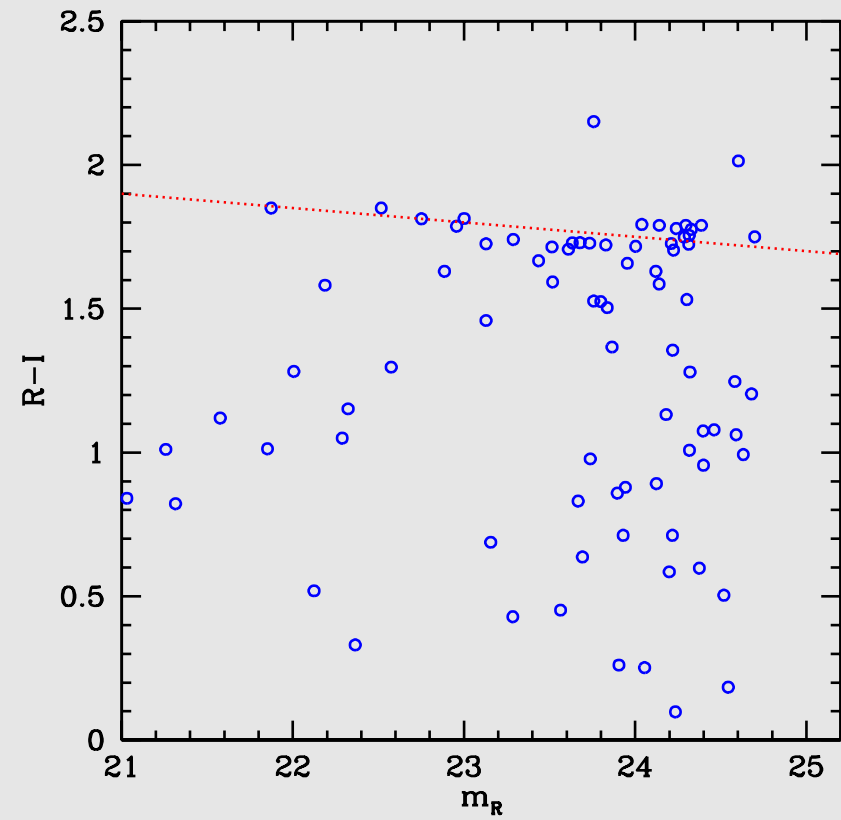
— скопления не видны из-за близких ярких звезд



# Красная последовательность



PTT-150, R, I,  $z = 0.81$



# Красная последовательность



# Красная последовательность



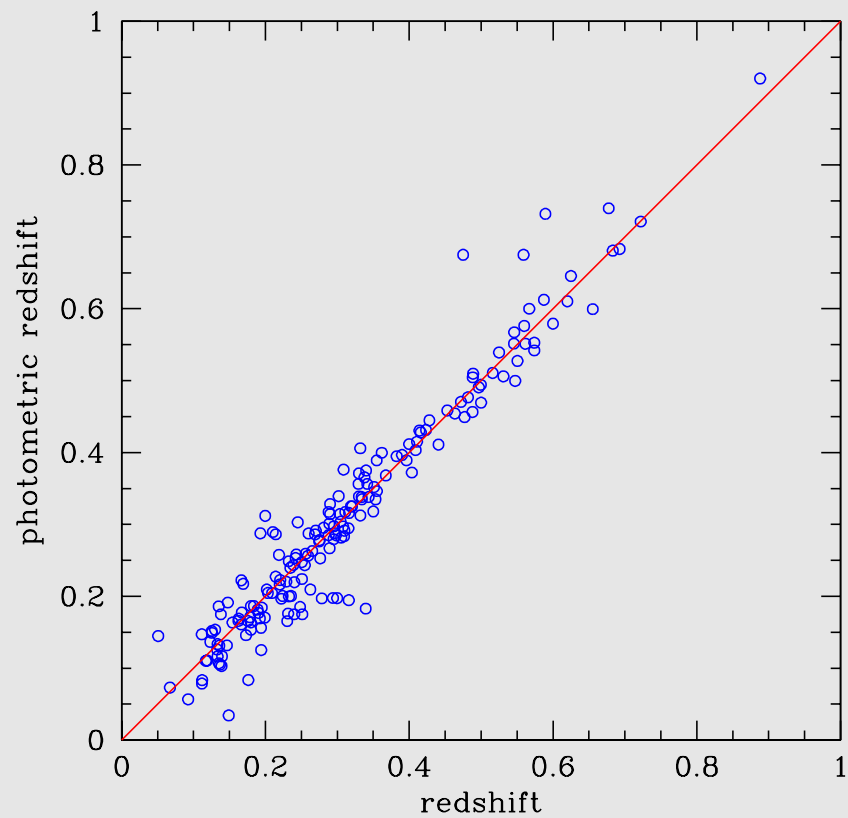
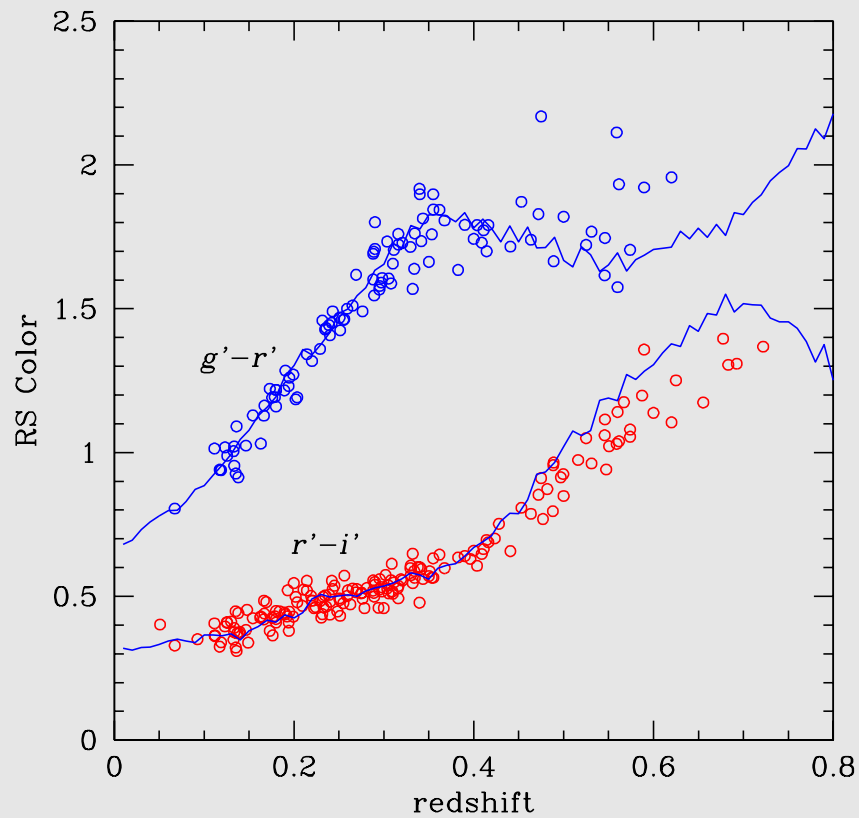


# Красная последовательность





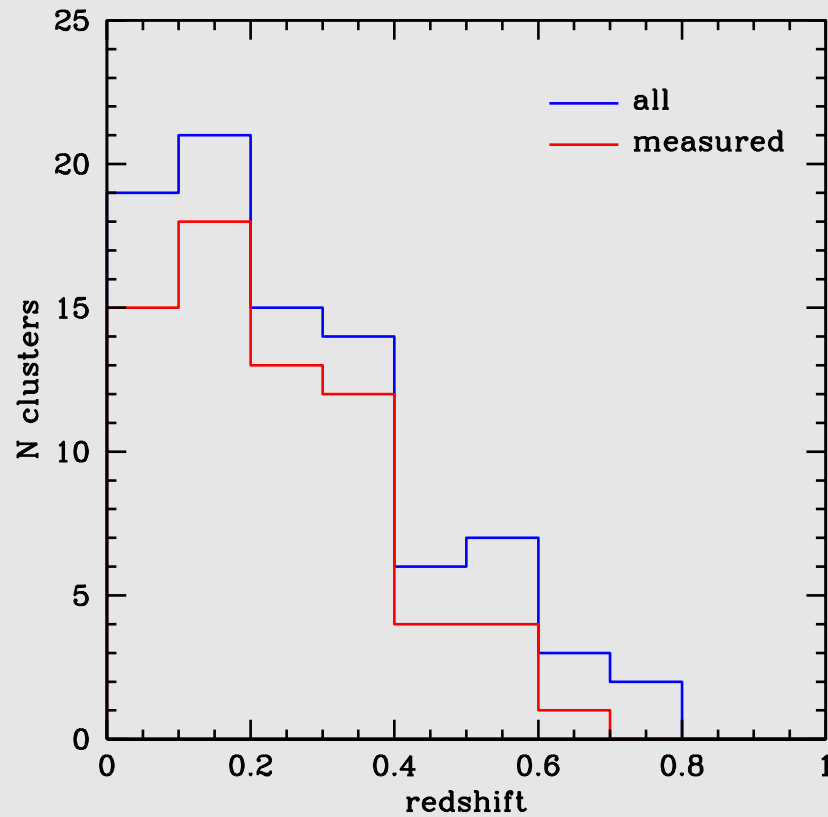
# Фотометрические красные смещения



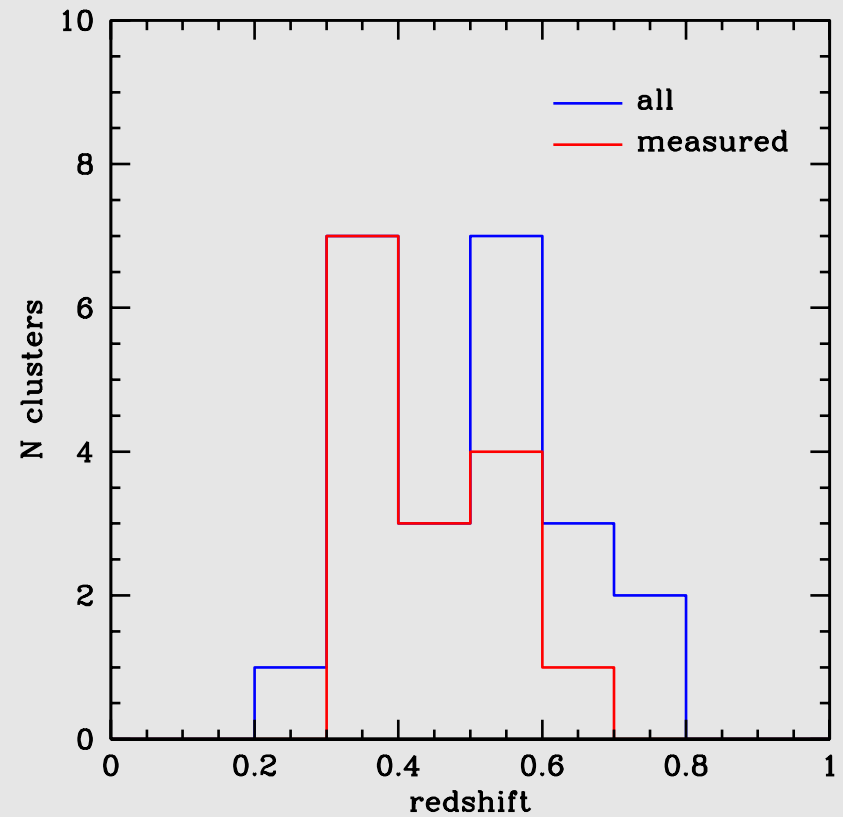
$$\delta z / (1 + z) \approx 0.03$$

# Спектроскопические красные смещения

*BOSS*

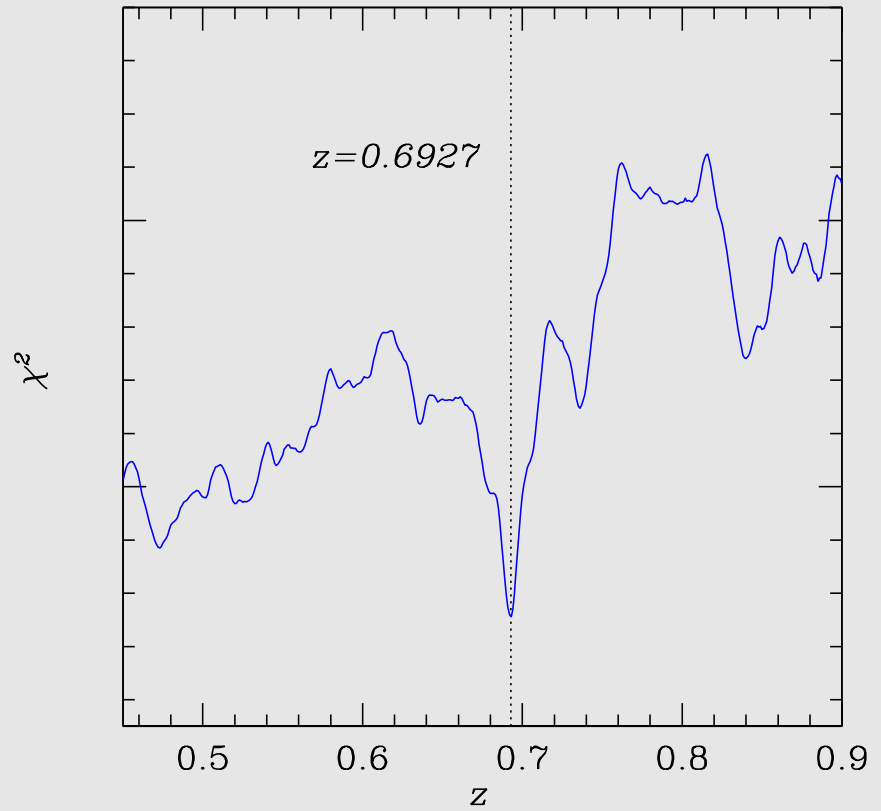
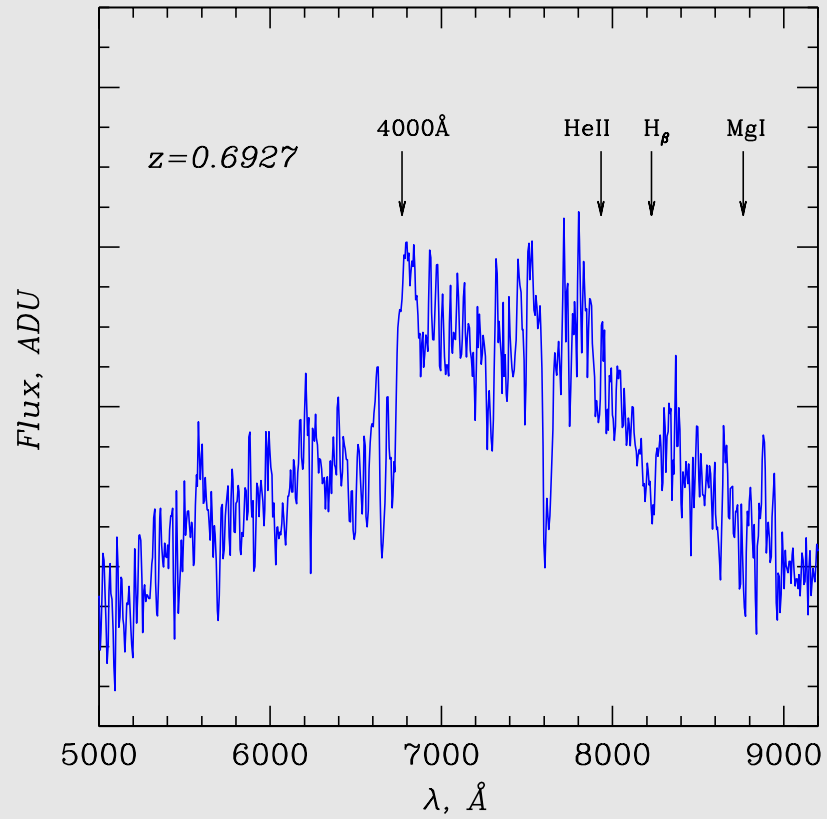


*BOSS,  $L_{44} > 0.5$*



Измерено в *BOSS*: 85% на  $z < 0.4$ , 60% на  $0.4 < z < 0.6$

# Спектроскопические красные смещения



БТА, 30 мин

# Дополнительные наблюдения на оптических телескопах

Спектроскопия низкого разрешения:

1:

- 150 скоплений с  $L_{44} > 0.5$  на  $z < 0.4$  в полях BOSS — 1.5-м
- 250 скоплений с  $L_{44} > 0.5$  на  $0.4 < z < 0.6$  в полях BOSS — 6-м

2:

- 300 скоплений с  $L_{44} < 0.5$  на  $z < 0.4$  в полях BOSS — 1.5-м
- 200 скоплений с  $L_{44} > 1$  на  $z > 0.6$  в полях BOSS — 6-м

3:

- 500 скоплений с  $L_{44} > 0.5$  на  $z < 0.4$  вне полей BOSS — 1.5-м
- 100 скоплений с  $L_{44} > 1$  на  $0.4 < z < 0.6$  вне полей BOSS — 6-м
- 80 скоплений с  $L_{44} > 1$  на  $z > 0.6$  вне полей BOSS — 6-м

— около 2000 массивных скоплений

**Итого: около 100 ночей на 1.5-м и около 60 ночей на 6-м**

# Дополнительные наблюдения на оптических телескопах

прямые изображения:

1:

- не требуются

2:

- 200 скоплений на  $z > 0.6$

3:

- 80 скоплений на  $z > 0.6$

...

Итого: порядка 100 ночей на 1.5-м

Всего —  $\sim 1000$  скоплений на  $0.6 < z < 1$  и  $\sim 400$  скоплений на  $z > 1$

Итого: порядка 250 ночей на 1.5-м и порядка 100 ночей на 6-м

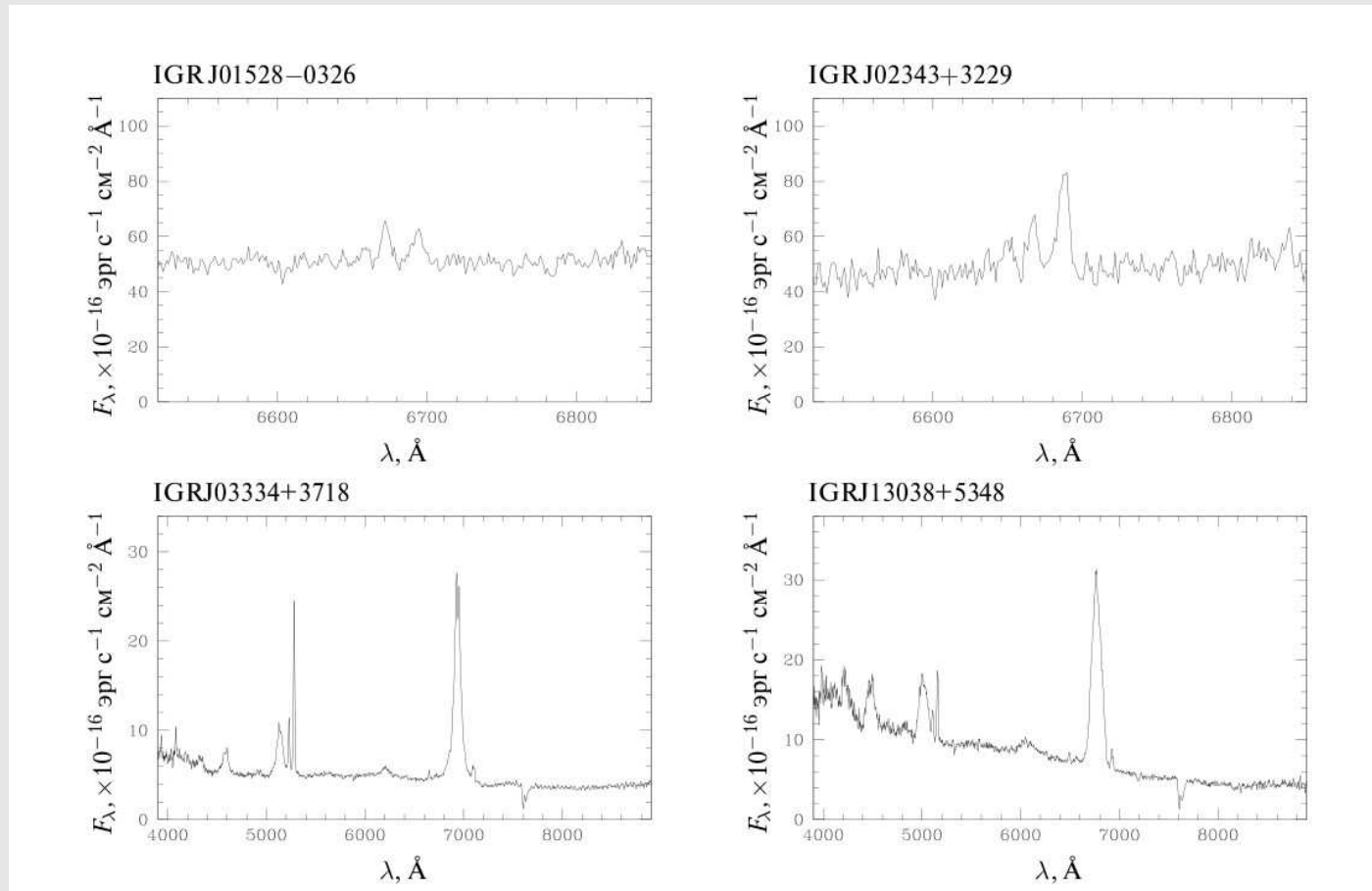
*Pan-STARRS* — ?, *DES* — ?, *HSC* — ?

# Активные ядра галактик



- История роста сверхмассивных черных дыр — наиболее полная выборка АЯГ и квазаров, включая поглощенные АЯГ в местной части Вселенной
- Наиболее яркие квазары во Вселенной — квазар светимостью  $\sim 10^{46}$  эрг  $\text{с}^{-1}$  будет виден до  $z \sim 10$ .
- Реионизация вещества во Вселенной — может быть обнаружено  $\sim 100$ – $1000$  квазаров на  $z > 6$

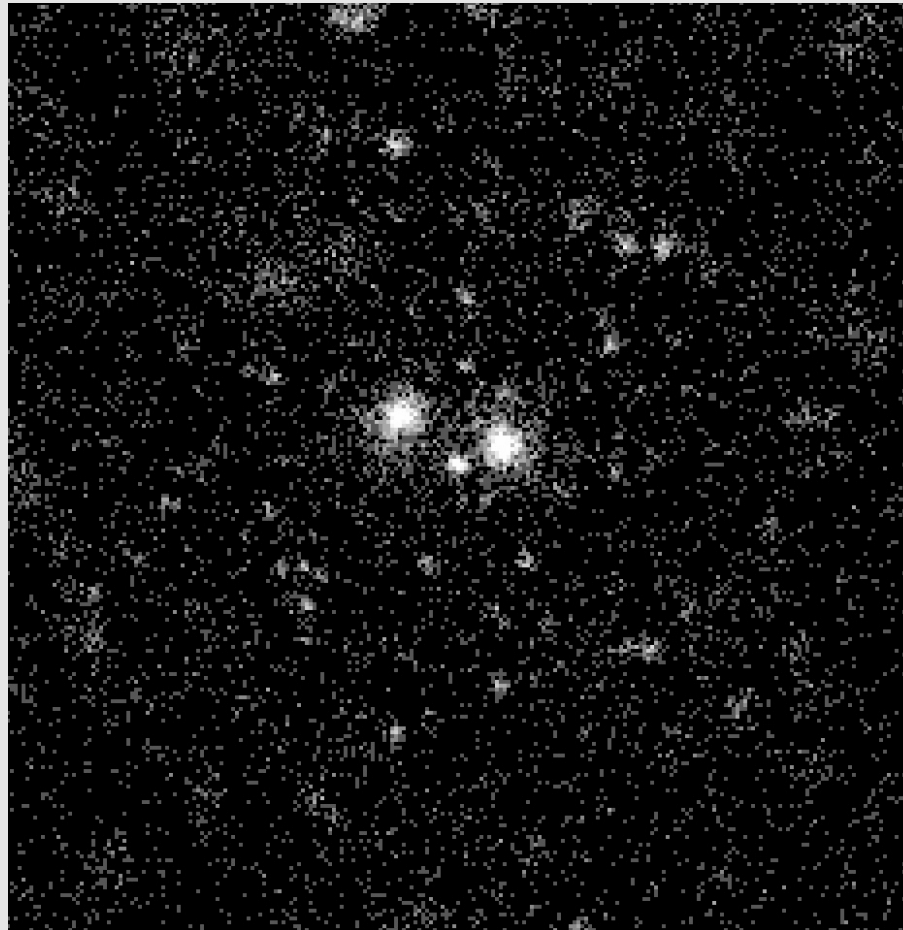
# Выборка АЯГ в местной части Вселенной



Буренин и др., ПАЖ, 2008

Порядка нескольких тысяч объектов, спектроскопия низкого разрешения,  $\sim 100$  ночей на 1.5-м и, может быть, еще немного времени на большом телескопе.

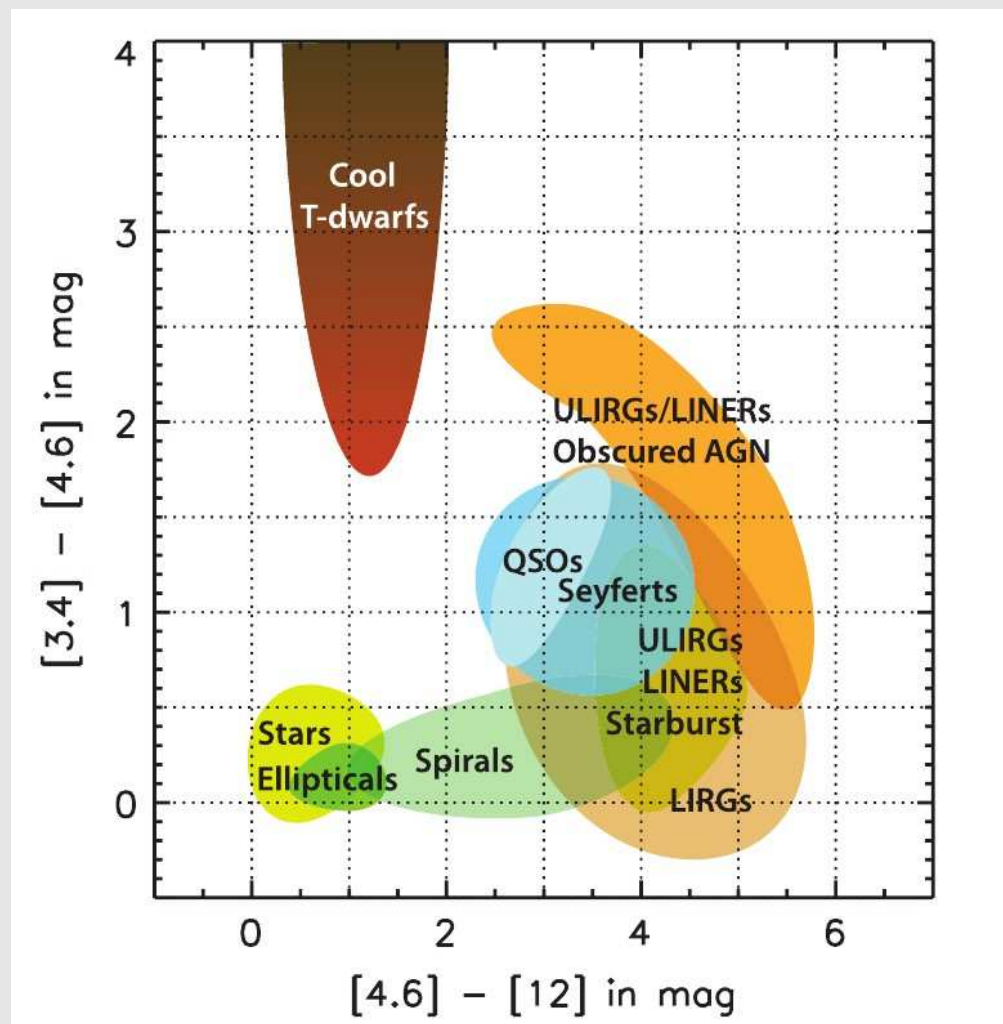
# Активные ядра галактик



Подавляющее большинство точечных источников — АЯГ.

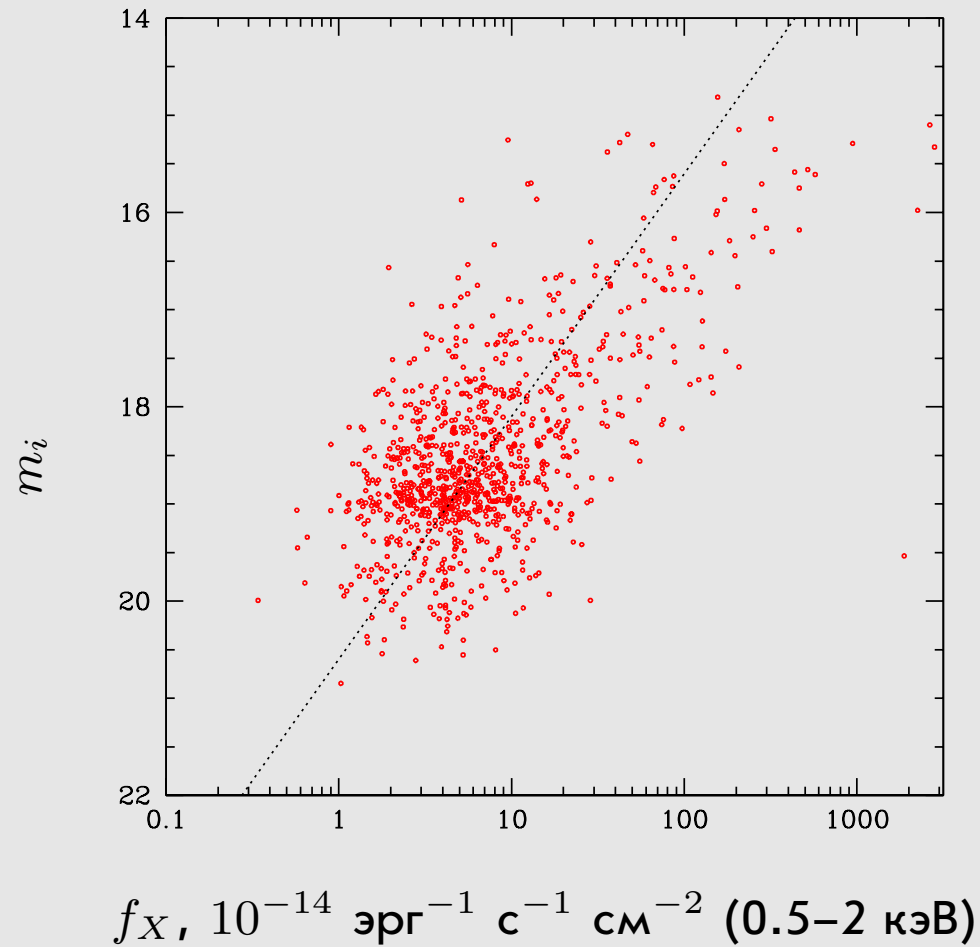


# Отождествление квазаров по данным обзора *WISE*



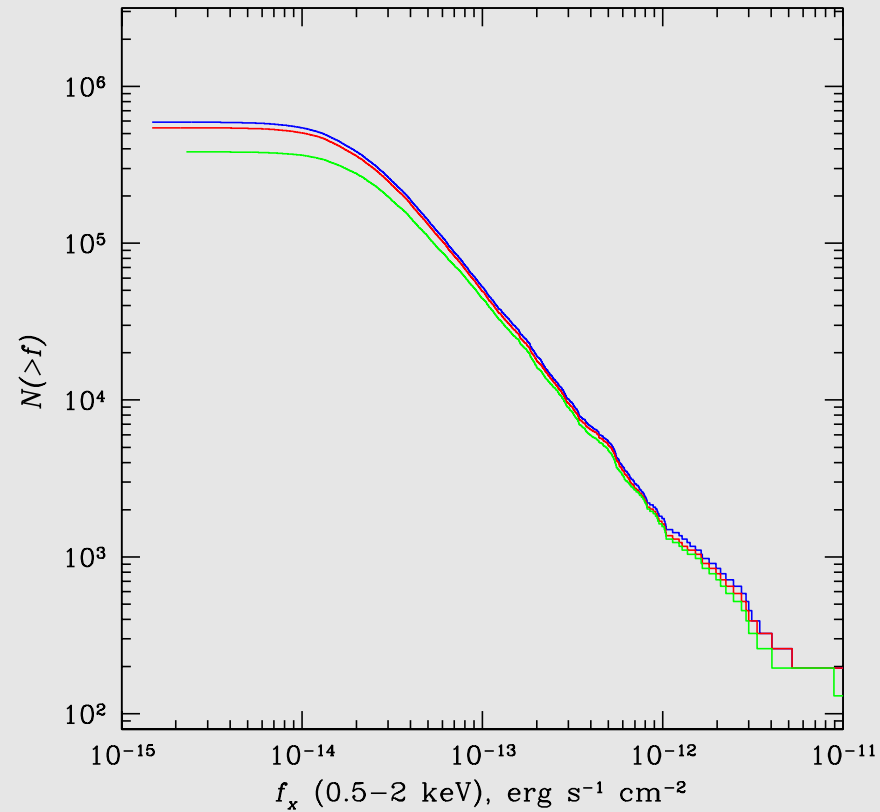
Wright et al., 2010

# Соотношение рентгеновских и оптических потоков для квазаров Слоановского обзора



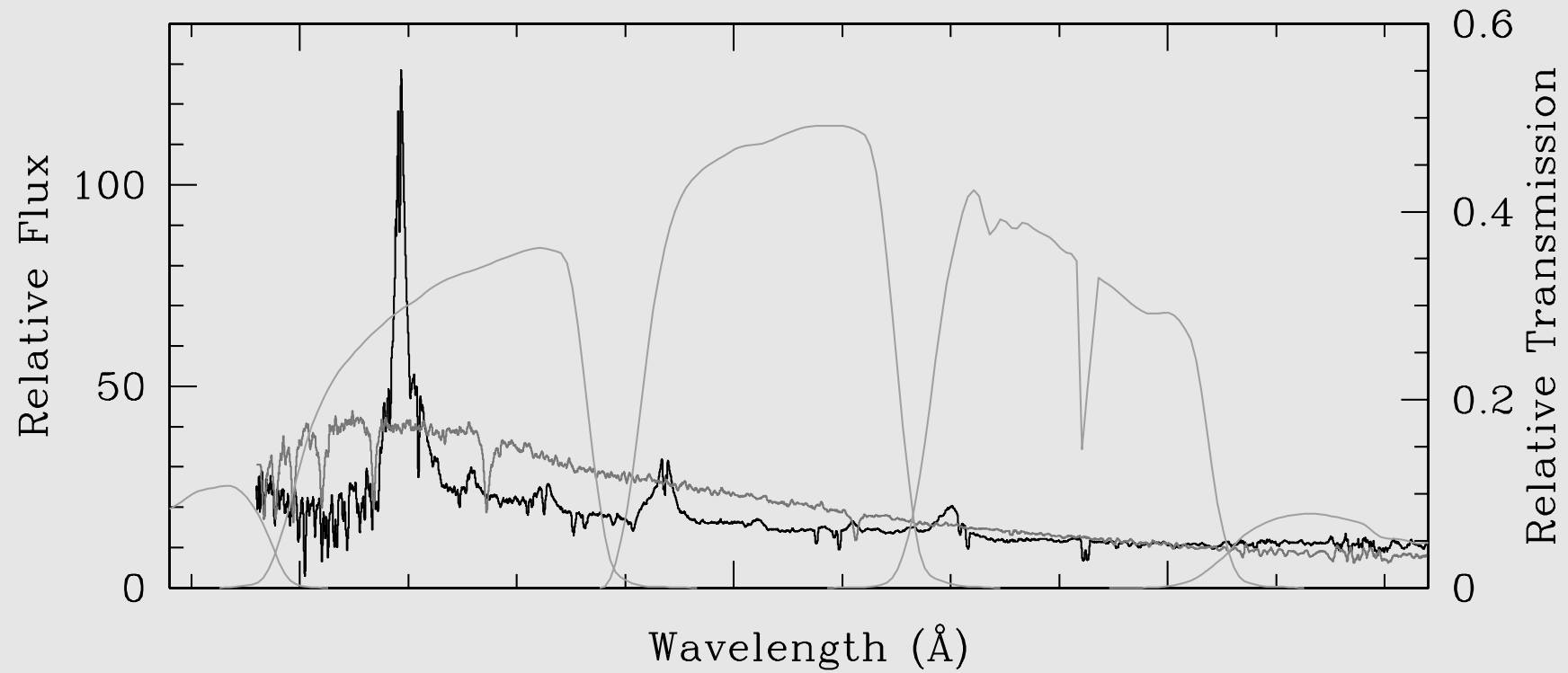
$$m_i < 21.3$$

# Отождествление квазаров по данным Слоановского обзора



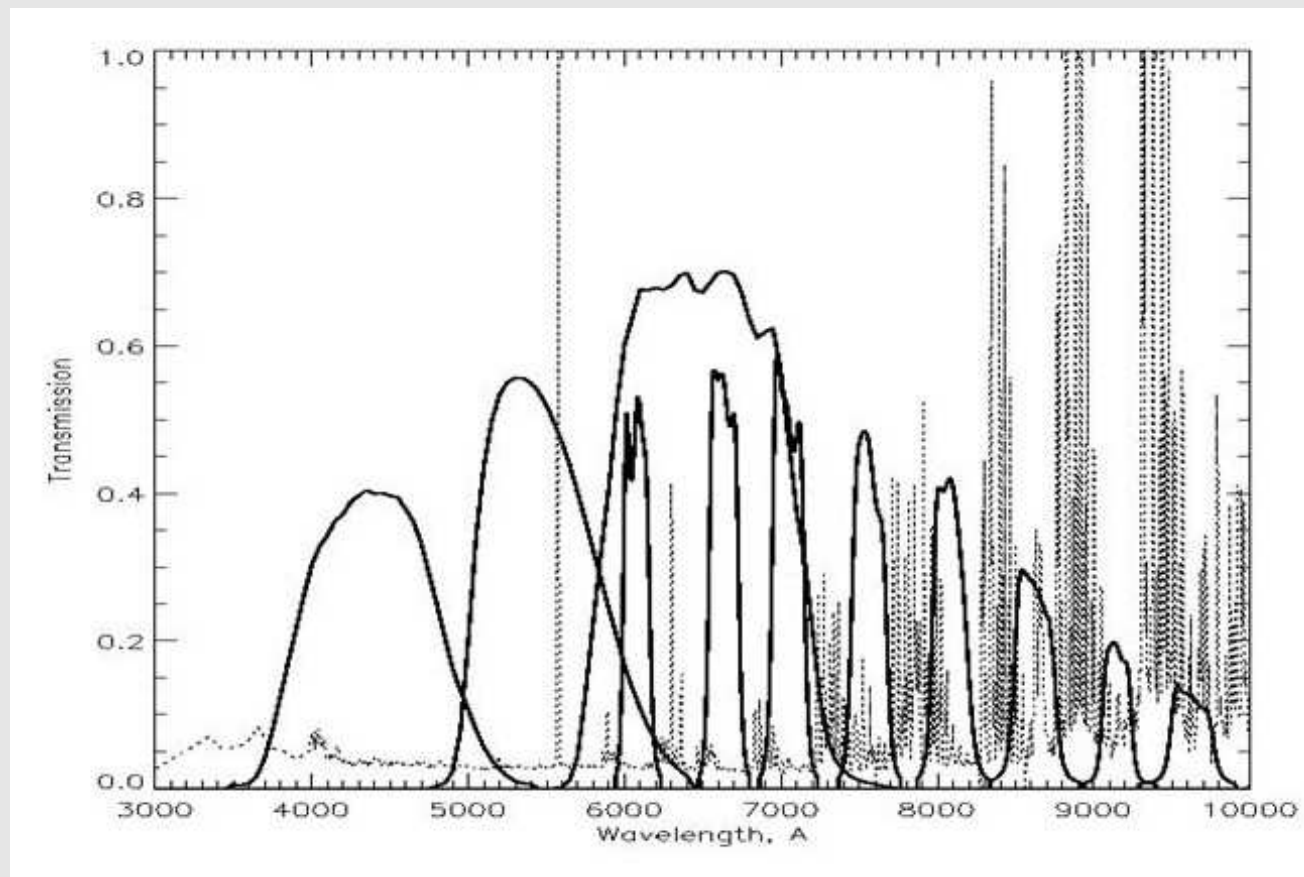
Только для  $\sim 70\%$  источников можно фотометрически определить АЯГ в оптическом диапазоне, *Pan-STARRS*-?

# Отождествление квазаров по данным Слоановского обзора



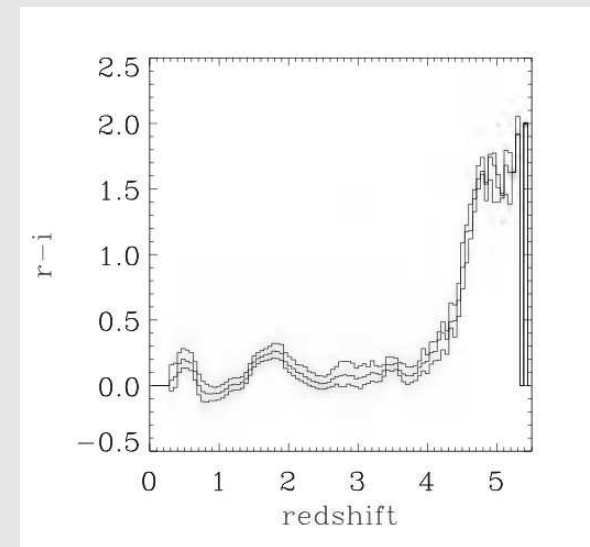
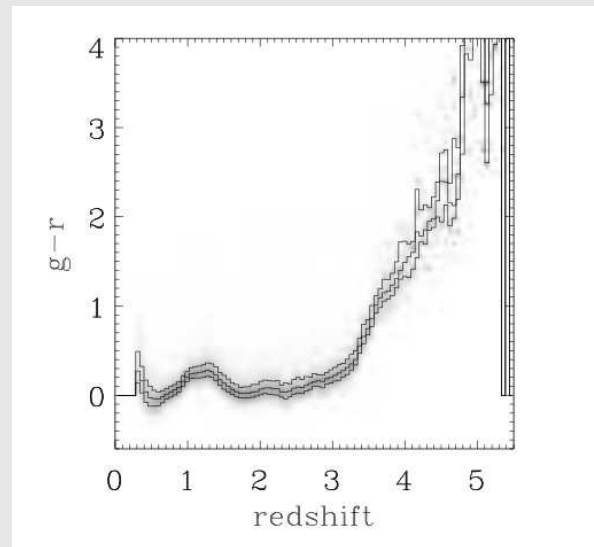
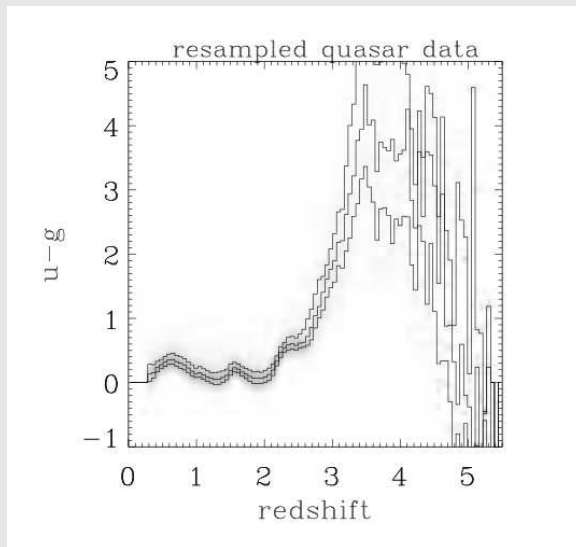
$z = 2.67$

# Фотометрия в среднеполосных фильтрах



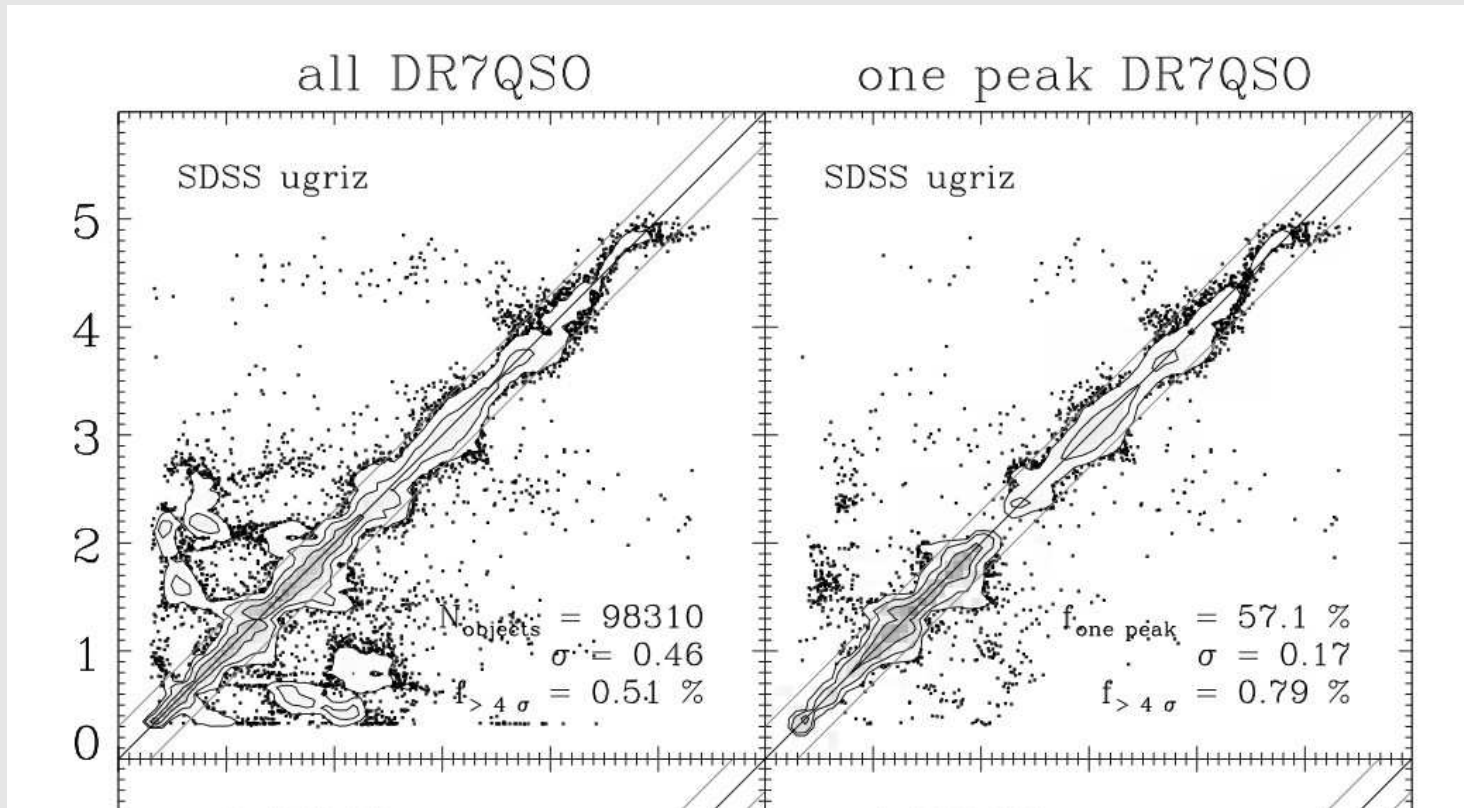


# Квазары на высоких $z$



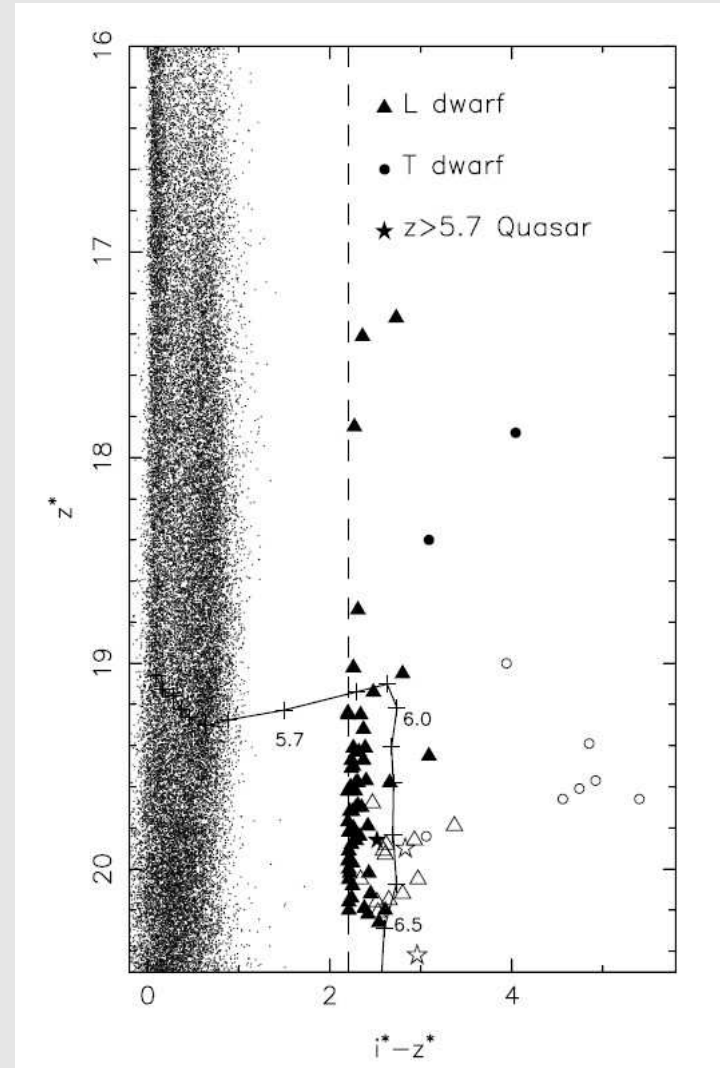
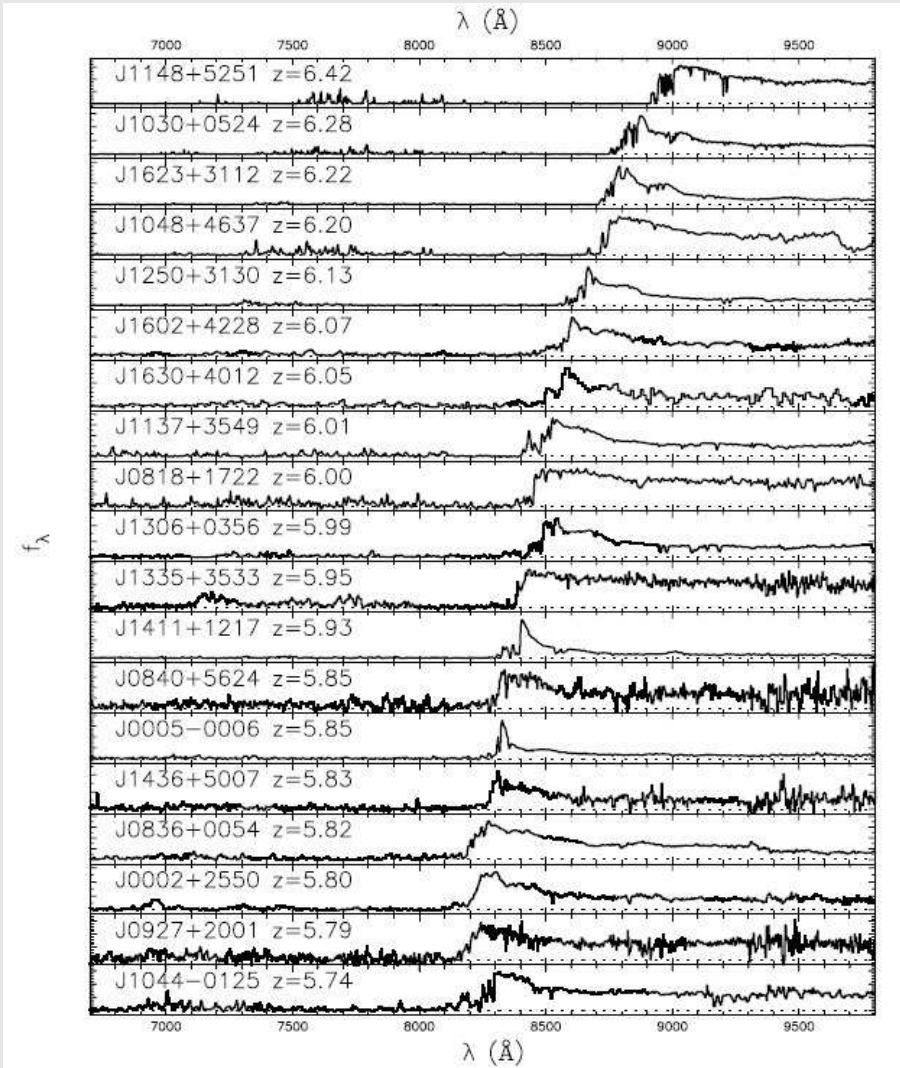
Bovy et al., 2011

# Фотометрические оценки $z$



Bovy et al., 2011

# Квезары на высоких $z$

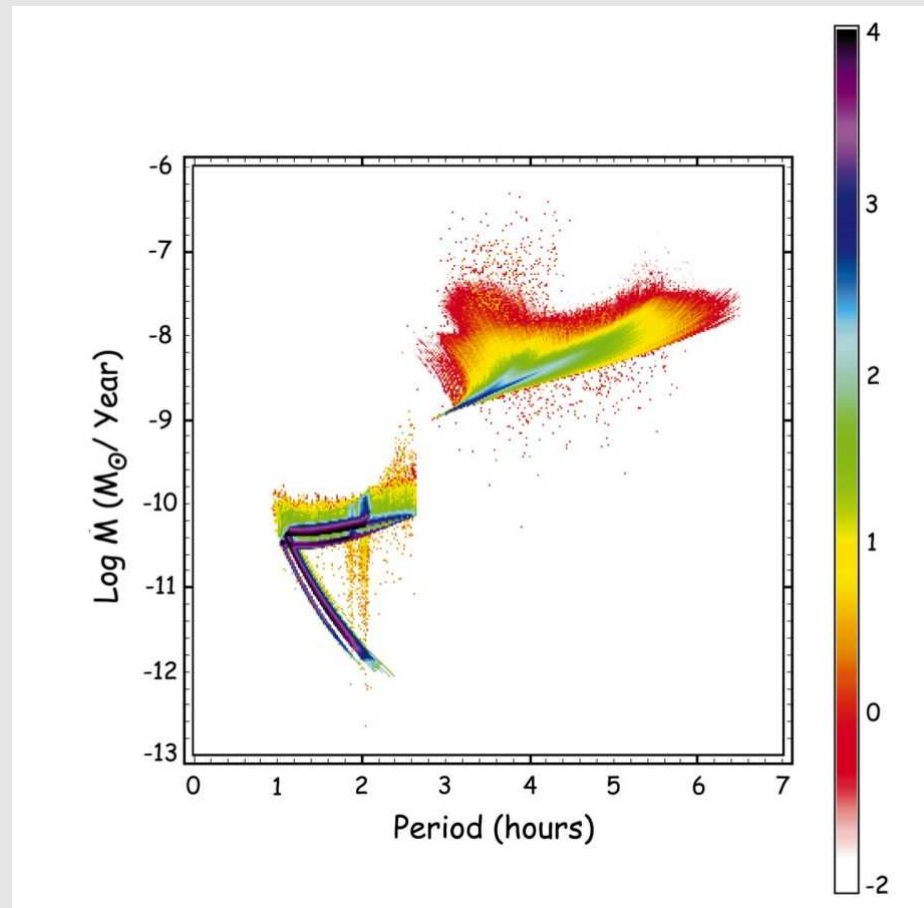


Fan et al., 2006

## Квезары на высоких $z$

- Статистически полные выборки, используя данные *SDSS* — для объектов, более ярких в рентгеновском диапазоне.
- Некоторое количество объектов можно будет отобрать при помощи фотометрических данных *SDSS*, далее потребуется уточнение фотометрии (?) и спектроскопия на большом телескопе ( $\sim 100$  объектов).
- Для того, чтобы отобрать статистически полные выборки объектов среди слабых рентгеновских источников, потребуются обзоры, более глубокие, по сравнению с *SDSS* — *Pan-STARRS*, *HSC*?

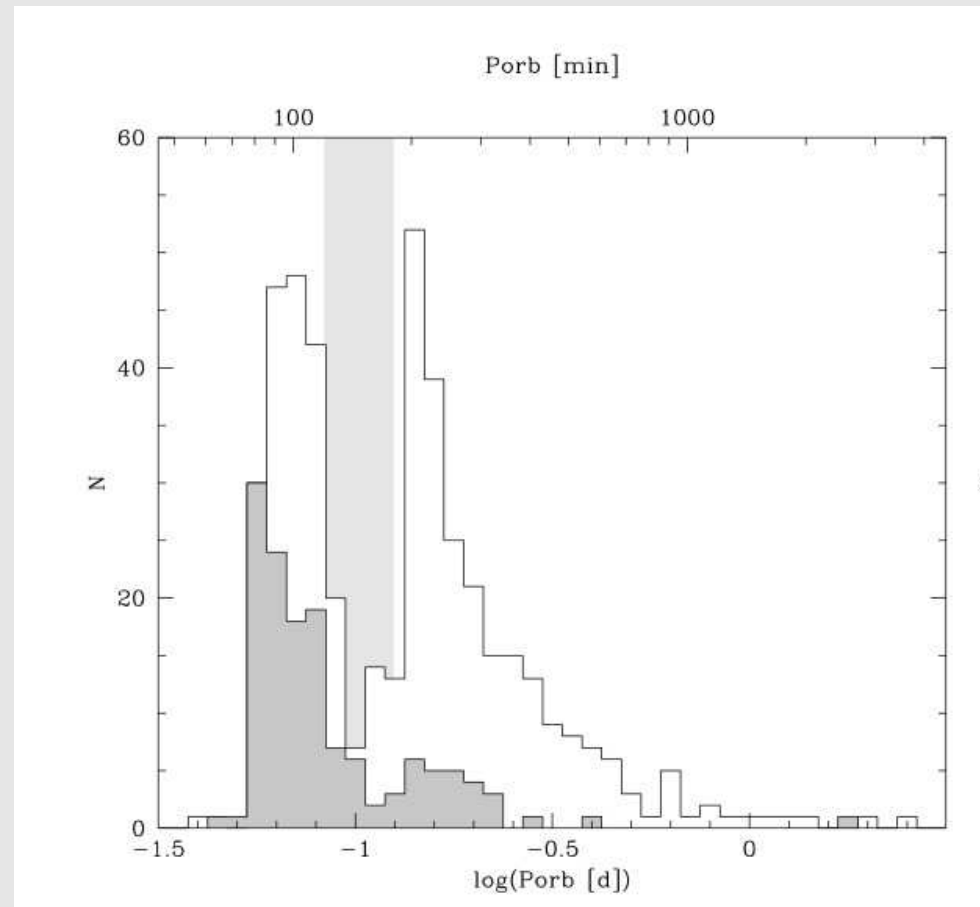
# Катаклизмические переменные



Howell et al., 2001

На высоких галактических широтах eРОЗИТА сможет увидеть все КП с темпом аккреции до  $\dot{M} \sim 10^{-12} M_{\odot} \text{ год}^{-1}$  (10000 км, 300 кпк).

# Распределение по периодам

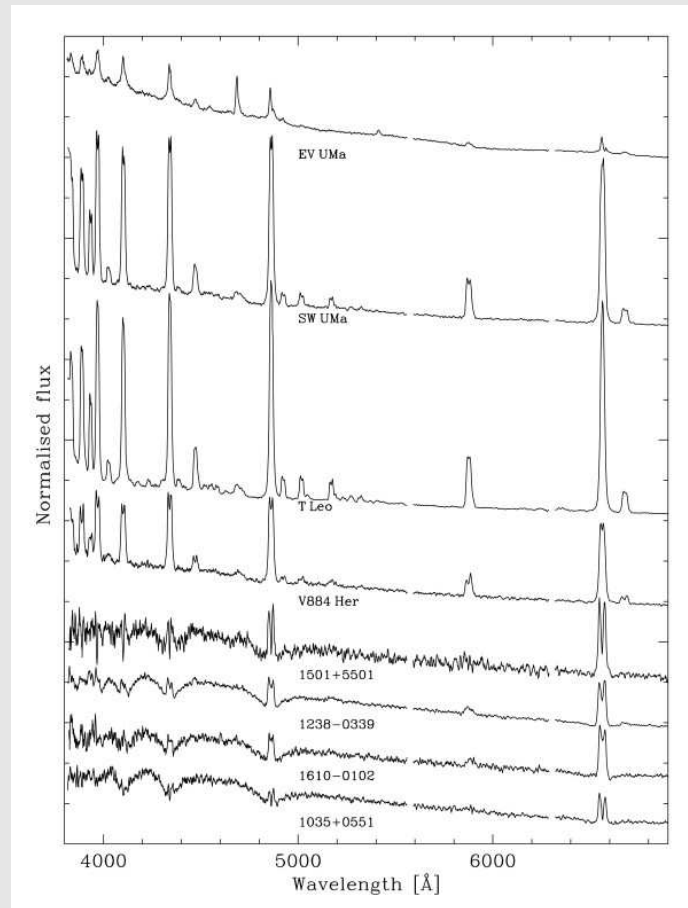


Gancicke et al., 2009

— около 100 КП в Слоановском обзоре с измеренными периодами



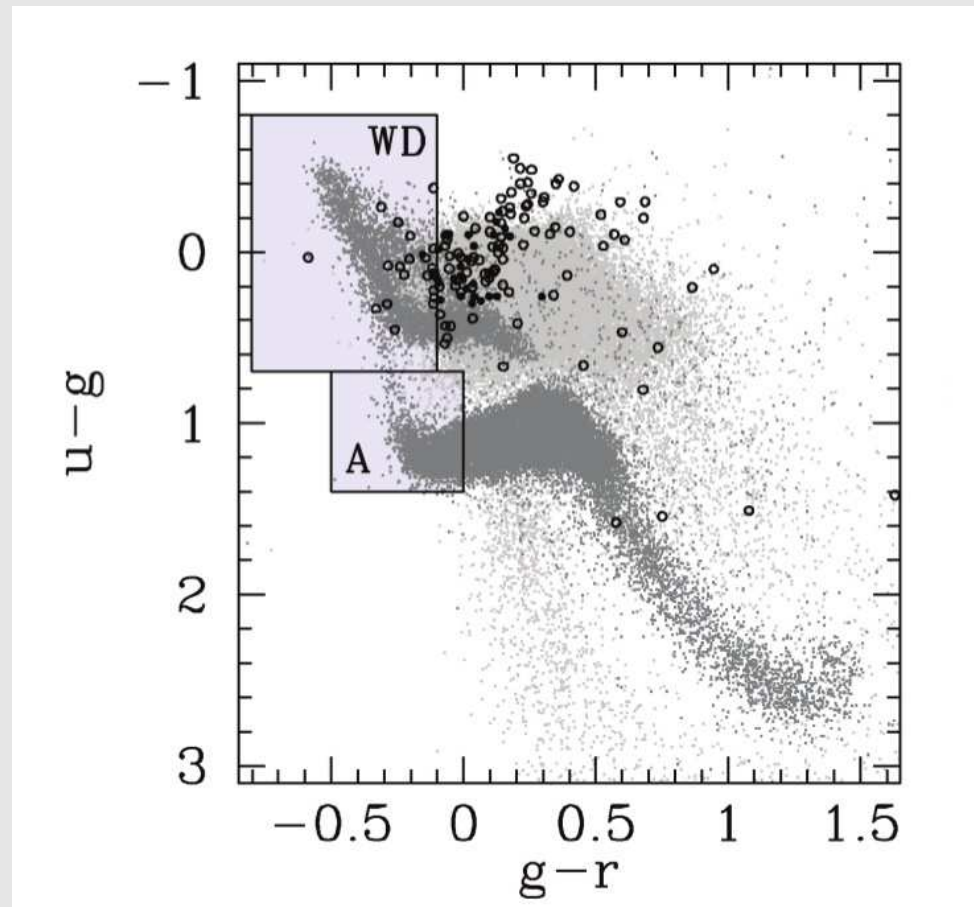
# Спектры КП около минимума периода



Gancicke et al., 2009

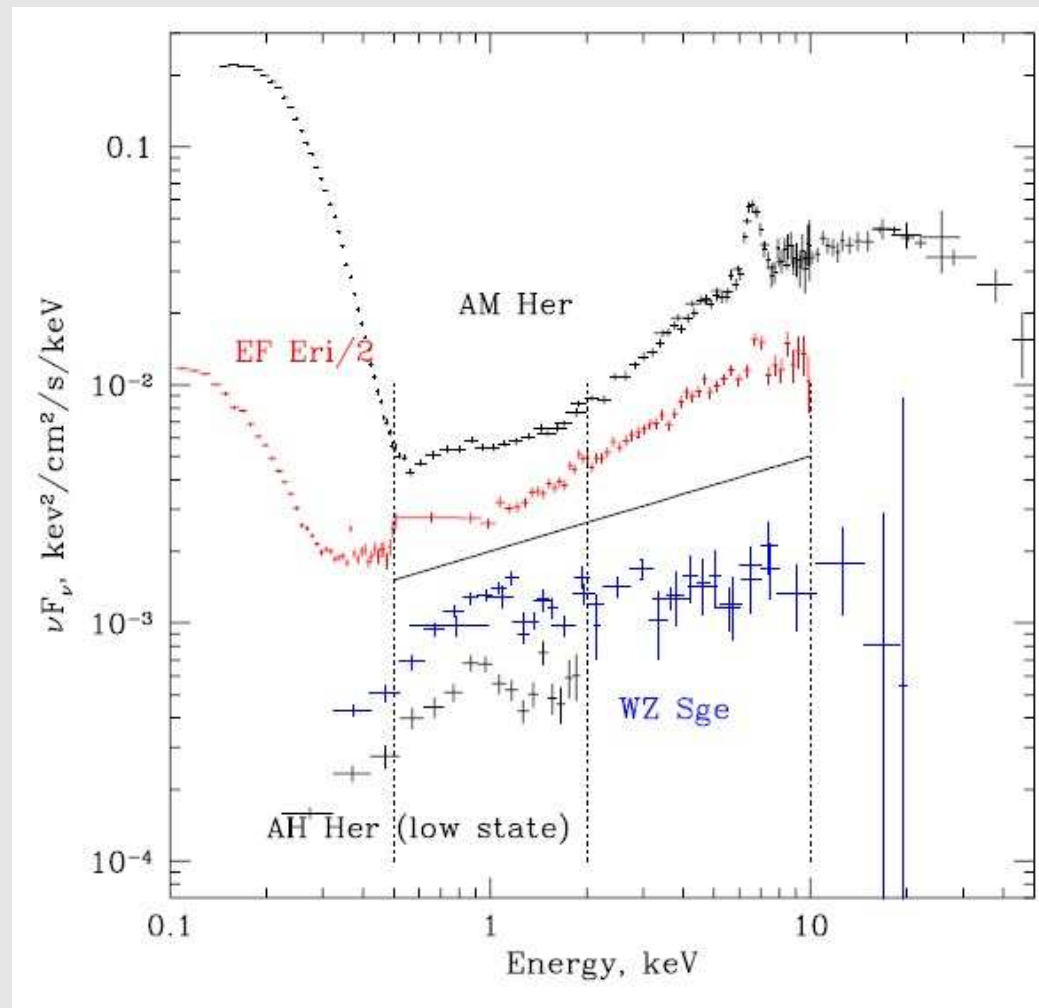
— в спектрах большого количество КП преобладает излучение белых карликов

## Отбор КП в оптическом диапазоне



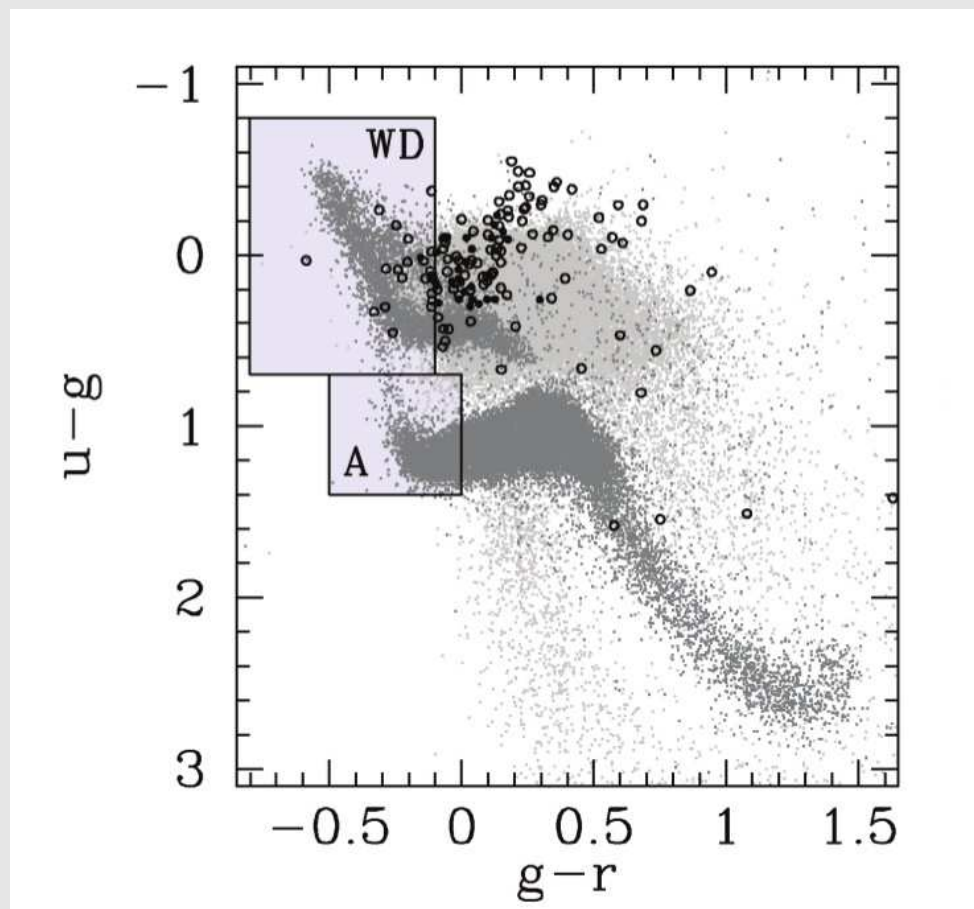
— при отборе область с цветами БК исключается

# Отбор КП в рентгеновском диапазоне



— 400 кв. градусов всего, 275 кв. градусов — пересечение с *SDSS*

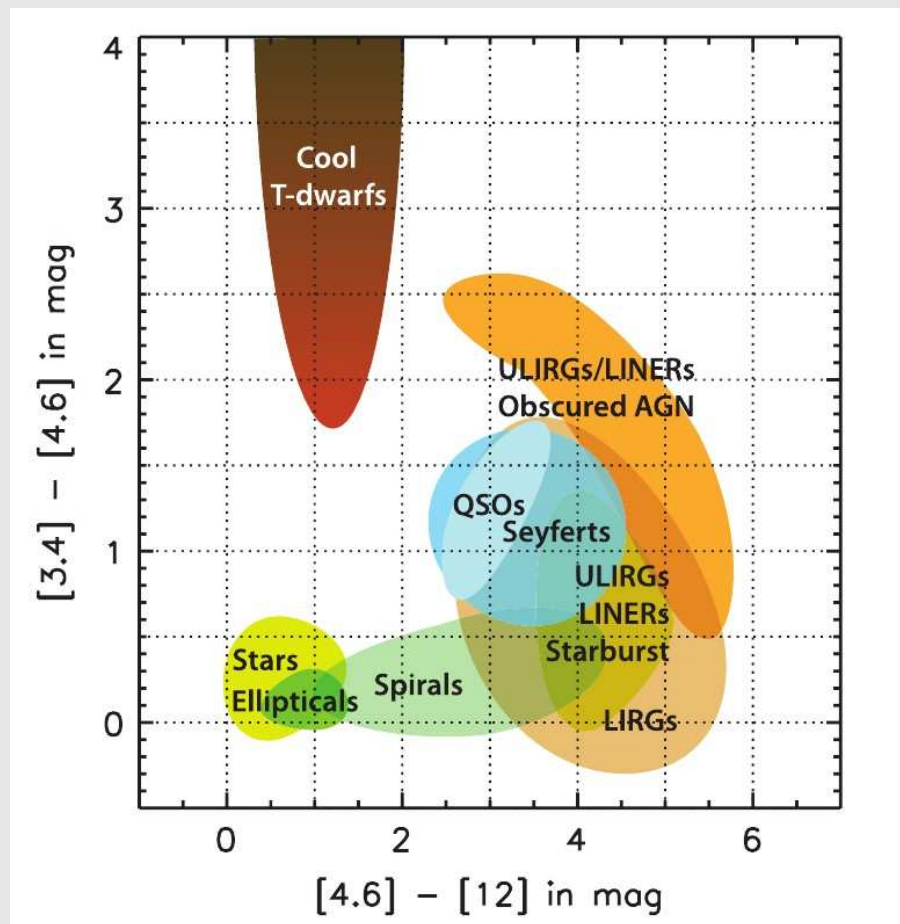
# Отождествление КП среди рентгеновских источников



$u-g < 0.7$ ,  $g < 18.5$ , спектроскопия — РТТ-150, TFOSC:

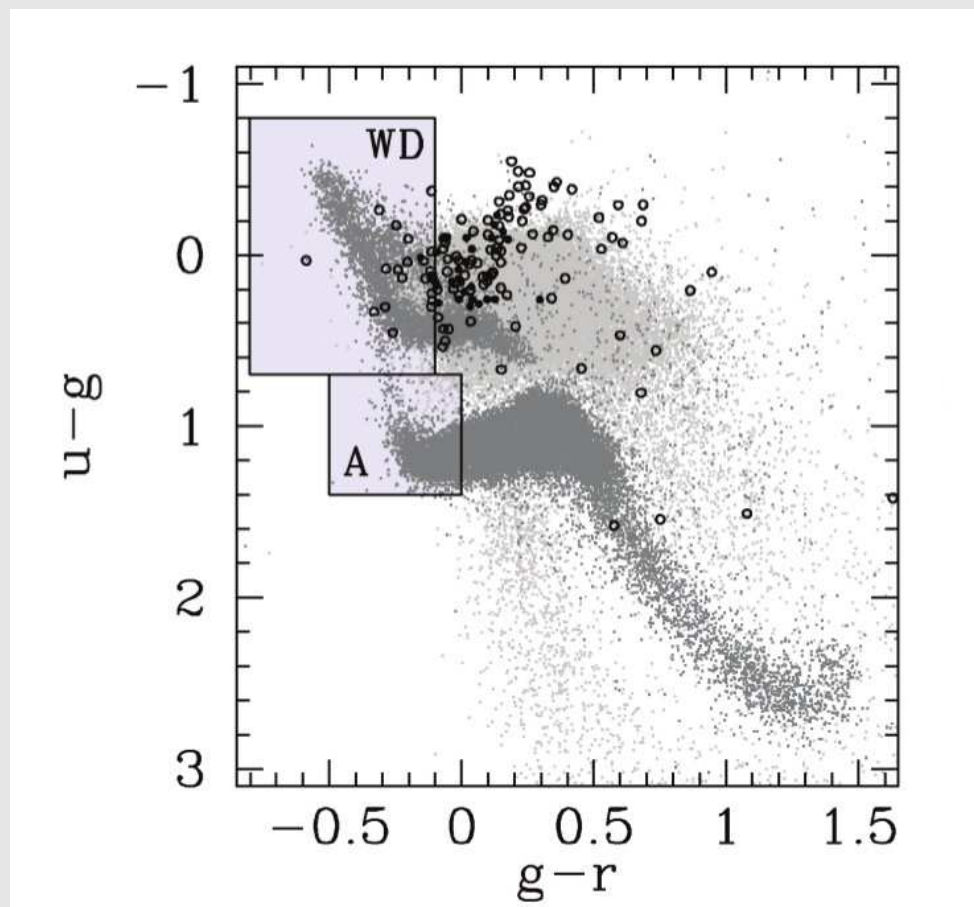
46 квазаров, 5 КП

# Отождествление квазаров по данным обзора *WISE*



— можно существенно уменьшить объем дополнительных наблюдений

# Отождествление КП среди рентгеновских источников



квезары исключены по данным *WISE*:

$u-g < 0.7$ ,  $g < 19.5$ , спектроскопия — PTT-150, TFOSC:

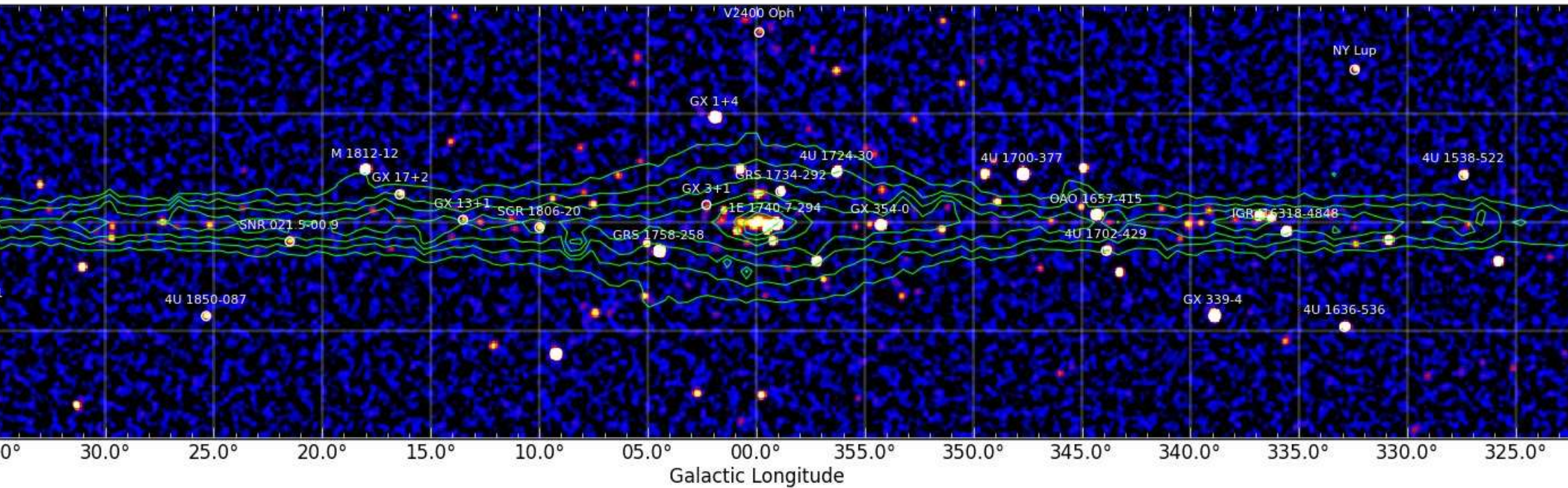
9 квазаров, 8 КП



## Катаклизмические переменные

- Чтобы получить полную выборку КП на высоких галактических широтах, потребуется получить спектры низкого разрешения для  $\sim 1000$  объектов,  $g < 19.5$ .
- Более слабые объекты — ?
- Объекты в полскости Галактики — наблюдения в ИК.

# Рентгеновские двойные системы



Обзор СРГ в плоскости Галактики — неисследованный диапазон рентгеновских светимостей ( $10^{33}$ – $10^{35}$  эрг  $\text{с}^{-1}$ ).