

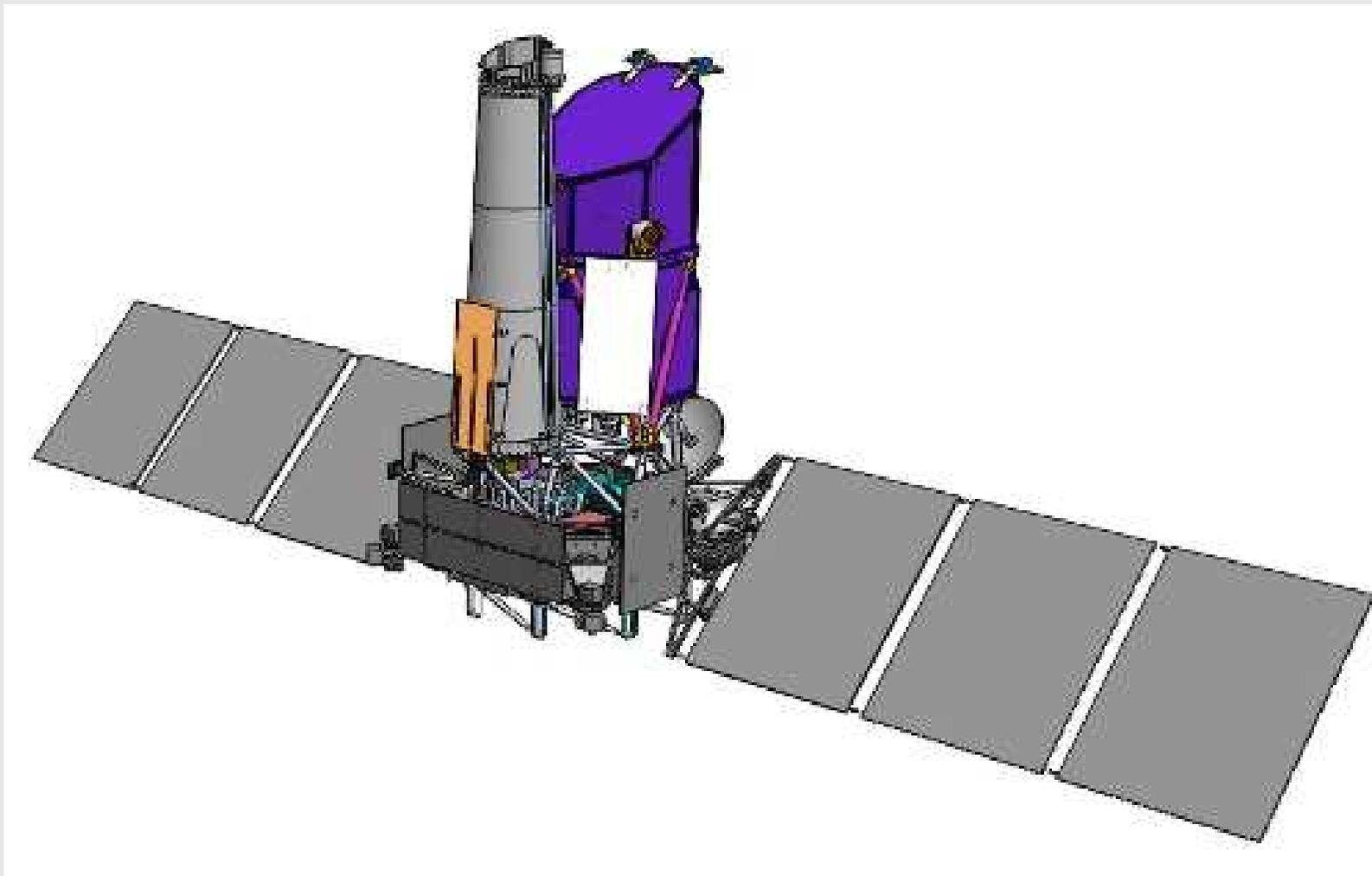
Поддержка рентгеновского обзора всего неба обсерватории SRG в оптическом диапазоне

Р. Буренин

ИКИ, Москва

ГАИШ, 11 марта, 2013 г.

Спектр-рентген-гамма (СРГ)



АРТ (Россия), eРОЗИТА (Германия)

ePOЗИТА

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

- ~ 100000 скоплений галактик, включая *ВСЕ* массивные скопления в наблюдаемой части Вселенной
- ~ 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
- ~ 1000 –??? аккрецирующих белых карликов в рентгеновских двойных системах, включая (видимо) *ВСЕ* системы в диске Галактики, расположенные на высоких галактических широтах
- ~ 100000 звезд с хромосферной активностью
- одиночные нейтронные звезды
- ...

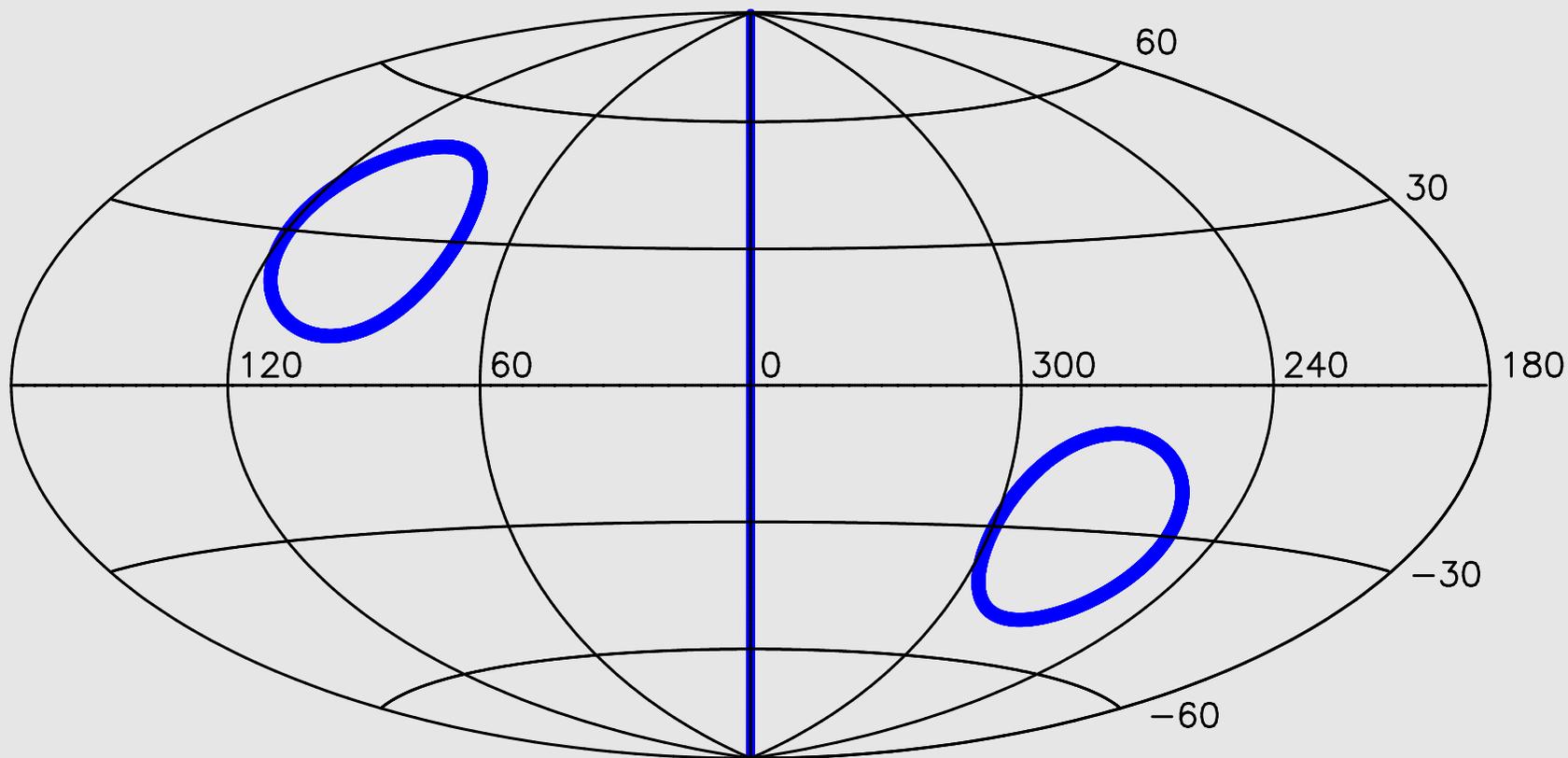
ART

Обзор в ~ 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 с^{-1}
- Уточнение измерений температур близких богатых скоплений галактик
- . . .

Граница раздела данных обзора ePOZITA

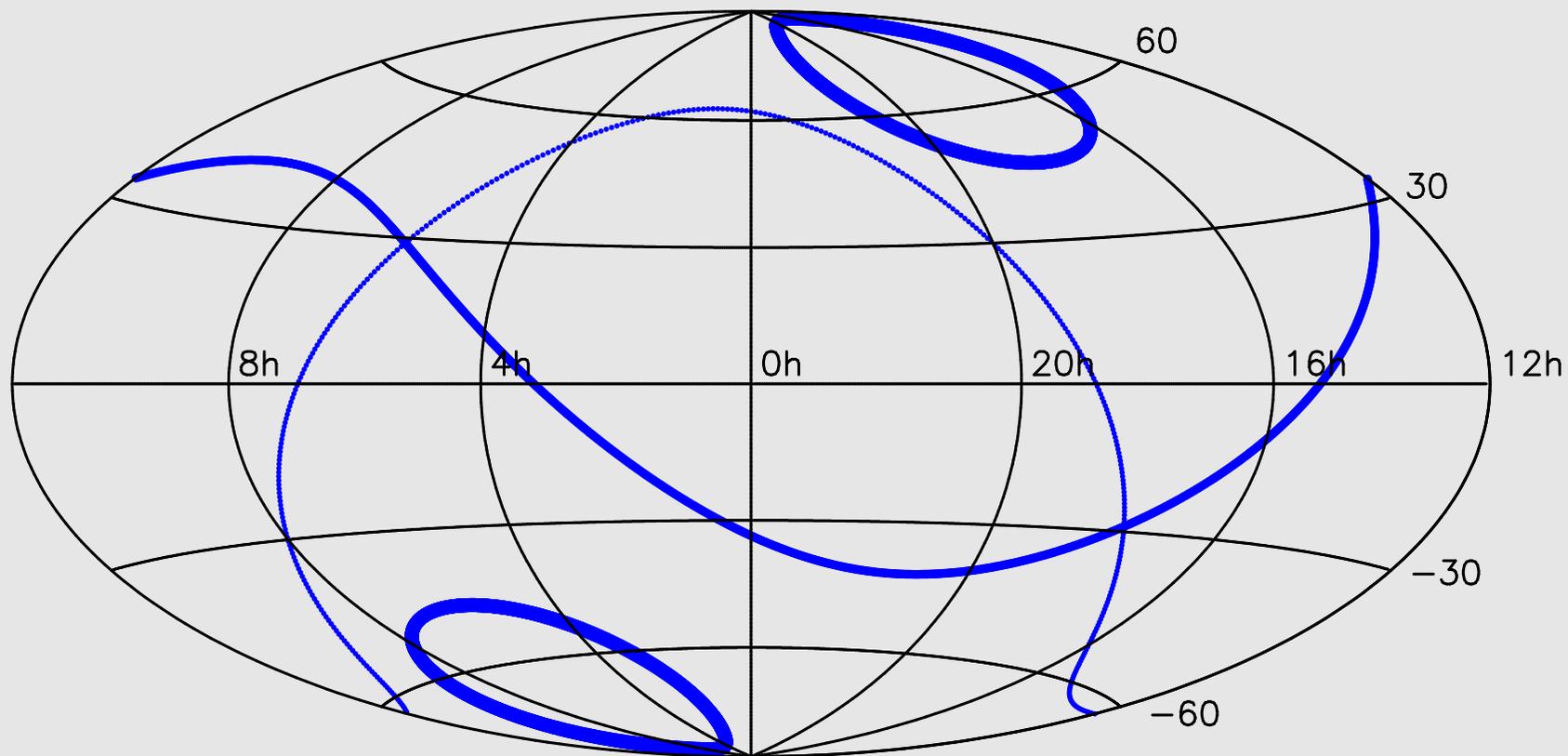
Галактические координаты:



Российская часть неба — слева

Граница раздела данных обзора ePOZITA

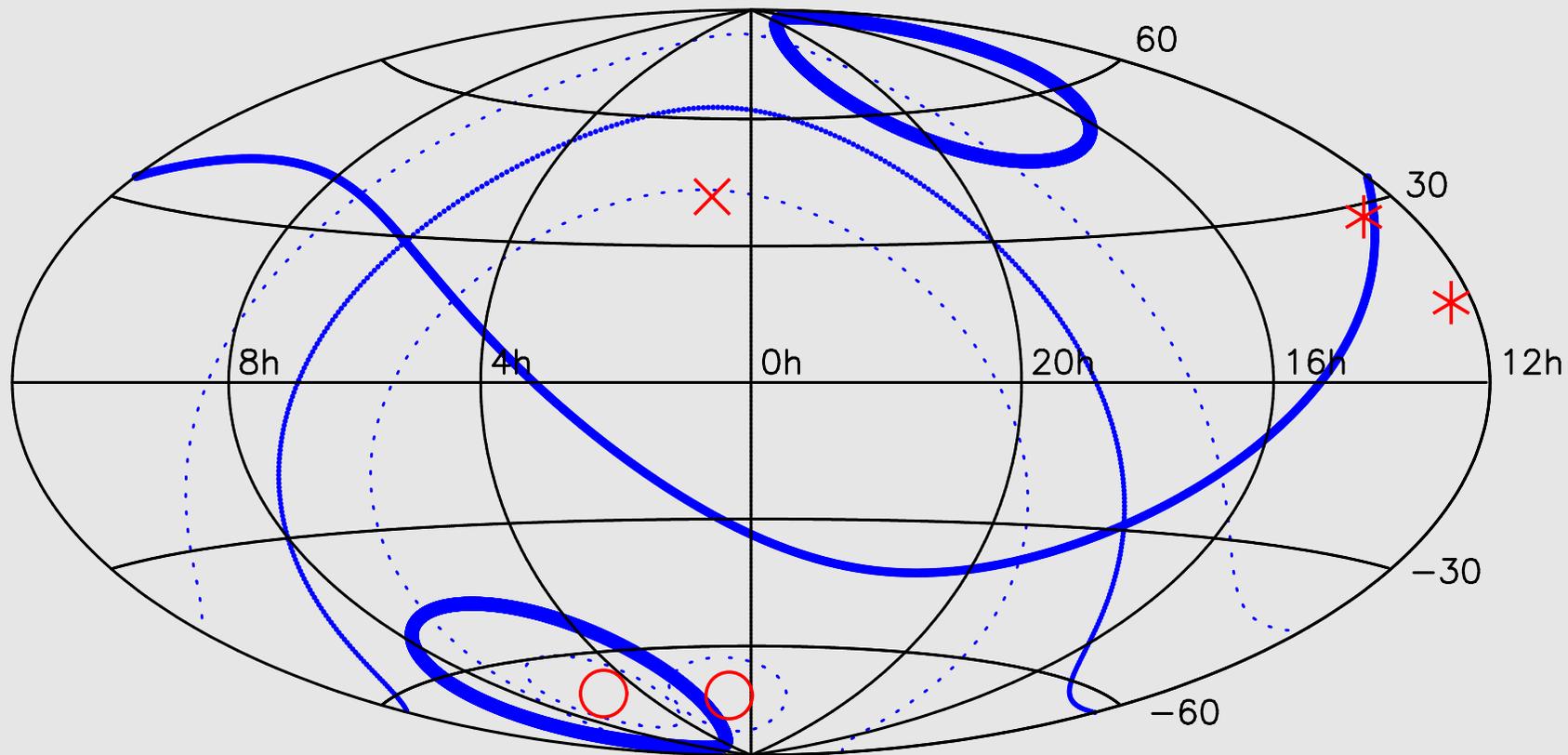
Экваториальные координаты:



Российская часть неба — «север»

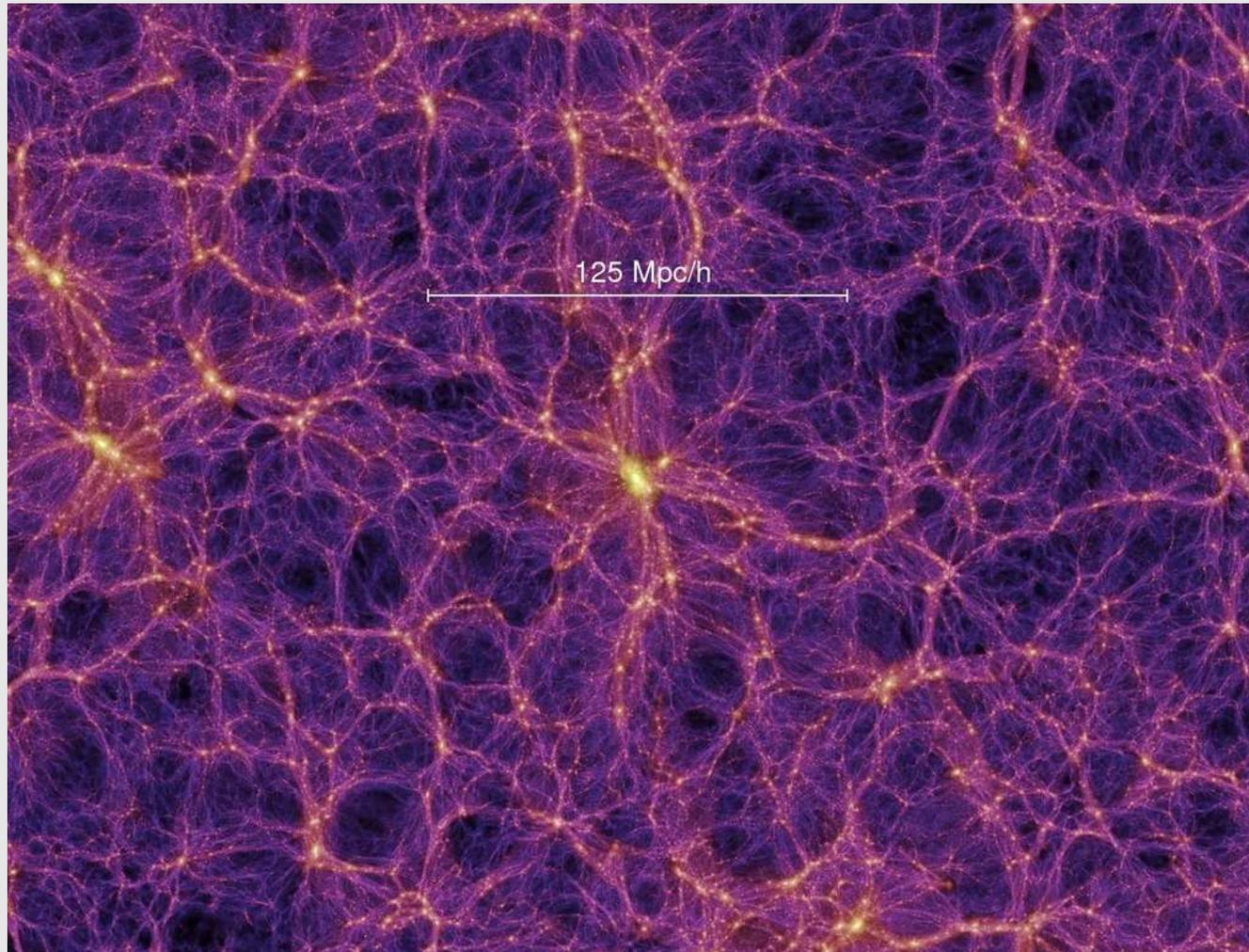
С севера (юга) можно наблюдать примерно 1/3 южной (северной) половины

Некоторые близкие объекты



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

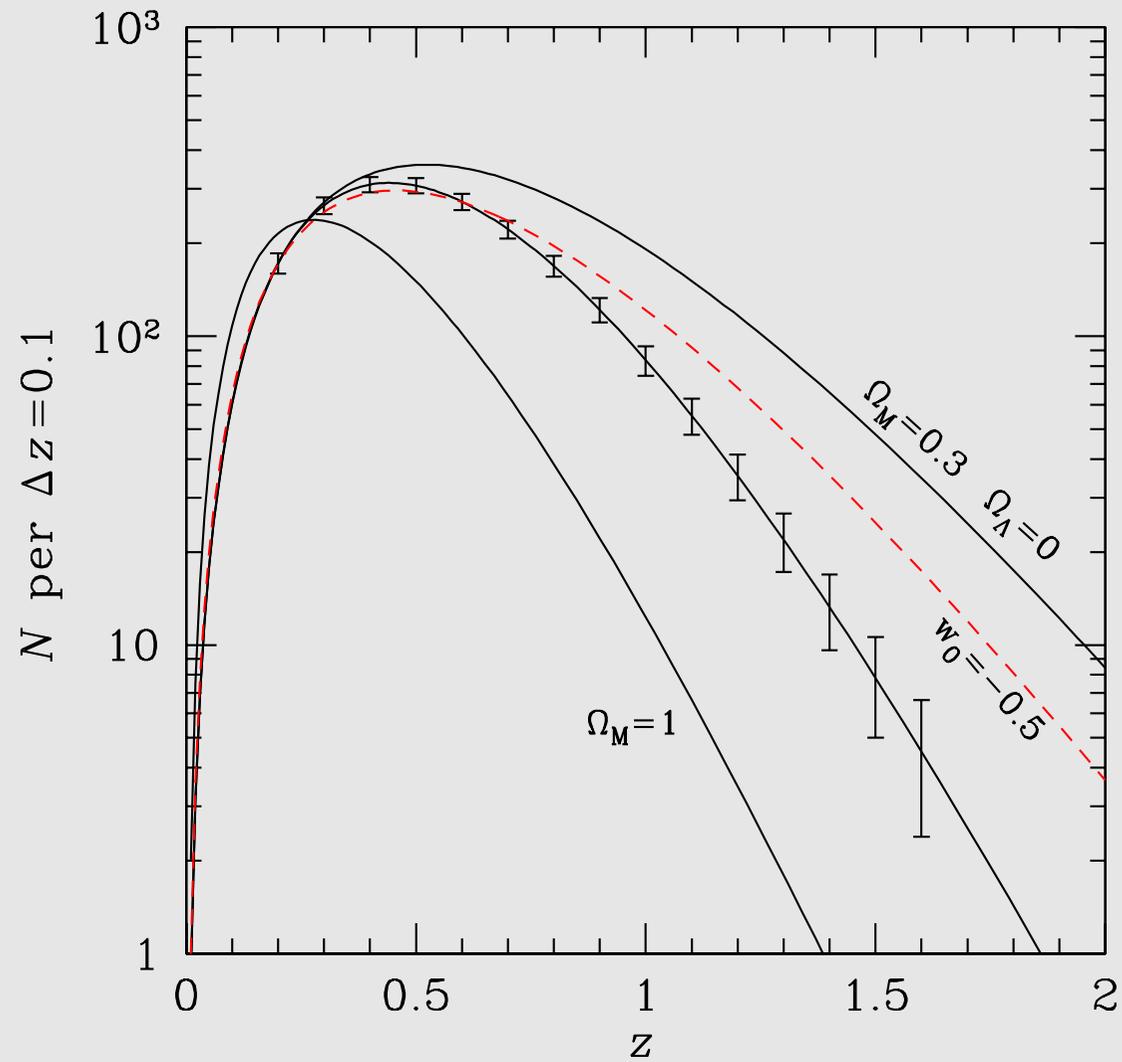
Скопления галактик



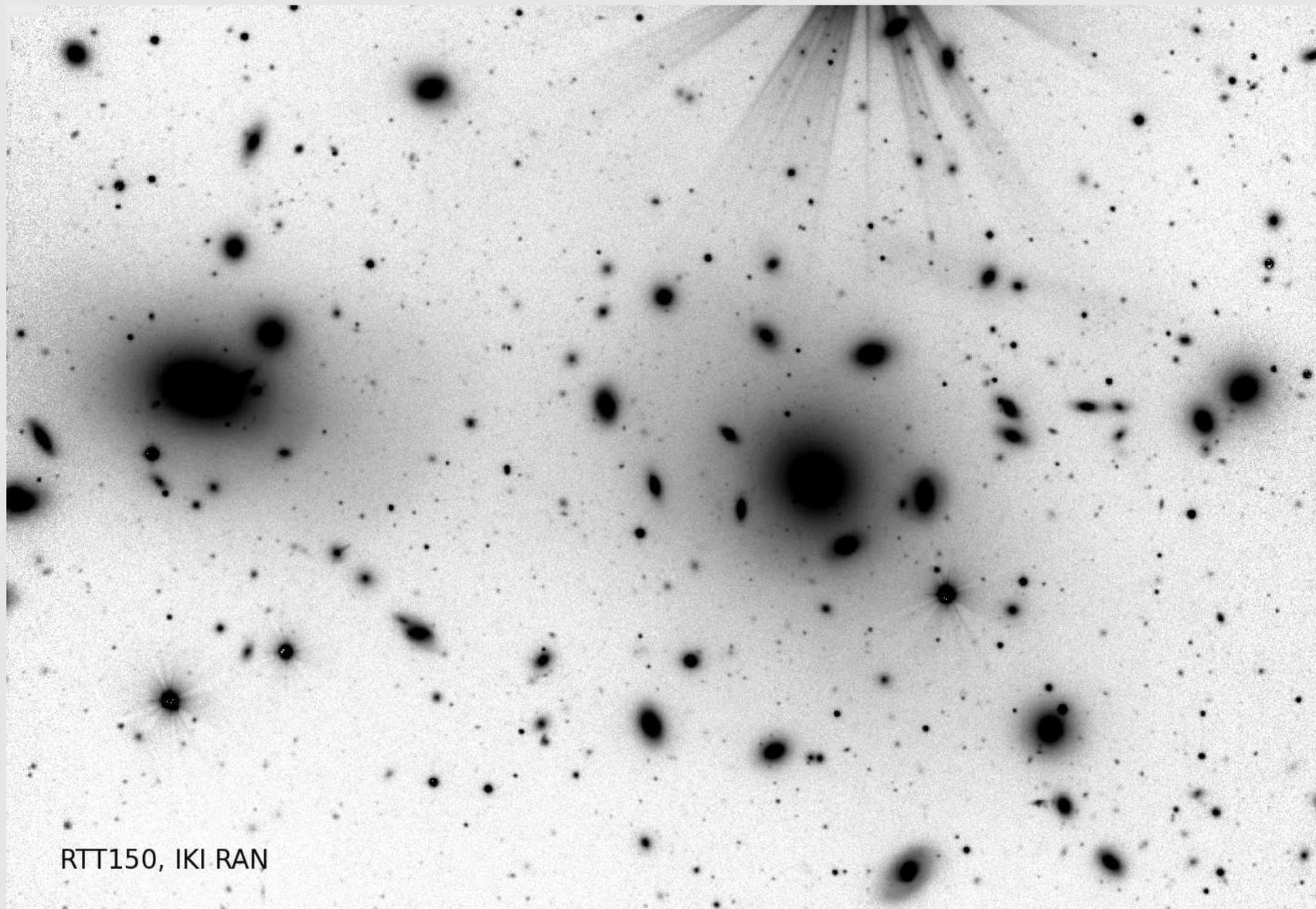
Моделирования тысячелетия (Millenium simulations)

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

Распределение массивных скоплений по z

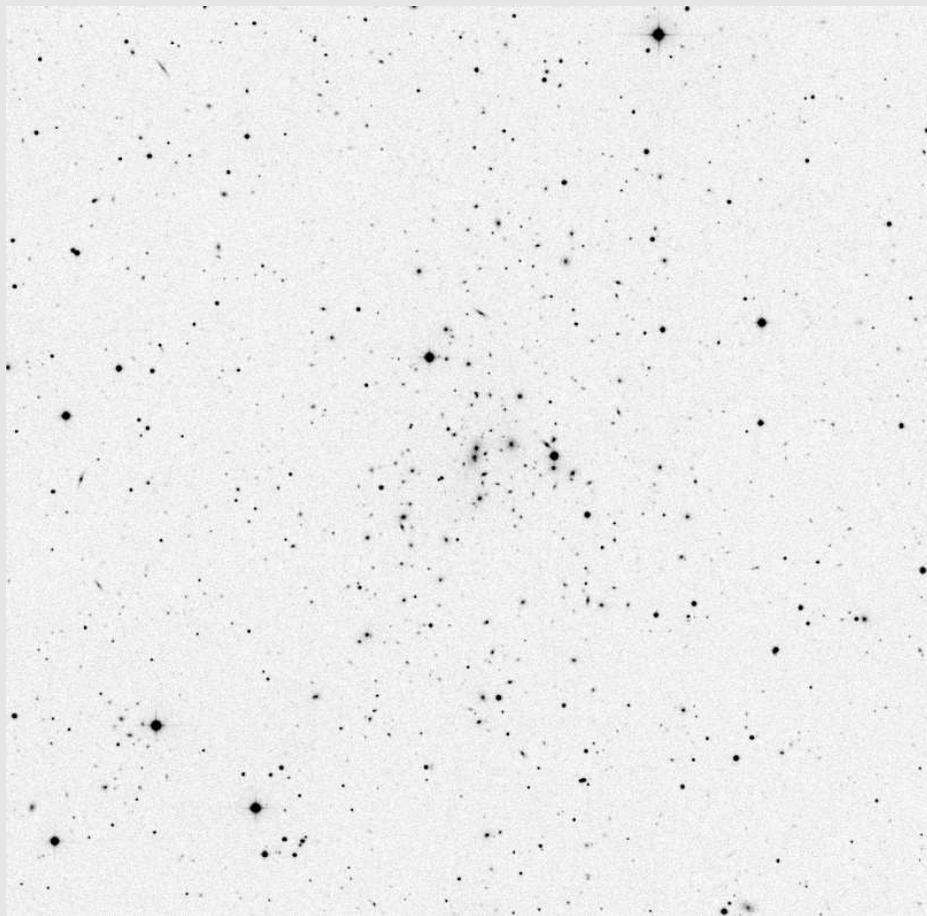


Как следует искать скопления?



Как следует искать скопления?

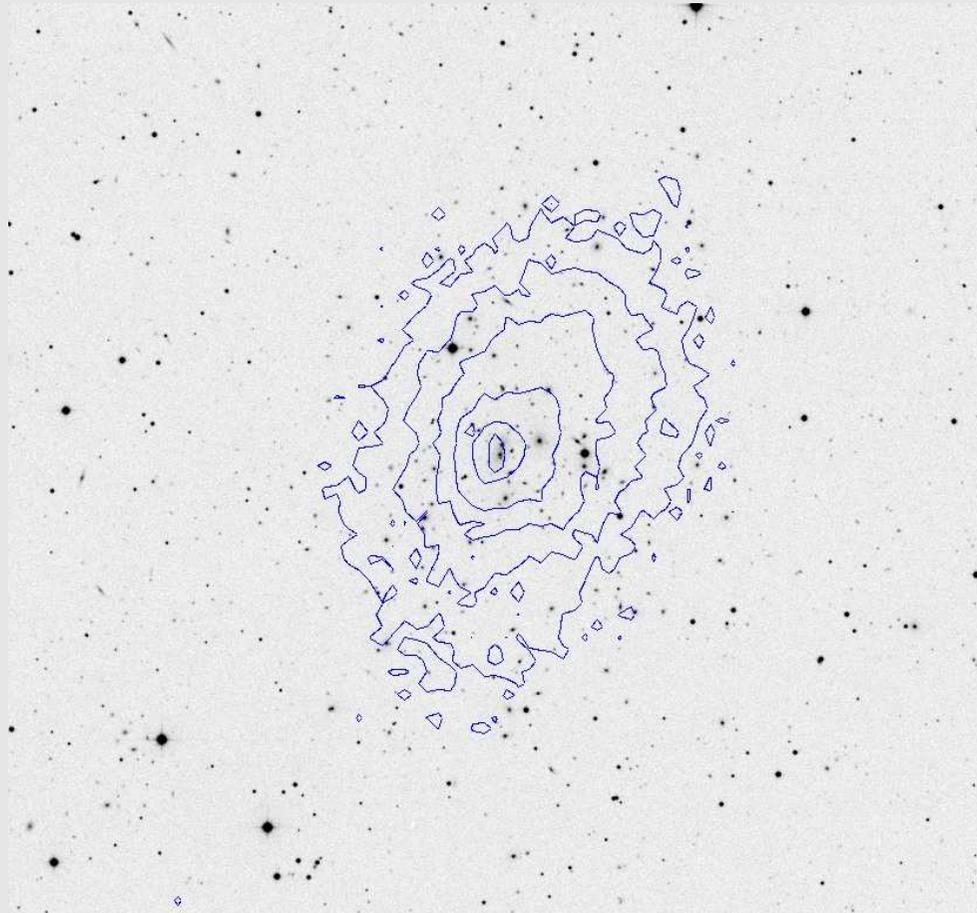
A2065, DSS:



на самом деле, в оптике — плохо

Как следует искать скопления?

A2065, излучение горячего газа:

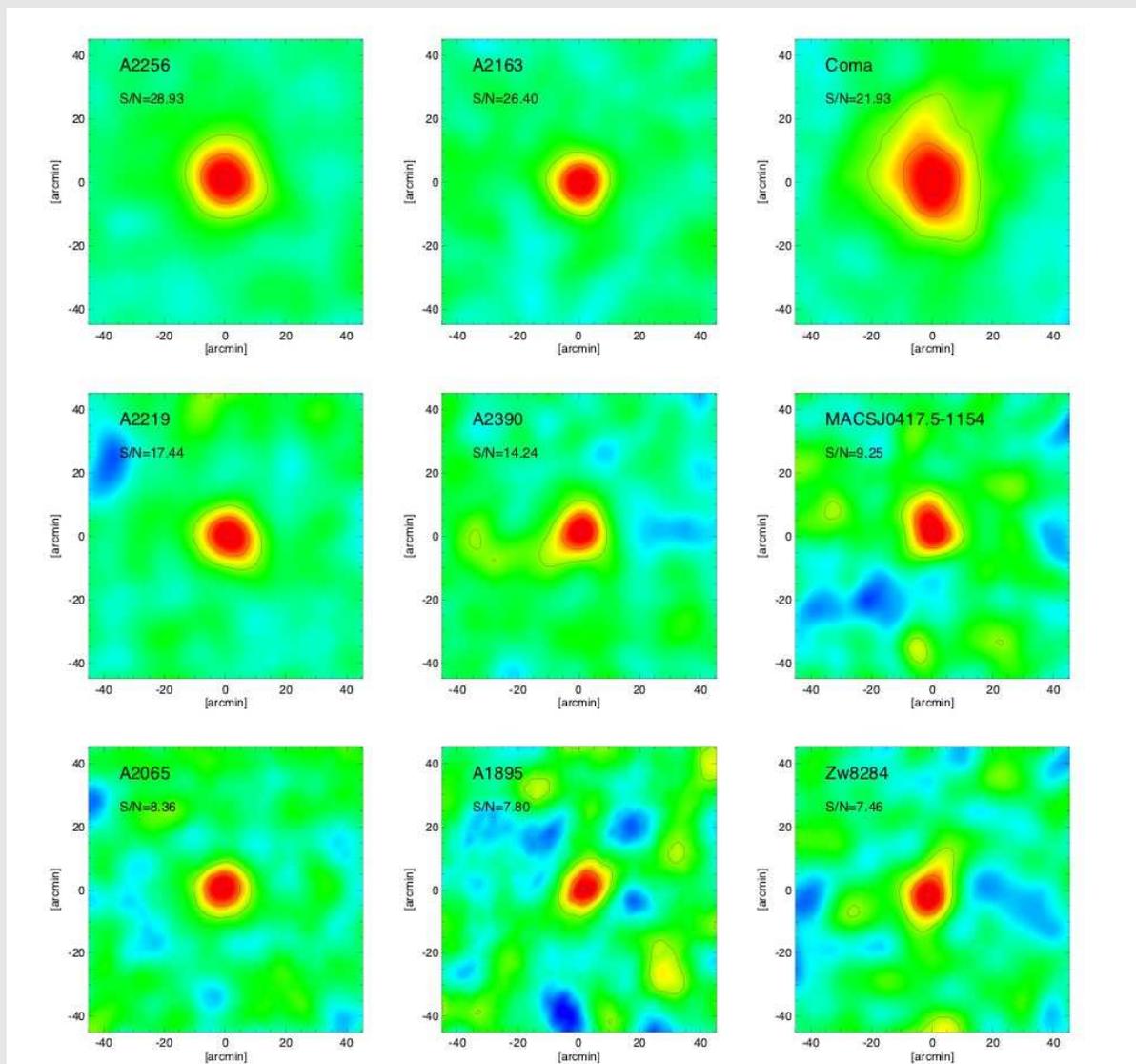


$$R_X \approx 200 \text{ кпк},$$

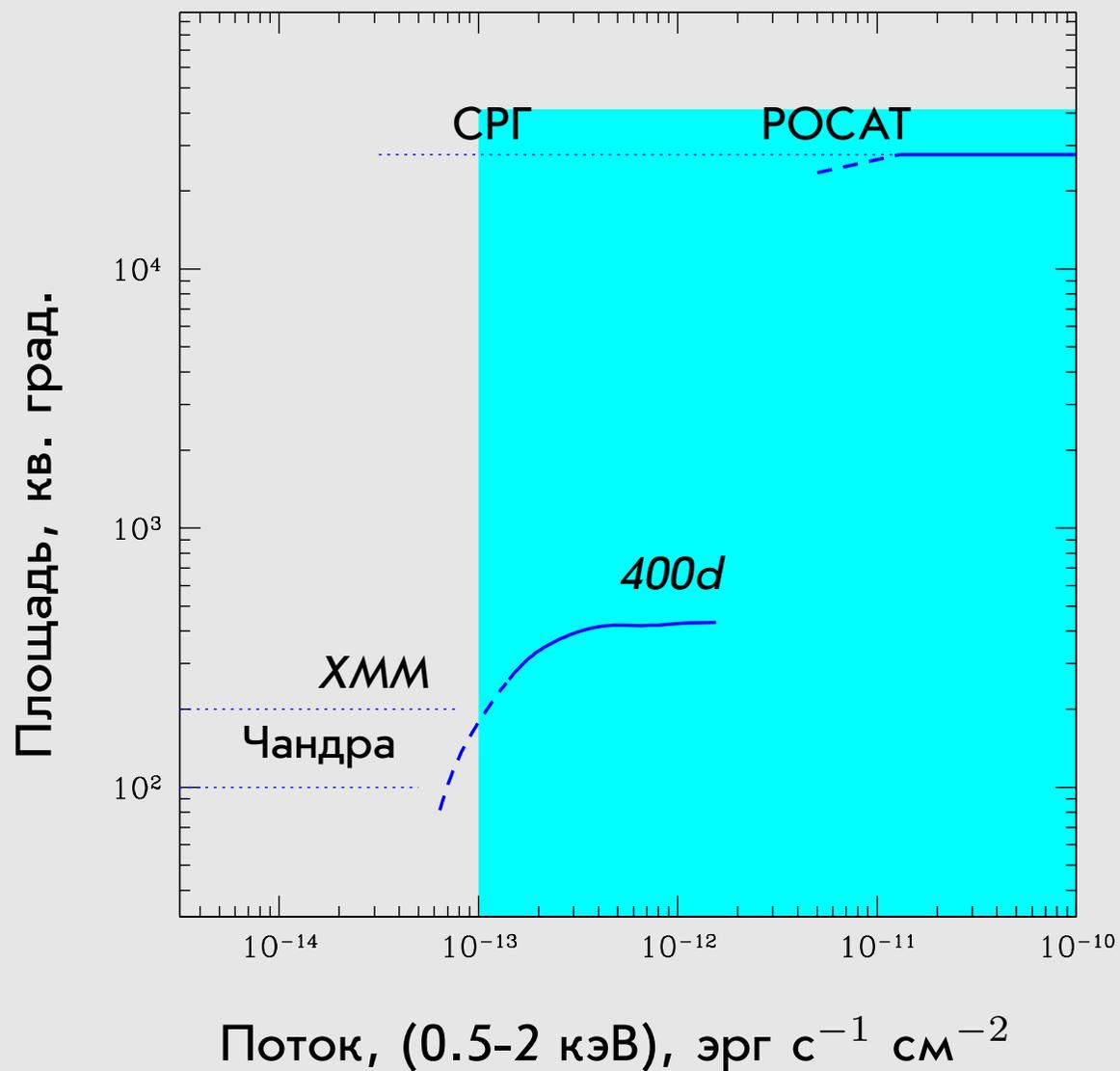
$$R_{Abell} \approx 2 \text{ Мпк}$$

Эффект Сюняева-Зельдовича

обсерватория им. Планка:

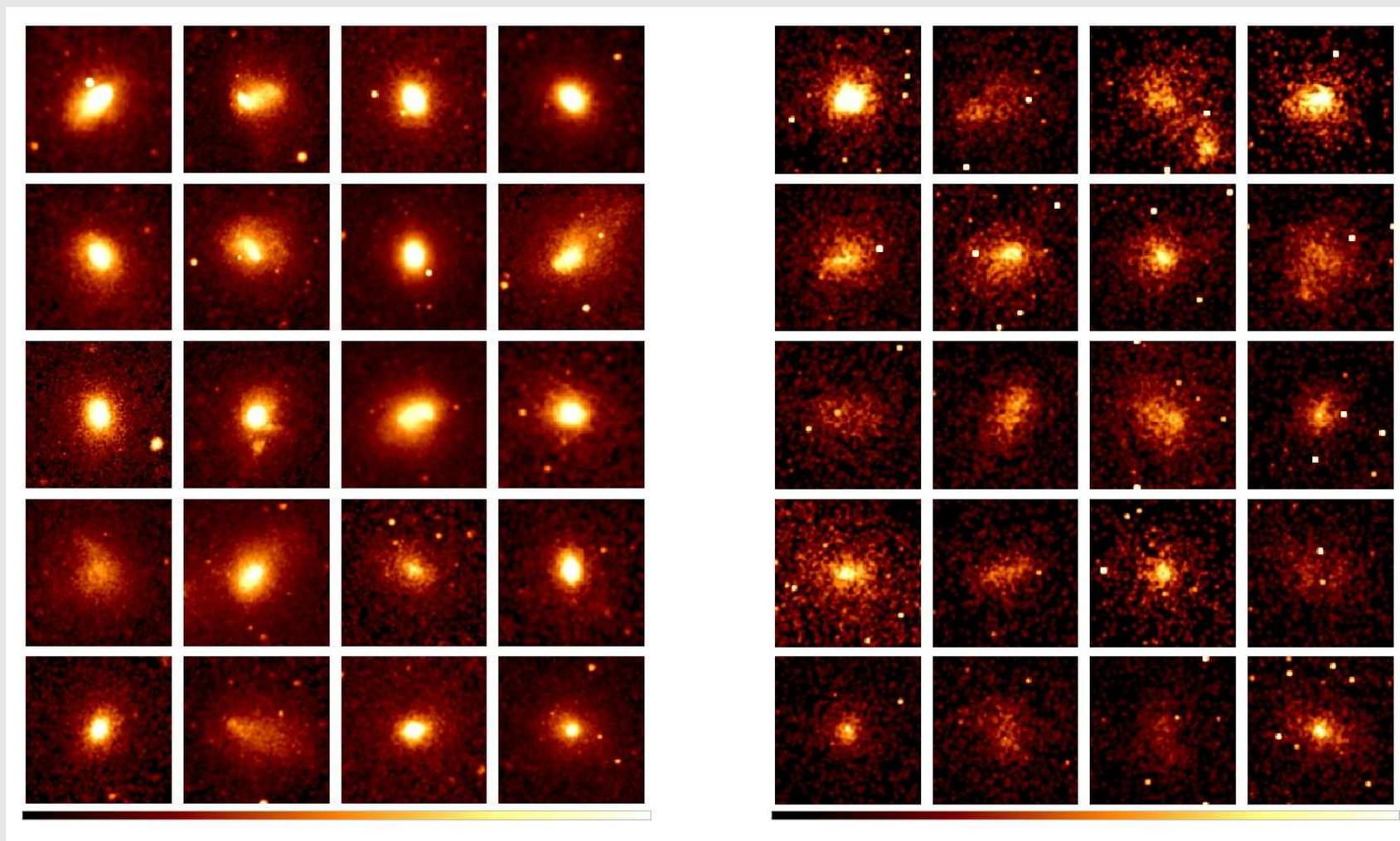


Что сделано сейчас?



400d + RASS —
86 массивных
скоплений

Chandra Cluster Cosmology Project — CCCP

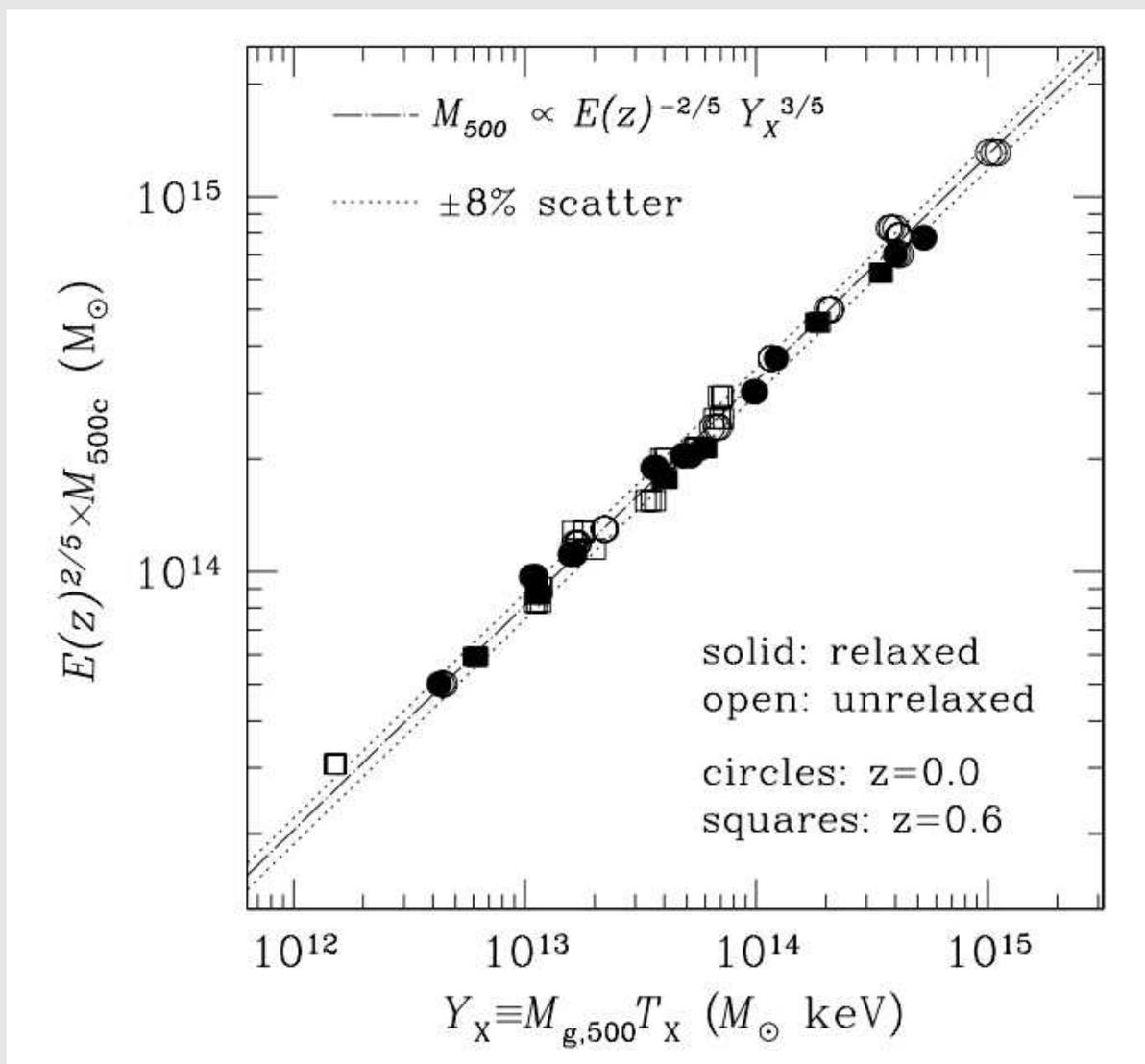


$z < 0.1$

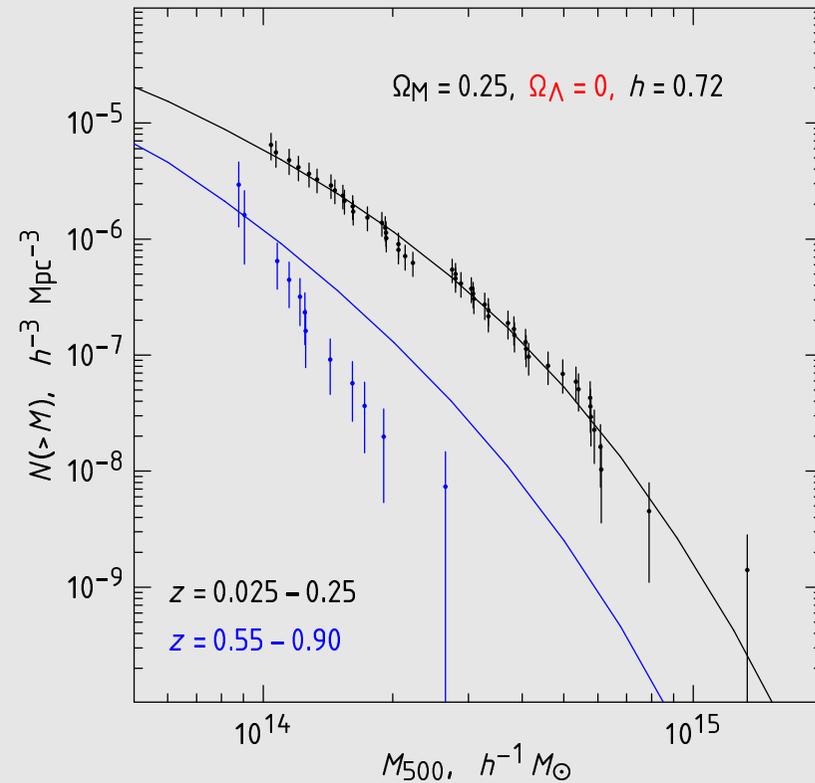
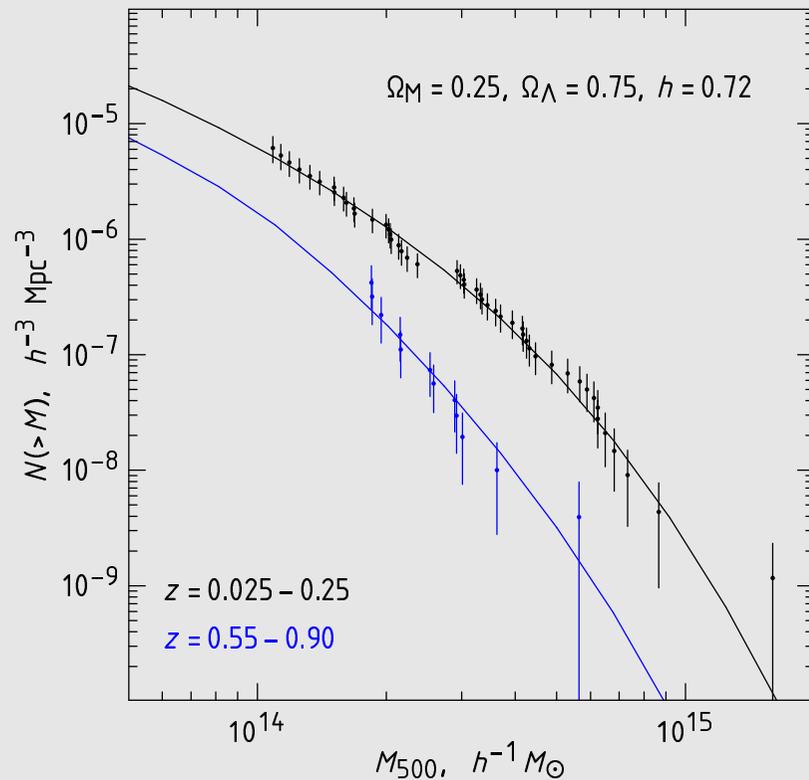
$z > 0.45$

86 близких и далеких массивных скоплений

Измерение масс скоплений



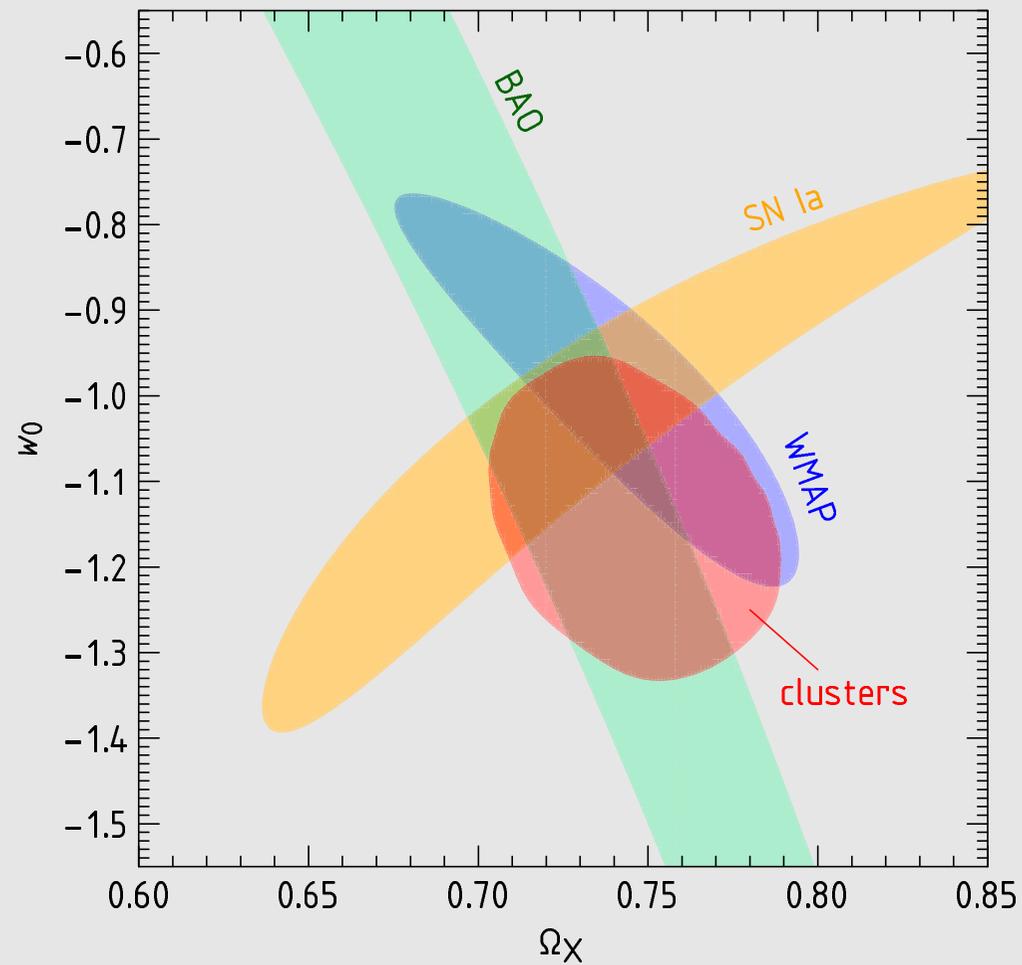
Функция масс скоплений



Независимое подтверждение существования темной энергии

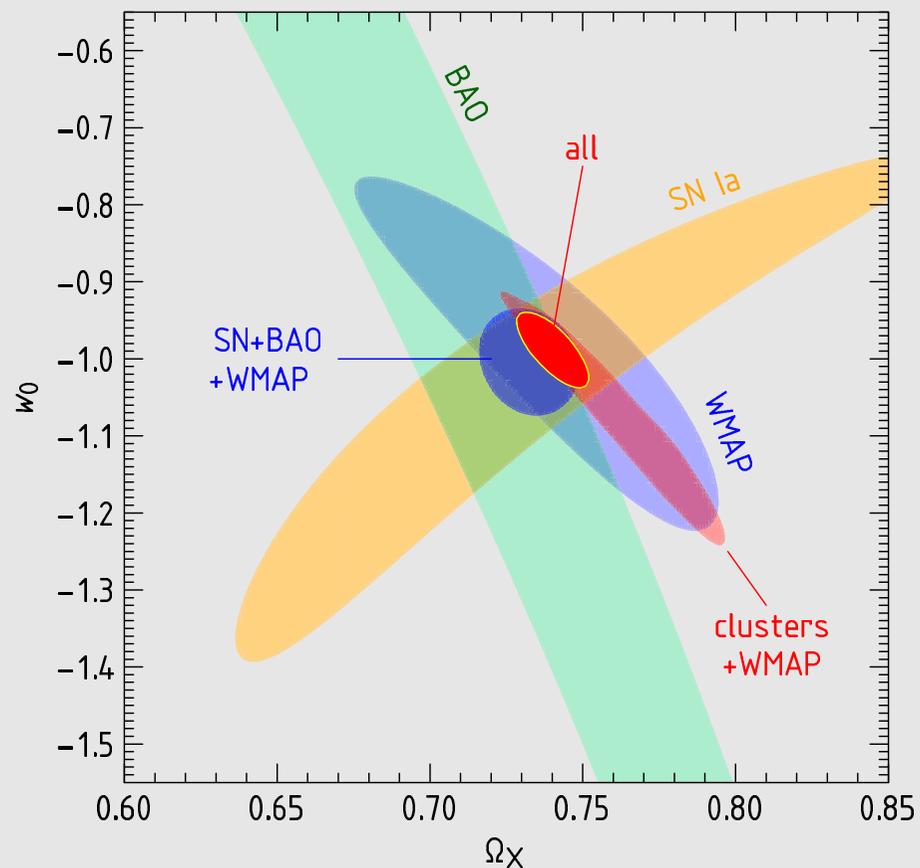
Вихлинин и др., 2009, *ApJ*, 672, 1060

Уравнение состояния темной энергии



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

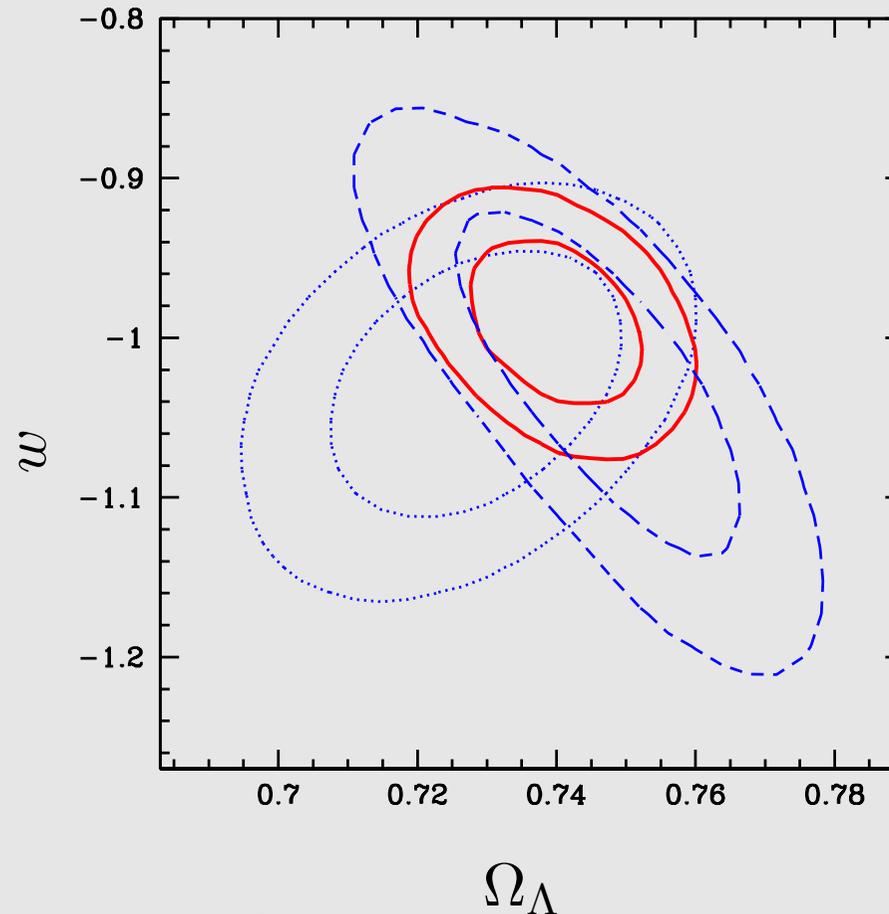
Уравнение состояния темной энергии



без скоплений

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

Уравнение состояния темной энергии

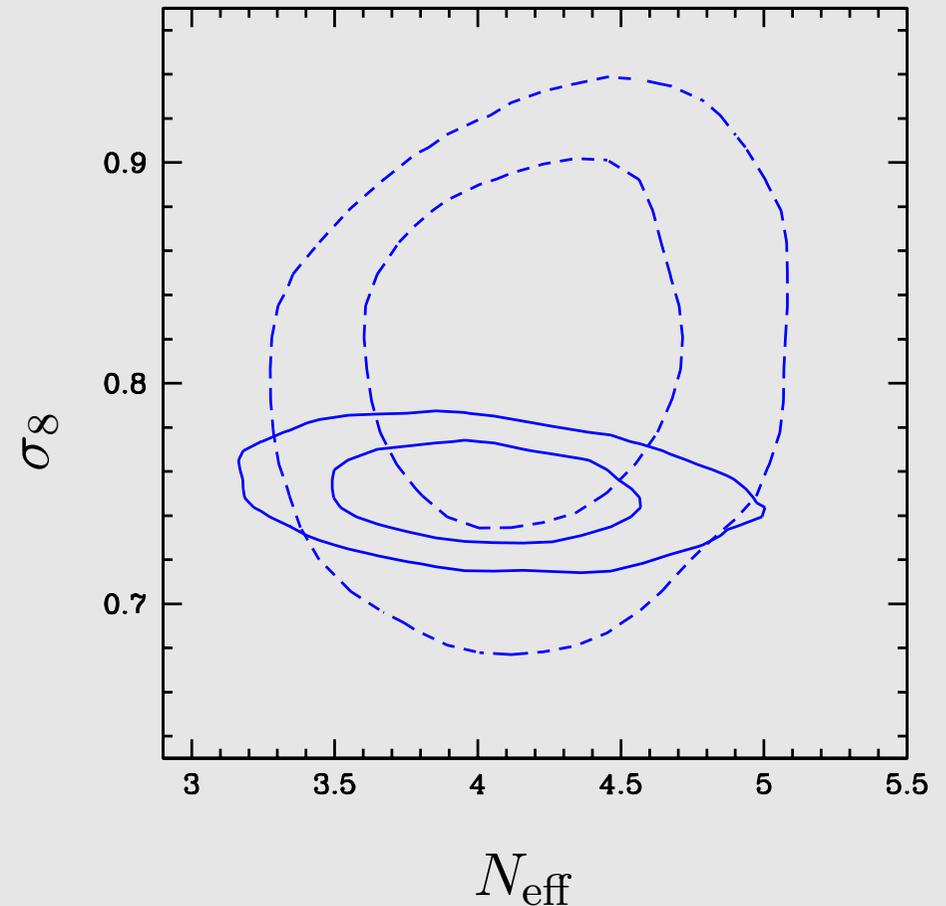
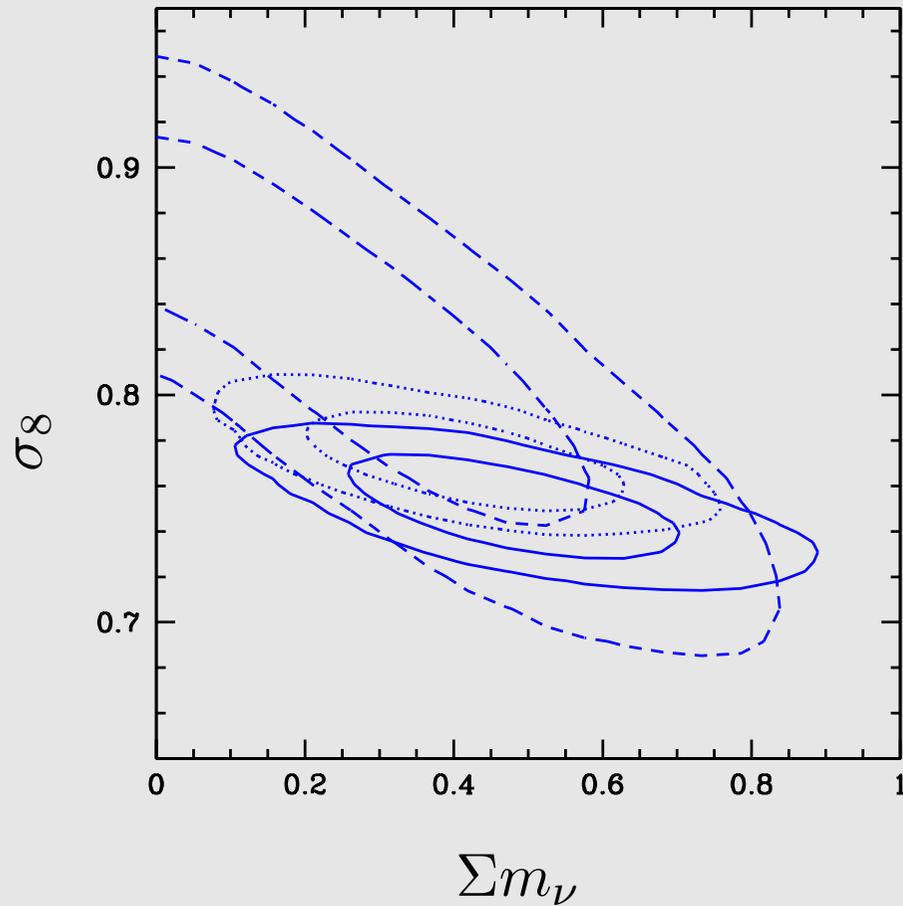


Комацу и др., 2011, $w = -0.980 \pm 0.053$

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

Буренин и Вихлинин, 2012, ПАЖ

Количество видов и суммарная масса нейтрино

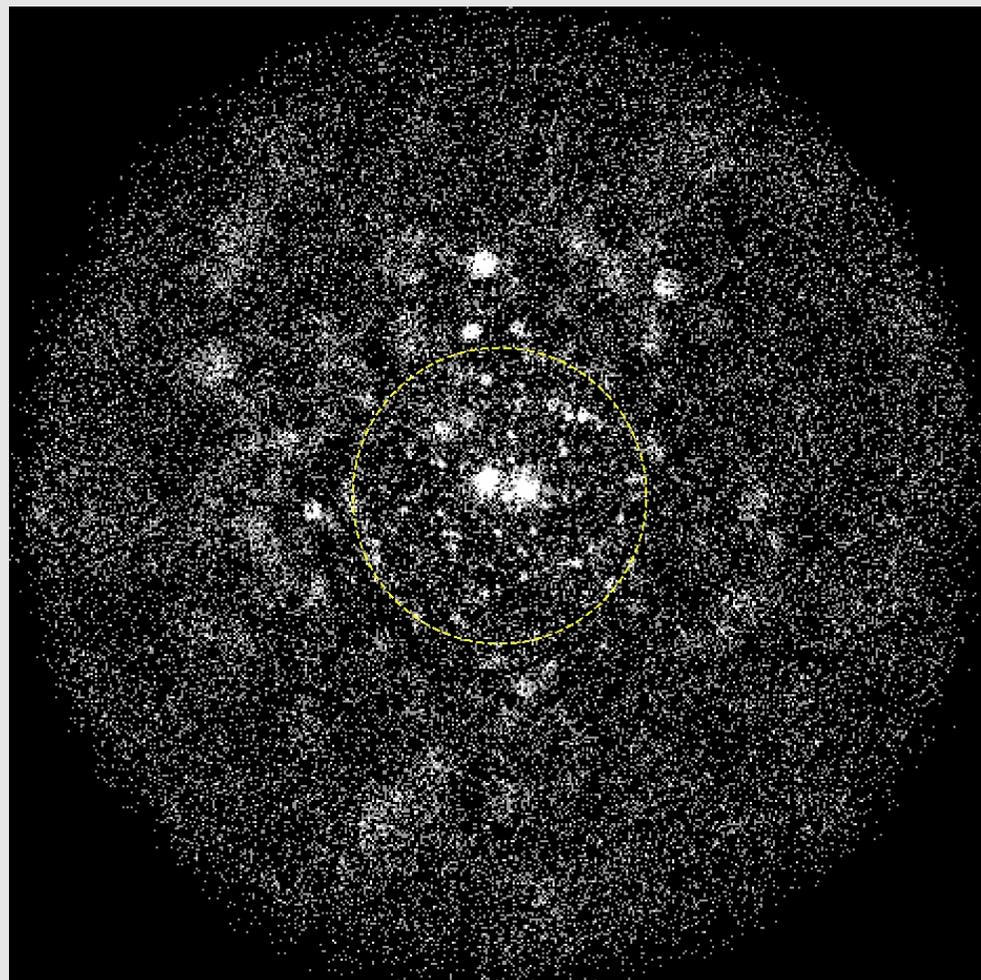
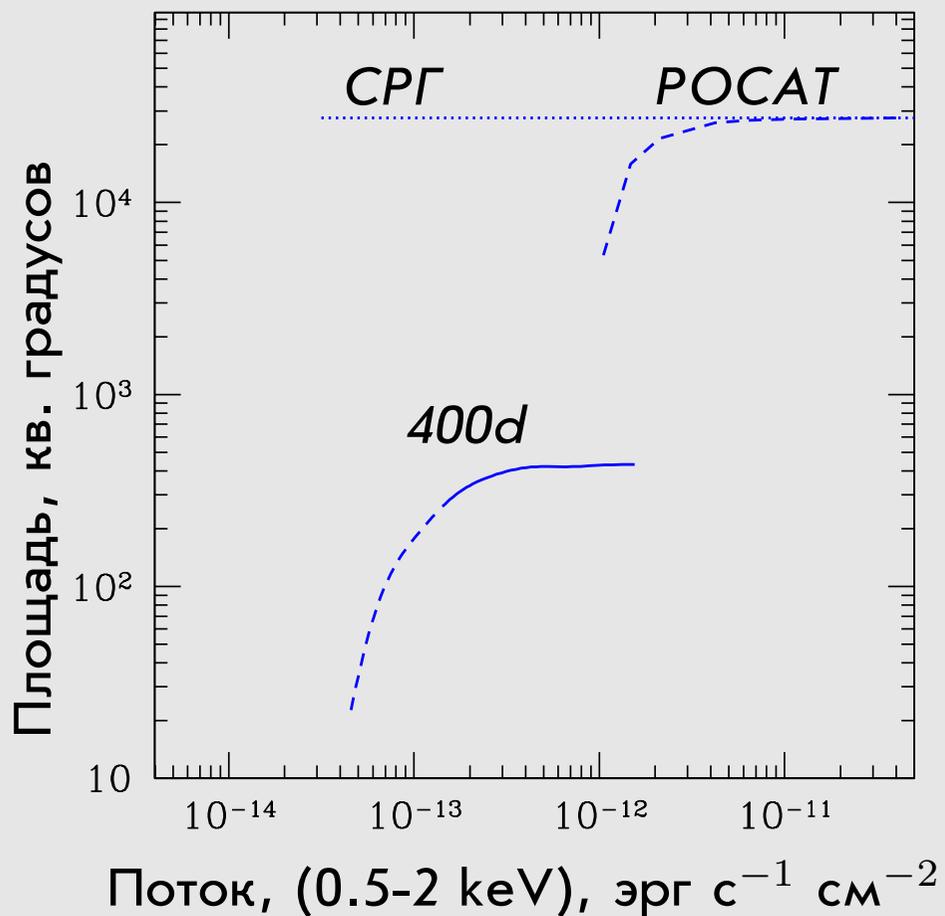


$N_{\text{eff}} \approx 4$, $\Sigma m_\nu \approx 0.5$ эВ, значимость $> 3\sigma$

Обзор скоплений галактик обсерватории СРГ

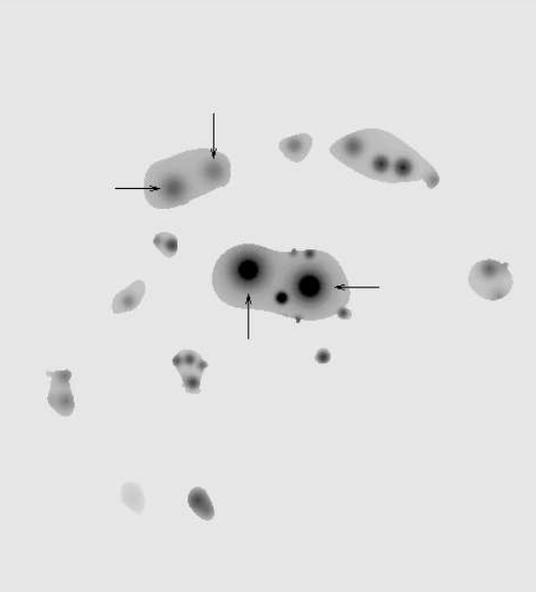
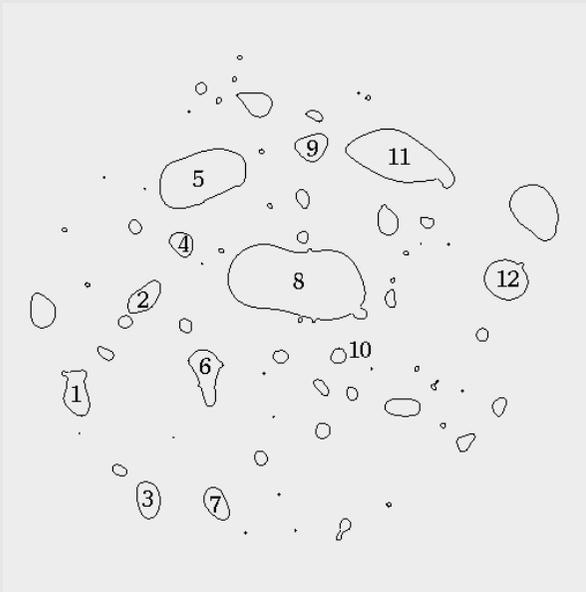
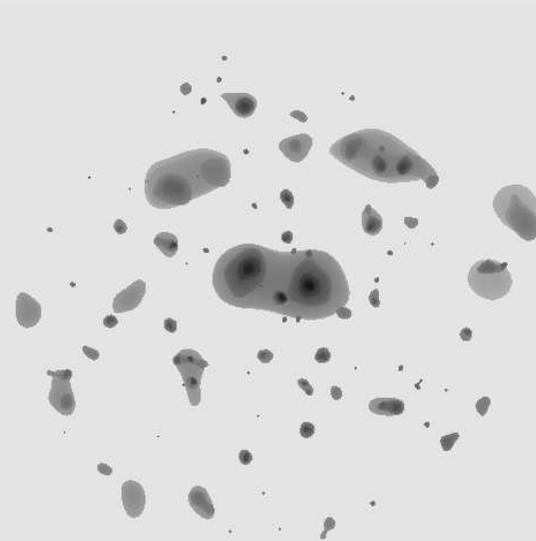
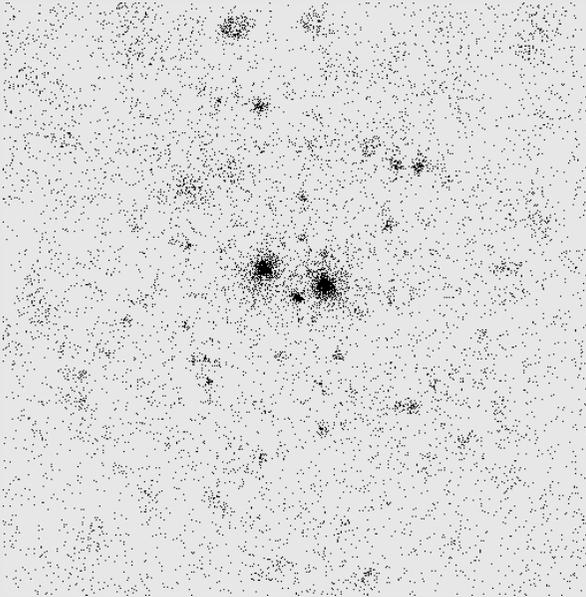
- Сейчас космологические ограничения получены на основе выборок объемом ~ 100 скоплений галактик
- Для того, чтобы можно было использовать выборки объемом, например, ~ 10000 скоплений, требуется знать систематику на уровне $\sim 1\%$
- Отбор скоплений является гораздо более сложной задачей, чем раньше
- 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 →

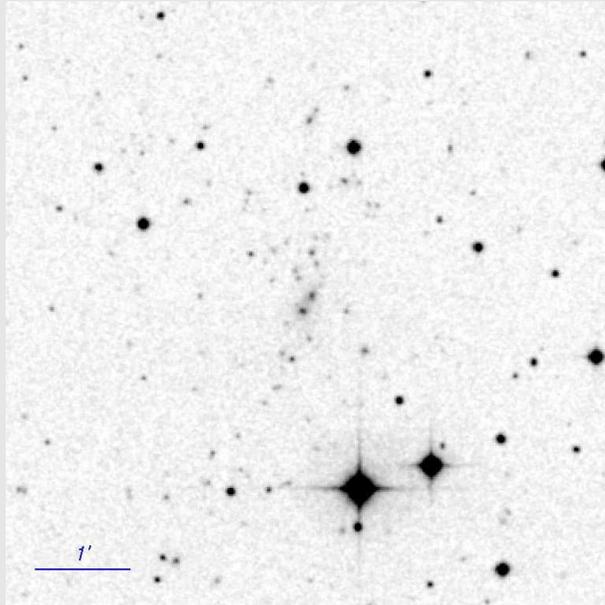
вэйвлет-разложение →

метод максимального

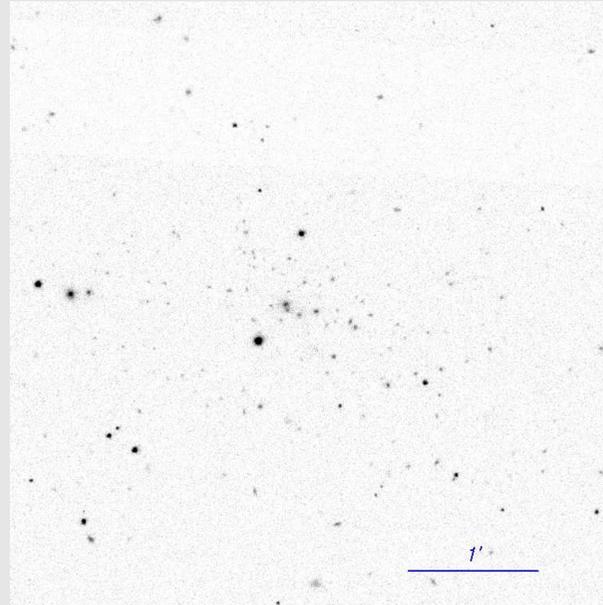
правдоподобия

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

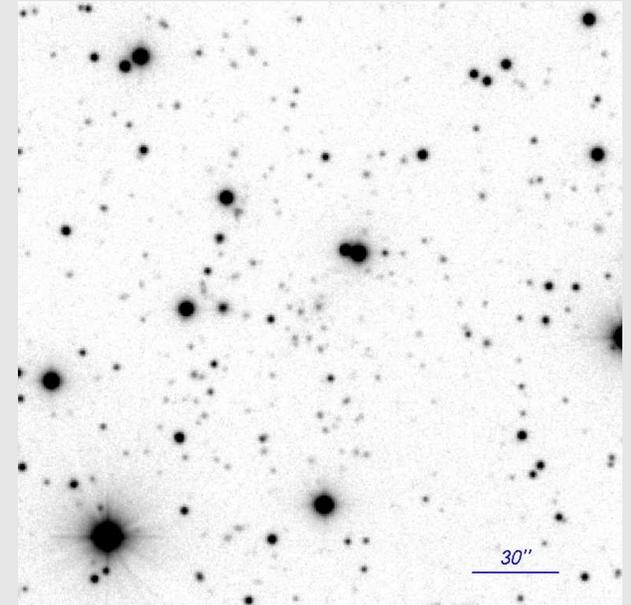
Поверхностная плотность галактик



DSS, $z = 0.27$



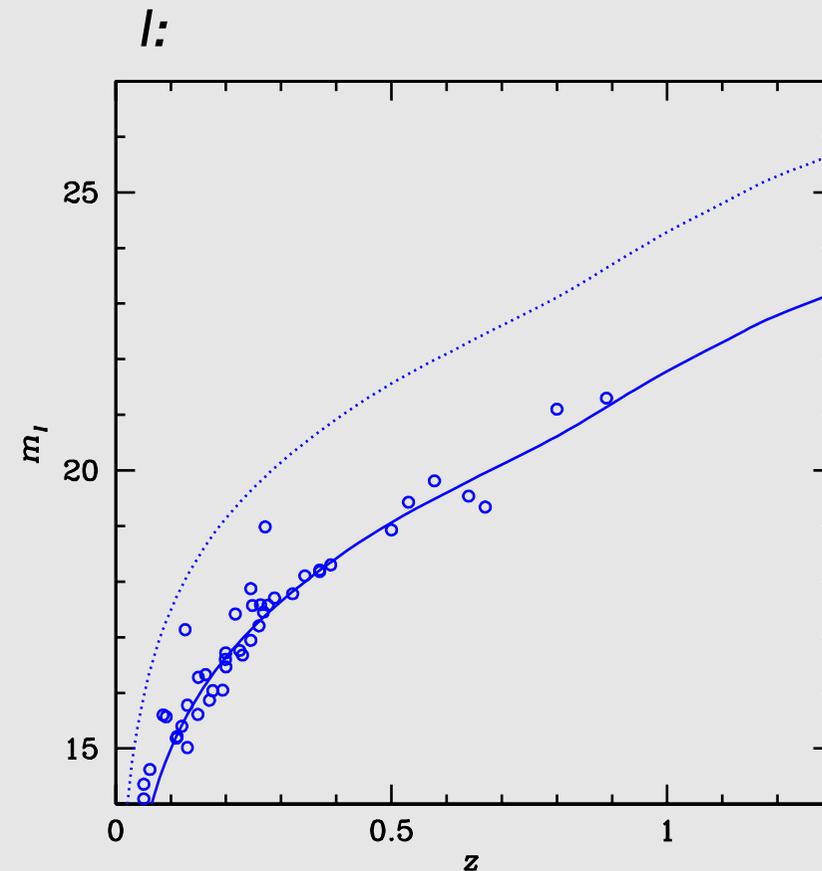
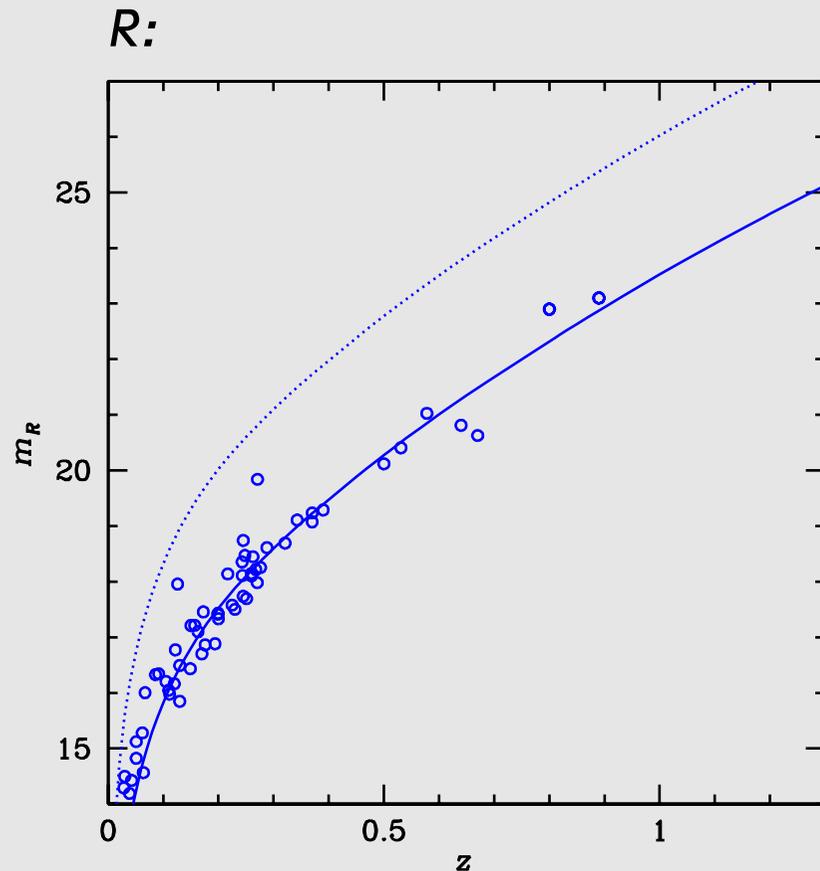
SDSS, i' , $z = 0.44$



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

Размер поля — 1.5 Мпк

Величины

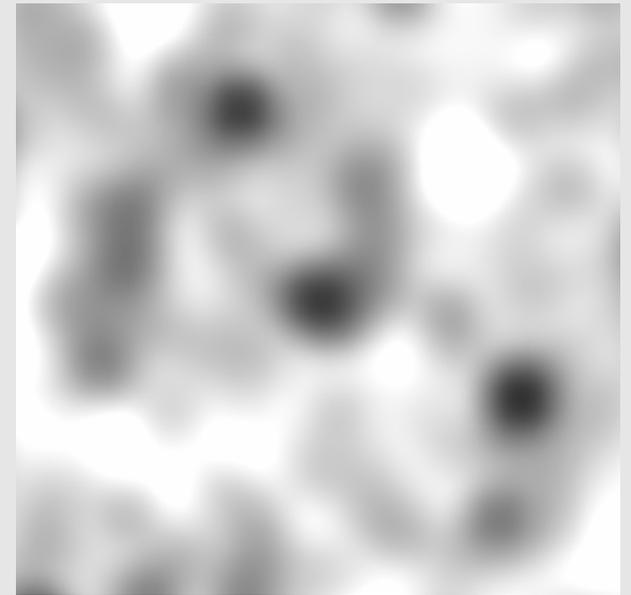
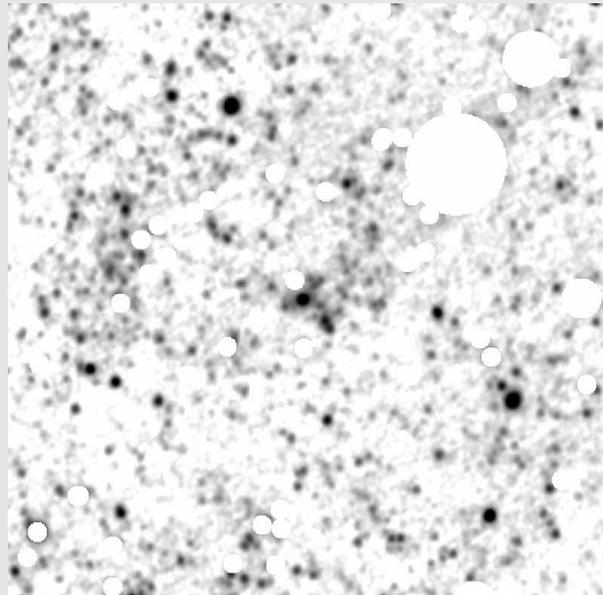
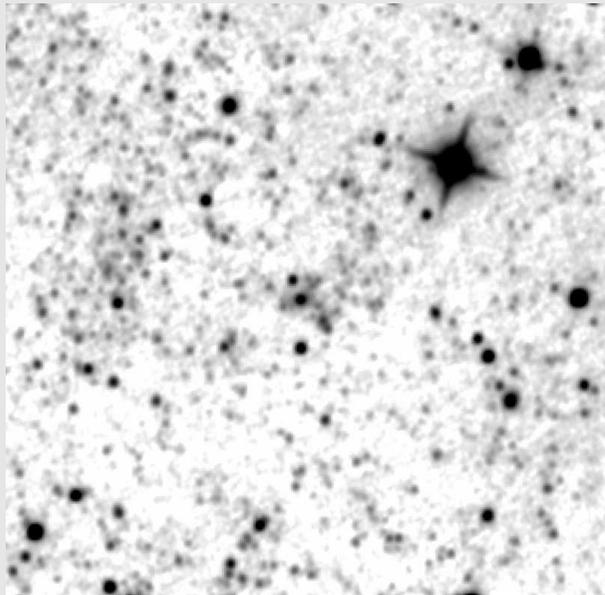


Экспозиции на 1.5-м телескопе: $z \approx 0.5$ — 15 мин, $z \approx 0.7-0.9$ — часы.

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 — $z \sim 1$

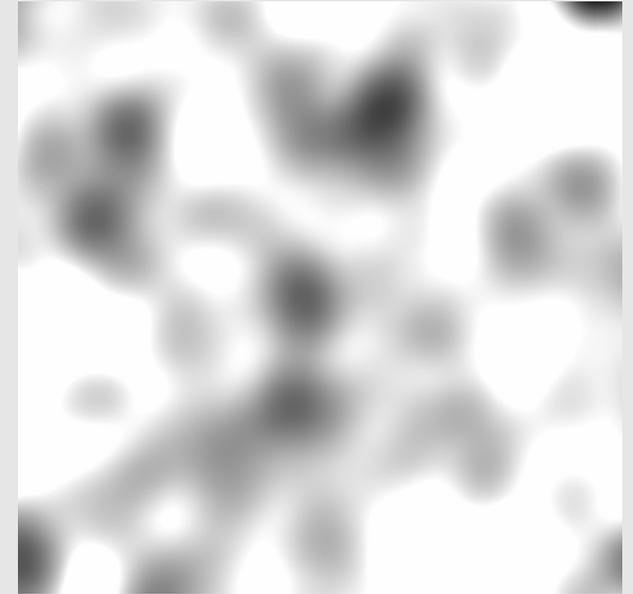
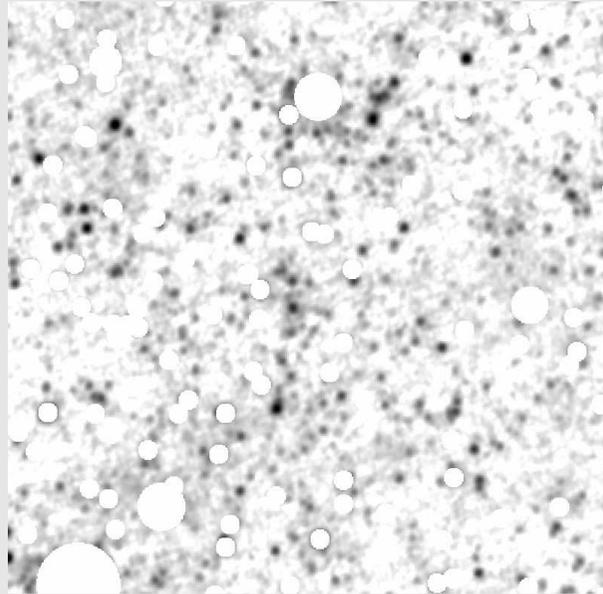
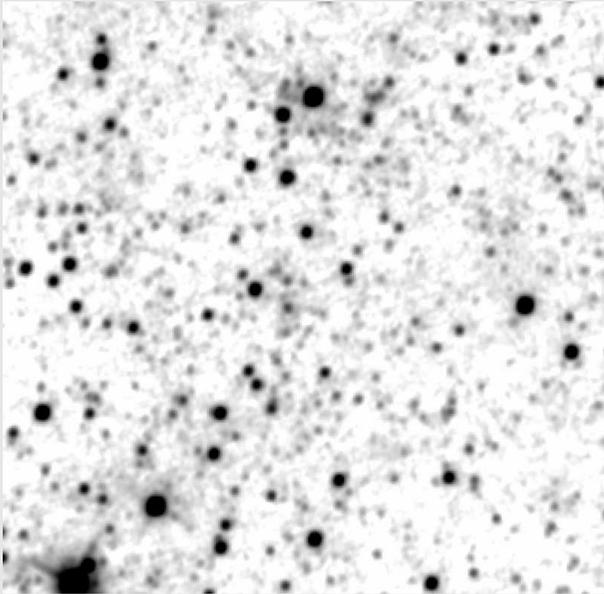
Отождествление скоплений на изображениях телескопа *WISE*



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 $z = 1.26$ (!)

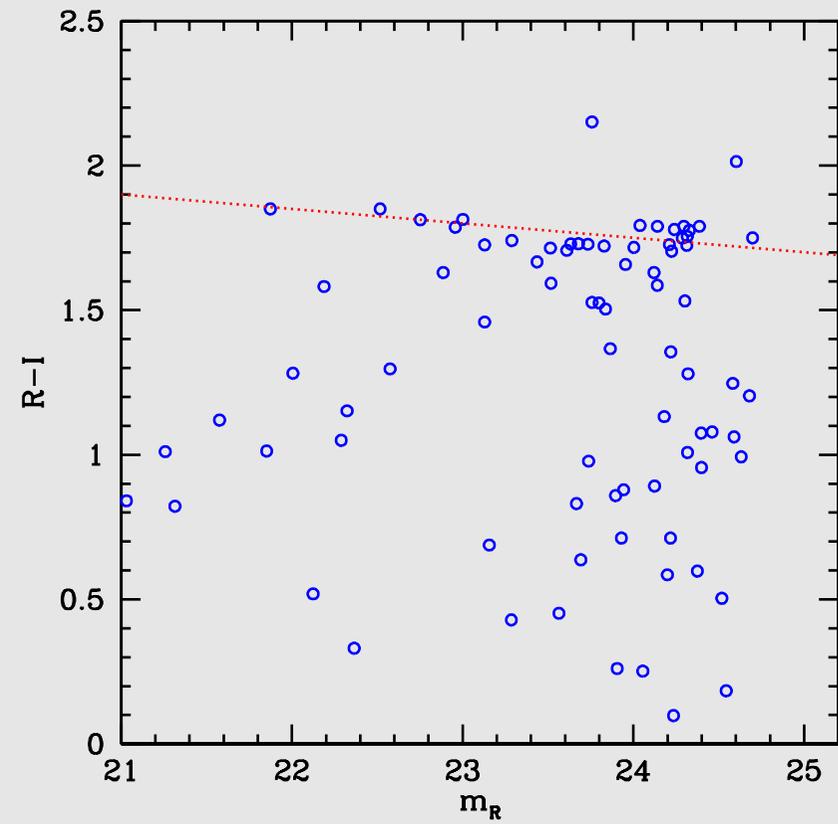
— 98% скоплений из обзора 400d со светимостью $L_{44} > 0.5$ на всех z отождествляются при помощи автоматической процедуры

— скопления не видны из-за близких ярких звезд

Красная последовательность



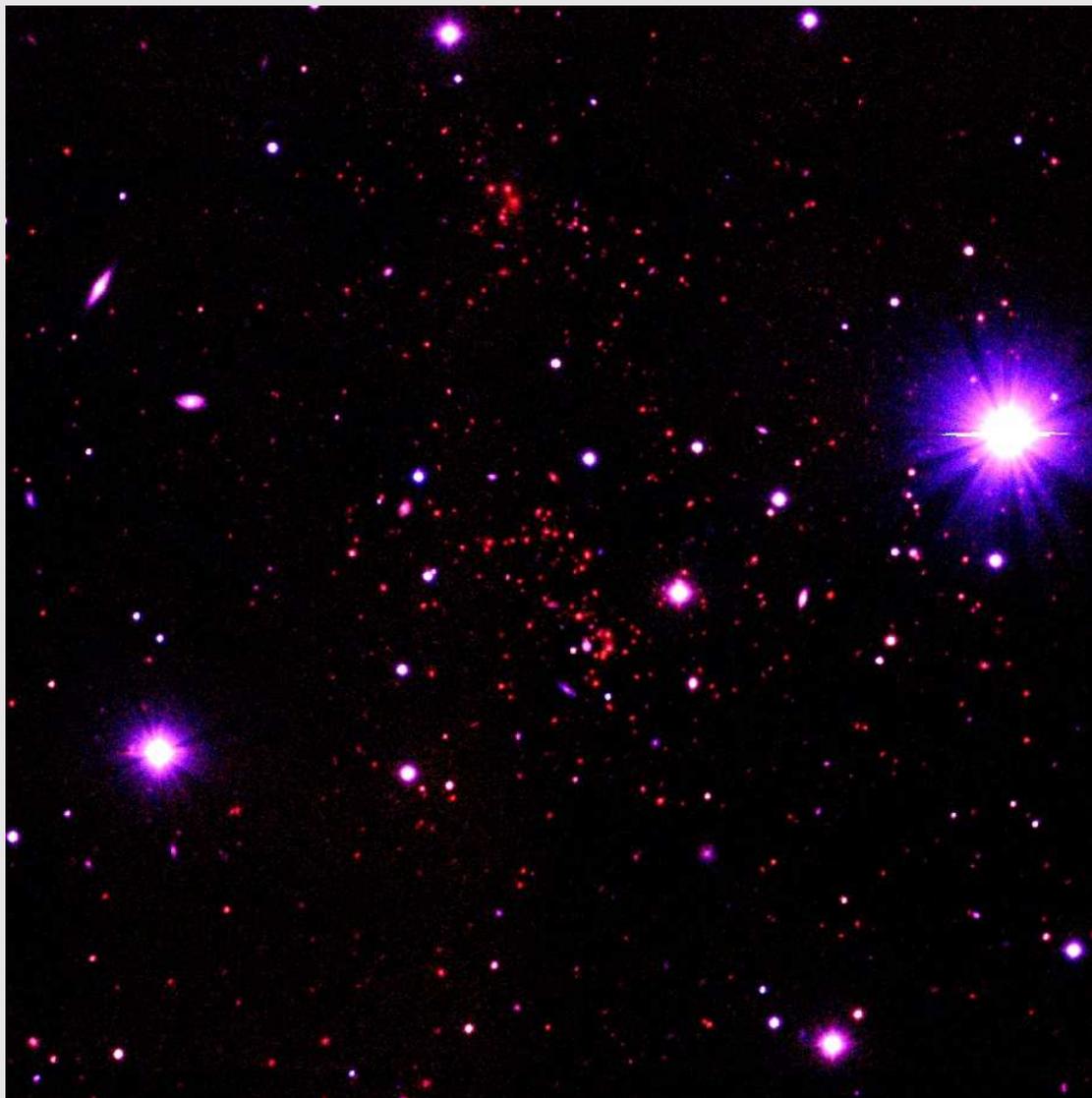
PTT-150, R, I, $z = 0.81$



Красная последовательность



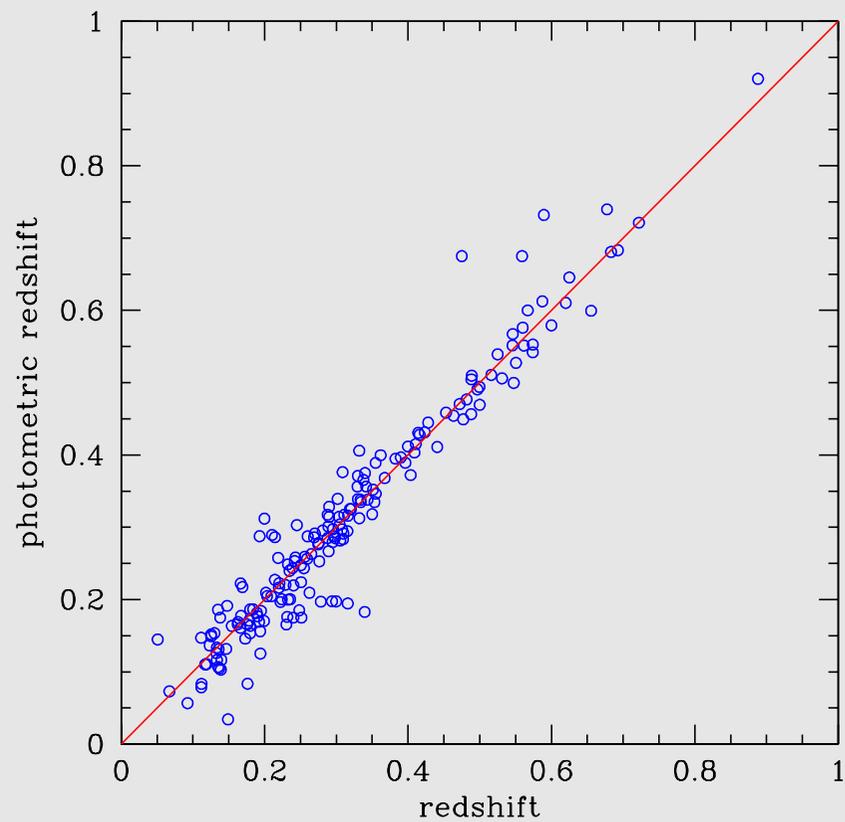
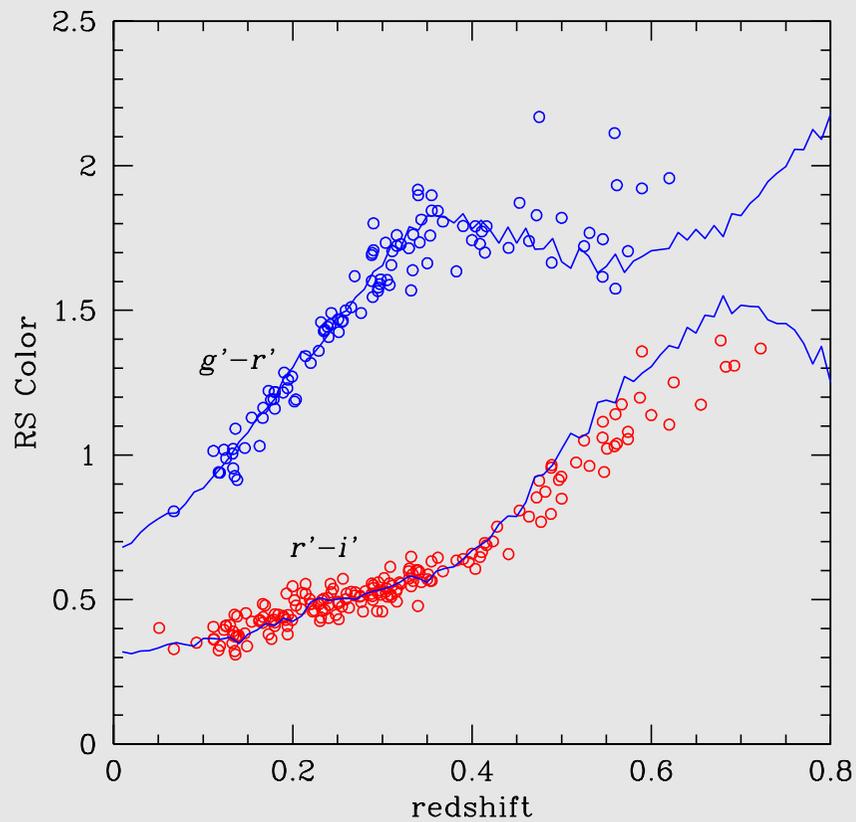
Красная последовательность



Красная последовательность



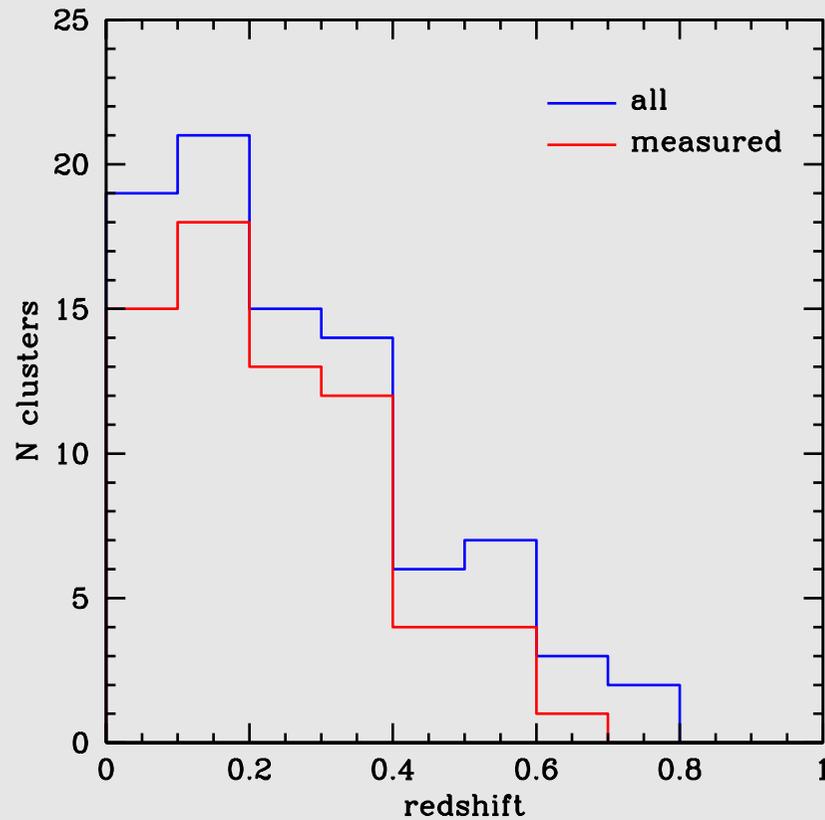
Фотометрические красные смещения



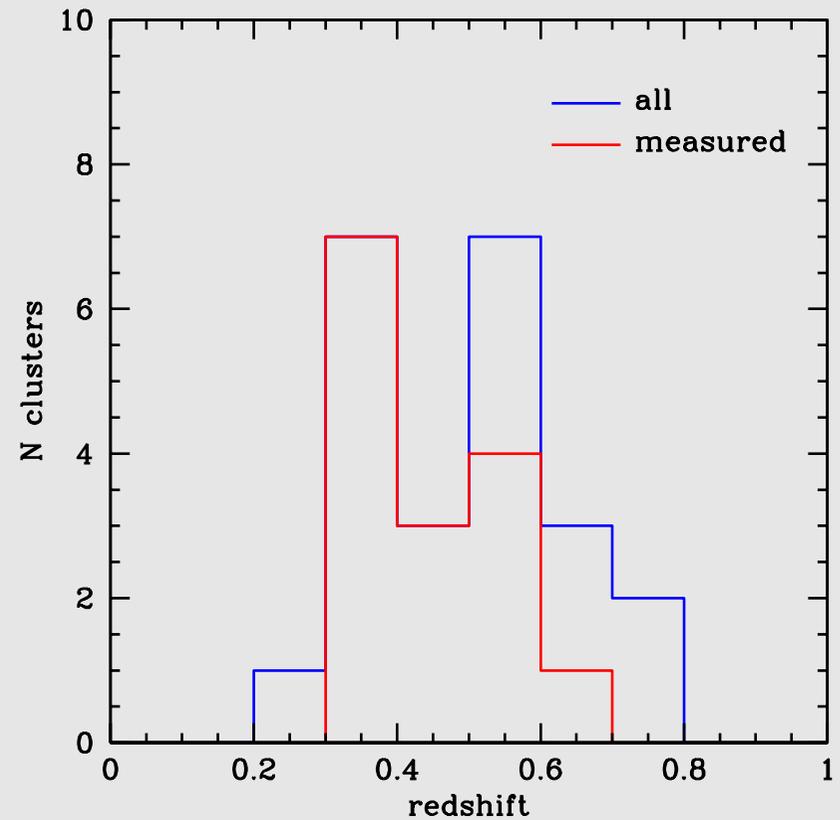
$$\delta z / (1 + z) \approx 0.03$$

Спектроскопические красные смещения

BOSS

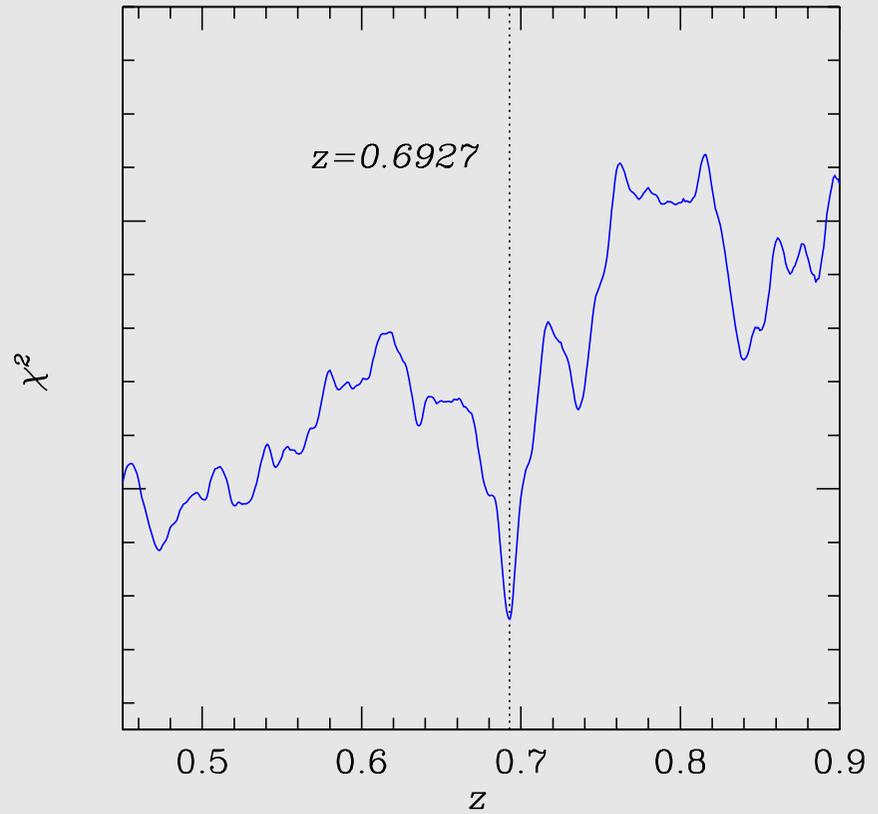
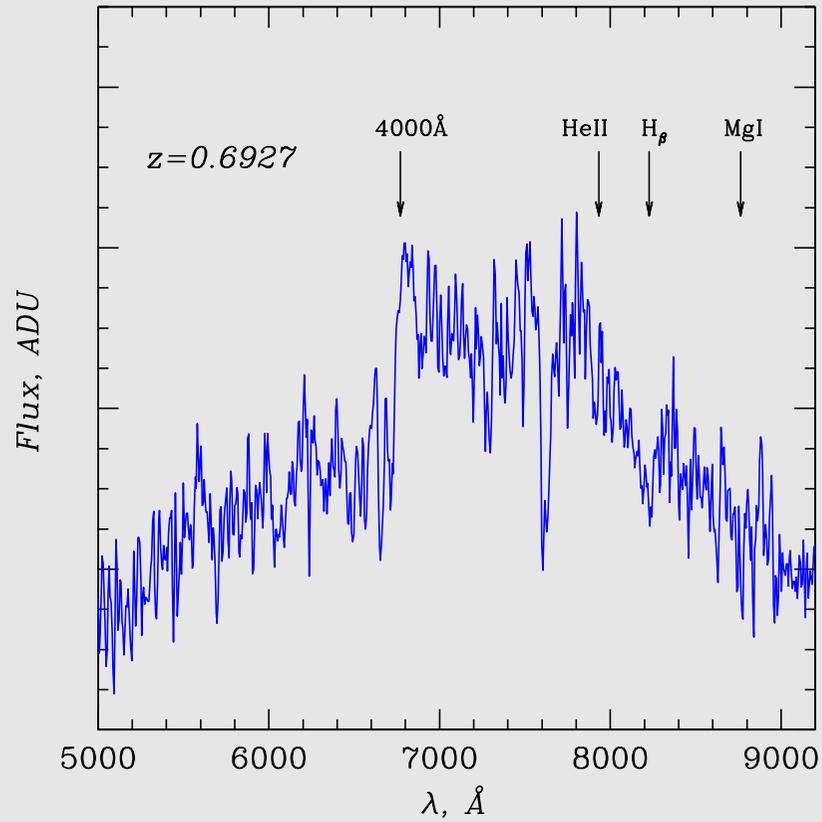


BOSS, $L_{44} > 0.5$



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 — ~ 1000 скоплений на $0.6 < z < 1$ и ~ 400 скоплений на $z > 1$

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

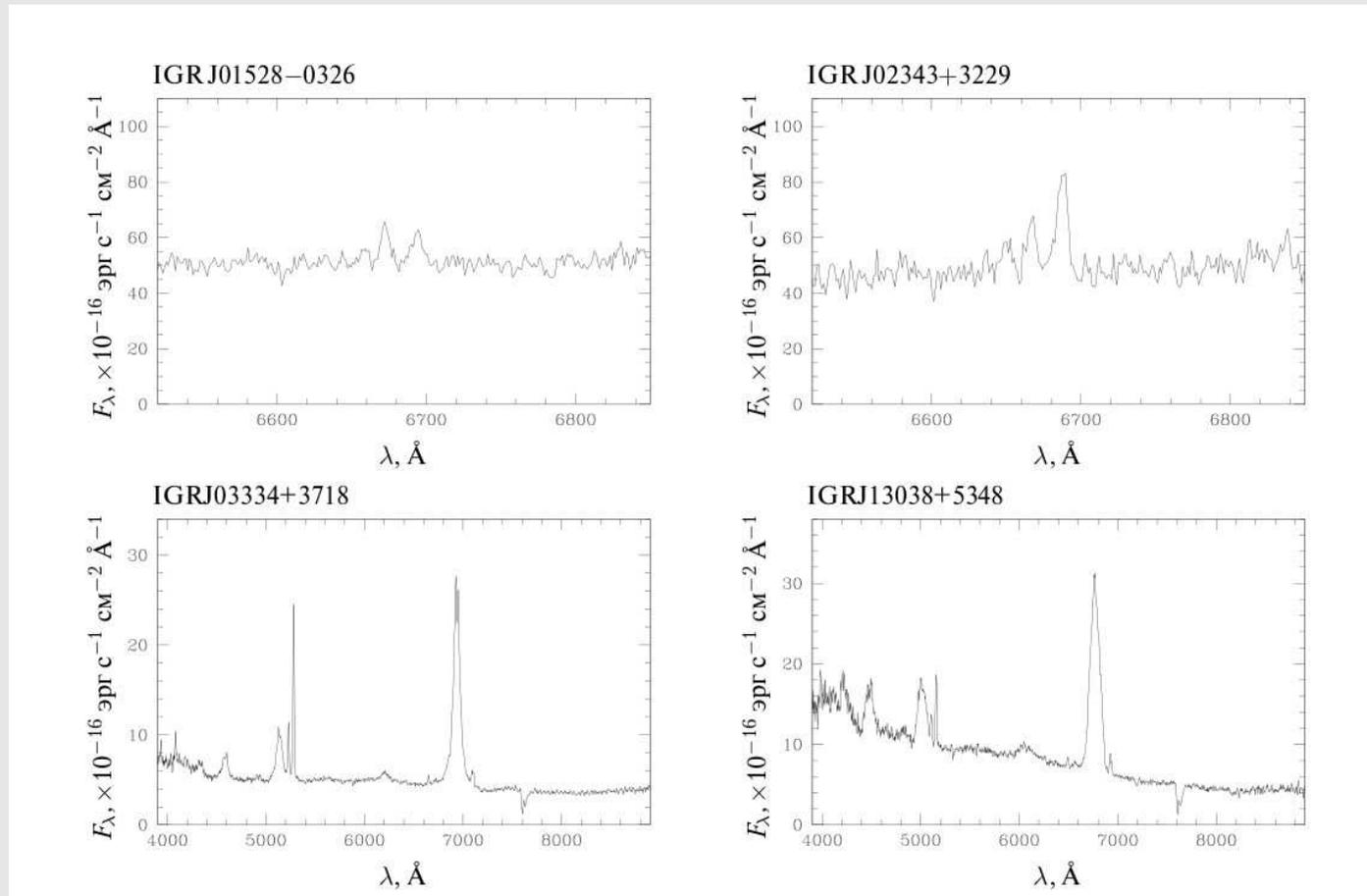
Pan-STARRS — ?, *DES* — ?, *HSC* — ?

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 с^{-1} будет виден до $z \sim 10$.
- Реионизация вещества во Вселенной — может быть обнаружено ~ 100 – 1000 квазаров на $z > 6$

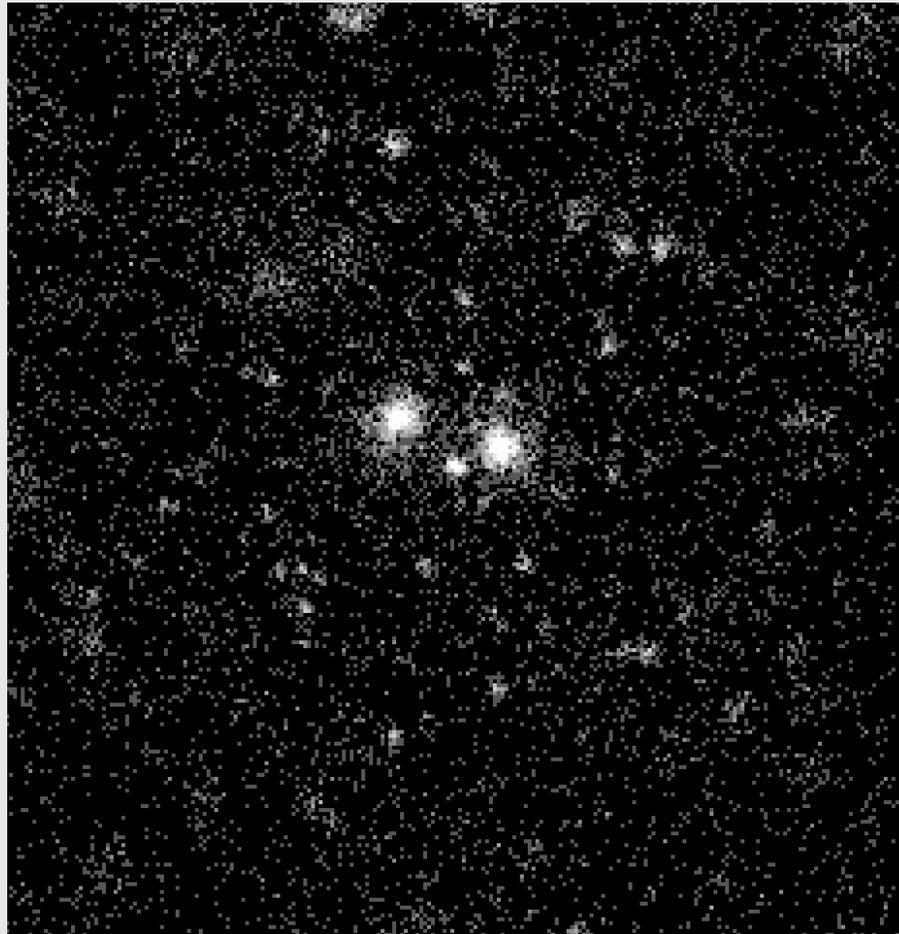
Выборка АЯГ в местной части Вселенной



Буренин и др., ПАЖ, 2008

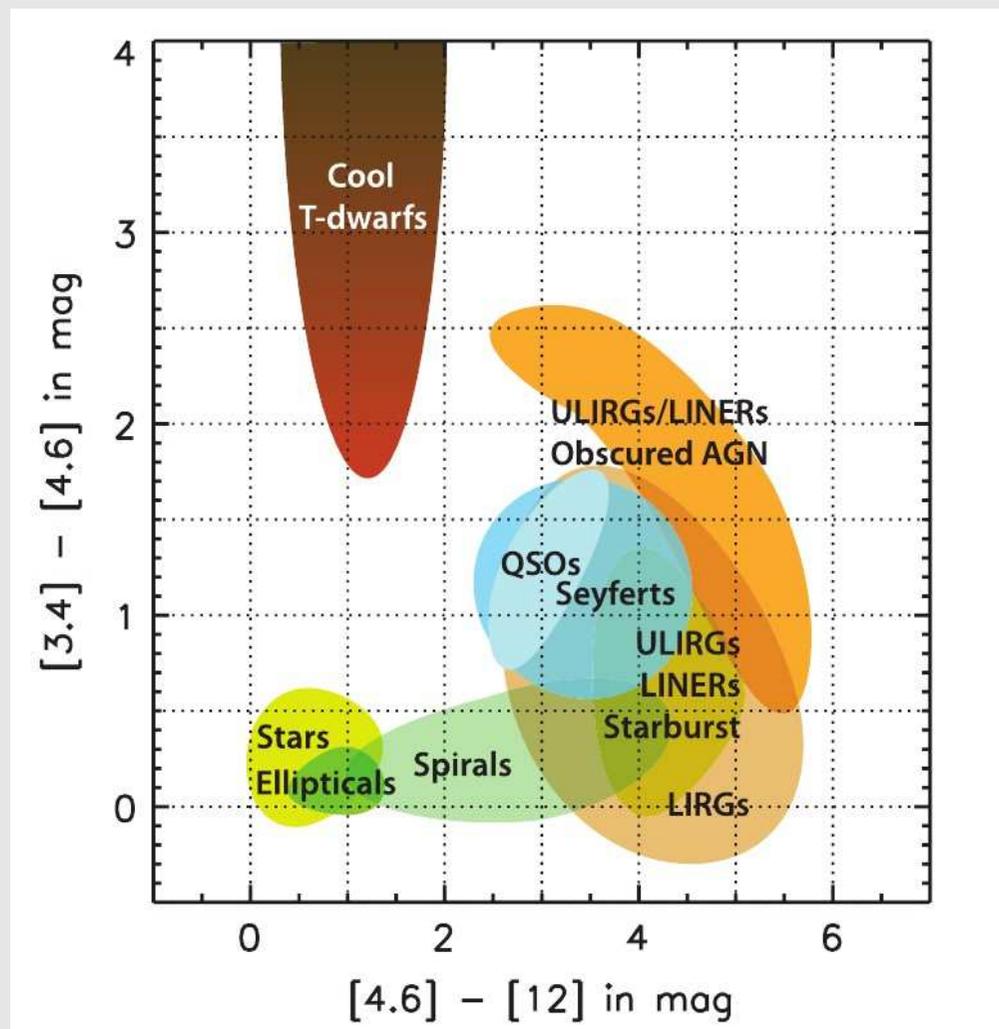
Порядка нескольких тысяч объектов, спектроскопия низкого разрешения, ~ 100 ночей на 1.5-м и, может быть, еще немного времени на большом телескопе.

Активные ядра галактик



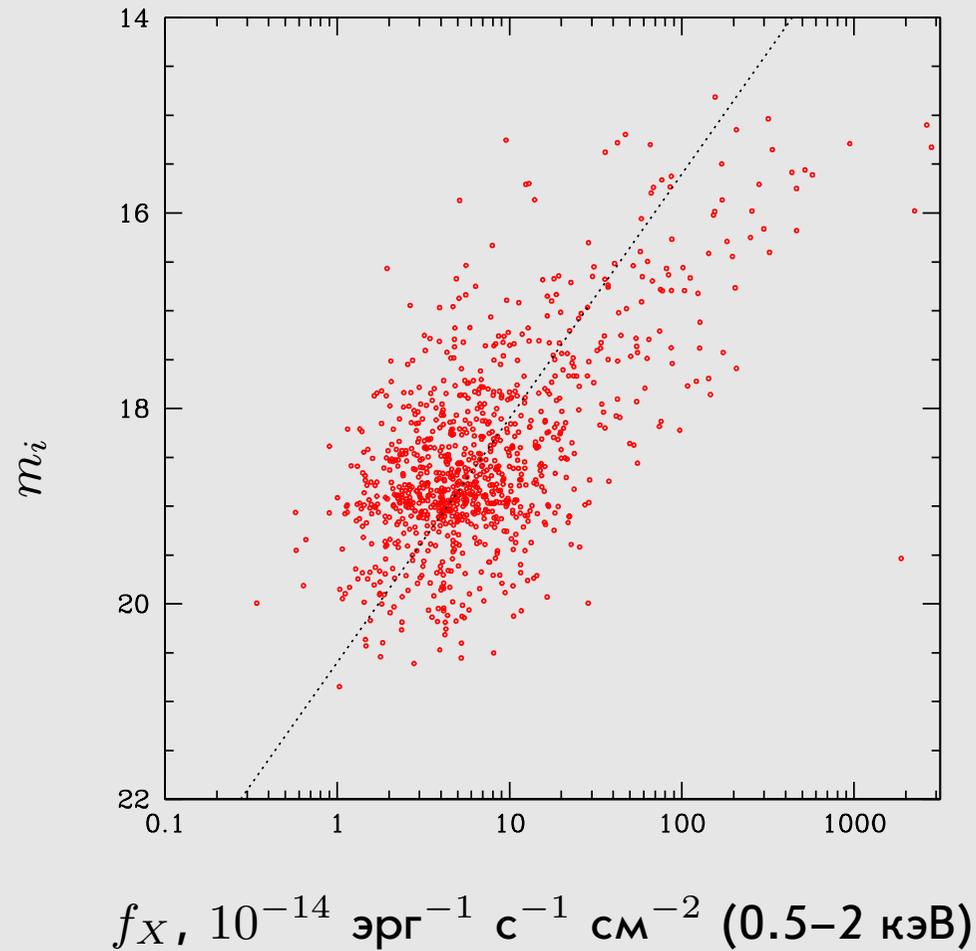
Подавляющее большинство точечных источников — АЯГ.

Отождествление квазаров по данным обзора *WISE*



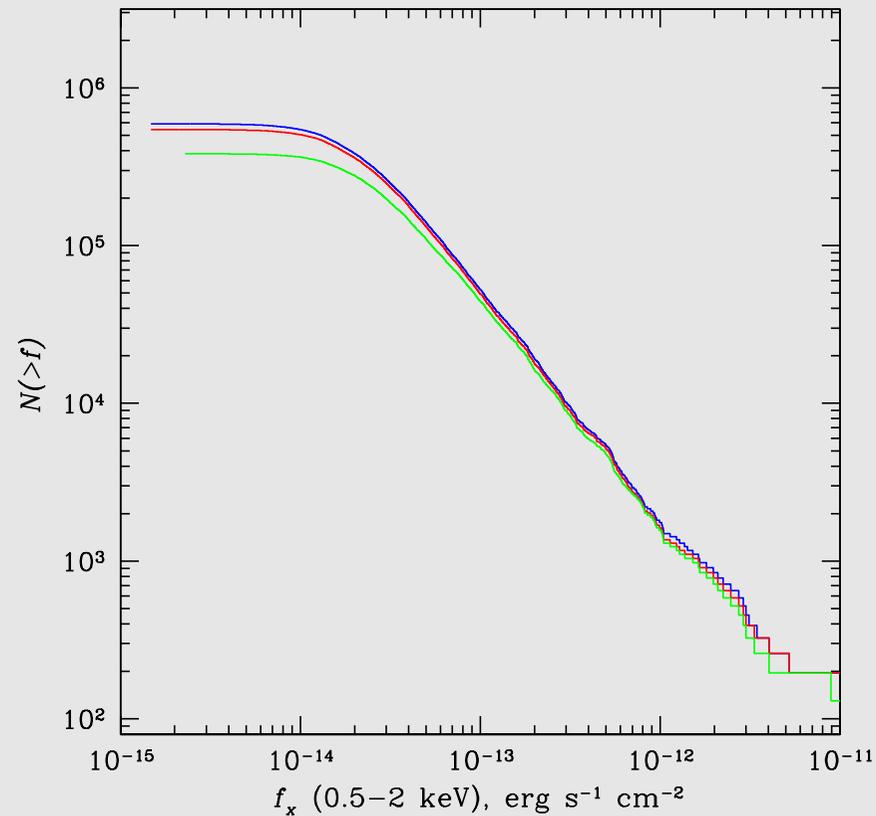
Wright et al., 2010

Соотношение рентгеновских и оптических потоков для квазаров Слоановского обзора



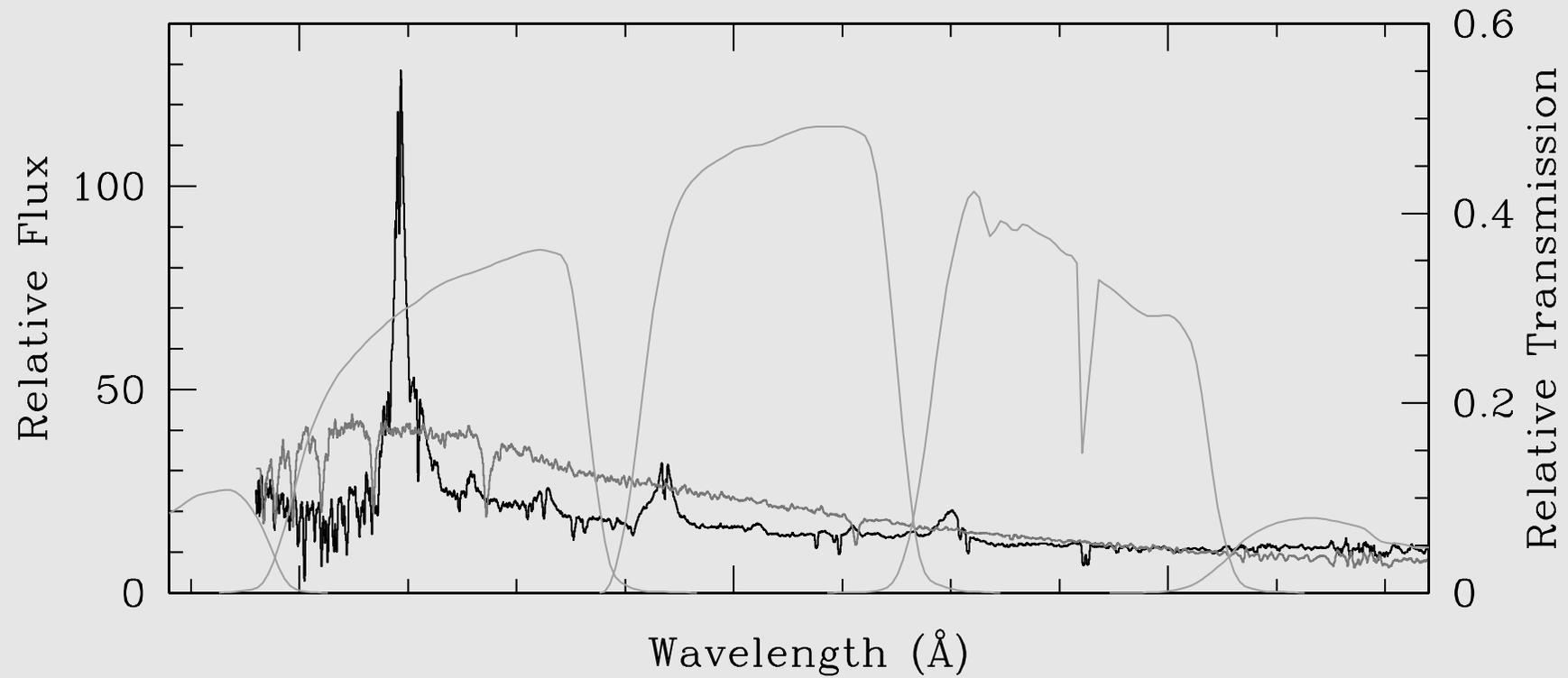
$$m_i < 21.3$$

Отождествление квазаров по данным Слоановского обзора



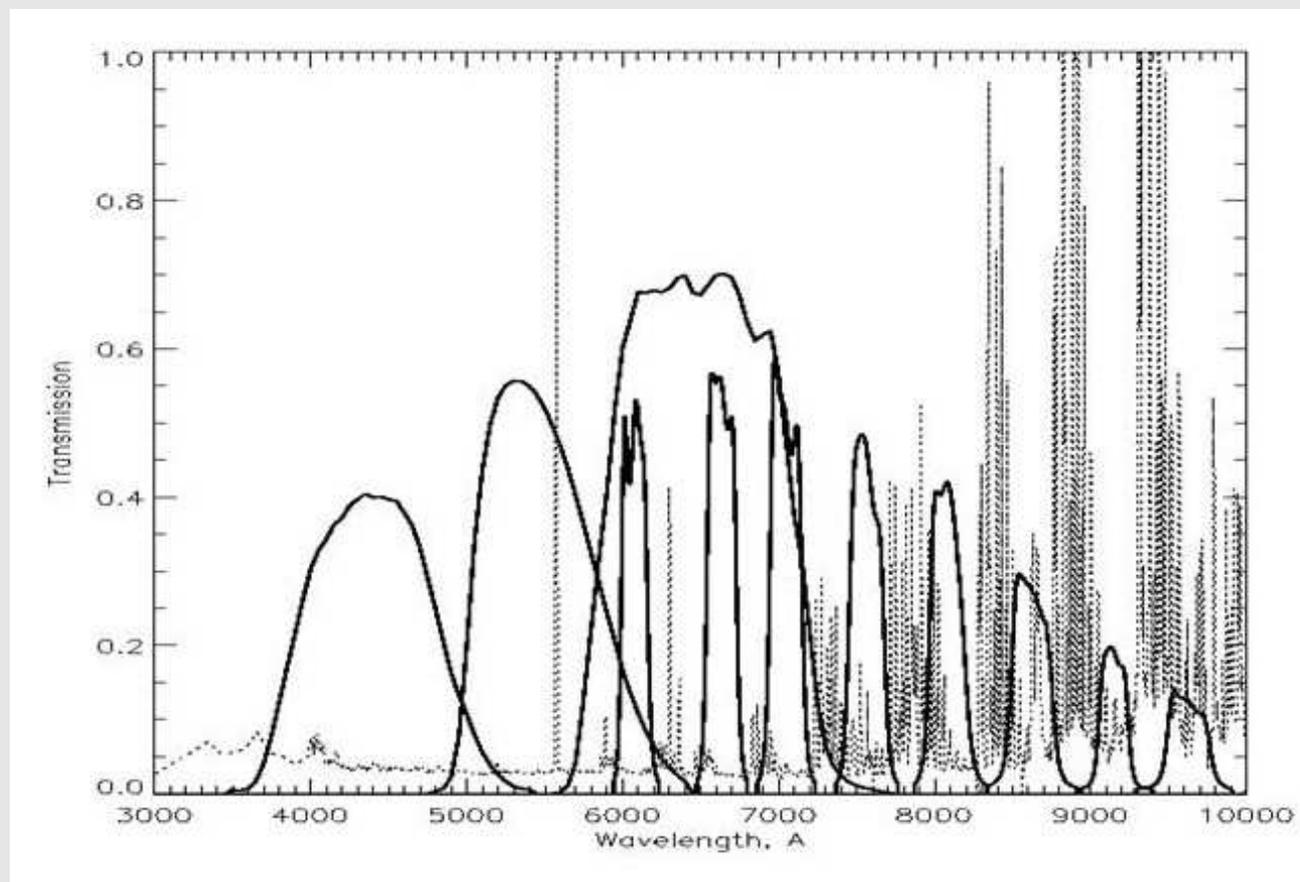
Только для $\sim 70\%$ источников можно фотометрически определить АЯГ в оптическом диапазоне, *Pan-STARRS-?*

Отождествление квазаров по данным Слоановского обзора

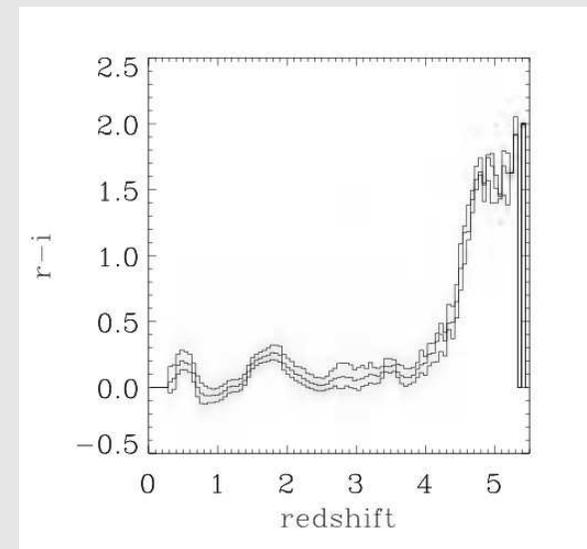
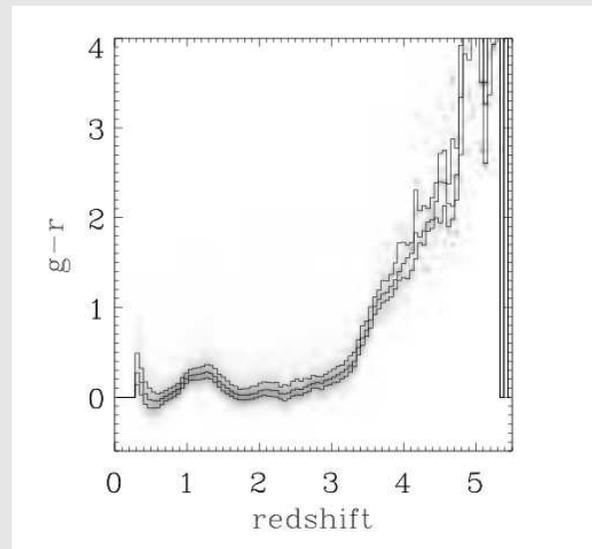
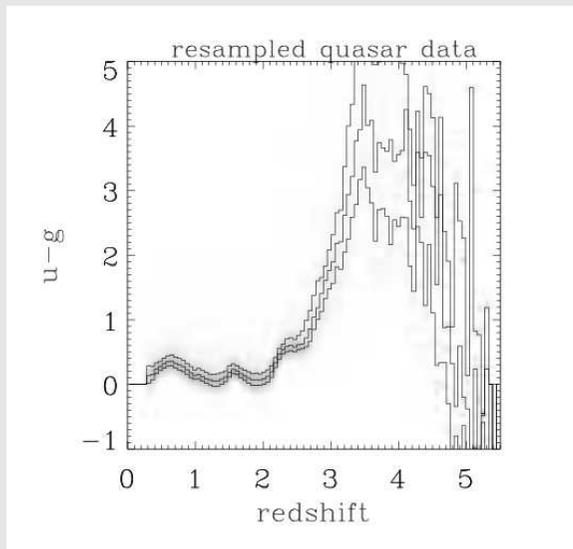


$z = 2.67$

Фотометрия в среднеполосных фильтрах

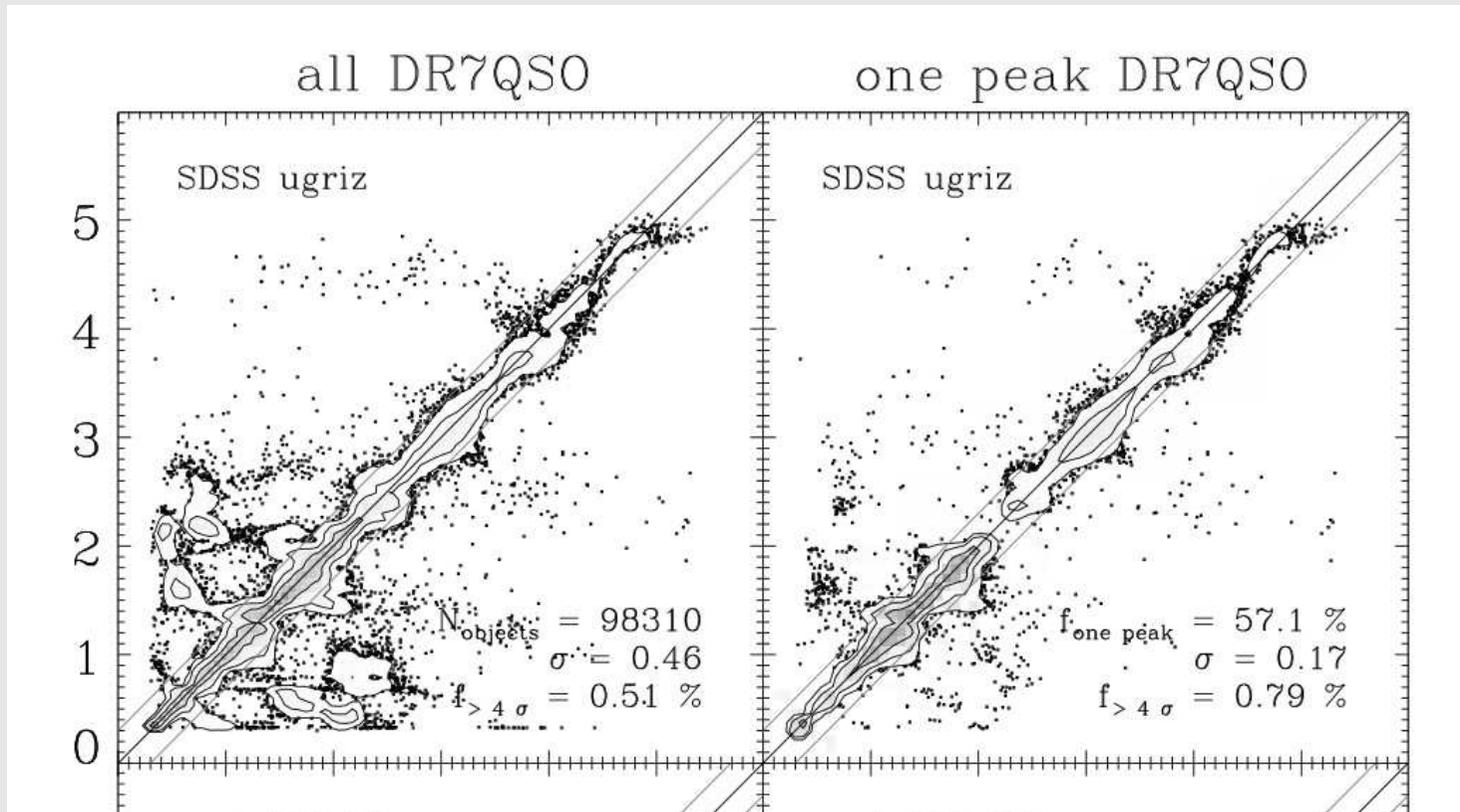


Квазары на высоких z



Bovy et al., 2011

Фотометрические оценки z

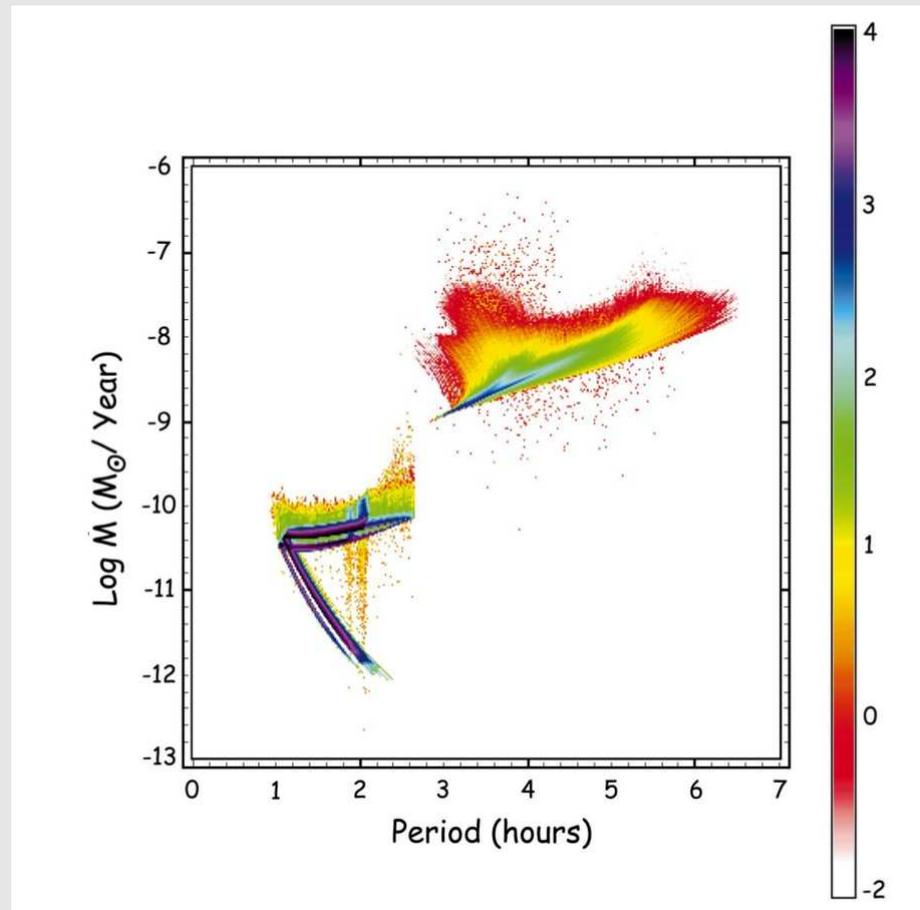


Bovy et al., 2011

Квезары на высоких z

- 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 (~ 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*?

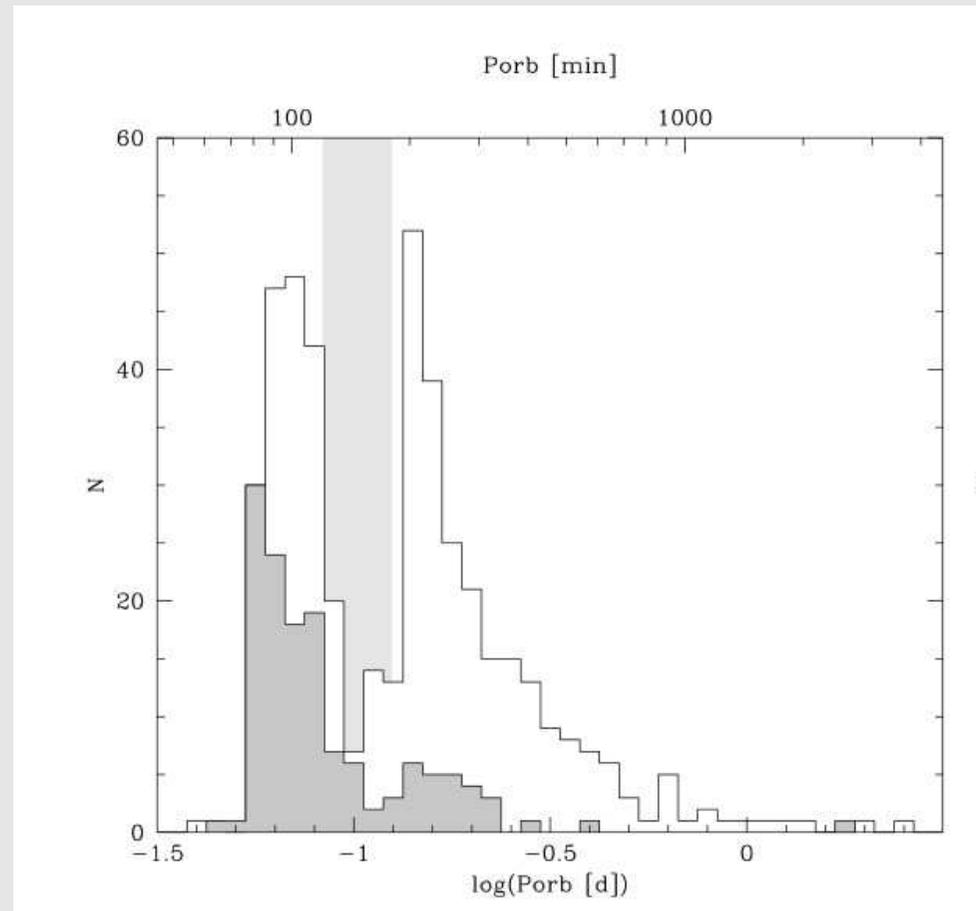
Катаклизмические переменные



Howell et al., 2001

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

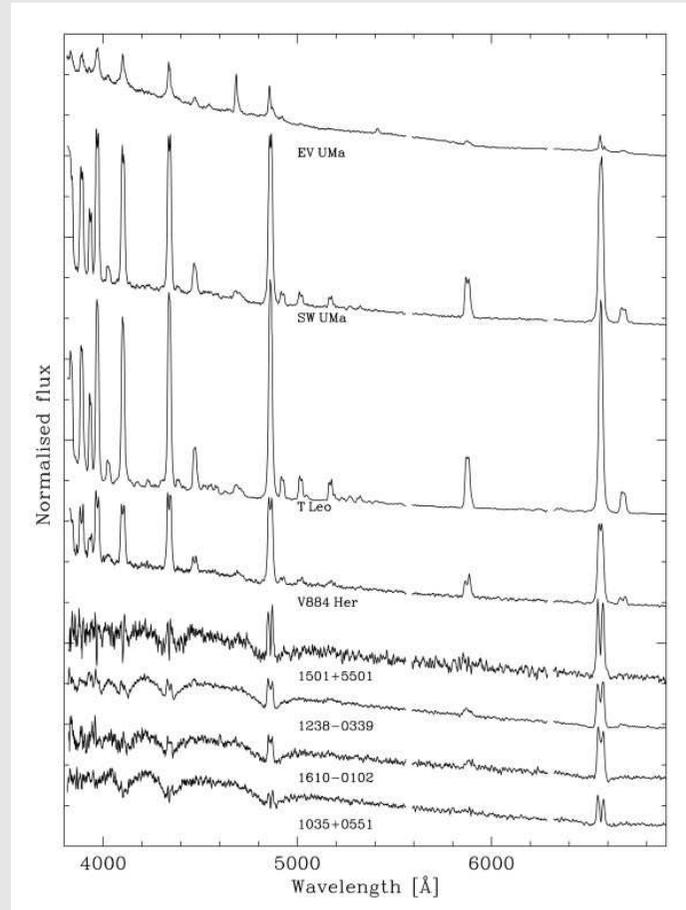
Распределение по периодам



Gancicke et al., 2009

— около 100 КП в Слоановском обзоре с измеренными периодами

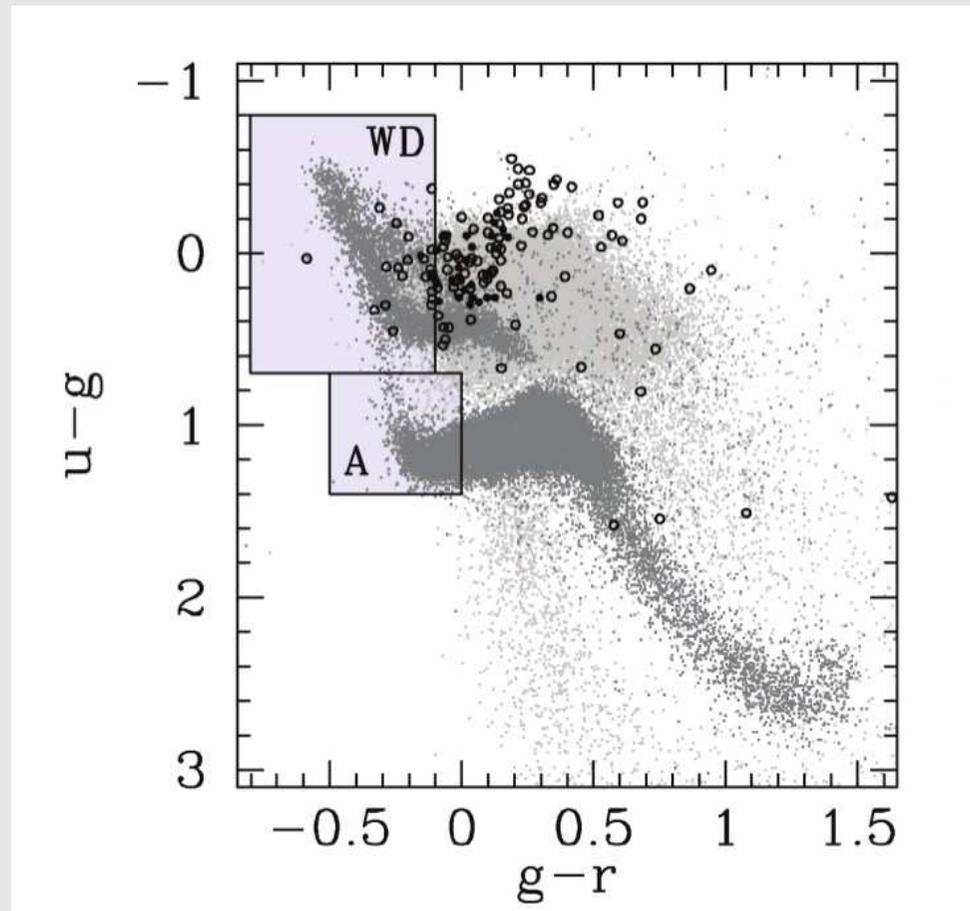
Спектры КП около минимума периода



Gancicke et al., 2009

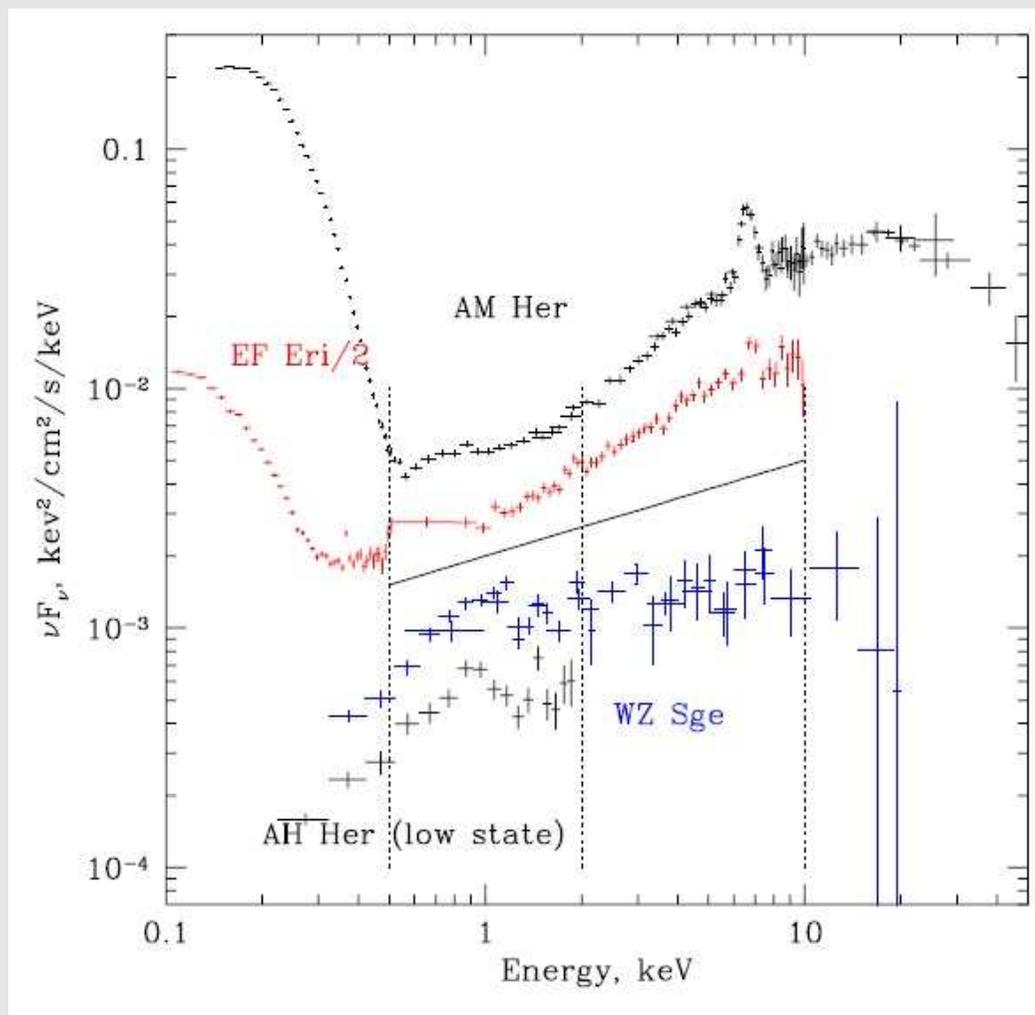
— в спектрах большого количество КП преобладает излучение белых карликов

Отбор КП в оптическом диапазоне



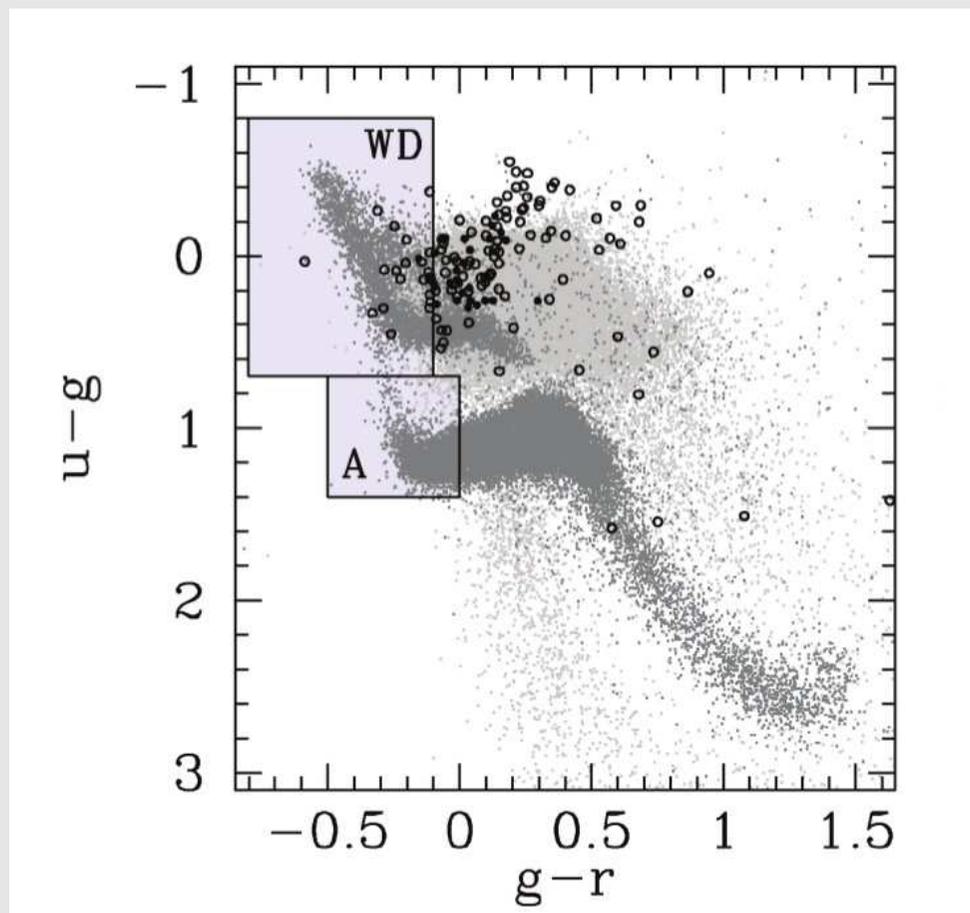
— при отборе область с цветами БК исключается

Отбор КП в рентгеновском диапазоне



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

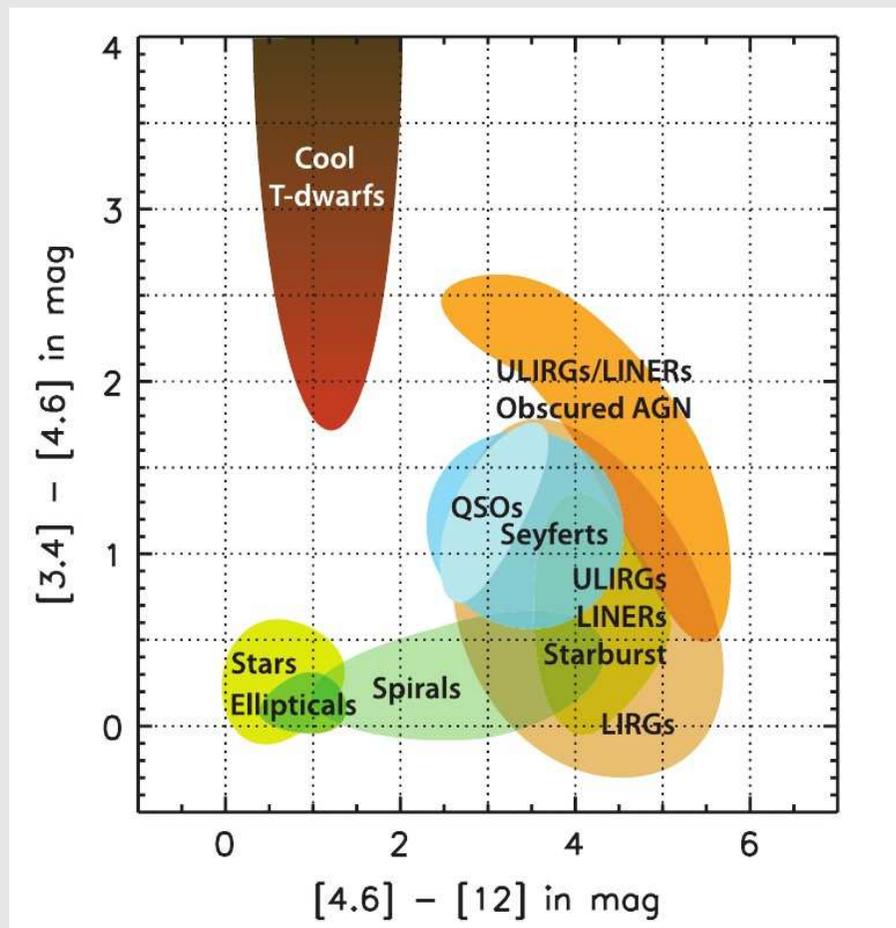
Отождествление КП среди рентгеновских источников



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

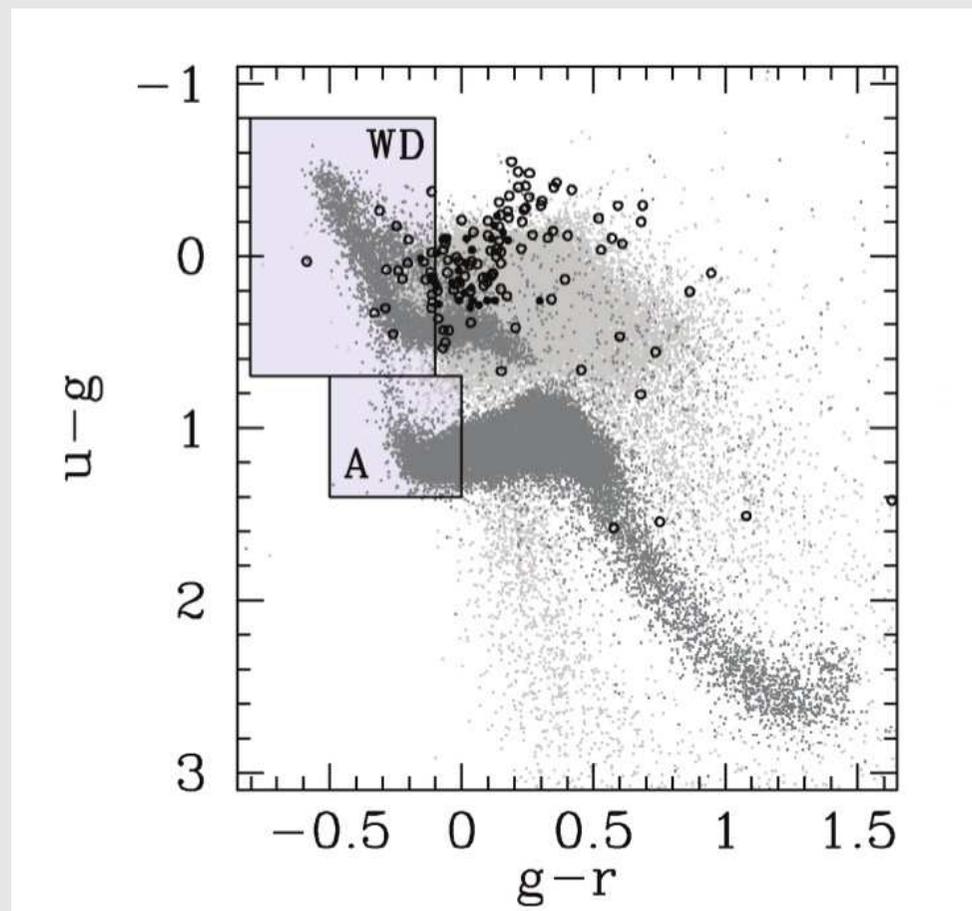
46 квазаров, 5 КП

Отождествление квазаров по данным обзора *WISE*



— можно существенно уменьшить объем дополнительных наблюдений

Отождествление КП среди рентгеновских источников



квезары исключены по данным *WISE*:

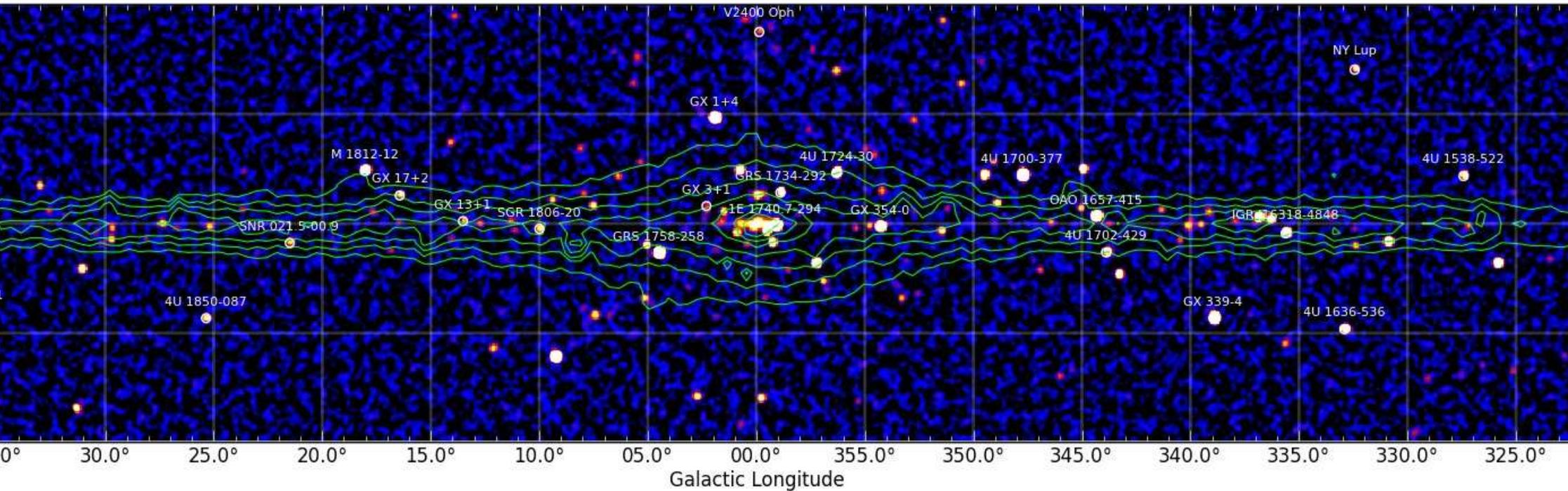
$u-g < 0.7$, $g < 19.5$, спектроскопия — PTT-150, TFOSC:

9 квазаров, 8 КП

Катаклизмические переменные

- Чтобы получить полную выборку КП на высоких галактических широтах, потребуется получить спектры низкого разрешения для ~ 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 s^{-1}).