



# Измерение масс и красных смещений каталога скоплений галактик ComRAST

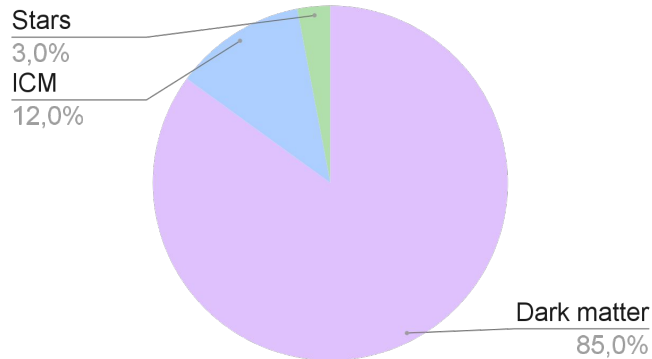
Воскресенская С.А.<sup>1, 2</sup>, Зазнобин И.А.<sup>1</sup>, Мещеряков А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт космических исследований РАН

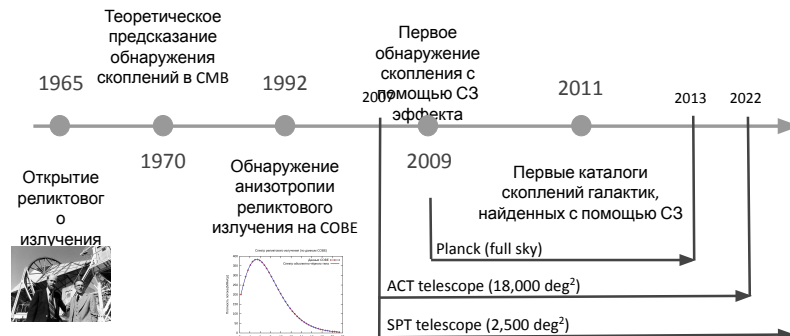
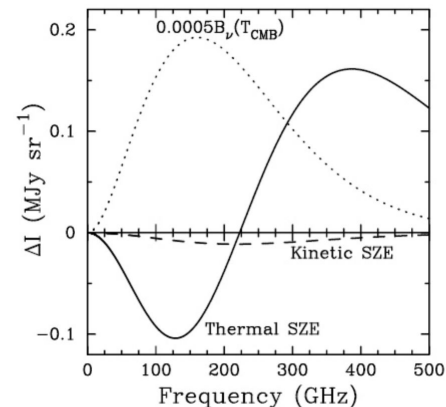
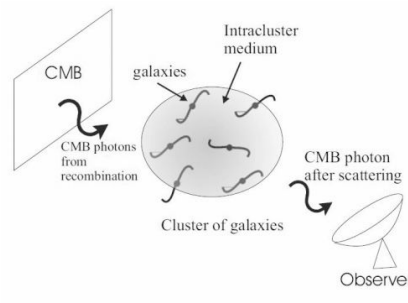
<sup>2</sup> НИУ Высшая школа экономики

# Скопление галактик

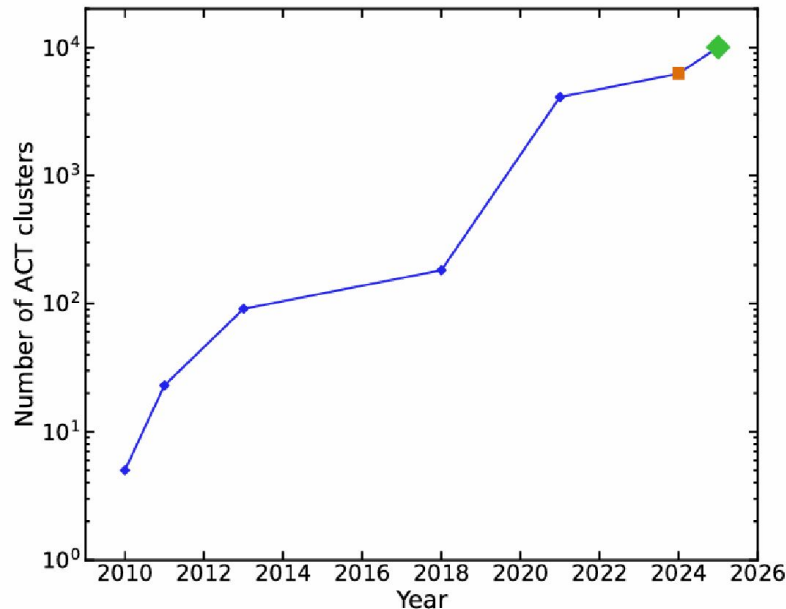
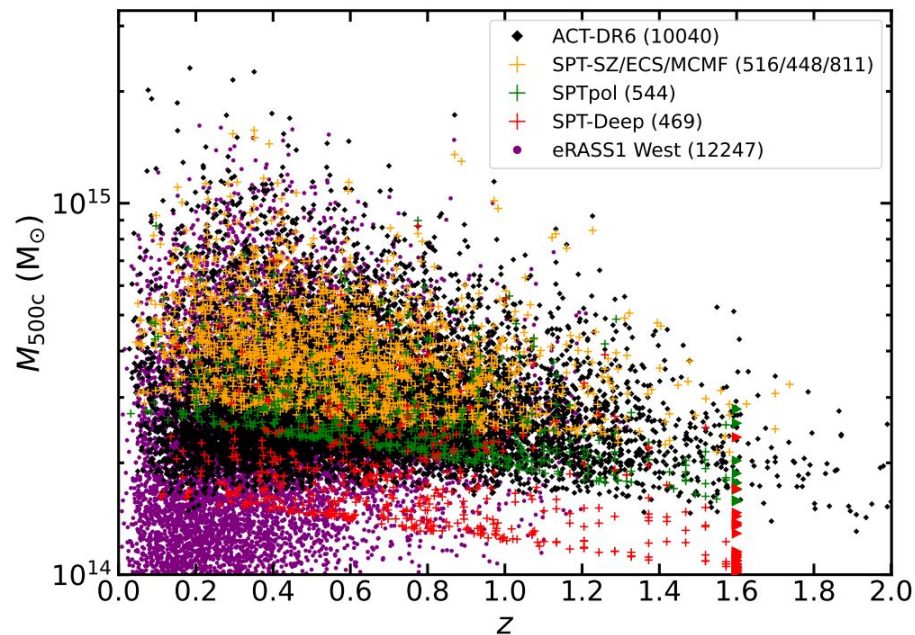
наиболее массивные  
гравитационно-связанные объекты  
во Вселенной



# Эффект Сюняева-Зельдовича



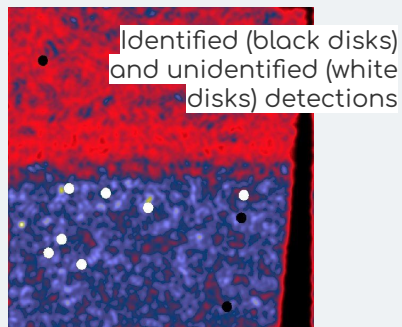
# Детектирование скоплений



Aguena+2025

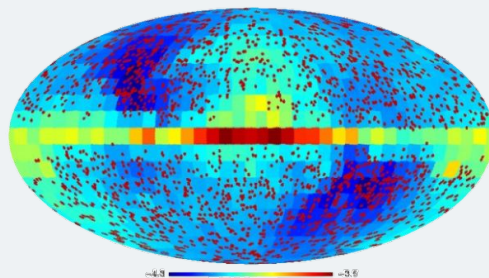
# Как увеличить выборку?

Комбинирование  
микроволновых данных  
с разных телескопов



PSZSPT (Mellin+ 2021)

Total: 419 clusters  
New with respect to PSZ and  
SPT: 54



ComPRASS - комбинирование  
рентгеновских (RASS) и  
микроволновых (Planck) данных  
(Tarrío+ 2019)

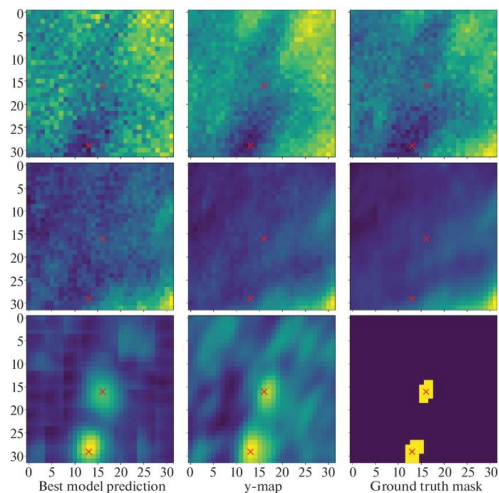
Total: 2323 clusters  
New with respect to PSZ and RASS: 514

Комбинирование  
оптических и  
микроволновых  
данных (MCMF)

|                              | New   |
|------------------------------|-------|
| -----                        |       |
| SPT-SZ MCMF<br>(Klein+ 2023) | 324   |
| -----                        |       |
| PSZ MCMF<br>(Klein+ 2023)    | 589   |
| -----                        |       |
| ACT MCMF<br>(Klein+ 2024)    | 2,080 |

# Можно детектировать с помощью ML

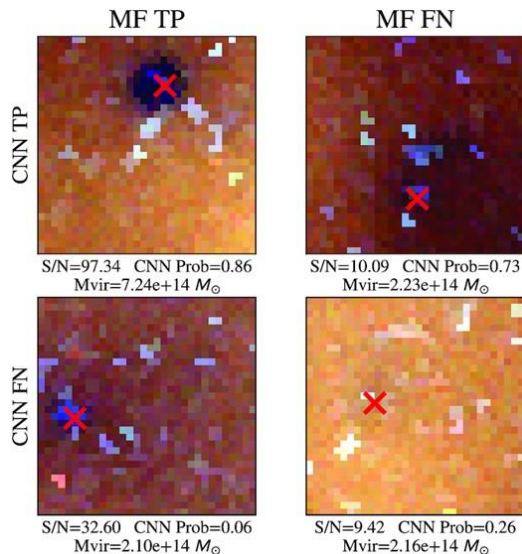
## U-net



Bonjean 2019,

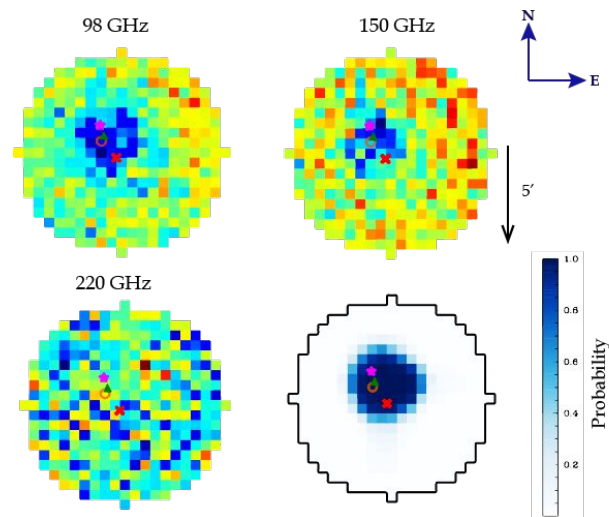
Meshcheryakov et al. 2022

## ResNet



Lin+ 2024, Верходанов+2021

## CNN



Voskresenskaia+2024



# Построение каталога ComPACT

combined  
ACT+Planck  
intensity maps

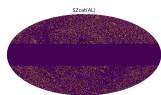
Модель  
классификации

сверточ-  
ные и  
полносвяз-  
ные слои

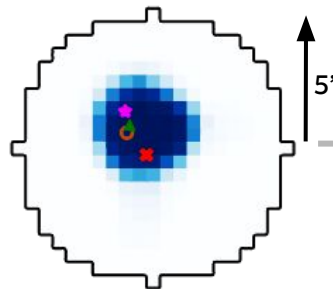
Вероятность  
( $p$ )  
нахождения  
скопления в  
центре поля

**SZcat**

Расширенный **каталог** источников  
Planck, полученный с помощью  
модели глубокого обучения U-net,  
обученной на каналах HFI  
Точность ~21 %  
(Meshcheryakov+2022)



Построение  
попиксельно  
карты  
сегментации



Probability

Выбирая min  
порог ( $p = 0.3$ ),  
получаем  
группу пикселей

**ComPACT**  
 $p_{\max} > 0.8$   
 $S > 20$

**Каталог**  
Площадь, [S]  
Max  
вероятность,  
[ $p_{\max}$ ]

✖ (SZcat) SZ\_G098.31-41.19  
● PSZ2  
○ ACT DR5  
▲ pixel with max probability

Модель  
подчеркивает  
область скопления  
и подавляет шум

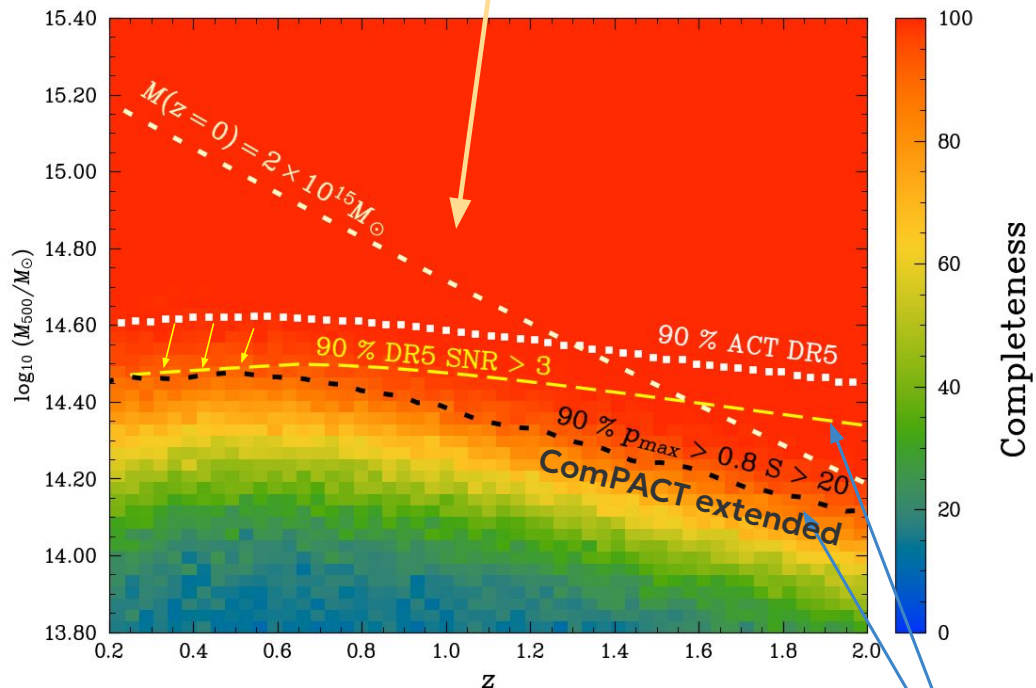
16'x16' cut

Naess+2021

скопления: ACT DR5 (Hilton+2021)  
другие источники: ACTPol  
Extragalactic sources (Datta+2018),  
DSFG & AGN in Equatorial survey  
(Gralla+2020)

# Полнота каталога

Средняя эволюция скопления с массой  $M = 2 \times 10^{15} M_{\odot}$  на  $z = 0$



покрытие ACT DR5 ( $\sim 13211 \text{ deg}^2$ )

Одинаковая  
чистота  
 $\sim 20\%$

## Метод

Наложение смоделированных скоплений на реальные карты ACT+Planck и их обработка алгоритмом глубокого обучения

нет отбора в направлениях SZcat

Каталог показывает более высокую полноту на фиксированной чистоте в сравнении с ACT DR5

Оба каталога показывают одинаковое поведение на близких красных смещениях, но на больших  $z$  ( $z > 0.6$ ) DL находит больше массивных скоплений

# Измерение photo-z скоплений

**zCluster**

Hilton+2018, 2021

**Zaznabin**

Зазнобин+2023

## Суть метода

по max пика **3D-плотности галактик**, photo-z по шаблону галактик красной последовательности

по max пика **3D-распределения ИК-светимостей галактик**, photo-z ML (Zou+2022)

## Определение z

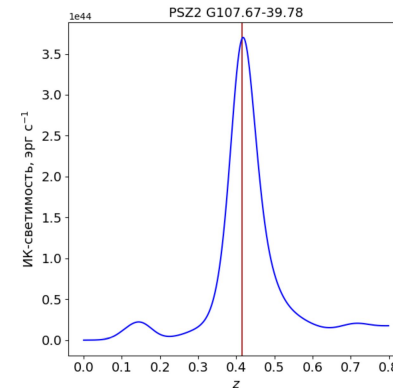
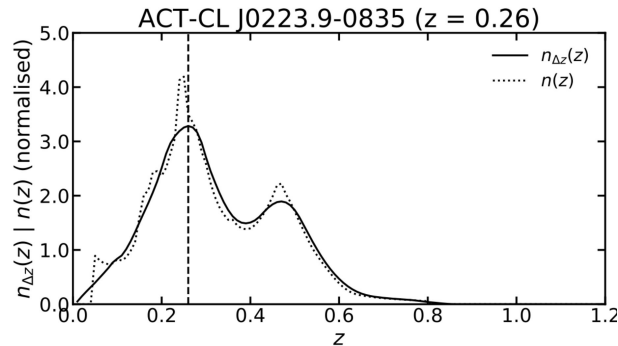
photo-z рассчитывались при помощи аппроксимации спектральным шаблоном (мы использовали шаблон галактики красной последовательности)

по пику распределения ИК-светимостей галактик, photo-z галактик из каталога (Zou+2022) получены с помощью машинного обучения

## покрытие

DECaLS DR9 (у нас)

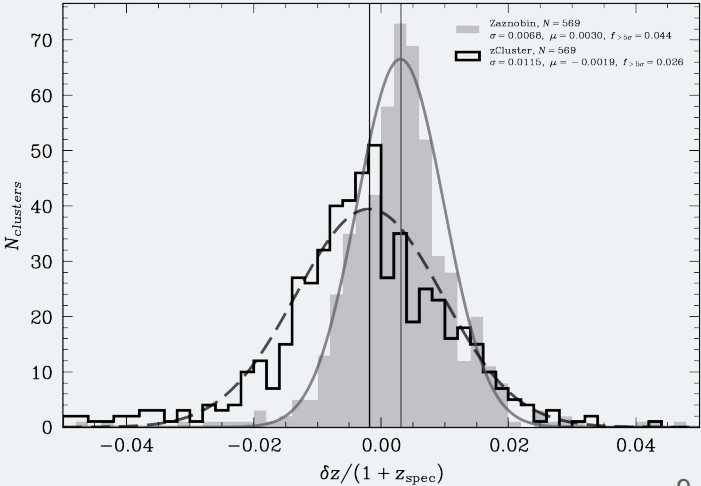
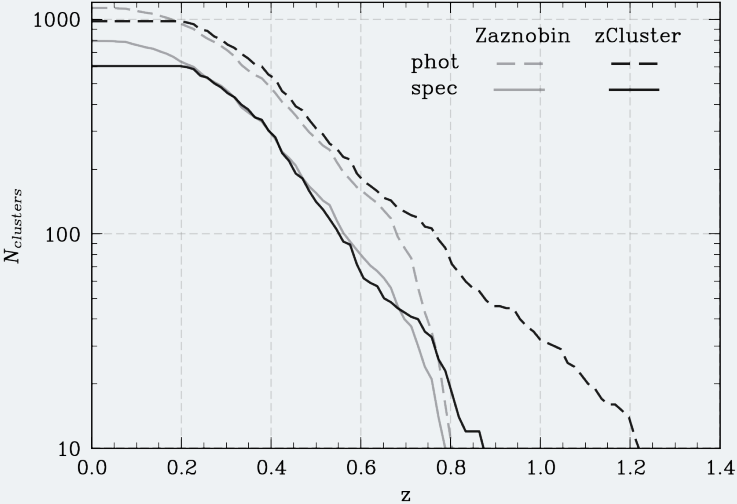
DECaLS DR9





# Измерение photo-z скоплений

|                     | zCluster               | Zaznobin              |
|---------------------|------------------------|-----------------------|
|                     | Hilton+2018, 2021      | Зазнобин+2023         |
| покрытие            | DECaLS DR9 (y нас)     | DECaLS DR9            |
| z range             | $0.2 < z < 1.5$        | $0 < z < 0.9$         |
| $\mu$               | $-0.19 \times 10^{-2}$ | $0.3 \times 10^{-2}$  |
| $\sigma$            | $1.15 \times 10^{-2}$  | $0.68 \times 10^{-2}$ |
| $ dz /(1+z) > 20\%$ | 1.1 %                  | 0.7 %                 |



Общее число: 2,962

**Кросс-отождествление с каталогами**

- СЗ: 1,444 (48 %)
- Рентген: 48 (1.6 %)
- ИК/Оптические: 139 (5 %)

Итого: 1,668 (56 %) (spec-z: 1027, photo-z: 629)

+

**Photometry in DESI LIS surveys**

zCluster (Hilton+2021, 2018): 69

Zaznobin+2023: 43

Total: 112 new confirmations

Подтвержденные скопления – 60 %.

Оценка чистоты ~72 %

# Измерение массы скоплений

Извлечение интегрального сигнала СЗ  
в апертуре 10 угловых минут  $\rightarrow Y$

Подбор оптимального преобразования из  
цилиндрического  $Y$  в сферический  $Y$   
(предположение об итоговой массе)

Цикл до сходимости  
предсказанной массы от  
предполагаемой массы

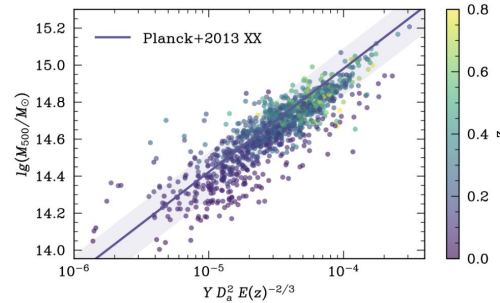
Расчет массы по  $Y_{\text{сфер}}$

$$E(z)^{-2/3} \left[ \frac{D_A^2 Y_{500}}{10^{-4} Mpc^2} \right] = 10^{-0.19} \left[ \frac{(1-b) M_{500}}{6 \times 10^{14} M_{\odot}} \right]^{1.79}$$

Planck Collaboration+2013 XX

**yPlanck**

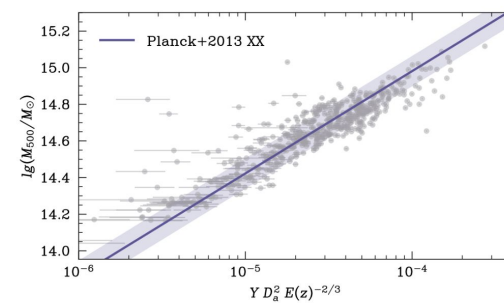
(Chandran+2023)



(a) Measurements in yPlanck map

**yACT+Planck**

(Coulton+2024)



(b) Measurements in yACT+Planck map

NMAD = 0.08 dex

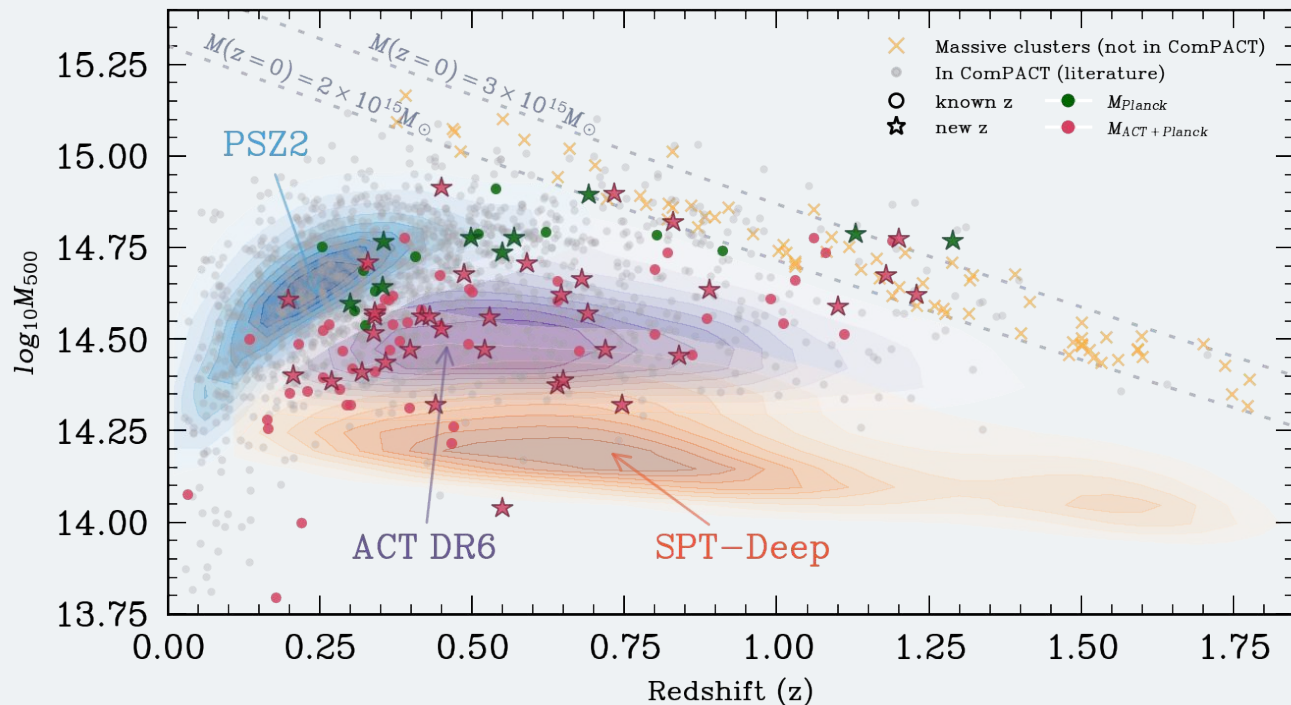
Измерения масс сравнимы с  
предшествующими исследованиями

М из литературы: 1503  
Новые: 108

# Распределение скоплений на плоскости масса-красное смещение

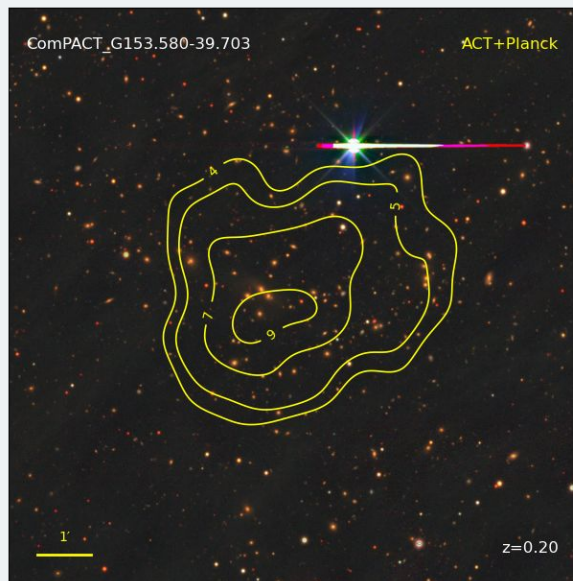
Новые объекты каталога лежат над распределением каталога ACT DR6 и под распределением каталога PSZ2

Каталог содержит новые массивные ( $M(z=0) \geq 2 \times 10^{15} M_{\odot}$ ) скопления



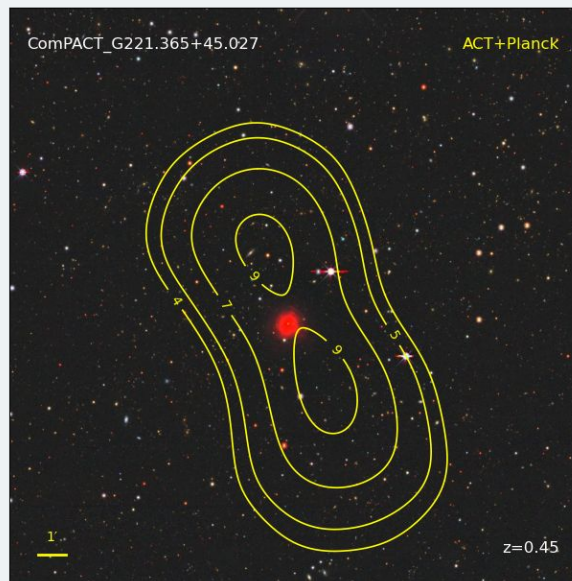
# Новые массивные скопления

## Близкие СЗ скопления



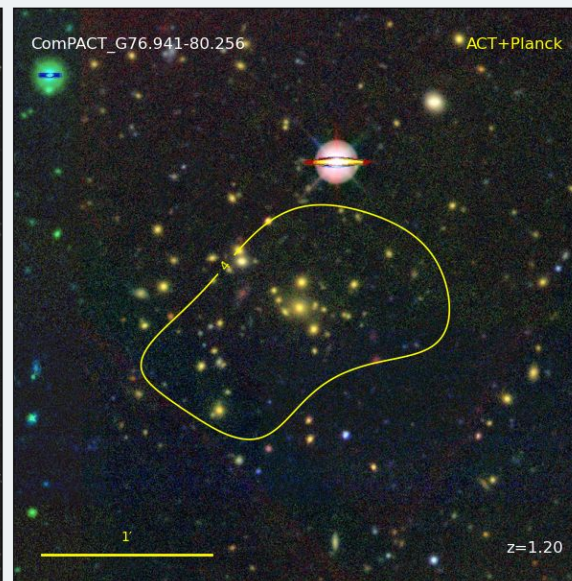
$M = 4 \times 10^{14} M_{\odot}$   
Notes: PSZRX G153.58-39.69

## Сложный СЗ сигнал



$M = 8.2 \times 10^{14} M_{\odot}$   
Notes: JCMTSE J094747.2+132044  
(SCUBA)

## Далекие скопления



$M = 5.9 \times 10^{14} M_{\odot}$

# Результаты

Представлены отождествления СЗ-источников из каталога ComPACT, а измерения их красных смещений и масс. Каталог расширяет популяцию СЗ-скоплений за счёт обнаружения ранее неизвестных систем.

1. Полнота, оцененная на картах ACT+Planck, выше при фиксированной чистоте, особенно для массивных и далеких скоплений;
2. Каталог содержит 2,962 СЗ-источника. 1668 имеют отождествления с СЗ-, рентгеновскими и оптическими/ИК-каталогами. Оптически подтверждено 116 новых скоплений с использованием фотометрии обзоров DESI LIS;
3. Красные смещения получены для 1,771 скоплений (~60 %), включая 116 новых измерений. Массы оценены для 1,612 объектов (54.4 %), из них 108 — впервые. Типичные значения:  $M_{500} \sim 4 \times 10^{14} M_{\odot}$ ,  $z \sim 0.43$ ;
4. Обнаружено 5 массивных ( $M_{500} \gtrsim 6 \times 10^{14} M_{\odot}$ ) и далеких ( $z > 0.7$ ) скоплений



<https://github.com/astromining/ComPACT>

Vizier: J/MNRAS/531/1998/compact

in preparation

При поддержке Российского научного фонда N° 25-22-00470