

ОПТИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ 216 СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК ИЗ ОБЗОРА ВСЕГО НЕБА СРГ/еРОЗИТА

© 2023 г. И. А. Зазнобин^{1,2*}, Р. А. Буренин^{1,2}, А. А. Белинский², И. Ф. Бикмаев^{2,3}, М. Р. Гильфанов^{1,4}, А. В. Додин², С. Н. Додонов⁵, М. В. Еселевич⁶, С. Г. Желтоухов², Э. Н. Иртуганов³, С. С. Котов⁵, Р. А. Кривонос¹, Н. С. Лыскова¹, Е. А. Малыгин⁵, Н. А. Масленникова², П. С. Медведев¹, А. В. Мещеряков¹, А. В. Моисеев^{1,5}, Д. В. Опарин⁵, С. А. Потанин^{2,7}, К. А. Постнов², С. Ю. Сазонов¹, Б. С. Сафонов², Н. А. Сахибуллин^{3,8}, А. А. Старобинский⁹, М. В. Сусликов^{2,3}, Р. А. Сюняев^{1,4}, А. М. Татарников^{2,7}, Г. С. Усков¹, Р. И. Уклеин⁵, И. И. Хабибуллин^{1,4}, И. М. Хамитов^{3,8}, Г. А. Хорунжев¹, Е. М. Чуразов^{1,4}, Е. С. Шабловинская⁵, Н. И. Шатский²

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

²Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Казанский федеральный университет, Казань, Россия

⁴Институт астрофизики общества им. Макса Планка, Гархинг, Германия

⁵Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

⁶Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

⁷МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

⁸Академия наук Татарстана, Казань, Россия

⁹Институт теоретической физики им. Ландау РАН, Черногловка, Россия

Поступила в редакцию 21.11.2023 г.

После доработки 21.11.2023 г.; принята к публикации 21.11.2023 г.

Представлены результаты оптического отождествления и спектроскопических измерений красных смещений 216 скоплений галактик, обнаруженных в рентгеновском обзоре всего неба СРГ/еРОЗИТА. Спектральные наблюдения выполнялись в 2020–2023 гг. На 6-м телескопе БТА САО РАН, 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ, 1.6-м телескопе АЗТ-ЗЗИК Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН и 1.5-м российско-турецком телескопе (РТТ-150) обсерватории TÜBİTAK. Для всех представленных в работе скоплений галактик спектроскопические измерения красных смещений получены впервые, из них 139 скоплений галактик были обнаружены впервые в обзоре СРГ/еРОЗИТА, 22 скопления галактик находятся на красном смещении $z_{\text{spec}} \gtrsim 0.7$, в том числе три — на $z_{\text{spec}} \gtrsim 1$. Так же для четырех далеких скоплений галактик на $z_{\text{spec}} > 0.7$ получены глубокие прямые изображения с использованием фильтров *rizJK*. Для этих наблюдений выбирались наиболее массивные скопления, поэтому большая часть представленных в работе скоплений галактик с измеренными нами спектроскопическими красными смещениями, скорее всего, в будущем войдут в космологические выборки скоплений галактик обзора СРГ/еРОЗИТА.

Ключевые слова: скопления галактик, обзоры неба, оптические наблюдения, красные смещения.

DOI: 10.31857/S0320010823110104, EDN: RYBGMX

ВВЕДЕНИЕ

Изучение больших выборок массивных скоплений галактик, обнаруженных в том числе при

помощи обзоров неба в микроволновом и рентгеновском диапазонах, позволяет установить ограничения на основные параметры космологических моделей Вселенной (см., например, Вихлинин и др., 2009; Сообщество Планка, 2014b, 2016c). В

* Электронный адрес: zaznobin@cosmos.ru

июле 2019 г. была запущена космическая обсерватория Спектр—Рентген—Гамма (СРГ, Сюняев и др., 2021), на борту которой находятся рентгеновские телескопы с оптикой косоугольного падения ART-XC (Павлинский и др., 2021) и eРОЗИТА (Предел и др., 2021). В декабре 2019 г. обсерватория начала первый из восьми запланированных обзоров всего неба. На настоящее время завершено четыре полных обзора всего неба. Предполагается, что по завершении восьми полных обзоров всего неба достигнутой глубины обзора будет достаточно, чтобы обнаружить все скопления галактик с массами выше $M_{500} \sim 3 \times 10^{14} M_{\odot}$ в наблюдаемой части Вселенной (см., например, Чуразов и др., 2015).

Нашей научной группой ранее выполнялась работа по отождествлению и спектроскопическим измерениям красных смещений массивных скоплений галактик, отождествляемых с источниками Сюняева—Зельдовича (Сообщество Планка, 2015b,a, 2016b; Воробьев и др., 2016; Буренин и др., 2018; Зазнобин и др., 2019, 2020, 2021a). В работе Зазнобин и др. (2021a) было показано, что большинство этих скоплений галактик уже обнаружены в обзоре всего неба СРГ/eРОЗИТА. Ранее уже проводились наблюдения скоплений галактик из обзора поля “дыры Локмана” (Зазнобин и др., 2021b).

После завершения в июне 2020 г. первого обзора всего неба СРГ/eРОЗИТА была начата программа оптического отождествления и спектроскопических измерений красных смещений наиболее массивных скоплений галактик обзора. Основной целью программы являются спектроскопические измерения красных смещений скоплений галактик. Программа наблюдений постепенно дополнялась с увеличением количества завершённых полных обзоров всего неба. Также была начата программа глубоких фотометрических наблюдений кандидатов в далекие скопления галактик и измерения их фотометрических и спектроскопических красных смещений.

В настоящее время проводится спектроскопический обзор неба *DESI* (Сообщество DESI, 2023). Первый год пятилетнего обзора *DESI* был завершён 13 июня 2022 г. Предполагается, что в результате трех лет обзора будут получены спектры около 30 миллионов галактик и квазаров. Красные смещения многих ярчайших галактик скоплений, обнаруженных в обзоре СРГ/eРОЗИТА, будут, вероятно, измерены в этом обзоре. Однако наблюдения по нашей программе тем не менее необходимы для того, чтобы как можно быстрее составить космологические выборки скоплений галактик из обзора СРГ/eРОЗИТА и получить космологические ограничения по этим данным.

В настоящей работе приводятся результаты оптического отождествления и спектроскопических измерений красных смещений наиболее массивных скоплений галактик. Показаны результаты получения глубоких прямых изображений некоторых далеких скоплений. За три года с июня 2020 г. по сентябрь 2023 г. измерены красные смещения 216 скоплений галактик и получены глубокие прямые изображения нескольких наиболее далеких скоплений галактик на $z > 0.7$, обнаруженных в обзоре СРГ/eРОЗИТА. Результаты измерения красных смещений и оценки масс M_{500} для 12 наиболее массивных скоплений галактик ранее уже публиковались нашей научной группой (Буренин и др., 2021, 2022).

ВЫБОРКА ОБЪЕКТОВ

Оптическое отождествление скоплений галактик проводилось среди протяженных источников рентгеновского излучения, обнаруженных в результате обзора всего неба СРГ/eРОЗИТА на половине неба ($0^{\circ} < l < 180^{\circ}$), за обработку данных в которой отвечают российские ученые. Поиск протяженных рентгеновских источников проводился при помощи вейвлет-разложения рентгеновских изображений (Вихлинин и др., 1998), а также при помощи ПО `ermlidet` из пакета `eSASS`. Некоторые источники можно отождествить с известными скоплениями галактик, для которых спектроскопические красные смещения были измерены ранее. Для отождествления известных скоплений галактик была использована внегалактическая база данных НАСА (**NED**¹). Для значительной части массивных скоплений галактик спектроскопические измерения красных смещений были получены ранее, в основном в рамках Слоановского цифрового обзора неба (Сообщество СДСС, 2020).

Для оптического отождествления были использованы общедоступные данные больших обзоров неба в оптическом и ближнем ИК-диапазонах. Использовались данные обзоров Pan-STARRS1 (Чэмберс и др., 2016), DESI LIS (Дэй и др., 2019) и обзора всего неба космической обсерватории WISE (Райт и др., 2010) в полосе 3.4 мкм. Использовались также данные принудительной фотометрии WISE, выполненной по координатам галактик обзора Pan-STARRS1 (Буренин, 2022). Процедура оптического отождествления скоплений галактик ранее обсуждалась в работах нашей группы (Буренин и др., 2018; Зазнобин и др., 2019, 2020, 2021a,b; Буренин и др., 2021, 2022). Для каждого скопления галактик была дана фотометрическая

¹ <https://ned.ipac.caltech.edu/>

оценка красных смещений по цвету красной последовательности галактик скоплений (Буренин, 2017; Буренин и др., 2022).

В результате была получена выборка из нескольких тысяч скоплений галактик. Очевидно, что имеющегося у нашей группы наблюдательного времени недостаточно, чтобы за разумное время в течение нескольких лет провести спектроскопические измерения красных смещений такого большого числа скоплений галактик. Поэтому для каждого скопления галактик был определен показатель приоритета, который учитывался при наблюдениях:

$$P = 8.7\sqrt{z} + 3.3 \lg(f) + 33,$$

где z — фотометрическая оценка красного смещения скопления, f — рентгеновский поток. Наиболее приоритетные цели для наблюдений имеют наибольший показатель приоритета. Этот показатель определен таким образом, чтобы наибольший приоритет имели наиболее массивные скопления, и кроме того, чтобы скопления одной массы на разных красных смещениях имели примерно одинаковый приоритет. Наблюдения проводились, преимущественно, скоплений галактик, показатель приоритета которых выше $-3 \dots -4$. Такая стратегия наблюдений позволяет получить полные выборки наиболее массивных скоплений с массами выше примерно $3 \times 10^{14} M_{\odot}$.

НАБЛЮДЕНИЯ

Организация наблюдений

Спектроскопические наблюдения скоплений галактик проводятся с июня 2020 г. на 6-м телескопе БТА САО РАН, 1.6-м телескопе АЗТ-ЗЗИК Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН и 1.5-м российско-турецком телескопе (РТТ-150) обсерватории TÜBİTAK. С января 2020 г. наблюдения также проводятся на 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ (RC2500). Наблюдения на телескопе БТА и 2.5-м телескопе КГО проводятся по программе наземной поддержки обсерватории СРГ оптического отождествления наиболее массивных далеких скоплений галактик из обзора всего неба СРГ/еРОЗИТА.

Отбор объектов наблюдателями для последующих наблюдений проводился из списков, доступных наблюдателям в системе ТРИТОН (Таблица Рентгеновских Источников, для которых Требуется Оптические Наблюдения)². Система создана и представляет собой сайт, на котором размещены данные для оптических наблюдений рентгеновских

источников, обнаруженных в обзоре СРГ. Основная задача системы — сбор, хранение и систематизация данных об оптических наблюдениях объектов СРГ и результатах их обработки. Система позволяет отслеживать наблюдателям проводимую или планируемую наблюдательную работу на различных телескопах в режиме реального времени. Это позволяет избежать повторных или одновременных наблюдений объектов, что очень важно при одновременных наблюдениях на нескольких телескопах.

На телескопах БТА и 2.5-м телескопе КГО проводились наблюдения, как правило, наиболее далеких и тусклых объектов, наблюдения которых затруднительны на телескопах АЗТ-ЗЗИК и РТТ-150. На телескопах АЗТ-ЗЗИК и РТТ-150 проводились наблюдения близких скоплений галактик с фотометрической оценкой красных смещений $z_{\text{phot}} \lesssim 0.55$. Дифракционные решетки для каждого скопления подбирались таким образом, чтобы с учетом их фотометрических оценок красных смещений в спектральный диапазон решетки входили некоторые основные спектральные особенности эллиптических галактик, такие как 4000 Å провал и G — полоса.

Проведение наблюдений и используемые приборы

Для получения спектроскопических изображений использовались спектрографы низкого и среднего разрешения с длинной щелью. Позиционный угол щели спектрографа для каждого объекта подбирался индивидуально таким образом, чтобы свет как можно большего числа наиболее ярких галактик красной последовательности попадал в щель спектрографа. Для каждого скопления галактик определялась одна конфигурация щели: координат центра и позиционного угла щели спектрографа. Ширина щели подбиралась отдельно для каждого спектрографа в диапазоне от 1'' до 2'' в зависимости от качества изображения. В случае, если на щель спектрографа попадало более двух галактик красной последовательности, то устанавливалась щель шириной около 2'' вне зависимости от используемого прибора.

Наблюдения на телескопе БТА проводились с помощью спектрографов *SCORPIO* (Афанасьев и др., 2005) и *SCORPIO-2* (Афанасьев и Моисеев, 2011). При наблюдениях на спектрографе *SCORPIO-2* использовались гризмы *VPHG940@600*, *VPHG1026@735* и *VPHG1200@860*, а при наблюдениях на спектрографе *SCORPIO* использовалась гризма *VPHG550G*. Для получения спектров галактик на *SCORPIO-2* с фотометрической оценкой красного смещения $z_{\text{phot}} \lesssim 0.75$ использовалась гризма *VPHG940@600*, $0.75 \lesssim z_{\text{phot}} \lesssim 1.00$ —

² <https://www.srg.cosmos.ru/>

VPHG1026@735 и $z_{\text{phot}} \gtrsim 1$ — *VPHG1200@860* соответственно. Подробное описание приборов и используемых нами призмов приведено на сайте лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов САО РАН³. Спектроскопия далеких скоплений галактик на спектрографе *SCORPIO* не проводилась, так как на этом спектрографе в качестве детектора установлена ПЗС-матрица с сильным эффектом интерференции в тонком слое кремния в ближнем ИК-диапазоне.

Наблюдения на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ проводились с помощью двухлучевого спектрографа TDS (Transient Double-beam Spectrograph, Потанин и др., 2020)⁴. Спектральный диапазон прибора 3600–7500 Å, разрешающая сила 1300–2500 при ширине щели 1". Более подробное описание процедур наблюдений и обработки спектральных изображений приведены в работе Додин и др. (2021).

Наблюдения на телескопе АЗТ-3ЗИК проводились на спектрографе низкого и среднего разрешения АДАМ (Афанасьев и др., 2016; Буренин и др., 2016). Для получения спектроскопических изображений использовалась призма с объемной фазовой голографической решеткой VPHG600G с 600 штрихов на миллиметр, позволяющая получить спектр в диапазоне 3600–7250 Å со спектральным разрешением (FWHM) 4.3 Å для щели шириной 2". Позиционный угол щели спектрографа равен 0°. Все спектроскопические изображения были получены с использованием длинной щели шириной 2".

Наблюдения на телескопе РТТ-150 проводились с помощью спектрографа *TFOSC*⁵. Использовалась дифракционная решетка со спектральным диапазоном 3800–8900 Å и разрешением $R \approx 500$. Позиционный угол щели спектрографа равен 90°. Все спектроскопические изображения были получены с использованием длинной щели шириной 1.8" и 2.4".

Каждую ночь в вечернее сумеречное и утреннее сумеречное время проводились наблюдения спектроскопических стандартов. Список используемых стандартов приведен на сайте Европейской Южной Обсерватории⁶. Обработка данных с телескопов БТА, АЗТ-3ЗИК, РТТ-150 проводилась при помощи собственного программного обеспечения, программного пакета *IRAF*⁷ и его интеграции на язык программирования *Python3* (библиотека *PyRAF*⁸).

Для наиболее далеких скопления галактик на красных смещениях порядка $z \gtrsim 0.7$ были получены глубокие прямые изображения на телескопах АЗТ-3ЗИК, РТТ-150 и БТА с использованием фильтров *riz* Слоановской системы и с использованием фильтров *JK* при наблюдениях на 2.5-м телескопе КГО. На телескопе АЗТ-3ЗИК наблюдения проводились на камере

Andor iKon-M 934 BR DD, на 2.5-м телескопе КГО наблюдения проводились на инфракрасной камере-спектрографе *AstroNIRCam* (Наджип и др., 2017; Тарников и др., 2023). На всех телескопах наблюдения проводились при качестве прямых изображений не хуже 1.5". Экспозиции на телескопе БТА не превышали 90 с, на АЗТ-3ЗИК — не более 120 с и на РТТ-150 — не более 600 с. После каждой экспозиции центр изображений смещался в случайном направлении по прямому восхождению или склонению на $\approx 10''$ – $15''$.

Учет атмосферного поглощения кислородом

Для некоторых далеких галактик, наблюдавшихся на телескопе БТА и находящихся на красном смещении порядка $z \sim 0.9$, участок спектра с Бальмеровским скачком (4000 Å) попадает в область сильной полосы поглощения атмосферным кислородом (7580–7700 Å). Данное обстоятельство затрудняет использование этой спектральной детали в методах оценок красных смещений таких источников. В особенности это важно при оценках расстояний до скоплений галактик, когда исследуются спектры слабых галактик позднего класса без эмиссионных линий. Наблюдения спектроскопических стандартов ранних спектральных классов позволяет получить оценку поглощения атмосферного кислорода в области полосы 7580–7700 Å и восстановить спектры слабых источников.

Для этого стандарты наблюдались в близком к объектам участках неба на одинаковом зенитном расстоянии. Однако в силу различных причин стандарты и объекты могут наблюдаться на разных воздушных массах. В данном случае при условии, что наблюдения проводились в спектроскопических условиях, атмосферное поглощение в указанной кислородной полосе оценивается как:

$$P(\lambda) = \left(\frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)} \right) \sqrt{\frac{M_{\text{obj}}}{M_{\text{std}}}},$$

где $I(\lambda)$ — регистрируемая интенсивность, $I_0(\lambda)$ — интенсивность без поглощения атмосферным кислородом, M_{obj} — воздушная масса наблюдаемого объекта, M_{std} — воздушная масса наблюдаемого стандарта. Квадратный корень учтен ввиду так называемого *закона квадратного корня* для существенно насыщенных теллурических линий, каковой является полоса поглощения кислорода.

В основном проводились наблюдения стандартов, которые являются звездами ранних спектральных классов и имеют гладкий профиль без деталей на данном участке спектра. Также в этом же месте изменение расщепления релеевского рассеяния вместе с чувствительностью принимающей аппаратуры в первом приближении можно принять линейными. Тогда $I_0(\lambda)$ есть линейная подгонка непрерывного спектра на участках свободных от теллурических линий поглощения.

Мы выделяли два участка $7440 < \lambda < 7560$ Å и $7760 < \lambda < 7840$ Å для подгонки континуума в данной области спектра. На рис. 1 показаны примеры

³ https://www.sao.ru/hq/lsvfo/devices_rus.html

⁴ <http://lnfm1.sai.msu.ru/kgoinstruments/tds>

⁵ <http://hea.iki.rssi.ru/rtl150/en/index.php?page=tfosc>

⁶ <https://www.eso.org/sci/observing/tools/standards.html>

⁷ <https://iraf-community.github.io/>

⁸ http://stdas.stsci.edu/pyraf/doc.old/pyraf_tutorial/

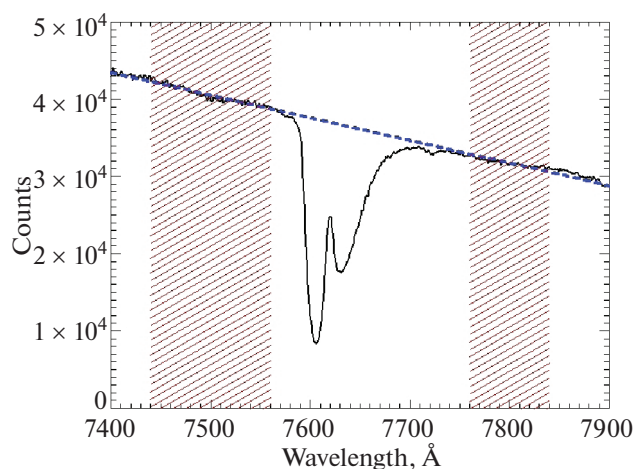


Рис. 1. Инструментальный спектр спектрофотометрического стандарта BD+25d4655 в области полосы поглощения молекулярного кислорода O_2 (7580–7700 Å).

инструментального спектра спектрофотометрического стандарта BD+25d4655, линейной подгонки непрерывного спектра (синий пунктир) и области, свободные от влияния теллурических линий, по которым проводилась подгонка.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Полученные данные

В результате проведения наблюдений по программе скоплений галактик из обзора SRG/eROZITA, на сентябрь 2023 г. были получены спектры и измерены красные смещения 216 скоплений. Все эти скопления галактик ранее не имели красных смещений, измеренных спектроскопическим методом. Из них 106 скоплений галактик наблюдались на телескопе БТА, 45 на 2.5-м телескопе КГО, 51 на АЗТ-ЗЗИК и 26 на РТТ-150. Некоторые скопления галактик наблюдались на нескольких телескопах, так как из-за погодных условий были получены спектры низкого качества, по которым нельзя достоверно измерить красные смещения галактик. В этих случаях проводились повторные наблюдения на другом телескопе. Примеры изображений скоплений галактик из обзора всего неба SRG/eROZITA в оптическом, инфракрасном и рентгеновском диапазонах приведены на рис. 2.

При обработке спектроскопических изображений извлекались спектры и измерялись красные смещения всех галактик, которые попали на щель спектрографа. Максимум были измерены красные смещения шести галактик, входящих в одно скопление. Свет всех этих галактик попал на щель шириной $2''$ при наблюдениях на БТА. В некоторых скоплениях галактик в центральной области скопления присутствует яркая cD -галактика, которая ярче других наиболее ярких галактик красной последовательности примерно на 1 звездную величину. Поэтому для некоторых скоплений галактик измерение красного смещения проводилось по cD -галактике. Наблюдения скоплений галактик, у которых красные

смещения измерены по одной галактике, в основном проводились на телескопах АЗТ-ЗЗИК и РТТ-150, где фиксировано положение щели спектрографа. В некоторых случаях, когда измеренное красное смещение отлично от его фотометрической оценки, проводились дополнительные наблюдения других ярких галактик красной последовательности на телескопах АЗТ-ЗЗИК и РТТ-150.

Измерение красных смещений проводилось методом сравнения спектров галактик со спектром синтетического звездного населения (шаблон) возрастом 11 млрд лет и металличностью $Z = 0.02$. Для небольшого числа наиболее далеких скоплений галактик измерения красных смещений проводились с использованием шаблонов с другими значениями возраста и металличности. Красное смещение галактик определялось как локальный минимум χ^2 -распределения, полученного при сравнении спектров со спектрами шаблонов. Если в скоплениях есть cD -галактика, то красное смещение таких скоплений галактик определялось как красное смещение cD -галактики. При отсутствии cD -галактики красные смещения скоплений галактик определялись как среднее арифметическое спектроскопических красных смещений наиболее ярких галактик в центральных областях скоплений. Примеры спектров галактик из обзора всего неба показаны на рис. 3. Слева приведены спектры галактик, а справа их χ^2 -распределения, полученные при сравнении с шаблоном. Спектры наиболее далеких скоплений галактик из обзора всего неба, полученных на телескопе БТА, приведены в сравнении со спектрами шаблонов на рис. 4.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты измерений красных смещений скоплений галактик приведены в табл. 1. В первом столбце приведено рентгеновское название источника по данным телескопа eROZITA. В названиях рентгеновских источников приведены экваториальные координаты (α , δ) их центров на эпоху $J2000.0$. Во втором столбце

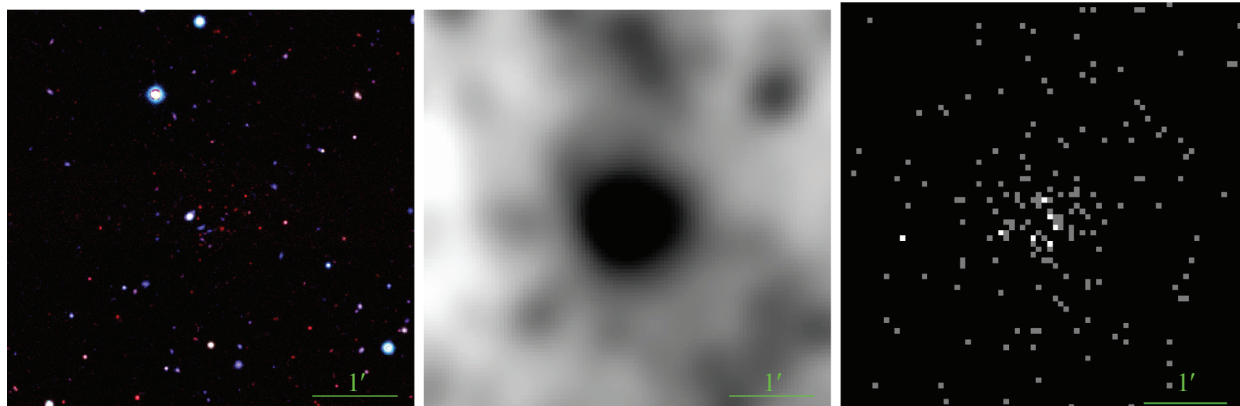
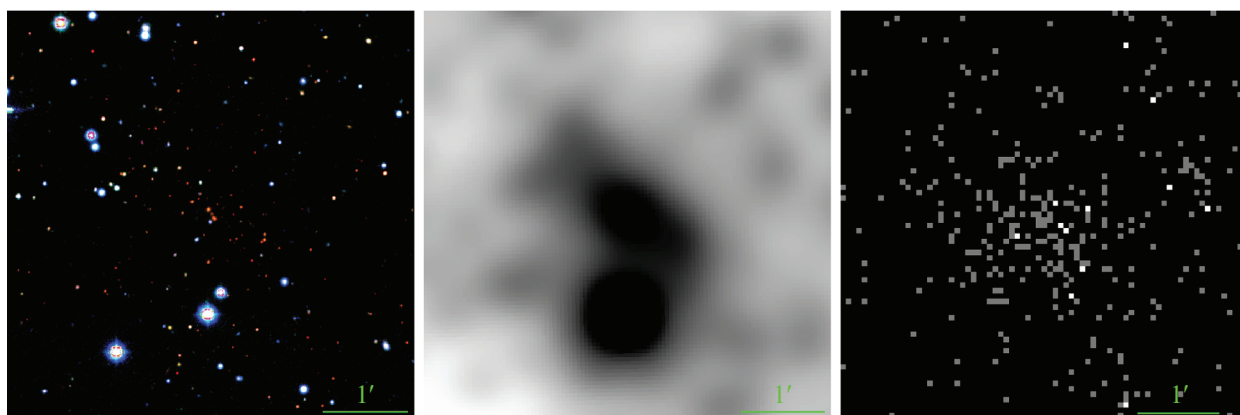
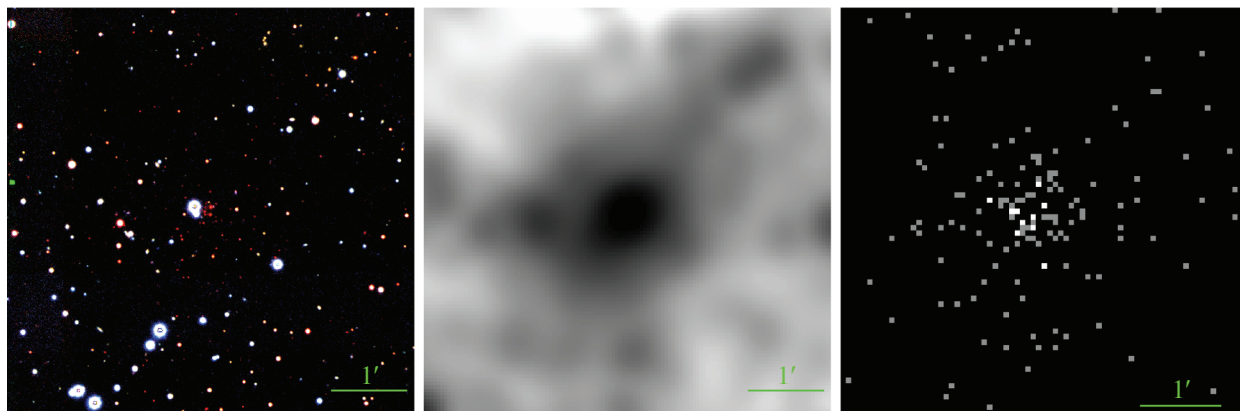
SRGe J105036.9+455126, $z = 0.8747$ SRGe J144035.30+661630, $z = 0.699$ SRGe J215157.4+111248, $z = 0.919$ 

Рис. 2. Слева: псевдоцветные изображения обзора DESI LIS полей скоплений галактик в фильтрах zrg (RGB), в центре: изображения обзора WISE в полосе 3.4 мкм, очищенные от звезд и свернутые с β -моделью радиусом $24''$, справа: рентгеновское изображение обзора СРГ/еРОЗИТА. Центр изображений совпадает с оптическим центром скоплений, размер полей изображений $5' \times 5'$.

приведены красные смещения скоплений галактик, в третьем столбце — количество галактик, входящих в скопления, красные смещения которых были измерены. Точность измерения красных смещений для каждого скопления галактик разная, поэтому в таблице для раз-

ных скоплений галактик приведено разное количество значащих цифр. Отметим, что учитывались красные смещения только наиболее ярких и близких к центру скопления галактик. В четвертом и пятом столбцах приведены названия телескопов, на которых проводились

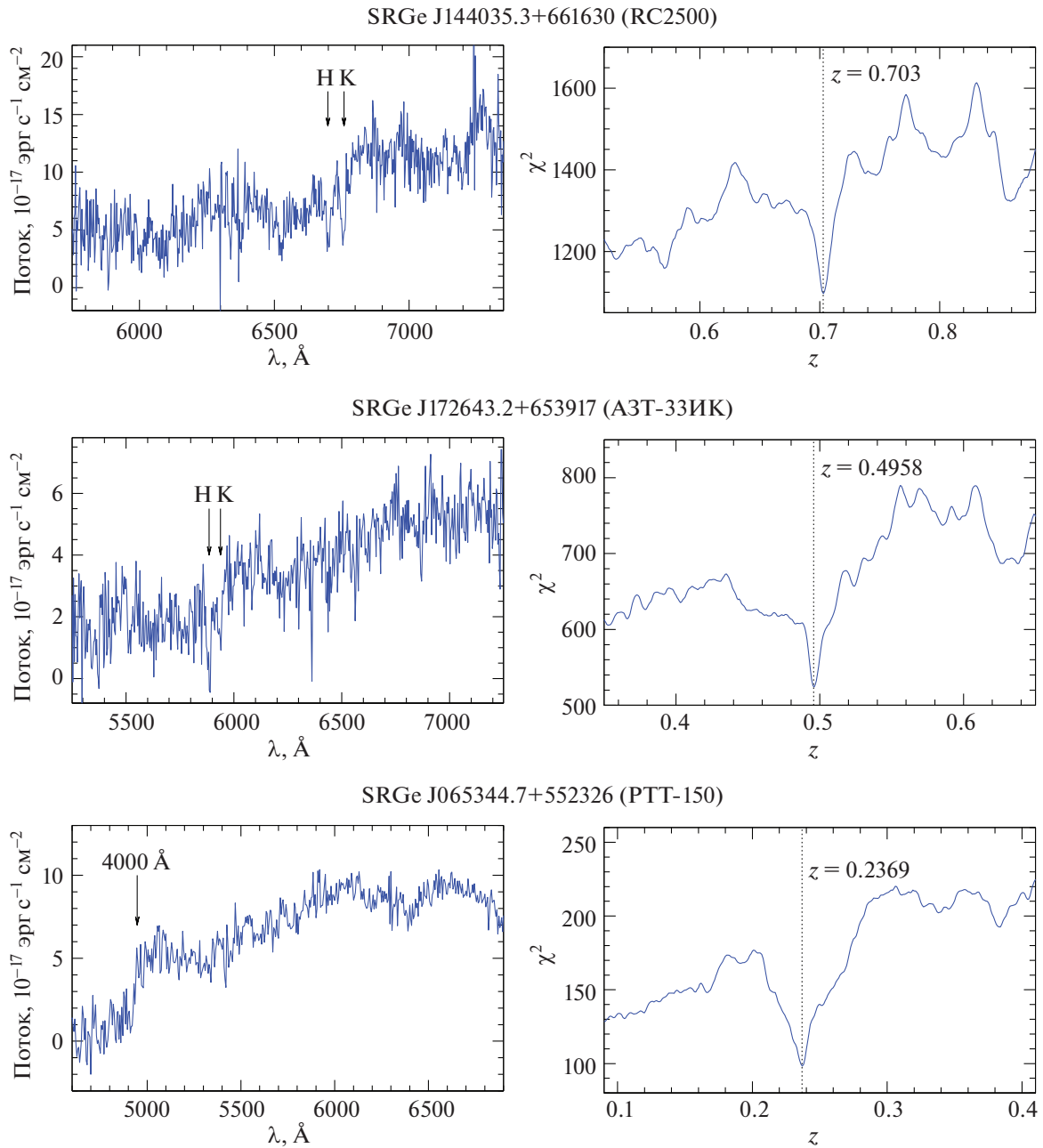


Рис. 3. Примеры спектроскопических измерений красных смещений скоплений, полученных на телескопах: верхний ряд — 2.5-м телескоп КГО, средний ряд — АЗТ-33ИК, нижний ряд — РТТ-150. Слева: спектр ярчайшей галактики скопления с указанием некоторых спектральных особенностей. Справа: значение χ^2 , полученное в результате сравнения этого спектра с шаблоном спектра эллиптической галактики.

наблюдения, и общее время экспозиции полученных спектроскопических изображений. В случае наблюдений скоплений галактик на нескольких телескопах время экспозиции складывалось. В предпоследнем столбце приведены краткие названия каталогов скоплений галактик, в которых они присутствуют. В последнем столбце приведены заметки.

В заметках табл. 1 приведены сведения о ранее подтвержденном или возможном наличии слабого линзирования галактик скоплениями (линза). Также ука-

заны названия каталогов, в которых приведены спектроскопические измерения красных смещений галактик, входящих в скопление, но не являющихся наиболее массивными членами красных последовательностей. Некоторые наиболее массивные галактики скоплений имеют узкие эмиссионные линии, соотношение потоков которых характерно для галактик со звездообразованием. Указаны скопления галактик, в которых у одной или нескольких массивных галактик в центре скопления есть яркая эмиссионная линия [OII] $\lambda 3727$.

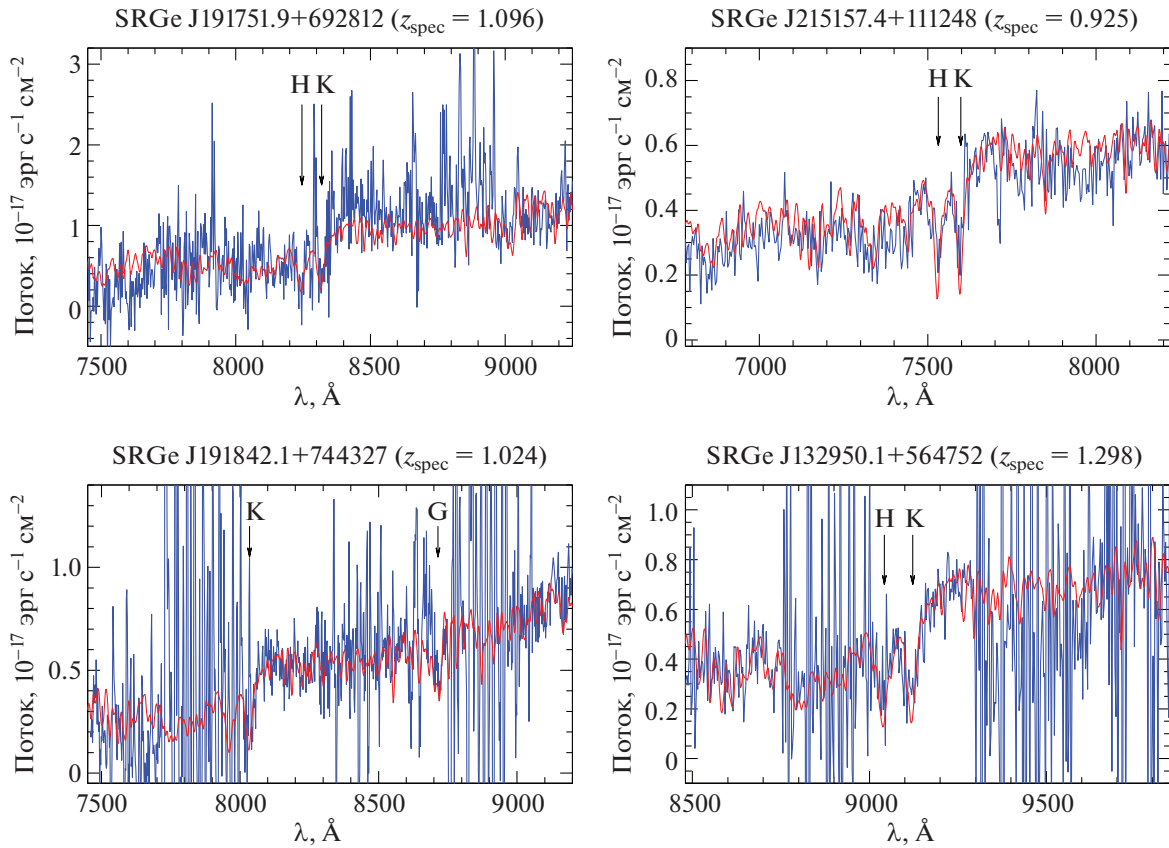


Рис. 4. Примеры спектроскопических измерений красных смещений ярчайших галактик наиболее удаленных далеких скоплений, обнаруженных в обзоре всего неба СРГ/еРОЗИТА, которые не публиковались ранее. Синей линией обозначены спектры галактик, полученные на телескопе БТА на спектрографе SCORPIO-2, красной линией обозначены шаблоны спектров сравнения. Для скопления SRGe J191751.9+692812 приведена сумма спектров двух галактик скопления.

Для нескольких таких скоплений ниже подготовлены заметки с оценкой темпа звездообразования в их cD -галактиках по излучению в линии [OII] $\lambda 3727$.

Часть скоплений галактик из табл. 1 ранее уже были опубликованы в работах Б21 (Буренин и др., 2021) и Б22 (Буренин и др., 2022). Эти скопления галактик также входят в программу наблюдений скоплений галактик из обзора всего неба СРГ/еРОЗИТА. Четыре скопления галактик наблюдались ранее в среднеполосных фильтрах на космическом телескопе им. Хаббла (HST). В этих работах приведена лишь фотометрическая оценка красных смещений на основе данных наблюдений телескопа им. Хаббла. Поэтому для этих скоплений галактик нами были получены спектроскопические измерения красных смещений. Скопления галактик, обсуждаемые в тексте отдельно, отмечены звездочкой.

Данные красных смещений галактик, для которых были измерены красные смещения, будут опубликованы позже в Страсбургском центре астрономических данных⁹. Всего измерены красные смещения около 450 галактик. Пример данных красных смещений галактик в поле пяти скоплений галактик, расположенных по

возрастанию прямых восхождений, приведен в табл. 2. В первом столбце приведено название поля скоплений галактик, определяемое по координатам центра рентгеновского источника. Во втором и третьем столбце приведены координаты галактик. В четвертом и пятом столбцах приведены красные смещения галактик и, при наличии, их ошибки. Точность измерения красных смещений для разных галактик может различаться, поэтому в таблице для различных галактик красные смещения указаны с разным количеством значащих цифр. В таблицу так же включены спектроскопические измерения красных смещений фоновых галактик и галактик переднего плана, свет от которых попал на щель спектрографа случайным образом в процессе наблюдений.

Распределение числа скоплений галактик, для которых были измерены красные смещения, приведено на рис. 5. В распределение не вошло одно скопление галактик, красное смещение которого чуть меньше $z = 0.1$. Это распределение показывает текущий прогресс выполнения программы спектроскопических измерений скоплений галактик из обзора всего неба СРГ/еРОЗИТА и статистической значимости не несет.

Сопоставление скоплений галактик из обзора всего неба СРГ/еРОЗИТА проводилось с другими каталогами скоплений галактик и каталогами рентгеновских

⁹ <https://cds.u-strasbg.fr/>

Таблица 1. Скопления галактик из обзора всего неба

Название источника	z_{spec}	N_{gal}	Телескоп	Время, мин	Каталоги	Заметки
SRGe J001104.8+272243	0.3212	3	БТА	60	WHL	
SRGe J001321.8-150316	0.458	2	RC2500	80	ACT	
SRGe J001502.8-151603	0.3353	2	БТА	45	ACT	
SRGe J001525.5-173051	0.4622	1	АЗТ-3ЗИК	40	PSZ1,ACT	
SRGe J001735.6-114916	0.500	2	RC2500	120	-	
SRGe J002641.7-152613	0.5946	3	БТА	80	ACT,WHL	
SRGe J003542.0+125554	0.247	2	RC2500	60	RM,NSC,NSCS,WHL	
SRGe J004431.2-175026	0.331	2	РТТ-150	120	-	
SRGe J010345.3+011836	0.199	2	RC2500	40	-	
SRGe J011738.7-131454	0.1052	1	RC2500	20	-	
SRGe J011817.8-215034	0.4727	2	БТА	50	-	
SRGe J012531.7+192251	0.5811	2	БТА	60	ACT	SDSS
SRGe J012711.9-162606	0.2509	2	АЗТ-3ЗИК	40	ACT	
SRGe J012915.6-134233	0.376	2	RC2500	80	ACT	
SRGe J013303.5+403457	0.3864	3	БТА	45	-	
SRGe J013923.7-112235	0.277	5	RC2500	80	PSZ2,ACT	
SRGe J014500.2+304113	0.7480	3	БТА	180	-	
SRGe J015010.0+214332	0.5658	2	БТА	45	-	SDSS
SRGe J015448.2+211639	0.593	1	RC2500	100	-	
SRGe J015747.8+381210	0.6827	4	БТА	60	-	Б22
SRGe J020037.1+373836	0.3139	4	БТА	45	-	
SRGe J020244.9+384733	0.3068	3	БТА	30	-	
SRGe J020629.8+363229	0.5164	3	БТА	40	-	Б22
SRGe J021228.1+112737	0.3990	2	БТА	45	-	
SRGe J021250.3-112414	0.3275	1	АЗТ-3ЗИК	40	ACT	
SRGe J021821.9+323337	0.4473	1	RC2500	120	WHL	ОП3727
SRGe J022017.6-102414	0.4572	3	БТА	60	ACT,WHL	
SRGe J022418.2+301934	0.480	2	RC2500	100	-	линза? *
SRGe J023005.7+194915	0.3368	3	БТА	60	-	
SRGe J023203.5+222043	0.305	1	РТТ-150	90	WHL	
SRGe J023251.9+102615	0.4510	1	РТТ-150	150	ACT	
SRGe J023820.8+200556	0.4205	2	БТА	30	WHL	Б22
SRGe J024102.2+255716	0.5732	4	БТА	105	-	Б22, ОП3727
SRGe J024108.6+141044	0.5539	5	БТА	60	ACT	
SRGe J024140.2+220924	0.438	2	RC2500, АЗТ-3ЗИК	60	-	
SRGe J024212.7+054452	0.2871	1	RC2500, АЗТ-3ЗИК	120	WHL,NSC	
SRGe J024450.4+264715	0.5176	2	БТА	60	-	
SRGe J024505.8+255725	0.3339	2	RC2500, АЗТ-3ЗИК	80	-	
SRGe J024508.5+184217	0.4405	1	АЗТ-3ЗИК	30	ACT	ОП3727
SRGe J024614.1+103920	0.4209	1	АЗТ-3ЗИК	40	-	
SRGe J024716.9+335442	0.2339	1	БТА	50	WHL	
SRGe J025827.1+174157	0.3859	3	БТА	75	-	
SRGe J030255.1+841349	0.4436	2	БТА	60	-	
SRGe J030526.0+094805	0.505	2	RC2500	180	ACT,WHL	
SRGe J030926.9+041339	0.458	1	RC2500	320	ACT	
SRGe J032452.5+843310	0.4138	1	БТА, АЗТ-3ЗИК	45	-	
SRGe J032444.4+113942	0.4794	2	БТА	60	-	
SRGe J033748.0+074743	0.4733	2	БТА	60	WHL	
SRGe J033950.5+280522	0.1755	3	БТА	40	-	
SRGe J034028.9+071047	0.2336	2	АЗТ-3ЗИК	40	WHL	
SRGe J034821.9+205702	0.2607	2	БТА	70	-	
SRGe J034900.1+213302	0.3478	3	БТА	60	-	Б22
SRGe J034934.9+110529	0.268	2	RC2500	80	WHL	
SRGe J035114.1+174311	0.1565	3	БТА	30	WHL	

Таблица 1. Продолжение

Название источника	z_{spec}	N_{gal}	Телескоп	Время, мин	Каталоги	Заметки
SRGe J035322.3+110340	0.2689	3	БТА	30	ACT,WHL,NSC	
SRGe J040249.5+135319	0.6194	3	БТА	60	ACT	
SRGe J040342.7+154444	0.5300	1	АЗТ-ЗЗИК	80	—	
SRGe J040844.2+133350	0.8013	1	БТА	180	—	
SRGe J041402.7+830258	0.5909	1	БТА	60	WHL	Б22
SRGe J043602.9+780337	0.5219	1	АЗТ-ЗЗИК	105	—	
SRGe J052742.4+800205	0.3843	2	АЗТ-ЗЗИК	150	—	
SRGe J062552.1+711624	0.7135	2	БТА	90	—	
SRGe J063357.4+574050	0.2361	3	БТА	50	—	
SRGe J064609.8+764805	0.4139	2	БТА	60	—	
SRGe J065344.7+552326	0.2369	1	РТТ-150	150	—	
SRGe J065908.8+811419	0.3614	2	АЗТ-ЗЗИК	120	—	
SRGe J070623.4+484612	0.3777	1	АЗТ-ЗЗИК	70	—	
SRGe J071221.3+593220	0.3315	1	АЗТ-ЗЗИК	40	MACS	HST
SRGe J072328.4+520707	0.6303	3	БТА	120	—	
SRGe J072935.4+643314	0.3640	2	АЗТ-ЗЗИК	90	—	
SRGe J073222.5+551230	0.4145	2	АЗТ-ЗЗИК	90	—	
SRGe J073609.4+515822	0.4795	1	АЗТ-ЗЗИК	70	—	
SRGe J073723.9+544908	0.2590	1	АЗТ-ЗЗИК	80	—	
SRGe J074554.3+800654	0.5270	3	БТА	80	—	
SRGe J074659.4+693740	0.5728	1	БТА	45	—	
SRGe J075537.4+562626	0.4527	1	АЗТ-ЗЗИК, РТТ-150	210	—	
SRGe J080501.8+692700	0.5382	1	РТТ-150	120	—	
SRGe J080514.7+745357	0.7491	2	БТА	70	—	
SRGe J083241.8+665352	0.180	2	RC2500	60	WHL,NSC	
SRGe J085156.5+744249	0.4195	1	АЗТ-ЗЗИК	75	—	
SRGe J085213.7+783256	0.5347	2	RC2500, АЗТ-ЗЗИК	70	—	
SRGe J090416.6+725951	0.2419	3	АЗТ-ЗЗИК	50	NSC	
SRGe J090723.8+671121	0.4911	2	БТА	45	—	
SRGe J091600.3+754812	0.1770	2	БТА	50	NSC	
SRGe J100900.9+721439	0.4441	1	БТА	20	—	
SRGe J102534.9+755226	0.6684	1	RC2500	140	—	
SRGe J103538.2+700645	0.4383	1	БТА	30	—	
SRGe J104446.3+723400	0.441	1	АЗТ-ЗЗИК	80	—	
SRGe J104533.9+781319	0.3953	1	АЗТ-ЗЗИК	70	WHL	
SRGe J105036.9+455126	0.8747	1	БТА	120	—	SDSS
SRGe J112840.5+763600	0.4782	1	АЗТ-ЗЗИК	80	WHL	
SRGe J113857.3+784117	0.6734	1	RC2500	160	—	
SRGe J115342.3+771302	0.3782	2	БТА, АЗТ-ЗЗИК	30	—	
SRGe J115858.1+705437	0.6337	1	БТА	90	WHL	
SRGe J120822.6+742216	0.3846	1	АЗТ-ЗЗИК	40	—	
SRGe J122502.7+862739	0.1972	2	АЗТ-ЗЗИК	70	—	
SRGe J123141.4+723821	0.328	1	РТТ-150	90	—	
SRGe J123221.8+592400	0.675	2	RC2500	240	—	ОП3727, SDSS
SRGe J124909.0+812316	0.5373	2	БТА	60	—	
SRGe J125053.7+862515	0.3691	1	АЗТ-ЗЗИК	60	—	
SRGe J125121.5+313125	0.5053	2	RC2500	70	WHL,NSCS	SDSS
SRGe J125445.4+470151	0.3214	2	АЗТ-ЗЗИК	90	NSC,NSCS,1RXS	
SRGe J131229.6+725048	0.5735	2	БТА	80	—	линза, *
SRGe J131253.5+725502	0.2955	3	БТА	50	—	
SRGe J132420.4+691724	0.3566	1	АЗТ-ЗЗИК	30	—	
SRGe J132810.3+524321	0.3217	2	АЗТ-ЗЗИК, РТТ-150	150	MACS,WHL	SDSS
SRGe J132950.1+564752	1.298	1	БТА	240	MOO	*
SRGe J134330.9+792821	0.4476	4	БТА	40	—	

Таблица 1. Продолжение

Название источника	z_{spec}	N_{gal}	Телескоп	Время, мин	Каталоги	Заметки
SRGeJ135353.3+733157	0.4780	1	БТА	60	—	ОИ3727, *
SRGeJ135628.1+793836	0.4530	2	А3Т-33ИК	60	—	
SRGeJ135900.1+672547	0.4544	3	А3Т-33ИК	150	—	
SRGeJ135917.9+744637	0.196	1	RC2500	100	NSC	
SRGeJ142452.1+662238	0.2409	2	А3Т-33ИК, РТТ-150	70	NSC	
SRGeJ143202.2+851737	0.5684	2	БТА	90	—	QSO *
SRGeJ144035.3+661630	0.699	2	RC2500	80	—	
SRGeJ144245.4+585306	0.6238	1	БТА	90	—	SDSS
SRGeJ144605.0+753727	0.1737	2	А3Т-33ИК	50	—	
SRGeJ145131.8+810640	0.546	2	RC2500	120	—	
SRGeJ150225.3+653951	0.6502	6	БТА	90	—	ОИ3727
SRGeJ150743.4+700724	0.5154	2	А3Т-33ИК	100	—	
SRGeJ150823.5+645304	0.2520	2	А3Т-33ИК	80	NSC	
SRGeJ151051.9+670628	0.4196	2	А3Т-33ИК	30	ХММ, WHL, NSC	
SRGeJ152236.4+640543	0.702	1	RC2500	100	WHL	
SRGeJ152736.6+095513	0.7574	2	БТА	60	ACT	
SRGeJ152854.9+852009	0.2520	3	А3Т-33ИК	70	—	
SRGeJ153256.6+670715	0.7246	2	БТА	120	—	
SRGeJ154729.2+701838	0.554	1	RC2500	40	—	
SRGeJ155449.4+535841	0.7434	2	БТА	90	—	
SRGeJ160002.5-035434	0.2729	1	РТТ-150	100	—	
SRGeJ160121.3+712533	0.3349	2	А3Т-33ИК, РТТ-150	40	—	
SRGeJ160205.7+650555	0.2512	2	РТТ-150	85	NSC	
SRGeJ160948.4-040052	0.3495	1	А3Т-33ИК	30	—	
SRGeJ161215.6+662009	0.616	1	RC2500	120	—	
SRGeJ161519.8-035343	0.262	3	RC2500	80	ACT, WHL	
SRGeJ162051.3+651237	0.1685	2	А3Т-33ИК	40	NSC	
SRGeJ162125.2+723233	0.5884	2	БТА	50	—	
SRGeJ162126.4+602653	0.2822	1	РТТ-150	30	NSC	
SRGeJ162545.1+672930	0.8132	1	БТА	90	—	линза, *
SRGeJ163405.9+632020	0.5174	1	БТА	45	WHL	
SRGeJ164110.0+100449	0.3371	1	РТТ-150	90	WHL	
SRGeJ164201.1+575631	0.292	2	RC2500	60	—	
SRGeJ164500.8+014009	0.337	3	RC2500	40	ACT, MACS, WHL	HST
SRGeJ164727.5+044052	0.278	2	RC2500	20	ACT, WHL	
SRGeJ165012.0+650920	0.3835	2	А3Т-33ИК	10	—	
SRGeJ165151.8+081034	0.3288	1	А3Т-33ИК	40	—	
SRGeJ165201.9+800430	0.8131	2	БТА	105	—	
SRGeJ165218.4+553455	0.324	2	RC2500	20	MACS	HST
SRGeJ170139.9+474516	0.3846	4	БТА	60	RM, WHL	SDSS
SRGeJ170519.0+850451	0.3036	2	БТА	30	—	
SRGeJ171430.8+481644	0.253	2	RC2500	60	—	
SRGeJ171621.3+325646	0.2583	2	RC2500	40	RM, WHL	SDSS
SRGeJ171628.9+193457	0.1764	1	РТТ-150	50	ACT, Zw, NSC	
SRGeJ172037.9+212851	0.3017	2	RC2500	40	—	
SRGeJ172321.5+235041	0.229	1	РТТ-150	60	—	*
SRGeJ172643.2+653917	0.4958	1	А3Т-33ИК	30	WHL	
SRGeJ173225.2+193340	0.540	2	RC2500	80	ACT	
SRGeJ173349.5+330419	0.401	1	РТТ-150	100	RM, WHL	
SRGeJ173355.8+300018	0.201	1	РТТ-150	60	WHL	
SRGeJ173721.0+334748	0.3822	1	RC2500	20	WHL	
SRGeJ173807.2+600621	0.3317	2	БТА	40	MACS, WHL	HST
SRGeJ174014.2+594415	0.601	2	RC2500	60	WHL	
SRGeJ174110.4+471720	0.4793	2	БТА	60	WHL	ОИ3727

Таблица 1. Окончание

Название источника	z_{spec}	N_{gal}	Телескоп	Время, мин	Каталоги	Заметки
SRGe J174334.2+420106	0.4713	1	БТА	90	WHL	
SRGe J174434.9+822459	0.440	1	RC2500	100	—	
SRGe J174538.1+500041	0.6285	1	БТА	60	WHL	Б22
SRGe J174629.3+472502	0.4816	6	БТА	45	WHL	линза, *
SRGe J175035.3+435243	0.481	1	RC2500	40	WHL	
SRGe J175052.5+415846	0.5828	2	БТА	90	WHL	
SRGe J175155.8+295145	0.3582	3	БТА	60	—	
SRGe J175307.3+583500	0.429	2	RC2500	80	WHL	
SRGe J175729.4+304539	0.6146	2	БТА	45	—	
SRGe J180245.8+292831	0.6816	1	БТА	150	—	
SRGe J180303.3+374252	0.3428	2	БТА	60	WHY	
SRGe J181119.7+431250	0.5183	2	БТА	70	WHL	
SRGe J181528.3+831620	0.5464	2	БТА	45	—	
SRGe J182326.3+541527	0.5335	2	БТА, РТТ-150	140	—	
SRGe J182323.1+840138	0.185	2	РТТ-150	180	—	
SRGe J182722.2+463850	0.4730	2	БТА	90	—	
SRGe J183034.3+565339	0.7867	2	БТА	45	PSZ2	Б22
SRGe J183852.4+662829	0.3951	2	БТА	50	—	
SRGe J184121.6+535027	0.946	2	БТА	90	—	Б22
SRGe J185131.4+653106	0.4633	2	БТА	105	—	
SRGe J191309.4+740148	0.2696	3	БТА	75	—	
SRGe J191751.9+692812	1.098	2	БТА	160	—	*
SRGe J191842.1+744327	1.024	1	БТА	150	—	*
SRGe J192345.4+730903	0.2762	2	БТА	75	—	
SRGe J192913.6+643318	0.4295	2	БТА	60	—	
SRGe J200210.7+780245	0.3468	4	БТА	60	WHL	
SRGe J204908.2+763440	0.5085	3	БТА	90	—	
SRGe J205158.7-013116	0.3869	4	БТА	60	ACT	
SRGe J210510.1-032638	0.8374	1	БТА	50	—	Б22
SRGe J210510.6-224911	0.7573	2	БТА	80	ACT,SPT	Б21
SRGe J213403.2+141635	0.3776	1	БТА	45	ACT	
SRGe J213701.4-130727	0.2029	2	РТТ-150	40	—	
SRGe J213703.6-150529	0.2103	1	АЗТ-33ИК	40	—	2dF
SRGe J213714.3-223216	0.6137	2	БТА	120	—	Б22
SRGe J214054.0-191035	0.5073	3	БТА	90	—	
SRGe J215157.4+111248	0.919	2	БТА	120	ACT	*
SRGe J220744.1-041657	0.092	3	РТТ-150	250	—	
SRGe J221101.3-065318	0.3697	5	БТА, РТТ-150	200	ACT, RM, WHL	
SRGe J221953.2-035005	0.4306	2	БТА	45	ACT, RM, WHL	
SRGe J222556.3-123904	0.2752	1	РТТ-150	50	—	6dF
SRGe J222701.8-053047	0.2855	1	АЗТ-33ИК	50	ACT, RM, WHL	
SRGe J224722.8+113354	0.6905	3	БТА	120	—	
SRGe J224811.8+353319	0.2238	1	АЗТ-33ИК	10	—	
SRGe J225817.2-225553	0.5279	2	БТА	60	ACT, SPT	
SRGe J230019.3-133429	0.338	2	RC2500	40	—	
SRGe J230237.3+353606	0.5209	2	БТА	40	—	
SRGe J231103.8-125846	0.405	2	RC2500	80	ACT	
SRGe J231522.4+090705	0.7350	3	БТА	120	ACT	SDSS
SRGe J231534.7-064746	0.3265	1	РТТ-150	45	ACT, RM, WHL	
SRGe J231613.5-060924	0.281	3	РТТ-150	180	ACT, RM, WHL	
SRGe J231745.7-110412	0.7217	2	БТА	70	ACT	
SRGe J232006.8-120210	0.404	2	RC2500	60	ACT	
SRGe J232204.4+394150	0.6278	2	БТА	90	—	
SRGe J234200.4+833346	0.7551	4	БТА	60	—	

Таблица 2. Красные смещения галактик. Полная версия таблицы будет позже опубликована в Страсбургском центре астрономических данных

Поле источника	Координаты (J2000)		z_{spec}	z_{spec}^{err}
	α	δ		
SRGe J001104.8+272243	00 11 04.6	+27 22 32	0.3193	0.0006
SRGe J001104.8+272243	00 11 04.7	+27 22 35	0.3217	0.0006
SRGe J001104.8+272243	00 11 04.8	+27 22 39	0.3228	0.0004
SRGe J001321.8–150316	00 13 20.7	–15 02 52	0.455	
SRGe J001321.8–150316	00 13 22.9	–15 03 17	0.458	
SRGe J001502.8–151603	00 15 01.6	–15 16 01	0.3335	0.0003
SRGe J001502.8–151603	00 15 03.5	–15 16 20	0.3370	0.0004
SRGe J001525.5–173051	00 15 24.4	–17 30 35	0.4622	0.0019
SRGe J001735.6–11491	00 17 36.2	–11 49 15	0.499	
SRGe J001735.6–11491	00 17 36.2	–11 49 15	0.500	
SRGe J002641.7–152613	00 26 42.1	–15 26 36	0.5929	0.0010
SRGe J002641.7–152613	00 26 42.2	–15 26 08	0.6016	0.0030
SRGe J002641.7–152613	00 26 42.2	–15 26 19	0.5963	0.0014

...

источников при помощи внегалактической базы данных NED¹⁰. Радиус сопоставления принимался равным 5'. Из 216 скоплений галактик 139 скоплений не удалось сопоставить с объектами из других каталогов. Эти скопления галактик обнаружены впервые. Для всех скоплений галактик в табл. 1, которые присутствуют в других каталогах, нами были измерены спектроскопические красные смещения. В других каталогах для этих скоплений галактик указаны только фотометрические оценки красных смещений. Несколько скоплений галактик уже известны как источники рентгеновского излучения из данных космических рентгеновских обсерваторий *ROSAT* (Фогес и др., 1999; Эбелинг и др., 2001) и *XMM-Newton* (Мертенс и др., 2012). Около 40 скоплений галактик известны как источники сигнала Сюняева–Зельдовича из обзоров Атакамской обсерватории (Хилтон и др., 2021), Южного полярного телескопа (Блим и др., 2020) и космической обсерватории им. Планка (Сообщество Планка, 2014а, 2016а). В некоторых случаях красные смещения галактик, входящих в скопления, измерены спектроскопическим способом в Слоановском обзоре (Сообщество СДСС, 2020), в обзоре *2df* (Коллесс и др., 2003) и *6df* (Джонс и др., 2009). Эти галактики не входят в число наиболее ярких галактик скоплений и расположены на удалении от центральных областей скоплений. Поэтому в этих случаях принято решение провести дополнительные наблюдения для уточнения красных смещений этих скоплений. В табл. 3

приведены списки каталогов и количество сопоставленных скоплений галактик.

В 2023 г. был разработан алгоритм оценки красных смещений скоплений галактик обзора SRГ/еРОЗИТА по фотометрическим оценкам красных смещений га-

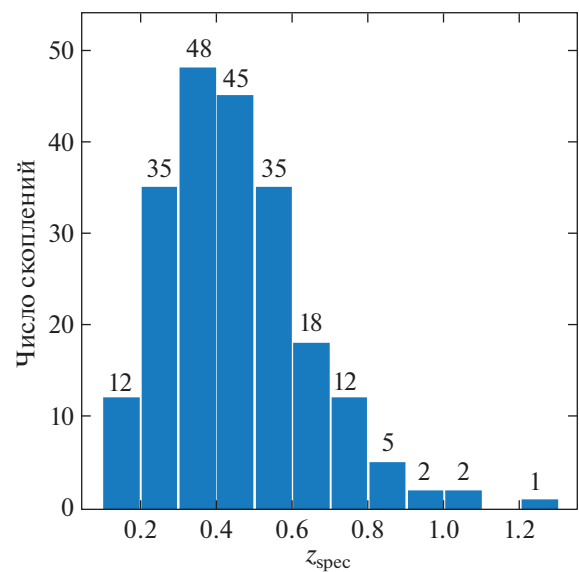
**Рис. 5.** Распределение числа скоплений галактик из обзора SRГ/еРОЗИТА, красные смещения которых были измерены, в зависимости от их красного смещения.¹⁰ <https://ned.ipac.caltech.edu/>

Таблица 3. Количество скоплений галактик, отождествляемых со скоплениями в других каталогах

Каталог	Количество	Ссылка
—	139	
WHL	51	Вэнь и др. (2012)
ACT	37	Хилтон и др. (2021)
NSC	15	Гал и др. (2009)
RM	9	Рыкофф и др. (2014)
MACS	5	Эбелинг и др. (2001)
NSCS	3	Лопес и др. (2004)
SPT	2	Блим и др. (2020)
PSZ2	2	Сообщество Планка (2016a)
PSZ1	1	Сообщество Планка (2014a)
Zw	1	Цвикки и др. (1963)
XMM	1	Мертенс и др. (2012)
WHY	1	Юань и др. (2022)
MOO	1	Гонзалес и др. (2019)

лактик (Зазнобин и др., 2023). С помощью алгоритма были оценены красные смещения 149 скоплений галактик на $z_{\text{spec}} \lesssim 0.8$ и определен параметр надежности оптического отождествления скоплений. Часть скоплений галактик оказались вне области обзора *DESI*

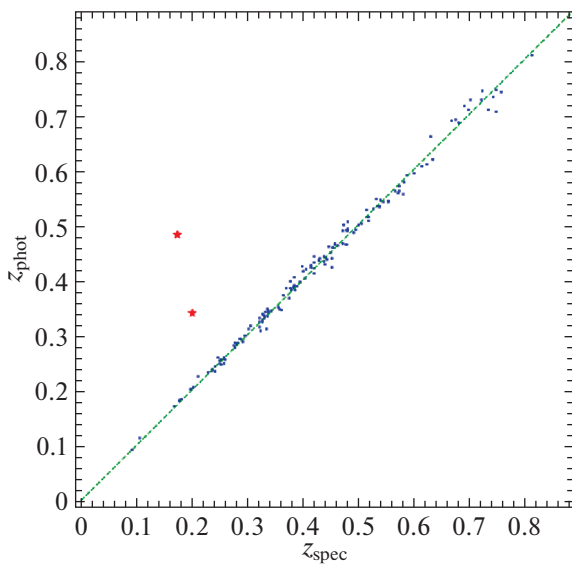


Рис. 6. Соотношение фотометрических оценок красных смещений скоплений галактик из обзора SRG/ePOZITA (по вертикали) с их спектроскопическими измерениями (по горизонтали). Красными звездочками показаны скопления галактик SRGe J144605.0+753727 и SRGe J173355.8+300018 с большим несоответствием фотометрического и спектроскопического красного смещения.

(Дэй и др., 2019), где работает алгоритм. Другая часть скоплений галактик оказались слишком далекими, поэтому в используемом алгоритмом каталоге Цзоу и др. (2022) отсутствуют фотометрические оценки красных смещений галактик, входящие в эти скопления. Поэтому фотометрическим алгоритмом оценены красные смещения только части скоплений галактик. Соотношение спектроскопических измерений красных смещений и их фотометрических оценок приведено на рис. 6, где по вертикали приведены фотометрические оценки, а по горизонтали спектроскопические измерения. Точность фотометрической оценки составляет $\delta z / (1 + z) \approx 0.007$ для скоплений галактик на $z < 0.8$.

В случае двух скоплений галактик SRGe J144605.0+753727 и SRGe J173355.8+300018 алгоритм дает оценки красных смещений не соответствующих спектроскопическим измерениям (показаны красными звездочками на рис. 6). Показатель надежности оптического отождествления этих скоплений галактик равняется 0.10 и 0.74 соответственно, что указывает на возможную неточность в отождествлении этих скоплений галактик. В случае скоплений галактик SRGe J173355.8+300018 с параметром надежности 0.74, алгоритм указывает на возможное наличие проекции.

Замечания по отдельным объектам

SRGe J022418.2+301934. При просмотре изображений обзора *DESI LIS*, в центральной части скопления была обнаружена очень слабая протяженная структура, форма и ориентация по отношению к центру скопления которой характерна для линзированных галактик.

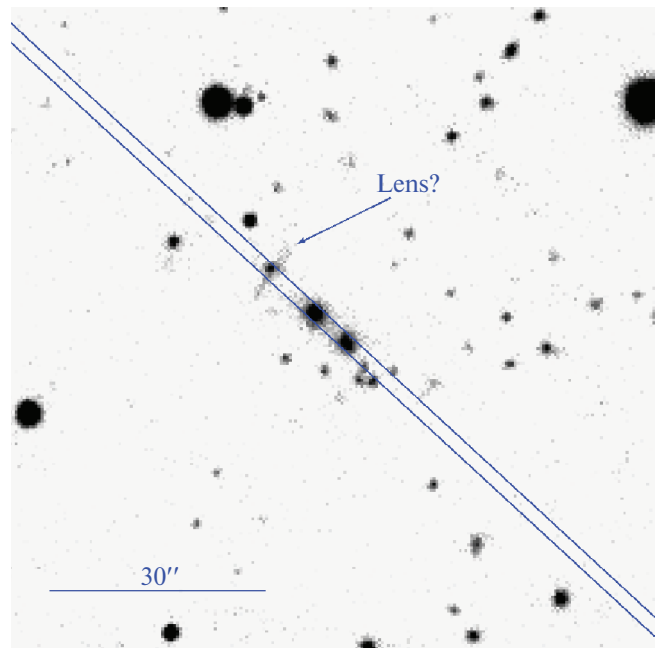


Рис. 7. Изображение в фильтре *r* центральной области скопления галактик SRGe J022418.2+301934, взятое из обзора *DESI LIS*. Синими линиями показаны контуры щели TDS шириной 2". Стрелочкой показан кандидат в линзированную галактику.

Изображение кандидата в линзированные галактики приведено на рис. 7, координаты объекта 02 24 19.6+30 19 39. На рисунке приведена конфигурация щели и обозначен кандидат в линзируемую галактику. Видно, что положение щели мы определили таким образом, чтобы две наиболее яркие галактики скопления ($r \sim 20^m$) и кандидат в линзированную галактику попали на щель спектрографа. Наблюдения были проведены 1 октября 2022 г. на 2.5-м телескопе КГО, получено четыре спектроскопических изображения по 1200 с, отношение сигнала к шуму галактик составляет примерно 2.5–2.7. Красное смещение обеих галактик одинаково и равно $z_{\text{spec}} = 0.480$, спектр кандидата в линзированные галактики очень слабый и поэтому не может быть извлечен. Наблюдение этого объекта отдельно не проводилось, так как это требует большого количества наблюдательного времени на больших телескопах и выходит за рамки наблюдательной программы.

SRGe J131253.5+725502. В этом скоплении наблюдается эффект слабого гравитационного линзирования фоновых галактик, который описан в работе Дале и др. (2003). В этой работе приведены фотометрические оценки красного смещения скопления, поэтому нами принято решение провести спектроскопические наблюдения галактик этого скопления на телескопе БТА.

SRGe J132950.1+564752. Это наиболее далекое скопление галактик, обнаруженное в обзоре всего неба СРГ/еРОЗИТА, красное смещение которого удалось измерить спектроскопическим образом. Спектр галактик этого скопления получен 14–15 мая 2021 г. на телескопе БТА на спектрографе SCORPIO-2. В общей сложности было получено 16 спектроскопических изображений по 1200 с каждое в решетке VPHG1200@860. Координаты центра щели 13 29 50.1 +56 47 52, позиционный угол щели $PA = 276.7^\circ$. В результате обработки измерено красное смещение наиболее яркой галактики скопления: $z_{\text{spec}} = 1.298$ с координатами 13 29 51.4 +56 47 50. Спектр этой галактики приведен на рис. 4 в нижнем ряду справа. Так же на щель спектрографа попал свет от еще одной галактики, входящей в скопление. Спектр этой галактики оказался слабым и сильно зашумленным. Однако на нем можно различить спектральные особенности в области 9000–9200 Å, которые могут быть фраунгоферовыми линиями K и H , а также 4000 Å — скачок на красном смещении $z \approx 1.3$.

Это скопление галактик отождествляется со скоплением галактик МОО J1329+5647 с фотометрической оценкой красного смещения $z_{\text{phot}} = 1.43 \pm 0.04$ (Гонзалез и др., 2019). Для этого скопления были получены глубокие прямые изображения. Получено по 24 изображения по 60 с в фильтрах iz 09 ноября 2021 г. на телескопе БТА на спектрографе SCORPIO-2, качество 1.1". На 2.5-м телескопе КГО на приборе AstroNIRCam 11 и 27 декабря 2021 г. было получено 72 изображения в фильтре J суммарной экспозицией 6945 с и 30 декабря 2021 г. было получено 120 изображений в фильтре K суммарной экспозицией 3500 с. Псевдоцветное изображение скопления приведено на рис. 8.

SRGe J135353.3+733157. Спектр cD -галактики этого скопления содержит яркую запрещенную линию

[OII] 3727 Å. Координаты галактики 13 53 53.2 +73 31 56, измеренное спектроскопическое красное смещение $z_{\text{spec}} = 0.4780$. В предыдущей работе (Буренин и др., 2022) мы приводили оценки темпа звездообразования наиболее ярких галактик скоплений, оцененных по светимости галактики в линии [OII] 3727 Å. В случае скопления SRGe J135353.3+733157 звездообразование наблюдается в наиболее яркой галактике скопления в ее центральной части. Поэтому для него мы так же оценили темп звездообразования.

Для этого мы оценили межзвездное поглощение, используя модель из работы Шлафли и др. (2014), которое для скопления SRGe J135353.3+733157 с координатами $l \approx 117^\circ$ и $b \approx 43^\circ$ оказалось пренебрежимо мало $E(B - V) = 0.007 \pm 0.025$ и им можно пренебречь. Поток в линии [OII] λ 3727Å равен $F_{\text{OII}\lambda 3727} = (3.6 \pm 0.4) \times 10^{-15}$ эрг/с/см². Для определения светимости в линии мы использовали Λ CDM-модель плоской Вселенной с параметрами $H_0 = 70$ км/с/Мпк, $\Omega_M = 0.3$. Светимость в линии [OII] λ 3727Å оказалась равна $L_{\text{OII}\lambda 3727} = (3.1 \pm 0.3) \times 10^{42}$ эрг/с. Если не учитывать возможный вклад от излучения активного ядра галактики, то, используя соотношение из работы Кенникатт и др. (1998), можно оценить верхний предел на темп звездообразования как $SFR < 43 M_\odot/\text{год}$.

SRGe J143202.2+851737. При наблюдениях этого скопления галактик на телескопе БТА в щель спектрографа SCORPIO-2 попал квазар на красном смещении $z_{\text{spec}} = 1.945$, расположенный на удалении около 2' от центра скопления, координаты квазара 14 32 03.1 +85 15 28. Красное смещение квазара было измерено по линиям излучения CIII λ 1908 и CIV λ 1549 (см. рис. 9). В обзоре СРГ/еРОЗИТА не обнаружено рентгеновского источника, который совпадал по координатам с этим квазаром.

SRGe J162545.1+672930. В центральной области этого скопления есть очень слабая протяженная структура на изображениях обзора DESI LIS, которая может быть линзируемой галактикой, координаты объекта 16 25 45.7 +67 29 46 (рис. 10). Яркость объекта очень низкая, поэтому он не рассматривался как цель для спектроскопических наблюдений.

SRGe J172321.5+235041. Наблюдения cD -галактики скопления, с координатами 17 23 21.6 +23 50 39, проводились 3 августа 2022 г. на телескопе РТТ-150. Спектр галактики сильно зашумлен и содержит линии излучения H α и [NII] λ 6584, 4000 Å скачок. Линии H β и [OIII] λ 5007 отсутствуют на уровне 2σ . Качество спектра позволяет измерить красное смещение cD -галактики скопления, но не позволяет достоверно измерить потоки в линиях H α и [NII] λ 6584. Поэтому, чтобы утверждать о наличии активности в ядре cD -галактики скопления или наличии звездообразования в ней, необходимо провести дополнительные спектроскопические наблюдения.

SRGe J174629.3+472502. В центральной области этого скопления галактик есть протяженная структура с координатами 17 46 29.6 +47 24 44, которая может быть линзируемой галактикой (рис. 11). Поэтому при наблюдениях этого скопления галактик использовалась

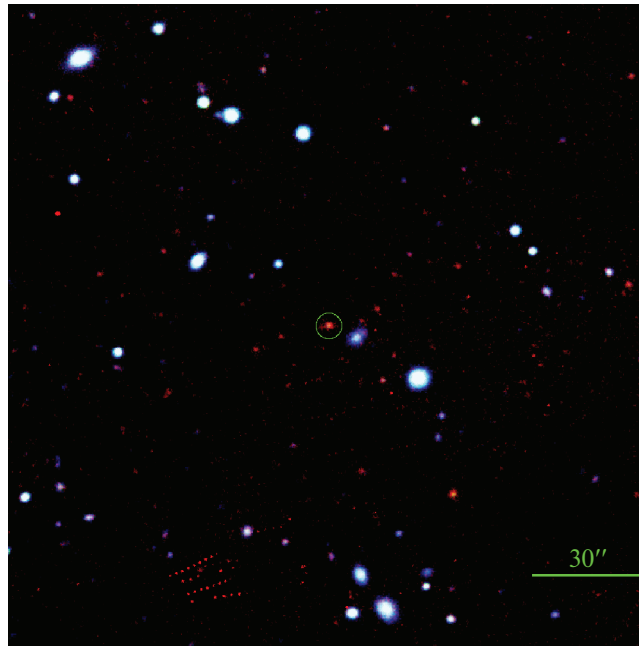


Рис. 8. Псевдоцветное изображение в фильтрах Jzi (RGB) скопления галактик SRGe J132950.1+564752. Зеленой окружностью обозначена наиболее яркая галактика скопления, для которой был получен спектр на БТА. Суммарная экспозиция в фильтрах iz — 1440 с (БТА, SCORPIO-2), в фильтре J — 6945 с (2.5-м телескоп КГО, AstroNIRCam).

конфигурация щели, которая позволяла получить спектры большого числа галактик скопления, включая cD -галактику и спектр кандидата в линзируемую галактику. Наблюдения этого объекта проводились 28 июня 2020 г. на телескопе БТА на спектрографе SCORPIO-2. Всего было получено три спектроскопических изображения по 900 с каждое при качестве $1.7''$. Были извлечены спектры 11 объектов, попавших на щель спектрографа, из которых шесть объектов оказались галактиками скопления SRGe J174629.3+472502 на красном смещении $z_{\text{spec}} \approx 0.482$. Спектр кандидата в линзируемую

галактику оказался очень слабым, чтобы можно было измерить его красное смещение.

SRGe J191751.9+692812. Спектр галактик этого скопления получен 27 августа 2022 г. на телескопе БТА на спектрографе SCORPIO-2. Было получено восемь спектроскопических изображений по 1200 с каждое в решетке VPHG1200@860. Координаты центра щели $19\ 17\ 43.9\ +69\ 27\ 51$, позиционный угол щели $PA = 27.3^\circ$. В результате обработки измерены красные смещения двух галактик скопления: $z_1 = 1.096 \pm 0.003$, $z_2 = 1.101 \pm 0.005$. Сумма спектров этих двух галактик приведена на рис. 4 в верхнем ряду слева.

Также были получены глубокие прямые изображения скопления. Получено 6 изображений по 90 с в фильтрах iz на телескопе БТА на спектрографе SCORPIO-2 и получено 42 изображения в фильтре J суммарной экспозицией 4051 с на 2.5-м телескопе КГО на приборе AstroNIRCam. Псевдоцветное изображение в фильтрах Jzi (RGB) поля скопления приведено на рис. 12.

SRGe J191842.1+744327. Спектр галактик этого скопления получен 23 октября 2020 г. на телескопе БТА на спектрографе SCORPIO-2. Было получено 10 спектроскопических изображений по 900 с каждое в решетке VPHG1200@860 при качестве прямых изображений $2''$. Координаты центра щели $19\ 18\ 42.1\ +74\ 43\ 31$, позиционный угол щели $PA = 112.6^\circ$. В результате обработки измерено красное смещение наиболее яркой галактики скопления: $z_{\text{spec}} = 1.024$ координатами $19\ 18\ 45.0\ +74\ 43\ 26$, красные смещения других галактик на щели спектрографа достоверно определить не получилось.

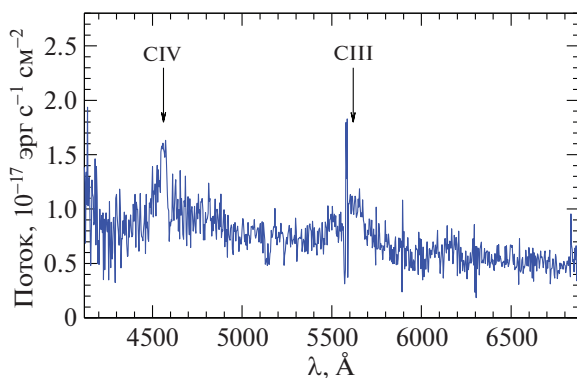


Рис. 9. Спектр квазара на красном смещении $z_{\text{spec}} = 1.945$, полученный на телескопе БТА на спектрографе SCORPIO-2 при наблюдении скопления галактик SRGe J143202.2+851737.

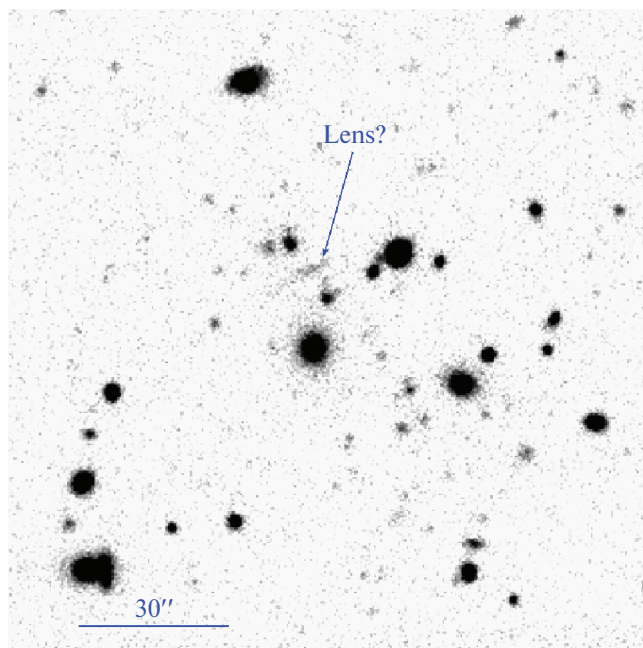


Рис. 10. Изображение в фильтре r центральной области скопления галактик SRGe J162545.1+672930, взятое из обзора *DESI LIS*. Стрелочкой показан кандидат в линзированную галактику.

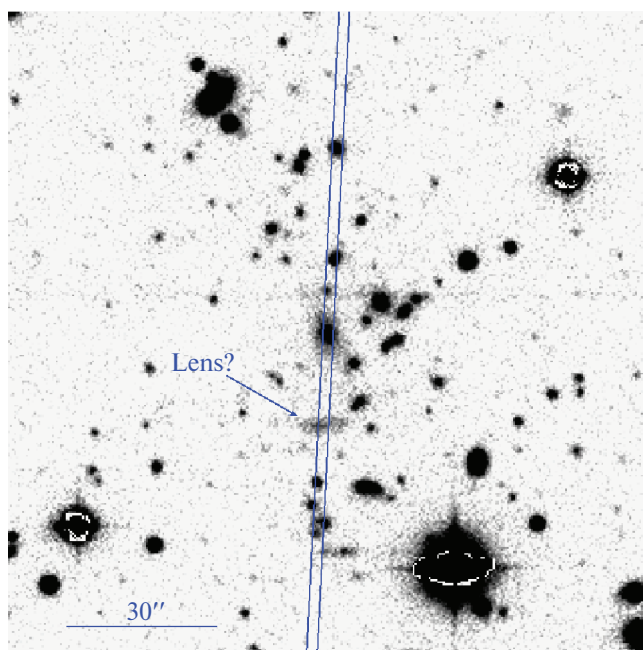


Рис. 11. Изображение в фильтре r центральной области скопления галактик SRGe J174629.3+472502, взятое из обзора *DESI LIS*. Синими линиями показаны контуры щели шириной $2''$. Стрелочкой показан кандидат в линзированную галактику.

Спектр галактики приведен на рис. 4 в нижнем ряду слева.

Также 09 ноября 2020 г. были получены глубокие прямые изображения скопления. Получено по 16 изоб-

ражений по 90 с в фильтрах riz на телескопе БТА на спектрографе *SCORPIO-2*. Качество изображений $1.4''$. Псевдоцветное изображение в фильтрах zir (RGB) поля скопления приведено на рис. 13.

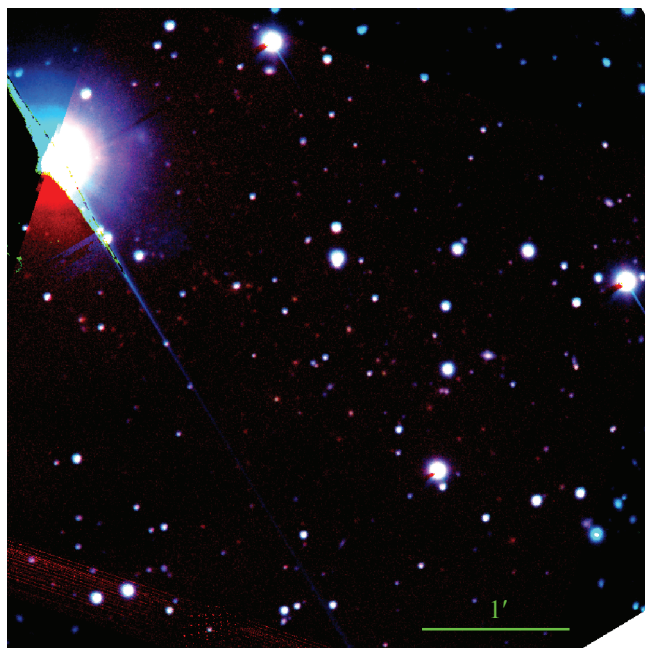


Рис. 12. Псевдоцветное изображение в фильтрах Jzi (RGB) скопления галактик SRGB J191751.9+692812. Суммарная экспозиция в фильтрах iz — 540 с (БТА, SCORPIO-2), в фильтре J — 4051 с (2.5-м телескоп КГО, AstroNIRCam).

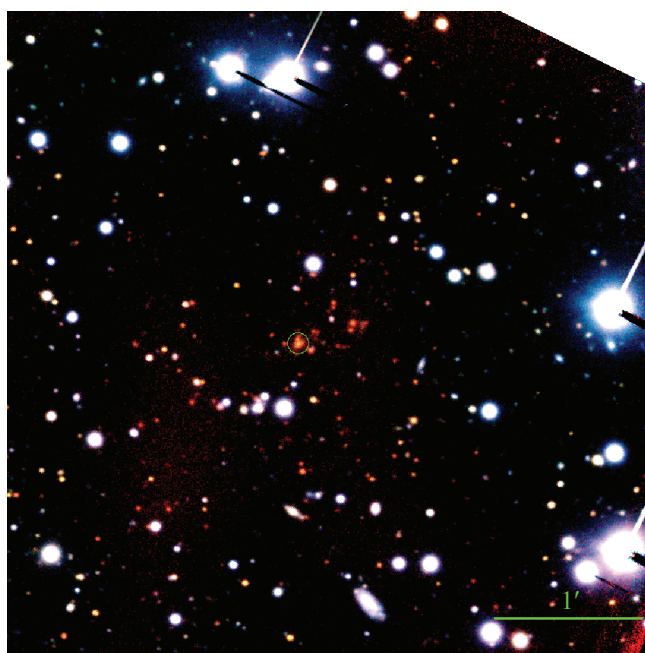


Рис. 13. Псевдоцветное изображение в фильтрах zir (RGB) скопления галактик SRGB J191842.1+744327. Зеленой окружностью обозначена наиболее яркая галактика скопления, для которой был получен спектр на БТА. Суммарная экспозиция в фильтрах riz — 1440 с (БТА, SCORPIO-2).

SRGB J215157.4+111248. Для этого объекта были получены спектры двух галактик (рис. 14 и 15), красные смещения которых были оценены как $z \sim 0.9$. Поэтому мы сделали учет атмосферного поглощения O_2 на 7580–7700 Å как описано выше. На рис. 15 приведены

спектры галактики до учета атмосферного поглощения и после. После учета поглощения на спектрах галактик обнаружены фраунгоферовы линии поглощения H и K . Сравнение их спектров со спектром шаблона возрастом 2.5 млрд лет $Z = 0.008$ позволяет определить красное

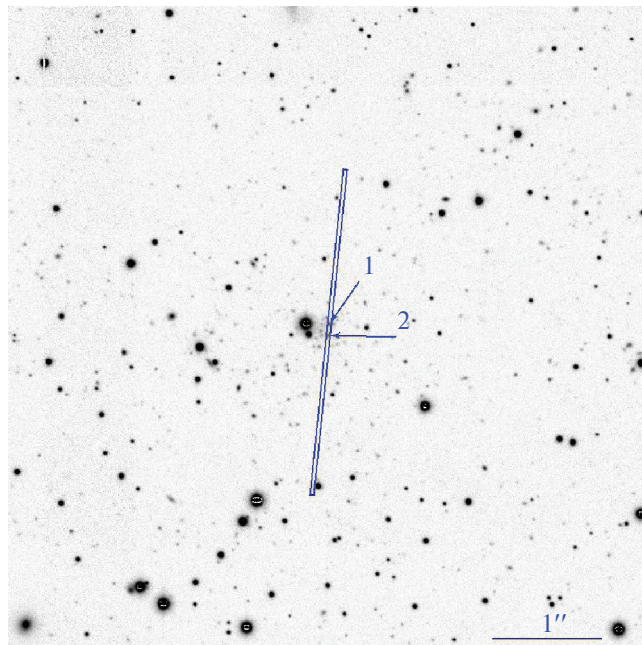


Рис. 14. Картинка наведения в фильтре r скопления галактик SRGe J215157.4+111248 для наблюдения на телескопе БТА, взятая из обзора *DESI LIS*. Синим прямоугольником обозначена ориентация длинной щели спектрографа *SCORPIO-2* шириной $2''$. Позиционный угол щели $PA = 354.2^\circ$, координаты центра щели $21\ 51\ 57.9\ +11\ 12\ 56$. Галактики 1 и 2 обозначены стрелочками.

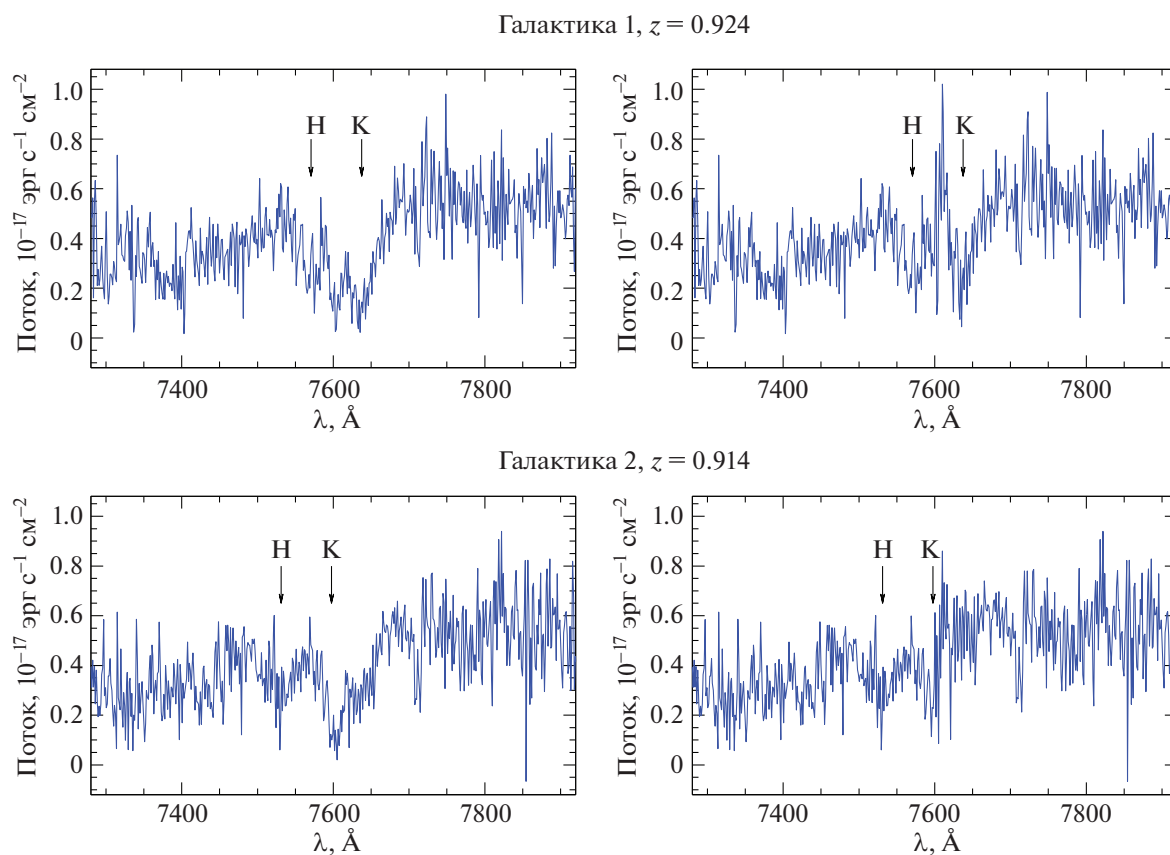


Рис. 15. Спектры двух галактик скопления SRGe J215157.4+111248. Показаны спектры галактик до учета атмосферного поглощения O_2 в левом ряду и после учета — в правом ряду.

смещение галактик как $z_{\text{spec}} = 0.914$ и $z_{\text{spec}} = 0.924$. Поэтому мы определили красное смещение скопления SRGe J215157.4+111248 как $z = 0.919$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения программы оптического отождествления и спектроскопических наблюдений скоплений галактик, обнаруженных в ходе обзора всего неба SRG/ePOZITA, в период с июня 2020 г. по сентябрь 2023 г. были получены спектры и измерены красные смещения 216 скоплений галактик. В их числе 139 скоплений галактик обнаружены впервые. Всего получены спектры 106 скоплений галактик на телескопе БТА, 45 на 2.5-м телескопе КГО, 51 на АЗТ-ЗЗИК и 26 на РТТ-150.

Всего были измерены красные смещения 22 далеких скоплений галактик на $z > 0.7$. Наиболее далекое скопление галактик, обнаруженное в ходе обзора всего неба SRG/ePOZITA, спектроскопическое красное смещение которого было измерено, находится на красном смещении $z_{\text{spec}} = 1.298$. Для некоторых далеких скоплений галактик были получены глубокие прямые изображения на телескопах БТА, АЗТ-ЗЗИК и РТТ-150 в фильтрах *riz* Слоановской системы и в фильтрах *JK* на 2.5-м телескопе КГО. В дальнейшем планируется продолжать эту работу, чтобы получить калибровки зависимости цвета красных последовательностей далеких $z > 0.7$ скоплений галактик от их красных смещений. В наиболее ярких галактиках некоторых скоплений обнаружены линии излучения, которые являются индикаторами звездообразования в галактическом ядре. При просмотре прямых изображений из обзора DESI LIS полей скоплений галактик обнаружено несколько кандидатов в линзируемые галактики.

Представленные данные являются результатом трехлетней работы по оптическому отождествлению и спектроскопическим измерениям красных смещений одних из наиболее массивных скоплений галактик, обнаруженных в обзоре всего неба SRG/ePOZITA. Предполагается, что в дальнейшем работа по оптическому отождествлению и спектроскопическим измерениям скоплений галактик из обзора SRG/ePOZITA будет продолжена. Также планируется продолжить фотометрические наблюдения далеких скоплений галактик, расположенных на красных смещениях $z \sim 1$ и выше, для их оптического отождествления и для последующей калибровки фотометрической оценки красных смещений далеких скоплений галактик от цвета их красных последовательностей.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 21-12-00210. Наблюдения на телескопах САО РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Обновление приборной базы осуществляется в рамках национального проекта “Наука и университеты”. Работа СД, СК, ЕМ, АМ, ДО, РУ и ЕШ по получению наблюдательных данных выполнена в рамках государственного задания САО РАН, утвержденного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации. Работа МЕ выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки

России. Результаты телескопа АЗТ-ЗЗИК получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Ангара” <http://ckp-ri.ru/ckp/3056/>. Работы выполнены при частичной поддержке Программы развития Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (научно-образовательная школа “Фундаментальные и прикладные исследования космоса”). Авторы благодарны ТЮБИТАК, ИКИ, КФУ и АН РТ за частичную поддержку в использовании РТТ-150 (Российско-Турецкий 1.5-м телескоп в Анталии). Работа ИХ, ЭИ, НС выполнена за счет субсидии Минобрнауки РФ № FZSM-2023-0015, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности. В этом исследовании использованы данные наблюдений телескопа ePOZITA на борту обсерватории SRG. Обсерватория SRG изготовлена Роскосмосом в интересах Российской академии наук в лице Института космических исследований в рамках Российской федеральной научной программы с участием Германского центра авиации и космонавтики (DLR). Космический аппарат SRG спроектирован, изготовлен, запущен и управляется НПО им. Лавочкина и его субподрядчиками. Прием научных данных осуществляется комплексом антенн дальней космической связи в Медвежьих озерах, Уссурийске и Байконуре и финансируется Роскосмосом. Рентгеновский телескоп ePOZITA изготовлен консорциумом германских институтов во главе с Институтом внеземной физики Общества им. Макса Планка при поддержке DLR. Используемые в настоящей работе данные телескопа ePOZITA обработаны с помощью программного обеспечения eSASS, разработанного германским консорциумом ePOZITA, и программного обеспечения для обработки и анализа данных, разработанного российским консорциумом телескопа ePOZITA. В этом исследовании использовалась Внегалактическая база данных NASA/IPAC (NED), которая управляется Лабораторией реактивного движения Калифорнийского технологического института, по контракту с Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства. В работе использовались данные фотометрического обзора DESI, полученные на телескопе Бланко Межамериканской обсерватории Серро-Тололо, телескопе Бока обсерватория Стюарда Университета Аризоны и телескопе Мэйолл Национальной обсерваторий Китт-Пик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев и Моисеев (V.L. Afanasiev and A.V. Moiseev), *Baltic Astron.* **20**, 363 (2011).
2. Афанасьев и др. (V.L. Afanasiev and A.V. Moiseev), *Astron. Lett.* **31**, 194 (2005).
3. Афанасьев и др. (V.L. Afanasiev, S.N. Dodonov, V.R. Amirkhanyan, and A.V. Moiseev), *Astrophys. Bull.* **71**, 479 (2016).
4. Блим и др. (L.E. Bleem, S. Bocquet, B. Stalder, M.D. Gladders, P.A.R. Ade, S.W. Allen, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **247**, 25 (2020).

5. Буренин и др. (R.A. Burenin, A.L. Amvrosov, M.V. Eselevich, V.M. Grigor'ev, V.A. Aref'ev, V.S. Vorob'ev, et al.), *Astron. Lett.* **42**, 295 (2016).
6. Буренин и др. (R.A. Burenin, I.F. Bikmaev, I.M. Khamitov, I.A. Zaznubin, G.A. Khorunzhev, M.V. Eselevich, et al.), *Astron. Lett.* **44**, 297 (2018).
7. Буренин и др. (R.A. Burenin, I.F. Bikmaev, M.R. Gilfanov, A.A. Grokhovskaya, S.N. Dodonov, M.V. Eselevich, et al.), *Astron. Lett.* **47**, 443 (2021).
8. Буренин и др. (R.A. Burenin, I.A. Zaznubin, P.S. Medvedev, M.R. Gilfanov, S.S. Kotov, R.I. Uklein, et al.), *Astron. Lett.* **48**, 702 (2022).
9. Буренин (R.A. Burenin), *Astron. Lett.* **43**, 507 (2017).
10. Буренин (R.A. Burenin), *Astron. Lett.* **48**, 153 (2022).
11. Вихлинин и др. (A. Vikhlinin, B.R. McNamara, W. Forman, C. Jones, H. Quintana, and A. Hornstrup), *Astrophys. J.* **502**, 558 (1998).
12. Вихлинин и др. (A. Vikhlinin, A.V. Kravtsov, R.A. Burenin, H. Ebeling, W.R. Forman, A. Hornstrup, et al.), *Astrophys. J.* **692**, 1060 (2009).
13. Воробьев и др. (V.S. Vorobyev, R.A. Burenin, I.F. Bikmaev, I.M. Khamitov, S.N. Dodonov, R.Y. Zhuchkov, et al.), *Astron. Lett.* **42**, 63 (2016).
14. Вэнь и др. (Z.L. Wen, J.L. Han, and F.S. Liu), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **199**, 34 (2012).
15. Гал и др. (R.R. Gal, P.A.A. Lopes, R.R. de Carvalho, J.L. Kohl-Moreira, H.V. Capelato, and S.G. Djorgovski), *Astron. J.* **137**, 2981 (2009).
16. Гонзалез и др. (A.H. Gonzalez, D.P. Gettings, M. Brodwin, P.R.M. Eisenhardt, S.A. Stanford, D. Wylezalek, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **240**, 33 (2019).
17. Далё и др. (H. Dahle, K. Pedersen, P.B. Lilje, S.J. Maddox, and N. Kaiser), *Astrophys. J.* **591**, 662 (2003).
18. Джонс и др. (D.H. Jones, M.A. Read, W. Saunders, M. Colless, T. Jarrett, Q.A. Parker, et al.), *MNRAS* **399**, 683 (2009).
19. Додин А.В., Шатский Н.И., Белинский А.А. и др., Письма в Астрон. журн. **47**, 683 (2021) [A.V. Dodin, N.I. Shatsky, A.A. Belinski, K.E. Atapin, M.A. Burlak, S.G. Zheltoukhov, et al., *Astron. Lett.* **47**, 661 (2021)].
20. Дэй и др. (A. Dey, D.J. Schlegel, D. Lang, R. Blum, K. Burleigh, X. Fan, et al.), *Astron. J.* **157**, 168 (2019).
21. Зазнобин и др. (I.A. Zaznubin, R.A. Burenin, I.F. Bikmaev, I.M. Khamitov, G.A. Khorunzhev, V.V. Kopoplev, et al.), *Astron. Lett.* **45**, 49 (2019).
22. Зазнобин И.А., Буренин Р.А., Бикмаев И.Ф. и др., Письма в Астрон. журн. **46**, 79 (2020) [I.A. Zaznubin, R.A. Burenin, I.F. Bikmaev, I.M. Khamitov, G.A. Khorunzhev, A.R. Lyapin, et al., *Astron. Lett.* **46**, 79 (2020)].
23. Зазнобин И.А., Буренин Р.А., Бикмаев И.Ф. и др., Письма в Астрон. журн. **47**, 79 (2021) [I.A. Zaznubin, R.A. Burenin, I.F. Bikmaev, I.M. Khamitov, G.A. Khorunzhev, A.R. Lyapin, et al., *Astron. Lett.* **47**, 61 (2021a)].
24. Зазнобин И.А., Буренин Р.А., Ляпин А.Р., Хорунжев Г.А., Афанасьев В.Л., Гроховская А.А. и др., Письма в Астрон. журн. **47**, 174 (2021б) [I.A. Zaznubin, R.A. Burenin, A.R. Lyapin, G.A. Khorunzhev, V.L. Afanasiev, A.A. Grokhovskaya, et al., *Astron. Lett.* **47**, 141 (2021b)].
25. Зазнобин И.А., Буренин Р.А., Мещеряков А.В., Гильфанов М.Р., Лыскова Н.С., Медведев П.С., Сазонов С.Ю., Сюняев Р.А., Письма в Астрон. журн. **49**, 517 (2023) [I.A. Zaznubin, et al., *Astron. Lett.* **49**, 431 (2023)].
26. Кенникатт и др. (J. Kennicutt, Robert C.), *Ann. Rev. of Astron. and Astrophys.* **36**, 189 (1998).
27. Коллесс и др. (M. Colless, B.A. Peterson, C. Jackson, J.A. Peacock, S. Cole, P. Norberg, et al.), arXiv e-prints, pp astro-ph/0306581 (2003).
28. Лопес и др. (P.A.A. Lopes, R.R. de Carvalho, R.R. Gal, S.G. Djorgovski, S.C. Odewahn, A.A. Mahabal, et al.), *Astron. J.* **128**, 1017 (2004).
29. Мертенс и др. (N. Mehrrens, A.K. Romer, M. Hilton, E. J. Lloyd-Davies, C.J. Miller, S.A. Stanford, et al.), *MNRAS* **423**, 1024 (2012).
30. Наджип и др. (A.E. Nadjip, A.M. Tatarnikov, D.W. Toomey, N.I. Shatsky, A.M. Cherepashchuk, S.A. Lamzin, et al.), *Astrophys. Bull.* **72**, 349 (2017).
31. Павлинский и др. (M. Pavlinsky, A. Tkachenko, V. Levin, N. Alexandrovich, V. Aref'ev, V. Babyshkin, et al.), *Astron. Astrophys.* **650**, A42 (2021).
32. Потанин С.А., Белинский А.А., Додин А.В. и др., Письма в Астрон. журн. **46**, 894 (2020) [S.A. Potanin, A.A. Belinski, A.V. Dodin, S.G. Zheltoukhov, V.Y. Lander, K.A. Postnov, et al., *Astron. Lett.* **46**, 836 (2020)].
33. Предель и др. (P. Predehl, R. Andritschke, V. Aref'ev, V. Babyshkin, O. Batanov, W. Becker, et al.), *Astron. Astrophys.* **647**, A1 (2021).
34. Райт и др. (E.L. Wright, P.R.M. Eisenhardt, A.K. Mainzer, M.E. Ressler, R.M. Cutri, T. Jarrett, et al.), *Astron. J.* **140**, 1868 (2010).
35. Рыкофф и др. (E.S. Rykoff, E. Rozo, M.T. Busha, C.E. Cunha, A. Finoguenov, A. Evrard, et al.), *Astrophys. J.* **785**, 104 (2014).
36. Сообщество DESI (DESI Collaboration, A.G. Adame, J. Aguilar, S. Ahlen, S. Alam, G. Aldering, et al.), arXiv e-prints, p. arXiv:2306.06308 (2023).
37. Сообщество Планка (Planck Collaboration, P.A.R. Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan, M. Arnaud, M. Ashdown, et al.), *Astron. Astrophys.* **571**, A29 (2014a).
38. Сообщество Планка (Planck Collaboration, P.A.R. Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan, M. Arnaud, M. Ashdown, et al.), *Astron. Astrophys.* **571**, A20 (2014b).
39. Сообщество Планка (Planck Collaboration, P.A.R. Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan, M. Arnaud, M. Ashdown, et al.), *Astron. Astrophys.* **581**, A14 (2015a).

40. Сообщество Планка (Planck Collaboration, P.A.R. Ade, N. Aghanim, M. Arnaud, M. Ashdown, J. Aumont, et al.), *Astron. Astrophys.* **582**, A29 (2015b).
41. Сообщество Планка (Planck Collaboration, P.A.R. Ade, N. Aghanim, M. Arnaud, M. Ashdown, J. Aumont, et al.), *Astron. Astrophys.* **594**, A27 (2016a).
42. Сообщество Планка (Planck Collaboration, P.A.R. Ade, N. Aghanim, M. Arnaud, M. Ashdown, J. Aumont, et al.), *Astron. Astrophys.* **586**, A139 (2016b).
43. Сообщество Планка (Planck Collaboration, P.A.R. Ade, N. Aghanim, M. Arnaud, M. Ashdown, J. Aumont, et al.), *Astron. Astrophys.* **594**, A24 (2016c).
44. Сообщество СДСС (R. Ahumada, C. Allende Prieto, A. Almeida, F. Anders, S.F. Anderson, B.H. Andrews, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **249**, 3 (2020).
45. Сюняев и др. (R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, et al.), *Astron. Astrophys.* **656**, A132 (2021).
46. Татарников и др. (А.М. Tatarnikov, S.G. Zheltoukhov, N.I. Shatsky, M.A. Burlak, N.A. Maslennikova, and A.A. Vakhonin), *Astrophys. Bull.* **78**, 384 (2023).
47. Фогес и др. (W. Voges, B. Aschenbach, T. Boller, H. Bräuninger, U. Briel, W. Burkert, et al.), *Astron. Astrophys.* **349**, 389 (1999).
48. Хилтон и др. (M. Hilton, C. Sifón, S. Naess, M. Madhavacheril, M. Oguri, E. Rozo, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **253**, 3 (2021).
49. F. Zwicky, E. Herzog, and P. Wild, *Catalogue of galaxies and of clusters of galaxies*, Vol. 2 (1963).
50. Цзоу и др. (H. Zou, J. Sui, S. Xue, X. Zhou, J. Ma, Z. Zhou, et al.), *Res. Astron. Astrophys.* **22**, 065001 (2022).
51. Чуразов и др. (E. Churazov, A. Vikhlinin, and R. Sunyaev), *MNRAS* **450**, 1984 (2015).
52. Чэмберс и др. (K.C. Chambers, E.A. Magnier, N. Metcalfe, H.A. Flewelling, M.E. Huber, C.Z. Waters, et al.), *arXiv e-prints*, p. arXiv:1612.05560 (2016).
53. Шлафли и др. (E.F. Schlafly, G. Green, D.P. Finkbeiner, M. Jurić, H.W. Rix, N.F. Martin, et al.), *Astrophys. J.* **789**, 15 (2014).
54. Эбелинг и др. (H. Ebeling, A.C. Edge, and J.P. Henry), *Astrophys. J.* **553**, 668 (2001).
55. Юань и др. (Z.S. Yuan, J.L. Han, and Z.L. Wen), *MNRAS* **513**, 3013 (2022).