



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук

Диссертация «Поиск активных ядер галактик и изучение их физических свойств по данным среднеполосного фотометрического обзора на 1-м телескопе Шмидта», представляемая на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия, выполнена в лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Котов Сергей Сергеевич работал в САО РАН в должности стажера-исследователя, младшего научного сотрудника.

Котов С.С. в 2016 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» по специальности «Астрономия» и ему присвоена квалификация «АСТРОНОМ. ПРЕПОДАВАТЕЛЬ».

В период подготовки диссертации соискатель обучался по программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре САО РАН по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия, а в 2021 году успешно окончил ее.

Научный руководитель — к.ф.-м.н. Додонов Сергей Николаевич, работает в лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов САО РАН в должности заведующего лабораторией.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Работа Котова С.С. посвящена изучению эволюции активных ядер галактик и исследованию их физических свойств. Для этого Котовым С.С. создана репрезентативная выборка квазаров в широком ($0 < z < 5$) диапазоне красных смещений. В основе метода создания выборки лежит использование данных среднеполосной фотометрии, равномерно покрывающих большой спектральный диапазон, что позволяет минимизировать влияние эффектов селекции, зависящих от красного смещения. Для получения таких данных проведён среднеполосный фотометрический обзор на 1-м телескопе Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории национальной академии наук Республики Армения (БАО НАН РА) в поле HS47.5-22 площадью 2.38 квадратных градуса. Наблюдения проводились в четырех широкополосных фильтрах системы SDSS (u, g, r, i) и 16 среднеполосных ($\text{FWHM} = 250 \text{ \AA}$) фильтрах, равномерно покрывающих спектральный диапазон 4000 – 8000 \AA . Была достигнута глубина $m_{AB} \approx 25^m$ с соотношением сигнал/шум 5 в широкополосных и $m_{AB} \approx 23^m$ с соотношением сигнал/шум 3 в среднеполосных фильтрах.

Помимо полученных соискателем среднеполосных и широкополосных фотометрических данных, для создания репрезентативной выборки квазаров были использованы широкополосные фотометрические данные и морфологическая классификация из обзора DECaLS (The Dark Energy Camera Legacy Survey), инфракрасная фотометрия из обзора WISE (The Wide-field Infrared Survey Explorer), спектроскопия и фотометрия из обзора SDSS (The

Survey), радиоданные из обзора FIRST (Radio Images of the Sky at Twenty-Centimeters) и данные о собственном движении объектов из обзора комического оптического телескопа GAIA. Разработанная соискателем методика отбора кандидатов в квазары реализована в два этапа. На первом проводится автоматическая классификация объектов с использованием широкополосных фотометрических и инфракрасных данных. При этом производится расчёт пространственной плотности соседей в цветовом пространстве широкополосных фильтров для каждого объекта поля, что, в комбинации с инфракрасными критериями, позволяет отделить подавляющее большинство звёзд из выборки, не затрагивая кандидаты в активные ядра. На втором этапе отбора по данным среднеполосной фотометрии строятся спектральные распределения энергии объектов, что позволяет рассматривать фотометрические данные как низкодисперсионный спектр для каждого объекта выборки. Отбор кандидатов на данном этапе проводился вручную. По данным среднеполосной фотометрии для отобранных кандидатов в квазары определялись фотометрические красные смещения объектов при помощи пакета программ ZEBRA. Корректность и точность определения фотометрических красных смещений проверялась сравнением со спектральными данными обзора SDSS и подтверждена спектральными наблюдениями объектов-кандидатов подвыборки на 6-м телескопе БТА САО РАН. Таким образом, была составлена выборка из 682 квазаров и определены их фотометрические красные смещения с точностью $\Delta Z = 0.02(1+z)$.

Котовым С.С. проведено моделирование полноты отбора квазаров по среднеполосным фотометрическим данным, для этого был рассчитан порог детектирования широких эмиссионных линий в спектрах квазаров в отдельных среднеполосных фильтрах. Прогноз модели дал оценку полноты выборки кандидатов в квазары до $m_{AB} \approx 22.5^m$ выше 80%.

Для построения функции пространственной плотности и функции светимости квазаров соискателем использовались фотометрические красные смещения. Была учтена геометрия сопутствующего объема и рассчитаны абсолютные звездные величины квазаров на длине волны 145 нм. Для вычисления абсолютных звездных величин брались данные фотометрии в фильтре i-SDSS, рассчитывалась K-поправка и проводился пересчёт на $\lambda = 145$ нм по шаблонному спектру квазара с наклоном континуума $\alpha = -0.75$, также учитывалось межгалактическое поглощение согласно модели Мадау (Madau, 1995). Сравнение полученной функции светимости с обзором COMBO-17 показало схожую картину до $Z = 3.0$. На $Z > 3$ полученная функция светимости остаётся практически неизменной до $Z \sim 4$ (не считая потери слабых квазаров из-за ограничения выборки по глубине), в то время как в обзоре COMBO-17 наблюдается её существенное снижение.

Научная новизна работы Котова С.С. заключается в получении среднеполосных фотометрических наблюдательных данных для однородного поля HS47.5-22 площадью 2.38 квадратных градуса до $R_{AB} = 22.5^m$; разработке новой методики отбора кандидатов в квазары, использующей как полученные данные среднеполосной и широкополосной фотометрии, так и данные других оптических, инфракрасных, рентгеновских и радио обзоров. При помощи разработанной методики соискателем произведен отбор кандидатов в квазары, оценена эффективность применения данной методики для задач отбора квазаров и поиска необычных объектов. В результате исследования соискателем создан однородный до $R_{AB} = 22.5^m$ каталог кандидатов в квазары, содержащий 682 объекта, из которых более 400 объектов новые.

Научная и практическая значимость работы Котова С.С. состоит в разработке нового метода отбора активных ядер галактик и создании однородного каталога квазаров с хорошо определёнными фотометрическими красными смещениями, актуального для анализа пространственной плотности квазаров, построения их функции светимости и изучения эволюции активных ядер галактик в широком диапазоне красных смещений. Разработанные новые методы отбора активных ядер галактик могут быть использованы для создания

новые методы отбора активных ядер галактик могут быть использованы для создания репрезентативных выборок квазаров по данным других обзоров. Полученные фотометрические данные в поле HS47.5-22 могут быть использованы для изучения эволюции галактик и их крупномасштабного распределения, определения природы рентгеновских источников и т.д.

Личный вклад Котова С.С. заключается в участии в модернизации 1-м телескопа Шмидта БАО НАН РА и проведении наблюдений в рамках проведения среднеполосного фотометрического обзора полей SA68 и HS47.5-22 (около 100 наблюдательных ночей). Соискатель участвовал в разработке методов обработки изображений, полученных на 1-м телескопе Шмидта, создал новую оригинальную методику автоматического отбора квазаров по спектральным распределениям энергии. Котовым С.С. создан однородный до $R_{AB} = 22.5^m$ каталог кандидатов в квазары, содержащий 682 объекта, из которых более 400 объектов новые, проведено моделирование полноты выборки квазаров, вычисление пространственной плотности квазаров и построение функции светимости квазаров.

Все результаты, выносимые на защиту, аргументированы и подробно изложены в 6 статьях соискателя, 5 из которых опубликованы в рецензируемых журналах списка ВАК. Представленные результаты и выводы обсуждались на международных и всероссийских конференциях, а также на семинарах САО РАН.

По докладу Котова С.С. на Ученом совете САО РАН были заданы вопросы, на которые докладчик исчерпывающе ответил.

В выступлениях Караченцев И.Д. и Власюк В.В. отметили очень четкое представление результатов работы. Макаров Д.И. и Кайсина Е.И. высказали мнение о внесении изменений в положения, выносимые на защиту. Додонов С.Н. отметил очень широкий диапазон разной работы и ее объем, которую Котов С.С. проделал в процессе подготовки диссертации; оригинальность подхода в разработке методики отбора кандидатов в квазары; профессиональный рост соискателя как наблюдателя на различных телескопах. Власюк В.В. обратил внимание, что соискатель смог за очень короткий срок довести до логического завершения довольно большой объем работы и что диссертация соответствует требованиям к кандидатским диссертациям. Его мнение было поддержано другими членами Ученого совета.

Ученый совет пришел к заключению, что диссертация представляемая Котовым С.С. является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой. Работа Котова С.С. удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, паспорту научной специальности, а соискатель заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Поиск активных ядер галактик и изучение их физических свойств по данным среднеполосного фотометрического обзора на 1-м телескопе Шмидта» Котова Сергея Сергеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия.

Заключение принято на заседании Ученого совета САО РАН 14 июля 2022 года.

Присутствовало на заседании 17 членов Ученого совета.

Результаты голосования: "за" – единогласно, протокол №406 от 14 июля 2022 г.

Председатель Ученого совета,
директор САО РАН,
кандидат физ.-мат. наук



/Валявин Г.Г./

Ученый секретарь САО РАН,
кандидат физ.-мат. наук

/Кайсина Е.И./