

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук**  
**Ускова Григория Сергеевича**  
**на тему «Отождествление и многоволновое исследование активных**  
**ядер галактик, обнаруженных телескопом ART-XC орбитальной**  
**рентгеновской обсерватории Спектр-РГ»**  
**по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

Диссертация посвящена систематическому отождествлению и многоволновому исследованию активных ядер галактик (АЯГ), обнаруженных телескопом ART-XC на борту орбитальной рентгеновской обсерватории «Спектр-РГ». Автор формирует репрезентативную выборку источников из каталога ART-XC, проводит их идентификацию с оптическими и радиокаталогами, выполняет спектральный анализ рентгеновских данных (ART-XC, eROSITA, а также при необходимости XMM-Newton/Swift-BAT), оценивает уровни поглощения и спектральные индексы, сопоставляет полученные параметры с существующими популяционными трендами для АЯГ. Два наиболее интересных объекта исследуются детально.

Во **Введении** дается общая характеристика работы и демонстрируется соответствие основным требованиям к кандидатским диссертациям. В **Главе 1** автор формирует и отождествляет выборку источников из обзоров ART-XC в диапазоне 4–12 кэВ. Описаны критерии включения в выборку, стратегия кросс-идентификации с

оптическими и радиокаталогами (в том числе SDSS/6dF, Pan-STARRS, NVSS/VLASS) и единая процедура извлечения рентгеновских спектров. Последняя включает учёт галактического и внутреннего поглощения, выделение основного степенного континуума и добавочных компонент. Построены сводные распределения по красному смещению, светимостям и уровням поглощения; показано, что выборка ART-XC дополняет обзоры, выполненные в более мягких рентгеновских диапазонах, и обогащает демографию умеренно поглощённых активных ядер галактик (АЯГ) на  $z \lesssim 0.3$ . Отдельно обсуждаются критерии качества отождествлений, оценка вероятности ложных совпадений и влияние систематик на итоговые параметры.

**Глава 2** посвящена детальному исследованию редкого радиогромкого, сильно поглощённого квазара SRGA J2306+1556, расположенного на относительно небольшом красном смещении. Автор объединяет данные ART-XC/eROSITA с оптической спектроскопией и радионаблюдениями, уточняет расстояние и демонстрирует редкое сочетание высокой рентгеновской светимости с заметным внутренним поглощением при  $z < 0.5$ . Анализируются рентгеновские и многоволновые широкополосные спектры, обсуждается вклад рассеянной компоненты и геометрия поглощающей среды. Радиоморфология (FR-II-подобные признаки) рассматривается в контексте энергетики центральной машины. Обсуждается популяция подобных объектов.

**Глава 3** посвящена исследованию яркого квазара PG 1634+706. Данные наблюдений СРГ дополняются результатами других обсерваторий; выполняется согласованный спектральный анализ, оценивается наклон степенного континуума и характер переменности на доступных временных интервалах. Результаты сопоставляются с литературой по сверхъярким квазарам, что позволяет уточнить диапазоны допустимых параметров и получить ограничения на модели излучения для данного класса объектов. Обсуждается согласованность полученных параметров с эмпирическими корреляциями и возможные физические интерпретации.

В **Заключении** суммируются основные результаты по каждому направлению, намечаются перспективы применения полученных результатов и дальнейших, основанных на них, исследований.

Наиболее интересной лично оппоненту частью работы представляется исследование квазара SRGA J2306+1556. Автор убедительно демонстрирует редкость сочетания высокой рентгеновской светимости и значительного поглощения для  $z < 0.5$ , аккуратно совмещая рентгеновские данные ART-XC/eROSITA с оптической спектроскопией и радионаблюдениями. Полученный многоволновой портрет источника позволяет использовать его как опорную точку для изучения популяции аналогичных объектов на более ранних этапах развития Вселенной, открывая возможности для проверки сценариев роста и активности сверхмассивных чёрных дыр.

Сильной стороной исследования является методическая полнота: единообразная спектральная апертура, учёт галактического и внутреннего поглощения, сопоставление с архивными данными, а также интерпретация радиоморфологии (FR-II-подобные черты) в связке с рентгеновскими параметрами. Такой синтез позволяет обоснованно говорить о физике центральной машины и месте объекта в популяции активных ядер галактик. Результаты по SRGA J2306+1556 задают высокий стандарт для последующих целевых исследований известных локальных аналогов – в диссертации в качестве таковых указывается всего три источника.

Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что изучение активных ядер галактик в жестком рентгеновском диапазоне является ключевым направлением современной астрофизики высоких энергий. Систематическая идентификация источников, обнаруженных обзором ART-XC на борту орбитальной рентгеновской обсерватории «Спектр-РГ», с последующим многоволновым сопоставлением (рентген, оптика, радио, ИК/УФ), закрывает существенный пробел между обзорами неба в мягком и жёстком рентгене и обеспечивает репрезентативную выборку умеренно поглощённых АЯГ. Поставленная в диссертации задача по отождествлению источников и изучению их физических свойств имеет высокую научную значимость и очевидную прикладную ценность для демографии АЯГ и калибровки эволюционных моделей сверх массивных чёрных дыр.

Диссертация опирается на чётко описанную методологию отбора и идентификации источников, стандартизованные процедуры

извлечения и спектрального анализа рентгеновских данных, а также на сопоставление с независимыми оптическими и радиокаталогами. Логика переходов от постановки задачи к выводам последовательна; критерии качества и ограничения методов явно сформулированы. Выносимые на защиту положения надлежащим образом подкреплены наблюдательными данными и статистическим анализом.

Научная новизна диссертации состоит в комплексном отождествлении и многоволновом анализе выборки АЯГ из обзоров ART-XC, а также в детальных кейс-исследованиях редких и показательных объектов. Достоверность обеспечивается независимой верификацией по нескольким волновым диапазонам, корректной оценкой поглощения и спектральных параметров, сопоставлением с известными выборками и литературой. Полученные результаты представляют вклад в уточнение распределений физических параметров АЯГ и служат опорой для дальнейших популяционных исследований. Важно отметить, что в диссертации заложена база для построения значительно более полного, публично доступного каталога источников, основанного на значительно большей экспозиции телескопа им. Павлинского.

Работа обладает внутренней связностью: Введение формулирует контекст и цели, главы логично развиваются тему от общей идентификации к детальным разборам отдельных источников, а Заключение суммирует ключевые выводы и намечает перспективы. Иллюстративный материал (рисунки, таблицы) информативен; ссылки и библиография оформлены корректно. Отдельно отмечу аккуратную

увязку результатов, полученных в рамках публикаций, с общей канвой диссертации, что минимизирует дублирование и подчёркивает целостность исследования.

Основные результаты диссертации отражены в серии из шести статей в рецензируемых научных журналах. Роль соискателя в проведении анализа, интерпретации результатов и подготовке рукописей представляется существенной. Обсуждение личного вклада прозрачно и соответствует принятым в сообществе нормам публикационной этики.

Текст диссертационной работы выиграл бы от следующих незначительных изменений и дополнений:

1. Стоило более детально изложить, каким конкретно образом результаты изучения близкого сильно поглощенного квазара отразятся на моделях роста сверх массивных черных дыр.
2. Уточнить и унифицировать обозначения и единицы ( $NH$ ,  $\Gamma$ , энергетические диапазоны), добившись полного единобразия по всем главам.
3. В разделе, посвящённом SRGA J2306+1556, расширить увязку радиоморфологии (NVSS/VLASS) с интерпретацией эволюционной стадии источника и вкладом джетов в энерговыделение.

4. Прояснить фразу в начале Главы 2 о том, что самые мощные АЯГ, *за исключением блазаров*, излучают  $10^{47}$  эрг/с. Блазары отличаются от других мощных АЯГ только ориентацией джета, приводящей к доплеровскому усилению наблюдаемого потока, но светимость является релятивистским инвариантом.

Эти замечания носят в основном редакционный характер и ничуть не умаляют значимости выполненного исследования. Работа в целом производит впечатление зрелого и целостного исследования, вносящего существенный вклад в изучение активных ядер галактик в жёстком рентгеновском диапазоне. Представленные результаты обладают научной новизной и достоверностью, имеют самостоятельную ценность и широкие перспективы развития и применения. Диссертация удовлетворяет всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к диссертационным работам. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова; оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Усков Григорий Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

**Официальный оппонент:**

доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник отдела теоретической физики Федерального государственного учреждения науки «Институт ядерных исследований Российской академии наук» (ИЯИ РАН), заведующий кафедрой физики частиц и космологии Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

**Троицкий Сергей Вадимович**

**02.12.2025**

**Контактные данные:**

тел.: +74991357760, e-mail: [st@inr.ac.ru](mailto:st@inr.ac.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц

Адрес места работы:

117312, Москва, пр-т 60-летия Октября, 7А, ИЯИ РАН

тел.: +74991357760, e-mail: [st@inr.ac.ru](mailto:st@inr.ac.ru)

Подпись сотрудника ОТФ ИЯИ РАН Троицкого С.В. удостоверяю:

Ученый секретарь ИЯИ РАН,

к.ф.-м.н.

А. В. Вересникова