

## Отзыв официального оппонента

Харинова Михаила Александровича на диссертацию

Шевченко Антона Валерьевича

**«Мониторинг рентгеновских двойных звёзд со струйными выбросами»,** представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

**Актуальность темы диссертации.** Микроквазары спустя десятилетия после своего открытия продолжают привлекать большое внимание. Схожесть структур микроквazarов с активными ядрами галактик и значительно ускоренные масштабы времени протекания процессов делают их хорошими объектами для изучения механизмов формирования и эволюции аккреционных дисков и релятивистских струйных выбросов. Только в 2004 году Фендером и др. была предложена унифицированная модель описания джетов в рентгеновских двойных системах, которая говорит что при переходе системы от жёсткого состояния к мягкому можно обнаружить основной радио всплеск сопутствующий появлению джета в микроквазарах. В этой связи особенно важны многоволновые наблюдения помогающие выявить важные этапы переходных процессов. И в дополнение к рентгеновским обсерваториям, из радиотелескопов особенным образом выделяется РАТАН-600 с его возможностями обеспечивать измерения мгновенных спектров источников в широком диапазоне радиоволн. Диссертационная работа Шевченко А.В. посвящена исследованию рентгеновских двойных звёзд (Cygnus X-3, SS 433, GRS 1915+105 и LSI+61.303) со струйными выбросами на основе наблюдений на телескопе РАТАН-600 с использованием нового метода -- многоазимутальных наблюдений дискретных источников для плотных внутрисуточных измерений. Таким образом **актуальность** настоящей работы не вызывает сомнений.

**Анализ содержания диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения (по ошибке не указано в разделе оглавления на с. 3), списка литературы и приложения. Диссертация содержит 125 страниц, 40 рисунков и 11 таблиц (включая таблицу из приложения). Список цитируемой литературы составляет внушительные 246 наименований.

**Во введении** (довольно обширном) даётся современное представление о микроквазарах, описаны наблюдаемые проявления микроквazarов в широком диапазоне электромагнитных волн и связываемые с ними физические процессы. Отдельными подразделами рассматриваются схожесть и различие процессов аккреции и релятивистских выбросов в микроквазарах и активных ядрах галактик, аккреционные диски, релятивистские радиоджеты, связь диска и джета.

Даётся обоснование актуальности темы исследования и важности использования радиотелескопа РАТАН-600 для оценки параметров излучающих областей в микрокварах. Изложены цель и задачи диссертационной работы. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Приводятся научная и практическая значимость, научная новизна, апробация результатов, перечень публикаций по теме работы и личный вклад автора.

**В первой главе** даётся обзор инструментов и методов наблюдений и обработки, используемых для долговременного мониторинга радиоисточников на телескопе РАТАН-600. Выделяется многоазимутальный метод наблюдения, который позволил впервые на РАТАН-600 провести внутрисуточные наблюдения. Приводится список использованных опорных источников и их спектральных плотностей потоков, и список дат наблюдений исследуемого микроквара Cygnus X-3. Очень кратко описывается метод Ломба-Скаргла для анализа временных рядов.

**Во второй главе** представлены результаты многоволновых исследований микрокваров SS 433, GRS 1915+105 и LSI+61.303. Кроме данных, полученных автором на РАТАН-600, для анализа и интерпретации используются результаты наблюдений в оптическом, инфракрасном, рентгеновском и гамма диапазонах из сторонних источников.

**В третьей главе** рассматривается Эволюция радиоизлучения гигантских вспышек в системе Cygnus X-3 в широком диапазоне на разных временных масштабах. Представлены результаты наблюдений Cygnus X-3 на РАТАН-600 в период с 2019 по 2024 гг. В том числе рассмотрены результаты наблюдений одновременно на трёх инструментах (РАТАН-600, АМІ и LOFAR) в период 2-16 мая 2019 г.

**В заключении** к диссертации сформулированы основные результаты, полученные в ходе её выполнения. Сделан вывод о важности нового метода многоазимутальных наблюдений на РАТАН-600.

**В приложении** приведена таблица результатов ежедневных измерений спектральных плотностей потока микроквара SS 433 с помощью РАТАН-600 в 2018 г., с 16 июня по 13 сентября на частотах 2.25, 4.7, 8.2, 11.2 и 22.3 ГГц.

**Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации.** Автореферат адекватно и полно отражает содержание диссертации.

**Научная новизна работы** состоит в том, что в результате выполнения диссертации:

1. Получены новые данные многолетних (2018-2024 гг) многочастотных измерений на РАТАН-600 спектральных плотностей потоков рентгеновских

двойных звёзд со струйными выбросами -- Cygnus X-3, SS 433, GRS 1915+105 и LSI+61.303.

2. Впервые на РАТАН-600, на инструментальной базе антенной системы "Южный сектор с Плоским отражателем" и кабины вторичного зеркала N 3 использована методика внутрисуточных измерений дискретных источников в течение 5.5 часов, в частности для исследования микроквazarов SS 433, GRS 1915+105 и Cygnus X-3.

3. Впервые одновременно со сторонними измерениями в оптическом и рентгеновском диапазонах, на РАТАН-600 проведены радионаблюдения ярчайшей вспышки микроквazара SS 433 от 25 августа 2018 года.

4. Впервые по данным одновременных измерений на радиотелескопах LOFAR (143.5 МГц), РАТАН-600 (1.25 и 2.3 ГГц) и АМI-LA (15 ГГц) исследована эволюция спектра микроквazара Cygnus X-3 в низкочастотном диапазоне LOFAR во время яркой вспышки (с 17 апреля по 8 мая 2019 года).

5. Впервые на телескопе РАТАН-600 проведены измерения внутрисуточной эволюции радиоспектра (4.7, 8.6 и 16 ГГц) Cygnus X-3 на начальной стадии радиовспышки (18 июня 2019 года).

**Обоснованность и достоверность результатов работы** основывается на теоретических и экспериментальных исследованиях, результаты которых апробированы на всероссийских конференциях, и опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

**Научная и практическая значимость результатов работы** неоспоримо подтверждается в вышеприведённых разделах отзыва. Немалый объём результатов многолетнего мониторинга Cygnus X-3, SS 433, GRS 1915+105 и LSI+61.303 на радиотелескопе РАТАН-600 имеет важное значение для понимания исследуемых объектов и может быть использован для решения ряда актуальных задач астрофизики как самих микроквazarов, так и их «старших братьев» -- квazarов. Апробированная в работе методика многоазимутальных наблюдений на "Южном секторе с Плоским отражателем" показала на деле свою эффективность и востребована для исследования широкого класса астрофизических объектов.

**Публикации результатов.** По теме диссертации опубликовано 4 печатных работы в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК. Кроме того имеются 4 публикации в материалах конференций и 13 электронных публикаций.

**Замечания (и пожелания) к работе** сводятся к следующим:

1) Работа начинается с довольно обширного Введения, первая часть которого посвящена подробному всестороннему обзору микроквazarов с несколькими

предметными подразделами — Возникает желание **выделить** этот текст в отдельную «первую» главу диссертации.

2) Использованные автором формулировки пунктов Положений выносимых на защиту представляются довольно завуалированными. **Следовало-бы** использовать такие обороты речи, которые прямо отвечают на вопрос «Что (конкретно, сделано автором) выносится на защиту?», например:

«1. Результаты обработки наблюдений, анализа эволюции кривых блеска и...».

«2. Результаты внутрисуточных измерений спектральных плотностей потоков системы Cygnus X-3...».

«3. Результаты измерений радиопотока микровозара SS 433...».

Так п. 2 начинается словами «Впервые на телескопе РАТАН-600 реализован метод многоазимутальных наблюдений дискретных источников, ...» -- возникает вопрос, выносится ли на защиту реализация этого метода или это только вступление? Судя по тому, что в разделах диссертационной работы о задачах работы (стр. 15) и о личном вкладе автора (стр. 21) главным образом говорится только об обработке наблюдений и их анализе, но **ничего о разработке методики наблюдений** (планировании и проведении) — реализация метода наблюдений не относится к заслугам автора диссертации и не должна акцентироваться в положениях, выносимых на защиту.

Кроме упоминающихся в Положениях выносимых на защиту, микровозаров Cygnus X-3 и SS 433, в работе автор достаточно объёмно исследует ещё два -- GRS 1915+105 и LSI+61.303 — Не **стоит ли** результаты обработки и анализа по ним также представить в Положениях?

3) На рисунках 3, 4 и 5 **следует** с помощью стрелок и цифр указать основные элементы телескопа, а особенно нумерованные вторичные зеркала в количестве 5(?) штук!

4) На стр. 31 автор пишет о вторичных калибровочных источниках и представляет Таблицу 5 с их потоками, ссылаясь главным образом на работы Баарса и Отто 1977 и 1994 годов.

Во-первых, используемые в таблице 6 идентификаторы опорных источников отсутствуют в статьях на которые ссылает автор, что не может не запутать — **Следует** использовать идентификаторы объектов в соответствии с цитируемыми литературными источниками. И как правило, рядом с авторским обозначением следует приводить идентификатор по стандарту, рекомендованный Международным Астрономическим Союзом (например J1959+4044). Возникает **вопрос** что за калибраторы приведены в Табл. 5?

Далее на стр. 32 упоминается использование ещё трёх опорных источников — 3C84, NGC7027 и DR21 — один из них, NGC7027, присутствует в Таб. 5, но под другим идентификатором... — **Следует** указать потоки и для оставшихся двух калибраторов, 3C84 и DR21.

Интересно, что 3С84 не упоминается в цитируемых статьях в качестве опорного источника. Более того, он довольно часто исследуется как переменный, в том числе в радиодиапазоне на масштабах до месяца (например Н. Nagai et al, MNRAS, 2012). **Следовало** бы в работе пояснить причины использования 3С84 в качестве опорного, и нюансы калибровки с его помощью исследуемых объектов.

Используемая автором калибровочная шкала Баарса и Отто датируется 1977-1994 гг. и состоит из 16-ти калибраторов с максимальным диапазоном применения 1.4-43.2 ГГц. Существует современное развитие той шкалы -- шкала Перле и Батлера (Perley&Batler) от 2013-2017 гг. (20 калибраторов, диапазон применения 50 МГц-50 ГГц) — Интересно было бы узнать, **почему** автор не использовал более современную шкалу?

### Мелкие замечания :

- 1) В оглавлении на стр. 3 пропущен указатель на заключение — стр. 97.
- 2) Стр. 5, первая строка — первое появление сокращения «РСДБ» дано без расшифровки — следует добавить «Наблюдения с высоким угловым разрешением методами радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) показали...».
- 3) Стр. 8, рис. 1 и Стр. 9, рис. 2 и далее в большинстве рисунков — надписи на рисунках следует представлять на русском языке.
- 5) Стр. 11 — впервые появляется сокращение УВ, но без расшифровки -- «ударные волны». Определение сокращения появляется только на стр. 14.
- 6) Стр. 16, п.1 «Основных положений» -- «Проведён анализ ... гигантской вспышки системы Cygnus X-3.» -- для отождествления события важно указать дату вспышки, которую анализировал автор.
- 7) Стр. 24 -- «Угловое разрешение радиотелескопа зависит от высоты установки антенны.» -- стоило бы привести формулу зависимости.
- 8) Таб. 1 и 2 (стр. 25 и 26) — необходимо привести ссылку на источник или в тексте на стр. 24 когда впервые ссылаются на таблицы. В тексте на стр. 24 указано что на частоте 4.7 ГГц,  $\Delta F = 5$  мЯн при времени накопления 3 сек — относится ли это время накопления к  $\Delta F$  для остальных радиометров?
- 9) Стр. 25 — «Пределы изменения меняются по высоте..» -- Опечатка или некорректно составленное предложение.
- 10) Стр. 31 — В формуле (2) у коэффициента  $g_v$  пропала зависимость от высоты  $h$  — Следует или вернуть зависимость от  $h$ , или дописать, что формула применима только если измерения антенных температур исследуемого и опорного источников проводились на одной высоте.
- 11) Стр. 37 -- «... под углом  $78^\circ$  , а половина угла конуса прецессии...» -- опечатка в слове «угла».
- 12) На странице 39 описывается эволюция вспышки SS 433, используя точку отсчёта MJD 53000, при этом первое событие описания приводится с +288 дня — удобнее было-бы за точку отсчёт взять MJD 53288 а не дублировать обе шкалы отсчёта: «Уже спустя три дня (день +291) начинается...».
- 13) Стр. 43 -- последний абзац «С июля по август 2018 г. было...» почти полностью повторяет предложения из предыдущих абзацев текущего подраздела.
- 14) Стр. 44 — на рис. 10 не обнаружена ссылка в тексте текущего раздела.

15) Стр. 62 — На одной и той-же странице неоднократно, хотя и разными словами, повторяется о наблюдении исторически ярчайшей вспышке и о том что наблюдения проводили ежедневно... -- это запутывает, может показаться что последовательно рассказывают о трёх «исторических ярчайших» вспышках, а не об одной и той-же -- одного раза достаточно.

16) Стр. 63, рис. 22 — Из подписи к рисунку следует убрать «6» августа, т. к. представлен график только за 8 августа. И следовало бы подробнее описать представленные графики.

17) Стр. 76 -- «С радиотелескопом РАТАН-600 можно ознакомиться в работах Хайкина и др. [49] и Майоровой и др. [225].» -- Довольно запоздалое предложение, которое представляется лишним. С телескопом уже «успели» ознакомиться в Главе 1.

Окончание предложения «...по 5-10 минут, чередуясь с короткими измерениями калибратора J2052+3635.» видимо стоит заменить на «...с короткими измерениями калибраторов» -- т. к. далее говорится что основным был 3C286, а упомянутый J2052 только дополнением.

18) Стр. 76, рис. 27 — подпись «... в апреле 2019 г.» некорректна — данные на графике соответствуют периоду 16 апреля — 20 мая.

Во всех подобных графиках следовало бы добавить верхнюю шкалу в Григорианских календарных днях, дабы не путаться не только автору, но и читающим.

19) Стр. 82, начало первого предложения — опечатка -- «Далее».

20) Стр. 87, раздел 3.2 — два первых предложения раздела вещают практически одно и тоже — следовало бы их совместить в одно предложение, и добавить ссылку на рис. 31 (которая отсутствует в разделе).

21) Стр. 95, последний абзац («воспоминание» о вспышках 2019 г) без связующего оборота представляется здесь (в конце обсуждения вспышек 2024 г) неуместным — логично было бы его перенести на стр. 90, где обсуждаются события 2019 года.

22) В работе отсутствует список сокращений.

Перечисленные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования Шевченко Антона Валерьевича. Более того, успешная апробация методики многоазимутальных наблюдений на РАТАН-600 представляется особенно важной, расширяя возможности данного уникального астрономического инструмента.

## **Заключение**

Диссертация «Мониторинг рентгеновских двойных звёзд со струйными выбросами» Шевченко Антона Валерьевича является законченной научно-исследовательской работой на актуальную и важную тему. В работе приведены новые научные результаты, имеющие весомое значение для развития астрофизики микроквazarов. Вынесенные на защиту результаты докладывались на отечественных конференциях и опубликованы в зарубежных и отечественных изданиях (из списка ВАК).

Диссертационная работа «Мониторинг рентгеновских двойных звёзд со струйными выбросами» соответствует критериям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Шевченко Антон Валерьевич, заслуживает присуждения искомой степени по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия».

Официальный оппонент:

Харинов Михаил Александрович

*М.А. Харинов*  
*5 ноября 2024*

(подпись)  
(дата)

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник  
лаборатории радиоастрономических наблюдений

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт прикладной астрономии Российской академии наук  
Санкт-Петербург, 191187, наб. Кутузова, 10,

тел. раб. 275-11-06  
эл. почта: kharinov@iaaras.ru

Подпись Харинова М.А. заверяю:  
Учёный секретарь ИПА РАН,  
доктор технических наук,  
Леонид Васильевич Федотов

*Л.В. Федотов*  
*05.11.2024*



(подпись)  
(дата)