



**УТВЕРЖДАЮ**

Директор ИКИ РАН  
академик Л.М.Зеленый

“ ” \_\_\_\_\_ 2017 г.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской Академии Наук (ИКИ РАН) на диссертацию «Мониторинг неба в рентгеновском диапазоне энергий обсерваторией INTEGRAL: обзоры большой площади и транзиентные источники», представленную Мереминским Ильей Александровичем на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - «Астрофизика и звездная астрономия».

Диссертация «Мониторинг неба в рентгеновском диапазоне энергий обсерваторией INTEGRAL: обзоры большой площади и транзиентные источники» выполнена в отделе Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН. В период подготовки диссертации соискатель И.А. Мереминский работал в указанном отделе в должности младшего научного сотрудника.

В 2017 г. И.А. Мереминский окончил очную аспирантуру Института космических исследований РАН по специальности «Астрофизика и звездная астрономия». Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2017 г. ИКИ РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Гребенев Сергей Андреевич, заведующий лабораторией 522 ИКИ РАН.

Доклад И.А. Мереминского по теме диссертации заслушан и обсужден на заседании НТС отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН.

По результатам рассмотрения диссертации «Мониторинг неба в рентгеновском диапазоне энергий обсерваторией INTEGRAL: обзоры большой площади и транзиентные источники» ПРИНЯТО СЛЕДУЮЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

### **Актуальность темы и направление исследования**

Обзоры неба в рентгеновском диапазоне выполняются в отделе Астрофизики Высоких Энергий ИКИ РАН в течении как минимум 25 лет — сначала по данным обсерваторий ГРАНАТ и КВАНТ, а теперь и по данным ИНТЕГРАЛ. Эти обзоры позволили открыть несколько сотен рентгеновских источников, провести «перепись» Галактических массивных двойных рентгеновских систем, измерить функции светимости катаклизмических переменных, маломассивных двойных рентгеновских систем. До недавнего времени в архиве наблюдений ИНТЕГРАЛ оставалось еще большое количество неиспользованных данных.

Именно на основании этих данных была выполнена первая часть диссертации. По ранее неиспользованным данным телескопа JEM-X был проведен обзор области Галактической плоскости, населенной уникальной популяцией маломассивных двойных. Этот обзор занимает промежуточное положение между жесткими обзорами IBIS и обзорами,

проводимыми телескопами с зеркалами косоугольного падения. Кроме того, были использованы данные телескопа IBIS, полученные в ходе наблюдений нескольких внегалактических объектов:

1. Проведен обзор области центра Галактики телескопом JEM-X в диапазонах энергий 5-10 и 10-35 кэВ. Получена функция светимости (в диапазоне 5-10 кэВ) постоянных LMXB в интервале  $10^{35}$  до  $10^{38}$  эрг  $\text{с}^{-1}$ , её форма хорошо соответствует предсказанию модели Гильфанова (2004). Исследован вклад сильнопеременных LMXB в усредненную за большой период времени (10 лет) функцию светимости, показано что добавка таких источников начинает превосходить вклад постоянных источников на светимостях ниже  $10^{36}$  эрг  $\text{с}^{-1}$ . Показано, что пространственное распределение LMXB следует распределению массы Галактики в трех-компонентной модели Бакала и Сонеиры (1980).
2. Проведен глубокий обзор трех внегалактических полей телескопом IBIS в диапазоне энергий 17-60 кэВ. Зарегистрировано 147 источников, 37 из которых были обнаружены впервые. С использованием данных телескопов Swift-XRT, XMM и ROSAT 13 (из 37) новых источников были отождествлены с известными оптическими компаньонами и классифицированы как АЯГ. Наклон кривой подсчетов источников соответствует ожидаемому ( $-3/2$ ) вплоть до потоков  $3 \cdot 10^{-12}$  эрг  $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$ , а нормировка незначительно меньше значения, полученного в обзоре всего неба (Кривонос и др., 2010). Нормировка кривой подсчетов АЯГ в направлении на БМО ниже чем для других полей, а наклон кривой - круче. Этот эффект вызывается отсутствием в этом направлении ярких АЯГ. Оценки плотности АЯГ в локальной Вселенной в направлении на все три поля согласуются между собой.
3. Для 11 из 41 новых жестких рентгеновских источников, зарегистрированных в 14-летнем обзоре Галактической плоскости были найдены мягкие рентгеновские компаньоны. Четыре из них являются кандидатами в АЯГ. Еще один кандидат в поглощенные АЯГ найден на основании совпадения положения с центром близкой оптической галактики.

Кроме обзоров неба необходимой работой является мониторинг неба в рентгеновском диапазоне, по данным полученным в режиме (почти) реального времени. В таком режиме сотрудниками отдела Астрофизики Высоких Энергий были открыты несколько десятков рентгеновских источников, в том числе принадлежащих к новому классу объектов — быстрых рентгеновских транзиентов с супергигантами. Вторая часть диссертации посвящена результатам полученным в ходе таких наблюдений:

1. Обнаружена и исследована вспышка рентгеновской новой GRS 1739-278. Вспышка оказалась жесткой, источник не перешел из низкого жесткого состояния в высокое мягкое, о чем свидетельствуют полученные широкополосные (0.8-100 кэВ) спектры.

2. Обнаружен первый рентгеновский всплеск I типа от источника IGRJ17445-2747, что позволило установить наличие нейтронной звезды в этой системе. Получены уточненные небесные координаты источника и пределы на расстояние до него ( $5.0 < D < 12.3$  кпк). Регистрация всплеска позволяет предположить, что IGR J17445-2747 - маломассивная рентгеновская двойная, расположенная в балдже Галактики.

### **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации**

Результаты, выносимые на защиту, получены лично автором диссертации. В процессе работы автором осуществлялись: обработка и анализ результатов наблюдений рассмотренных источников разными приборами. Был разработан комплекс программ для проведения обзоров неба по данным JEM-X; проводился анализ полученных результатов. По теме диссертации было опубликовано 5 работ в рецензируемых научных изданиях, определяющую роль в подготовке и написании которых сыграл автор диссертации.

### **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Достоверность полученных в диссертации результатов основана на:

1. их публикации в ведущем российском рецензируемом журнале по астрономии и астрофизике и международном журнале, входящих в перечень ВАК;
2. представлении и обсуждении результатов работы (в том числе в виде устных докладов) на семинарах, российских и международных конференциях (HEA, INTEGRAL Workshop);
3. полученные результаты хорошо соотносятся с теоретическими оценками, а так же с измерениями, полученными другими методами.

### **Научная новизна и практическая значимость результатов исследований**

Впервые проведен обзор большой площади телескопом JEM-X обсерватории ИНТЕГРАЛ. Удалось получить функцию светимости LMXB в балдже Галактики с учетом влияния транзиентных источников. Такие наблюдения являются в некоторой степени уникальными, из-за своего беспрецедентно большого временного покрытия — около 10 лет, и вряд ли будут повторены в ближайшее время. Обзоры телескопом IBIS — как внегалактических полей, так и плоскости Галактики, привели к обнаружению более чем 50 новых жестких рентгеновских источников. Уже начата работа по их идентификации и определению физических процессов, протекающих в них, причем как группой нашего отдела, так и зарубежными группами. Поскольку обзоры IBIS более чувствительны к поглощенным АЯГ, чем обзоры в мягком диапазоне, отождествление источников из обзора глубоких полей ИНТЕГРАЛ будет важным для уточнения доли сильнопоглощенных АЯГ в близкой Вселенной.

Регистрация рентгеновского всплеска первого рода от ранее неидентифицированного объекта IGR J17445-2747, отождествление его с маломассивной двойной и уточнение его небесных координат спровоцировало большую наблюдательную программу, в том числе на больших наземных телескопах, а сам источник стал всего лишь седьмым барстером, обнаруженным обсерваторией ИНТЕГРАЛ и третьим, обнаруженным сотрудниками отдела. Вспышка GRS 1739-278 хоть и оказалась «неудавшейся», тем не менее позволила получить широкополосные спектры в низком жестком состоянии, не похожие на те, что наблюдались от этой системы ранее. Это может быть интересно с точки зрения теории эволюции вспышек рентгеновских Новых.

### **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

Основные результаты диссертации изложены в следующих статьях:

1. "Deep hard X-ray survey of the Large Magellanic Cloud" Grebenev, S. A., Lutovinov, A. A., Tsygankov, S. S., Mereminskiy, I. A., 2013, MNRAS, 428, 50-57
2. "Обзор области Галактического центра в рентгеновских лучах телескопом JEM-X обсерватории INTEGRAL" Гребенев С.А., Мереминский И.А., 2015, Письма в Астрономический Журнал, 41, 826
3. "INTEGRAL/IBIS deep extragalactic survey: M81, LMC and 3C 273/Coma fields" Mereminskiy I.A., Krivonos R.A., Lutovinov A.A., Sazonov S.Yu., Revnivtsev M.G., Sunyaev R.A., 2016, MNRAS, 459, 140-150
4. "New hard X-ray sources discovered in the ongoing INTEGRAL Galactic plane survey after 14 years of observations" Krivonos R.A., Tsygankov S.S., Mereminskiy I.A., Lutovinov A.A., Sazonov S.Yu., Sunyaev R.A., 2017, MNRAS, 470, 512-516
5. "Вспышка рентгеновской новой GRS 1739-278 в сентябре 2016 г" Мереминский И.А., Филиппова Е.В., Кривонос Р.А., Гребенев С.А., Буренин Р.А., Сюняев Р.А., 2017, Письма в Астрономический Журнал, 43, 194
6. "IGR J17445-2747 - еще один рентгеновский барстер в балдже Галактики" Мереминский И.А., Гребенев С.А., Сюняев Р.А., 2017, Письма в Астрономический Журнал, 43, 727

Все работы опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК. Все основные положения исследований изложены в данных статьях.

**Соответствие содержания диссертации паспорту специальности  
01.03.02 – «Астрофизика и звёздная астрономия»**

Задачи, рассмотренные в диссертации, относятся к классу, заявленному в паспорте специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звёздная астрономия», как «Исследование физических процессов, связанных с генерацией излучения (электромагнитного, нейтринного, гравитационного), распространения и поглощения излучения в космических средах; разработка методов анализа электромагнитного излучения в различных спектральных диапазонах в применении к астрономическим наблюдениям».

**ВЫВОД.** Кандидатская диссертация Мереминского Ильи Александровича «Мониторинг неба в рентгеновском диапазоне энергий обсерваторией INTEGRAL: обзоры большой площади и транзиентные источники» соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней». В рамках диссертационного исследования автором были приведены результаты анализа наблюдений орбитальных астрофизических обсерваторий ИНТЕГРАЛ и SWIFT, а так же телескопа РТТ-150. Предметом исследования являлись популяции жестких рентгеновских источников как в Галактике, так и за её пределами. Автор диссертации:

- 1) Провел обзор области Галактического балджа по данным телескопа JEM-X и получил функцию светимости LMXB балджа с учетом вклада транзиентных источников
- 2) Провел обзор трех глубоких экстрагалактических полей по данным телескопа IBIS, что позволило впервые измерить кривую подсчетов АЯГ в диапазоне от 3 до 6  $10^{-12}$  эрг  $\text{с}^{-1} \text{см}^2$ . Была измерена плотность АЯГ, ярких в жестком рентгеновском диапазоне, в близкой вселенной. Найдены 37 новых рентгеновских источников.
- 3) Было проведено отождествление источников, найденных в ходе обзора плоскости Галактики телескопом IBIS, для 11 источников были найдены мягкие рентгеновские компаньоны, а для 5 источников предложены оптические компаньоны.

- 4) Исследовалась вспышка 2016 от рентгеновской Новой GRS 1739-276. Показано, что вспышка была «неудачной», получены широкополосные рентгеновские спектры в диапазоне энергий 0.8-100 кэВ.
- 5) Обнаружен первый рентгеновский всплеск первого рода от IGR J17445-2747, получены ограничения на расстояние до него. По данным наблюдательной компании уточнено положение источника, измерено поглощение на луче зрения.

Диссертация “Мониторинг неба в рентгеновском диапазоне энергий обсерваторией INTEGRAL: обзоры большой площади и транзиентные источники” Мереминского Ильи Александровича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия».

Заключение принято на заседании НТС отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН. Присутствовало на заседании 17 чел. Результаты голосования: «за» - 17 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол от «19» декабря 2017 г.

Ученый секретарь НТС  
отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН,  
к.ф.-м.н.



В.А. Арефьев