

На правах рукописи

Бикмаев Ильфан Фяритович

**Наземная поддержка спутника ИНТЕГРАЛ
комплексом научного оборудования 1.5-м телескопа
РТТ150. Создание комплекса, наблюдения и
интерпретация оптических свойств источников
жесткого рентгеновского излучения**

01.03.02 - Астрофизика, радиоастрономия

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

Казань – 2008

Работа выполнена в Казанском государственном университете
им. В.И.Ульянова-Ленина

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук,
академик РАН

Черепашук А.М.

доктор физ.-мат. наук,
член-корреспондент РАН

Балега Ю.Ю.

доктор физ.-мат. наук,
член-корреспондент РАН

Шустов Б.М.

Ведущая организация - Главная астрономическая обсерватория
РАН (Пулково, С-Петербург)

Защита состоится мая 2008 года в 10 часов утра

на заседании диссертационного совета Д 002.113.02 при
Институте космических исследований РАН по адресу: 117997
Москва, ул. Профсоюзная 84/32, ИКИ РАН, подъезд 2, конференц-
зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИКИ РАН

Автореферат разослан апреля 2008 года

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.113.02

канд. физ.-мат. наук

А.Ю.Ткаченко

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Современная астрофизика стала всеволновой, активно освоив в последние десятилетия практически все диапазоны электромагнитного излучения. Гамма, рентгеновские, ультрафиолетовые, инфракрасные фотоны, регистрируемые с помощью космических телескопов на орбитальных обсерваториях, воспринимаются уже как “обычные” носители информации об объектах Вселенной, какими раньше были фотоны в оптике и радиодиапазоне. Однако космические орбитальные обсерватории представляют собой дорогостоящие комплексы научного оборудования, как правило, создаваемые объединенными усилиями организаций из нескольких стран мира. Поэтому количество таких обсерваторий в космосе ограничено, как и время их активной эксплуатации на орбите. Количество регистрируемых фотонов высокой энергии также очень ограничено, но они являются носителями исключительно важной информации об окружающей нас Вселенной. Очевидно, что надо использовать все имеющиеся ресурсы для извлечения этой информации. Международная орбитальная обсерватория ИНТЕГРАЛ (Винклер и др., 2003), запущенная на высокоапогейную орбиту российской ракетой-носителем “Протон” в октябре 2002 года, за 5 лет своей непрерывной работы на орбите благодаря широкому полю зрения обнаружила сотни новых источников с жестким рентгеновским излучением (20-100 кэВ) в различных участках неба. Эти источники не могли быть зарегистрированы ранее предыдущими миссиями (например, ROSAT) из-за поглощения фотонов мягкого рентгеновского диапазона в газо-пылевых оболочках, окружающих определенные классы рентгеновских источников (так называемые “поглощенные источники”). Большая площадь обзора спутника ИНТЕГРАЛ (практически все небо) позволяет фактически впервые изучать пространственное распределение источников, излучающих в диапазоне энергий 20-100 кэВ. Угловое разрешение телескопов

обсерватории ИНТЕГРАЛ составляет десятки угловых минут и точность локализации источников на небе составляет, в среднем, 2-4 угловые минуты. В связи с этим обстоятельством, оптическая идентификация рентгеновских источников спутника ИНТЕГРАЛ является самостоятельной актуальной наблюдательной задачей для современных наземных телескопов. Особенную сложность для отождествления представляют участки неба вблизи плоскости Млечного Пути – основной зоны исследований в научной программе ИНТЕГРАЛа. Эта зона на небе не случайно называется “зоной избегания”, так как многочисленные наземные спектральные обзоры “обходили” эту зону из-за большой плотности оптических источников в этой области и сложностей спектральной классификации в обзорных задачах из-за эффектов пространственного наложения спектров источников. Более того, в плоскости Млечного Пути сосредоточена основная масса газа и пыли Галактики, которые эффективно поглощают излучение объектов, лежащих на луче зрения в этой плоскости (± 10 градусов). Таким образом, до решения задачи о пространственном распределении источников ИНТЕГРАЛа, необходимо решить задачу об оптической идентификации каждого индивидуального источника, его классификации (физической природе) и определения расстояния до него. Из-за ограниченной рентгеновской чувствительности телескопов ИНТЕГРАЛа (10^{-11} эрг/сек*см²), связанной с естественной технической трудностью фокусировки фотонов жесткого рентгеновского диапазона, большая часть обнаруживаемых источников ИНТЕГРАЛа должна находится внутри нашей Галактики или в ближней Вселенной (с красными смещениями $z < 0.2$). Поэтому, для части рентгеновских источников ИНТЕГРАЛа проблема оптической идентификации была решена путем совмещения рентгеновских изображений с имеющимися электронными изображениями и каталогами источников из оптических и инфракрасных обзоров неба. Однако для части источников такой “простой” путь оказался недостаточным для решения задачи отождествления и классификации источников. Потребовалось привлечение наземных телескопов, оснащенных

современным научным оборудованием.

Для решения этой актуальной задачи и был использован 1.5-метровый телескоп РТТ150 с его современным научным оборудованием. Важнейшим фактором его использования для этой задачи было то обстоятельство, что КГУ и ИКИ РАН, которым принадлежит соответственно 45 и 15 процентов наблюдательного времени телескопа, были заинтересованы в проведении этих наблюдений и выделили для этого значительные ресурсы телескопа.

Большая часть видимого вещества Вселенной сосредоточена в звездах, входящих в состав галактик. Процессы эволюции вещества являются наиболее интересными с точки зрения их исследования на всех пространственных и временных масштабах, начиная от взрывного рождения Вселенной и до спокойного течения событий внутри Солнечной системы, изредка нарушаемого вбрасыванием в нее кометного вещества из граничащих с Солнечной системой областей Галактики.

Несмотря на то, что вклад звезд и галактик в среднюю плотность вещества во Вселенной не превышает 1-2 процентов, именно эти структурные образования являются пробными телами, фотоны от которых мы и способны регистрировать для исследования структуры и физики Вселенной, а также для детального изучения происходящих в ней процессов.

Звездные атмосферы являются основными носителями информации об эволюции химического вещества в нашей Галактике, дополнительные сведения об этом содержатся в межзвездной газо-пылевой среде. Информация о химическом составе звезд может быть получена только на основе согласования высокоточных наблюдательных данных с результатами наиболее передовых методов численных расчетов звездных атмосфер.

В связи с этим, актуальными являются как задача получения спектров высокого разрешения, так и их адекватного теоретического анализа с целью

определения физических параметров и химического состава звездных атмосфер.

По-видимому, большая часть звезд Галактики содержится в двойных и кратных системах. Некоторая часть звезд Галактики образует так называемые тесные двойные системы, в которых происходит обмен масс между компонентами посредством перетекания вещества с одной звезды на соседнюю. Как правило, соседняя звезда является компактным объектом (в виде черной дыры, нейтронной звезды или белого карлика), обладающим сильным гравитационным потенциалом, что и обуславливает аккрецию на нее вещества нормальной звезды-соседки. Физические процессы аккреции и переработки потенциальной энергии вещества, падающего на компактный объект, являются еще недостаточно изученными. В связи с этим, оказывается актуальной задача регистрации излучения от систем с аккрецией вещества с высоким временным разрешением и в различных диапазонах энергии.

Несмотря на то, что современная астрономия является многоволновой наукой с регистрацией излучения в широком диапазоне электромагнитного излучения – от гамма-лучей до радиоволн, имеется значительный дефицит наблюдательных средств и экспериментальных установок для обеспечения непрерывности регистрации излучения от одного источника, либо для обеспечения регистрации многих источников в каком-либо диапазоне длин волн. Особенно эта проблема актуальна для российской астрономии в связи с отсутствием производства астрономических телескопов на российских предприятиях. Еще большей проблемой является оснащение даже имеющихся телескопов современным научным оборудованием, работоспособность которого полностью определяется использованием современных крупноформатных охлаждаемых ПЗС-матриц, производство которых в России фактически также не освоено, за исключением единственной специализированной лаборатории в САО РАН.

В связи с этим, чрезвычайно актуальной оказывается задача оснащения телескопа РТТ150 современным оборудованием для использования его в решении вышеуказанных астрофизических задач.

Цели и задачи работы.

В связи с отмеченным выше, целями работы являются следующие:

1. Создание и внедрение комплекса современного научного оборудования в практику регулярных наблюдений 1.5-метрового телескопа РТТ150
2. Оптическая идентификация и классификация неотожествленных рентгеновских источников жесткого диапазона (20-100 кэВ), обнаруженных космической орбитальной обсерваторией ИНТЕГРАЛ.
3. Оптические наблюдения микроквара SS433 во время сеансов наблюдений этой системы спутником ИНТЕГРАЛ и с целью исследования флуктуаций яркости на временной шкале 10 – 10000 секунд
4. Поиск новых тесных двойных систем с эффектами отражения – предкатаклизмических переменных звезд.
5. Фотометрия оптических послесвечений гамма-всплесков.
6. Фотометрический мониторинг гравитационной линзы SBS1520 с целью определения времени задержки светового сигнала
7. Исследование физических параметров и химического состава атмосфер избранных групп звезд.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- 1) Современное новое научное оборудование внедрено в практику регулярных астрономических наблюдений на 1.5-метровом телескопе

- PTT150, включая крупногабаритный стационарный Кудэ-эшелле спектрометр высокого разрешения.
- 2) Выполнено оптическое отождествление 6 близких ($Z < 0.1$) новых активных ядер галактик, обнаруженных спутниками ИНТЕГРАЛ и RXTE: IGR J18559+1535, IGR J19473+4452, IGR J21277+5656, XSS J05054-2348, XSS J16151-0943, XSS J21354-2720
 - 3) Выполнено оптическое отождествление 2-х новых катаклизмических двойных систем, обнаруженных спутниками ИНТЕГРАЛ и RXTE: IGR J00234+6141 и XSS J00564+4548.
 - 4) Впервые выполнены долговременные фотометрические наблюдений SS433 с временным разрешением 6 сек и точностью в 1 процент, позволившие построить высокоточный спектр мощности переменного оптического излучения системы в диапазоне частот 0.00001- 0.01 Гц и выполнить сравнение со спектром мощности в рентгеновском диапазоне в широком временном интервале.
 - 5) Впервые обнаружены малоамплитудные (0.04 mag) периодические ($P=0.319$ суток) изменения блеска у объекта PG2200+085, связанные с действием эффектов отражения и несферичности компонент в тесной двойной системе с рентгеновским источником.
 - 6) Впервые обнаружена протяженная пространственная структура рентгеновского источника RBS1032, указавшая на его внегалактическое происхождение, и, возможно, являющегося кандидатом в черную дыру промежуточной массы.
 - 7) Выполнены уникальные фотометрические наблюдения кратковременных (часы, сутки) слабых оптических послесвечений гамма-всплесков.
 - 8) Выполнен долговременный фотометрический мониторинг гравитационно- линзированного квазара SBS1520+530, позволивший независимо определить время задержки светового сигнала (~128-130 суток) и подтвердить наличие эффектов микролинзирования.

9) Определены наиболее точные физические параметры и химический состава избранных групп звезд спектральных классов А, F, G.

Научную и практическую значимость имеют:

- функционирующий комплекс современного научного оборудования 1.5-м телескопа РТТ150,
- результаты новых оптических отождествлений активных ядер галактик, их красные смещения, позволяющие определять светимость и изучать пространственное распределение,
- результаты новых оптических отождествлений тесных двойных звездных систем с рентгеновскими объектами,
- кривые блеска высокого временного разрешения тесных двойных систем
- архив высокоточных спектров высокого разрешения А-F-G-звезд в окрестностях Солнца,
- методики получения и обработки спектров высокого разрешения и высокоточных рядов фотометрических данных.

Результаты, выносимые на защиту :

1. Современное научное оборудование, внедренное в практику регулярных астрономических наблюдений 1.5-м телескопе РТТ150, включая крупногабаритный стационарный Кудэ-эшелле спектрометр высокого разрешения.
2. Результаты оптического отождествления 6 близких ($Z < 0.1$) новых активных ядер галактик, обнаруженных спутниками ИНТЕГРАЛ и RXTE: IGR J18559+1535, IGR J19473+4452, IGR J21277+5656, XSS J05054-2348, XSS J16151-0943, XSS J21354-2720

3. Результаты оптического отождествления 2-х новых катаклизмических двойных систем, обнаруженных спутниками ИНТЕГРАЛ и RXTE: IGR J00234+6141 и XSS J00564+4548.
4. Результаты долговременных фотометрических наблюдений SS433 с временным разрешением 6 сек и точностью в 1 процент, позволившие построить высокоточный спектр мощности переменного оптического излучения системы в диапазоне частот 0.00001 - 0.01 Гц и выполнить сравнение со спектром мощности в рентгеновском диапазоне в широком временном интервале.
5. Обнаружение малоамплитудных (0.04 mag) периодических ($P = 0.319$ d) изменений блеска у объекта PG2200+085, связанных с действием эффектов отражения и несферичности компонент в тесной двойной системе с рентгеновским источником.
6. Обнаружение протяженной пространственной структуры рентгеновского источника RBS1032, указавшее на его внегалактическое происхождение, и, возможно, являющимся кандидатом в черную дыру промежуточной массы.
7. Результаты фотометрических наблюдений слабых оптических послесвечений гамма-всплесков.
8. Результаты фотометрического мониторинга гравитационно-линзированного квазара SBS1520+530, подтвердившие время задержки светового сигнала (~130 суток) и наличие эффекта микролинзирования.
9. Результаты определений физических параметров и химического состава избранных групп звезд спектральных классов F,G,K

Апробация работы.

Результаты работы докладывались автором на 20 международных и всероссийских конференциях в период 1992-2007 гг., а также на научных семинарах ряда российских и зарубежных организаций:

на Симпозиумах МАС N 164 “Звездные населения” и N169 “Нерешенные проблемы Млечного Пути” в период 22-й Генеральной Ассамблеи МАС в Гааге, Голландия (1994), на Симпозиуме МАС N 177 “Феномен углеродных звезд”, Анталья, Турция (1996), Совещании “Лабораторная и астрономическая спектроскопия высокого разрешения”, Брюссель, Бельгия (1994), Симпозиуме МАС N 210 “Моделирование звездных атмосфер”, Уппсала, Швеция (2002), Международной конференции “Скрытая Вселенная, ИНТЕГРАЛ-2006”, Москва (2006), Совещаниях Европейского Астрономического Общества – JENAM-2000 (Москва, С-Петербург), JENAM-2001 (Мюнхен), Международном совещании “Маяки Вселенной”, Мюнхен, Германия (2001 г.), XV-м Национальном Астрономическом Конгрессе, Стамбул, Турция (2006), Всероссийских астрономических конференциях ВАК-1997, ВАК-2004 (Москва), ВАК-2007 (Казань), Всероссийских конференциях, посвященных 100-летию Астрономической Обсерватории им. Энгельгардта, Казань (2001), 100-летию Д.Я.Мартынова и 100-летию П.П.Паренаго, Москва (2006), Всероссийских конференциях “Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра”, Москва (2005, 2006, 2007), Совещаниях Рабочей Группы “Звездные атмосферы”, САО РАН (1992), Киев (1994), Одесса (1996), Совещании “Методы спектроскопии в современной астрономии”, Москва (2006), ежегодных Итоговых научных конференциях КГУ (1996-2007), Семинарах САО РАН, ИНАСАН, кафедры астрономии Казанского госуниверситета.

Достоверность научных результатов :

- 1) Созданное и внедренное современное научное оборудование телескопа РТТ150 тестировалось путем сравнения с результатами опубликованных однотипных наблюдений, выполненными на современных телескопах мира. Результаты сравнения показали, что качество данных РТТ150 не только не уступает современному уровню, но в ряде случаев может выступать в качестве эталонных для калибровки других подобных инструментов в России и за рубежом
- 2) Методика обработки фотометрических и спектральных данных, полученных на РТТ150, тестировалась путем сравнения с результатами, полученными другими пакетами программ. Во всех случаях результаты тестирования показали полное количественное соответствие данных.
- 3) Результаты оптического отождествления и определенные физические параметры ядер активных галактик и полярных сравнивались с позднее опубликованными данными других авторов для некоторых общих объектов и было обнаружено количественное соответствие с независимо полученными данными.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 8 глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 270 страниц, включая 130 рисунков и 17 таблиц. Список литературы содержит 112 наименований.

Краткое содержание диссертации

Во **Введении** дается общая характеристика работы и обосновывается актуальность и необходимость создания комплекса научного оборудования 1.5-м телескопа РТТ150 для решения задачи оптического отождествления рентгеновских источников орбитальной обсерватории ИНТЕГРАЛ и исследования их физических параметров.

В первой главе описаны технические этапы, связанные с этапами сборки, установки и юстировки 1.5-м телескопа АЗТ-22 (изготовленного в 1995 году на АО ЛОМО, С-Петербург, по заказу Казанского госуниверситета) в Национальной Обсерватории ТЮБИТАК (Турция). По совместному соглашению участников международного проекта (КГУ, ИКИ РАН, Национальная Обсерватория ТЮБИТАК) данный 1.5-м телескоп АЗТ-22 именуется как РТТ150 (Российско-Турецкий телескоп с диаметром зеркала 150 см) и совместно эксплуатируется участниками проекта. По своей оптико-механической конструкции телескоп РТТ150 является аналогом 1.5-м телескопа АЗТ-22, установленного на Обсерватории Майданак в Узбекистане. Транспортировка из С-Петербурга в Анталию (Турция) в разобранном виде была осуществлена в 1995 году. В 1996 году был заложен фундамент здания для РТТ150. Здание было спроектировано с учетом установки внутри него крупногабаритного куде-эшелле спектрометра в термостатированном и позиционно стабильном, изолированном помещении. Кроме того, было предусмотрено, что высота установки телескопа составит 12-15 метров над уровнем земной поверхности, что изолирует телескоп от наиболее сильных турбулентных помех, возникающих в приземном слое воздуха. В летние сезоны 1997-98 гг. совместно со специалистами АО ЛОМО были выполнены работы по сборке и монтажу оптико-механических и электронных узлов телескопа. В сезоны 1999-2000 гг. были выполнены этапы

высокоточной астрономической юстировки оптических систем телескопа в фокусах F/8, F/16 (Кассегрен), F/48 (Куде). Юстировка системы F/8 была выполнена с использованием диафрагмы Гартмана диаметром 150 см, оптика систем F/16 и F/48 юстировалась отдельно с привязкой к оптической оси системы F/8. По результатам юстировки системы F/8 был сделан вывод, что 50 процентов от полной энергии пучка концентрируется в кружке диаметром 0.4 угловой секунды, а 80 процентов энергии – внутри кружки диаметром 0.55 угл. секунды, что примерно в 2 раза меньше характерного размера кружка атмосферной турбуленции в условиях Национальной обсерватории ТЮБИТАК (Аслан и др., 1989). Таким образом, качество оптики РТТ150 и ее юстировки не вносят дополнительных искажений в размеры и форму изображений, которые, в основном, определяются атмосферными условиями. В этой главе описаны также этапы работы по повышению точности наведения телескопа РТТ150 по заданным координатам объектов. Автоматическая система управления телескопа РТТ150 была создана российскими участниками проекта (КГУ, ИКИ РАН). Повышение точности наведения до 10-20 угловых секунд было достигнуто за счет учета наклонов главного зеркала в его оправе путем введения эмпирических поправок в программу наведения в зависимости от положения трубы телескопа по отношению к горизонту и сторонам света. Функционирующая система управления телескопа позволяет осуществлять дистанционное управление телескопом и научным оборудованием с 1-го этажа здания, где размещена вспомогательная комната для наблюдателей. В дальнейшем планируется вынос рабочего места наблюдателей из здания РТТ150.

Во второй главе Диссертации описаны этапы создания и юстировки куде-эшелле спектрометра и даны основные технические параметры научных приборов РТТ150 – ПЗС-фотометра на основе термоэлектрически охлаждаемой ПЗС-матрицы фирмы ANDOR, камеры прямых изображений и спектров низкого разрешения TFOSC, стационарного куде-эшелле

спектрометра. Все приборы используются в регулярных наблюдениях на РТТ150 по научным программам участников проекта.

При создании элементов кудэ-эшелле спектрометра для РТТ150 был использован успешный опыт создания таких приборов для 1-м телескопа “Цейсс-1000” САО РАН и 2-м телескопа “Цейсс-2000” на пике Терскол (Мусаев, 1996, Мусаев и др., 1999). Однако в отличие от 1-м и 2-м телескопов, для РТТ150 пришлось выполнить изготовление всех оптико-механических элементов крупногабаритного куде-спектрометра, так как данный прибор не входил в состав телескопа АЗТ-22 при его проектировании и изготовлении на АО ЛОМО.

В настоящее время в состав научного оборудования входят следующие приборы:

1. **ПЗС-фотометр** с термоэлектрически охлаждаемой до -60 С ПЗС-матрицей производства северо-ирландской фирмы ANDOR (www.andor.com). При формате 2048×2048 элементов (13.5 микрон каждый), поле зрения составляет 8×8 угловых минут при масштабе 0.24 угловых секунд на пиксель для системы F/8. Фотометр снабжен двумя турелями квадратных фильтров ($50 \times 50 \times 5$ мм) со стандартными системами BESSEL (UBVRcIc) и SDSS (u' , g' , r' , i' , z'). Опыт наблюдений показал возможность регистрации объектов до 24 звездной величины в полосе Rc за 1-2 часа суммарной экспозиции при качестве изображений 1-1.5 угловых секунд (с фотометрической точностью 20 процентов) или быстрой (1-10 сек) фотометрии объектов 12-15 звездной величины с фотометрической точностью 1-10 процентов.

2. **Прибор TFOSC** (TUBITAK FOSC) - это модифицированный вариант приборов серии FOSC (Faint Objects Spectrometer and Camera). Прибор изготовлен в астрономической обсерватории Копенгагенского университета (Дания). Он состоит из фокального редуктора, трансформирующего пучок F/8 в пучок F/5.5. После многолинзового коллиматора в параллельном пучке установлены турели для фильтров систем BESSEL (UBVRcIc) и SDSS (u' , g' ,

r' , i' , z') и прозрачных дифракционных решеток и призм (гризм). В качестве приемника используется азотно-охлаждаемая ПЗС-матрица формата 2048 x 2080 элементов (15 микрон каждый). В зависимости от наблюдательной задачи прибор позволяет получать прямые изображения с полем зрения 13 x 13 угловых минут с масштабом 0.39 угловых секунд на пиксель, спектры низкого (5 - 15 Ангстрем) или среднего (2-3 Ангстрема) разрешения (в эшелле моде).

Также как и вышеуказанный ПЗС-фотометр, прибор TFOSC снабжен отдельным офсетным автогидом, который установлен в нерабочей зоне поля зрения системы F/8 и снабжен отдельной, термоэлектрически охлаждаемой ПЗС-матрицей. Она используется для контроля положения опорной (гидировочной) звезды и передачи команд в систему управления телескопа для тонкой коррекции положения телескопа в ходе рабочих экспозиций.

Использование офсетного гида позволяет сохранять атмосферное качество изображений в ~ 1.5 угловых секунд в течение характерных экспозиций в 10-30 минут и удерживать объекты на входной щели при использовании спектральной моды прибора TFOSC. Опыт наблюдений с TFOSC показал возможность регистрации спектров объектов 14-19-ой величины с разрешением 10-15 ангстрем для задач спектральной классификации, и объектов 10-13 величины в эшелле-моде с разрешением 2-3 Ангстрема и высоким отношением сигнал / шум для задач количественного спектрального анализа или измерений лучевых скоростей для исследования кинематики звезд Галактики или орбитальных движений звезд в двойных системах.

3. Куде-эшелле спектрометр полностью изготовлен в России. Прибор размещен в отдельном тепло и позиционно-изолированном помещении на 2-ом этаже здания РТТ150. В 2003 году были завершены работы по установке и юстировке оптико-механических элементов спектрометра внутри этого помещения и в 2004 году начались регулярные наблюдения. Спектрометр оснащен двумя оптическими камерами со спектральным разрешением $R=40000$ и $R=100000$. Тестовые наблюдения показали высокое качество

оптики камер по всему полю эшелле-кадра. В настоящее время используется только короткофокусная камера ($F=380$ мм) с разрешением $R=40000$, в фокусе которой установлена азотно-охлаждаемая ПЗС-матрица, изготовленная в САО РАН, с форматом 1160×1040 элементов (16 мкм каждый). При работе с этой матрицей регистрируется около 70 эшелле-порядков в диапазоне 3900-8700 Ангстрем. При этом в желтой и красной частях спектра порядки не перекрываются из-за ограниченного геометрического размера ПЗС (18×16 мм).

Опыт тестовых наблюдений на этой камере с использованием ПЗС матрицы фирмы ANDOR показал, что при формате 2048×2048 элементов регистрируется одновременно практически весь диапазон 3500-10000 А с полным перекрытием всех порядков. При работе с камерой $R=100000$ необходима ПЗС-матрица формата 4096×2048 для одновременной регистрации указанного спектрального интервала с перекрытием всех эшелле-порядков. Такие ПЗС-матрицы в мире реально уже используются и вопрос оснащения ими данного прибора - это вопрос ближайшего будущего.

Исследования фотометрических и позиционных характеристик показали следующее:

При разрешении $R = 40000$ куде-эшелле спектрометр позволяет регистрировать спектры звезд до 8-й величины с отношением сигнал/шум = 100 на элемент разрешения в максимуме чувствительности ПЗС-матрицы и измерять эквивалентные ширины спектральных линий с систематической погрешностью в 1 процент и лучевые скорости звезд с точностью до 100 метров в секунду. Тестовые наблюдения с использованием йодной ячейки показали возможность увеличения точности регистрации лучевых скоростей до 10-15 метров в секунду, то есть на порядок выше по сравнению с классическими подходами.

При использовании прибора TFOSC в эшелле-режиме со спектральным разрешением 2-3 Ангстрема, точность измерения лучевых скоростей составляет 1-10 км/сек в зависимости от спектрального класса и скорости

вращения исследуемых звезд 10-13 величины, что вполне достаточно для решения задач о кинематике звезд Галактики или определения орбитальных параметров звезд в тесных двойных системах.

В третьей главе приводятся результаты первых применений телескопа РТТ150 в задаче оптического отождествления рентгеновских источников спутника ИНТЕГРАЛ и исследования оптических свойств источников жесткого излучения.

В настоящее время наблюдения орбитальной обсерватории ИНТЕГРАЛ (Винклер и др., 2003) покрыли значительную часть неба и позволили обнаружить десятки новых источников жесткого рентгеновского излучения (Кривонос и др. 2007). Идентификация большей части источников затруднена ввиду невысокой точности их локализации при помощи телескопов ИНТЕГРАЛа (2-3 угловые минуты). Особенно сложна идентификация источников, лежащих в направлении на плоскость Млечного Пути – основной зоны на небе в научной программе обсерватории ИНТЕГРАЛ. Приборы ИНТЕГРАЛа имеют примерно в 100 раз большую чувствительность в жестком рентгеновском диапазоне (20-100 кэВ) по сравнению с предыдущими миссиями, что позволяет обнаруживать новые источники, особенно поглощенные пылевыми оболочками, которая на несколько порядков поглощает излучение в мягком рентгеновском диапазоне. С другой стороны, практически полное покрытие площади неба позволяет решать задачу пространственного распределения обнаруживаемых источников. В частности, по данным нового каталога источников ИНТЕГРАЛа (Кривонос и др., 2007) был обнаружен эффект пространственной анизотропии в распределении активных ядер галактик в ближней Вселенной ($Z < 0.2$). При этом число известных АЯГ в таком ограниченном диапазоне красных смещений остается небольшим (100-150 объектов на всем небе) и необходимо увеличивать статистику путем продолжения оптического отождествления новых источников. Кроме активных ядер галактик среди отождествленных источников

обнаруживаются и ожидаются различные варианты тесных двойных систем с компактными объектами и аккрецией вещества на них.

В результате выполнения спектральных и фотометрических наблюдений на РТТ150 группы новых источников, обнаруженных ИНТЕГРАЛОм, в данной работе были оптически отождествлены 6 активных ядер галактик и 2 новые тесные двойные системы, классифицированные как промежуточные поляры. Для первой серии наблюдений на РТТ150 были выбраны объекты, имеющие относительно точную локализацию либо по результатам предыдущих наблюдений обсерваторий ROSAT, EINSTEIN, RXTE, либо по недавним наблюдениям обсерваторий SWIFT или CHANDRA - на основе уже известных локализаций спутника ИНТЕГРАЛ. На рис. 1 показаны изображения 6-ти полей (ПЗС-фотометр ANDOR) с перекрестной локализацией источников по данным обсерваторий ИНТЕГРАЛ, RXTE, EINSTEIN, ROSAT, CHANDRA. Спектры этих источников, полученные с помощью прибора TFOSC, показаны на рис. 2. На основании отношений интенсивностей линий [NII]6584/H-alpha и [OIII]5007/H-beta и полуширин этих линий указанные источники классифицированы как сейфертовские галактики 1 или 2 типов. Все объекты попадают в диапазон красных смещений $Z = 0.014-0.085$, их характерные рентгеновские и оптические светимости составляют $10^{43} - 10^{44}$ эрг/сек. Таким образом, указанные источники являются активными ядрами галактик в близкой Вселенной (50-300 Мпк) со светимостями, сравнимыми или даже выше интегральной светимости всех звезд родительской галактики. Глубокие снимки ($R_c \sim 23.5$ mag) полученные с помощью ПЗС-фотометра ANDOR для всех 6-ти случаев показали наличие протяженной структуры с характерными размерами в 10-20 угловых секунд, что соответствует характерным линейным размерам родительских галактик в 10-20 Кпк. Корреляция между светимостью в линии [OIII],5007 А и рентгеновской светимостью служит дополнительным аргументом в пользу данной выше классификации их как АЯГ.

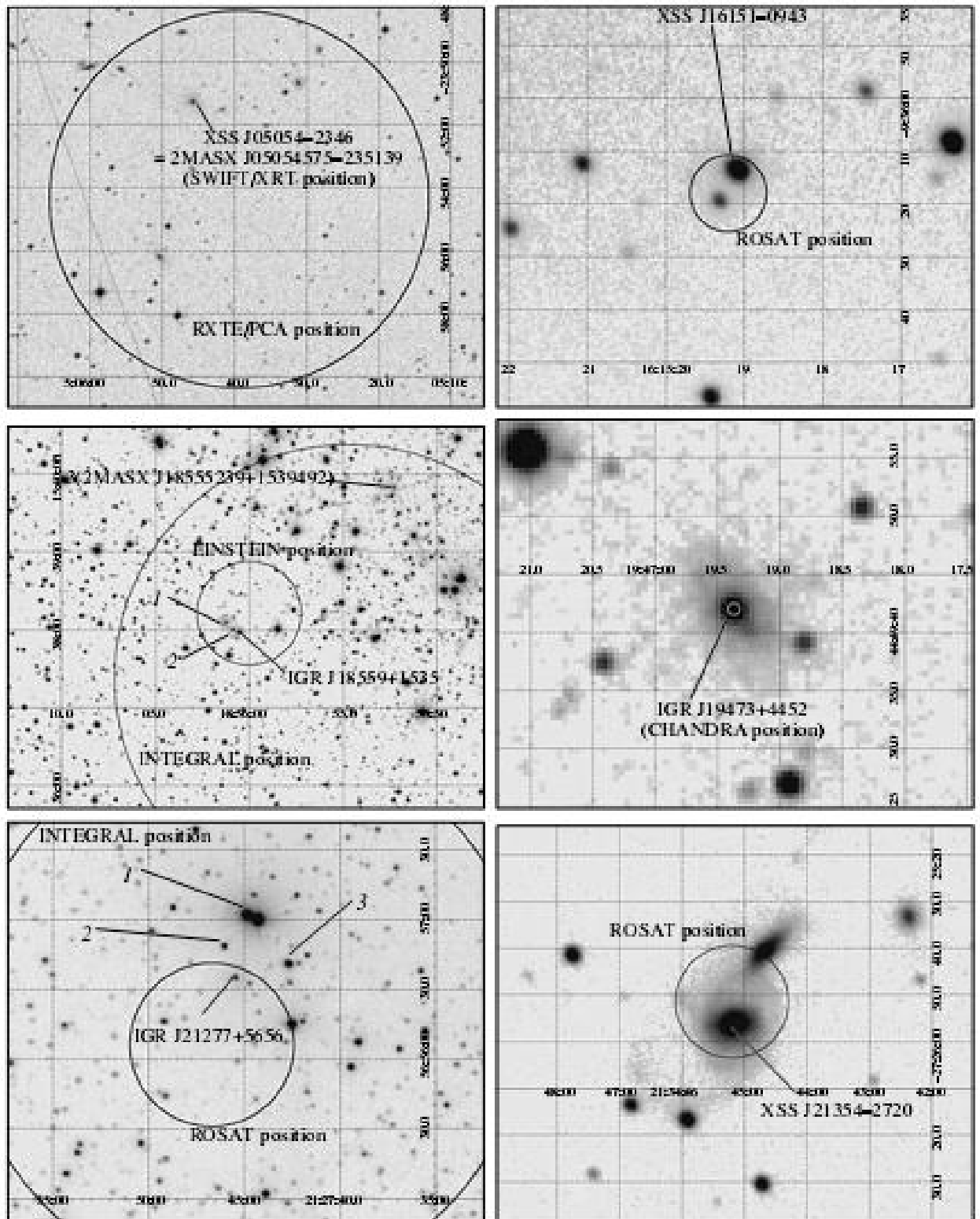


Рис.1. Изображения областей неба в полосе фильтра R_c вокруг 6-ти ранее неидентифицированных источников обсерваторий ИНТЕГРАЛ и RXTE.

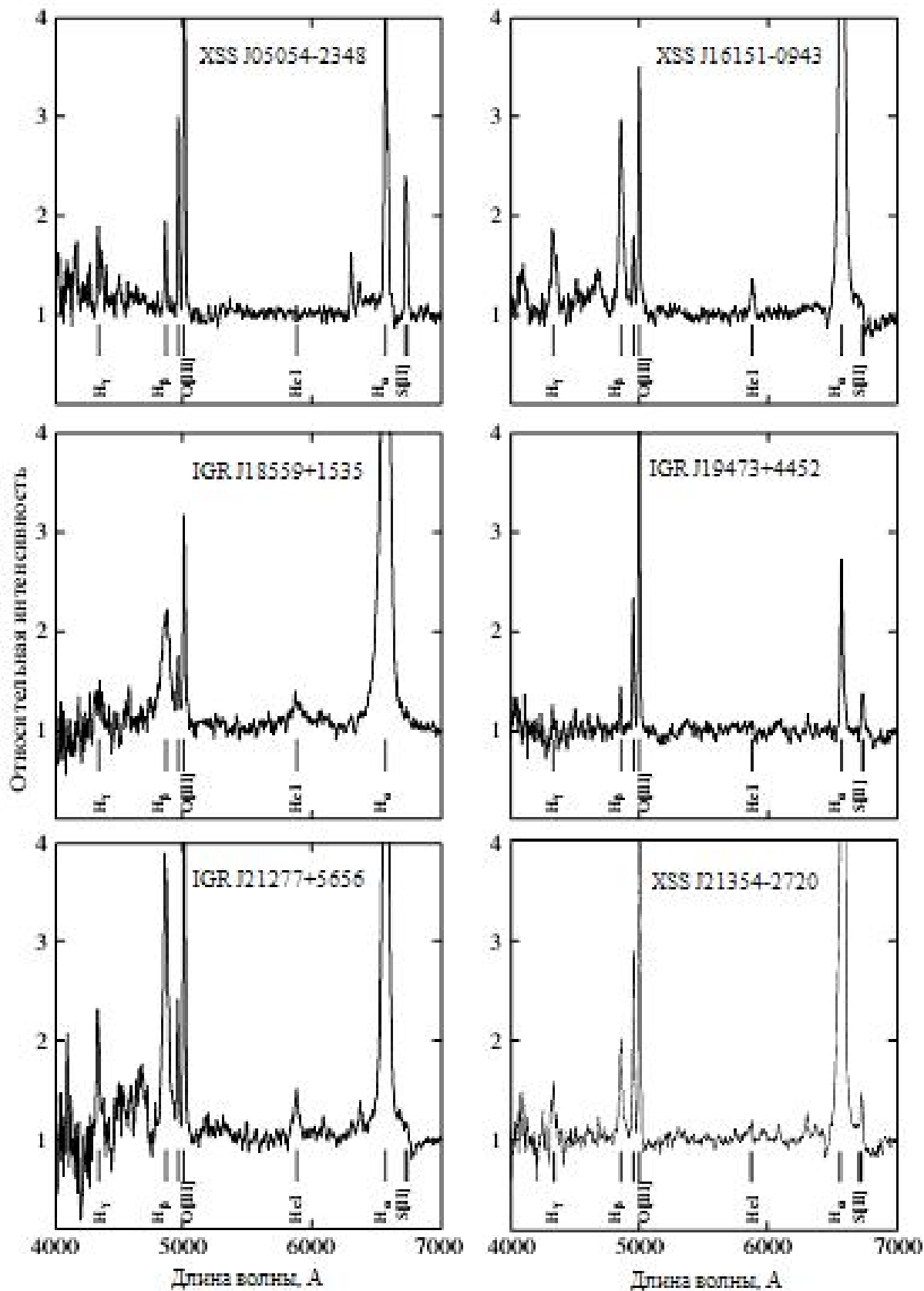


Рис. 2. Спектры 6-ти обнаруженных АЯГ, изображения которых даны на рис.1. Спектры показаны в относительных интенсивностях.

Два новых источника с жестким рентгеновским излучением IGR J00231+6141 и XSS J00564+4548, спектры которых показали нулевое красное смещение с характерными эмиссионными линиями излучения от аккреционных дисков, были классифицированы как промежуточные поляры. На рис. 3. показана область неба вокруг источника IGR J00231+6141. Спектры были получены для 7 объектов, показанных цифрами внутри круга ошибок обсерватории ROSAT. На рис. 4 показан спектр объекта под номером 7, который и был идентифицирован как оптический компонент рентгеновского источника. На Рис. 5 приведена кривая блеска источника IGR J0231+6141, показывающая вариации оптического потока с периодом вращения аккрецирующего белого карлика (570 сек). На Рис. 6 показана кривая лучевых скоростей для объекта IGR J00231+6141, построенная по эмиссионным линиям H-alpha и H-beta на основе спектров TFOSC. Периодические изменения лучевых скоростей с характерным периодом в 4 часа отражают орбитальное движение в тесной двойной системе.

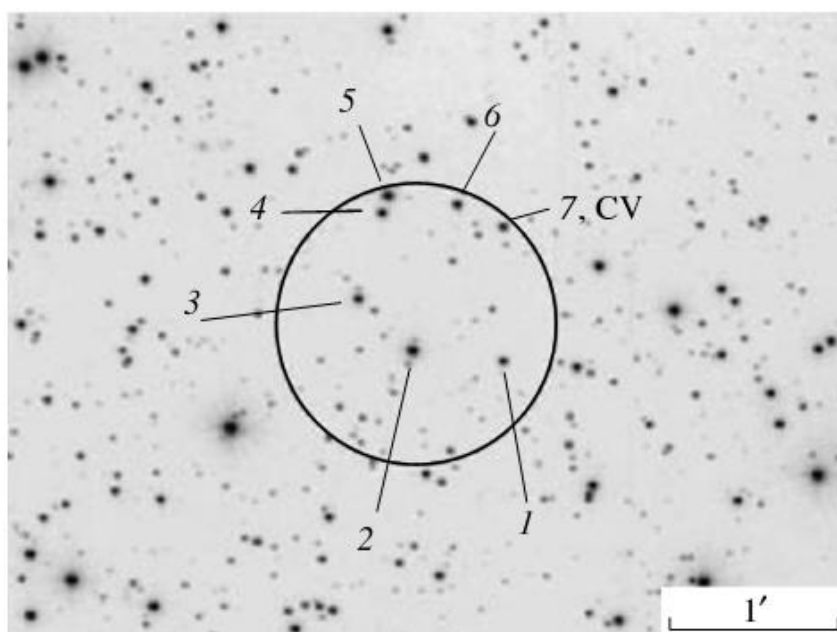


Рис. 3. Оптическое изображение неба вокруг источника IGR J00231+6141. Спектры были получены для 7 объектов показанных цифрами внутри круга ошибок обсерватории ROSAT.

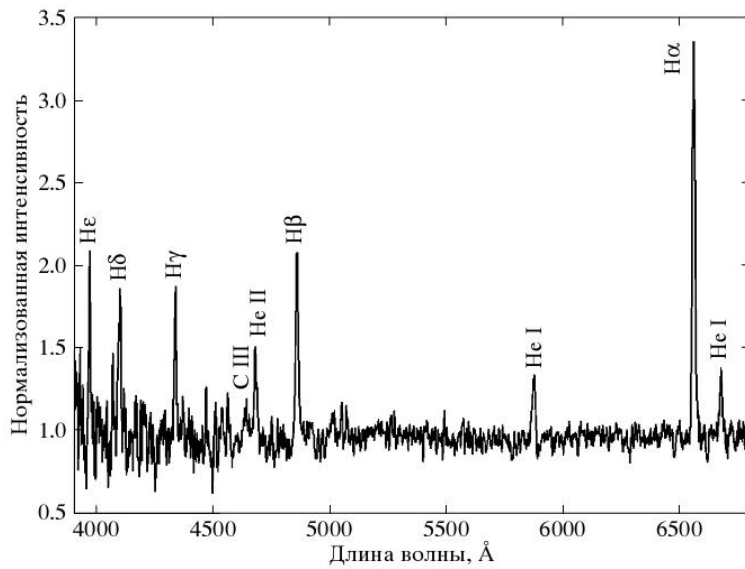


Рис. 4. Оптический спектр объекта IGR J00231+6141 (объект 7 на Рис.3).

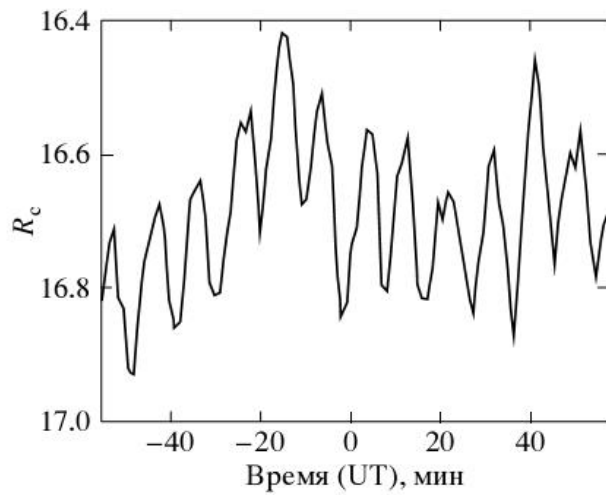


Рис. 5. Кривая блеска источника IGR J00231+6141

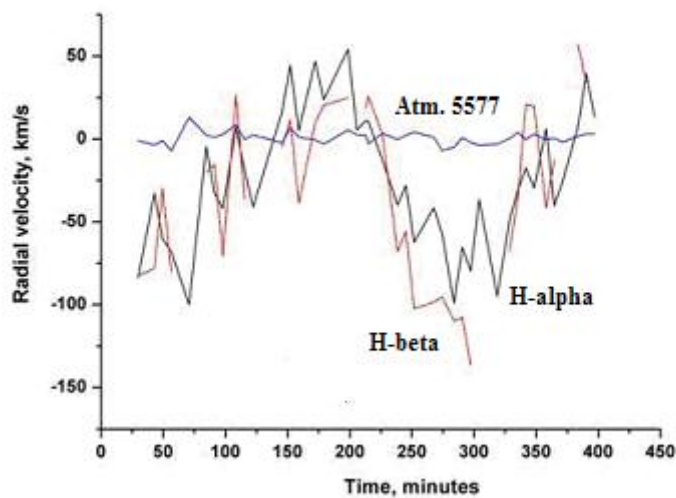


Рис. 6. Кривая лучевых скоростей источника IGR J00231+6141.

Кроме отмеченных выше 8 объектов в третьей главе также приводятся примеры оптических отождествлений источников дополнительной выборки и анализируются характеристики их оптического излучения.

В четвертой главе приводятся результаты фотометрических наблюдений на РТТ150 объекта SS433 во время сеансов параллельных наблюдений с обсерваторией ИНТЕГРАЛ и исследования спектров мощности его оптического излучения. Источник SS433 является уникальным объектом не только нашей Галактики, но и ближайших галактик – до сих пор не обнаружены аналогичные ему источники, столь активно излучающие одновременно от гамма до оптики и радио диапазонов энергии. SS433 – это массивная затменная двойная рентгеновская система на продвинутой эволюционной стадии. До сих пор не решена окончательно проблема масс для компонент системы. Компактным объектом является, по-видимому, черная дыра с массой около 10 масс Солнца, а оптический компонент – это звезда А-сверхгигант с массой порядка 30 масс Солнца (Черепашук и др., 2005). В тоже время, наибольший вклад в излучение системы дают аккреционный диск и джеты (газовые струи). SS433 - это микроквазар со сверхкритической аккрецией и релятивистскими джетами (0.26c). С целью более детального исследования физических характеристик этой сложной и комплексной астрофизической системы были организованы наблюдения SS433 с помощью телескопов обсерватории ИНТЕГРАЛ (А.М.Черепашук, Р.А.Сюняев), а также наземные оптические и радионаблюдения, координацию которых организовали К.Постнов (ГАИШ МГУ) и С.Фабрика (САО РАН). В рамках наземной поддержки наблюдений спутником ИНТЕГРАЛ в апреле-мае 2003 года, на телескопе РТТ150 были выполнены высокоточные фотометрические наблюдения с временным разрешением 10-30 секунд с использованием ПЗС-фотометра ANDOR. В результате были получены кривые блеска SS433 с фотометрической точностью в 0.5-1 процент на протяжении всего орбитального периода с 28 апреля по 12 мая

2003 года. Наблюдения на РТТ150, включенные в общую базу данных наземных оптических наблюдений (Черепашук и др., 2005), позволили зафиксировать момент минимума блеска с точностью 0.169 суток при сравнении с расчетными эфемеридами В.Горанского и др. (1998). Этот параметр был необходим для временной привязки моментов рентгеновских затмений SS433 при наблюдениях спутником ИНТЕГРАЛ и сравнения ширин кривых затмения в оптическом и жестком рентгеновском диапазоне. Кроме того, оптические наблюдения подтвердили “спокойное” состояние системы в ходе наблюдений на ИНТЕГРАЛе, что было важным для достоверного анализа и интерпретации кривой затмения SS433 в жестких рентгеновском диапазоне.

В ходе фотометрических наблюдений SS433 на РТТ150 в 2003 году были зафиксированы аperiodические флуктуации блеска с амплитудами в 3-5 процентов на временных масштабах в 100 секунд (Черепашук и др., 2005), рис. 7.

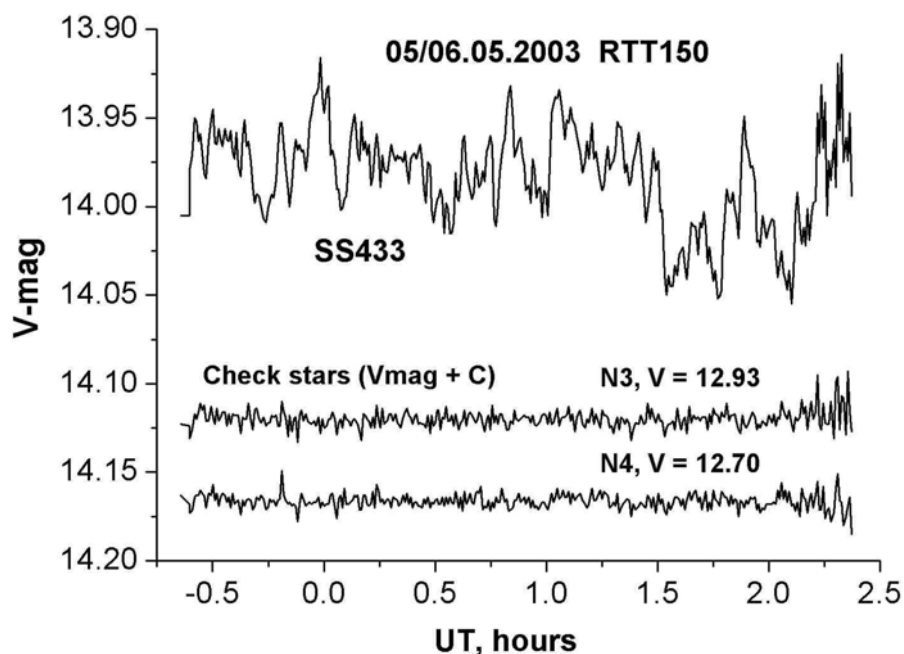


Рис. 7 Пример кривой блеска SS433. Инструментальная точность измерений показана в виде кривых блеска контрольных звезд (N 3 и N 4).

Для более подробного количественного анализа спектра мощности этих флуктуаций были выполнены специальные долговременные (со 2 по 11 сентября 2004 г.) высокоточные фотометрические наблюдения SS433 с временным разрешением в 6 секунд. Они позволили построить спектр мощности переменности потока SS433 в оптическом диапазоне на временных масштабах в 0.00001-0.01 Гц и выполнить сравнение со спектром мощности потока источника в рентгеновском и радиодиапазонах в широком интервале временных частот. Было обнаружено удивительное подобие наклона спектров мощности в оптическом, рентгеновском и радио диапазонах, рис. 8. Из наблюдаемого факта одинаковости наклона был сделан важный вывод о формировании разномасштабной переменности потока SS433 в различных спектральных диапазонах в результате самоподобных флуктуаций вязкости аккреционного диска и связанных с этим темпом аккреции вещества на компактный объект.

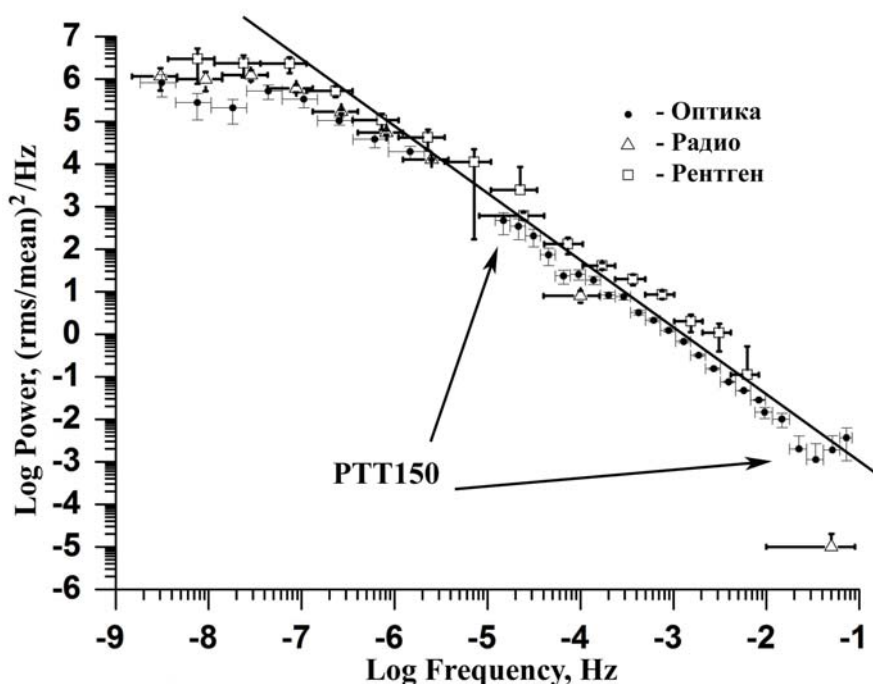


Рис. 8. Широкополосный спектр мощности переменности потока SS433 в радио, оптическом и рентгеновском спектральных диапазонах, построенный по всем доступным данным. Вклад оптических данных PTT150 (в диапазоне частот 0.00001 – 0.01 Гц) показан стрелками.

В пятой главе диссертации приводятся результаты фотометрических наблюдений на РТТ150 с целью обнаружения новых тесных двойных систем, в частности, предкатаклизмических переменных звезд, показывающих эффекты облучения атмосферы холодной компоненты жестким излучением компактного компаньона. Исследование таких тесных двойных систем является приоритетным направлением работ на кафедре астрономии КГУ в связи с активно развиваемыми численными методами расчетов облучаемых моделей атмосфер звезд. Число подобных близких систем невелико и поэтому необходимо выполнять поиск новых систем. С этой целью была выполнена фотометрическая наблюдательная программа на РТТ150 (спектроскопическая часть выполнялась на 6-м телескопе БТА), в которую было включено 10-12 кандидатов в указанные системы. В результате наблюдений на РТТ150 у объекта PG2200+085 были обнаружены малоамплитудные (0.04 mag) периодические (0.319 суток) изменения блеска, связанные с действиями эффектов отражения и/или эллипсоидальности холодного компонента системы. Остальные исследованные кандидаты оказались двойными системами, в которых оба компонента являются проэволюционировавшими звездами (дважды вырожденные объекты - горячие В-субкарлики в паре с белыми карликами). В ходе выполнения указанной программы наблюдений была проведена фотометрия яркого рентгеновского источника RBS1032 из обзора Фишера и др., 1998. В работе Зикграфа и др. (2003) было сделано предположение о том, что источником является звезда Галактики. Высокое качество оптики телескопа РТТ150 позволило обнаружить протяженную структуру источника размером ~ 2.6 угловых секунд при сравнении с опорными звездами в поле ПЗС фотометра ANDOR. В связи с этим наблюдательным фактом была предположена его внегалактическая природа, что было подтверждено спектром, полученным на БТА. Спектр показал линии поглощения на $Z = 0.026$. Анализ всех имеющихся данных привел к предварительному заключению, что источником оптического излучения может быть шаровое скопление в центре

карликовой галактики на указанном красном смещении. А в качестве источника мощного (10^{43} эрг/сек) сверхмягкого (0.3 кэВ) излучения может выступать черная дыра промежуточной массы (1000-100000 масс Солнца).

В шестой главе приводятся результаты наблюдений на РТТ150 оптических послесвечений гамма-всплесков. К настоящему времени природа гамма-вспышек полностью не выяснена. Предполагается, что короткие вспышки, продолжительностью менее секунды, связаны со слиянием нейтронных звезд в ходе их эволюции в тесной двойной звездной системе. Такие вспышки, по-видимому, не сопровождаются оптическим послесвечением и они обнаруживаются в направлениях на скопления далеких галактик без признаков активного звездообразования. Вспышки продолжительностью в десятки - сотни секунд считаются следствием событий, связанных с коллапсом массивных звезд и явлением сверхновых звезд, так как было несколько случаев отождествления оптических послесвечений с последующими проявлениями признаков излучения от сверхновых (гиперновых) звезд. В этих случаях, как правило, наблюдаются послесвечения в широком спектре электромагнитного излучения - от рентгена до оптики и радио диапазонов, что связывают с прохождением и взаимодействием гамма-излучения и ударных волн с окружающей межзвездной средой.

Согласно договоренности с партнерами по совместному проекту, РТТ150 принимает участие в программе оптического отождествления и фотометрического мониторинга оптических послесвечений гамма-вспышек и дает в настоящее время наибольшее количество фотометрической информации для вспышек слабее 17 величины среди всех телескопов России и стран СНГ.

Орбитальная обсерватория SWIFT обеспечила в последние несколько лет большую статистику в наблюдениях гамма-всплесков и наблюдений рентгеновских и оптических послесвечений, благодаря наличию на борту не только гамма-телескопа, но и рентгеновского и оптических телескопов,

которые позволяют в течение десятков секунд и минут определить местоположение всплеска с точностью до десятка угловых секунд (а иногда и лучше). Это обеспечивает возможность быстрого подключения наземных телескопов к фотометрическому мониторингу обнаруженных оптических послесвечений и исключает потерю важного периода (сразу после гамма-вспышки), который раньше неизбежно тратился на поиск оптического послесвечения, если координаты источника гамма-всплеска были известны с недостаточной точностью.

В данной главе приводятся результаты фотометрических наблюдений оптических послесвечений, в которых автор принимал непосредственное участие в наблюдениях, обработке и анализе полученных наблюдений с использованием ПЗС-фотометра ANDOR или прибора TFOSC. При этом для 2-х оптических транзиентов (GRB050408 и GRB060526) получены продолжительные фотометрические временные ряды (часы, дни), что в совокупности с данными других обсерваторий мира позволило зафиксировать эффекты поярчений на оптических кривых блеска на фоне степенного падения блеска.

Возможными причинами аperiодических поярчений блеска могут быть вторичные детонации, вызванные прохождением ударных волн через неоднородную межзвездную среду, окружающую источник гамма-всплеска.

В седьмой главе приводятся результаты фотометрического мониторинга компонент А и В гравитационно-линзированного квазара SBS1520+530. Явление гравитационной линзы является одним из важных инструментов исследования Вселенной на космологических расстояниях. Система SBS1520+530 является типичным примером из числа известных на сегодня гравитационно-линзированных квазаров (ГЛК). Этот объект был обнаружен на 6-м телескопе БТА (Чавушян и др., 1997) как двойной квазар с разделением компонент в 1.6 угловых секунд, со спектрально-идентичными компонентами на красном смещении $Z=1.855$. После обнаружения эффекта

гравлинзы несколько групп исследователей в мире выполняла фотометрический мониторинг этой системы в оптике. Высокое качество оптики 1.5-м телескопа, астрономической юстировки методом Гартмана и астроклиматические условия в месте установки позволили выполнить фотометрический мониторинг этой гравитационной линзы. На основе многолетнего (2001-2005 гг.) мониторинга на РТТ150 независимо от других авторов определено время задержки светового сигнала в 128 суток. Фотометрия на РТТ150 позволила свести в одну систему опубликованные данные и подтвердить наличие эффектов микролинзирования для этой системы, которые проявляются в виде некоррелированных изменений разности блеска между компонентами А и В квазара, рис. 9.

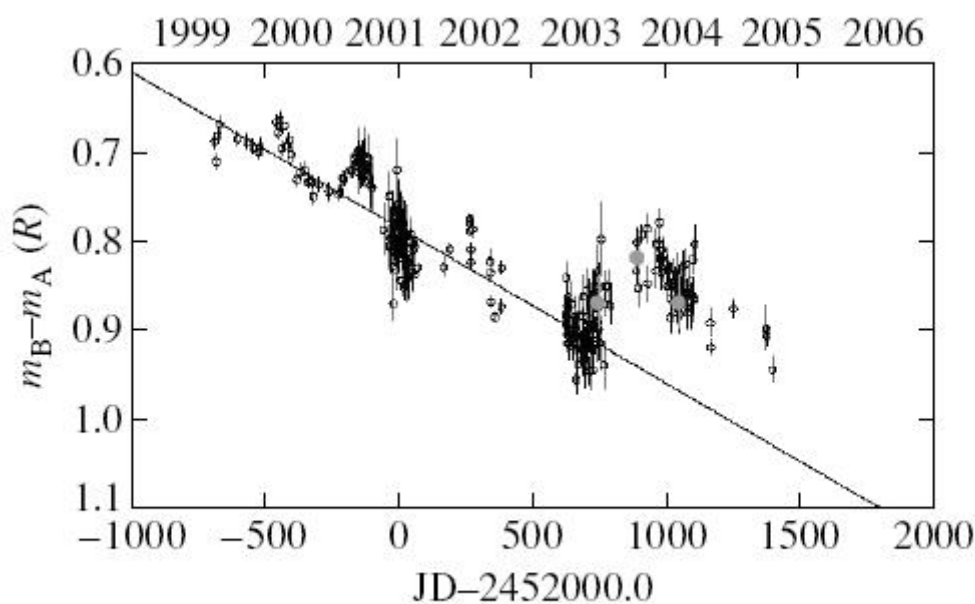


Рис. 9. Разность блеска $R(B) - R(A)$. Кривая блеска компонента В была смещена на время задержки 128 дней. Показан линейный спад 0.064^m в год с 1999 г. до начала 2003 г.

Примечательной деталью на разностной кривой блеска является “уярчение” и последующий “спад” в разности блеска между 2003-2005 гг., что может

свидетельствовать о наличии 2-х событий микролинзирования (кратковременном, 2003-2005) и продолжающемся (1999-2005).

Если изменение разности блеска “ $R(B) - R(A)$ ” интерпретировать событием микролинзирования в гравитационной линзе, то наиболее вероятной представляется модель, связанная с пересечением источником каустической сети (Вамбсгансс, 1990), формируемой микролинзами, находящимися в гравитационной макролинзе.

В восьмой главе диссертации приводятся результаты определения физических параметров и химического состава избранных групп звезд спектральных классов A,F,G с использованием спектров высокого разрешения ($R = 40000 - 100000$) в широком диапазоне длин волн (4000-8000 Å), полученных с помощью куде-эшелле спектрометров 1-м телескопа САО РАН, 2-м телескопа на пике Терскол и РТТ150.

В разделе 8.1 анализируются наблюдаемые профили линий в спектре Веги - первичного спектрофотометрического стандарта. Показано, что в ее линейчатом спектре одновременно наблюдаются совершенно разные по форме профили слабых спектральных линий (с центральной глубиной в 1 – 5 процентов): 1) с “плоским” дном, 2) с “выпуклым вверх” дном, 3) с треугольным профилем, 4) с “наклонным” дном. При этом, сильные линии с центральной глубиной более 20 процентов показывают классические профили, уширенные вращением с $v \sin i = 20$ км/сек. Гулливер и др. (1994), ранее обнаружившие несколько линий с “плоским” дном в спектре Веги, объяснили искажение формы профилей слабых линий проявлением эффекта быстровращающейся звезды ($V_{\text{экв}} = 200-250$ км/сек), обращенной полюсом на луч зрения. Спектры высокого разрешения с отношением сигнал/шум = 500-600, полученные в данном исследовании, стали основой для развития методов численного моделирования спектральных линий на кафедре астрономии КГУ. Быстрое вращение горячей массивной звезды приводит к изменению ее формы по сравнению с шаром - звезда “вытягивается” в сторону экватора и сжимается к полюсам. Это приводит к эффекту

“гравитационного потемнения” - распределение температуры и ускорения силы тяжести по поверхности перестает быть однородным, в частности, температура у полюсов возрастает, а к экватору падает. В результате, возрастают требования к уровню теоретического описания спектральных линий для таких “нестандартных” случаев (по сравнению с использованием однородных моделей атмосфер звезд). Учитывая наличие большого количества горячих звезд с быстрым вращением в Галактике (с различной ориентацией осей вращения на луч зрения), следует ожидать в будущем многочисленных проявлений подобных эффектов при наблюдениях более слабых А,В звезд с помощью спектрометров высокого разрешения крупных телескопов.

В разделе 8.2 приводятся результаты оригинальных спектральных наблюдений автора на РТТ150 солнечной короны во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 года, в полосу которого на 2 минуты попал телескоп РТТ150. Было получено 2 эшелле-спектра (с разрешением $R = 40000$ и временем экспозиции по 30 секунд каждый) участка солнечной короны на расстоянии 0.2 радиуса Солнца от восточного края диска Солнца. По-видимому, впервые в мире удалось получить спектр участка солнечной короны одновременно в наиболее широком диапазоне длин волн и с высоким разрешением – благодаря использованию эшелле-спектрометра, и с высоким отношением сигнал / шум благодаря использованию большой апертуры 1.5-м зеркала и высокой чувствительности современного приемника - ПЗС-матрицы. Следует отметить, что был специально подобран участок короны, по возможности, свободный от активных областей, чтобы зарегистрировать спектр “спокойной” короны и получить профили эмиссионных линий сформированные в ней. На рис.10 показаны усредненные профили эмиссионных линий многозарядных ионов, нормированные на центральную интенсивность. Были выделены 3 группы линий с центральными интенсивностями (в единицах континнума): $R > 0.5$ (“сильные” линии), $R \sim 0.02-0.07$ (“слабые” линии) и промежуточные между ними, $R \sim 0.1-0.5$

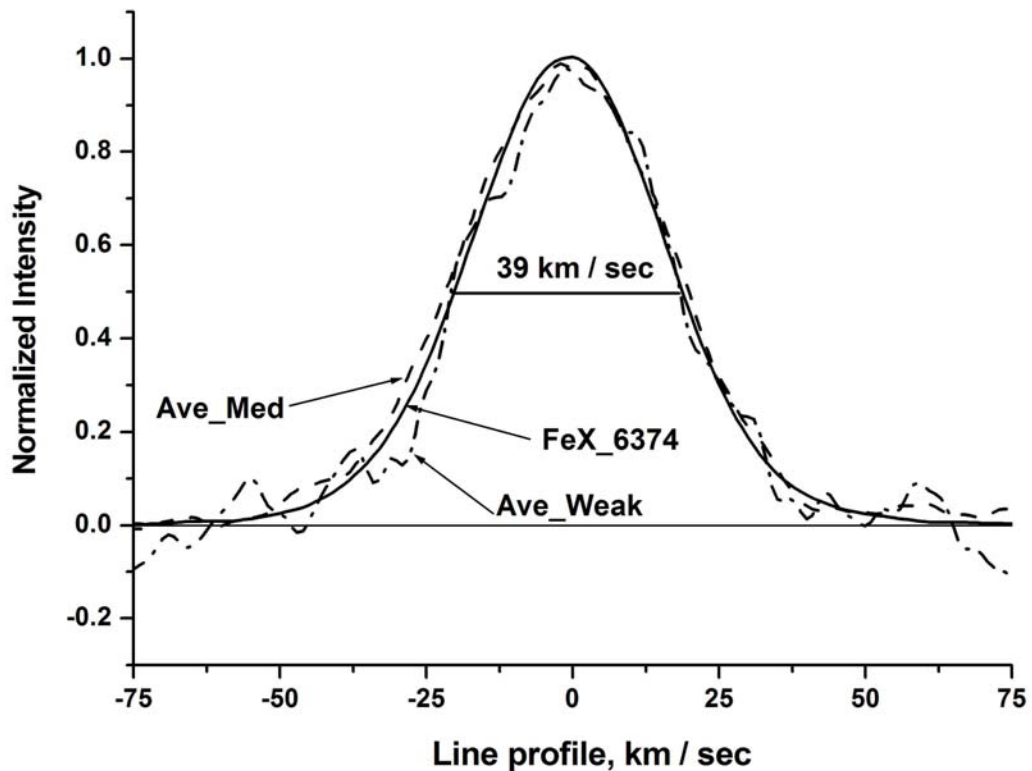


Рис. 10. Усредненные нормированные профили сильных (FeX 6374), слабых и линий промежуточной интенсивности в спектре Солнечной короны. Видно, что все типы линий высокоионизованных металлов показывают одинаковые (симметричные) профили и одинаковую полуширину линий.

Профили линий имеют полуширину ~ 40 км/сек (при разрешении 7 км/сек), симметричную форму и описываются гауссианой, что указывает на тепловые скорости движения тяжелых многозарядных ионов (FeX, FeXI, и др.) при кинетических температурах в диапазоне 0.5 – 0.7 Млн. градусов. Отсутствие асимметрии в профилях, по-видимому, указывает на то, что на луче зрения в наблюдаемом участке короны (3×1.5 угловых секунд) нет эффектов крупномасштабных нетепловых движений со скоростями, превышающими спектральное разрешение (7 км/сек).

Благодаря высокой позиционной и фотометрической точности куде-спектрометра длины волн запрещенных эмиссионных линий высокоразрядных ионов определены с точностью до 0.01 Ангстрем, что может позволить уточнить энергии переходов в этих ионах и позволит делать более точные расчеты энергий других переходов с использованием диаграмм Гротриана.

В разделе 8.3 приводятся результаты исследования физических параметров и химического состава атмосфер 15-ти фотометрических аналогов Солнца. Показано, что аналоги, отобранные по одинаковым фотометрическим индексам (U-B, B-V, b-y), по содержаниям химических элементов делятся на три группы - 6 звезд имеют солнечный химсостав, 4 звезды показывают избыток, а 5 звезд - дефицит элементов по отношению к солнечному содержанию. Кроме того, среди звезд этой выборки оказались два субгиганта с пониженным содержанием металлов, то есть, и светимость звезд не может быть зафиксирована уверенно с использованием только фотометрических наблюдений. Результаты данного исследования подтверждают ранее опубликованные выводы, что звезда 18 Скорпиона является наиболее вероятным кандидатом в двойники Солнца – практически все параметры этой звезды в пределах ошибок совпадают с солнечными.

Существует точка зрения, реализуемая на практике (Нордстрем и др., 2004), что массовые фотометрические наблюдения десятков тысяч звезд дают (за счет большой статистики) достаточную информацию для исследования истории химической и динамической эволюции диска Галактики.

Однако, использование только фотометрических индексов для оценок металличности и светимости звезд, по-видимому, является недостаточным условием для исследования связи металличности и возраста звезд, металличности и кинематики. Для решения этих задач в исследовании эволюции диска Галактики необходимы прямые спектроскопические наблюдения с высоким разрешением, которые дают возможность точного

определения не только содержания железа, но и десятков других химических элементов. Такая задача поставлена и реализуется в настоящее время на РТТ150 с использованием спектрометра высокого разрешения.

В Заключении приведены основные результаты выполненного исследования и варианты их возможного развития в будущем.

Публикации и личный вклад автора

Вклад автора

Во всех публикациях диссертанту принадлежат выполнение фотометрических и спектроскопических наблюдений, обработка данных, участие в анализе полученных результатов, их астрофизической интерпретации и написании текста. В тех публикациях, где диссертант является первым автором, его вклад является определяющим.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих статьях:

1. Хамитов И.М., Буренин Р.А., Бикмаев И.Ф., Сахибуллин Н.А., Павлинский М.Н., Сюняев Р.А., Аслан З. *Наблюдения оптического послесвечения гамма-всплеска 060526 на телескопе РТТ-150* // Письма в Астрон. Ж., 2007, т.33, н.12, с. 891-898.
2. Бикмаев И.Ф., Сюняев Р.А., Ревнивцев М.Г., Буренин Р.А. *Новые близкие активные ядра галактик среди рентгеновских источников обсерваторий ИНТЕГРАЛ и RXTE* // Письма в Астрон. Ж., 2006, т.32, н.4, с. 250-256.
3. Бикмаев И.Ф., Ревнивцев М.Г., Буренин Р.А., Сюняев Р.А. *XSS J00564+4548 и IGR J00234+6141 – новые катаклизмические переменные из обзоров всего неба обсерваторий RXTE и ИНТЕГРАЛ* // Письма в Астрон. Ж., 2006, т.32, н. 9, с. 655-661.

4. de Ugarte Postigo A., Fatkhullin T.A., Johannesson G., Gorosabel J., Sokolov V.V., Castro-Tirado A.J., Balega Yu.Yu., Spiridonova O.I., Jelinek M., Guziy S., Perez-Ramirez D., Hjorth J., Laursen P., Bersier D., Pandey S.B., Bremer M., Monfardini A., Huang K.Y., Urata Y., Ip W.H., Tamagawa T., Kinoshita D., Mizuno T., Arai Y., Yamagishi H., Soyano T., Usui F., Tashiro M., Abe K., Onda K., Aslan Z., Khamitov I., Ozisik T., Kiziloglu U., Bikmaev I., Sakhbullin N., Burenin R., Pavlinsky M., Sunyaev R., Bhattacharya D., Kamble A.P., Ishwara Chandra C. H., Trushkin S.A.

Extensive multiband study of the X-ray rich GRB 050408. A likely off-axis event with an intense energy injection // Astronomy and Astrophysics, 2007, v. 462, pp.L57-L60

5. Shimansky V., Sakhbullin N.A., Bikmaev I., Ritter H., Suleimanov V., Borisov N., Galeev A. *The new pre-cataclysmic binary PG 2200+085* // Astronomy and Astrophysics, 2006, v. 456, pp.1069-1075

6. Revnivtsev M., Fabrika S., Abolmasov P., Postnov K., Bikmaev I., Burenin R., Pavlinsky M., Sunyaev R., Khamitov I., Sakhbullin N. *Broad band variability of SS433: accretion disk at work?* // Astronomy and Astrophysics, 2006, v. 447, pp.545-551

7. Хамитов И.М., Бикмаев И.Ф., Аслан З., Сахибуллин Н.А., Власюк В.В., Железняк А.П., Захаров А.Ф. *Результаты анализа оптических кривых блеска компонентов гравитационно-линзированного квазара SBS1520+530 по наблюдениям на 1.5-м телескопе RTT150 в 2001-2005 гг.* // Письма в Астрон. Ж., 2006, т.32, н. 8, с. 570-576.

8. Ghosh K., Suleymanov V., Bikmaev I., Shimansky S., Sakhbullin N. *RBS 1032: a dwarf-nucleated spheroidal galaxy with an intermediate-mass black hole hosted in a globular cluster* // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2006, v. 371, pp. 1587-1593

9. Галеев А.И., Бикмаев И.Ф., Мусаев Ф.А., Г.А.Галазутдинов *Химический состав 15 звезд – фотометрических аналогов Солнца* // Астрон. Ж., 2004, т.81, н. 6, с.541 – 560

10. Галеев А.И., Бикмаев И.Ф., Машонкина Л.И., Мусаев Ф.А., Галазутдинов Г.А. *Содержание лития в атмосферах звезд – аналогов Солнца* // Астрон. Ж., 2004, т.81, н. 6, с.561 – 573
11. Сулейманов В.Ф., Бикмаев И.Ф., Беляков К.В., Сахибуллин Н.А., Жуков Г.В., Аслан З., Кизилоглу У., Хамитов И.М. *Прецессия диска и квазипериодические осцилляции блеска V603 Aql в 2001-2002 гг.* // Письма в Астрон. Ж., 2004, т.30, н. 9, с. 676-691.
12. Bruntt H., Bikmaev I. F., Catala C., Solano E., Gillon M., Magain P., Van't Veer-Menneret C., Stutz C., Weiss W.W., Ballereau D., Bouret J.C. Charpinet S., Hua T., Katz D., Lignires F., Lueftinger T. *Abundance analysis of targets for the COROT/MONS asteroseismology missions. II. Abundance analysis of the COROT main targets* // Astronomy and Astrophysics, 2004, v.425, p.683-695
13. Шиманский В.В., Бикмаев И.Ф., Галеев А.И., Шиманская Н.Н., Иванова Д.В., Сахибуллин Н.А., Мусаев Ф.А., Галазутдинов Г.А. *Наблюдательные ограничения на синтез калия при формировании звезд галактического диска* // Астрон. Ж., 2003, т.80, н. 9, с.750-762
14. Bikmaev I.F., Ryabchikova T.A., Bruntt H., Musaev F.A., Mashonkina L.I. Belyakova E.V., Shimansky V.V., Barklem P. S., Galazutdinov G. *Abundance analysis of two late A-type stars HD 32115 and HD 37594* // Astronomy and Astrophysics, 2002, v.389, p.537-546
15. Аслан З., Бикмаев И.Ф., Витриченко Э.А., Гумеров Р.И. Дембо Л.А., Камус С. Ф., Кескин В., Кизилоглу У., Павлинский М.Н., Пантелеев Л.Н., Сахибуллин Н.А., Селам С., Сюняев Р.А., Хамитов И.М., Яскович А.Л. *Предварительные результаты юстировки и исследования методом Гартмана телескопа АЗТ-22* // Письма в Астрон. Ж., 2001, т.27, н. 6, с. 1-6
16. Бикмаев И.Ф., Мусаев Ф.А., Галазутдинов Г.А., Саванов И.С., Савельева Ю.Ю. *Исследование атмосферы металлической звезды 15 Vul* // Астрон. Ж., 1998, т.75, н. 3, с.362-369

17. Бикмаев И.Ф., Бобрицкий С.С., Сахибуллин Н.А. *Сверхионизация нейтрального железа в атмосферах субкарликов солнечного типа* // Письма в Астрон. Ж., 1990, т.16, н. 3, с. 213-222
18. Бикмаев И.Ф. *Спектроскопическое исследование F и G-карликов с дефицитом металлов. Часть I. Анализ спектра железа* // Астрофизический Бюллетень (Известия САО), 1986, т.25, с.3-9.
19. I.Bikmaev, M.Revnitsev, R.Burenin, R.Sunyaev, N.Sakhibullin *Optical identifications of INTEGRAL / RXTE sources with 1.5-meter optical telescope RTT150* // Proceedings of the 6-th Integral Workshop “The Obscured Universe”, 2-8 July 2006, Moscow, ESA SP-622, September 2007, p.197-198
20. I.Khamitov, I.Bikmaev, N.Sakhibullin, Z.Aslan, M.Revnitsev, R.Sunyaev *Photometry and spectroscopy of IGR J21247+5058 radiogalaxy with RTT150* // Proceedings of the 6-th Integral Workshop “The Obscured Universe”, 2-8 July 2006, Moscow, ESA SP-622, September 2007, p.195-196
21. I.Bikmaev, Z.Aslan *TFOSC and Coude spectroscopy of faint and bright targets at RTT150* // XV-th National Astronomical Congress, held in Istanbul, Turkey, August 28 – September 1, 2006, Eds. H.Gulsecen, F.Limboz, A.Teker, Istanbul, 2007, p.129-140
22. И.Ф.Бикмаев, Н.А.Сахибуллин *Исследования сложных астрофизических объектов на телескопе RTT150* // Сборник трудов международной конференции “Методы спектроскопии в современной астрофизике”, 13-15 сентября 2006, Москва, под. Ред. Л.И.Машонкиной и М.Е.Сачкова, 2007, Янус-К, стр. 26-45
23. Шиманский В.В., Позднякова С.А., Борисов Н.В., Бикмаев И.Ф., Сахибуллин Н.А., Галеев А.И., О. Спиридонова *Анализ физического состояния и характеристик молодых предкатаклизмических переменных* // Сборник трудов международной конференции “Методы спектроскопии в современной астрофизике”, 13-15 сентября 2006, Москва, под. Ред. Л.И.Машонкиной и М.Е.Сачкова, 2007, Янус-К, с. 190-197

24. Н.Н.Шиманская, И.Ф.Бикмаев, В.В.Шиманский, Н.А.Сахибуллин, Р.Я. Жучков, Р.Р. Шигапов *Анализ спектров ТДС как метод изучения химического состава планетарных туманностей* // Сборник трудов международной конференции “Методы спектроскопии в современной астрофизике”, 13-15 сентября 2006, Москва, под. Ред. Л.И.Машонкиной и М.Е.Сачкова, 2007, Янус-К, с. 350-356
25. Д.В.Стеценко, И.Ф.Бикмаев, Э.А.Витриченко *Лучевые скорости звезд Трапеции Ориона по наблюдениям на PTT150* // Сборник трудов международной конференции “Методы спектроскопии в современной астрофизике”, 13-15 сентября 2006, Москва, под. Ред. Л.И.Машонкиной и М.Е.Сачкова, 2007, Янус-К, с. 271-276
26. Lutovinov A., Tsygankov S., Revnivtsev M., Chernyakova M., Bikmaev I., Molkov S., Burenin R., Pavlinsky, M., Sakhbullin N. *Variability of X-Ray Pulsars in a Hard Energy Band Observed with INTEGRAL* // Proceedings of the 5th INTEGRAL Workshop on the INTEGRAL Universe (ESA SP-552). 16-20 February 2004, Munich, Germany. Scientific Editors: V. Schonfelder, G. Lichti & C. Winkler, p.253-258
27. Adelman S.J., Bikmaev I., Gulliver A.F., Smalley B. *Round Table Summary: Instrumentation and Data Processing* // “Modelling of Stellar Atmospheres”, Proceedings of the 210th Symposium of the International Astronomical Union held at Uppsala University, Uppsala, Sweden, 17-21 June, 2002. Edited by N. Piskunov, W.W. Weiss, and D.F. Gray. Published on behalf of the IAU by the Astronomical Society of the Pacific, 2003., p.337-349
28. Бикмаев И.Ф., Мусаев Ф.А., Галазутдинов Г.А., Шиманский В.В., Сулейманов В.В. *Нестандартный линейчатый спектр стандартной звезды Вега и распределение энергии в модели звезды, видимой с полюса* // JENAM-2000, Сборник трудов Присоединенного Симпозиума "Спектрофотометрические и фотометрические каталоги. Звезды- стандарты и аналоги Солнца", С-Петербург, 2000, с.112-122

29. Musaev F., Bikmaev I., *High-Resolution Coude-Echelle Spectrometer for the 1.5-m Kazan University Telescope at the Turkish National Observatory* // “The Carbon Star Phenomenon”, Proceedings of the 177th Symposium of the International Astronomical Union, held in Antalya, Turkey, May 27-31, 1996. Edited by Robert F. Wing, Astronomy Department, The Ohio State University, Columbus, USA. International Astronomical Union Symposia, Volume 177, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000., p.569
30. Musaev F.A., Bikmaev I.F. *Photometrical and Positional Accuracy of the Coude-Echelle Grating Spectrometer of the SAO 1-m Telescope* // Workshop on “Laboratory and astronomical high resolution spectra”. Proceedings of ASP Conference no. 81 held in Brussels; Belgium 29 August - 2 September 1994, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific (ASP); 1995; edited by A.J. Sauval, R. Blomme, and N. Grevesse, p.146-148
31. Bikmaev I.F. *Solar Oscillator Strengths of Neutral Iron: the Influence of Line Formation Conditions in the Solar Atmosphere* // Workshop on “Laboratory and astronomical high resolution spectra”. Proceedings of ASP Conference no. 81 held in Brussels; Belgium 29 August - 2 September 1994, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific (ASP); 1995; edited by A.J. Sauval, R. Blomme, and N. Grevesse, p.109-110
32. Bikmaev I.F. *Metallicity Distribution and Kinematics of the Disk and Halo F-G Stars* // “Stellar populations”, Proceedings of the 164th symposium of the International Astronomical Union, held in the Hague, the Netherlands, August 15 - 19, 1994. Editors Pieter C. van der Kruit, Gerry Gilmore. International Astronomical Union. Symposium no. 164, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.387
33. Bikmaev I.F., Mashonkina L.I., Sakhbullin N.A., Shimanskij V.V., Shimanskaya N. *Chemical and Dynamical History of the Milky Way* // "Unsolved problems of the Milky Way ", Proceedings of the 169th Symposium of the International Astronomical Union, held in The Hague, The Netherlands, August

23-29, 1994, Dordrecht Kluwer, 1996, edited by Leo Blitz and Peter Teuben., p.389

34. I.F.Bikmaev, N.A.Sakhibullin, A.I.Galeev, I.M.Khamitov, Z.Aslan, R.A.Sunyaev *RTT150 high resolution spectral observations of Solar Corona during the solar eclipse on March 29, 2006* // Astronomers Telegram, N782, March 30, 2006

35. I.Bikmaev, I.Khamitov, Z.Aslan, N.Sakhibullin, R. Burenin, M Pavlinsky, M. Revnivtsev, R.Sunyaev *V4641 Sgr: new optical flaring* // Astronomers Telegram, N309, July 18, 2004

36. I.Bikmaev, V.Suleimanov, A.Galeev, N.Sakhibullin, A.Alpar, Z.Aslan, I.Khamitov, R.Burenin, M.Pavlinsky, R.Sunyaev *Optical monitoring of IGR J00291+5934* // Astronomers Telegram, N395, January 24, 2005

Список цитированной литературы

Аслан и др., 1989, Aslan Z., Aydin C., Tunca Z., Demircan O., Derman E., Golbasi O., Marsoglu A. // *Astron. Astrophys.*, 1989, V. 208, p. 385.

Вамбсгансс (Wambsganss J.), *Gravitational Microlensing*. Dissertation der Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität // Preprint MPA-550, 1990.

Винклер и др., 2003, Winkler C., Courvoisier, T. J.-L.; Di Cocco et al., // *Astron. Astrophys.*, 2003, V.411, L1 - L6

Горанский В.П., Есипов В.Ф., Черпащук А.М., // *Астрон. Журн.*, 1998, т.75, с.240

Гулливер и др., 1994, Gulliver A.F., Hill G., Adelman S.J. // *Astrophys J. Letters*, V.429, L81

- Зикграф и др., 2003, Zickgraf F.-J., Engels D., Hagen H.-J., Reimers D., Voges W., // *Astron. Astrophys.*, 2003, v. 406, p.535
- Кривонос и др., 2007, R. Krivonos , M. Revnivtsev , A. Lutovinov , S. Sazonov , E. Churazov , R. Sunyaev // *Astron. Astrophys.*, 2007, v. 475, p. 775
- Нордстрем и др., 2004, B.Nordstroem, M.Mayor, J.Andersen, J.Holmberg, F.Pont, B.R.Jorgensen, E.H.Olsen, S.Udry, N.Mowlavi, // *Astron.Astrophys.*, 2004, v.418, p.989
- Мусаев Ф.А. // *Письма в Астрон. Ж.*,1996, т. 22, с.795-800
- Мусаев Ф.А., Галазутдинов Г.А., Сергеев А.В., Карпов Н.В., Подъячев Ю.В. // *Кинематика и физика небесных тел*, 1999, т.15, N3, с.282-287
- Фишер и др., 1998, Fischer J.U., Hasinger G., Schwoppe A.D., Brunner H., Boller T., Trumper J., Voges W., Neizvestny S. // *Astron.Nachr.*, 1998, V.319, p.347
- Чавушян и др. 1997, Chavushyan V.H., Vlasyuk V.V., Stepanian J.A., Erastova L.K. // *Astron.Astrophys.*, 1997, v.318, L67
- Черепашук и др., 2005, Cherepashchuk A.M., Sunyaev R.A., Fabrika S.N., Postnov K.A., Molkov S.V., Barsukova E.A., Antokhina E.A., Irmambetova T.R., Panchenko I.E., Seifina E.V., Shakura N.I., Timokhin A.N., Bikmaev I.F., Sakhibullin N.A., Aslan Z., Khamitov I., Pramsky A.G., Sholukhova O., Gnedin Yu.N., Arkharov A.A., Larionov V.M. // *Astron. Astrophys.*, 2005, V.437, p.561