

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Зимнухов Дмитрий Сергеевич

**Создание интерактивных инструментов
анализа астрономических данных для
исследования быстропеременных и
движущихся объектов на телескопах-роботах
Глобальной сети МАСТЕР**

01.03.02 - Астрофизика и звездная астрономия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2021

Работа выполнена на кафедре экспериментальной астрономии физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова с использованием оборудования Глобальной сети телескопов-роботов МАСТЕР (Программа развития МГУ) лаборатории космического мониторинга Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга МГУ имени М. В. Ломоносова.

Научный руководитель: - Липунов Владимир Михайлович,
доктор физико-математических наук,
профессор, Почетный профессор МГУ.

Официальные оппоненты: - Бялко Алексей Владимирович
доктор физико-математических наук
Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау,
ассоциированный научный сотрудник,
журнал “Природа” РАН, зам. главного редактора

- Блинников Сергей Иванович,
доктор физико-математических наук,
НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ, лаборатория физики плазмы и
астрофизики, г.н.с,
ФГУП «ВНИИА», центр фундаментальных и прикладных исследований, г.н.с,
ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, временная научно-исследовательская
лаборатория «Суперкомпьютерные сеточные технологии», н.с,
ГАИШ МГУ, отдел Внегалактической астрономии, в.н.с.

- Дамбис Андрей Карлович,
доктор физико-математических наук,
ГАИШ МГУ, отдел астрометрии и службы времени, заведующий

Защита диссертации состоится 9 сентября 2021 года в 14:00 на заседании диссертационного совета МГУ.01.02 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу 119234, г. Москва, Университетский проспект, д. 13, конференц-зал.

Email: zimnuhov@gmail.com

Диссертация находится на хранении в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27). С информацией о регистрации участия в защите и с диссертацией в электронном виде можно ознакомиться на сайте ИАС «ИСТИНА»:
<https://istina.msu.ru/dissertations/382601892/>

Автореферат разослан 20 июля 2021 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат физико-математических наук

М.В.Пружинская

Общая характеристика работы

Работа посвящена созданию интерактивных инструментов анализа астрономических данных для исследования быстропеременных и движущихся объектов, обнаруженных на широкопольных изображениях, полученных на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ. В результате на телескопах МАСТЕР получена фотометрия и проведено математическое моделирование кривой блеска и астрометрических положений астероида NEO 2015 TB145, обнаружен и опубликован оптический источник MASTER OT J211711.20-123751.4 гамма-всплеска GRB 181201A и получена его фотометрия (кривая блеска) [1-4].

Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР МГУ создана под руководством Почетного профессора МГУ Липунова В.М. учеными Московского университета, в том числе диссертантом, для исследования ближнего и дальнего космического пространства, и решает ключевые задачи современной астрофизики [5-22], являясь сейчас единственной развитой сетью идентичных телескопов быстрого реагирования, расположенных в Северном и Южном полушариях и объединенных общей задачей [1].

Для исследования механизмов, проходящих в астрофизических источниках высоких энергий, особую ценность приобретают наблюдения на ранней стадии. Пример таких объектов – источники гамма-всплесков [5,11,12,14,15], источники гравитационно-волновых импульсов (например, Килоновая MASTER OT J130948.10-232253.3 / SSS17a, - результат слияния двух нейтронных звезд, зарегистрированный гравитационно-волновыми детекторами LIGO/Virgo как GW170817, подчеркнем, что среди 6 телескопов, независимо участвовавших в оптическом обнаружении Килоновой [6-8], только один телескоп не американский – это русский МАСТЕР, работающий в Аргентине на обсерватории Национального университета Сан-Хуан, - MASTER-OAFA), источники нейтрино сверхвысоких энергий, источники быстрых радио-вспышек FRB, а также Сверхновые различных типов, Новые, катаклизмические переменные различных типов, вспышки квазаров и др.[9-14]. Важно обнаружить объект в активной фазе (в момент взрыва для стационарных транзиентов) или при первом появлении (для движущихся объектов), и опубликовать его в электронных циркулярах NASA GCN, MPEC или в ATel [23-30] как можно быстрее (исключив из процессов обнаружения и публикации все неблагоприятные факторы), чтобы к дальнейшим исследованиям во всем электромагнитном диапазоне смогли подключиться научные группы во всем мире.

Исследования в оптическом диапазоне наиболее эффективно проводить на полностью роботизированных телескопах, из процесса наблюдения на которых полностью исключен наблюдатель, так, как это реализовано на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ. Только МАСТЕР позволил России стать именно лидером в исследовании оптических источников гамма-всплесков GRB [11-14] (в том числе, обнаружив поляризацию собственного оптического излучения GRB [11]), в исследовании областей ошибок источников гравитационно-волновых импульсов [] и областей локализации источников нейтрино сверхвысоких энергий [8-15].

Немалый интерес представляют собой и обнаружение и исследование движущихся объектов – комет, потенциально-опасных астероидов и других тел солнечной системы [2].

Телескопы-роботы Глобальной сети МАСТЕР МГУ в настоящее время установлены в восьми пунктах Северного и Южного полушарий (МАСТЕР-Амур, -Тунка, -Урал, -Кисловодск, -Таврида, MASTER-SAAO, -IAC, -OAFa) [4,8-14]. Каждый из них укомплектован идентичным приемным оборудованием, разработанным в группе МАСТЕР, что дает возможность обеспечивать непрерывную круглосуточную работу всех телескопов сети. Собственный комплекс обработки и анализа результатов наблюдений (широкопольных и сверхширокопольных изображений МАСТЕРa) в режиме реального времени и доступ по интернету к этим результатам в любой момент времени дают возможность непрерывного сопровождения целеуказания (напр., гамма-всплеска, Килоновой, Сверхновой, астероида и т.д.), что, в свою очередь, дает возможность получать выдающиеся результаты такие как обнаружение поляризации собственного оптического излучения на примере GRB160625B, обнаружение переменности поляризации как доказательство существования оптического джета V404, обнаружение и исследование яркой Красной Новой MASTER OT J004207.99+405501.1 / M31LRN 2015 , обнаружение и исследование оптического источника GRB181201A, получение длинных рядов наблюдений и определение формы и параметров орбиты астероида 2015 TB145 и др.

Уникальные особенности Глобальной сети МАСТЕР:

идентичное приемное оборудование каждой обсерватории МАСТЕР (каждая обсерватория МАСТЕР - это широкопольный (4/8 +800 кв.град.) цветной (BVRI+PP) поляризационный роботизированный телескоп),

распределение по долготам и широтам Земного шара (8 обсерваторий к 2018г.), обеспечивающее быстрое наведение (десятки градусов в секунду) по целеуказанию, и

собственное программное обеспечение обработки широкопольных изображений в режиме реального времени (1-2 мин после считывания с матрицы) с выделением новых (или вспыхивающих) стационарных (и движущихся) объектов во Вселенной, что является ключевым – определяющим фактором, сделавшим русский МАСТЕР лучшей системой исследования ближнего и дальнего космоса в мире.

Методология и методы исследования: ввиду огромного ежедневного потока данных для обработки и анализа, процесс анализа нового/переменного объекта, подготовки и непосредственно публикации научных телеграмм также должен быть максимально автоматизирован, что и было выполнено диссертантом.

В результате созданных диссертантом инструментов анализа астрономических данных для исследования быстропеременных и движущихся объектов на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР:

проанализированы и опубликованы свыше 1600 оптических быстропеременных объектов, обнаруженных программным обеспечением обработки широкопольных изображений телескопов-роботов Глобальной сети МАСТЕР в режиме реального времени;

автоматически программным обеспечением обнаружен движущийся транзиент - комета COMET C/2015 G2 (MASTER) на телескопе-роботе МАСТЕР-ЮАР (MASTER-SAAO, код обсерватории K95);

автоматически программным обеспечением обнаружен движущийся транзиент - потенциально-опасный астероид 2014 UR116 на телескопе-роботе МАСТЕР-Кисловодск (код обсерватории C41);

автоматически программным обеспечением обнаружен движущийся транзиент - астероид 1998 SU4, потерянный Центром сбора данных Minor Planet Center (NASA), на телескопе-роботе МАСТЕР-Тунка (код обсерватории C94);

получена фотометрия в белом свете уникально длинной серии 13.5 часов наблюдений (1124 измерения) близкого астероида NEA(AC3) 2015 TB145 на широкопольных телескопах-роботах МАСТЕР-Амур и МАСТЕР-Таврида Глобальной сети МАСТЕР МГУ;

обнаружен оптический источник гамма-всплеска GRB 181201A и получена его ранняя фотометрия.

Актуальность темы и степень её разработанности

Исследование областей локализации и поиск оптических источников гамма-всплесков, источников гравитационных волн, источников нейтрино

сверхвысоких энергий является первоочередной задачей современной астрофизики.

Поиск, регистрация, первичное определение параметров движения новых малых тел солнечной системы также является актуальной прикладной задачей современной астрономии, т.к. современная цивилизация является очень уязвимой с точки зрения возможности глобальной катастрофы, которая может произойти вследствие падения незарегистрированного метеорита в атомную электростанцию, химический завод, оружейный склад и т.д. Создание интерактивных инструментов анализа астрономических данных для исследования быстропеременных и движущихся объектов, обнаруженных на широкопольных изображениях, полученных на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ позволяет решать эти актуальные задачи современной физики.

МАСТЕР решает их одновременно, в связи с чем актуальна задача максимально быстрого анализа максимально большого объема данных, включая автоматическую публикацию и целевую публикацию научных телеграмм. Эта задача была поставлена перед диссертантом и выполнена им.

С помощью созданного соискателем математического аппарата МАСТЕР открыл комету на южном небе COMET C/2015 G2 (MASTER), потенциально-опасный астероид 2014 UR116 и обнаружил потерянный в NASA астероид 1998 SU4. Подчеркнем, что задача обнаружения и исследования в полностью автоматическом режиме быстропеременных астрофизических явлений: оптических источников гамма-всплесков, взрывов Новых, Сверхновых, карликовых новых звезд, а также движущихся: комет, астероидов, включая потенциально-опасные, и других транзиентных явлений решена в России только в МГУ на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ, т.к. разработанное в том числе соискателем программное обеспечение является технически очень сложной структурой.

Цели и задачи работы

Целью данной работы является создание интерактивных инструментов анализа астрономических данных для исследования быстропеременных и движущихся объектов, обнаруженных на широкопольных изображениях, полученных на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ. Задача является актуальной для обнаружения и исследования быстропеременных астрофизических явлений на телескопах роботах Глобальной сети МАСТЕР (что и является предметом исследования): оптических источников гамма-всплесков, взрывов Новых, Сверхновых, карликовых новых звезд, а также

движущихся комет, астероидов, включая потенциально-опасные и других транзиентных явлений.

В работе представлены уникальные наблюдения и результат их анализа для гамма-всплеска GRB181201A, представлены результаты уникально длинной серии наблюдений близкого астероида NEO 2015 TB145 двумя телескопами-роботами Глобальной сети МАСТЕР расположенных в Крыму и Благовещенске. Проведено математическое моделирование кривой блеска и астрометрических положений. Получены вероятные формы астероида и уточнена его орбита.

Объект исследования

Объектом исследования являются быстропеременные и движущиеся объекты, включая близкий астероид NEO 2015 TB145 («Хелуин»), а также оптический источник MASTER OT J211711.20-123751.4, ассоциированный с гамма-всплеском GRB 181201A.

Новизна работы

Следующие научные результаты получены впервые:

1. Создание интерактивных инструментов анализа астрономических данных для исследования быстропеременных и движущихся объектов на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР.
2. Результаты уникально длинной серии наблюдений близкого астероида NEO 2015 TB145 ("Хелуин") двумя телескопами-роботами Глобальной сети МАСТЕР расположенных в Крыму и Благовещенске. Диссертантом проведено математическое моделирование кривой блеска и астрометрических положений. Получены вероятные формы астероида и уточнена его орбита.
3. Обнаружение оптического источника MASTER OT J211711.20-123751.4 гамма-всплеска GRB 181201A и его ранняя фотометрия.

Практическая и научная значимость работы

Созданы инструменты для удаленного анализа астрономических наблюдений на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ, которые позволяют оперативно исследовать обнаруженные оптические транзиенты – как стационарные, так и движущиеся. Анализ включает в себя фотометрию и астрометрию исследуемого объекта, историю его наблюдений на текущей обсерватории и на всех телескопах Глобальной сети МАСТЕР,

включает доступ к опубликованным данным по исследуемым координатам в астрономических базах VIZIER, CDS, SIMBAD, включает построение кривой блеска на каждой обсерватории в отдельности, включает определение параметров движения и визуализацию для движущихся объектов (что существенно ускоряет аналитическую работу наблюдателя), включает создание отчета-телеграммы: об условиях наблюдений, параметрах открытого нового/быстропеременного объекта, формирование запроса о датах предыдущих наблюдений исследуемых координат и оптических пределах в случае отсутствия объекта на архивных изображениях либо его фотометрию, создание визуализации открытого транзиента для научной телеграммы.

Эти созданные автором диссертации инструменты позволили оперативно исследовать свыше 2600 оптических транзиентов, обнаруженных на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР, включая оптические источники гамма-всплесков, астероиды и кометы.

Положения, выносимые на защиту

1. Созданные интерактивные инструменты анализа астрономических данных позволяют исследовать быстропеременные и движущиеся объекты на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР.
2. Уникально длинная серия наблюдений близкого астероида NEO 2015 TB145 ("Хелуин") двумя телескопами-роботами Глобальной сети МАСТЕР в Крыму и Благовещенске и математическое моделирование полученной кривой блеска и астрометрических положений уточняют орбиту и вероятную форму этого астероида.
3. Обнаружение оптического источника MASTER OT J211711.20-123751.4 гамма-всплеска GRB 181201A и его ранняя фотометрия в рамках модели с синхротронным излучением послесвечения позволяют вычислить общую энергию всплеска и параметры взрыва.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается публикациями в ведущих научных журналах и апробацией результатов работы на международных и всероссийских конференциях. а также подтверждены независимыми наблюдениями других обсерваторий. Зимнухов Д.С. является соавтором 1296 электронных публикаций в циркулярах GCN (The Gamma-ray Coordinates Network Circulars, ATel (The Astronomers Telegram), MPEC (Minor Planet Electronic Circulars после 2012г) , MPC (Minor Planet Circular до 2012г.), а также соавтором 9 статей, опубликованных в рецензируемых журналах, индексируемых в базе данных Web of Science/Scopus и рекомендованных для

защиты в диссертационном совете МГУ по специальности. Положения, выносимые на защиту опубликованы в трёх печатных изданиях из этих 9.

Количество ссылок на статьи в соавторстве с Зимнуховым Д.С. составляет 2026 (в реферируемых публикациях по ADS) и 2242 всего.

Индекс Хирша Зимнухова Дмитрия Сергеевича **равен 7**.

Публикации

Основные результаты по теме диссертации изложены в 9 печатных изданиях, 9 из которых опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science/Scopus, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности:

1. Липунов В.М., Владимиров В.В., Горбовской Е.С., Кузнецов А.С., **Зимнухов Д.С.**, Балануца П.В., Корнилов В.Г., Тюрина Н.В., Гресс О.А., Власенко Д.М., Габович А.М., Юрков В.В., Кувшинов Д.А., Сенник В.А., “Концепция многофункционального астрономического комплекса и динамически интегрированной базы данных в применении к многоканальным наблюдениям Глобальной Сети МАСТЕР”, *Астрономический журнал*, 96 (4), 288-304 (2019) (импакт-фактор: 0.98 WoS) DOI: 10.1134/S000462991904008X
2. **Зимнухов Д.С.**, Липунов В.М., Горбовской Е.С., Корнилов В.Г., Тюрина Н.В., Чазов В.В., Габович А., Балануца П.В., Владимиров В., Гресс О., Кузнецов А.С., Лопез Р.Реболо, Серра-Рикарт М., Юрков В.В., Власенко Д., Буднев Н.М., Сергиенко Ю.П., “Глобальная Сеть Телескопов-Роботов МАСТЕР: наблюдения астероида NEA 2015 TB145”, *Астрономический журнал*, 96 (12), 1031-1044 (2019) (импакт-фактор: 0.98 WoS) DOI: 10.1134/S0004629919120119
3. T.Laskar, H.van Eerten, P. Schady, C. G. Mundell, K.D. Alexander, R.Barniol Duran, E. Berger, J. Bolmer, R. Chornock, D. Coppejans, Wenfai Fong, A. Gomboc, N. Jordana, Sh. Kobayashi, R. Margutti, K. M. Menten, R. Sari, R. Yamazaki, V. M. Lipunov, E. Gorbovskey, V. G. Kornilov, N. Tyurina, D. **Zimnukhov**, R. Podesta, H. Levato, D. A. H. Buckley, A. Tlatov, R. Rebolo, M. Serra-Ricart, “A reverse shock in GRB 181201a”, *Astrophysical Journal*, 884, 2, 121 (2019) (импакт-фактор: 5.874 WoS) DOI: 10.3847/1538-4357/ab40ce

4. Abbot. et al., Lipunov, V. M.; Gorbovskoy, E. S.; Kornilov, V. G.; Tyurina, N. V.; Balanutsa, P. V.; Kuznetsov, A. S.; Vlasenko, D. M.; Podesta, R. C.; Lopez, C.; Podesta, F.; Levato, H. O.; Saffe, C.; Mallamaci, C. C.; Budnev, N. M.; Gress, O. A.; Kuvshinov, D. A.; Gorbunov, I. A.; Vladimirov, V. V.; **Zimnukhov**, D. S.; Gabovich, A. V.; Yurkov, V. V.; Sergienko, Yu. P.; Rebolo, R.; Serra-Ricart, M.; Tlatov, A. G.; Ishmuhametova, Yu.V. et al.,

“Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger“

Astrophysical Journal Letters, 848, L12 (2017) (импакт-фактор: 7.413 WoS) DOI: 10.3847/2041-8213/aa91c9

5. Lipunov, V. M.; Gorbovskoy, E.; Kornilov, V. G.; . Tyurina, N.; Balanutsa, P.; Kuznetsov, A.; Vlasenko, D.; Kuvshinov, D.; Gorbunov, I.; Buckley, D. A. H.; Krylov, A. V.; Podesta, R.; Lopez, C.; Podesta, F.; Levato, H.; Saffe, C.; Mallamachi, C.; Potter, S.; Budnev, N. M.; Gress, O.; Ishmuhametova, Yu.; Vladimirov, V.; **Zimnukhov**, D.; Yurkov, V.; Sergienko, Yu.; Gabovich, A.; Rebolo, R.; Serra-Ricart, M.; Israelyan, G.; Chazov, V.; Wang, Xiaofeng; Tlatov, A.; Panchenko, M. I.,

“MASTER Optical Detection of the First LIGO/Virgo Neutron Star Binary Merger GW170817”

Astrophysical Journal Letters, 850, L1 (2017) (импакт-фактор: 7.413 WoS) DOI: 10.3847/2041-8213/aa92c0

6. Горбовской Е.С., Липунов В.М., Корнилов В.Г., Белинский А.А., Кувшинов Д.А., Тюрина Н.В., Санкович А.В., Крылов А.В., Шатский Н.И., Балануца П.В., Чазов В.В., Кузнецов А.С., **Зимнухов** Д.С., Шумков В.П., Шурпаков С.Э., Сеник В.А., Гареева Д.В., Пружинская М.В., Тлатов А.Г., Пархоменко А.В., Дормидонтов Д.В., Крушинский В.В., Пунанова А.Ф., Заложных И.С., Попов А.А., Бурданов А.Ю., Язев С.А., Буднев Н.М., Иванов К.И., Константинов Е.Н., Гресс О.А., Чувалаев О.В., Юрков В.В., Сергиенко Ю.П., Куделина И.В., Синяков Е.В., Караченцев И.Д., Моисеев А.В., Фатхуллин Т.А. "Сеть роботизированных оптических телескопов МАСТЕР-II. Первые результаты"

Астрономический Журнал, 90 (4), 267 (2013) (импакт-фактор: 0.98 WoS) DOI: 10.7868/S0004629913040038

7. Gorbovskoy, E. S.; Lipunova, G. V.; Lipunov, V. M.; Kornilov, V. G.; Belinski, A. A.; Shatskiy, N. I.; Tyurina, N. V.; Kuvshinov, D. A.; Balanutsa, P. V.; Chazov, V. V.; Kuznetsov, A.; **Zimnukhov**, D. S.; Kornilov, M. V.; Sankovich, A. V.;

Krylov, A.; Ivanov, K. I.; Chvalaev, O.; Poleschuk, V. A.; Konstantinov, E. N.; Gress, O. A.; Yazev, S. A.; Budnev, N. M.; Krushinski, V. V.; Zalozhnich, I. S.; Popov, A. A.; Tlatov, A. G.; Parhomenko, A. V.; Dormidontov, D. V.; Senik, V.; Yurkov, V. V.; Sergienko, Yu. P.; Varda, D.; Kudelina, I. P.; Castro-Tirado, A. J.; Gorosabel, J.; S?nchez-Ram?rez, R.; Jelinek, M.; Tello, J. C.,
 "Prompt, early and afterglow optical observations of five γ -ray bursts: GRB 100901A, GRB 100902A, GRB 100905A, GRB 100906A and GRB 101020A",
 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 421, 1874 (2012) (импакт-фактор: 5.287 WoS) DOI: 10.1111/j.1365-2966.2012.20195.x

8. Kornilov V.G.; Lipunov, V.M.; Gorbovskoy, E.S.; Belinski, A.A.; Kuvshinov, D.A.; Tyurina, N.; Shatsky, N.I.; Sankovich, A.V.; Krylov, A.V.; Balanutsa, P.V.; Chazov, V. V.; Kuznetsov, A.S.; **Zimnuhov**, D.S.; Senik, V.A.; Tlatov, A.G.; Parkhomenko, A.V.; Dormidontov, D.V.; Krushinsky, V.V.; Zalozhnyh, I.S.; Popov, A.A.; Yazev, S.A.; Budnev, N.M.; Ivanov, K. I.; Konstantinov, E.N.; Gress, O.A.; Chvalaev, O.V.; Yurkov, V.; Sergienko, Yu.P.; Kudelina, I. P.,
 "Robotic optical telescopes global network MASTERII. Equipment, structure, algorithms",
 Experimental Astronomy, 33, 173-196 (2012) (импакт фактор: 2.012 WoS)
 DOI:10.1007/s10686-011-9280-z

9. Липунов В.М., Кузнецов А.С., Горбовской Е.С., Корнилов В.Г., Тюрина Н.В., Владимиров В.В., Крушинский В.В., Заложных И.С., Власенко Д.М., **Зимнухов** Д.С., Балануца П.В., Габович А., Шакура Н.И., Джованелли Ф., Титарчук Л.Г., Бакли Д.А.Х., Гресс О., Буднев Н., Реболо Р., Сьерра-рикарт М., Тлатов А.Г., Сеник В.А., Юрков В.В., Ершова О., Гриншпун В.Г., Ишмухаметова Ю.В.
 "V404 CYG/GS 2023 338: Мониторинг в оптическом диапазоне на телескопах-роботах глобальной сети мастер во время супервспышки"
 Астрономический Журнал, 96 (7), 531-546 (2019) (импакт-фактор: 0.98 WoS)
 DOI: 10.1134/S0004629919070053

Также автор диссертации является соавтором более 1000 публикаций в циркулярах GCN (The Gamma ray bursts Coordinates Network Circulars, https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn/gcn3_archive.html) и ATel <http://www.astronomerstelegam.org/>

Апробация работы

Результаты работы были доложены на следующих российских и международных конференциях:

1. «Наблюдения на системе МАСТЕР опасного астероида NEO 2015 ТВ145 во время сближения с Землей» устный доклад на Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2018», 10 апреля 2018 г. МГУ, Физический факультет

<http://scidep.phys.msu.ru/files/lomonosov2018/001.pdf>,

Зимнухов Д.С.

2. «Создание интерактивных инструментов анализа астрономических данных и исследование быстропеременных и движущихся объектов на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР», стендовый доклад на Всероссийской конференции «Успехи Российской Астрофизики 2017: теория и эксперимент» МГУ, Москва, 17 декабря 2018г., **Д.Зимнухов**
постерный доклад

3. «МАСТЕР и гравитационно-волновой эксперимент LIGO/Virgo: открытие Килоновой», Научная конференция «Ломоносовские чтения-2018», Секция астрономии и геофизики, 19 апреля 2018г., ГАИШ МГУ
Липунов В.М., Корнилов В.Г., Горбовской Е.С., Тюрина Н.В., Балануца П.В., Кузнецов А.С., Горбунов И.А., Владимиров В.В., **Зимнухов Д.С.**, Чазов В.В., Гресь О.А., Крылов А.В., Кувшинов Д.А.

4. «Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР: GRB161017A, гамма-всплески 2018, исследования областей локализации гравитационных волн LIGO/Virgo и нейтрино сверхвысоких энергий ANTARES, IceCube, БНО», устный доклад на Всероссийской конференции «Успехи Российской Астрофизики 2017: теория и эксперимент» МГУ, Москва, 17 декабря 2018г.

В.М. Липунов, Е.С. Горбовской, В.Г. Корнилов, О.А.Гресс, Н.В.Тюрина, А.С. Кузнецов, В.В.Владимиров, П.В.Балануца,**Д.С.Зимнухов**,Д.Власенко, Ю.Ишмухамедова

5. «Обнаружение оптического источника GRB 161017A и уникальные многоволновые наблюдения космической обсерватории МГУ

«Ломоносов» и Глобальной сети МАСТЕР МГУ», Научная конференция "Ломоносовские чтения-2019 Секция астрономии и геофизики, 25 апреля 2019г., ГАИШ МГУ, Липунов В.М., Садовничий В.А., Панасюк М.И., Свертилов С.И., Яшин И.В., Корнилов В.Г., Горбовской Е.С., Богомоллов В.В., Богомоллов А.В.Кузнецов А.С., **Зимнухов Д.С.**, Июдин А.Ф., Балануца П.В., Юрков В.В., Гресь О.А., Власенко Д.М., Габович А.В

Личный вклад автора заключается в создании интерактивных инструментов анализа астрономических данных для исследования быстропеременных и движущихся объектов на телескопах-роботах Глобальной сети МАСТЕР МГУ (Глава 2 статьи [1], Глава 5 статьи [2]), в обработке (астрометрия, фотометрия) проведенных вместе с соавторами наблюдений близкого астероида NEO 2015 TB145 ("Хеллоуин") двумя телескопами-роботами Глобальной сети МАСТЕР расположенных в Крыму и Благовещенске (статья [1]), моделировании кривой блеска и астрометрических положений, и наравне с соавторами обнаружении оптического источника MASTER OT J211711.20-123751.4 гамма-всплеска GRB 181201A и его ранняя фотометрия (статья [3]).

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, основной части, содержащей 3 главы, заключения и библиографии. В диссертации 133 страницы, включая 26 рисунков и 3 таблицы. Библиография включает 205 наименований.

Содержание работы

Во **Введении** описывается важность создания интерактивных инструментов анализа широкопольных изображений, полученных на телескопах-роботах МАСТЕР, ввиду огромного ежедневного потока данных для обработки и анализа, а также описывается процесс анализа нового/переменного объекта, подготовка к автоматической публикации научных телеграмм, инструменты работы с самими широкопольными изображениями МАСТЕРа, созданные диссертантом. Обсуждается цель и актуальность диссертационной работы, её новизна и практическая значимость. Формулируются положения, выносимые на защиту. Приводится список работ, в которых опубликованы основные научные результаты диссертации, и перечень российских и международных конференций, в которых апробированы результаты работы. Описывается личный вклад автора в проделанную работу. Поясняется, что позволяет считать полученные результаты достоверными.

В **Главе 1** представлены принципы работы с широкопольными изображениями телескопов-роботов МАСТЕР (4 квадратных градуса каждый), а также приводится описание созданных инструментов анализа (WEB-инструментов для удаленного анализа астрономических наблюдений Глобальной сети МАСТЕР) текущих изображений с учетом предыдущих обзоров исследуемых площадок (с 2009г. для северных обсерваторий

телескопов-роботов Глобальной сети МАСТЕР и с 2012г. для южных), построение и анализ кривой блеска для объектов (при наличии), доступ к опубликованным данным по исследуемым координатам в астрономических базах VIZIER, CDS, SIMBAD, а также включает определение параметров движения и визуализацию для движущихся объектов, и в определенный момент - создание отчетной телеграммы и автоматическую закладку отчетного изображения на сервер (Рис.1).

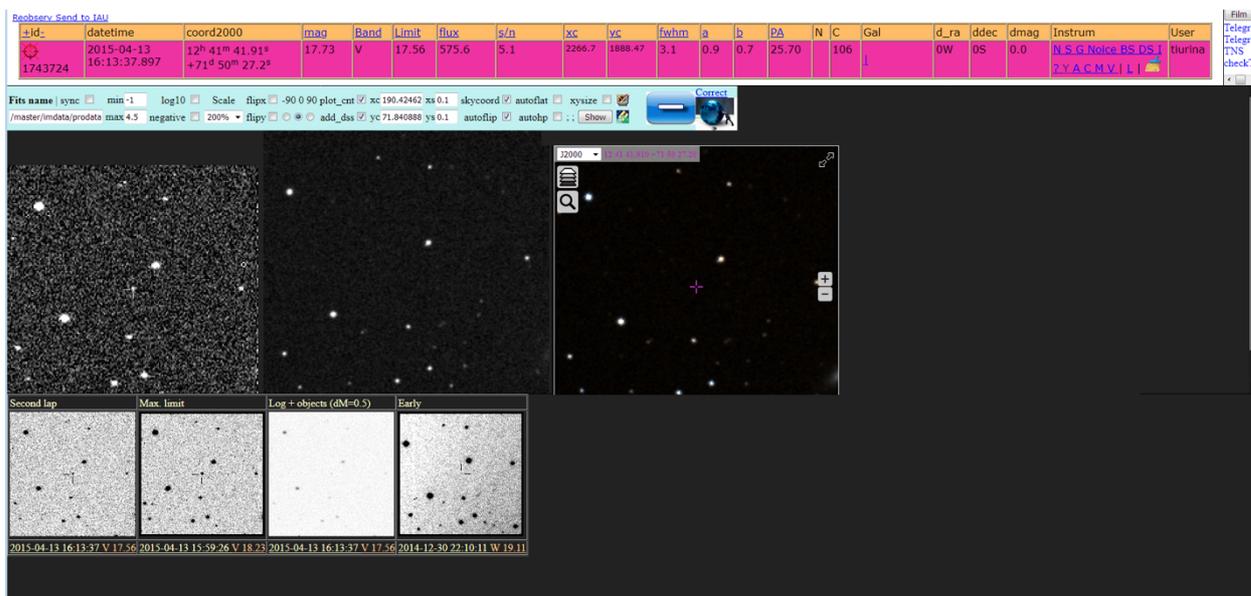


Рисунок 1. Пример созданного диссертантом интерфейса для интерактивного анализа обнаруженных программным обеспечением online-обработки широкопольных изображений МАСТЕР переменных стационарных объектов (кандидат в транзиенты) – MASTER OTJ124141.98+715028.0, являющийся оптическим источником гамма-всплеска GRB150413A(GCN17689,GCN находившегося на $z=3.2$.

В Главе 2 представлены результаты фотометрии в белом свете уникально длинной серии 13.5 часов наблюдений (1124 измерения) близкого астероида NEA(AC3) 2015 TB145, полученные на широкопольных телескопах-роботах МАСТЕР-Амур и МАСТЕР-Таврида Глобальной сети МАСТЕР МГУ, расположенных в Крыму и Благовещенске. За время наблюдений объект прошел более 120 градусов (Рис.2).

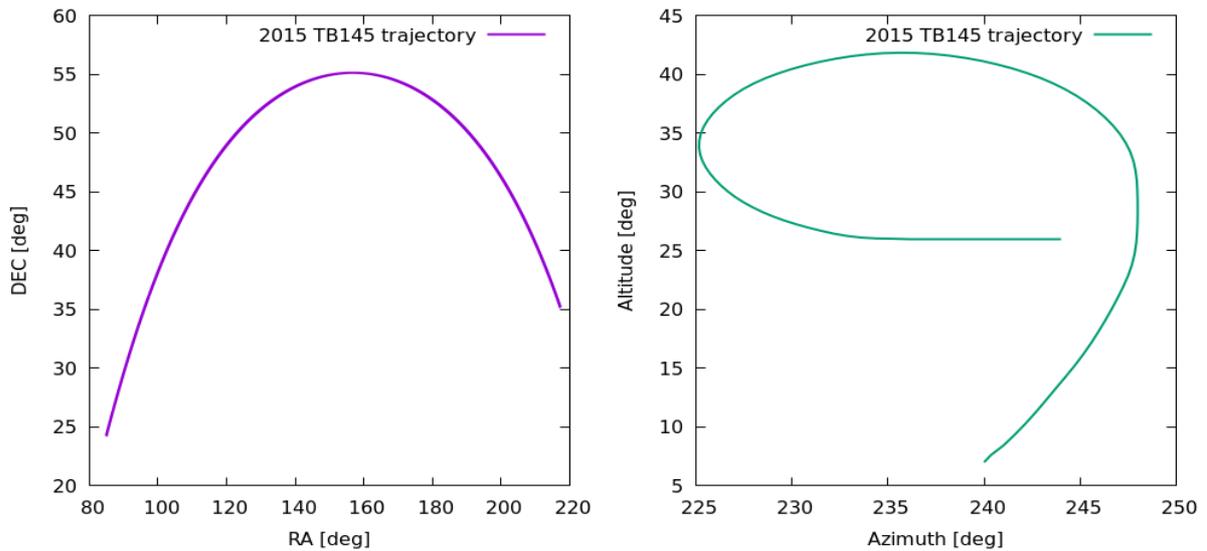


Рисунок 2. Траектория движения 2015 TB145 по небу во время сближения с Землей 31 окт. 2015 за время наблюдений его телескопом роботом МАСТЕР-Амур в Благовещенске.

Астероид прошел точку наибольшего сближения с Землей, т.е. наблюдения велись как на встречном курсе, так и вдогонку. Таким образом, за счет геометрии пролета, наш временной ряд наблюдений содержит информацию об астероиде с принципиально разных углов и намного лучше подходит для определения формы объекта. Проведено математическое моделирование кривой блеска и астрометрических положений (код Asteroids3D), см.Рис.3, в результате которого получены вероятная форма астероида (коническая) и период вращения вокруг оси 5.9 часов (что в пределах ошибок совпадает с удвоенным периодом 2.9 часа, полученным другими наблюдателями, опубликованным ранее), а также ориентация оси вращения в эклиптических координатах: долгота $\lambda = 53^\circ$, широта $\beta = -20^\circ$.

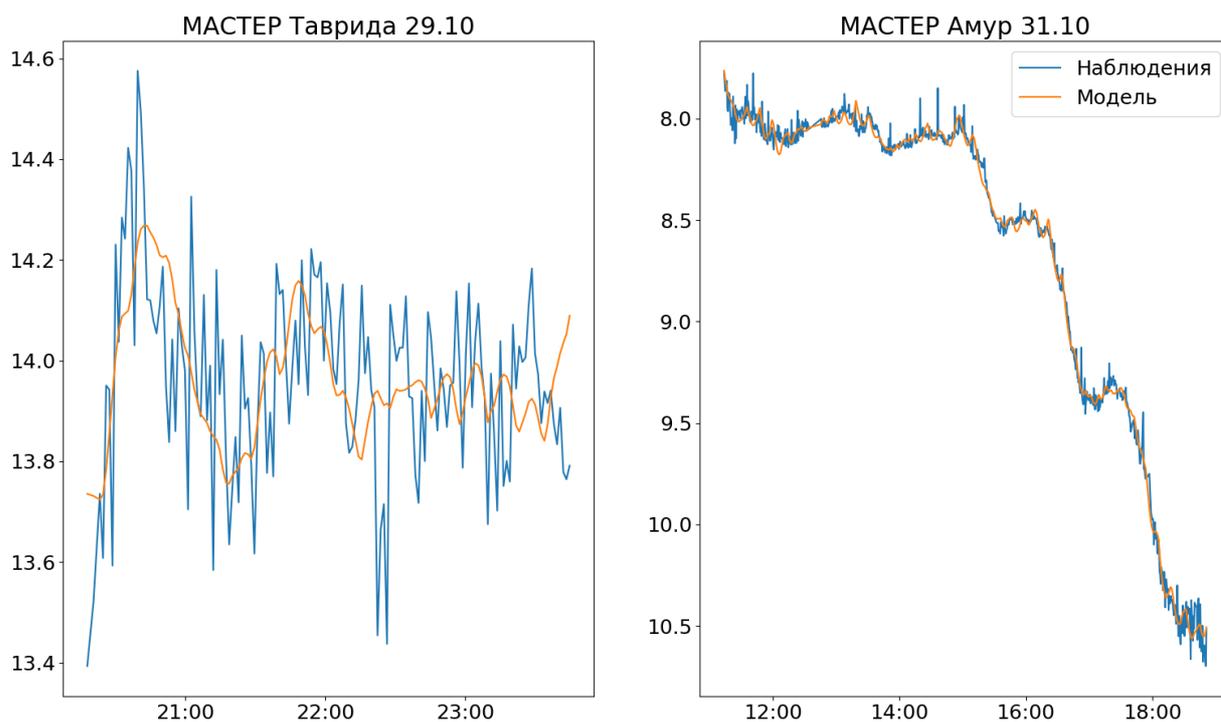


Рисунок 3. Результаты моделирования кривой блеска в Asteroids3D. Голубая линия -наблюдательные данные, желтая - модель.

В Главе 3 представлена фотометрия оптического источника MASTER OT J211711.20-123751.4 гамма-всплеска GRB181201A, зарегистрированного орбитальной обсерваторией Интеграл (детектор IBIS/ISGRI) 1 декабря 2018 года в 02:38:00 UT [44]. Всплеск, длившийся 200с (T_{90}), был также зарегистрирован гамма-обсерваториями Fermi (детектор LAT в 02:38:00 UT Arimoto et al. 2018), Konus-Wind (в 02:39:52.36UT длительностью ~ 172 s, Svinkin et al. 2018)) и Astrosat (Khanam et al. 2018). Оптический источник MASTER OT J211711.20-123751.4 был обнаружен и опубликован благодаря созданным диссертантом инструментам анализа астрономических изображений на телескопе-роботе MASTER-OAFA, который навелся за 10с после получения сообщения о срабатывании триггера на обсерватории INTEGRAL (Рис.4). В Главе представлен анализ распределения энергии в электромагнитном диапазоне (рентгеновский, ультрафиолетовый, оптический, инфракрасный, и радио) на временах от 150с до 163 дней после всплеска, включающего первые совместные наблюдения ALMA-VLA-GMRT послесвечения гамма-всплеска (GRB).



Рисунок 4. Обнаруженный на телескопе MASTER-OAFA во время алертных наблюдений области локализации гамма-всплеска GRB 181201A источник оптического излучения MASTER OT J211711.20-123751.4.

В **Заключении** приводятся основные результаты диссертационной работы и обсуждаются перспективы дальнейших исследований.

Список литературы

1. Липунов В.М., Владимиров В. В., Горбовской Е.С., Кузнецов А. С. и др., "Концепция многофункционального астрономического комплекса и динамически интегрированной базы данных в применении к многоканальным наблюдениям глобальной сети МАСТЕР", *Астрономический журнал*, Том 96, № 4, с. 288-304 (2019)
2. Зимнухов Д.С., Липунов В.М., Горбовской Е.С., Корнилов В.Г., Тюрина Н.В., Чазов В.В., Габович А., Балануца П.В., Владимиров В., Гресс О., Кузнецов А.С., Лопез Р.Реболо, Серра-Рикарт М., Юрков В.В., Власенко Д., Буднев Н.М., Сергиенко Ю.П.
 "Глобальная Сеть Телескопов-Роботов МАСТЕР: наблюдения астероида NEA 2015 TB145",
Астрономический журнал, издательство Наука (М.), том 96 (12), 1080 (2019)
3. T.Laskar, H.van Eerten, P. Schady, C. G. Mundell, K.D. Alexander, R.Barniol Duran, E. Berger, J. Bolmer, R. Chornock, D. Coppejans, Wenfai

- Fong, A., Gomboc, N., Jordana, Sh., Kobayashi, R., Margutti, K. M., Menten, R., Sari, R., Yamazaki, V. M., Lipunov, E., Gorbovskoy, V. G., Kornilov, N., Tyurina, D., Zimnukhov, R., Podesta, H., Levato, D. A. H., Buckley, A., Tlatov, R., Rebolo, M., Serra-Ricart,
- “A reverse shock in GRB 181201a”,
Astrophysical Journal, 886, 2 (2019)
4. Lipunov V., Kornilov V., Gorbovskoy E., et al., “Master Robotic Net”, *Advances in Astronomy*, vol. 2010, 2010.
5. Lipunov, V. M., Gorbovskoy, E., et al., "MASTER Optical Detection of the First LIGO/Virgo Neutron Star Binary Merger GW170817", *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 850, Issue 1, article id. L1, 9 pp, 2017.
6. Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T. D., et al., "Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger", *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 848, Issue 2, article id. L12, 59 pp., 2017b.
7. D.A.H.Buckley, I. Andreoni, S. Barway et al. “A comparison between SALT/SAAO observations and kilonova models for AT 2017gfo: the first electromagnetic counterpart of a gravitational wave transient - GW170817” *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 474L, 71B (2018)
8. IceCube Collaboration: Achterberg A, Ackermann M, Adams J, Ahrens J, Andeen K, Atlee DW, Baccus J, Bahcall JN, Bai X, et al., "First year performance of the IceCube neutrino telescope", *Astroparticle Physics*, Volume 26, Issue 3, pp. 155-173, 2006.
10. Lipunov, V. M., Blinnikov, S., et al., "MASTER OT J004207.99+405501.1 / M31LRN 2015 luminous red nova in M31: discovery, light curve, hydrodynamics and evolution", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 470, Issue 2, pp. 2339-2350, 2017
11. E. Troja, V. Lipunov et al., “Significant and variable linear polarization during the prompt optical flash of GRB 160625B.” *Nature*, 547, p. 425-427 .2017
12. V. Sadovnichy, M. Panasyuk, S. Svertilov et al. “Prompt and Follow-up Multi-wavelength Observations of the GRB 161017A” *ApJ*, 861, 48S .2018
13. Lipunov, V. M.; Kuznetsov, A. S.; Gorbovskoy, E. S. et al. “V404 CYG/GS 2023+338: Monitoring in the Optical with Robotic Telescopes of the MASTER

Global Network during the 2015 Superburst, “ *Astronomy Reports*, 63 (7), 534-549 (2019)

14. Kornilov V. G., Lipunov V. M., Gorbovskoy E. S., et al., "Robotic optical telescopes global network MASTER II. Equipment, structure, algorithms", *Experimental Astronomy*, Volume 33, Issue 1, pp. 173-196, 2012.
15. Pruzhinskaya M. V., Krushinsky V. V., et al., "Optical polarization observations with the MASTER robotic net", *New Astronomy*, Volume 29, pp. 65-74, 2014.
16. Lipunov V. M., Kornilov V., Gorbovskoy, E., et al., "First gravitational-wave burst GW150914: MASTER optical follow-up observations", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 465, Issue 3, pp. 3656-3667, 2017e.
17. Abbott B. P., Abbott R., Abbott T. D., et al., "Localization and Broadband Follow-up of the Gravitational-wave Transient GW150914", *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 826, Issue 1, article id. L13, 8 pp., 2016c.
18. Gorbovskoy, E. S.; Lipunova, G. V.; Lipunov, V. M.; Kornilov, V. G.; Belinski, A. A.; Shatskiy, N. I.; Tyurina, N. V.; Kuvshinov, D. A.; Balanutsa, P. V.; Chazov, V. V.; Kuznetsov, A.; Zimnukhov, D. S. et al.
 “Prompt, early and afterglow optical observations of five γ -ray bursts: GRB 100901A, GRB 100902A, GRB 100905A, GRB 100906A and GRB 101020A”
19. Gorbovskoy, E. S.; Lipunov, V. M.; Kornilov, V. G.; et al.
 “The MASTER-II network of robotic optical telescopes. First results, “
Astronomy Reports, 57, 233G (2013)
20. Sadovnichii, V. A.; Panasyuk, M. I.; Lipunov, V. M. et al. “Monitoring of Natural and Technogenic Space Hazards: Results of the Lomonosov Mission and Universat-SOCRAT Project” *Cosmic Research*, Volume 56, Issue 6, pp.488-497