



УТВЕРЖДАЮ

Проректор Национального
исследовательского университета
«Высшая школа экономики»

к.э.н., доцент Рощин Сергей Юрьевич

«*17*» *февраля* 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»**

Диссертация Панкова Николая Сергеевича на тему: «Исследование оптических транзиентов методами потоковой обработки астрономических данных» выполнена на базовой кафедре физики космоса Института космических исследований Российской академии наук факультета физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (далее – Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»).

В 2021 г. Панков Николай Сергеевич окончил магистратуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

В 2025 г. окончил очную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» по направлению подготовки 03.06.01, образовательной программы «Физика и астрономия», профиль по образовательной программе «Астрофизика и звёздная астрономия».

В период обучения в аспирантуре сданы кандидатские экзамены по истории и философии науки, иностранному языку и по специальной дисциплине 1.3.1 «Физика космоса, астрономия», что подтверждается протоколами сдачи кандидатских экзаменов.

В период подготовки диссертации соискатель ученой степени Панков Николай Сергеевич работал в секторе Быстропеременных космических источников отдела Наблюдательной и теоретической астрономии и радиоинтерферометрии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук в должности инженера с 01.12.2020 по 31.10.2025 г.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Позаненко Алексей Степанович работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте космических исследований Российской академии наук в должности заведующего сектором быстропеременных космических источников отдела Наблюдательной и теоретической астрономии и радиоинтерферометрии, а также доцентом базовой кафедры физики космоса Института космических исследований Российской академии наук Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Актуальность темы

В эпоху современной многоволновой и многоканальной астрономии поиск и изучение транзиентов, таких как космические гамма-всплески (КГВ) и ассоциируемые с ними оптические компоненты (послесвечение, сверхновые и килоновые), являются необходимыми инструментами для выяснения причин происхождения и моделирования физических параметров транзиентов. Несмотря на прилагаемые усилия, количество обнаруженных оптических компонентов КГВ

остается небольшим. Например, за 10 лет наблюдений (2015-2025) было обнаружено всего лишь два электромагнитных транзиента, ассоциированных с гравитационно-волновыми событиями, регистрируемых детекторами LIGO-Virgo-KAGRA.

Ограниченные возможности наблюдений оптических транзиентов, а именно, невозможность покрытия больших областей локализации, недостаточная чувствительность телескопов к тусклым транзиентам, являются одной из основных причин этого. Кроме того, быстрая переменность оптических транзиентов на масштабах от нескольких секунд до нескольких часов затрудняет их поиск и наблюдение. Сложности, связанные с низкой производительностью обработки астрономических изображений, также ограничивают время реакции на транзиентные события. Неэффективность выбранных алгоритмов поиска транзиентов в конкретных случаях, например, при использовании сравнения с каталогами, когда транзиент находится в яркой родительской галактике, также является существенной проблемой. И, наконец, значительное разнообразие транзиентов в их наблюдательных свойствах делает невозможным заранее определить как область наблюдения, так и оптимальное время накопления для поиска оптического компонента.

Разработка и реализация потоковых методов (программных конвейеров) для оптимального планирования наблюдений, обработки исходных изображений, а именно, калибровки, астрометрии, фотометрии, поиска оптических транзиентов, ассоциированных с гамма-всплесками, приводит к увеличению скорости и количества обнаруженных оптических компонентов. Это, в свою очередь, позволяет определить параметры излучения и, следовательно, на более ранней стадии проводить моделирование физических параметров гамма-всплесков. Кроме того, использование потокового планирования наблюдений позволяет эффективнее проводить наблюдения больших областей локализации источников гамма-всплесков и гравитационно-волновых событий (до сотен квадратных градусов).

В связи с этим, наблюдение, обработка и исследование с помощью потоковых методов (конвейеров) оптических транзиентов, связанных с гамма-всплесками и, особенно, связанных с гравитационно-волновыми источниками, является актуальной задачей, имеющей важное значение для развития современной астрофизики.

Научные положения выносимые на защиту диссертации

1. Разработан и реализован в виде приложения метод планирования оптических наблюдений областей локализации космических гамма-всплесков и гравитационно-волновых событий LIGO/Virgo/KAGRA при помощи распределенной сети наземных телескопов с разными полями зрения.
2. Получены ограничения на поток возможного оптического компонента гигантской вспышки магнитара GRB 231115A в галактике M82. Ограничения составили: 58.4 мкЯн (19.3 звездной величины) в фильтре R через 0.447 суток после регистрации GRB 231115A в наблюдениях телескопом AS-32 (с апертурой 0.7м) и 111 мкЯн (18.6) в чистом свете (без фильтра) через 0.149 суток после регистрации в наблюдениях телескопом RC-36 (0.36м).
3. Впервые проведено многоволновое моделирование кривых блеска гамма-всплеска GRB 200829A. Это один из 15 наиболее ярких гамма-всплесков по полной изотропной энергии в гамма-диапазоне (10 кэВ – 1 МэВ) среди всех зарегистрированных обсерваторией Swift гамма-всплесков. В кривой блеска обнаружена хроматическая неоднородность, которую можно объяснить в рамках модели структурированного джета. Найдена родительская галактика гамма-всплеска и определены ее основные параметры.
4. Обработаны данные оптических наблюдений гамма-всплесков GRB 201015A, GRB 221009A, GRB 240225B, EP240801a. Получены фотометрические измерения послесвечения, которые были использованы для построения многоцветных кривых блеска.

Обоснованность научных положений

Обоснованность научных положений подтверждается публикацией автором статей по теме

исследования в ведущих рецензируемых журналах и докладах на международных и всероссийских конференциях. Результаты согласуются с имеющимися теоретическими и экспериментальными работами. В работе автора предложен новый метод потокового планирования наблюдений, с помощью которого удалось обнаружить послесвечение гамма-всплесков. С помощью широко используемого метода проведено многоволновое моделирование кривых блеска гамма-всплеска GRB 200829A и получены физические параметры источника излучения.

Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации

Все результаты, представленные в настоящей работе, получены совместно с соавторами при непосредственном участии соискателя. В диссертацию включены результаты, для получения которых вклад соискателя был основным. Представление результатов, изложенных в диссертации, согласовано с соавторами опубликованных статей.

Разработан потоковый метод планирования оптических наблюдений для обширных областей локализации гамма-всплесков и гравитационно-волновых событий в виде приложения на Python.

Проведен поиск возможных оптических кандидатов GRB 231115A и получено ограничение на поток от возможного оптического компонента.

На основе собственных данных построена кривая блеска оптического послесвечения GRB 200829A. Проведено многоволновое моделирование кривых блеска этого гамма-всплеска. Найдена родительская галактика GRB 200829A и оценены её основные параметры.

Получены фотометрические измерения для послесвечений гамма-всплесков 201015A, GRB 221009A, GRB 240225B, EP240801a, использованные для построения многоцветной кривой блеска и её моделирования.

Степень достоверности результатов, проведенных соискателем ученой степени исследований

Достоверность полученных результатов обеспечивается общепринятым подходом к редукции исходных наблюдательных данных для фотометрии, стандартных подходов к интерпретации полученных результатов. Для представленных данных степень достоверности подтверждается согласием с результатами, опубликованными в литературных источниках.

Научная новизна работы

Впервые реализован метод потокового планирования оптических наблюдений обширных областей локализации космических гамма-всплесков и гравитационно-волновых событий LIGO/Virgo/KAGRA при помощи распределенной сети наземных телескопов. Метод совмещает в себе раздачу расписания между телескопами наблюдательной сети ИКИ РАН (IKI-GRB-FuN), прямое подключение к роботическому телескопу по TCP-сокету для запуска автоматических наблюдений, а также оповещение наблюдателей о новых транзиентных источниках через Телеграм-бот. В рамках работы представлены результаты поиска оптических кандидатов гамма-всплесков с использованием разработанных автором методов поиска кандидатов в оптические транзиенты. В том числе получено ограничение на поток возможного оптического кандидата магнитара GRB 231115A. Впервые выполнено многоволновое моделирование гамма-всплеска GRB 200829A и определены основные физические параметры джета: угол раствора, гамма-фактор, энерговыделение в гамма-диапазоне с учетом коллимации. Найдены особенности в многоволновых кривых блеска GRB 200829A: хроматизм, вспышка и плато. Найдена родительская галактика гамма-всплеска GRB 200829A и оценены её основные параметры: абсолютная звездная величина, масса и темп звездообразования.

Теоретическая значимость

Представлены новые эмпирические данные, позволяющие расширить выборку

послесвечений гамма-всплесков с неоднородностями на кривых блеска (плато, вспышки) и с обнаруженными родительскими галактиками.

Разработан метод потокового планирования оптических наблюдений обширных областей локализации космических гамма-всплесков и гравитационно-волновых событий LIGO/Virgo/KAGRA при помощи распределенной сети наземных телескопов.

Практическая значимость результатов, проведенных соискателем ученой степени исследований

Реализован метод потокового планирования оптических наблюдений обширных областей локализации космических гамма-всплесков и гравитационно-волновых событий LIGO/Virgo/KAGRA при помощи распределенной сети наземных телескопов, позволяющий увеличить шансы своевременного наблюдения обнаружения оптических компонент. Рассмотрены методы поиска кандидатов в оптические транзиенты, реализованные автором работы. Методы могут быть применены для поиска кандидатов в оптическое послесвечение гамма-всплесков для их последующего статистического анализа и моделирования. Результаты моделирования космического гамма-всплеска GRB 200829A и его родительской галактики могут быть использованы в дальнейшем анализе, например, в составе выборки гамма-всплесков. Фотометрические значения, полученные для гамма-всплесков GRB 201015A, GRB 221009A, GRB 240225B, EP240801a, могут быть использованы для аналитического/численного моделирования многоволновых кривых блеска перечисленных источников.

Апробация работы

Основные результаты диссертации докладывались на следующих российских и международных конференциях:

1. Панков Н.С. и др., Наблюдения и классификация быстрых оптических транзиентов ZTF: устный доклад // XIX Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 13-15 апреля 2022 г., Москва, ИКИ РАН.
2. Панков Н.С. и др., Хроматическое послесвечение гамма-всплеска GRB 200829A: устный доклад // XX Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования», 12-14 апреля 2023 г., Москва, ИКИ РАН.
3. Панков и др., AWARE: Приложение для планирования наблюдений оптических транзиентов: устный доклад // Всероссийская конференция «Современные инструменты и методы в астрономии», 04-09 сентября 2023 г., с. Нижний Архыз, CAO РАН.
4. Панков и др., Хроматическое послесвечение гамма-всплеска GRB 200829A: устный доклад // IX школа-семинар «Магнитоплазменные процессы в релятивистской астрофизике», 3-7 июля 2023 г., Москва, ИКИ РАН.
5. Pankov et. al, Alert Watcher and Astronomical Rapid Explorer (AWARE), устный доклад, BRICS Astronomy Working Group 2023 (BAWG 2023), 16-19 октября 2023 г., ЮАР.
6. Pankov et. al, Automatic Observation Planning and Image Processing in the Search for Optical Transients: устный доклад // BRICS Astronomy Working Group 2024 (BAWG 2024), 9-13 сентября 2024 г., Казань, КФУ.
7. Панков и др., «Автоматизация планирования наблюдений и обработки изображений при поиске оптических транзиентов» стендовый доклад. // Международная конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра», 23-26 декабря 2024 г., Москва, ИКИ РАН.
8. Nicolai Pankov, Artem Prokhorenko, Eugene Schekotihin, Alexei Pozanenko, Pavel Minaev, Sergei Belkin and Alina Volnova «AWARE: Alert Watcher and Astronomical Rapid Exploration» устный доклад // XXV International Conference Data Analytics and Management in Data Intensive Domains" (DAMDID/RCDL 2023), 24-27 октября 2023 г., Москва, НИУ ВШЭ.
9. Nicolai S Pankov « Pipeline for detection of transient objects in optical surveys» устный доклад // XXIII International Conference on «Data Analytics and Management in Data Intensive Domains» DAMDID/RCDL'2021, 26-29 октября 2021 г., Москва, НИУ МИСИС.

10. Nicolai Pankov, Pavel Minaev, Alexei Pozanenko, Eugene Schekotikhin, Sergey Belkin, Elena Mazaeva and Alina Volnova «The Automatic Image Processing Software for Optical Transient Detection» устный доклад // XXIII International Conference on «Data Analytics and Management in Data Intensive Domains» DAMDID/RCDL'2025, 29-31 октября 2025 г., Санкт-Петербург, СПбПУ.

Полнота изложения материалов диссертации в публикациях

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 8 работах общим объемом 19,3 п.л.; личный вклад автора составляет 3,3 п.л.

Научная публикация	Личный вклад	Публикация входит в		
		Перечень рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК	База данных RSCI	Международные базы данных и системы цитирования (Web of Science/ Scopus/ MathSciNet...)
1. Pankov Nicolai, Pozanenko Alexei, Kouprianov Vladimir, Belkin Sergey Pipeline for Detection of Transient Objects in Optical Surveys, Data Analytics and Management in Data Intensive Domains. 23rd International Conference, DAMDID/RCDL 2021, Moscow, Russia, October 26–29, 2021 // Revised Selected Papers, Springer, 2022. С. 104-134	в соавт., личный вклад – 0,9 п.л.	нет	нет	Scopus, Q4
2. Nicolai Pankov, Artem Prokhorenko, Eugene Schekotihin, Alexei Pozanenko, Pavel Minaev, Sergei Belkin & Alina Volnova AWARE: Alert Watcher and Astronomical Rapid Explorer, Data Analytics and Management in Data Intensive Domains: 25th International Conference, DAMDID/RCDL 2023, Moscow, Russia, October 24–27, 2023 // Revised Selected Papers: труды конференции. / Ed. by Д. И. Игнатов. — Vol.2086: Communications in Computer and Information Science — Springer, 2024. 300 P. ISBN 978-3-031-67825-7. P. 225-245	в соавт., личный вклад – 1,0 п.л.	нет	нет	Scopus, Q4

3. Панков Н.С., Позаненко А.С., Минаев П.Ю., Белкин С.О., Вольнова А.А., Рева И.В. и др. Хроматическое послесвечение GRB 200829A // Письма в Астрономический журнал. 2023. Т. 49. С. 81-109	в соавт., личный вклад – 0,8 п.л.	да	да	Scopus, Q3
4. Минаев П.Ю., Позаненко А.С., Гребенев С.А., Человеков И.В., Панков Н.С., Хабибулин А.А., Р.Я. Инасаридзе, Новичонок А.О. GRB 231115A — Гигантская вспышка магнетара в галактике M82 // Письма в Астрономический журнал. 2024. Vol. 50. No. 1. P. 1-24	в соавт., личный вклад – 0,2 п.л.	да	да	Scopus, Q3
5. Belkin S., Pozanenko A.S., Minaev P.Y., Pankov N.S., Volnova A.A., Rossi A., Stratta G., et al. GRB 201015A: from seconds to months of optical monitoring and supernova discovery // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 527, Issue 4, February 2024, P. 11507–11520	в соавт., личный вклад – 0,1 п.л.	нет	нет	Scopus, Q1
6. Jiang Shuai-Qing, Xu Dong, ... Pankov N. S., et. al, EP240801a/XRF 240801B: An X-Ray Flash Detected by the Einstein Probe and the Implications of Its Multiband Afterglow // Astrophysical Journal Letters. 2025. Vol. 988. Issue 1, id. L34, 18 pp.	в соавт., личный вклад – 0,1 п.л.	нет	нет	Scopus, Q1
7. Sánchez-Ramírez R., Lang R. G, ... N. Pankov, et. al, Early photometric and spectroscopic observations of the extraordinarily bright INTEGRAL-detected GRB 221009A // Astronomy and Astrophysics. 2024. Vol. 692. Article A3.	в соавт., личный вклад – 0,1 п.л.	нет	нет	Scopus, Q1
8. A. Kumar, B.P. Gompertz, ... N. S. Pankov, et. al Discovery and Analysis of Afterglows from Poorly Localised GRBs with the Gravitational-wave Optical	в соавт., личный вклад – 0,1 п.л.	нет	нет	Scopus, Q1

Transient Observer (GOTO) All-sky Survey // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, staf1689, October 2025				
---	--	--	--	--

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают её основные положения.

Ценность научных работ соискателя ученой степени

Ценность научных работ соискателя подтверждается публикациями в ведущих российских и международных рецензируемых изданиях. Работа Pankov et al., 2024, посвященная потоковому приложению для планирования оптических наблюдений для сетей телескопов была выполнена в рамках международного гранта BRICS, а само приложение было предложено в качестве стандартного пакета для международного проекта BRICS Intelligent Telescope and Data Network (BITDN). Это приложение так же может быть использовано в российских организациях ГАИШ МГУ, CAO РАН, ИПМ РАН, ИСЗФ СО РАН. Статья автора (Панков и др., 2023 Хроматическое послесвечение гамма-всплеска GRB 200829A) победила в конкурсе лучших русскоязычных работ НИУ ВШЭ в 2024 г.

Диссертация Панкова Николая Сергеевича на тему: «Исследование оптических транзиентов методами потоковой обработки астрономических данных» – это законченная научно-квалификационная работа, которая соответствует: требованиям пунктов 9, 10, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а также Паспорту научной специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

Диссертация Панкова Николая Сергеевича на тему: «Исследование оптических транзиентов методами потоковой обработки астрономических данных» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Заключение принято на заседании базовой кафедры физики космоса Института космических исследований Российской академии наук факультета физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», протокол № 3 от 18 ноября 2025 г.

Присутствовало на заседании 11 человек. Участвовало в голосовании 8 человек. Результаты голосования: «за» – 8 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек.

Заведующий базовой кафедрой физики космоса
Института космических исследований
Российской академии наук
факультета физики НИУ ВШЭ,
директор Института космических исследований
Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,
академик РАН



Петрукович Анатолий Алексеевич