На правах рукописи

Рахматуллаева Фируза Джамшедовна

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗБРАННЫХ АКТИВНЫХ МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ПО ОПТИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ

01.03.01 – астрометрия и небесная механика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в Ордена Трудового Красного Знамени Институте астрофизики Национальной академии наук Таджикистана

Научный руководитель:	Кохирова Гулчехра Исроиловна, член-корреспондент НАН Таджикистана, доктор физико-математических наук, директор Института астрофизики НАНТ
Официальные оппоненты:	Медведев Юрий Дмитриевич, д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией малых тел Солнечной системы ФГБУН Института прикладной астрономии Российской академии наук
	Бусарев Владимир Васильевич, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник отдела исследований Луны и планет Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова
Ведущая организация:	ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный университет”, г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится «24» июня 2022 г. в 11 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.280.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте астрономии Российской академии наук по адресу: 119017, г. Москва, ул. Пятницкая, д.48.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института астрономии РАН и на сайте http://www.inasan.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2022 года.
Ученый секретарь диссертационного совета

Д 002.280.01, к.ф.-м.н. Чупина Н. В. Чупина

Общая характеристика работы

Диссертационная работа посвящена исследованию малых тел Солнечной системы, проявляющих не свойственную им активность. Целью работы является выявление активности у объектов, определение динамических и физических свойств и возможных причин активности, установление их природы и происхождения. Для решения поставленной задачи в астрономической обсерватории Санглох Института астрофизики НАНТ, Крымской астрофизической обсерватории РАН и станции Лесники Астрономической обсерватории КНУ им. Т.Г. Шевченко выполнены оптические наблюдения избранных активных астероидов и комет, проведена астрометрическая и фотометрическая обработка полученных изображений. Для большинства объектов подтверждена активность, получены новые данные о динамических и физических свойствах сравнительно недавно открытых новых семейств малых тел Солнечной системы - активных астероидов (АА), комет Главного пояса астероидов (КГП), объектов группы кентавров, объектов с двойным статусом. Рассмотрены возможные механизмы, ответственные за наблюдаемую активность и сделаны выводы о природе изученных объектов. Новые сведения способствуют лучшему пониманию природы и происхождения объектов из различных популяций малых тел Солнечной системы, а также выявлению общностей и различий между ними.

Актуальность работы

Популяция малых тел Солнечной системы состоит из комет, астероидов и продуктов их распада – метеороидов. До недавнего времени считалось, что нет никаких преград в различении астероидов от комет. По наземным наблюдениям они выглядят совершенно различно, комета имеет кому и хвост, астероид выглядит подобно звезде. Принято считать, что кометы - это ледяные тела, тогда как астероиды – каменные или железокаменные образования. Различаются они и орбитами, кометы двигаются по кометоподобным орбитам, которые отличаются от астероидных орбит. К тому же физические свойства свидетельствуют о различных источниках и регионах происхождения комет и астероидов. Однако, с открытием активных астероидов (АА), комет Главного пояса (КГП), кентавров, объектов с двойным статусом стало понятно, что сложившееся разделение комет и астероидов не столь однозначно, как подразумевалось. Присутствие АА, КГП, объектов с двойным статусом в Главном поясе астероидов указывает на более тесную связь астероидов и комет, чем это считалось ранее, а также свидетельствует о том, что ледяные тела из Главного пояса астероидов вполне могут быть потенциальными «поставщиками» воды (Jewitt et al. 2015).

Предполагается, что объекты нового класса образовались в более теплой области Солнечной системы, находящейся в пределах орбиты Юпитера, в отличие от других комет из пояса Койпера и облака Оорта (Masiero et al. 2012). Изучение и сравнение объектов из трех резервуаров позволяют изучить протопланетный диск Солнца в трех соответствующих областях - Главный пояс астероидов, кометный пояс Койпера и кометное облако Оорта. В связи с этим активные малые тела имеют чрезвычайно важное место в астрономических исследованиях, их изучение обеспечивает получение более детальных сведений об условиях и процессах возникновения Солнечной системы в ее различных регионах, а также сделать предположение о возможных путях «доставки» воды на Землю. Наблюдения и изучение таких активных объектов являются основной проблемой, рассмотренной в диссертации, и составляют фундаментальную значимость исследования активных малых тел Солнечной системы.

Практическая значимость этой проблемы связана, в первую очередь, с проблемами астероидно-кометной опасности, реальность которой подтверждена известными фактами вторжения комет и астероидов в земную атмосферу. Сведения о природе потенциально-опасных тел необходимы для учета в стратегии предотвращения и смягчения опасных столкновений. Другая особая важность этого направления связана с необходимостью решения новых проблем нашей планетной системы, таких, как задача поиска принципиально новых источников сырьевых ресурсов в околоземном космическом пространстве. Данные о физических характеристиках и динамических свойствах как можно большего числа астероидов и комет крайне важны в решении отмеченных фундаментальных и прикладных проблем, связанных с ними. Кроме того, результаты, полученные в работе, могут быть использованы для постановки новых задач, в том числе, решаемых с помощью космических миссий к кометам и астероидам.

Цели и задачи диссертационной работы

Основной целью диссертационной работы является определение и исследование динамических и физических свойств активных астероидов, как из Главного пояса астероидов, так и из популяции астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), объекта с двойным статусом, кометы из группы кентавров и кометы, находящейся на стадии перехода из группы кентавров к кометам семейства Юпитера, используя данные оптических наблюдений, и на этой основе сделать заключение об их природе. Для достижения поставленной цели в диссертации на основе выполненных многоцветных оптических наблюдений избранных активных объектов, астрометрической и фотометрической обработки их изображений, решены следующие задачи:

1. Определены координаты и вычислена орбита активного астероида ГПА (596) Шейла, определены звездные величины, построены кривые

блеска, оценен эффективный диаметр, показатели цвета и период вращения астероида. Выполнен сопоставительный анализ результатов, полученных по наблюдениям в 2011 г. и в 2017 г., а также с имеющимися данными по кометам из различных популяций. Исследована вспышечная активность астероида и установлена ее причина.

2. Определены координаты, орбита, звездные величины, кривые блеска, эффективный диаметр и показатели цвета активного астероида (3552) Дон Кихот из популяции АСЗ. Исследована вспышечная активность в период наблюдений, анализ суммарных изображений подтвердил наличие слабой пылевой комы у астероида. Выполнен сопоставительный анализ полученных результатов с имеющимися данными по другим наблюдениям и сделано предположение о природе астероида.

3. Определены координаты, орбита, звездные величины, кривая блеска, эффективный диаметр и параметр пылепроизводительности активного объекта ГПА с двойным статусом, т.е. имеющего и астероидное (457175) 2008 GO98, и кометное 362P наименования. Исследована вспышечная активность в период квазисинхронных наблюдений, проанализированы суммарные изображения, выполнен сопоставительный анализ полученных результатов с имеющимися данными по другим наблюдениям, установлена причина вспышечной активности, зарегистрированной в 2017 г., сделано предположение о природе объекта.

4. Определены блеск и его изменение, показатели цвета, эффективный диаметр ядра кометы 29P, относящейся к активным объектам группы кентавров. Изучена морфология и выявлены две пылевые структуры в коме кометы по наблюдениям в 2017 г., короткий хвост и два мощных джета - по наблюдениям в 2021 г. Выполнен сравнительный анализ полученных результатов с имеющимися данными по комете 29P и другим кометам из различных популяций. Рассмотрены возможные механизмы, ответственные за вспышечную активность кометы на далеких гелиоцентрических расстояниях.

5. Определены блеск, параметр пылепроизводительности и верхний предел диаметра ядра кометы P/2019 LD2 (ATLAS). На основе новых фотометрических данных изучена активность кометы. Для выявления распределения яркости вдоль хвоста и структуры хвоста построены изофоты и диаграммы Финсона-Пробстейна. Выполнен анализ орбиты кометы.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Определены динамические и физические свойства активного астероида ГПА (596) Шейла в периоды многоцветных оптических наблюдений, выполненных в 2011 г. и 2017 г., построены кривые блеска, найдены показатели цвета и уточнен период вращения астероида. Установлено, что вспышечная активность астероида Шейла носит

эпизодический характер. Показано, что столкновение с малым телом в 2010 г. не привело ни к полному распаду астероида, ни к катастрофическому изменению его поверхности, астероид сохранил орбиту и абсолютный блеск.

2. На основе многоцветных оптических наблюдений активного астероида (3552) Дон Кихот из популяции АСЗ получены динамические, физические характеристики и построены кривые блеска на момент мониторинга, оценены ранее неизвестные показатели цвета астероида. Во время наблюдений у астероида зарегистрирована вспышка блеска и выявлена слабая пылевая кома, типичная для комет. Сделано заключение, что с высокой вероятностью астероид в действительности является ядром угасшей кометы.

3. Определены динамические и физические характеристики активного объекта ГПА 2008 GO98 (362P) в период квазисинхронных оптических наблюдений, построена кривая блеска в фильтре R. Зарегистрирована вспышка в период наблюдений и обнаружена кометная активность в виде пылевой комы и хвоста. Получена ранее не известная оценка параметра пылепроизводительности, подтверждающая активную стадию объекта. Сделано предположение о кометном происхождении астероида. Показано, что реактивация угасшего кометного ядра в 2017 г. могла произойти в результате столкновения с другим объектом или связана с сублимационными процессами на поверхности объекта.

4. На основе многоцветных оптических наблюдений кометы 29P определены физические свойства и изучена морфология комы. Выявлено наличие пылевых структур в коме кометы по наблюдениям в 2017 г., а также присутствие короткого хвоста и двух мощных джетов – по наблюдениям в 2021 г. На основе наших данных доказана принадлежность кометы к активным объектам группы кентавров. Предложен возможный механизм, ответственный за вспышечную активность кометы на больших гелиоцентрических расстояниях.

5. Определены физические параметры кометы P/2019 LD2 (ATLAS) в период оптических наблюдений в 2020 г. Вычислен ранее не известный параметр пылепроизводительности и выявлена повышенная кометная активность, построена структура пылевой комы и показано, что вблизи поверхности ядра находятся самые крупные пылевые частицы размером более 100 мкм, по мере удаления от ядра размеры частиц уменьшаются.

Научная новизна

1. Впервые на основе длительного ряда наблюдений установлено, что вспышка и признаки кометной активности астероида (596) Шейла в 2010 г. носят эпизодический характер, причиной явилось столкновение с небольшим метеороидом.

2. Впервые зарегистрирована вспышка астероида (3552) Дон Кихот 14 июля 2018 г. и предложено объяснение причины реактивации - столкновение с небольшим объектом или бомбардировка поверхности мелкими метеороидами. На основе новых фотометрических данных предложено астероид считать ядром угасшей кометы.

3. Впервые проведены квазисинхронные оптические наблюдения активного двойственного объекта ГПА (457175) 2008 GO98. В результате, впервые 30 июля 2017 г. зарегистрирована вспышка его яркости, выявлено снижение активности к 14 сентября 2017 г. и установлен эпизодический характер активности. Принадлежность объекта к фракции угасших комет на основе новых данных предположена впервые.

4. Впервые исследована морфология кометы 29P в периоды вспышечной активности по наблюдениям в 2017 г. и в 2021 г. и подтверждено, что активная стадия кометы проявилась в виде образования пылевых джетов. Впервые показано, что вспышка блеска в 2021 г. является одной из самых мощных по интенсивности. На основе новых данных подтверждена реальность механизма, ответственного за наблюдаемую активность и объясняющего причины выброса пылевых частиц на больших гелиоцентрических расстояниях.

5. Впервые на основе оптических наблюдений сравнительно недавно открытой кометы P/2019 LD2 (ATLAS) исследовано распределение яркости вдоль внутренней и видимой части пылевого хвоста кометы и выявлена его структура. Впервые построена модель распределения пылевых частиц в зависимости от времени выброса и размера.

Научная и практическая значимость

Исследование физико-динамических особенностей малых тел Солнечной системы, проявляющих не свойственную им активность, по данным оптических наблюдений имеет и фундаментальное научное значение для установления их происхождения и взаимосвязей, и важное прикладное значение.

Результаты исследования вспышечной активности астероида ГПА (596) Шейла, астероида, сближающегося с Землей (3552) Дон Кихот, объекта с двойным статусом 2008 GO98, кометы 29P из группы кентавров и кометы P/2019 LD2 (ATLAS), находящейся на стадии перехода из группы кентавров в кометы семейства Юпитера, выявление обстоятельств их вспышек имеют важное значение для изучения такой активности в случаях ее проявления другими малыми телами Солнечной системы. Как показывает наблюдательная практика, таких событий становится все больше, и для лучшего понимания их природы необходимо иметь больше данных по индивидуальным случаям. Определение свойств и установление происхождения исследованных активных малых тел крайне важны для исследования образования и эволюции Солнечной системы.

В частности, результаты исследования кометы 29P имеют большое значение для лучшего понимания природы активных объектов группы кентавров. Об этих объектах с двойственными свойствами достоверные сведения все еще недостаточно накоплены и необходимо детально изучать каждый из них отдельно. Возможный механизм ответственный за кометную активность на больших гелиоцентрических расстояниях может быть протестирован на других объектах с таким же типом активности.

Впервые полученные результаты всестороннего изучения кометы P/2019 LD2 (ATLAS) важны для установления обстоятельств перехода малых тел из одной динамической группы в другую. Полученные из наблюдений новые результаты о физических и динамических свойствах активных малых тел существенно восполняют недостаток сведений по таким объектам, имеющийся в различных базах данных и каталогах. Они необходимы для решения современных проблем астрономии, связанных с изучением условий образования Солнечной системы, для определения источников происхождения и выявления родственных связей между малыми телами Солнечной системы.

С практической точки зрения результаты исследований важны для учета астероидно-кометной опасности для космических миссий, необходимы для решения проблемы астероидно-кометной опасности столкновения с Землей и в задаче поиска принципиально новых источников сырьевых ресурсов, а также помогут в постановках новых научных задач во время проведения наблюдений АСЗ космическими аппаратами.

Достоверность

Достоверность научных результатов и выводов, полученных в работе, основывается на фактическом наблюдательном материале и на использовании современных апробированных и объективных методах исследований, разработанных в ведущих отечественных и зарубежных астрономических учреждениях. Различные аспекты работы, положенные в основу диссертации, прошли экспертизу и выполнялись по темам научных исследований Отдела межпланетных тел Института астрофизики НАНТ.

Апробация работы

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах «Малые тела Солнечной системы» Института астрофизики Национальной академии наук Таджикистана, а также были представлены на научных республиканских и международных конференциях:

- Международная конференция «Современные проблемы астрофизики», посвященная 100-летию со дня рождения академика НАНТ Добровольского О.В., Таджикистан, Душанбе, 4-5 декабря 2014 г.,

- Международная конференция «Околоземная астрономия 2015», Россия, п. Терскол, Кабардино-Балкария, 31 августа – 5 сентября 2015 г.,
- X Международная конференция «Околоземная астрономия» приуроченная к 60-летию запуска первого спутника Земли, Россия, Краснодарский край, п. Агой, 2-5 октября 2017 г.,
- Международная астрометрическая конференция «Пулково-2018», ГАО РАН, Россия, Санкт-Петербург, 1-5 октября 2018 г.,
- Международная научная конференция «Околоземная астрономия и космическое наследие 2019», Россия, Республики Татарстан, г. Казань, 30 сентября – 4 октября 2019 г.,
- Международная научная конференция «Успехи астрофизической науки в Таджикистане, связанные с исследованием околоземного космического пространства», посвященная 90-летию академика НАНТ П.Б. Бабаджанова, Республика Таджикистан, г. Душанбе, 15 октября 2020 г.,
- Международная научная конференция «Astronomy and Space Physics», посвященная 175-летию Астрономической обсерватории Национального университета им. Т. Шевченко, г. Киев, Украина, 26-28 мая 2020 г.,
- Международная конференция «VI Бредихинские чтения», Россия, Заволжск, 24-26 апреля 2021 г.,
- Международная конференция «52-nd Lunar and Planetary Sciences», США, Техас, 15-19 марта 2021 г.

Личный вклад соискателя

Соискатель непосредственно участвовала в постановке задач, наблюдениях, астрометрической и фотометрической обработке изображений, разработке методов наблюдений, определения параметров и их исследования, проведении вычислений, подготовке публикаций результатов и выводов. Публикации и доклады на конференциях были подготовлены в равных долях с другими соавторами.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 186 работ. Общий объем диссертации 159 страницы, в том числе 35 рисунков и 28 таблиц.

По теме диссертации опубликовано 18 работ в рецензируемых научных изданиях, 12 из которых – в научных изданиях, рекомендованных ВАК, 8 из них входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования (WoS и Scopus).

Содержание работы

Во Введении даются краткие определения объектов исследования, обоснована актуальность темы, определены основные цели диссертации и пути их достижений, сформулированы основные положения, вынесенные на защиту, отмечена научная новизна, кратко описано содержание диссертации.

В первой главе рассматривается популяция малых тел Солнечной системы, текущее состояние проблемы их изучения и методы обработки оптических наблюдений комет и астероидов. В §1.1 приведены сведения об известных к настоящему моменту семействах активных малых тел Солнечной системы. Рассмотрены астероиды и, в частности, активные астероиды, кометы, угасшие кометные ядра, кометы Главного пояса астероидов, объекты с двойным статусом. §1.2 посвящен методам и задачам оптических наблюдений активных объектов, даны некоторые результаты, имеющиеся к настоящему времени, и задачи, которые еще не решены. В §1.3 рассмотрен метод астрометрической обработки оптических наблюдений комет и астероидов и используемый в работе программный пакет астрометрической обработки, рассмотрены общности и различия в обработке изображений комет и астероидов. Кратко приведен метод определения координат и вычисления орбит объектов. В §1.4 дано описание метода фотометрической обработки изображений комет и астероидов, определения видимого и абсолютного блеска объектов. Даны сведения об используемых в работе каталогах звезд сравнения, о точности приведенных в них сведениях. Кратко описаны программные пакеты, с помощью которых выполнялась фотометрическая обработка изображений активных объектов.

Глава 1 завершается выводами исследования в данном разделе.

Во второй главе приведены результаты наблюдений и исследования активных астероидов. В §2.1 даны сведения об имеющихся к настоящему времени результатах исследований вспышечной активности астероида ГПА (596) Шейла. В §2.1.1 приведены результаты многоцветных фотометрических наблюдений астероида (596) Шейла в 2011 г. Составная кривая блеска астероида, вычисленная с периодом 15.848 ч. приведена на рис. 1, где данные, полученные в разные ночи, отмечены различными символами. Как видно из рис.1, данные за три ночи наблюдений попали на близкие фазы периода вращения в интервале 0.5-0.6. По этой причине трудно сделать заключение о полной амплитуде изменения блеска астероида. Однако по нашим данным можно сделать вывод, что колебания блеска не превосходили 0.1 звездной величины. Средний видимый блеск астероида V=14.64±0.10 звездной величины, полученный по нашим наблюдениям, близок к эфемеридному значению 14.6 звездной величины. Это свидетельствует о том, что абсолютный блеск астероида 8.9 звездной величины, который он имел до столкновения с малым телом, сохранил свое значение и в период данных наблюдений, следовательно, объект находился в неактивном состоянии.

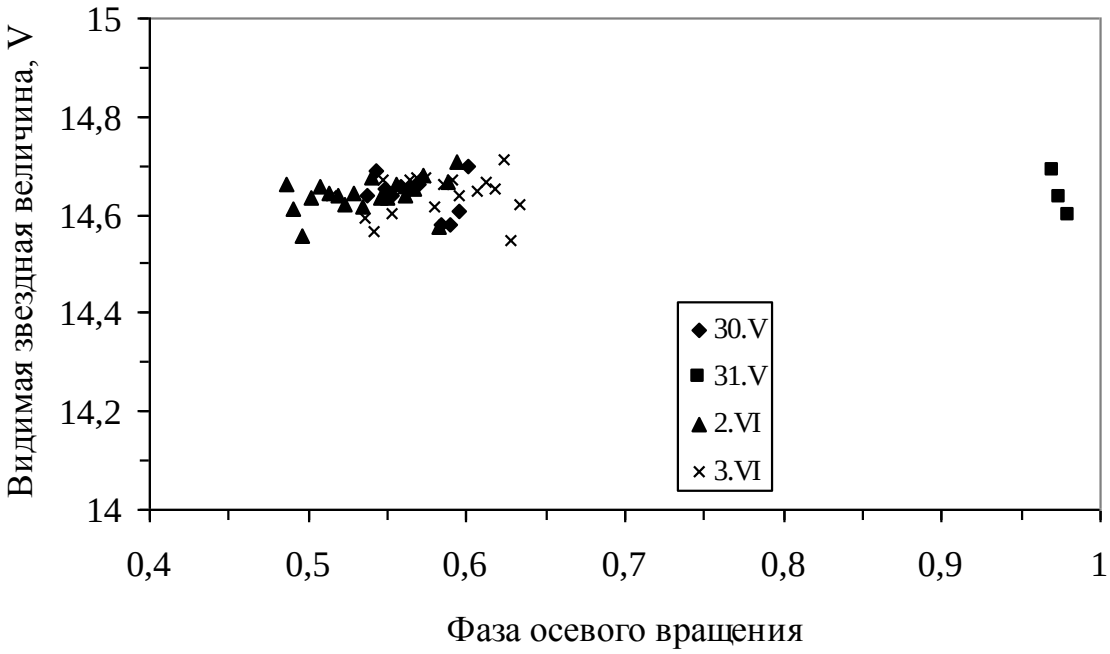

Рис. 1. Зависимость блеска в полосе V астероида (596) Шейла от фазы осевого вращения (фазы вычислены относительно первоначального момента эпохи JD2457700.0).

В §2.1.2 приведены результаты многоцветных оптических наблюдений астероида (596) Шейла в обсерватории Санглох в 2017 г., выполненных в целях поиска признаков новой активности у этого объекта (рис.2). Здесь даны обстоятельства мониторинга, детали методик астрометрической и фотометрической обработки изображений. Для полновесности исследования,

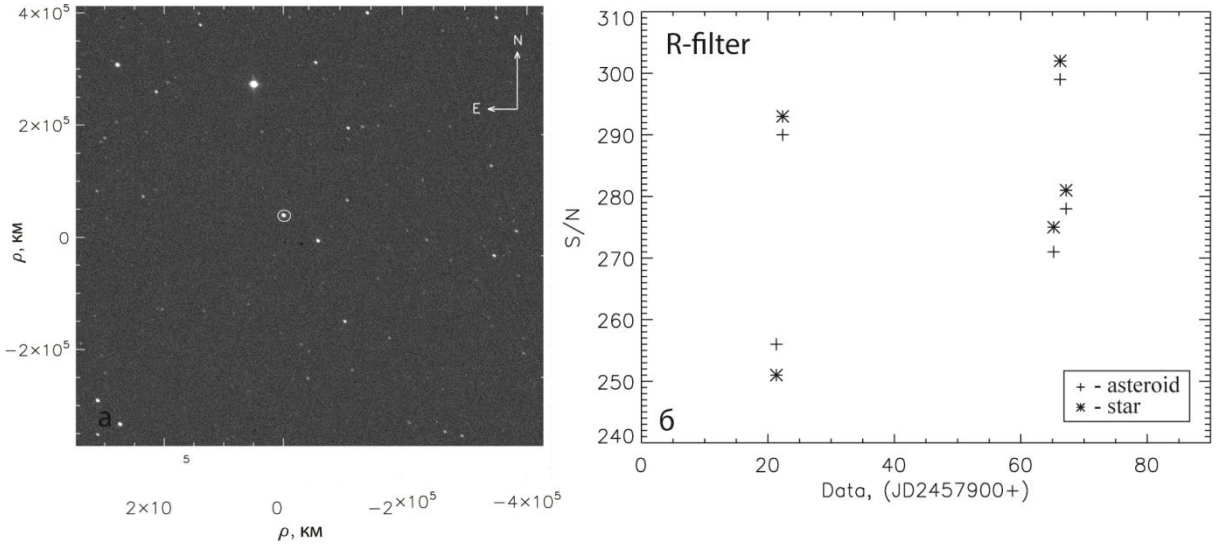

Рис.2. Изображение астероида (596) Шейла в фильтре R, полученное в обсерватории Санглох 16 июня 2017 г (а) и отношение S/N для астероида и звезды стандарта для всего периода наблюдений (для изображений, полученных в фильтре R) (б).

изучены динамические свойства астероида (596) Шейла в период наблюдений и результаты представлены в §2.1.3. Измерены экваториальные координаты, оценена точность астрометрии (табл.1) и вычислена орбита, показано, что динамические свойства астероида сохраняют стабильность и соответствуют каталожным данным.

Таблица 1. Средние разности (O-C) и их стандартные отклонения для астероида (596) Шейла

Дата	$(O-C)_\alpha$	σ_α	$(O-C)_\delta$	σ_δ
30.07. 2017	-0.038"	0.026"	-0.016"	0.043"
31.07. 2017	-0.027	0.062	-0.003	0.048
01.08. 2017	-0.038	0.018	-0.043	0.021

В §2.1.4 приведены результаты определения видимых и абсолютных звездных величин, показателей цвета, оценки диаметра и периода вращения астероида (596) Шейла (табл.2). Показано соответствие измеренного блеска эфемеридному значению, выявлено отсутствие значительных изменений блеска в период мониторинга, оценки диаметра и периода вращения согласуются с результатами измерений по другим наблюдениям, показатели цвета соответствуют средним величинам для астероидов P- и D-типов (табл.3).

Таблица 2. Геометрический аспект, видимый и абсолютный блеск в фильтрах *VR*, и диаметр астероида (596) Шейла по наблюдениям в МАОС в 2017 г. и другим данным

Дата, UT	*r,а.е.*	*Δ,а.е.*	*ph, град.*	m_V, *зв.вел.*	m_R, *зв.вел.*	H_V, *зв.вел.*	H_R, *зв.вел.*	*D, км*
Июнь 16.85	2.452	1.473	8.2	12.24±0.03	11.95±0.03	9.1±0.03	8.8±0.03	118.5±1.6
Июнь 17.73	2.453	1.478	8.6	12.19±0.03	11.91±0.03	9.0±0.03	8.8±0.03	118.5±1.6
Июль 30.69	2.470	1.849	21.7	13.22±0.03	12.93±0.03	9.1±0.03	8.8±0.03	118.5±1.6
Июль 31.71	2.471	1.861	21.8	13.27±0.03	12.96±0.03	9.1±0.03	8.8±0.03	118.5±1.6
Август 1.65	2.471	1.872	22.0	13.24±0.03	12.95±0.03	9.0±0.03	8.7±0.03	124.1±1.7
Январь-август 2010	-	-	-	-	-	-	-	159.7±1.1 (Masiero et al. 2012)
Февраль 15.64, 2010	3.93	3.14	16.8	-	11.00	-	8.7	118±6 (Bauer et al. 2012)

Декабрь 27.90, 2010	3.085	2.338	13.7	-	13.98	-	8.85	113±2 (Jewitt 2012)
Январь 04.90, 2011	3.073	2.254	11.9	-	13.86	-	8.86	113±2 (Jewitt 2012)
Май 06.80, 2011	2.877	2.753	20.4	-	14.63	-	9.36	102±3 (Neslushan et al. 2016)
Май 08.80, 2011	2.873	2.776	20.4	-	14.43	-	9.40	102±3 (Neslushan et al. 2016)
Май 22.80, 2011	2.850	2.932	20.0	-	14.31	-	9.19	102±3 (Neslushan et al. 2016)
Декабрь 14.28, 2010	-	-	-		-	-	-	118±6 (Bodewits et al.2011)

Таблица 3. Средние показатели цвета астероида (596) Шейла

Дата, UT	B-V	V-R	R-I
Июнь 16.85, 2017	0.71±0.05	0.29±0.03	0.32±0.03
Июнь17.73, 2017	0.73±0.05	0.28±0.03	0.31±0.03
Июль 30.69, 2017	0.72±0.05	0.29±0.03	0.32±0.03
Июль 31.71, 2017	0.71±0.05	0.31±0.03	0.31±0.03
Август 01.65,2017	0.71±0.05	0.29±0.03	0.32±0.03
Декабрь 27.90, 2010 (Jewitt 2012)	0.71±0.03	0.38±0.03	-
Январь 04.90, 2011 (Jewitt 2012)	0.71±0.03	0.38±0.03	-
Декабрь 15.49, 2010 (Neslushan et al. 2016)	0.52±0.004	0.49±0.006	0.38±0.009
Солнце (Holmberg et al. 2006).	0.64±0.02	0.35±0.01	0.33±0.01

В §2.1.5. приведен анализ вспышечной активности астероида (596) Шейла, основанный на наших измерениях и определении динамических и физических свойств, и на других опубликованных данных. Сделано заключение, что вспышечная активность астероида в 2010 г. является эпизодической, причиной явилось столкновение с малым телом, не приведшее к катастрофическим изменениям поверхности астероида. Вероятнее всего, астероид практически сохранился, а последствия удара выразились в кратерообразовании на поверхности и выбросе огромного облака пыли, проявившегося в виде кометной активности. В действительности объект 596 является истинным астероидом.

В §2.2 приведены результаты наблюдений вспышечной активности астероида, сближающегося с Землей, (3552) Дон Кихот. Здесь принято во внимание, что ранее активность астероида была зарегистрирована в инфракрасном и в марте 2018 г. – впервые и в оптическом диапазоне (Mommert et al. 2014, 2018a,b). Эти наблюдательные факты и наши наблюдения подтверждают эпизодический характер активности астероида. Рассмотрены имеющиеся сведения по астероиду, предположения о причинах его вспышечной активности и возможные механизмы, ответственные за наблюдаемую в инфракрасном и оптическом диапазоне активность, приведена гипотеза о кометном происхождении объекта, ныне находящегося в угасшей стадии и факты, подтверждающие ее. Даны обстоятельства многоцветных оптических наблюдений астероида в обсерватории Санглох в 2018 г. (рис.3), детали методик астрометрической и фотометрической обработки изображений.

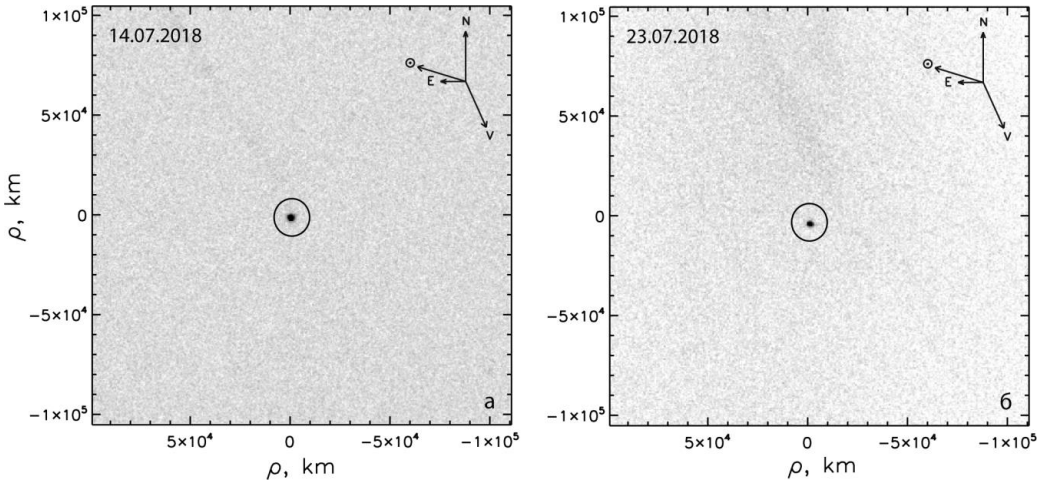

Рис.3. Изображения астероида Дон Кихот, полученные в обсерватории Санглох 14.07.2018 г. (а) и 23.07.2018 г. (б).

Результаты определения динамических свойств астероида приведены в §2.2.1. Найдены экваториальные координаты, достаточная точность определения координат позволила вычислить орбиту (табл.4). Показано, что, несмотря на зарегистрированную вспышку, орбита астероида является стабильной.

Таблица 4. Элементы орбиты астероида Дон Кихот (J2000.0) по данным различных наблюдений

Элементы орбиты	МАОС [данная работа]	MPO 525959	Σ
N положений	208	1250	-
T	JD 2457942.61	JD 2458246.22	-
Эпоха	2458324.5	2459000.5	-
e	0.708894	0.708941	-0.000047
a, a.e.	4.260625	4.260619	0.000006
q, a.e.	1.240019	1.240093	-0.000074

i, град.	31.084498	31.084421	-0.000077
ω, град.	316.49798	316.4979	-0.00008
Ω, град.	349.96486	349.96481	0.00005
n, град./сут.	0.112245	0.112271	-0.000026
σ	0".442	0".446	-

В §2.2.2 приведены результаты исследования физических свойств, измерен видимый и найден абсолютный блеск, построены кривые блеска и показано, что 14 июля 2018 г. нами зарегистрирована вспышка астероида, которая практически завершилась к 24 июля. Этот факт подтвердили фазовая кривая блеска астероида и оценка диаметра по измерениям 14 июля. Размер астероида – эффективный диаметр по измерениям других ночей хорошо согласуется с каталожными данными (табл.5). Показатель цвета (V-R), найденный 14 июля, соответствует средней величине активных комет семейства Юпитера, тогда как в остальные ночи этот показатель соответствует величине показателя цвета угасших ядер короткопериодических комет. Это связано с тем, что 14 июля объект находился в состоянии кометной активности, обусловленной значительным выбросом пыли с его поверхности.

Таблица 5. Абсолютный блеск и диаметр астероида (3552) Дон Кихот

Июль, 2018 UT	r, а.е.	Δ, а.е.	ph, град.	m_R, зв.вел.	H_R, зв.вел.	D, км	D, км
14.92	1.506	1.478	39.8	14.63±0.10	11.50±0.10	38^{+2}_{-1}	19.0[1] 18.4[2]
23.86	1.569	1.465	38.9	16.19±0.17	13.02±0.18	19^{+2}_{-3}	
24.86	1.577	1.463	38.8	16.32±0.18	13.10±0.18	18^{+2}_{-3}	

[1] http://www.ssd.jpl.nasa.gov
[2] Mommert et al. (2014)

В §2.2.3 рассмотрена морфология изображений астероида. Анализ суммарных изображений, полученных 14 июля, подтвердил наличие у астероида слабой пылевой комы (рис.4). Заключение о вероятной природе астероида (3552) Дон Кихот сделано в §2.2.4. С учетом кометоподобной орбиты, низкого значения альбедо, новых фотометрических данных, выявивших характер вспышечной активности и показавших соответствие величин показателей цвета, полученных по нашим наблюдениям, значениям для ядер угасших короткопериодических комет, а также зарегистрированной реактивации объекта в июле 2018 г., можно предположить, что астероид в действительности является ядром угасшей кометы. Кроме того, выброс пыли и, как следствие, вспышка блеска, зарегистрированная 14 июля, вкупе с быстрым падением блеска свидетельствуют о столкновении объекта 3552 с другим небольшим объектом или бомбардировке его поверхности мелкими метеороидами.

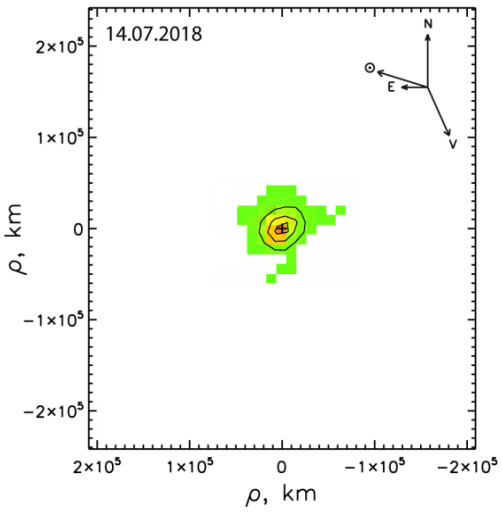

Рис. 4. Слабая кома астероида (3552) Дон Кихот по наблюдениям в обсерватории Санглох 14 июля 2018 г.

Глава 2 завершается выводами исследования в данном разделе.

Третья глава посвящена исследованию двойственного объекта 2008GO98 (362P) на основе его оптических наблюдений. В §3.1 приведены имеющиеся сведения о малоизученном объекте с двойным статусом, данные о его динамических свойствах и вспышечной активности, обстоятельства, вследствие которых он классифицируется как двойственный объект. Даны обстоятельства квазисинхронных наблюдений объекта в обсерваториях Санглох и Лесники (Украина), проведенных с целью уточнения его природы в 2017 г., нюансы астрометрической и фотометрической обработки изображений. Результаты наблюдений двойственного объекта 2008 GO98 (362P) приведены в последующих параграфах. В §3.2 исследуются динамический свойства, с высокой астрометрической точностью определены экваториальные координаты (рис.5), на основе которых вычислена орбита и показано, что в период мониторинга, когда нами была зарегистрирована вспышка объекта, его движение оставалось стабильным. Результаты определения физических свойств объекта 2008 GO98 (362P) приведены в §3.3. По нашим измерениям найден видимый и абсолютный блеск в полосе R, построена кривая блеска, а также оценен верхний предел диаметра (табл.6). Новые фотометрические данные указывают, что в период мониторинга в июле 2017 г. объект находился в состоянии повышенной кометной активности, спад которой наблюдался в сентябре 2017 г. Наряду с этим, данные по объекту, полученные из архивных кадров в октябре 2002 г. (Garsia-Migani, Gil-Hutton 2018), и по его наблюдениям в октябре 2018 г., когда его абсолютный блеск равнялся эфемеридной величине (https://www.minorplanetcenter.net 2017) подтверждают, что объект периодически находится в неактивной стадии. Оценка размера по нашим измерениям соответствует имеющимся данным.

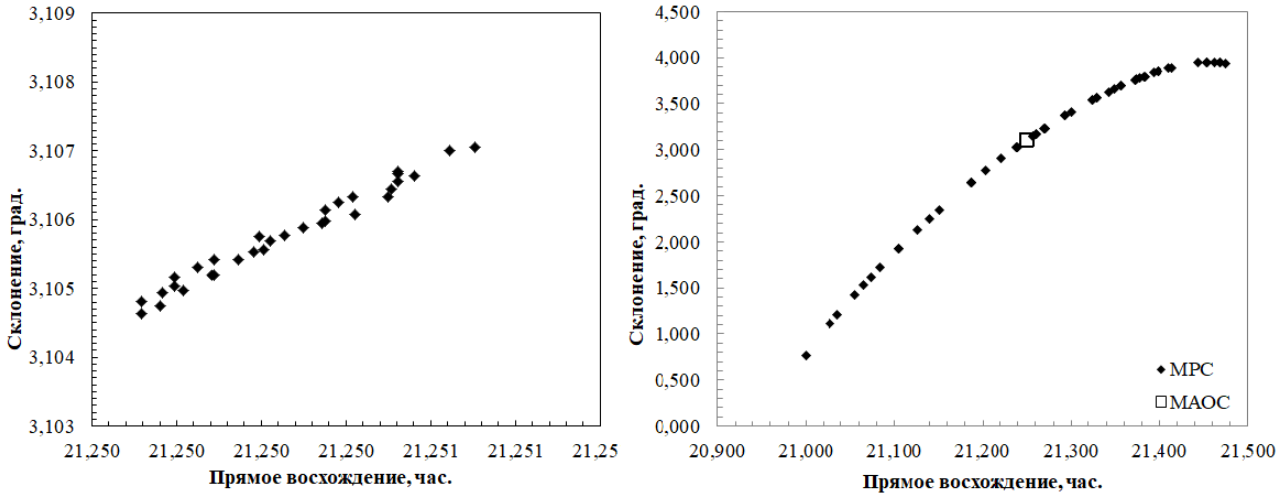

Рис.5. Видимая траектория астероида 2008 GO98 по наблюдениям 30.07.2017 г. на Санглохе (слева) и по данным различных наблюдений в 2017 г., имеющимся в MPC (справа).

Таблица 6. Абсолютные звездные величины и диаметр астероида 2008 GO98

Дата 2017, UT	*r*, а.е.	Δ, а.е.	α, град.	$m_R(1,1,0)$, зв.вел.	D, км
Июль, 30.86	3.34	2.38	7.0	13.97±0.16	7.0±2.0
Сентябрь, 14.81	3.45	2.61	10.7	14.53±0.04	6.4±1.0

Таблица 7. Измеренные величины параметра *Afc*

Дата 2017, UT	*r*, а.е.	Δ, а.е.	α, град.	$m_R(1,1,0)$, зв.вел.	*Afc*,см
Июль, 30.86	3.34	2.38	7.0	13.97±0.16	81±16
Сентябрь, 14.81	3.45	2.61	10.7	14.53±0.04	51±11

В §3.4 оценен уровень кометной активности объекта. Измерен параметр пыле производительности (табл.7) и показано, что его величина постепенно снижается к концу мониторинга, что также указывает на ослабление кометной активности объекта 2008 GO98 (362P). В §3.5 проанализированы суммарные изображения объекта и выявлено наличие значительной пылевой комы вокруг ядра, зарегистрированной 18 и 30 июля (рис.6). По изображениям, полученным 14 сентября, обнаружена намного более разреженная ослабленная пылевая кома. Это также подтверждает спад кометной активности объекта к концу наблюдений. В § 3.6. приведен анализ с целью установления природы двойственного объекта 2008 GO98 (362P). Показано, что вероятнее всего объект является ядром угасшей кометы, причинами наблюденной реактивации ядра могут быть ударный эффект или

сублимационная активность, связанная с недавним прохождением перигелия (Бусарев и др. 2019).

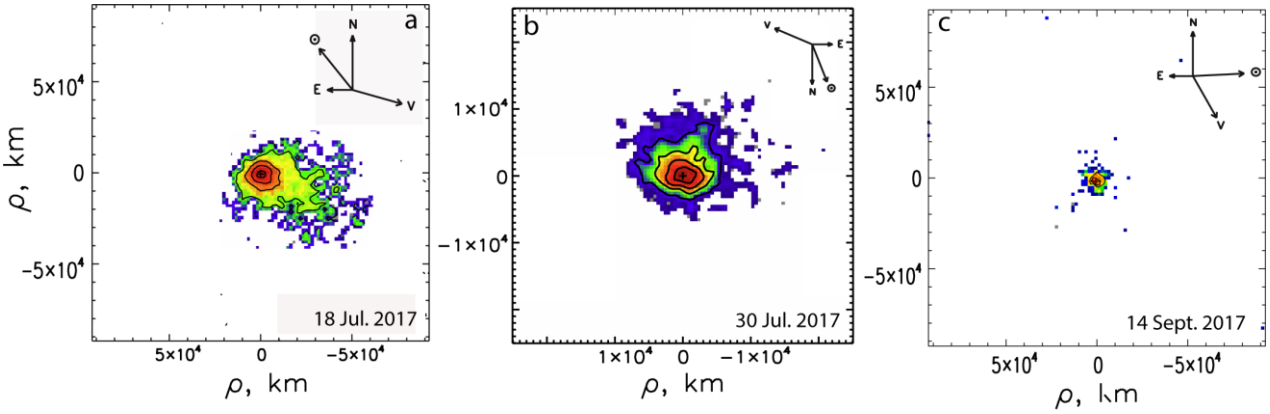

Рис 6. Суммарные изображения 2008 GO98 в фильтре *R*, полученные 18 июля (a), 30 июля (b) и 14 сентября 2017 г. (c). На рисунках указаны направления на север, восток, к Солнцу и отрицательный вектор скорости.

Глава 3 завершается выводами исследования в данном разделе.

В Главе 4 приведены результаты фотометрических наблюдений комет 29P/Швассмана-Вахмана 1 и P/2019 LD2 (ATLAS). В §4.1 приведены имеющиеся сведения о комете 29P, включенную в группу кентавров - объектов, имеющих двойственные свойства. Комета периодически проявляет вспышечную активность на больших гелиоцентрических расстояниях и в данном параграфе обсуждены возможные причины такой активности. Также даны обстоятельства многоцветных наблюдений кометы 29P в обсерватории Санглох в период вспышечной активности в 2017 г. (рис.7).

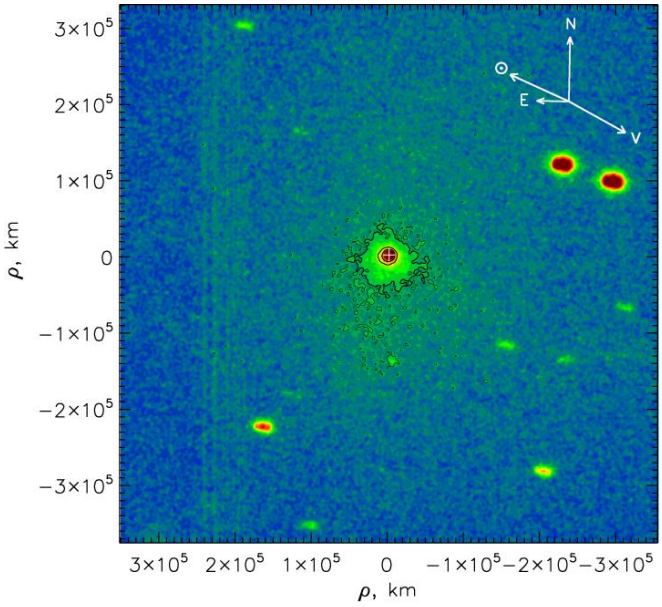

Рис.7. Суммарное изображение кометы 29P в фильтре R, полученных 30 июля 2017 г., телескоп Цейсс-1000 МАОС, экспозиция 1800 сек.

В §4.1.1 приведены результаты исследования физических свойств кометы 29P. Определен видимый и абсолютный блеск в фильтрах BVRI (табл.8), построены кривые блеска и показано, что в период мониторинга у кометы зарегистрирована очередная вспышечная активность, постепенно спадавшая к концу наблюдений. Показатели цвета кометы 29P по нашим измерениям соответствуют средним показателям цвета активных объектов группы кентавров и объектов пояса Койпера (Jewitt 2015, Кохирова и др. 2018, Kokhirova et al. 2020). Выявленный сдвиг максимума излучения в красную часть спектра предполагает преобладающий вклад пылевых частиц в образование комы. Верхний предел эффективного диаметра ядра кометы 29P оценен как 43-46 км при альбедо A=0.13 (Lamy et al. 2004) и 87-91 км при A=0.033 (Cruikshank, Brown 1983, https://cneos.jpl.nasa.gov,2022) наши оценки

Таблица 8. Абсолютные звездные величины $m_a(1,1,0)$ кометы 29P по наблюдениям в МАОС в 2017 г.

Фильтр	28.07.2017	29.07.2017	30.07.2017	31.07.2017	01.08.2017
B	-	-	10.45±0.05	10.45±0.02	10.45±0.02
V	9.54±0.04	9.57±0.05	9.60±0.05	9.65±0.03	9.61±0.04
R	8.95±0.04	9.07±0.04	9.13±0.04	9.18±0.04	9.01±0.02
I	8.19±0.03	8.50±0.04	8.59±0.04	8.73±0.02	8.51±0.04

вполне соответствуют имеющимся данным. В §4.1.2 построены и проанализированы суммарные изображения кометы 29P. В результате в кометной коме выявлены две пылевые структуры. Морфология комы кометы 29P подтверждает возможность проявления активности у таких объектов на сравнительно больших гелиоцентрических расстояниях. В §4.1.3 даны обстоятельства многоцветных наблюдений кометы 29P в обсерватории Санглох во время вспышки в 2021 г. В §4.1.3.1 приведены результаты определения видимого и абсолютного блеска (табл.9), а также показателей цвета. В период мониторинга абсолютный блеск кометы имел тенденцию к снижению (табл.9), показатель цвета (B-V) соответствует значению для активных объектов группы кентавров, величина (V-R) показывает, что в коме кометы усилен вклад пылевой компоненты. В §4.1.3.2 изучены морфологические особенности кометы в начале октября 2021 г., в структуре комы кометы выявлены короткий хвост в антисолнечном направлении и два мощных джета в северном и южном направлениях (рис.8), хвост и две активные области наблюдались в течение двух ночей. Снижение абсолютного блеска и более разреженная структура комы свидетельствуют о плавном спаде активности после 2 октября 2021 г. С учетом эфемеридной величины общей яркости кометы 8.6^m (CNEOS, https://ssd.jpl.nasa.gov, 2022) наши данные показывают более мощную по интенсивности вспышечную активность в 2021 г. по сравнению с 2017 г. Структура комы и характер

вспышек схож с предыдущими явлениями, что подтверждает реальность механизма, ответственного за кометную активность на далеких гелиоцентрических расстояниях.

Таблица 9. Видимый m и абсолютный $m_a(1,1,0)$ (зв. вел.) блеск кометы 29P по наблюдениям в МАОС в 2021 г.

Дата	m_B	m_V	m_R	$m_B(1,1,0)$	$m_V(1,1,0)$	$m_R(1,1,0)$
1.92 окт.	14.64±0.02	13.78±0.04	13.54±0.07	6.76±0.03	5.90±0.07	5.66±0.04
2.98 окт.	14.78±0.07	13.93±0.07	13.67±0.05	6.91±0.05	6.06±0.07	5.80±0.02

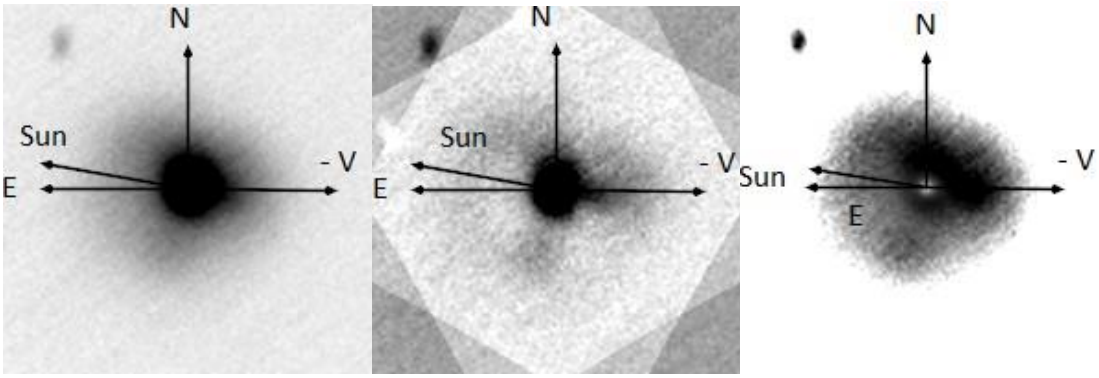

Рис.8. Изображение кометы 29P, полученное 2 октября 2021 года. Кадр (а) показывает прямое изображение 29P в R фильтре, кадры (б) и (в) представляют интенсивность изображения, к которому были применены цифровые фильтры Ларсона-Секанины (Larson, Sekanina 1984) и радиально-взвешенной модели.

В §4.1.4 рассмотрена возможная причина такой активности на больших гелиоцентрических расстояниях (Кохирова и др., 2018) и показано, что с высокой вероятностью вспышки блеска связаны с интенсивным выбросом нейтрального газа CO с поверхности ядра кометы. Газ может высвобождаться в результате кристаллизации аморфного льда на поверхности ядра при соответствующем температурном режиме, который достигается на гелиоцентрических расстояниях порядка 5.828 а.е. Наши наблюдения проведены, когда комета находилась на гелиоцентрических расстояниях свыше 5.8 а.е. (2017 г.) и более 5.9 а.е. (2021 г.). Ранее выброс нейтрального CO был зарегистрирован по наблюдениям кометы 29P в субмиллиметровом диапазоне (Senay, Jewitt 1994). Выброс газа сопровождается пылеобразованием, что приводит к резкому увеличению блеска объекта, т.е. к вспышке.

В §4.2. приведены результаты фотометрических наблюдений кометы P/2019 LD2 (ATLAS). Сравнительно недавно открытая новая комета стала целью особого научного интереса, т.к. из-за динамических особенностей была отнесена к группе объектов, находящихся на стадии перехода от кентавров в кометы семейства Юпитера. Для исследования такой кометы

крайне необходимы как можно больше наблюдательных данных и с этой целью выполнен мониторинг кометы в обсерватории Санглох в августе 2020 г. (рис.9, слева). Здесь также даны обстоятельства наблюдений, детали фотометрической обработки изображений. Результаты определения физических свойств кометы P/2019 LD2 (ATLAS) приведены в §4.2.1. Измерены видимый и абсолютный блеск кометы, показано, что в период мониторинга блеск не подвергался значительным изменениям. Абсолютный блеск кометы по нашим измерениям составил 11.41 ± 0.03^m, его сопоставление с эфемеридной величиной 12.1^m указывает на повышенную кометную активность объекта в этот период. Построены изофоты кометы,

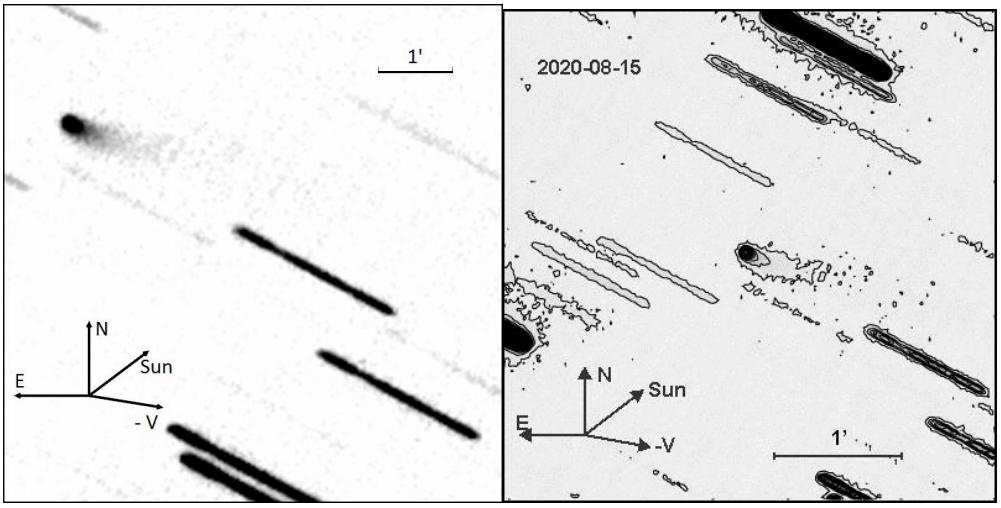

Рис.9. Суммарное изображение кометы P/2019 LD2 в фильтре R, 15 августа 2020 г., телескоп Цейсс-1000 МАОС (слева), изображение хвоста кометы (15.08.2020), где изофоты использовались для улучшения видимости хвоста (справа).

демонстрирующие наличие комы вокруг ядра и типичного кометного хвоста (рис.9, справа), показано распределение яркости вдоль хвоста. Оценка верхнего предела диаметра кометного ядра на момент минимальной активности за период наблюдений (определенного по величине параметра пылепроизводительности) составила 14.8 км, что согласуется с размером, приведенным в различных базах данных. В §4.2.2. даны результаты определения параметра пылепроизводительности кометы P/2019 LD2 (ATLAS). Его величины находятся в интервале 230-272 см и свидетельствуют о повышенной активности кометы. Найдено распределение параметра пылепроизодительности в зависимости от радиуса апертуры по нашим наблюдениям. В §4.2.3 исследуется структура пылевого хвоста кометы P/2019 LD2 (ATLAS), а именно распределение пылевых частиц по размерам и по времени выброса с поверхности ядра. Для этого построены диаграммы Финсона-Пробстейна для внутреннего сектора хвоста (рис.10) и всей видимой части хвоста. Показано, что во внутренних областях пылевого

хвоста доминируют крупные частицы пыли размером свыше 100 мкм. В §4.2.4 сделано предположение о происхождении кометы P/2019 LD2 (ATLAS).

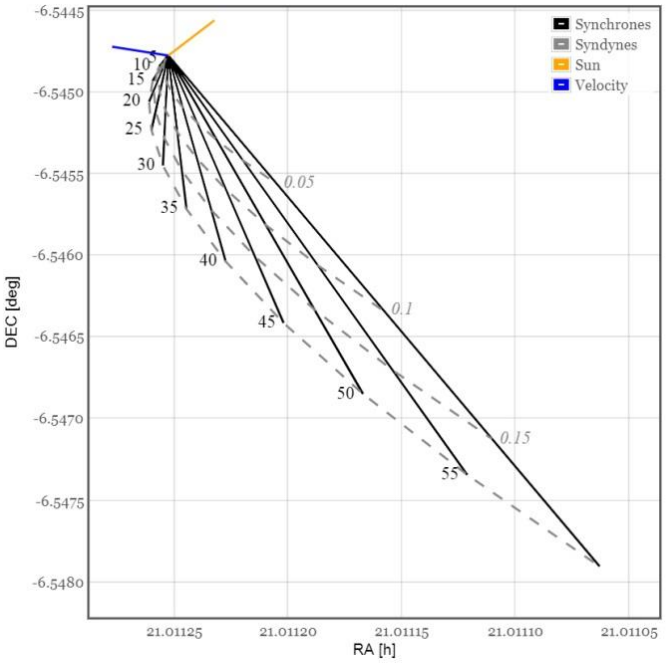

Рис.10. Диаграмма Финсон-Пробстейна для кометы P/2019 LD2 (ATLAS) (внутренняя кома), 15 августа 2020 г. Синдинамы (пунктирные линии) показывают распределение значения параметра β для частиц кометной пыли (β=0.05; 0.1; 0.15), который обратно пропорционален их размеру; синхроны (сплошные линии) показывают геометрическое место пылинок различного размера, которые высвободились из ядра определенное количество времени назад (d=5-60 дней) от времени наблюдения. Направление к Солнцу и вектор скорости также указаны на диаграмме.

Глава 4 завершается выводами исследования в данном разделе.

В **Заключении** кратко сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертации, и некоторые рекомендации для дальнейших исследований по теме диссертации.

Список литературы содержит все опубликованные источники, используемые в работе.

В **Приложении** приведен список сокращений, использованных в диссертации.

Основные результаты диссертации опубликованных в следующих работах.

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК

1. Кохирова Г.И., Иванова А.В., Рахматуллаева Ф.Дж., Хамроев У.Х., Буриев А.М., Абдуллоев С.Х. Результаты комплексных наблюдений

астероида (596) Scheila в Международной астрономической обсерватории Санглох//Астрономический вестник. – 2018. – Т. 52. – № 6. – С. 511–520. (WoS).
2. Kokhirova G.I., Ivanova O.V., Rakhmatullaeva F.D., Khamroev U.Kh., Buriev A.M., Abdulloev S.Kh. Results of Complex Observations of Asteroid (596) Scheila at the Sanglokh International Astronomical Observatory//Solar System Research. – 2018. – Vol. 52. – № 6. – P. 495–504. (WoS/Scopus).
3. Кохирова Г.И., Иванова А.В., Рахматуллаева Ф.Дж. Вспышечная активность астероида Дон Кихот по наблюдениям в обсерватории Санглох//Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2019. – Т. 62. – № 5–6. – С.292–302. (ВАК).
4. Кохирова Г.И., Иванова А.В., Рахматуллаева Ф.Дж., Буриев А.М., Хамроев У.Х. Определение координат и орбиты астероида Дон Кихот по наблюдениям в обсерватории Санглох//Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2020. – Т. 63. – № 1–2. – С. 55-61. (ВАК).
5. Кохирова Г.И., Иванова А.В., Рахматуллаева Ф.Дж., Баранский А., Буриев А.М. Результаты наблюдений двойственного объекта 2008GO98 (362P) в 2017//Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2020. – Т. 63. – № 5–6. – С. 328–341. (ВАК).
6. Кохирова Г.И., Рахматуллаева Ф.Дж., Борисенко С.А. Результаты наблюдений кометы P/2019 LD2 в обсерватории Санглох//Доклады Национальной академии наук Таджикистана. – 2021. – Т.64. – № 5–6. – С. 291–301. (ВАК).
7. Кохирова Г.И., Иванова А.В., Рахматуллаева Ф.Дж. Подтверждение кометной природы астероида Дон Кихот по наблюдениям в обсерватории Санглох//Астрономический вестник. – 2021. – Т.55. – №1. – С.74–83. (WoS).
8. Кохирова Г.И., Рахматуллаева Ф.Дж., Борисенко С.А. Результаты фотометрических наблюдений кометы P/2019 LD2 в обсерватории Санглох//Астрономический вестник. – 2021. – Т.55. – №5. – С.408–415. (WoS).
9. Kokhirova G.I., Ivanova A.V., Rakhmatullaeva F.D., Buriev A.M., Khamroev U.Kh. Astrometric and Photometric Observations of comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 at the Sanglokh International Astronomical Observatory//Planetary and Space Science. – 2020. – Vol.181. –104794 (6p.). (WoS/Scopus).
10. Kokhirova G.I., Ivanova A.V., Rakhmatullaeva F.D., Baransky A.V., Buriev A.M. Results of dual-status objects 2008 GO98 in 2017//Advances in space research. – 2021. – Vol.67. – P. 639-647. (WoS/Scopus).
11. Kokhirova G. I., Rakhmatullaeva F. D., and Borisenko S. A. Results of Photometric Observations of Comet P/2019 LD2 at the Sanglokh Observatory//Solar System Research. – 2021. – Vol.55. – № 5. – P. 408–415. (WoS/Scopus).

12. Borysenko S.A., Kokhirova G.I., Rakhmatullaeva F.D. Some physical properties of a new Jupiter-family comet P/2019 LD2 (ATLAS) from broadband observations//Icarus. – 2022. – Vol. 372. – Article id. 114752. (WoS/Scopus).

Другие публикации автора по теме диссертации

13. Киселев Н.Н., Рахматуллаева Ф.Дж., Антонюк А.К., Пить Н. Относительная фотометрия астероида Шейла//Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2014. – Т.57. – №11–12. – С.823-828.
14. Кохирова Г.И., Иванова А.В., Рахматуллаева Ф.Дж., Хамроев У.Х., Абдуллоев С.Х. Результаты наблюдений астероида (596) Scheila в обсерватории Санглох//Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2018. – Т.61. – №3. – С.241–249.
15. Кохирова Г.И., Иванова А.В., Буриев А.М., Хамроев У.Х., Рахматуллаева Ф.Дж. Комплексные наблюдения кометы 29P/Швассмана-Вахмана 1 в обсерватории Санглох//Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2018. – Т.61. – № 9–10. – С.742–751.
16. Kokhirova G.I., Ivanova O.V., Rakhmatullaeva F.D. Results of observations of asteroid Don Quixote at the Sanglokh observatory//INASAN Science Reports. – 2020. – Vol.5. – №4. – P. 196–200.
17. Kokhirova G.I., Ivanova O.V., Rakhmatullaeva F.D., Buriev A.M., Khamroev U.Kh. Results of observations of comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 in Sanglokh observatory//INASAN Science Reports. – 2020. – Vol. 5 – № 3. – P. 146–152.
18. Kokhirova G.I., Ivanova O.V., Rakhmatullaeva F.D. Evidence of the Cometary Nature of Asteroid Don Quixote Provided by Observations at the Sanglokh Observatory// INASAN Science Reports. – 2021. – Vol. 55. – № 1. – P. 61–70.

Цитируемая литература

1. Бусарев В.В., Щербина М.П., Барабанов С.И., Ирсмамбетова Т.Р., Кохирова Г.И., Хамроев У.Х., Хамитов И.М., Бикмаев И.Ф., Гумеров Р.И., Иртуганов Э.Н., Мельников С.С. Подтверждение сублимационной активности примитивных астероидов главного пояса 779 Нины, 704 Интерамнии и 145 Адеоны и ее вероятные спектральные признаки у 51 Немуазы и 65 Цибелы//Астроном. вестник. – 2019. – Т.53. – №4. – С.273–290.
2. Кохирова Г.И., Иванова А.В., Буриев А.М., Хамроев У.Х., Рахматуллаева Ф.Дж. Комплексные наблюдения кометы 29P/Швассмана-Вахмана 1 в обсерватории Санглох//ДАН РТ. – 2018. – Т.61. – № 9–10. – С.742–751.
3. Bauer J.M., Mainzer A.K., Grav T., Walker R.G, Masiero J. R., Blauvelt E. K., McMillan R. S., Fernandez Y. R., Meech K. J., Lisse C. M., and 15 coauthors.

WISE/NEOWISE Observations of Active Bodies in the Main Belt//Astrophysical Journal. – 2012. –Vol.747.– №49B. –(9 p).
4. Bodewits D., Kelley M. S., Landsman W.B., Besse S., Hearn F.A. Collisional Excavation of Asteroid (596) Scheila//Astrophysical Journal. – 2011.– Vol.733. – id. L3. (5 p).
5. CNEOS (Center of Near Earth Object Studies): NEO Earth Close Approaches. Режим доступа: https://www.cneos.jpl.nasa.gov (дата обращения 01.02.2022).
6. Cruikshank D.P., Brown R.H. The nucleus of comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1//Icarus. – 1983. – Vol. 56. – P. 377 – 380.
7. Garsia-Migani E., Gil-Hutton R. The activity and dynamical evolution of quasi-hilda asteroid (457175) 2008 GO98//Planetary and Space Science. – 2018. – Vol. 160. – P. 12-18.
8. Jewitt D. The active asteroids//Astronomical Journal. –2012. – Vol. 143. – P. 66-80.
9. Jewitt D., Chizmadia L., Grimm R., Prialnik D. Water in small bodies of the Solar System//Protostars and Planets V.B. Reipurth, D. Jewitt, and K. Keil (eds.), University of Arizona Press, Tucson. – 2007.– P.863–878.
10. Jewitt D., Hsieh H., Agarwal J. The Active Asteroids//ASTEROIDS IV.–2015. – P.221-241.
11. JPL Small-Body Database – Режим доступа: http://ssd.jpl.nasa.gov/ssdb.cgi (дата обращения: 10.08.2018).
12. Kokhirova G.I., Ivanova A.V., Rakhmatullaeva F.Dzh., Buriev A.M., Khamroev U.Kh. Astrometric and Photometric Observations of comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 at the Sanglokh International Astronomical Observatory//Planetary and Space Science. – 2020. – Vol. 181. – Id:104794 (6 p.).
13. Lamy P. L., Toth I., Fernandez Y. R., Weaver H. A. The Sizes, Shapes, Albedos, and Colors of Cometary Nuclei//Comets II/Eds. M. C. Festou, H. U. Keller, H. A. Weaver. Tucson: Univ. Arizona Press. – 2004. – P. 223–264.
14. Larson S.M., Sekanina Z. Coma morphology and dust-emission pattern of periodic Comet Halley. I - High-resolution images taken at Mount Wilson in 1910//Astronomical Journal. – 1984. – Vol. 89. – P. 571–578.
15. Masiero J.R., Mainzer A. K., Grav T., Bauer J. M., Cutri R.M., Nugent C., Cabrera M.S. Preliminary Analysis of WISE/NEOWISE 3-Band Cryogenic and Post-cryogenic Observations of Main Belt Asteroids//Astrophysical Journal Letters. – 2012. – Vol. 759. – id. L8. P. 5.
16. Mommert M., Hora J.L., Harris A.W., Reach W.T., Emery J.P., Thomas C.A., Mueller M., Cruikshank D.P., Trilling D.E., Delbo M. Smith H.A. The Discovery of Cometary Activity in Near-Earth Asteroid (3552) Don Quixote//Astrophysical Journal. – 2014.– Vol.781.– Article id. 25. (10 p).

17. Mommert M., Trilling D., Knight M.M. and et. Systematic characterization and monitoring of potentially active asteroid: The case of Don Quixote//American Astronomical Society. - 2018a.- DPS. meeting #50. id.505.05.
18. MPC [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.minorplanetcenter.net/(дата обращения: 10.12.2017 г.).
19. Neslushan L., Ivanova O., Husarik M., Svoren J., Krisandova Z.S. Dust productivity and impact collision of the asteroid 596 (Scheila)//Planetary and Space Science. - 2016.– Vol.125. – P.37-42.
20. Senay M., C., Jewitt D. Coma formation driven by carbon monoxide release from comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1//Nature. – 1994. – P.371–229.

Благодарности

В заключении автор выражает глубокую признательность научному руководителю члену-корреспонденту НАНТ, д.ф.-м.н. Кохировой Г.И за всестороннюю поддержку и внимание к работе. Автор выражает благодарность сотрудникам КрАО РАН, Астрономического института АН Словакии, ГАО НАН Украины и других учреждений – соавторов публикаций и совместных презентаций.