НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ИНСТИТУТ АСТРОФИЗИКИ

УДК 523.682 – 523.683

На правах рукописи

НУРЗОДА Хабибджон Файзали

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ И АССОЦИАЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности: 01.03.00 – Астрономия (01.03.01 – Астрометрия и небесная механика)

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук

Нарзиев Мирхусен

Душанбе-2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

СС – Солнечная система

IMO – Международная метеорная организация

ГисАО – Гиссарская астрономическая обсерватория

НАНТ – Национальная академия наук Таджикистана

IAU MDC (ЦМД МАС) – Центр метеорных данных Международного астрономического союза

РЛС – Радиолокационные станции

АВХ – Амплитудно-временные характеристики

ZHR – зенитное часовое число

OS – орбитальная система

CMOR – Канадский радар метеорных орбит

SAAMER – Southern Argentina Agile Meteor Radar (Поворотный метеорный радар Южной Аргентины)

HPLA – мощные радары с большой апертурой

MU – средняя и верхняя атмосфера

ПАОРО – подсистема автоматического определения координат радиантов и элементов орбит

ХПИ – Харьковский политехнический институт

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Метеорные потоки – это захватывающее явление, наблюдаемое в земной атмосфере. Оно возникает, когда Земля пересекает орбиту роя метеороидов. Как правило, наша планета движется через такой рой в течение нескольких дней или недель. Длительность наблюдения метеорного потока позволяет оценить толщину роя, что указывает на расстояние, которое Земля преодолевает внутри него.

Метеороидные потоки и ассоциации являются малоизученной частью метеорного вещества. Считается, что они являются остатками материала, из которого 4.5 миллиарда лет назад образовались планеты Солнечной системы (СС). Исследование физических, кинематических и динамических характеристик потоков и ассоциаций метеороидов имеет значение не только для метеорной астрономии, но и представляет интерес для решения вопросов космонавтики и космогонии тел СС, обеспечения безопасности космических миссий и предотвращения космических угроз на Земле. Данные о физических и кинематических свойствах метеороидных потоков и ассоциаций дают информацию о первоначальном состоянии материи, которая породила кометы или астероиды. Сегодня уже без сомнений можно утверждать, что в метеорных потоках присутствуют крупные тела и группы метеоритообразующих метеороидов [1-8]. Следовательно, метеорные потоки и ассоциации представляют собой возможные источники больших объектов, падение которых на Землю способно привести к катастрофическим последствиям. Одна из возможных причин катастрофического исчезновения крупнейших живых организмов (например, исчезновения динозавров миллионы лет назад), а также нанотехнологии, которые в последнее время часто упоминаются в СМИ, возможно, связаны с космическими катастрофами, вызванными столкновением ядер комет и астероидов с планетой Земля. Возможно, самыми яркими примерами последней эпохи являются падения Тунгусского и Челябинского метеоритов. Следовательно,

исследование метеороидов в потоках и ассоциациях представляются неотложной проблемой и в прикладных и фундаментальных исследованиях.

Ранее физико-кинематические свойства метеороидов, относящихся к основным ежегодным метеорным потокам, были исследованы на основе данных оптических наблюдений. Однако из-за статистической недостаточности данных оптических наблюдений, которые частично связаны с нестабильностью погодных условий и временем года, физико-кинематические характеристики метеороидов в малых потоках и ассоциациях (особенно дневных) изучены недостаточно. Единственным способом, который позволяет исследовать метеорные потоки и ассоциации, время действия которых приходится на дневное время суток, является радиолокационный метод.

На основе данных радиолокационных наблюдений кинематические свойства метеороидов в потоках и ассоциациях были ранее исследованы в работах Кащеева и др. [9], Лебединеца и др. [10], Волощука и Горелова [11] и других авторов. Однако для редукции данных наблюдений авторами был использован импульсно-дифракционный метод. Согласно Кащееву и др. [9], импульсно-дифракционный метод измерения радиантов и скоростей метеоров применим для редукции 15-25% зарегистрированных метеоров. Исключение большого количества метеоров из редукции приводит к искажению реальной картины распределения радиантов метеоров на небесной сфере. Пеленгационно-временной радиометод измерения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров был разработан в Институте астрофизики Чеботаревым [12], который превосходит импульсно-дифракционный метод как по чувствительности (в 3 раза), так и по точности измерений (в 1.7 раза). В диссертации для редукции данных радиолокационных наблюдений метеоров, полученных в ГисАО, использован пеленгационно-временной радиометод [13-15].

Степень изученности научной проблемы, теоретическая и методологическая основы исследований. Изучение метеорных потоков и

ассоциаций является актуальной проблемой современной метеорной астрономии, поскольку метеорное вещество формирует околоземную космическую среду и оказывает влияние на безопасность космических аппаратов. В настоящее время накоплен значительный объём данных о характеристиках метеорных потоков, их орбитальных параметрах и динамических особенностях, отражённых в отечественных и международных каталогах. Однако до настоящего времени остаются нерешёнными задачи точной идентификации потоков, выявления новых ассоциаций и систематизации больших массивов радиолокационных данных, особенно для дневных метеоров и слабых потоков.

Исследование физических, кинематических и динамических характеристик потоков и ассоциаций метеороидов имеет важное значение для метеорной астрономии, космогонии тел Солнечной системы и обеспечения безопасности космических миссий. Данные о физических и кинематических свойствах метеороидов позволяют судить о первоначальном состоянии вещества, породившего кометы и астероиды. Установлено, что в метеорных потоках присутствуют крупные тела и группы метеоритообразующих метеороидов [1–8], что указывает на их возможную связь с потенциально опасными объектами, о чём свидетельствуют Тунгусское (1908 г.) и Челябинское (2013 г.) события.

Физико-кинематические характеристики метеороидов основных ежегодных потоков ранее изучались преимущественно по данным оптических наблюдений. Однако ограниченность этих данных вследствие погодных и сезонных факторов не позволяет полноценно исследовать слабые и дневные потоки. В таких случаях радиолокационный метод является наиболее эффективным и независимым от условий освещённости средством наблюдений.

Радиолокационные исследования метеоров проводились в работах Кащеева и др. [9], Лебединеца и др. [10], Волощука и Горелова [11] и др. При редукции данных использовался импульсно-дифракционный метод,

пригодный лишь для 15–25% зарегистрированных метеоров [9], что приводило к искажению распределения радиантов. Для повышения точности измерений Чеботаревым [12] в Институте астрофизики был разработан пеленгационно-временной радиометод, превосходящий импульсно-дифракционный по чувствительности (в 3 раза) и точности (в 1,7 раза). В настоящем исследовании этот метод применён для редукции радиолокационных данных, полученных в Гисарской астрономической обсерватории [13–15].

Теоретическая основа работы базируется на законах небесной механики, теории движения малых тел Солнечной системы, методах статистического анализа и критериях динамического сходства орбит — D-критериях Саутворт–Хокинса и Йопека. Методологическая основа включает обработку и анализ радиолокационных наблюдений метеоров 1969–1970 гг., использование усовершенствованных методов кластерного анализа для выявления потоков и ассоциаций, определение физических параметров метеороидов (массы, плотности) и создание каталога метеорных потоков и ассоциаций с возможностью интеграции в международные базы данных. Применение такого подхода обеспечивает достоверность, высокую научную значимость и практическую ценность полученных результатов.

Связь исследования с программами (проектами), научной тематикой. Тема диссертационного исследования соответствует Приоритетным направлениям научных и (или) научно-фундаментальных исследований, утверждённых в “Стратегии Республики Таджикистан в сферах науки, технологий и инноваций на период до 2030 года” (Решение Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 г., № 263), и реализована в рамках проекта МНТЦ «Т-2113» и государственных проектов. Исследование направлено на реализацию Плана мероприятий на 2020-2025 годы по реализации объявления 2020-2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере

образования и науки», утверждённого Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июля 2020 года, № 427.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цели диссертационной работы:

• выявление новых метеорных потоков и ассоциаций по результатам радиолокационных наблюдений в ГисАО и изучение их кинематических свойств;

• исследование физических свойств метеороидов в потоках и ассоциациях.

Задачи исследования:

• использовать пеленгационно-временной радиометод для измерений радиантов, скоростей и орбит индивидуальных метеоров;

• идентифицировать метеорные потоки и ассоциации по результатам радиолокационных наблюдений в ГисАО;

• изучить физико-кинематические характеристики метеорных потоков и ассоциаций;

• создать каталог физико-кинематических характеристик потоков и ассоциаций метеороидов за декабрь, январь и февраль месяцы.

Объектом исследования в настоящей работе является выявление метеорных потоков и ассоциаций за декабрь, январь и февраль месяцы.

Предметом исследования является идентифицированные метеорных потоков и ассоциаций и изучение их физико-кинематических свойств.

Теоретические основы исследования. Теоретические основы диссертации составляют совокупность концепций, теорий и закономерностей небесной механики малых тел Солнечной системы, обеспечивающих методологическую базу работы. Исследование опирается на классические представления о движении метеороидов и их принадлежности к метеорным потокам и ассоциациям, а также на критерии динамического сходства орбит Саутворта–Хокинса и Йопека. В качестве основного метода использованы

радиолокационные наблюдения — пеленгационно-временной радиометод, позволяющий выявлять слабые и дневные потоки, недоступные оптическим методом наблюдения. На основе анализа радиолокационных данных и применения методов кластеризации автором проведена идентификация 276 групп метеороидов, включая новые ассоциации и потоки, что подтверждает теоретическую и методологическую состоятельность исследования.

Научная новизна исследования:

- На основании данных радиолокационных наблюдений метеоров, проведённых в ГисАО с четырёх пунктов в декабре 1969 года, январе и феврале 1970 года (в отличие от большинства других станций, где наблюдения велись с трёх пунктов), были измерены радианты, скорости и орбитальные элементы метеоров.
- На основе измерений радиантов, скоростей и орбит 6544 радиометеоров идентифицированы 276 групп, включая метеорные потоки и ассоциации.
- Анализ показал, что среди 276 групп выделено: 86 метеорных потоков, включённых в базу данных ЦМД МАС; 85 ассоциации, изложенные в опубликованных работах; 105 новые группы (ассоциаций), которые не были отождествлены другими источниками.
- Обнаружены 85 подтверждённые ассоциации, предложенные для дальнейшего подтверждения их статуса как новых метеорных потоков.
- Впервые выявлены 105 новые группы метеороидов, продолжается дальнейшее исследование для подтверждения их статуса
- Определены массы и плотности метеороидов для всех 276 групп, включая метеорные потоки и ассоциации.
- Впервые создан новый каталог физико-кинематических характеристик групп метеороидов, включающий метеорные потоки и ассоциации, на основе радиолокационных наблюдений, выполненных в зимний сезон.

Теоретическая и научно-практическая значимость исследования:

• Создан новый «Каталог физико-кинематических характеристик метеороидов потоков и ассоциаций по результатам радиолокационных наблюдений в ГисАО», который представляет ценную научно-прикладную значимость.

• Данные о распределении метеоров, включая метеорные потоки и ассоциации, в экваториальных, эклиптических и гелиоцентрических координатах, а также по скоростям и элементам орбит в небесной сфере, являются ценнейшим наблюдательным материалом. Эти данные представляют интерес не только в области метеорной астрономии, космонавтики и космогонии Солнечной системы, но также необходимы для решения задач обеспечения безопасности космических полётов, прогнозирования столкновений опасных космических объектов с Землёй и изучения процессов формирования Солнечной системы.

• Информация о массах и плотностях метеороидов в потоках и ассоциациях важна для исследования их структуры, определения параметров распределения метеорных тел по массам, оценки плотности падающего потока метеороидов на Землю и других аспектов, связанных с метеорной активностью.

Положения, выносимые на защиту:

• результаты анализа радиантов, скоростей и элементов орбит 6544 радиометеоров, измеренных пеленгационно-временным методом в ГисАО;

• итоги выявления групп скоплений метеороидов с использованием графического метода на основе двухмерного распределения экваториальных координат радиантов и скоростей;

• идентификация 276 групп метеороидов с применением D-критериев близости орбит Саутворта-Хокинса и Йопека;

• анализ 276 групп метеороидов, включая 86 установленных потоков, 85 подтверждённые ассоциации и 105 новый групп метеороидов;

• результаты вычислений линейной электронной плотности, радиовеличин, массы и плотности метеороидов потоков и ассоциаций;

• составление каталога физико-кинематических характеристик 276 групп метеороидов (потоков и ассоциаций) за декабрь, январь и февраль на основе радиолокационных наблюдений в ГисАО;

• результаты анализа каталога физико-кинематических характеристик 276 групп метеороидов (потоков и ассоциаций) за зимние месяцы.

Степень достоверности результатов.

Выводы и результаты, представленные в диссертации, заслуживают доверия, так как они основаны на современных, проверенных и объективных методах исследований, разработанных ведущими отечественными и зарубежными астрономическими учреждениями. В работе использованы методы импульсно-дифракционного и пеленгационно-временного измерения радиантов, скоростей и орбит метеоров, а также подходы для определения физических характеристик метеороидов с учётом совокупности факторов, влияющих на формирование кривой их свечения и ионизации. Применены критерии близости орбит Саутворта-Хокинса и Йопека для оценки степени схожести орбит. Анализ основан на наблюдательном материале, собранном в Институте астрофизики НАНТ, а также данных по метеорным потокам из признанных международных баз данных ЦМД МАС.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Тема диссертационного исследования соответствует Паспорту номенклатуры специальностей ВАК при Президенте Республики Таджикистан по специальности *01.03.00 – Астрономия* (*01.03.01 – Астрометрия и небесной механика)*, в частности следующим пунктам:

п.2. Разработка методов определения положения в пространстве и движения небесных тел. Сюда относятся все методы, основанные на наземных и внеатмосферных астрономических наблюдениях, в том числе с применением радиолокации и лазерной локации. Определение массы, формы и гравитационных полей небесных тел на основе анализа наземных наблюдений и данных, полученных с помощью космических аппаратов.

п.4. Исследование динамической эволюции систем небесных тел на различных масштабах времени.

п.7. Интерпретация результатов изучения движения небесных тел с целью построения геометрической, кинематической и физической картины мира.

Личный вклад автора. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный личный вклад автора. В частности:

- автор принимал участие в выполнении расчётных работ, подготовке первичных данных, и внесении их в компьютерные программы;
- вычисления радиантов, скоростей, орбит и физических параметров метеоров;
- идентификация метеорных потоков и ассоциаций графическим методом (по радиантам и скоростям) и по методу D-критериев близости орбит;
- составление Каталога физико-кинематических характеристик групп метеороидов в потоках и ассоциациях за декабрь, январь и февраль месяцы;
- в совместных публикациях, вычислениях, анализе и интерпретации результатов автору принадлежит равный с соавторами вклад.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов. Основные результаты диссертации докладывались на семинаре «Малые тела СС» Института астрофизики НАНТ, а также на более 15 международных научных конференциях: Международной научной конференции «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий» (Душанбе, Таджикистан, 19-20 мая 2016 г.); Международной научной конференции «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий» (Душанбе, Таджикистан, 11-12 мая 2017 г.); Международной научной конференции «CAMMAC-2017» (Vinnitsa (Ukraine), September 26-28, 2017); Международной научной конференции 3rd COSPAR Symposium (ICC)

JEJU (South Korea, 18th - 22nd September, 2017); Международной научной конференции «Околоземная астрономия 2017» (п. Агой, Краснодарский край, Россия, 2-6 октября 2017 г.); Международной научной конференции «Современные проблемы физики» (Душанбе, Таджикистан, 29-30 июня 2018 г.); Международной научной конференции «EPSC-2018» (Berlin (Germany), 16-21 September, 2018); Международной научной конференции «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий» (Душанбе, Таджикистан, 2018 г.); Международной научной конференции «Электроэнергетика: Проблемы и перспективы развития энергетики региона» (Душанбе, Таджикистан, 21 декабря 2018 г.); Международной научной конференции «Околоземная астрономия 2019» (Казань, Россия, 2-6 октября 2019 г.); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы астрофизики», посвящённой 90-летию академика НАНТ П. Б. Бабаджанова (Душанбе, Институт астрофизики НАНТ, 15 ноября 2020 г.); Международной научно-практической конференции «Современные проблнмы малых тел солнечной системы, текущее состояние и перспективы» (Душанбе, Таджикистан, 27-28 октября 2022 г.); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы астрофизики», посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)» и 80-летию чл.-корр. НАНТ, д.ф.-м.н., профессора Ибадинова Х.И. (Душанбе, ТНУ, 17 апреля 2024 г.); Международной научно-практической конференции «Загадки происхождения комет и их связь с планетами», посвящённой 80-летию чл.-корр. НАНТ, д.ф.-м.н. Ибадинова Х.И. и «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)» (Душанбе, Таджикистан, Институт астрофизики НАНТ, 26-27 апреля 2024 г.); 45th Scientific Assembly COSPAR 2024 (Пусан, Южная Корея, 13-21 июля 2024 г.); The fifteenth Moscow solar system symposium (15MS^3) (Москва, Россия, 21-25 октября 2024 г.); II Международной конференции по фундаментальным и прикладным

исследованиям в области физики (Fundamental and Applied Research in Physics), (Национальном университете Узбекистан, г. Ташкент, 16–17 мая 2025 г.); I Республиканской научно-практической конференции «Роль молодых ученых в развитии науки, инноваций, цифровой экономики и национального государственного управления», НАНТ, Душанбе, 26 мая 2025 года; XXIX всероссийская открытая научная конференция «Распространение радиоволн» (РРВ’2025), Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), Казань, Россия, 30.06 – 04.07.2025 г.

Опубликованные результаты диссертации. По результатам исследований опубликовано 16 статей и тезисов докладов. Из общего числа статей 2 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science и Scopus, и 6 статей в рецензируемых журналах ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из 156 напечатанных страниц. Она включает введение, три главы, выводы, список литературы и приложение с каталогом физико-кинематических характеристик метеороидов потоков и ассоциаций, содержащим 276 наименований. Работа иллюстрирована 38 рисунками и 5 таблицами. Список литературы включает 198 библиографических источников.

ГЛАВА 1. МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ МЕТЕОРОИДОВ В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

1.1. Методы регистрации метеоров

Метеорные тела, которые вызывают метеорные явления в Земной атмосфере, почти невозможно наблюдать напрямую, даже с помощью самых мощных телескопов. Данные о них получают преимущественно путем анализа кратковременных световых вспышек и процессов ионизации (метеоров), возникающих при их прохождении через земную атмосферу [16]. Наиболее точные сведения о происхождении таких тел, связанных с кометами и астероидами, предоставляют метеориты – фрагменты метеорных тел, достигшие поверхности нашей планеты [16].

При изучении метеоров с древних времен в зависимости от уровня развития науки и техники возникли разные способы и методы наблюдения, каждый из которых превосходит передыдущий. Известны следующие установленные методы наблюдения: визуальный, фотографический, видео-, телевизионный и радиолокационный [17]. Метеоры также регистрируются с помощью датчиков, установленных на геофизических ракетах и космических зондах [18].

1.1.1. Визуальный метод регистрации метеоров

Визуальный метод - один из старейших и наиболее распространённых методов изучения метеоров с древнейших времен. Сначала наблюдения велись визуально и невооруженным глазом, где на звездном небе фиксировались яркие метеоры величиной до $+4^m$. На основе визуальных наблюдений можно решать такие задачи. На первых порах основной задачей являлось определение световой функции и распределения метеоров по звёздной величине, изучение суточных и сезонных изменений числа метеоров, оценка пространственной плотности метеоров, попадание метеоритов в Земную атмосферу и т. д. Ещё одной актуальной задачей является поиск и теоретическое обоснование связи между радиантами метеорных потоков и кометными радиантами, а также обнаружение

радиантов слабых метеорных потоков и открытие новых радиантов. Одно из важных достижений визуальных наблюдений 19 века - это составление основного каталога метеорных радиантов 19 века [19].

Однако у визуальных наблюдений много недостатков, которые, с одной стороны, требуют больших усилий при организации наблюдений, а с другой стороны, дают недостаточно точную информацию. Внезапное появление метеоров и трудности в регистрации относились к главным недостаткам визуальных наблюдений. Тем не менее первые научные информации о метеорах были получены из анализа данных визуальных наблюдений. Значительная часть визуальных наблюдений в настоящее время внесена в базу данных Международной метеорного организации (IMO) [20]. Однако визуальные наблюдения не дают полноценной информации о физико-кинематических свойствах метеоров.

1.1.2. Фотографический метод регистрации метеоров

Метод фотографических наблюдений метеоров начали внедрять в XIX веке, после изобретения фотоприборов. Преимущество данного метода по сравнению с визуальным наблюдением состоит в том, что он позволяет с высокой точностью определять параметры атмосферной траектории, такие как скорость, координаты радианта, орбитальные характеристики, высоты появления, максимума и завершения следа, а также его яркость. Подобные наблюдения предоставляют исчерпывающую информацию о каждом отдельном метеоре.

Метеорные явления происходят крайне быстро, что делает невозможным предсказание времени и места их появления до момента возникновения. Фотографирование метеоров существенно отличается от съемки других астрономических объектов и требует использования камер с широким углом обзора, а также увеличения времени экспозиции для получения качественных снимков.

Фотографирование метеоров осуществляется с помощью камер, обладающих широким полем зрения (не менее 30–40 градусов), при этом

несколько камер объединяются в единую систему для охвата значительной части небесной сферы (рисунок 1.1) [21].

Для определения скорости метеоров перед объективом одной из камер помещается специальный обтюратор. Обтюратор представляет собой диск, закрывающий щели электродвигателя (лучше синхронного) с определенной скоростью и периодически вращающийся (десятки раз в секунду).

Рисунок 1.1. – Метеорный патруль. 1988. Институт астрофизики НАНТ, Душанбе. На фото: О. Н. Евграфов [21]

Фотографические наблюдения метеоров позволяют с высокой точностью определять атмосферный путь, высоты, скорости, орбиты метеороидов и их яркости, включая данные метеороидов в метеорных потоках. Таким образом, результаты наблюдений позволяют оценить массу метеоров и получить данные о плотности атмосферы на высотах 80-100 км. Фотографический метод может зарегистрировать яркие метеоры [19] и с применением спектрографа позволяет получить сведения о химическом составе метеороида. Применение фотографического метода наблюдений позволяло зарегистрировать метеоры до +2 звездной [19-22].

1.1.3. Телевизионные и видео методы регистрации метеоров

Фотографического метода недостаточно для регистрации слабых метеоров, поэтому возникла необходимость использовать телевизионную аппаратуру. Телевизионный метод отличается от регистрации события фотографическим тем, что он чувствительнее и способен зарегистрировать более слабые метеоры. Результаты одновременных симультанных фото-телевизионных наблюдений одного и того же метеора проводимых в ГисАО сотрудникам Института астрофизики НАНТ [23] показало, что последний метод в десятки и более раз чувствительнее чем фотографический метод. Телевизионный метод позволяет в реальном масштабе времени осуществлять автоматическую редукцию данных наблюдений.

Точность определения координат метеорного следа телевизионного метода на несколько ступеней выше визуального и фотографического. В целом количество метеоров, зарегистрированных телевизионным методом, в десятки раз больше, чем количество метеоров, зарегистрированных фотографическим методом. Телевизионный метод наблюдений позволяет получать полноценные даннын о кривых блеска, спектрах, положениях, времени полета, скорости и яркости метеороида.

В последние годы наиболее удобным и перспективным методом наблюдений оказалось видеорегистрирование метеоров. Простата и удобная конструкция видеокомплексов позволили реализовать большое количество пунктов наблюдения метеоров во многих странах мира. В последние годы во всем мире значительно возросло количество видеозаписей метеоров, а также увеличилось число их энтузиастов среди специалистов различных областей. В частности, в странах Европы, Японии, Канаде, Северной Америке, Китае, Южной Корее, Австралии и других регионах были созданы многочисленные сети для наблюдения за метеорами [24-30]. Очевидно, что наименьшее количество видеоустройств приходится на страны Средней Азии. В настоящее время только Таджикистан располагает двумя комплексами видеооборудования.

1.1.4. Радиолокационный метод регистрации метеоров

Одним из относительно новых методов исследования метеоров, дающим крайне необходимые и важные для науки результаты, является радиолокационный метод регистрации метеоров. В настоящее время радиолокационный метод является единственным, дающим информацию о метеорной обстановке в дневное время суток и в частности о метеороидах, связанных с дневными метеорными потоками и ассоциациями. Этот метод применим независимо от погодных условий, сезона года, дня или ночи и т.д. Ведь все оптические методы проводятся только ночью, когда небо ясно и не запылено.

Метод радиолокационного наблюдения основан на регистрации радиоволн от ионизированного участка поверхности метеороида (головное эхо**)** или ионизированного следа метеора. Если известно время распространения радиоволн и получения сигнала от метеора обратно, мы можем рассчитать расстояние до метеора. Радиолокационный метод, подобно оптическим методам, позволяет определять характеристики метеоров, проводить базисные наблюдения с трех и более точек, а также вычислять радианты и орбиты метеороидов. Радиолокационные станции, работающие на длинах волн 4–17 метров, активно применяются для мониторинга метеорной активности и исследования свойств метеороидов в широком диапазоне звёздных величин [20]. Благодаря высокой чувствительности таких станций, они способны регистрировать метеоры со звёздной величиной до $+15^{m}$.

В 1945 году Дж. Хей и Г. Стюарт [31, 32] в Англии были первыми, которые наблюдали метеоры с помощью радиолокационной аппаратуры. В 1946 году началось военное исследование метеоров с помощью радара под руководством П. Блэкетта и Э. В. Эпплтона [32]. Рядом с Манчестером, в Джодрелл-Бэнк, была построена крупная экспериментальная станция радиообсерватории Манчестерского университета, которую возглавлял

Ловелл [17]. Здесь наблюдение метеоров проводилось круглосуточно, независимо от погодных условий.

В 1946 году П. О. Чечик, Б. Ю. Левин, Н. И. Кабанов и И. С. Астапович впервые в СССР [32] провели радиолокационные наблюдения метеороидов. В 1948 году в СССР А. Г. Калашников разработал новый метод регистрации метеоров, основанный на изучении магнитного эффекта при вхождении метеоров в атмосферу Земли [33].

В связи с ускоренным освоением околоземного и космического пространства несколько позже в СССР был создан ряд центров для исследования метеорного вещества. Такие комплексы радиолокационной аппаратуры введены в действие в Харькове, Обнинске, Казани и Таджикистане, где в астрономических обсерваториях проводились такие наблюдения. В частности, такие наблюдения проводились в Гиссарской астрономической обсерватории (ГисАО) Института астрофизики НАНТ. Данный комплекс радиоаппаратуры использовалсяь для организации и проведения нескольких годовых циклов базисных радиолокационных наблюдений метеоров по различным международным и национальным программам.

Результаты базисных радиолокационных наблюдений метеоров были собраны, обобщены и представлены в виде множества научных статей, а также частично опубликованы в форме каталогов [9, 34-39].

Ныне радиолокационные наблюдения ведутся в ряде Европейских стран, Англии, Канаде (П. Миллман и Д. Мак-Кинли) [40, 41], США (У. Лиллер) и Индии (С. Чоманлал, К. Венкатораман) [32]. В 1956 году был внедрен метод радиолокации с использованием радиоволн длиной 8-10 м [40] для обнаружения электромагнитных волн, оставленных следом ионизации после того, как метеор входит в Земную атмосферу. Запись дифракционной картины с трех и более пунктов индивидуального метеора содержит информацию о том, откуда он исходит и позволяет определить его скорость. В настоящее время с помощью радиолокационного метода обнаружены

метеороиды от $+8^m$ до $+15^m$ звездной величины, а их масса находится в пределах от 10^{-3} до 10^{-9} граммов [42]. Следовательно, представляет интерес исследование метеоров ярче $+ 5^m$.

Однако физико-кинематические свойства метеороидов ярче +5 звездной астрономии оказались менее изученными. Для изучения кинематических (радиантов, скоростей и орбит) и физических свойств метеороидов, а также исследования параметров атмосферы в метеорной зоне, в радиолокационной лаборатории метеорного отдела Института астрофизики были сконструированы и введены в действие для наблюдения метеоров три комплекса метеорных радиолокационных станций МИР-1, МИР-2 и МИР-3 [43-45]. Так как большинство радиокомплексов, созданных в большинстве стран мира, были приспособлены для исследования метеоров слабее $+5.5^m$ звездной величины, в Таджикистане комплекс радиолокационной станции МИР-2 [43] был приспособлен для исследования метеоров ярче +5 звездной величины. Ниже приводятся методы измерения радиантов и скоростей метеоров в ряде научных центров разных стран мира.

Метод Хея и Стюарта – первое определение радиантов метеоров радиолокационным методом принадлежит Хею и Стюарту [31]. Они начали наблюдения за метеорами с трех разных станций, работающих на частоте 73 МГц. При этом антенны были размещены таким образом, что направленные радиоволны пересекали друг друга на высоте около 100 км. Радиоизображение от следа метеора оказалось возможным только в том случае, если ионизационный след метеора расположен под прямым углом относительно каждой точки наблюдения. Отражение происходит, когда метеорный ионизационный след находится под прямым углом к излучающей антенне.

Этим методом определено положение радианта и его координаты, который составляли α_R=345° и δ_R=-10°. Полученные координаты радианта хорошо соответствуют метеорному радианту потока δ-Аквариды. Как известно, этот метеорный поток активен и в настоящее время. Точность

такого измерения зависит от длины волны и расположения антенны. Хей и Стюарт подсчитали и выяснили, что ошибка измерения радианта статистическим методом достигает 10^0 [31].

Мак-Кинли [41] и ***Милман*** [40] разработали метод, с помощью которого можно определить радианты отдельных метеорных потоков. При этом они использовали положение неподвижности в антенном устройстве. Этот метод основан на возможности определения высоты радиантов над горизонтом по наблюдениям за дальностью радиоотражения (эха) за некоторые интервалы времени. Если почти все метеоры образуют тонкую ионизационную пелену на высоте 100 км, а метеор пролетает в атмосфере под углом φ (высота радианта над горизонтом), то малый наклон дальности наблюдения эха составит $R=100/\cos\varphi$. Величина R использовалась для определения искомого часа, в момент прохождения радианта над горизонтом, по графику распределения эхо-наблюдений по их удаленности. Высота радианта φ из приведенной выше формулы используется для любого интервала часов наблюдения метеорного потока. Этот метод был использован для наблюдения потока Геминид 12-13 декабря 1947 года. В Оттаве (Канада) была зафиксирована максимальная высота радианта 76^0, которая длилась 2 часа 8 минут, для чего координаты радианта были определены $\alpha_R=112°$, $\delta_R=31°$. Таким образом, с помощью этого статистического метода зарегистрировали метеорный поток Геминид.

Этот метод можно использовать только в случае, если количество эхо-сигналов достаточно для надежного измерения дальности R. Поэтому его следует использовать для высокочувствительного прибора (длина волны по эксперименту Мак-Кинли и Мильмана 9.2 м) и применять метод только для активных метеорных потоков с большими часовыми численностями. При использовании достаточной длины радиоволн, порядка 9-10 м [40] и большой мощности радиокомплекса можно исследовать более слабые метеоры, так как длина ионизированного следа метеора зависит не только от окружающей зеркальной точки, но и от условия зеркального радиоотражения. Мак-Кинли

и Мильман [40] воспользовались условиями зеркального радиоотражения и обеспечили одновременную регистрацию метеорных следов на трех станциях, которые расположены на расстояниях от 36 до 57 км. Если метеор движется с постоянной скоростью ϑ, то время записи перед координатой «дальность-время» радиоизображения принимает вид гиперболы и определяется следующим уравнением:

$$R^2 = R_0^2 + \vartheta^2(t - t_0)^2, \quad (1.1)$$

здесь R - расстояние для времени t, а R_0 - минимальное расстояние при времени t_0 (здесь R_0 перпендикулярно точке радиоотражения на следе метеора).

Метод Клегга широко использовалсяь для измерения радиант метеорных потоков [46]. Этот метод основан на изучении вариации дальности радиоволн, при движении радиант потока из поля зрения быстро движущейся антенны, которая расположена под небольшим углом к востоку или западу.

При этом чувствительность радиолокационных станций (РЛС) для описания направления по углу φ и азимуту А пропорциональна величине К (φ, А) [46]:

$$K(\varphi, A) = \frac{G(\varphi,A)}{R^{2/3}}, \quad (1.2)$$

здесь $G(\varphi, A)$ - коэффициент направленного действия антенны.

Однако все статистические методы применимы для измерения координаты радианта метеорных потоков со значительными часовыми численностями. Вместе с тем, статистические методы не применимы для измерения координаты радианта, скоростей, орбит и изучения физических свойств индивидуальных метеороидов.

1.2. Радиолокационный метод измерения радиант и скоростей индивидуальных метеоров

1.2.1. Импульсно-дифракционный метод

Измерения радиант и скоростей отдельных метеоров радиолокационным методом проводятся уже несколько десятилетий разными методами [9, 17, 47-57]. Причем одним из часто используемых методов измерения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров оказался импульсно-дифракционный, который был предложен Гиллом и Дэвисом [58]. Этот метод впервые был использован в Джодрелл-Бэнк в декабре 1953 года. Для этой цели была сконструирована радиоаппаратура, состоящая из одного передатчика и трёх приёмников, предназначенных для регистрации дифракционной картины. С мая 1954 года для систематического измерения радиантов и скоростей спорадических метеоров и изучения активности летних дневных метеорных потоков был внедрен импульсно-дифракционный метод, результаты которого были опубликованы в работе [59]. Причем точность импульсно-дифракционного метода измерения скорости оценивалась от 3 до 5% (для метеоров со скоростью 35 км/с составляет ±2 км/с), а точность измерения радиантов метеоров составляла от ±3° до ±5%. Такой точности измерения радиант и скоростей метеоров было достаточно для обследования спорадической активности, но для детальных исследований структуры потоков требуется большая точность. Поправки влияния ветра на время пролёта между вынесенным и центральном пунктом для определения азимута радианта можно получить из измерений ветра вдоль линий от наблюдательных станций до точек зеркального отражения на следе метеора. Погрешность геоцентрической скорости из-за торможения в атмосфере можно получить, измеряя скорость в нескольких точках по следу, что потребовало бы внедрение ряда дополнительных приёмных станций вдоль каждой базовой линии. Это позволило бы определить скорость метеора до входа в атмосферу путём экстраполяции.

Авторы в [59] использовали систему с тремя приемниками, расположенными на расстоянии 4 км друг от друга на поверхности Земли. Эта система позволяла определять орбиты отдельных метеоров, и за 24-часовой период наблюдения можно было рассчитать около 200 орбит [59]. По результатам наблюдений метеорного потока Геминид в 1954 году была получена погрешность измерения скорости (ограничена примерно ±2 км/с из-за атмосферного торможения) и ±3° по положению радианта [59].

Вслед за Джодрелл-Бэнке измерение радиантов и скоростей метеоров импульсно-дифракционным методом широко внедрено в таких известных радиообсерваториях мира как Гарварде, Оттаве, Харькове, Обнинске и т.д. Однако импульсно-дифракционный метод имеет два главных недостатка: а) он применим лишь для редукции от 15 до 25% зарегистрированных метеоров [9] и б) при увеличении зенитного угла радианта до 60-70 градусов погрешность измерения возрастает в два-три раза, а при дальнейшем увеличении зенитного угла резко возрастает, что использование этого материала ставится под сомнение. Следовательно, в Институте астрофизики НАНТ Р. П. Чеботарев разработал методику измерения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров пеленгационно-временным радиометодом [12], которая устраняет недостатки, свойственные импульсно-дифракционному методу.

1.2.2. Метод определения радианта и скорости индивидуальных радиометеоров пеленгационно-временным радиометодом

Как известно, в большинстве случаев для редукции данных базисных радиолокационных наблюдений индивидуальных метеоров в Гарварде, Оттаве, Обнинске, Могадишо, Харькове и т.д. [11, 34, 38, 39, 60-62] был использован импульсно-дифракционный метод. Ранее предполагалось, что все радиометоды представлены с прежней точностью для угловых координат $\pm 2^0 \div 3^0$ и скорости 3÷6%. Несколько позже Р. П. Чеботарев предложил новый пеленгационно-временный радиометод, где и предложена методика учета погрешностей измерения зеркально-отражающей точки и азимута радианта

метеора. Автор проверил этот вопрос на примере общего пеленгационно-временного и частично на тесте импульсно-дифракционного метода. Пеленгационно-временной радиометод имеет высокий потенциал и требует широкого внедрения для редукции наблюдательных данных. Однако пеленгационно-временной радиометод [12] использовался лишь частично только в Институте астрофизики НАН Таджикистана [13]. Исходные выражения для определения азимута, зенитного расстояния радианта, скорости метеоров и соответствующие поправки, позволяющие повысить точность измерения кинематических характеристик метеороидов, приводятся ниже.

Формулы, используемые для измерения азимута, зенитного расстояния радианта и скорости метеоров пеленгационно-временным радиометодом имеют вид [12, 47]:

$$A_r = A_1 + arctg\left(\frac{t_2 b_1}{t_1 b_2} \cdot cosec\ A_{21} \cdot ctg\ A_{12}\right), \quad (1.3)$$

$$Z_r = arctg\left[\frac{-ctgZ}{\cos(A - A_r)}\right], \quad (1.4)$$

$$V_{\text{сд}} = -\frac{b_1 \cos \alpha_{ri} \cdot \sin Z_r}{t_{i\,max}}, \quad (1.5)$$

где A_1 – азимут первого пункта, b_2, b_3, b_i – длина баз второго, третьего и i-го пункта относительно центрального пункта, t_i – разность времени полёта между вынесенным и центральным пунктами, $A_{12} = A_2 - A_1$ – разность азимутов соответствующих пунктов, α_{ri} – углы между азимутом отражающей точки и азимутом соответствующих пунктов.

Эти расчетные формулы для дальномерного варианта пеленгационно-временного метода получены при перпендикулярных и равных базах [12]. Но практическое расположение равных баз вынесенных пунктов затруднено. Пеленг на отражающую точку можно получить любым методом, включая фазовый или дальномерно-фазовый метод [47].

Рассмотрим общий случай пеленгационно-временного метода с неравными базами, расположенными под произвольным углом. Азимут А и

зенитный угол Z отражающей точки в каждой точке получены произвольным методом. След метеора однороден и прямолинеен, а его скорость постоянна, поскольку на участке длиной 2-3 км она изменяется не более чем на 1-2%. Если общее число пунктов превышает три, формулы (1.3) – (1.5) согласно работе [47] могут быть применены к каждой группе из трех пунктов, и независимые результаты вычислений следует усреднить.

Азимут радианта, особенно если количество вынесенных точек превышает две, удобно определять графическим способом, используя круговую номограмму, аналогичную приведенной для определения азимута A и зенитного расстояния Z, отражающей точки, как в [47]. В случае дифракционно-временного метода, когда значение v известно, откладывая $d_1 = v_{t_1}$ и $d_2 = v_{t_2}$, можно сразу определить A_r и Z_r, как описано в [47]. При пеленгационно-временном методе графически определяется только A_r, так как в уравнении $d_i = v_{t_i}$ вместо v подставляется любое положительное число, не равное нулю, с условием, чтобы полученная точка находилась как можно ближе к окружности, где деление номограммы более крупное.

1.2.2.1. Погрешности измерений радиантов и скоростей метеоров пеленгационно-временным методом

Для уменьшения влияния ошибок $\Delta v_{диф}$ и Δt_i на точность измерения конечных результатов (точность измерения A_r, Z_r и V) необходимо определить абсолютные ошибки измерения этих величин: ΔA_r, ΔZ_r и ΔV. Подробное описание методов учета поправки в определение кинематических характеристик можно найти в работе [47].

$$\Delta A_r = \Delta\alpha_{ri} = \frac{t_1\Delta t_2 + t_2\Delta t_1}{t_{b1}t_{b2}\cdot\sin A_{12}\sin^2 Z_r} = \frac{t_{b1}\cdot\cos\alpha_{r1}\cdot\Delta t_2 + t_{b2}\cdot\cos\alpha_{r2}\cdot\Delta t_1}{t_{b1}t_{b2}\cdot\sin A_{12}\sin^2 Z_r}, \quad (1.6)$$

$$\Delta Z_r = \frac{\sec\alpha_{ri}}{b_i\cos Z_r}\left(t_i\Delta V_{диф} + V\Delta t_i + Vt_i tg\alpha_{ri}\Delta A_r\right), \quad (1.7)$$

$$\Delta Z_r = \frac{\cos(A-A_r)\Delta Z + [\sin Z\cdot\cos Z\cdot\sin(A-A_r]\cdot(\Delta A+\Delta A_r)}{\sin^2 Z\cdot\cos^2(A-A_r)+\cos^2 Z}, \quad (1.8)$$

$$\Delta V = V(ctgZ_r\Delta Z_r + tg\alpha_{ri}\Delta A_r + \Delta t_i/t_i), \quad (1.9)$$

При использовании этих формул следует избегать граничных значений, поскольку формула (1.6) неприменима при $Z_r = 0$, (1.7) при $Z_r = 90^\circ$ и $\alpha_{ri} = 90^\circ$;

(1.9) при Z_r=0, α_{ri}=90∘ и t_i= 0. Ошибки во временных сдвигах Δt_1 и Δt_2 должны учитываться с учетом их комбинации, так как они связаны ошибками в определении времени относительно центрального пункта. Данные формулы позволяют определить максимальные возможные ошибки измерения величин A_r, z_r и V при заданных ошибках первичных величин, что, в свою очередь, позволяет оценить точность измерений. Таким образом, из работы [47] следует, что:

1. Пеленгационно-временной метод обеспечивает трёхкратное увеличение числа измерений [48], что делает его более чувствительным, чем дифракционно-временной метод, на ±1.5 звездных величин.

2. Ошибки в измерении скорости практически одинаковы для обоих методов и составляют 3±4%. Совместное измерение скорости обоих методов позволяет снизить ошибки до 2±3% и избежать грубых ошибок [47] (например, проблема гиперболических скоростей).

3. Ошибки в измерении азимута радианта для обоих методов одинаковы и на данный момент составляют 1.5°, но благодаря предложенной методике они могут быть уменьшены до 0.5±0.3° и менее [47].

4. Ошибки в измерении зенитного угла пеленгационно-временным методом составляют 0.9±1.2°, однако их можно уменьшить до 0.1±0,2°, что сопоставимо с точностью фотографических методов для ярких метеоров (0,05°) и в 25-50 раз [47] точнее дифракционно-временного метода.

5. Точные измерения одной из горизонтальных координат позволяют с такой же точностью вычислять обе экваториальные координаты любого метеорного потока, если за несколько часов наблюдается всего 4-5 метеоров этого потока, а также определять площадь радиации потока.

Практический учет этих поправок на временные сдвиги при измерении радиантов и скоростей метеоров предлагается ниже.

1.2.3. Результаты наблюдений и методика измерений радиантов и скоростей метеоров пеленгационно-временным радиометеодом

Вопрос выявления новых метеорных потоков и ассоциаций и исследование их физико-кинематических свойств был и остаётся одним из самых перспективных направлений в метеорной астрономии. Ныне наиболее всестороннюю информацию о физико-кинематических свойствах метеороидов потоков и ассоциаций предоставляют результаты радиолокационных наблюдений, так как данный метод используется в любых погодных условиях, сезонах и временах года. Учитывая преимущество радиолокационного метода, начиная со второй половины 50-х гг. прошлого века, в ряде научно-исследовательских центров были организованы базисные радиолокационные наблюдения. При этом на основании результатов измеренных радиантов, скоростей и орбит метеоров по результатам базисных радиолокационных наблюдений с четырёх приёмных станций в Оттаве, Джодрелл-Бэнке, Обнинске и Харькове [9, 11, 35, 63] выявлены десятки новых потоков и ассоциаций метеороидов. Причем радианты, скорости и орбиты радиометеоров были измерены импульсно-дифракционным методом [59], которые приемлемы лишь для редукции 15-25% зарегистрированных метеоров. Такое ограничение приводит к потере большого количества наблюдательного материала и искажает реальную картину распределения радиантов метеоров в небесную сферу. Следовательно, представляет большой интерес исследование метеорных потоков и ассоциаций с применением нового пеленгационно-временного радиометода измерения радиантов и скоростей метеоров, который разработан Р. П. Чеботаревым в Институте астрофизики НАНТ [12]. Данный метод, как по чувствительности (в три раза), так и по точности измерения в 1.7 раза [47] превосходит импульсно-дифракционный метод. Вместе с тем, физические свойства метеоров потоков и ассоциаций оказались изучены недостаточно, а дневные вообще не изучены.

Ранее опубликованные данные о кинематических свойствах метеороидов до второй половине шестидесятых годов прошлого века в основном охватывали радианты и скорости метеоров, относящихся в основном к северной и отчасти южной части небесной полусферы. Следовательно, Президиум Академии наук СССР запланировал исследование метеорной обстановки на небесном экваторе, где с этой целью была организована Экваториальная метеорная экспедиция в городе Могадишо (Сомали). В качестве исполнительных учреждений были выбраны Институт астрофизики НАНТ и Харьковский Институт радиоэлектроники, где по единой Программе наряду с радиокомплексом в Могадишо одновременно в Харькове и ГисАО были организованы базисные радиолокационные наблюдения метеоров. Результаты измерений радиантов и скоростей метеоров импульсно-дифракционным методом в Магадишо и в Харькове были опубликованы в виде Каталога [64]. Однако (ввиду наличия больших помех в дневное время суток в Могадишо) в обработке были использованы только лишь метеоры, наблюдаемые в ночное время суток. Вместе с тем, результаты предварительного анализа данных радиантов, скоростей метеорных потоков оказались не опубликованными.

Наряду с наблюдательной программой Экспедиции в городе Могадишо в Сомали одновременно в ГисАО в радиолокационной лаборатории под руководством заведующего лабораторией Р. П. Чеботарева с декабря 1968 по декабрь 1970 гг. были организованы круглосуточные, ежемесячные и двухгодичные радиолокационные наблюдения, где результаты наблюдений регистрировались на кинопленке КН-4. Однако ввиду нагруженности наблюдательной программы и трудностей в обработке наблюдательного материала с кинопленки, полученные материалы были лишь частично обработаны. Однако по ряду причин эти материалы не были опубликованы до 2018 г. Благодаря поддержке проекта Т-2113 со стороны МНТЦ, под руководством М. Нарзиева и при участии Х. Ф. Худжаназарова были редуцированы данные наблюдений, выполнены счетные работы, определены

координаты зеркальных точек и азимуты радиантов, скоростей метеоров, и определены 8916 радиометеоров, где на основе полученных данных опубликована первая часть каталога [13, 65]. На основе этого каталога М. Нарзиев и Х. Ф. Худжаназаров идентифицировали метеорные потоки и ассоциации [14, 66], где наряду с кинематическими характеристиками впервые представлены данные физических характеристик метеороидов.

Настоящая работа является продолжением исследования, начатого Нарзиевым в [67] и посвящается исследованию малых потоков и ассоциаций метеороидов за декабрь 1969, январь и февраль месяцы 1970 года. Основные характеристики наблюдательной аппаратуры Мир-2, методика наблюдений, обработка первичных данных для измерения радиантов, скоростей, расчеты элементов орбит и данные атмосферных траекторий метеоров приведены в работах [13, 43].

Для решения поставленной цели (измерений радиантов и скоростей метеоров в зимний период), были использованы наблюдательные материалы, полученные с четырёх пунктов с декабря 1969 по февраль 1970 гг. на комплексе радиолокационной аппаратуры МИР-2 (метеорный импульсный радиолокатор второго поколения). Его устройство, принцип действия и подробные характеристики приведены в работах [43, 44]. В состав МИР-2 входило четыре приёмные станции, три из которых были расположены от центральной на расстояниях: а) 4.05 км (астрономический азимут 314°), б) 3.90 км (азимут 94°) и в) 3.85 км (азимут 202°).

Для измерения радиантов и скоростей метеоров были использованы антенны полуволновых вибраторов, расположенные на высоте $\lambda/3$ над землей, имеющие максимальный коэффициент усиления по мощности ~5.3 под углом места около 45° в направлениях на восток и запад. Предельная звездная величина при измерении радиантов и скоростей метеоров $+5.7^{m} \div +5.0^{m}$, что при скорости 40 км/с соответствует минимальной массе регистрируемых метеорных тел $(0.5 \div 1.0)\ 10^{-3}$ г.

Фоторегистрация данных радиолокационных наблюдений метеоров проводилась на 35 мм кинопленку с экранов 12-лучевого фотоиндикатора [44], а также с экранов 7-лучевого индикатора с ждуще-непрерывной протяжкой пленки [45, 68].

Комплекс МИР-2 позволял измерять следующие параметры сигналов, отраженных от метеорных следов: время появления метеора с точностью ±(0.2÷0.5 с); грубую дальность от центрального пункта до следа с ошибкой ±1.5 км; точные дальности от каждого из 4-х приемных пунктов с ошибкой ±20 м; амплитуду каждого отдельного импульса по 4 каналам. Покадровый многолучевой индикатор позволял одновременно регистрировать такие данные метеора как: наклонная дальность до метеора с ошибкой ±100 м, четыре амплитудно-временных картины на медленной развертке, четыре дальности до выносных пунктов с точностью ±20 м (от центрального и трех выносных пунктов), скорость дрейфа метеорных следов от 0 до 500 м/сек, скорости метеорных тел двумя методами (дифракционным и пеленгационно-временным), угловые координаты отражающих точек с точностью до 1^0.

1.3. Наблюдения и методика обработки результатов измерений

Для исследования метеорных потоков и ассоциаций радиометеоров ярче $+5^m$ мы из данных радионаблюдений с декабря 1969 и по февраль 1970 гг. использовали результаты круглосуточных ежемесячных годичных базисных радиолокационных наблюдений с 4-х пунктов. Наблюдательный материал охватывал следующие периоды: с 7 по 15 и с 19 по 24 декабря 1969. В 1970 г. наблюдения проводились: в январе с 1 по 16 и с 18 по 31; в феврале с 1 по 28 (даты местные). В обработку были включены только те метеоры, которые были зарегистрированы с 4-х пунктов и имели хотя бы один четкий первый максимум в амплитудно-временных характеристиках в каждом из 4-х пунктов и сильно не искажены помехами. Таких метеоров, пригодных к обработке, в декабре 1969 г. оказалось 2317, в январе 1970 г. − 2743, феврале − 1484. Из этого массива пригодными для расчета орбит и вычислений данных атмосферных траекторий оказались пригодными 6544

радиометеоров. Для исследования метеорных потоков и ассоциаций радиометеоров ярче $+5^m$ мы из данных радионаблюдений с декабря 1969 и по февраль 1970 гг. использовали результаты круглосуточных ежемесячных годичных базисных радиолокационных наблюдений с 4-х пунктов.

Наблюдательный материал был получен на комплексе радиоаппаратуры МИР-2 [43], который состоял из передатчика, синхроблока, блока защиты от помех на магнитном барабане, приемника, фазового угломера, многолучевого индикатора с покадровой съемкой и специального индикатора с непрерывной протяжкой фотопленки во время существования отраженного сигнала. В качестве передающих и приёмных антенн использовалась полуволновые диполи, расположенные на высоте 2/5l (l - длина волны РЛС) над земной поверхностью. Контроль за работой фазового угломера осуществлялся с помощью имитатора искусственных метеоров, который также позволял устранять систематические ошибки, обусловленные всем приёмным трактом (приёмник, антенны, кабели и т.п.). К основным параметрам аппаратуры МИР-2 относятся: передатчик РЛС с несущей частотой 37.4 МГц (λ=8 м); мощность в импульсе 80 кВт; частота повторения импульсов - 500 импульсов в секунду; длительность прямоугольного зондирующего импульса – 6.5×10^{-6} сек. Основной и вынесенный приёмники имеют полосу пропускания 600 кГц и пороговую чувствительность 8.10^{-14} Вт. Тракты ретрансляции сигналов с вынесенных пунктов имеют полосу пропускания 2 МГц, время срабатывания помехозащиты – 6.10^{-3} сек. Отраженные сигналы РЛС от метеорных следов регистрировались на двух электронно-лучевых индикаторах: ждуще-непрерывной и покадровой съемки [45].

Индикатор покадровой съемки позволял регистрировать следующие характеристики:

1. Табло с указанием даты и вида антенны наблюдения.

2. Часы с показателем времени появления метеора.

3. Амплитудно-временные характеристики (АВХ) отраженных сигналов с четырёх каналов.

4. Шкалы точной дальности по четырем каналам (расстояние между метками – 1 км).

5. Грубая шкала дальности с метками через 20 км.

6. Фазовые картинки для измерения скорости ветра.

Индикатор ждуще-непрерывной съемки регистрировал:

1. Табло с указанием даты наблюдения.

2. Часы с показателем времени полёта метеора.

3. Амплитудно-временные характеристики для четырёх пунктов.

4. Дальность до метеора.

1.3.1. Обработка наблюдательного материала. Измерение горизонтальных координат зеркально-отражающей точки и высоты метеора

Методика обработки наблюдательного материала для определения горизонтальных координат зеркальной точки, скоростей метеоров (импульсно-дифракционный и по сдвигу), координат радиантов и последовательности расчета орбит метеоров подробно изложены в работе [13]. В частности, этот метод использовался для обработки наблюдательных данных и определения горизонтальных координат (азимута и зенитного расстояния) отражающей точки на следе метеора и высоты центральной точки следа метеора. При этом с негатива кинопленки КН-4 для определения зенитного расстояния и азимута отражающей точки каждого метеора снимались необходимые данные и выполнены следующие счетные работы:

1. № метеора, дата и время полета (часы, минуты и секунды).

2. Грубая дальность до следа для центрального пункта $Д_т$.

3. Дальность для каждого пункта $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$ и $Д_4$.

4. Вычислялась разность значения $d_2 = D_2 - D_1$; $d_3 = D_3 - D_1$; $d_4 = D_4 - D_1$.

5. По круговой номограмме находилось значение SinZ и пересчитывалось в CosZ.

6. Вычислялись точные значения d_i по следующей процедуре:

$d_{2''} = d_2 – 0.02 - \Delta d_2$ контрольного метеора. Где d_2 контрольного метеора прибавлялось с обратного знака.

$D_{3''} = d_3 – 0.02 - \Delta d_3$ контрольный метеор.

$d_{2''} = d_4 – 0.02 - \Delta d_4$ контрольный метеор.

7. По круговом номограмме, описанной в [68] по значениям d_2, d_3, d_4 графическим путем находилась величина А (азимут), синус зенитного расстояния зеркальной точки SinZ и ошибки $\pm\Delta$.

8. По SinZ и точному значению дальности $Д_т$ по графику находится высота для центрального пункта на следе метеора H_1.

Измерения скорости и горизонтальных координат радианта метеора необходимы:

1. Для измерения скорости метеора использовались импульсно-дифракционный и пеленгационно-временной методы. Радиант метеора измерялся пеленгационно-временным методом [12]. Для измерения импульсно-дифракционной скорости с пленки на ждуще-непрерывный индикатор [45] измеряли следующие данные по АВХ каждого канала метеора: а) положение начала импульсов, б) положение максимумов для каждого i-го канала N_i, в) положение полочки n_i и г) значение длительности радиоотражения T_i.

2. Для каждого канала вычислялась разность между положениями максимумов: $n_2 = N_2 - N_1$; $n_3 = N_3 - N_2$; $n_4 = N_4 - N_2$.

3. Для всех каналов определялось среднее значение между указанными максимумами n_2, n_3 и n_4.

4. Полученные средние значения n приводятся к n_3 по формулам:

$$n_{3'} = n_2/1.5;\ n_3'' = n_4/1.8$$ и находится среднее:

$$n_{3ср} = n_3 + n_3' + n_3''/3.$$

5. По точному значению дальности $Д_т$ и $n_{3ср}$ по номограмме находится дифракционная скорость метеора V_d.

Для измерения азимута радианта метеора необходимо:

1. Вычислить разность времени полёта метеора между i-ым и центральным пунктом в виде:

$$t_2 = (N_2)_i - (N_2)_1$$
$$t_3 = (N_3)_i - (N_3)_1$$
$$t_4 = (N_4)_i - (N_4)_1$$
$$t_5 = (N_5)_i - (N_5)_1$$

2. Определить средний сдвиг между i-ым и 1-ым пунктам в виде:

$$t_i = t_{1i} - t_{2i} - t_{ni}/n,$$

здесь n – число слагаемых.

3. По круговой номограмме с центром о базах t_2, t_3, t_4 находятся азимуты радианта A_r и Δr. При необходимости используют умножение и деление в n, равное 2, 3, 4 раза.

4. Зенитное расстояние радианта Z_r при пеленгационно-временном радиометоде находится по формуле (1.4) [47]. При этом осуществлялась проверка $Z_r + Z_{от} \geq 90°$.

5. Скорость метеора пеленгационно-временным методом находится по формуле:

$$V_{сд} = -b_i \cos \alpha_{ri} \cdot \sin Z_r \cdot 500/t_{i\,max},$$

где $\alpha_{ri} = (A_к - A_i)$. Здесь A_i – азимут i – го пункта, а $t_{i\,max}$ максимальный сдвиг между i – м и 1 – м пунктам.

6. По измеренным значениям дифракционной скорости V_d и скорости, определяемой по сдвигам $V_{сд}$, определены среднее значение скорости $V_{ср}$ и вычислено ΔV по формулам:

$$V_{ср} = V_d + V_{сд} \text{ и } \Delta V = (V_d + V_{сд}) \cdot 2/V_d + V_{сд},$$

1.4. Вычисление элементов орбит

В настоящее время существуют различные методы для измерения радиантов, скоростей и элементов орбит индивидуальных метеорных тел, такие как импульсно-дифракционный [59], непрерывно-волновой [9], метод

наклонного отражения [9], дальномерно-дифракционный [9] и пеленгационно-временной радиометоды [12].

Расчет радиантов, скоростей и элементов орбит метеоров был выполнен с использованием программы, разработанной на языке Фортран [13]. Экваториальные координаты уточненного радианта, скоростей и орбитальных параметров отдельных метеоров были рассчитаны в Институте астрофизики НАНТ с применением пеленгационно-временного радиометода. Для вычисления радиантов, скоростей и орбитальных элементов метеоров использовались следующие данные: год и месяц наблюдения, номер метеора, номер выносного пункта, дата и время наблюдения в часах, минутах и секундах, номер варианта, точные значения дальности, а также горизонтальные координаты отражающей точки на следе метеора ($A_{от}$, $Z_{от}$) относительно центрального пункта, значение дифракционной скорости, азимут радианта, определенный по круговой номограмме, и временной сдвиг, вычисленный как разность между максимумами дифракционных картин (по АВХ) выносного и центрального пунктов. В программу заранее были введены расстояния и азимуты каждого выносного пункта относительно центрального. Остальные необходимые данные, как расстояние от Земли до Солнца, орбитальная скорость Земли, долгота Солнца и звездное время брались из “Астрономического ежегодника”.

Расчет координат исправленного радианта метеора, скорости и элементов орбиты метеорного тела выполнялся по модифицированной схеме Клейбера [9] по следующей последовательности:

1) $V_{ср}$, $V\infty$ - средняя измеренная и доатмосферная скорость метеора;

2) V_g - геоцентрическая скорость;

3) V_h - гелиоцентрическая скорость;

4) A_r, Z_r – горизонтальные координаты видимого радианта;

5) α_r – прямое восхождение исправленного радианта;

6) δ_r - склонение исправленного радианта;

7) λ - эклиптическая долгота радианта;

8) β - эклиптическая широта радианта;

9) λ′, β′ - координаты истинного радианта и ε - его элонгация от апекса;

10) a – величина большой полуоси орбиты;

11) e – эксцентриситет орбиты;

12) q – перигелийное расстояние орбиты;

13) i – наклон орбиты;

14) Ω - долгота восходящего узла;

15) ω - аргумент перигелия.

Расчет радиантов, скоростей и элементов орбит метеора выполнялся на персональном компьютере.

1.5. Распределение радиантов, скоростей и элементов орбит 6544 радиометеоров, наблюдавшихся в ГисАО (Таджикистан)

Следует отметить, что различные научные коллективы занимались систематической регистрацией метеоров, используя для этого множество методов наблюдения, включая традиционную и цифровую фотографию, радары, видео- телевизионное оборудование. Это происходило как в рамках постоянной работы, так и во время специальных наблюдательных кампаний.

Наблюдения метеоров, проводимые с помощью фотографических, телевизионных и видеометодов, обычно ограничиваются ночным временем и предоставляют информацию только о ночных метеорах: потоках, ассоциациях и спорадических метеорах. Несмотря на то, что некоторые видеобазы данных [30, 69] включают небольшое количество дневных метеоров, изучение дневных потоков проводилось на основе данных радиометеорных наблюдений. Известно, что радиометеорные наблюдения не подвержены влиянию специфических атмосферных условий или дневного и ночного времени.

В результате редукции данных радиолокационных наблюдений с четырех пунктов в ГисАО измерены координаты радиантов и определены физические свойства 6544 радиометеоров, охватывающие период наблюдений с декабря 1969 г. по февраль 1970 г. Наблюдаемые метеоры

относятся к метеорам ярче $+5^m$, охватывают область неба с эклиптическими широтами от $+90^o$ до -23^o.

Измеренные координаты радианта и угловые орбитальные элементы соответствуют эпохе J2000. Для расчета орбитальных элементов, получения геоцентрических координат Земли во время наблюдения за метеорами, нами использованы эфемериды планеты JPL 431 [70].

Радиометеорные измеренные данные, полученные ГисАО, содержат:

- геоцентрические параметры (геоцентрические экваториальные координаты радиантов и скорость),
- гелиоцентрические Кеплеровы окулирующие элементы орбиты,
- некоторые физические величины: внеатмосферная масса, звездная величина радиометеора и линейная плотность электронов, рассчитанные для высоты центральной точки метеорного следа.

Распределение эклиптических долгот Солнца полученных метеоров не является равномерным (рисунок 1.2). Видны несколько пробелов и три отчетливых пика. Первой пик - декабрьский максимум (справа) соответствует потоку Геминид (# 4/GEM[1]). Второй максимум посередине, наблюдаемый в январе, связан с некоторыми дневными и ночными метеорными потоками, и спорадическими метеорами, а третий максимум наблюдается в феврале.

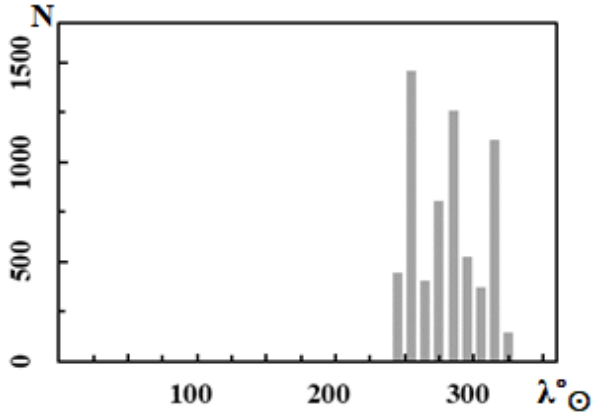

Рисунок 1.2. – Гистограммы распределения 6544 радиометеоров, наблюдаемых на ГисАО по эклиптической долготе Солнца при появлении метеора

[1] Обозначения метеорного потока #4/GEM соответствуют правилам номенклатуры метеорного потока в [197, 198].

Рисунок 1.3 показывает распределение метеоров по двум характеристикам - прямому восхождению и склонению в геоцентрической системе координат.

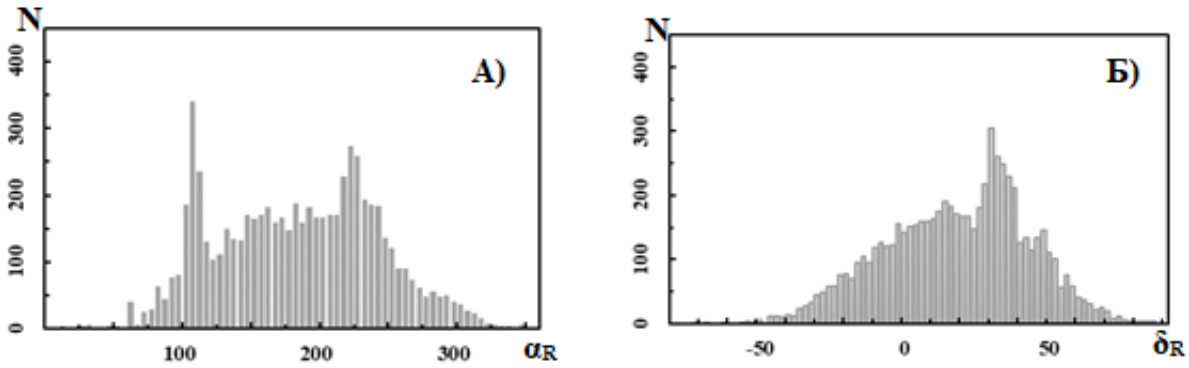

Рисунок 1.3. – Распределение метеоров по: А) прямому восхождению – α_R (град.) и Б) склонению – δ_R (град.) в геоцентрической системе координат

Используя итерационный метод отделения метеорного потока по аналогичному методу точки излома [71, 72], но с фиксированным порогом орбитального подобия D=0.1 (орбитальное подобие) оценивается с помощью D-критерия Саутворта-Хокинса [73]. Мы обнаружили, что в выборке ГисАО относительно хорошо определенный поток Геминид состоит из 223 метеороидов. На рисунке 1.4А мы проиллюстрировали распределение геоцентрических скоростей наших Геминид. Среднее значение V_g=35.1±2.1 км/с. Для менее ограничительного поиска, используя D=0.20, мы нашли 400 Геминид, для которых V_g=34.6±3.1 км/с. Эти результаты согласуются со скоростью Геминид 35±2.8 км/с, приведенной в [74].

Гистограмма распределения геоцентрической скорости метеоров в ГисАО представлена на рисунке 1.4А, и ее характерное бимодальное распределение очевидно. Бимодальный характер этого распределения возникает из-за того, что значения геоцентрических скоростей представляют собой суперпозицию двух компонентов, гелиоцентрических орбитальных скоростей метеороида и скорости Земли.

На рисунке 1.4Б показано распределение гелиоцентрической скорости метеороида. В правом хвосте этого распределения мы отметили, что 340 метеороидов двигались по гиперболическим гелиоцентрическим орбитам.

Некоторые из них на самом деле не являются гиперболическими. Гиперболическая орбита могла быть следствием неточности в измерениях, особенно из-за ошибки измерения геоцентрической скорости. По мнению С. К. Всехсвятского [75], минимальные пределы для уверенных гиперболических орбит могут иметь величину эксцентриситета e = 1.35, а меньшие значения эксцентриситета могут быть обусловлены ошибками измерений.

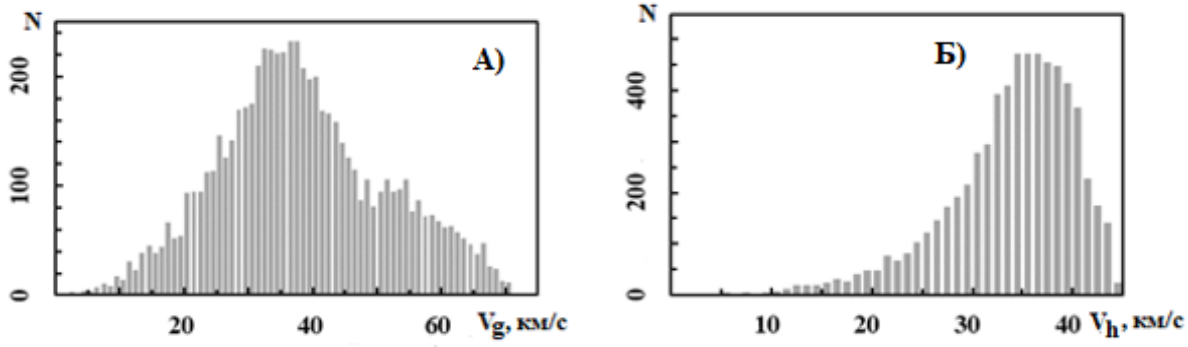

Рисунок 1.4. – Распределение А) геоцентрических и Б) гелиоцентрических скоростей метеороидов. Распределения имеют различные свойства: первое имеет два максимума, последнее − только один

Распределение геоцентрических радиантов 6544 радиометров показано на рисунке 1.5. Справа на графике наблюдается компактная концентрация радиантов, связанная с потоком Геминид. Слева выделяется скопление радиантов Квадрантид, рядом с которым расположены малые потоки и ассоциации. Очевидно, что большинство радиантов расположено в северном полушарии. Помимо Геминид и Квадрантид видны и широкие скопления радиантов малых метеорных потоков и ассоциаций. Благодаря географическому местонахождению комплекса МИР-2 в ГисАО, много потоков и ассоциаций наряду со спорадическими метеорами были зарегистрированы и в южной небесной полусфере.

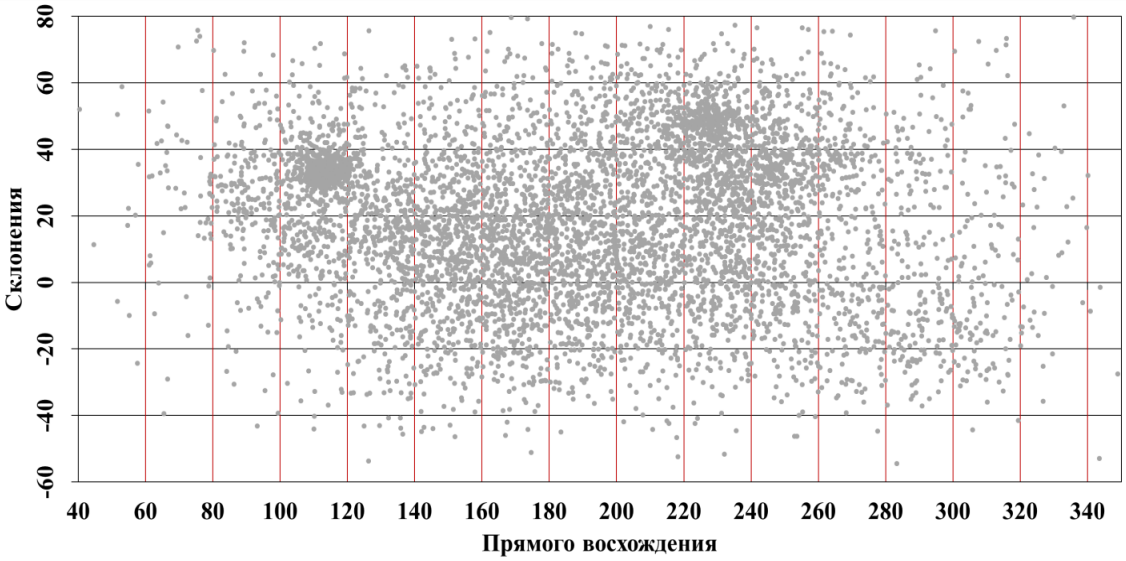

Рисунок 1.5. – Диаграмма распределения для геоцентрических радиантов 6544 метеоров, наблюденных в ГисАО. Приведено двухмерное распределение по экваториальным координатам

Изменения часового числа метеоров в течение трёх месяцев (декабрь, январь и февраль) для дневных и ночных метеоров показаны на рисунке 1.6. Из рисунка 1.6 видно, что максимумы, приходящиеся на 22-24 часа мирового времени, соответствуют 4-6 часам местного времени.

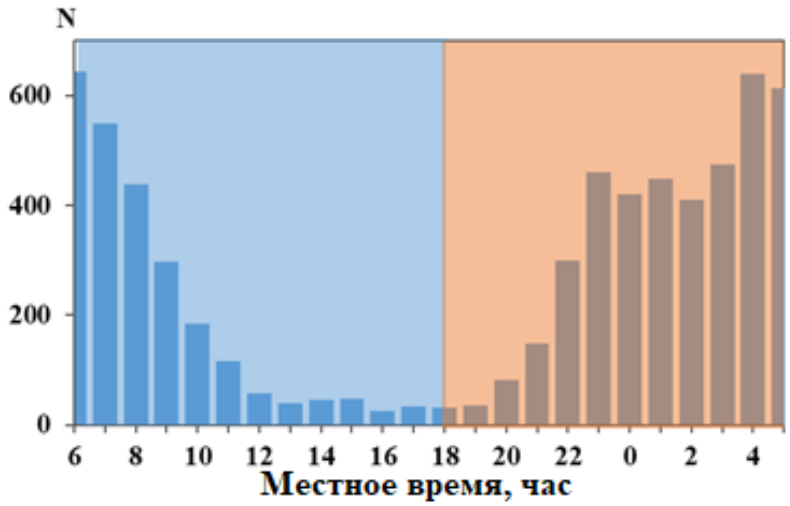

Рисунок 1.6. – Изменения часовых чисел метеоров с декабря по февраль

Минимальное число метеоров наблюдается в дневное время (с 4 до 14 часов мирового времени, а также с 10 до 20 часов местного времени). Анализ суточной кривой численности метеоров показывает, что имеется один ярко выраженный максимум, приходящийся на 5-6 часов утра (местного времени). Утренний максимум суточной вариации числа случаев появления ночного

максимума спорадических слоев и численности слабых спорадических метеоров точно совпадают по времени. Вклад в ионизацию становится особенно заметным в ночное время, когда отсутствует ультрафиолетовая радиация Солнца. Действительно, число спорадических метеоров, входящих в атмосферу Земли, будет меняться от минимума в вечерние часы до максимума в ранние утренние часы. Если принять, что метеорные радианты равномерно распределены по небесной сфере, то каждый радиант спорадических метеоров должен давать одинаковое и постоянное число метеоров. Однако в связи с тем, что Земля движется вдоль своей орбиты со скоростью 30 км/с, мы будем наблюдать большее число спорадических метеоров, находясь на утренней стороне Земли (в апексной точке). Послеполуденные спорадические метеоры будут догонять Землю. Поэтому в период апексных наблюдений численность максимальна, а в период антиапексных наблюдений она минимальна [42].

1.6. Распределение элементов орбит 6544 радиометеоров

В настоящее время существуют два широко распространённых метода измерения радиантов и скоростей метеоров, которые позволяют рассчитывать орбитальные параметры индивидуальных метеорных тел. Это оптический и радиолокационный методы. С 50-х годов прошлого века радиолокационный метод получил значительное развитие, и в настоящее время его широко используют для измерения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров [18].

Что касается распределения метеорных тел в межпланетном пространстве, которые представляют опасность столкновения с Землёй и движутся по различным орбитам, их изучение является целесообразной целью. Наблюдения метеоров в атмосфере Земли свидетельствуют о том, что только те метеоры, чьи расстояния перигелия $q \leq 1$ а.е., афелия $Q \geq 1$ а.е., могут попасть в окрестности Земли [9]. Метеорные тела на таких расстояниях представляют угрозу для Земли.

Большинство метеоров сосредоточено при 1/a от 0 до 0.7, что соответствует большим полуосям орбит (a>1.67 а.е.), характерным для тел, связанных с кометами. При увеличении 1/a численность метеоров уменьшается, поскольку объекты с меньшими полуосями (a<1.67 а.е.) встречаются реже. В области a<0.56 а.е. метеоры практически отсутствуют, что объясняется редкостью таких коротких орбит, характерных для астероидов. Значения 1/a≤0 могут указывать на гиперболические траектории, но такие метеороиды крайне редки. Рисунок 1.7 демонстрирует, что метеоры преимущественно имеют большие полуоси, а постепенное уменьшение численности отражает закономерности распределения орбит в Солнечной системе.

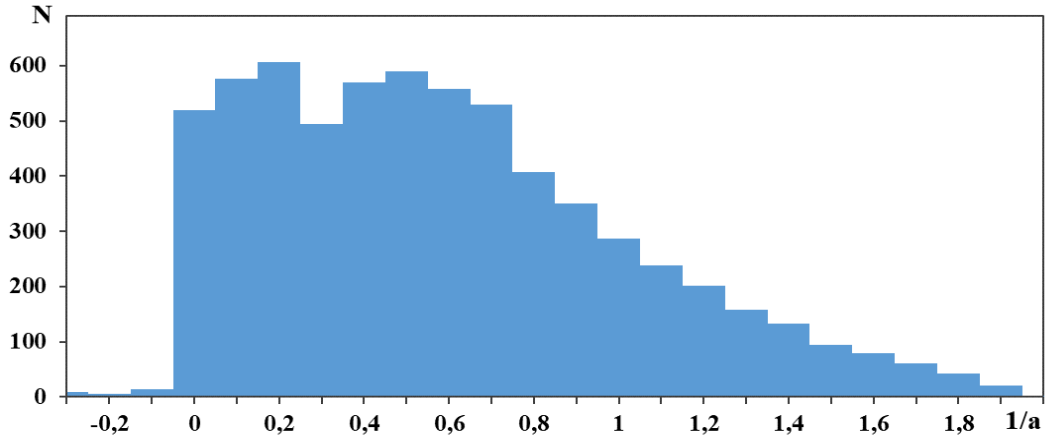

Рисунок 1.7. – Распределение больших полуосей орбит 6544 метеоров по радионаблюдениям в ГисАО

Распределение перигелийных расстояний 6544 метеоров с яркостью больше +5 звёздной величины приведено на рисунке 1.8. Два максимума в распределении приходятся на интервалы от 0.10 до 0.14 и от 0.96 до 0.98 а.е. Первый максимум, расположенный в пределах от 0.10 до 0.14 а.е., связан с метеорным потоком Геминид, а второй - с потоком Квадрантид и другими группами метеороидов.

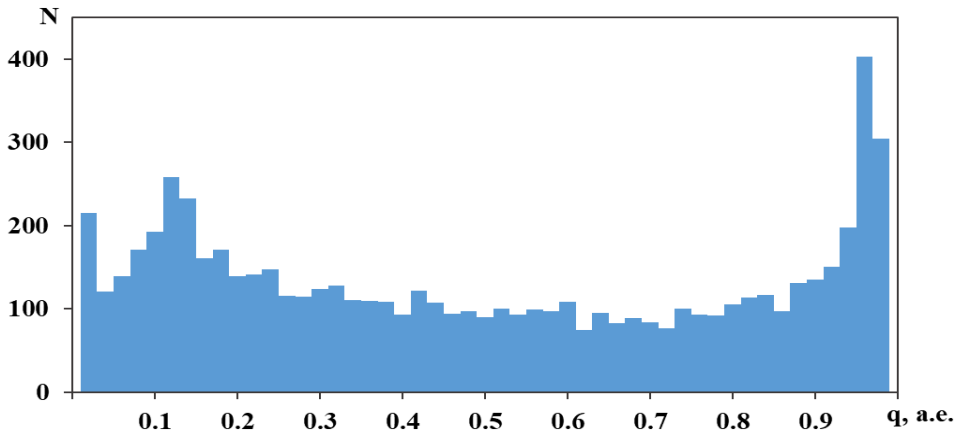

Рисунок 1.8. – Распределение перигелийных расстояний орбит 6544 метеоров по радионаблюдениям в ГисАО

Независимо от метода регистрации метеоров, эксцентриситет орбиты характеризует её форму. На рисунке 1.9 показано распределение эксцентриситета орбит: с увеличением значения эксцентриситета от 0 до 1 число орбит экспоненциально возрастает. Согласно рисунку 1.9, прирост происходит почти экспотенциально. Максимальная концентрация орбит наблюдается в диапазоне от 0.85 до 1.

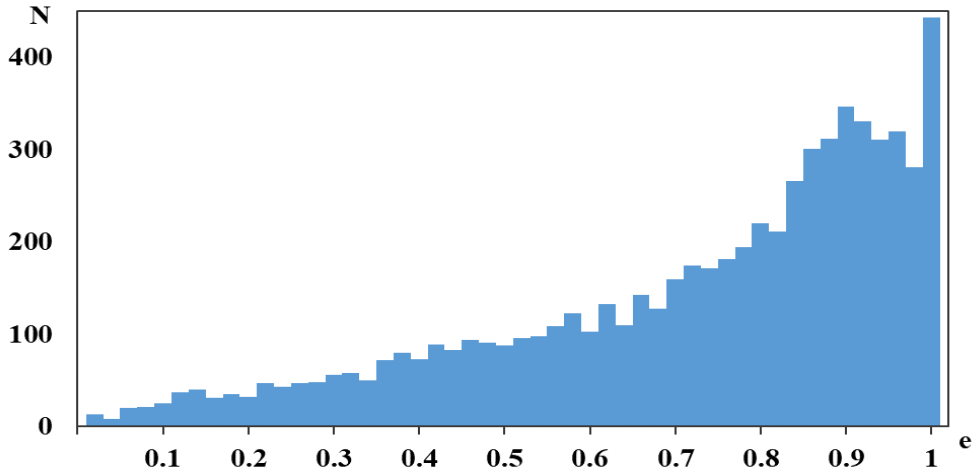

Рисунок 1.9. – Распределение эксентриситетов орбит 6544 метеоров по радионаблюдениям в ГисАО

Из рисунка 1.10 следует, что распределение наклонов орбит находится в пределах от 0° до 180° и не является равномерным. Максимум наблюдается при наклонах до 10°, тогда как в диапазоне от 85° до 100° число орбит существенно уменьшается. Радиолокационные наблюдения показывают, что большинство орбит метеоров ярче $+5^m$ имеют небольшие наклоны.

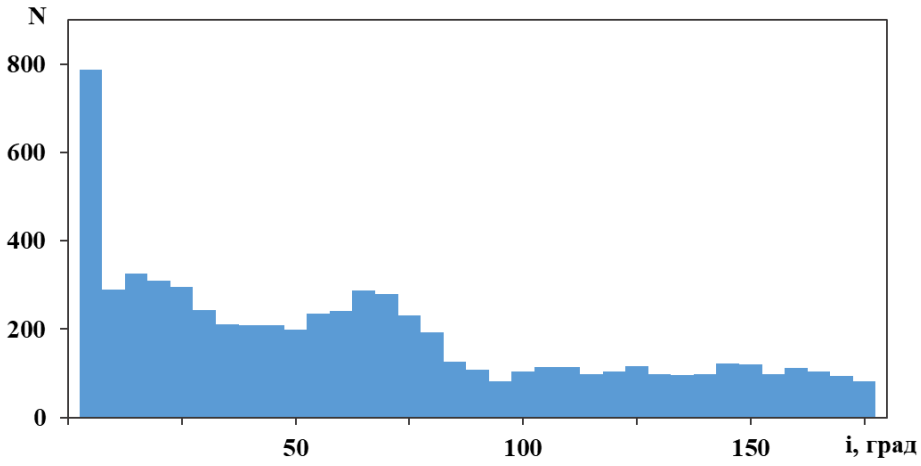

Рисунок 1.10. – Распределение наклонов орбит 6544 метеоров по радионаблюдениям в ГисАО

Анализ орбитальных характеристик 6.5 тысяч метеорных тел, порождающих метеоры ярче $+5^m$, показывают значительное их разнообразие орбит. Орбиты с a<1 а.е. почти круговые. Некоторое количество орбит с низкими эксцентриситетами и большими наклонами орбит были выявлены. Большинство орбит все еще относились к двум упомянутым типам кометных орбит. Ранее по результатам базисных радиолокационных наблюдений метеоров, проведенных в Джодрелл Бэнк [76] и Харькове [77], выявили третий основной тип орбит, характерный для метеоров слабее примерно $+5^m$.

Открытие двух новых типов орбит мелких метеорных тел имеет важное значение для изучения происхождения и эволюции метеорного вещества. Две группы кометных орбит связаны между собой, поскольку возмущения со стороны Юпитера и Сатурна могут перевести кометы с орбит типа «а» на орбиты типа «б». Орбиты типа «в» почти не встречаются среди более крупных тел СС и не являются производными от орбит типа «б». Время жизни метеорных тел на короткопериодических орбитах очень мало по сравнению с возрастом СС; следовательно, метеорные тела не могли образоваться на орбитах типа «в». Предположительно, значительная часть мелких метеорных тел образуется на орбитах очень больших размеров. Под воздействием сил торможения (эффект Пойнтинга-Робертсона, воздействие солнечных корпускулярных потоков, сопротивление межпланетной среды и

др.) орбиты метеорных тел постепенно уменьшаются, тем быстрее, чем меньше масса тел. В этом процессе в течение определенного промежутка времени орбита становится близкой к орбите Юпитера (или Сатурна), и метеорное тело может испытывать тесные сближения с Юпитером (или Сатурном). Для крупных метеорных тел этот промежуток времени имеет большую продолжительность, и вероятность того, что за это время метеорное тело будет захвачено Юпитером, переброшено на орбиту типа «б» или выброшено из СС, велика. Орбиты мелких метеорных тел уменьшаются значительно быстрее, и для них вероятность пройти «барьер Юпитера» (или Сатурна) значительно больше.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

Первая глава диссертации посвящена анализу современного состояния проблемы исследования метеорных потоков и ассоциаций, а также степени изученности вопроса идентификации потоков по радиолокационным наблюдениям. В ней обоснована актуальность темы, раскрыты основные этапы становления радиометеорных исследований и обозначены нерешённые задачи в области изучения метеорного вещества в околоземном пространстве.

На основе анализа литературы показано, что метеорное вещество играет важную роль в формировании межпланетной среды и в процессах взаимодействия Земли с космической пылью. Исследования последних десятилетий свидетельствуют о тесной связи метеорных потоков с кометными и астероидными источниками. Однако при всём многообразии методов наблюдения (визуального, фотографического, видеонаблюдений и других) именно радиолокационный метод занимает особое место, так как обеспечивает возможность регистрации метеоров в любое время суток и при любых погодных условиях.

Автор показывает, что развитие радиолокационных наблюдений началось в середине XX века, когда были разработаны первые методики определения скоростей и радиантов метеоров. Ключевую роль в этом

сыграли работы Хея и Стюарта, которые впервые определили радианты метеоров радиолокационным методом. В последующие годы значительный вклад в развитие радиометеорных наблюдений внесли исследователи Канов, Браун, Овер, Вернд, Линдблад, Чеканов и другие. В СССР и странах СНГ радиолокационные исследования активно развивались на станциях в Харькове, Душамбе (ГисАО), Москве, Казань и др.

В главе обобщены сведения о применяемых радиолокационных системах, способах регистрации и обработки сигналов. Особое внимание уделено пеленгационно-временному методу, разработанному в Институте астрофизики НАН Таджикистана. Этот метод позволяет с высокой точностью определять пространственные характеристики метеорных следов — радианты, скорости и высоты появления. Автор подчёркивает, что данные, накопленные в Гиссарской астрономической обсерватории, представляют уникальный массив радиолокационных наблюдений, охватывающий многолетний период исследований.

В главе диссертации проведено комплексное исследование кинематических и орбитальных характеристик 6544 радиометеоров, зарегистрированных с использованием пеленгационно-временного радиометода. Для этих метеоров определены атмосферные траектории, полученные на основе наблюдений с четырёх пунктов в ГисАО, что позволило получить точные данные о движении метеоров в земной атмосфере и вычислить их орбитальные элементы.

Анализ распределений радиантов, геоцентрических скоростей и элементов орбит показал наличие двух выраженных максимумов в распределении геоцентрических скоростей: первый максимум находится в диапазоне 35–40 км/с, второй — 55–60 км/с. Такая структура указывает на существование различных динамических компонентов метеорного населения и отражает разнообразие источников происхождения метеоров.

Двухмерный анализ распределений радиантов и орбитальных элементов позволил выявить особенности пространственного расположения

метеоров и возможные закономерности их движения, что является важной основой для последующей идентификации метеорных потоков и ассоциаций.

Полученные результаты имеют также практическое значение: они позволяют более точно оценивать риски космических угроз для Земли и обеспечивать безопасность космических миссий, а также создают методологическую базу для дальнейших радионаблюдений метеоров с использованием пеленгационно-временных методов.

Автор приходит к выводу, что систематизация и обновление данных радиометеорных наблюдений является необходимым этапом в изучении структуры метеорного вещества. Особое внимание уделяется роли кластерного анализа, который позволяет объективно выделять группы метеороидов с близкими орбитальными параметрами. Научная ценность этих подходов состоит в возможности уточнения структуры известных потоков, выявления новых ассоциаций и определения их родительских тел.

Таким образом, первая глава диссертации формирует теоретическую и практическую основу для анализа метеорных потоков, выявления их структуры и динамики, а также обеспечивает методологическую базу для последующих глав работы.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТЕОРОИДНЫХ ПОТОКОВ И АССОЦИАЦИЙ

Глава 2 посвящена современному состоянию и перспективам исследования метеорных потоков на основе данных оптических и радиолокационных наблюдений, а также результатам идентификации метеорных потоков и ассоциаций по радиолокационным наблюдениям, выполненным в Гиссарской астрономической обсерватории (ГисАО).

В данной главе подробно рассматриваются методы наблюдений, их возможности и ограничения, включая сравнительный анализ оптических и радиолокационных методов. Особое внимание уделено радиолокационным наблюдениям, позволяющим регистрировать метеоры как в ночное, так и в дневное время суток, что обеспечивает более полное изучение слабых и малых потоков, недоступных для визуальных и фотографических методов.

Здесь приводятся результаты изучения кинематических характеристик метеорных потоков и ассоциаций за цикл круглосуточных наблюдений в зимний период — декабрь, январь и февраль. Анализируются параметры радиантов, скорости метеоров и их распределение по небесной сфере. Также рассматриваются выявленные закономерности, сравнительные характеристики отдельных потоков и ассоциаций, а также их динамическое поведение в течение наблюдаемого периода.

Кроме того, в главе обсуждаются перспективы дальнейших исследований метеорных потоков, возможности применения современных методов редукции данных, включая пеленгационно-временной радиометод, и интеграции полученных результатов в международные каталоги. Такой подход позволяет не только уточнять характеристики известных потоков, но и выявлять новые ассоциации, расширяя научное понимание структуры и динамики метеорных потоков в околоземной среде.

2.1. Состояние и перспективы исследования метеорных потоков по результатам оптических и радиолокационных наблюдений

Метеороидные рои, наряду с кометами и астероидами, являются важными представителями малых тел СС. Существуют два вероятных источника формирования метеороидных роев: а) дезинтеграция ядра кометы и б) столкновение астероидов между собой или с телами метрового и большего размера. Результаты математического моделирования, проводимого Куликовой [78], показывают, что при каждом прохождении кометы через точки перигелия образуется новый тор, а в результате многократного прохождения образуется сложный комплекс метеороидного роя. Результаты дробления кометы Шумейкеров-Леви 9 [79] вблизи Юпитера свидетельствуют о том, что метеороидные рои могут содержать метеороиды различных размеров: от микронных пылинок до декаметровых и метровых тел. В результате гравитационных и негравитационных эффектов и дисперсии скоростей выброшенных метеороидов из поверхности ядра кометы образуются замкнутые эллиптические кольца. При пересечении Землей орбиты метеорного роя наблюдается явление метеорного потока, которое регистрируется фотографическими, телевизионными, видео и радиолокационными средствами.

В результате дальнейшей эволюции метеороидного роя под влиянием гравитационных и негравитационных эффектов за тысячелетия увеличивается дисперсия орбит, расширяется метеорный рой (включая его поперечную площадь), и в точке пересечения орбиты Землей наблюдаются малые потоки и ассоциации с небольшими часовыми числами. В работе [80] представлены измерения дисперсии радиантов 12 потоков по наблюдениям Глобальной метеорной сети. Обнаружено, что меридианное смещение отдельных метеоров от радианта потока колеблется от 0.32° для эта-Аквариид до 1.41° для Южных Таурид. А также выявлено, что для большинства потоков существует небольшой, но статистически значимый дрейф эклиптического радианта и (или) геоцентрической скорости,

концентрированной вокруг Солнца, с течением времени. Таким образом, малые потоки и ассоциации являются более поздней стадией эволюции метеороидного роя по сравнению с молодыми потоками.

Основные положения теории образования метеороидных роев были разработаны Ф. А. Бредихиным [81] еще во второй половине прошлого века, согласно которой:

1. Метеороидные рои образуются при разрушении ядер комет.

2. Выброс метеорных частиц происходит с ненулевой скоростью.

3. Длительное время метеороидный рой и комета могут существовать совместно.

4. Одна комета может образовать несколько метеорных потоков.

Такие положения соответствуют современным представлениям о структуре, образовании и эволюции комет и метеороидных роев [17, 82-89] хотя их содержание и смысл изменились существенно.

При наблюдении метеорных потоков видно, что форма структуры метеороидных роев различна, что не является исключением. Вероятно, это разнообразие обусловлено воздействием различных факторов [90].

Во-первых, возникновение метеороидных роев, будь то кометное, астероидное, планетное и т. д., может иметь различную природу, а также разные механизмы их формирования. Образование каждого из предложенных роев связано с выбросом вещества с поверхности ядра родительской кометы, выбросом потока газа, выбросом пыли, тепла, в результате химического взрыва, удара и т. д. Каждый из этих механизмов должен формировать метеороидный рой с уникальной структурой.

Во-вторых, процесс формирования метеорного роя является редким явлением, поскольку со временем распределение метеороидных тел вдоль его орбиты становится относительно равномерным, как это наблюдается у Персеид, Геминид, Квадрантид и других потоков. Если же рой формируется под периодическим воздействием определённого механизма, на отдельных участках его орбиты должна происходить концентрация метеороидных тел.

В-третьих, ряд гравитационных и негравитационных эффектов при движении роя в пространстве изменяет элемент орбиты метеороидного тела, приводя к изменению исходной структуры рой. Влияние таких эффектов на структуру роя неодинаково, и в большинстве определений массы метеороидного тела становится ясно, входит ли оно в состав того или иного роя.

В-четвертых, наблюдение за метеорными потоками - уникальное явление. Поэтому следует изучить различия в условиях наблюдения этих роев при сравнении структур разных метеороидных роев для определения основных структурных форм.

Как известно, кометы являются остатками, выброшенными массами, зарождающимися планетами на ранних стадиях формирования Солнечной системы. Эти объекты сконцентрированы в крайней области СС на расстоянии 100 тысяч астрономических единиц (а.е.) от Солнца, в так называемом облаке Оорта. Количество этих объектов предположительно варьируется от нескольких десятков миллионов до миллиардов. Под воздействием возмущений от ближайших звезд орбиты некоторых из этих объектов переходят на вытянутые, и они приближаются к центру СС, становясь его членами.

Кометы обычно называют туманными объектами. При приближении кометы к Солнцу на расстояние менее 4-5 а.е. она нагревается и с ее поверхности начинается испарение газов и пылевых частиц разного размера. При прохождении кометы через перигелийное расстояние происходит наибольшее количество пылевыделений или выбросов масс кометы. В центральной части кометы находится ядро, которое составляет наиболее яркую часть, окружённую пылевой комой и хвостом. В результате выброса метеорных тел из ядра кометы образуется метеорный рой, представляющий собой конгломерат замерзших газов и твердых частиц. Поэтому столкновение астероида и его распад или после дезинтеграции кометных

ядер, когда она проходит ближайшее расстояние к Солнцу, характеризуют эволюционное состояние вещества.

Метеорные рои, сформировавшиеся из астероидов в результате их фрагментации при столкновениях с другими астероидами или телами, послужили источниками образования болидов и метеоритов в СС. Этот механизм подтверждается сходством данных о радиантах, скоростях и элементах орбит некоторых комет и метеорных потоков, полученных различными исследователями.

Современные представления гласят, что метеорные потоки и ассоциации образуются в результате распада кометных ядер при их приближении к Солнцу. Они оставляют за собой рой частиц различных размеров и масс. Наблюдения комет на мощных телескопах показывают, что некоторые из них при прохождении через перигелий или при столкновении с метеороидами распадаются на несколько частей. Каждая из этих частей, вместе с пылевыми компонентами, движется по орбите, близкой к орбите родительской кометы. Пылевые частицы, выброшенные из ядра кометы, получают ускорение и после десятков оборотов вокруг средней орбиты образуют замкнутое кольцо.

Метеорные потоки и ассоциации наблюдаются, когда Земля во время своего годового движения пересекает орбиту метеорного роя. В пользу такого утверждения говорит история открытия метеорного потока Леонид в 1833 году, где было установлено, что метеоры появляются из одной точки небесной сферы - радианта. Через два года, в 1835 году, Араго открыл радиант Лирид, а Локье и Геррик открыли метеорный поток Персеид [19].

Исследование метеорных потоков и ассоциаций проводилось на основании данных оптических (визуальных, визуально-телескопических, фотографических видео и телевизионных) наблюдений, а также результатов базовых радиолокационных наблюдений метеоров [19, 21, 91]. Имеются исследования метеорных потоков по результатам визуальных и фотографических [92] или параллельных визуальных и радиолокационных

наблюдений. В частности, в работе [92] на основании опубликованных данных о 3600 радиантах, скоростях и орбитах метеоров, полученных по результатам фотографических наблюдений и около 2000 данных о визуальных радиантах метеоров, было выявлено более 370 малых метеорных роев, для каждого из которых приведены полные кинематические характеристики. Были выявлены некоторые характерные особенности малых метеорных роев, которые заключались в следующем:

- во-первых, было показано, что некоторые потоки имеют большие радиационные площади и большие полуоси, перпендикулярные к эклиптике;
- во-вторых, было установлено существование северных, южных и эклиптических ветвей, антиподных потоков, то есть симметрично расположенных относительно эклиптики;
- в-третьих, существование короткоперигелийных потоков с $0.05 \leq q \leq 0.07$ и потоков, перпендикулярных к плоскости эклиптики и т. д.

Исследуя пространственную структуру метеорных роев δ-Ариэтид и Леонид, Трентьева обнаружила наличие трех ветвей (северной, эклиптической и южной) и предположила существование южной ветви Леонид.

Новый каталог метеорных потоков был создан в результате двухлетних непрерывных видеонаблюдений на основе почти 240 000 наблюдений с одной станции с помощью более чем 100 видеокамер, работающих на 25 станциях в Японии [30]. На их основе в результате квалифицированных многостанционных наблюдений было рассчитано 39 208 метеорных орбит. Из этой выборки в результате применения метода кластеризации в четырехмерном масштабе, пространстве появления по солнечной долготе, положению радианта и геоцентрической скорости было получено 38 метеорных потоков. Полный набор потоков в новом каталоге охватывал 37% всех метеоров. Никакая другая концентрация не была подтверждена из оставшихся 63% метеоров. Каталог является первым каталогом, основанным на долгосрочных обширных видеонаблюдениях с нескольких станций и

показывает недавнюю реальную активность всех крупных метеорных потоков, которые можно наблюдать оптически из северного полушария. В список метеорных потоков ЦМД МАС добавлено одиннадцать потоков [30] [20].

С сентября 2014 года по декабрь 2016 года в Новой Зеландии были проведены видеонаблюдения орбит метеороидов. В результате было зарегистрировано 24 906 орбит метеоров от +5 до -5 звездной величины. После объединения этих данных с данными других сетей на основе видео было обнаружено 44 новых метеорных потока в южном полушарии. Результаты сравниваются с потоками, полученными в результате недавних радиолокационных исследований [93].

Элементы орбит представлены для 70 из 95 метеорных потоков, признанных установленными по данным ЦМД МАС. С 21 октября 2010 г. по 31 марта 2013 г. в рамках проекта «Камеры для наблюдения за метеороидами в условиях слабого освещения» (CAMS) было измерено в общей сложности 110 367 траекторий метеороидов и доатмосферных орбит, преимущественно метеоров от -2 до +4 звёздной величины, с точностью <2° (медиана 0,4°) по видимому направлению излучения и <10% (медиана 0,9%) по скорости [94].

2.2. Каталог радиантов, скоростей и элементов орбит метеорных потоков и ассоциаций

В 1833 году было открыто явление “радиации” метеоров, что позволило определить радиант потока Леонид. В 1871 году Д. Скиапарелли [95] опубликовал список из 189 метеорных радиантов. Самый полный каталог того времени, включающий 2800 радиантов, был составлен в 1884 году И. Л. Клейбером [96]. Деннинг [97] опубликовал каталог из 4367 радиантов в 1899 году. В. Л. Мальцев [98] в 1930 году составил список из 160 радиантов по результатам наблюдений в СССР, США и Англии. В 1935 году Мак-Интош [99] опубликовал каталог из 320 радиантов южного полушария. В 1934 году Эпик [100] опубликовал каталог из 278 радиантов, а

в 1937 году Н. Н. Сытинская [101] опубликовала каталог из 827 радиантов. Бахарев опубликовал радианты метеоров, наблюдаемых в СССР [91].

Результаты исследования метеорных потоков различными методами опубликованны в [21, 22, 30, 102-106].

Наряду с полученными результатами о метеорных потоках по данным оптических наблюдений, широко использовались и результаты радиолокационных наблюдений метеоров. Рассмотрим некоторые результаты, полученные радиолокационными методами.

В течение 5 лет (1947-1952 гг.) в Джодрелл-Бэнк проводились измерения радиантов метеорных потоков методом Клегга [107] и скоростей импульсно-дифракционным методом [58]. В Джодрелл-Бэнк в течение одного года (1954-1955 гг.) Дэвис и Гилл [76] измеряли радианты и скорости индивидуальных метеоров импульсно-дифракционным методом. По результатам измерений были вычислены орбиты 2474 метеоров.

В Аделаиде (Австралия) в 1961 году с помощью базисных радиолокационных наблюдений измеряли радианты и скорости метеоров [61]. По результатам измерений были вычислены орбиты 2200 метеоров ярче +6. Нильсон смог выделить 66 метеорных потоков и ассоциаций, результаты который были опубликованы в [61].

В Харьковском политехническом институте (ХПИ) под руководством Кащеева Б. Л. были проведены глубокие исследования метеорных явлений, включая метеорные потоки и ассоциации. Годичный цикл (с ноября 1959 г. по декабрь 1960 г.) радиолокационных измерений радиантов и скоростей индивидуальных метеоров импульсно-дифракционным методом был проведен в ХПИ [59]. При этом были вычислены орбиты 12 500 метеоров, что позволило выявить 195 метеорных потоков и ассоциаций [9].

По результатам годичного цикла (1967-1968 гг.) измерений радиантов и скоростей метеоров импульсно-дифракционным методом в Обнинске был составлен каталог орбит около 20 000 метеоров [10]. Используя эти массивы

данных Корпусову [35] удалось выявить 715 метеорных потоков и ассоциаций.

В связи с повышением интереса к исследованию космического пространства начиная с второй половины прошлого века исследователи уделяли большое внимание развитию и внедрению радиолокационных методов исследования радиантов, скоростей и элементов орбит метеоров. Для определения радиантов индивидуальных метеоров были разработаны различные радиолокационные методы, такие как импульсно-дифракционный [59], дальномерно-дифракционный [108], дальномерный [109] и незатухающих радиоволн [110], а также пеленгационно-временные [12]. Сущность, преимущества и недостатки этих методов подробно описаны в работах Ловелла [17], Мак-Кинли [41], Кащеева и других [9] и Лебединца В. Н. [18]. При обработке результатов радиолокационных наблюдений метеоров, проводимых как за рубежом, так и в Советском Союзе, в частности в Англии (Джодрелл-Бэнк) в 1954-1955 гг., в США (Гарварде) в 1962-1965 гг., в Украине (Харькове) в 1959-1960 гг., в Казани и Обнинске в 1967-1968 гг., использовался импульсно-дифракционный метод определения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров. Результаты, полученные на этих станциях, позволили наблюдать за метеорной обстановкой, исследовать радианты и орбиты метеорных потоков и ассоциаций на северной части небесной полусферы. Единственная метеорная станция, которая наблюдала за активностью метеорной обстановки на южном полушарии и проводила измерения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров до +6 звездной величины по методу непрерывной радиолокации, была расположена в Австралии. Поэтому особый интерес представляло изучение метеорной обстановки на районе экватора и южной части земного полушария в конце шестидесятых - начале семидесятых годов прошлого века.

В 1968-1970 гг. в районе города Могадишо (Сомали) на экваторе была организована Советская экваториальная метеорная экспедиция для исследования метеорной обстановки (активности) на южном полушарии [64].

В период действия этой программы в ГисАО Института астрофизики НАНТ были организованы и проведены базисные радиолокационные наблюдения метеоров с четырех пунктов. Результаты измерения радиантов, скоростей и элементов орбит индивидуальных метеоров на экваторе с использованием импульсно-дифракционного метода были опубликованы в виде каталога в работе [64]. По результатам предварительного анализа радиантов, скоростей и элементов орбит было выявлено 78 метеорных потоков и ассоциаций. Однако результаты не были опубликованы.

Значительный вклад в исследование метеорных потоков и ассоциаций внёс метод измерения радиантов, скоростей и элементов орбит индивидуальных метеоров на основе наблюдений головного эхо. Радиолокационный метод наблюдения головного эхо — это рассеяние радиоволн, вызванное свободными электронами, образующимися на поверхности метеороида при вторжении в Земную атмосферу. Метод измерения головного эхо одновременно на трех РЛС был предложен ещё в 1949 году Мак-Кинли и Милманом [51]. За последующие 40 лет было предложено несколько моделей для объяснения всех наблюдаемых особенностей, связанных с наблюдениями метеоров методом головного эхо. Джонс и Вебстер [52] провели тщательный анализ визуальных и радиолокационных исследований эхо-сигналов от головы метеора. Ныне два типа радаров используются для обнаружения метеоров: традиционные УКВ радары, которые в основном фиксируют зеркальные следы, и мощные радары с большой апертурой (HPLA), которые эффективно обнаруживают головное эхо и в некоторых случаях незеркальные следы [53].

Представлен обзор радиолокационной программы наблюдения за головное эхо в средней и верхней атмосфере (MU) вблизи Сигараки, Япония, 2009-2010 гг. [54] для спорадических метеоров и метеорных потоков. Данные собирались с использованием той же экспериментальной установки в 18 отдельных наблюдательных кампаниях, каждая из которых была направлена

на охват как минимум одного суточного цикла и включала в себя в общей сложности более 106 000 метеоров [54].

Представленные результаты, полученные с использованием радара головного эхо Southern Argentina Agile Meteor Radar (SAAMER), основаны на наблюдениях, выполненных в течение 12 дней в августе 2011 года, и включают в себя распределение динамических параметров метеороидов, радианты и расчётные массы [53]. Наблюдения метеоров от головного эхо с помощью SAAMER [53] показали, что усовершенствованная конструкция этой системы позволяет проводить исследования без зависимости от зеркальных следов. За последние десять лет исследования микрометровых метеороидов выиграли от использования радаров HPLA [55]. Эти наблюдения улучшили понимание метеорных потоков и потерь массы при входе в атмосферу. Однако радары HPLA ограничены высокой чувствительностью и редкостью наблюдений. В отличие от них, SAAMER дешевле, автономнее и может работать непрерывно, что позволяет собирать большие объемы данных за длительные периоды.

В дополнение к измерениям головного эхо, радары HPLA также играют важную роль в обнаружении и понимании плазменных явлений незеркальных метеорных следов [56, 57]. Хотя большинство радаров HPLA могут обнаруживать эхо-сигналы головы, но только три (ALTAIR, MU, Jicamarca) [55] успешно фиксируют незеркальные эхо-сигналы. Эти сигналы зависят от широты и предоставляют важную информацию о физических свойствах метеороидов [53].

В настоящее время для исследования кинематических характеристик метеоров регулярно действует многочастотная Канадская радиометеорная орбита (CMOR), которая позволяет измерять орбиты индивидуальных метеоров в реальном масштабе времени. CMOR работает в одностороннем режиме (эхо) с 1999 года и в многостанционном режиме (орбиты) с января 2002 года. К концу 2009 года было измерено 4 миллиона индивидуальных

орбит. По автоматизированному алгоритму поиска потоков было выявлено 117 метеорных потоков [111].

Каталог орбит метеорных потоков и ассоциаций, который является достаточно объемным и содержательным, был составлен известными учеными в области исследования радиометеоров Ю. И. Волощуком и Д. Ю. Гореловым [11]. Авторы использовали результаты многолетних радиолокационных наблюдений метеоров с трех станций в 1972-1978 гг. на радиолокационном комплексе МАРС Харьковского национального университета радиоэлектроники. Радионаблюдение метеоров проводилось круглосуточно и почти непрерывно. Измерение радиантов, скоростей и элементов орбит метеоров осуществлялось на подсистеме автоматического определения координат радиантов и элементов орбит (ПАОРО) комплекса МАРС. Каталог метеорных потоков и ассоциаций был составлен по результатам анализа данных базисных радиолокационных наблюдений 159 785 метеоров, зарегистрированных в 1972-1978 гг. Однако в каталоге отсутствуют данные о периодах действия, радиантах и внеатмосферных скоростях, потоках и ассоциациях, которые необходимы для сопоставления полученных результатов с данными других исследователей.

Метеорная ассоциация – это группа метеоров, имеющих схожие элементы орбит и радианты, которые происходят из одного и того же источника, такого как комета или астероид, и движутся по сходным траекториям, но с меньшей часовой численностью, чем потоки [60]. Между этими двумя типами группировок метеорных орбит нет чёткой границы [60]. Ассоциации — это эволюционный период перед рассеиванием метеорных потоков к спорадическому фону, находящихся на стадии рассеивания. Поэтому изучение ассоциаций позволяет нам исследовать динамическую стадию перевращения метеорного потока в спорадический фон.

Сбор данных о метеорных потоках, начавшийся в ЦМД (MDC) в 2007 году, изначально включал информацию о 230 потоках, представленных в профессиональных и любительских научных изданиях [112].

Согласно [112], были разработаны критерии для номенклатуры потоков и правила исключения метеорных потоков из рабочего списка, одобренные комиссией F1 MAC в июле 2022 года. Верифицировано более 1350 записей в базе данных ЦМД. Включены новые параметры для характеристики потоков, и 203 потока были перемещены в список удалённых. На октябрь 2022 года база данных содержит 936 потоков: 110 подтверждённых и 826 в рабочем списке (https://www.ta3.sk/).

Результаты изучения радиантов метеорных потоков, на основе данных радиолокационных наблюдений метеоров, полученных до 2024 года, представлены в таблице 2.1. В первой колонке указана фамилия составителя (автора), во второй - вид наблюдений, в третьей - количество метеорных радиантов, в четвертой колонке указан год публикации, а в пятом столбце приведено общее количество метеоров или место проведения наблюдений. Таблица содержит результаты обобщения наблюдательных материалов, полученных в XX и XXI веках в различных странах мира. Следует отметить, что если данные визуальных наблюдений содержали информацию о количестве радиантов метеорных потоков, то данные базисных визуально-телескопических наблюдений позволяли получать информацию о высотах начала и конца следа метеоров в потоках помимо радиантов.

В таблице 2.1 представлен хронологический перечень каталогов метеорных радиантов, составленных на основе данных радиолокационных наблюдений метеоров.

Результаты радиолокационных наблюдений, проводимых в различных обсерваториях мира, позволяют детально изучать кинематические характеристики метеороидов в составе метеорных потоков и ассоциаций. Такие наблюдения дают возможность определять радианты, скорости и распределение метеороидов на небесной сфере, что особенно важно для выявления малых потоков и дневных метеоров, недоступных для оптических методов.

Таблица 2.1. – Каталог метеорных потоков и ассоциаций, составленный по результатам базисных радиолокационных наблюдений

Автор (составитель) каталога	Метод измерения. Методика вычисления радиантов и скоростей метеоров	Количество метеорных потоков и ассоциаций	Период наблюдений (годы)	Общее количество регистрируемых метеоров
Клегг [107]	Радиантный метод Клегга и скоростной импульсно-дифракционный	Дневные потоки	1947-1952	Массив наблюдений
Дэвис и др. [76]	Импульсно-дифракционный	6 метеороидных роёв	1954-1955	2474
Нильсон [61]	Аппаратура с непрерывными измерениями	66	1960-1961.	2200
Кащеев и др. [9], λ =13.4 м	Импульсно-дифракционный	195	1959-1960	12500
Верниани [113], λ = 7.33 м	Импульсно-дифракционный	15	1962	6000
Секанина [114], λ = 7.33 м	Импульсно-дифракционный	72	1961	19303
Секанина [38], λ = 7.33 м	Импульсно-дифракционный	226	1965	
Корпусов [35], λ = 11.9 м	Импульсно-дифракционный	715	1967-1968	20 000
Волощук и Горилов [11], λ = 9.646 м	Импульсно-дифракционный	4000	1972-1977	150 000
Броун и др. [74]	Импульсно-дифракционный	117	2001-2008	3 000 000
Нарзиев [66]	Пеленгационно-временной	214	1968-1969	6 100
Худжаназаров и Нарзиев	Пеленгационно-временной	276	1969-1970	6 544

Физические характеристики метеороидов слабых потоков остаются недостаточно изученными: нехватка данных о массе, плотности и размере ограничивает понимание их природы, структуры потоков и влияния на околоземное пространство, что подчеркивает актуальность систематических

радиолокационных исследований. В диссертации вопросы определения физических параметров метеороидов в потоках и ассоциациях, ранее изученных недостаточно, детально рассмотрены в главе 3.

2.3.Методы идентификации метеорных потоков и ассоциаций

Методы идентификации потоков метеороидов в диссертации основаны на трех компонентах: функции динамического подобия, пороге подобия D_c и алгоритме кластерного анализа. Было предложено несколько функций подобия: D_{SH} - орбитальный D-критерий, введенный Саутвортом и Хокинсом (1963) [73], его модификации - Драммондом (1981) [115], Йопеком (1993) [116], Вальсеккиетом и др. (1999) [117] и Дженнискенсом (2008) [118] и D_V функция, определенная в области векторных гелиоцентрических элементов орбиты [119]. Порог D_c используется для проверки сходства двух орбит O_i, O_j - эти две орбиты связаны, если $D(O_i, O_j) < D_c$. Имея функцию расстояния и порог подобия, поток метеороидов может быть обнаружен с помощью алгоритма кластерного анализа, можно использовать, например: итерационные методы, предложенные в [38, 120], метод связывания одной орбиты [73, 121], метод индексов [122], или метод вейвлет-преобразования [74, 123].

Исследование метеорных потоков и ассоциаций, время действия которых приходится на дневное время суток, возможно только с помощью радиолокационного метода. С 60-х гг. прошлого века представляло интерес изучение потоков и ассоциаций метеороидов по результатам базисных радиолокационных наблюдений метеоров. На основании результатов измерения радиантов, скоростей и орбит метеоров по результатам базисных радиолокационных наблюдений с трех приёмных станций в Оттаве, Джодрелл-Бэнке, Обнинске и Харькове [11, 34, 38, 39, 60-62] выявлены потоки и ассоциации метеороидов. Радианты, скорости и орбиты радиометеоров были измерены импульсно-дифракционным методом [59]. Однако измерения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров

импульсно-дифракционным методом возможны только для 15-25% метеоров [60], что приводит к потере большого количества наблюдательного материала. Поэтому представляет интерес исследование метеорных потоков и ассоциаций на базе данных радиолокационных измерений радиантов и скоростей метеоров пеленгационно-временным радиометодом, так как данный метод превосходит импульсно-дифракционный метод как по точности измерения (в 1.7 раза), так и по чувствительности (в три раза).

Шестака И. С. [124] проанализировал 3000 метеорных потоков, наблюдавшихся на протяжении 150 лет (с 1830-х до 1980-х годов), и пришел к выводу, что их появление и исчезновение связано с изменениями в орбитах метеороидных роев, из которых они формируются. Эти изменения происходят под влиянием различных факторов, создавая условия, при которых рои реже приближаются к Земле, затрудняя их наблюдение. Однако такие рои могут продолжать существовать в Солнечной системе и спустя тысячи лет снова пересечь орбиту Земли, породив новые метеорные потоки. Таким образом, исчезновение метеороидных роев возможно, но его подтверждение требует более длительного периода наблюдений.

Нарзиев [125] начал исследование метеорных потоков и ассоциаций на основе данных о радиантах и скоростях, измеренных с помощью пеленгационно-временного радиометода. В этом исследовании использовались результаты измерения радиантов, скоростей и орбит метеоров, наблюдаемых в ГисАО в декабре 1968 года и октябре 1969 года. В отличие от данных, полученных в Оттаве, Джодрелл-Бэнке, Обнинске, Магадишо и Харькове, радиолокационные наблюдения метеоров в ГисАО проводились с 4-х пунктов на комплексе МИР-2 [43].

В работе Нарзиева [66] представляются данные об элементах орбит 214 метеорных потоков и ассоциаций на основе результатов радиолокационных наблюдений более 6100 отдельных метеоров ярче +5 звездной величины в 1968–1969 гг. в ГисАО. Установлено, что большинстве метеорных потоков и ассоциаций, производящих метеоры ярче +5 звездной величины, преобладает

прямое движение, в то время как в метеорных потоках и ассоциациях, которые генерируют слабые радиометеоры [9-11], преобладает обратное движение.

В работе [126] исследовалась вероятность случайного скопления в кластеры среди орбит комет, астероидов и метеороидов. Она зависит от многих факторов, таких как размер орбитальной выборки для поиска скоплений или размер идентифицированной группы. Вероятность случайной кластеризации оценивается численным моделированием и зависит от метода, используемого для генерации синтетических орбит.

В работе [117] представляется новый подход к идентификации потока метеороидов, основанный на функции динамического подобия, включающей четыре геоцентрических величины, которые напрямую связаны с наблюдениями. Таким образом, новая функция расстояния определяется в пространстве, которое имеет столько же измерений, сколько и количество независимо измеренных физических величин, в отличие от обычного критерия орбитального подобия Саутворта-Хокинса и Йопека. Две из новых переменных оказываются почти инвариантными относительно главного векового возмущения, влияющего на орбиты метеороидов.

С помощью орбитальной системы (OS) Southern Argentina Agile Meteor Radar (SAAMER) было измерено более трех миллионов орбит частиц пыли с января 2012 года по апрель 2015 года [127]. SAAMER-OS расположен на самой южной оконечности Аргентины и в настоящее время является единственным действующим радаром с возможностью определения орбиты, обеспечивающим непрерывное наблюдение за южным полушарием.

В базу данных IAU MDC добавлена выборка из 8916 радиометеорных данных, полученных радиолокационными наблюдениями в ГисАО. Наряду с радиантами, скоростями и элементами орбиты, выборка радиометеоров ГисАО содержит высоты, линейную электронную плотность, звездные величины и массы метеороидов [65, 128].

Нами для изучения метеорных потоков и ассоциаций за декабрь 1969 года использованы измеренные данные радиантов, скоростей и орбит 2317 радиометеоров, которые измерены пеленгационно-временным методом в ГисАО. В результате исследования наблюдательного материала за декабрь 1969 года выявлены малые потоки и ассоциации [14].

Результаты исследования физико-кинематических свойств метеорных потоков и ассоциаций, охватывающие период с декабря 1969 года по февраль 1970 года, отражены в данной диссертационной работе. Ниже подробно приводятся результаты наших исследований.

2.4. Результаты базисных радионаблюдений метеоров в период действия потока Геминид

В декабре можно наблюдать несколько метеорных потоков, таких как Геминиды и Урсиды, а также малие метеорные потоки, такие как Комплекс Пуппид-Велид II, декабрьские Моноцеротиды, σ-Гидриды, Кома Береницииды и декабрьские Лео Минориды. Они имеют разную интенсивность и зенитное часовое число (ZHR). Одним из самых известных метеорных потоков является поток Геминид, который длится с 4 по 20 декабря, а максимум приходится на 14 декабря. Его интенсивность сильная и зенитное часовое число (ZHR) равно 150. Еще один из менее интенсивных метеорных потоков - Урсиды, который длится с 16 по 26 декабря, а максимум приходится на 22 декабря. Его интенсивность слабая, ZHR равно 10.

Каждый метеорный поток имеет свое название, которое обычно происходит от созвездия, в котором находится его радиант - точка на небе, откуда кажется, что метеоры исходят. Например, Геминиды названы так потому, что их радиант находится в созвездии Близнецов. Поток Геминид является одним из самых интенсивных метеорных потоков на Земле. В отличие от большинства потоков, образующихся в результате кометной активности, его родительским телом считается астероид (3200) Фаэтон.

Метеорные потоки также имеют разную интенсивность и зенитное часовое число (ZHR), которое показывает, сколько метеоров можно увидеть в

час при идеальных условиях наблюдения. Некоторые потоки, такие как Персеиды или Леониды, имеют высокую интенсивность и ZHR, в то время как другие менее интенсивны.

Ряд метеорных потоков связан с известными кометами или астероидами, которые являются их прародителями. Первое хорошо задокументированное наблюдение метеорного потока Геминид произошло в 1862 году [129, 130], и этот поток был значительно изучен за последние полвека, как с помощью наблюдений [131-134] и с теоретической точки зрения/моделирования [135-141]. В литературе также было приведено множество обзоров этого потока [142-145].

Недавно космический аппарат Parker Solar Probe предоставил новую платформу для лучшего понимания этого уникального потока. В работе [146] создана динамическая модель метеороидного потока Геминид, откалибрована его общая плотность с учетом наземных измерений и сравнивается эта модель с недавними наблюдениями пылевой среды вблизи Солнца с помощью аппарата Parker Solar Probe. Исследование показывает, что ядро метеороидного потока Геминид преимущественно лежит внутри орбиты его родительского тела, а радиус зерен в потоке составляет $\gtrsim$10 μм. Сравнение местоположения потока с помощью модели данных относительно орбиты Фаэтона вблизи перигелия больше согласуется со сценарием катастрофического формирования. Наконец, хотя аппарат Parker Solar Probe проходит очень близко к ядру потока, ожидаемая частота столкновения с метеороидами Геминид на порядки ниже частоты столкновений, наблюдаемых аппаратом Parker Solar Probe и, следовательно, не может быть обнаружена на месте. Предстоящая миссия DESTINY+ также не сможет обнаружить значительное количество метеороидов Геминид вдали от (3200) Фаэтона.

Отметим, что в декабре непрерывное круглосуточное радионаблюдение метеоров в ГисАО Института астрофизики НАНТ проводилось в два этапа. Первый этап охватывал период действия известного ежегодного метеорного

потока Геминид с 7 по 15 декабря, а второй этап охватывал период наблюдений с 19 по 24 декабря 1969 г. [14]. Основные характеристики наблюдательной аппаратуры МИР-2, методика наблюдений, обработка данных для измерения радиантов, скоростей, расчет элементов орбит и данные атмосферной траектории метеоров в виде каталога опубликованы в [43, 65].

2.4.1. Идентификация потоков и ассоциаций за декабрь

Идентификация метеорных потоков и ассоциаций проводилась тремя этапами: а) графическим (по двухмерному распределению по координатам радиантов, б) по скоростям и в) с применением критерия Саутворта–Хокинса [73] и критерия Йопека [116]. Результаты двухмерного распределения радиантов метеоров по прямому восхождению α_R и склонению δ_R для первого периода наблюдений приведены на рисунке 2.1.

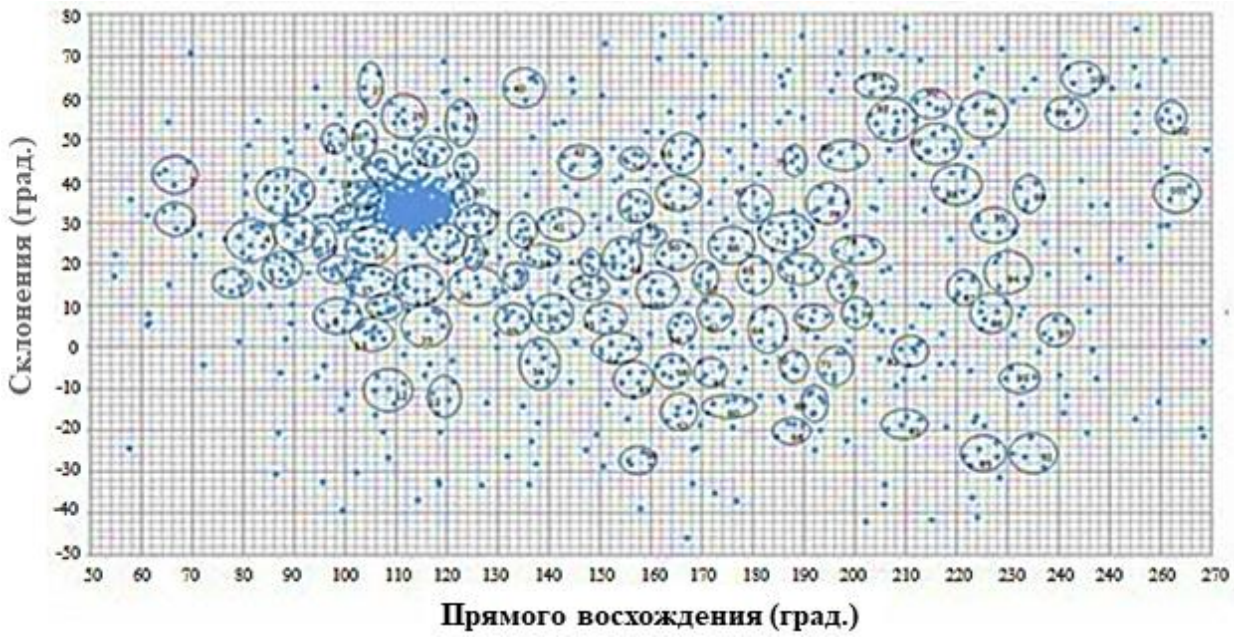

Рисунок 2.1. – Двухмерное распределение радиантов метеоров по прямому восхождению α_R и склонению δ_R для периода наблюдений с 7 по 15 декабря

В гистограмме четко выделяется концентрация радиантов метеороидов, принадлежащих метеорному потоку Геминид. Общая картина распределения метеороидов по координатам радианта для потока Геминид похожа на эллипсоид. Это, по-видимому, связано с суточным смещением радианта.

На рисунке 2.1, наряду с областью радиантов метеороидов потока Геминид, наблюдается еще большое количество скоплений радиантов, то есть область превышения концентрации радиантов метеоров относительно спорадического фона. При этом каждой группе скопления радиантов метеороидов, выделяемой относительно спорадического фона, присвоен номер. Нумерация скопления радиантов произведена по мере увеличения прямого восхождения α_R и склонения δ_R. Формы большинства скоплений радиантов метеоров похожи на эллипс, что вероятно связано с суточным движением радианта метеоров потоков и ассоциаций. Общее количество скоплений радиантов для периода наблюдений с 7 по 15 декабря 1969 г. составляет 96 групп.

В работе [147] рассмотрен метеорный комплекс Канкрид, проанализированы его динамические параметры и для каждой ветви комплекса определены радианты, их смещения и площади радиации. Дженнискенс и др. [148], Кохирова и др. [149] представили результаты исследования динамических и физических свойств метеороидов Персеид и определили радианты, а также их смещения. Смещение радианта определяют для того, чтобы более точно обозначить положение радианта внутри созвездия. Суточное смещение радианта возникает из-за движения Земли внутри метеорного потока.

Положения геоцентрических радиантов Геминид представлены на рисунке 2.2 (а), где показано распределение координат радиантов α_R и δ_R GEM в зависимости от долготы Солнца $\lambda_\odot$. Координаты радиантов и их суточные вариации определялись как по координатам отдельных радиантов, так и по координатам, усредненным до 1° долгота Солнца.

На основе этих данных были определены средние координаты геоцентрических радиантов и данные суточных смещений радианта. Эти данные представлены в таблице 2.2, где также приведены результаты из других источников по потоку Геминид.

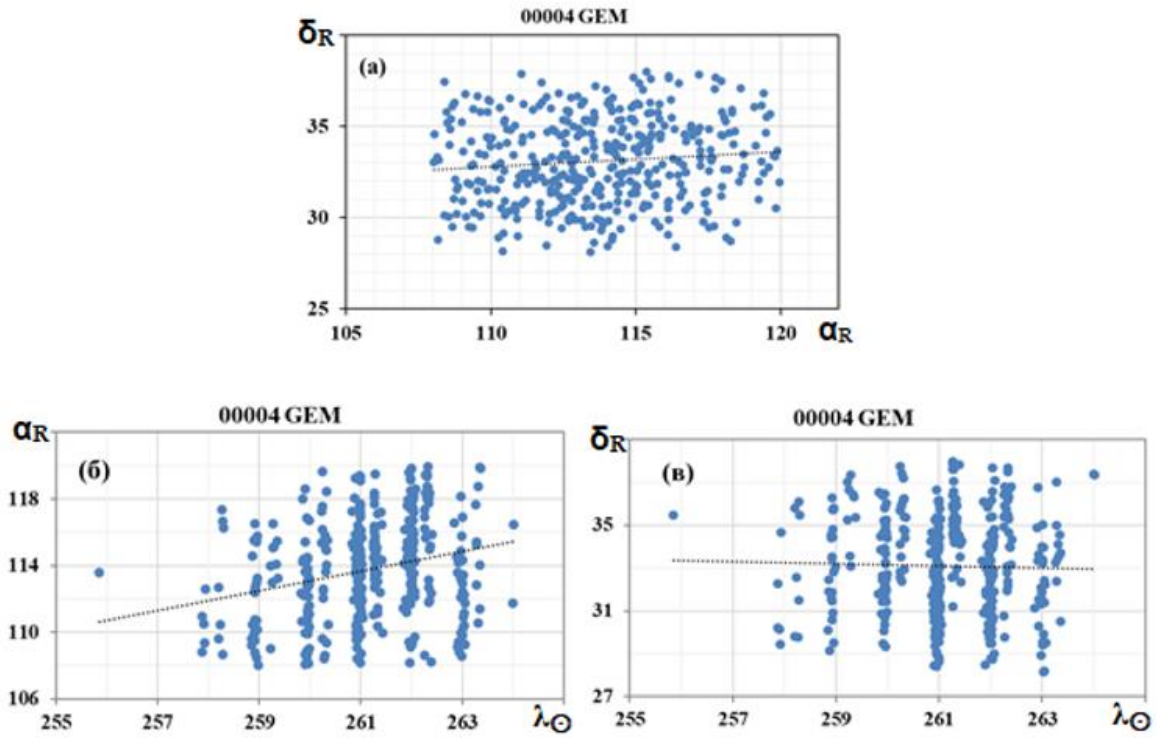

Рисунок 2.2. – Площадь радиантов Геминид (а), координаты радиантов α_R (град.) (б) и δ_R (град.) (в) Геминид в зависимости от долготы Солнца – $\lambda_\odot$ (град.)

Наши результаты по среднему радианту Геминид и суточному смещению радианта согласуются с данными других исследователей. Согласно нашим наблюдениям, суточное смещение радианта составляет $\Delta\alpha_R$=1.08° и $\Delta\delta_R$=-0.15°, а максимальная активность Геминид приходится на долготу Солнца $\lambda_\odot$ =261.1°.

Таблица 2.2. – Средние величины радиантов и суточных смещений для метеорного потока Геминид с использованием данных различных наблюдений

Наблюдения	α_R, [град]	δ_R , [град]	$\lambda_\odot$, [град]	$\Delta\alpha_R$, [град]	$\Delta\delta_R$, [град]	Источник
РЛ наблюдения	111.6	32.6	260	0.83	-0.28	Кащеев и др. 1961
ТВ наблюдения	112.8	32.3	261.4	0.90	-0.19	SonotaCo, 2009
РЛ наблюдения	112.5	32.1	261	1.12	-0.17	Brown et al., 2010
ТВ наблюдения	113.5	32.3	262	1.15	-0.16	Jenniskens et al., 2016
РЛ наблюдения	**113.7**	**33.1**	**261.1**	**1.08**	**-0.15**	**Настоящая работа**

Координаты радиантов Геминид, скорректированные на эту долготу Солнца, были рассчитаны с учетом суточных смещений по следующим известным формулам:

$$\alpha_{261.1} = \alpha_i - (\lambda_i - 261.1)\ 1.08°, \qquad \delta_{261.1} = \delta_i + (\lambda_i - 261.1)\ 0.15°$$

где α_i и δ_i – индивидуальные координаты радиантов метеоров, λ_i – эклиптическая долгота Солнца на моменты регистраций метеоров, параметры геоцентрических радиантов $\alpha_{261.1}$ и $\delta_{261.1}$ приведены в таблице 2.2.

Согласно рисунку 2.2, увеличение числа метеоров в восходящей ветви происходит быстро, а убывание числа метеоров после максимума происходит относительно медленно. В работе [150] также наблюдалось убывание числа метеоров после максимума.

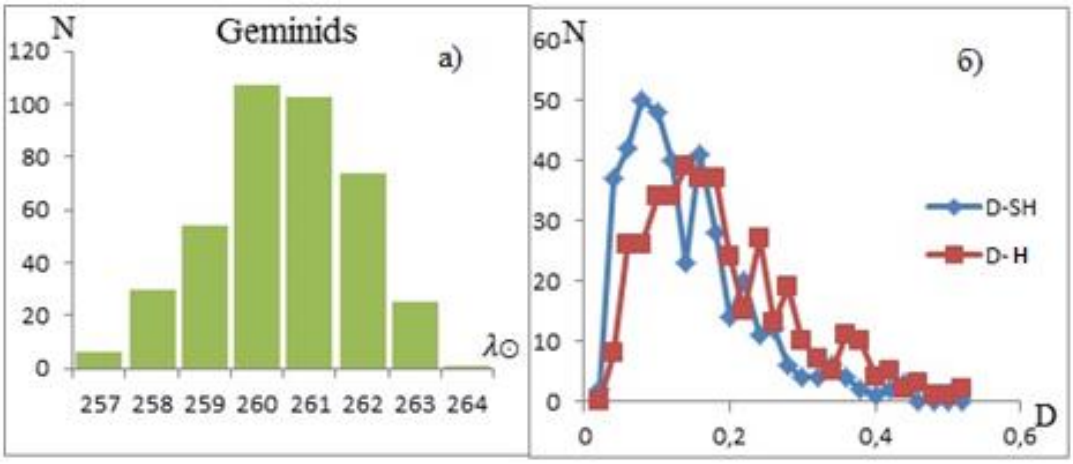

Рисунок 2.2. – Вариации числа метеоров потока Геминид от долготы Солнца (а) и вариации количества метеоров, вычисленных по критериям Саутворта–Хокинса D_{SH} и Йопека D_H для метеороидов потока Геминид (б)

На рисунке 2.3 приведена гистограмма двухмерного распределения метеоров по экваториальным координатам радиантов (α_R, δ_R) для периода наблюдений с 19 по 24 декабря 1969 г., и здесь отмечены группы скопления радиантов, отличающиеся от спорадического фона. Как и в первом случае, группам, отделяющимся от спорадического фона, присвоены номера. Распределения радиантов метеоров в каждом скоплении обозначены кружками и эллипсами, которые отличаются друг от друга по форме и диаметрам. Диаметры отделяемых групп потоков и ассоциаций метеороидов заключаются в диапазоне от 3°x3° до 10°x10°.

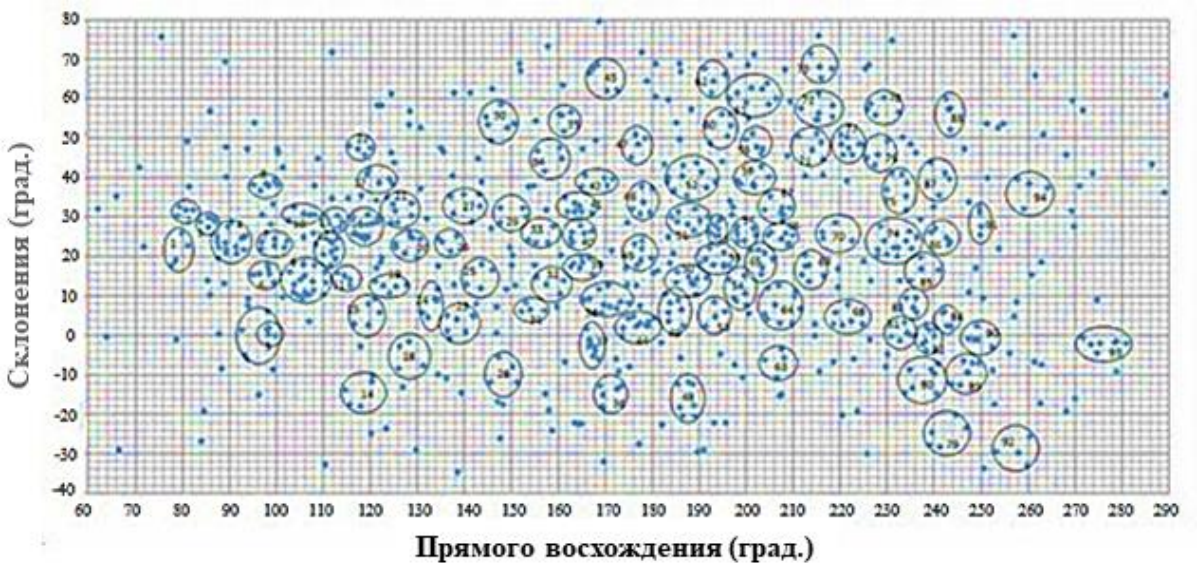

Рисунок 2.3. – Двухмерное распределение метеоров по прямому восхождению α_R и склонению δ_R для периода наблюдений с 19 по 24 декабря

Следующий этап фильтрации отобранных поточных метеоров и ассоциаций проводился по скоростям. При этом те метеороиды, у которых скорость резко отличалась относительно метеороидов с близкими значениями скоростей в группе, исключены из дальнейшей обработки. Далее для каждого потока и ассоциации вычислялись средние значения координат радиантов, скоростей и элементов орбит. Окончательный отбор метеороидов, принадлежащих к заданному потоку или ассоциации, осуществлялся с применением критерия Саутворта–Хокинса (D_{SH}) [73], вычисляемого по уравнению (2.1) и критерия Йопека (D_H) [116] по уравнению (2.2).

$$D_{SH}^2 = (e_1 - e_2)^2 + (q_1 - q_2)^2 + \left(2\sin\frac{I_{21}}{2}\right)^2 + \left(\frac{e_1 + e_2}{2}\right)^2 \left(2\sin\frac{\Pi_{21}}{2}\right)^2, \quad (2.1)$$

$$D_H^2 = (e_1 - e_2)^2 + \left(\frac{q_1 - q_2}{q_1 + q_2}\right)^2 + \left(2\sin\frac{I_{21}}{2}\right)^2 + \left(\frac{e_1 + e_2}{2}\right)^2 \left(2\sin\frac{\Pi_{21}}{2}\right)^2. \quad (2.2)$$

Расчёт D-критериев близости орбит для метеорных потоков выполнен путем сравнения орбитальных элементов каждого метеора с орбитальными элементами потоков, имеющихся в базе данных МАС. Также были проведены расчёты для метеорных ассоциаций в отношении тех ассоциаций, которые присутствуют в работах других исследователей. Для вновь обнаруженных групп метеороидов, которые не соответствовали ни одной из

опубликованных работ, расчёт был выполнен относительно их средних орбитальных значений.

Результаты расчета D-критерия по Саутворту-Хокинсу и по Йопеку для всех скоплений радиантов потоков и ассоциаций представлены на рисунке 2.4. Очевидно, что численное значение D-критерия, рассчитанного для потоков и ассоциаций по критерию Саутворта-Хокинса, находится в диапазоне от 0.03 до 0.27, а по критерию Йопека в интервале от 0.05 до 0.28. Результаты расчета, проводимых по обоим критериям, подтверждают достоверность этих метеорных потоков и ассоциаций.

Распределение метеороидов по численности, входящей в каждую группу, приведено на рисунке 2.5. В распределение входили те группы, у которых количество метеоров равно или больше 4. Самое большое количество метеороидов (400) вошло в поток Геминид. Они отсутствуют на рисунке 2.5.

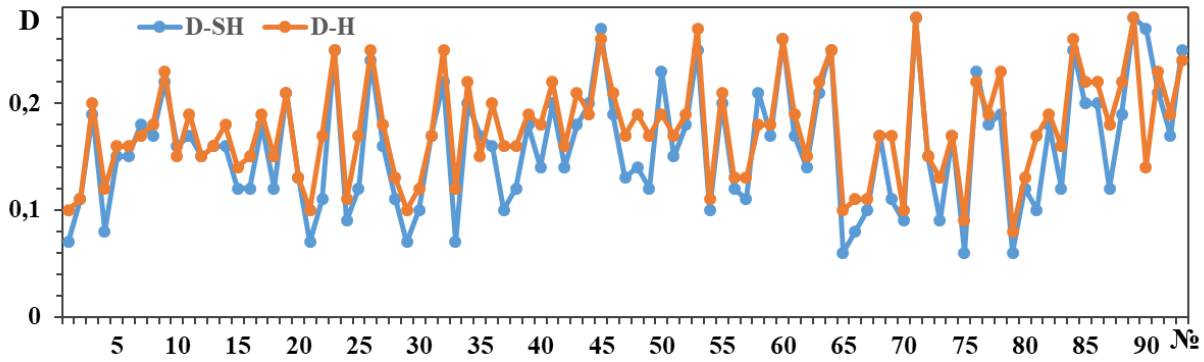

Рисунок 2.4. – Результаты вычислений D-критериев по Саутворту-Хокинсу (D_{SH}) и Йопеку (D_H) для групп метеороидов за декабрь

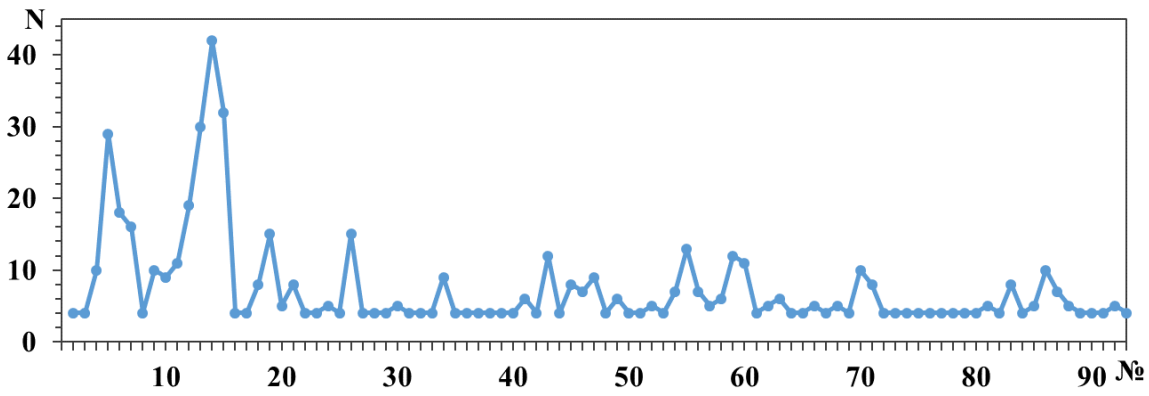

Рисунок 2.5. – Численность метеоров для каждой групп метеороидов (поток Геминид отсутствуют) за декабрь

Для окончательного подтверждения принадлежности метеоров к той или иной группе нами по метеорам, входящим в заданную группу, производился расчет по критериям Саутворта–Хокинса [73] и Йопека [116]. В результате расчётов по критериям: а) Саутворта–Хокинса и б) Йопека, из 196 групп, выделенных графическим методом (по координатам радиантов и скоростям), реально подтверждены 93 группы, идентифицированные как 27 метеорных потоков, 34 ассоциации и 32 новые группировки. Результаты окончательной обработки данных потоков и ассоциаций метеороидов за декабрь 1969 г. приведены в таблице (Приложение). Здесь в первом столбике дан № - порядковый номер потока или ассоциации, во втором - наименование потока или ассоциации А, в третьем даны средние значения долготы Солнца, в четвертом даны α_R - прямого восхождения, в пятом - склонения δ_R, в шестом, седьмом и восьмом столбиках даны внеатмосферные V_∞, геоцентрические V_g и гелиоцентрические значения скорости V_h, в девятом - значения параметра D_{SH}, вычисленные по критерию Саутворта–Хокинса, в десятом - значения параметра D_H по критерию Йопека, в одиннадцатом - значения эксцентриситета e, в двенадцатом - перигелийное расстояние q в а.е, в тринадцатом i - наклон орбиты к эклиптике [в град.], в четырнадцатом Ω – долгота восходящего узла [в град.], в пятнадцатом ω – аргумент перигелия [в град.], в шестнадцатом – N число метеоров, в семнадцатом логарифм масс lg M [грамм], в восемнадцатом δ – плотность метеорных тел в потоках и ассоциациях [г/см^3] и в девятнадцатом сопоставление с др. источниками - опубликованными данными из других работ, которые согласуются с нашими результатами для указанных потоков.

2.5. Январские потоки и ассоциации метеороидов

Метеорные потоки имеют разную интенсивность и зенитное часовое число (ZHR), которое показывает, сколько метеоров можно увидеть в час при идеальных условиях наблюдения. Некоторые потоки имеют высокую интенсивность и ZHR, такие как Персеиды или Леониды, в то время как другие менее интенсивны.

Каждый метеорный поток имеет свое название, которое обычно присваивается от имени созвездия, в котором находится его радиант - точка на небесной сфере, откуда кажется, что метеоры исходят. Например, Квадрантиды названы так потому, что их радиант находится в созвездии Квадранта Мурального.

Обычно в январе наблюдается несколько метеорных потоков. Одним из самых активных является ежегодный метеорный поток - Квадрантиды, который продолжает действовать с 28 декабря по 12 января, а максимум приходится на 3 января. Его интенсивность сильная, зенитное часовое число (ZHR) равно 120.

Сегодня Квадрантиды продолжают быть интересным объектом наблюдения. Максимум активности приходится на 3 и 4 января, и метеоры этого потока остаются одним из наиболее заметных явлений на небе в это время года.

Часовое число метеоров Квадрантид продолжает колебаться, хотя амплитуда изменений менее выражена, чем в прошлом. В 1965–1971 годах наблюдатели Британской Астрономической Ассоциации зафиксировали нижнюю границу максимума в 65, а верхнюю – в 190. В 1975 году Японское Метеорное Общество отметило максимум в 101.2.

Квадрантиды редко изучались визуально из-за холодной погоды в северных широтах, острого максимума потока, который легко пропустить при неправильной долготе, и слабости метеоров, требующих исключительных условий для наблюдения.

Радиант Квадрантид примерно расположен в точке с координатами: альфа 229,5°, дельта 49,4°, но это среднее значение, так как поток не имеет строго фиксированного радианта. В 1953 году Джордж Е. Д. Алкок и Дж. П. Прентис отметили сложность определения радианта. В 1952 году они провели программу наблюдений, выявив 13 активных радиантов, что подчеркивает сложность изучения этой области.

Исследование эволюции орбит метеорных потоков Квадрантид и дельта-Акварид представляет интерес для астрономов. Ниже рассмотрим некоторые ключевые моменты.

Происхождение роев:

В 1963 году исследователи Хамид и Юссеф предположили общее происхождение Квадрантид и дельта-Акварид, так как их плоскости орбит и расстояния перигелия были почти одинаковы 1300-1400 лет назад [151]. Расчет физических свойств метеороидов данных потоков впервые осуществлял М. Нарзиев [67], согласно которому физические характеристики метеорных тел, принадлежащих метеорным потокам Квадрантид и дельта-Акварид, оказалось схожими.

Исследования, которые в 1979 году осуществили П. Уильямс, Карл Д. Мюррей и Дэвид В. Хьюз, подтвердили предыдущие результаты исследования относительно событий 1500 лет назад [152]. Наклонение и расстояние перигелия 3000 лет назад были схожи с сегодняшними оценками.

Метеорные тела двигались по одной орбите 1690-1300 лет назад, разделились и соединились снова только 150-200 лет назад. Родительская комета, вероятно, подверглась двум мощным разрушениям 1300 и 1690 лет назад [152].

Будущее роя Квадрантид:

Исследование 1979 года прогнозировало, что наклонение останется около 72°, а расстояние перигелия в конечном итоге превысит 1 а.е. Земля больше не будет встречаться с роем после 2400 года [152].

Фотографическая орбита метеоров была рассчитана на основе 25 метеорных орбит, опубликованных в различных источниках.

Орбита радиолокационного потока была определена на основе данных, полученных по Гарвардскому радиопроекту в 1961-1965 годах. Результаты исследований радиантов и орбит метеорного потока Квадрантид по результатам видео- и радиолокационных наблюдений подробно изложены в работах [30, 74, 106, 111, 153].

2.5.1. Идентификация метеорных потоков и ассоциаций за январь месяц

Напомним, что в январе непрерывное круглосуточное радионаблюдение метеоров в ГисАО проводилось в два периода. Первый период охватывал наблюдения с 1 по 16 января [15] (включая период действия известного ежегодного метеорного потока Квадрантид), а второй период - с 18 до 31 января 1970 г. Идентификация метеороидных потоков и ассоциаций вначале проводилась графическим методом, то есть путем построения двухмерного распределения по координатам радиантов, фильтрации по скоростям, и впоследствии с применением D_{SH}-критерия Саутворта–Хокинса [73] и D_H-критерия Йопека [116]. Результаты двухмерного распределения метеоров по прямому восхождению и склонению приведены на рисунке 2.6.

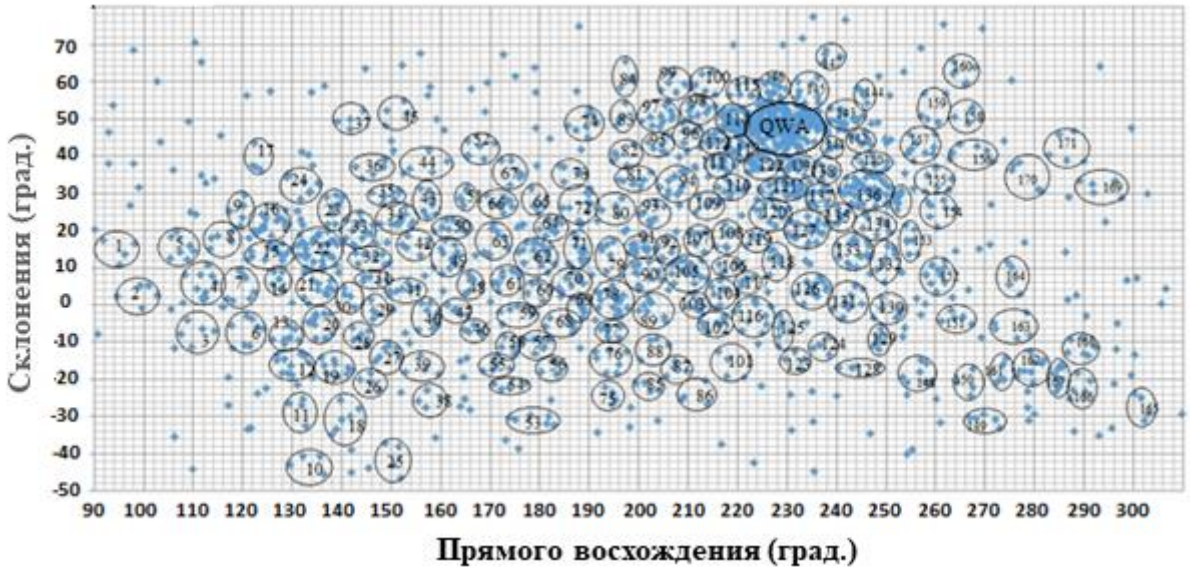

Рисунок 2.6. – Двухмерное распределение метеоров по прямому восхождению и склонению для периода наблюдений с 1 по 16 января

В гистограмме четко выделяется концентрация радиантов Квадрантид (обозначенное QUA). Форма двухмерного распределения метеороидов по координатам радиантов для потока Квадрантид похожа на эллипсоид, что связано с суточным смещением радианта.

На рисунке 2.6, наряду с областью радиантов метеороидов потока Квадрантид, наблюдается еще большее количество скоплений радиантов. Нумерация скоплений радиантов произведена по мере увеличения прямого

восхождения. Общее количество выделяемых скоплений радиантов графическим методом составляет 172 группы. Каждое скопление распределения радиантов метеоров отличаются друг от друга по форме и диаметрам.

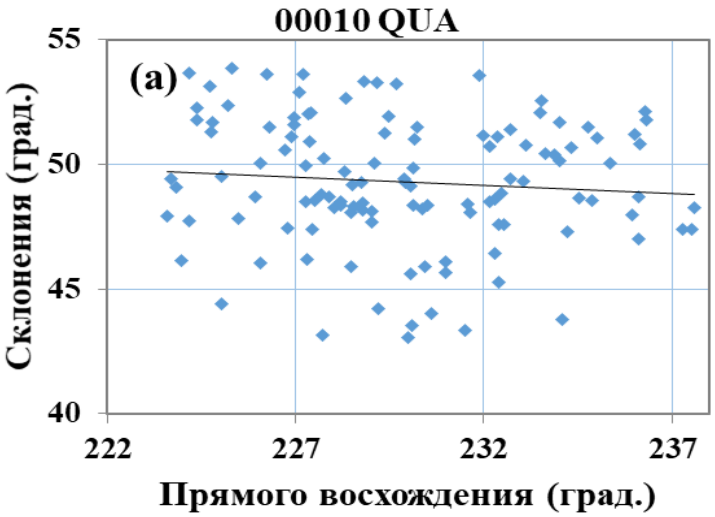

Рисунок 2.7. – Площадь координат радиантов потока Квадрантид

Геоцентрические радианты Квадрантид представлены на рисунке 2.7. Координаты радиантов и их суточные вариации определялись как по координатам отдельных радиантов, так и по координатам, усредненным до 1° долготы Солнца. На основе этих данных были определены координаты средних геоцентрических радиантов и суточное смещение радианта. Эти данные представлены в таблице 2.3, которая также включает значения из других наблюдений за Квадрантидами.

Таблица 2.3 – Средняя величина радиантов и суточного смещения для метеорного потока Квадрантид с использованием данных различных наблюдений

Наблюдения	α_R, [град]	δ_R , [град]	$\lambda_\odot$, [град]	$\Delta\alpha_R$, [град]	$\Delta\delta_R$, [град]	Источник
РЛ наблюдения	231.7	48.5	283.5	0.72	-0.55	Brown et al., 2008
ТВ наблюдения	230.0	49.0	283.1	0.15	0.17	SonotaCo, 2009
РЛ наблюдения	231.5	48.5	283	0.78	-0.38	Brown et al., 2010
ТВ наблюдения	230.2	49.5	283	0.56	-0.25	Jenniskens et al., 2016
ТВ наблюдения	230.0	49.8	283.4	0.86	-0.09	Shiba, 2022.
РЛ наблюдения	**229.9**	**49.3**	**283.4**	**0.6**	**-1.1**	**Настоящая работа**

Наши результаты по среднему радианту Квадрантид и суточному смещению радианта согласуются с данными других исследований. Согласно нашим наблюдениям, суточное смещение радианта составляет $\Delta\alpha_R$=0.6° и $\Delta\delta_R$=-1.1°, а максимальная активность Квадрантид приходится на долготу Солнца $\lambda_\odot$=283.4°. Координаты радиантов Квадрантид, скорректированные на эту долготу Солнца, были рассчитаны с учетом суточного смещения.

Данные о радиантах, скоростях и орбитах 976 метеоров, полученные пеленгационно-временным радиометодом в период с 18 по 31 января, использовались для идентификации метеорных потоков и ассоциаций. На рисунке 2.8 приведена гистограмма двухмерного распределения метеоров по экваториальным координатам радиантов (α_R , δ_R) для этих периода наблюдений. Здесь отмечены группы скопления радиантов, отличающиеся от спорадического фона. Как и в первом случае, группам, отделяющимся от спорадического фона, присвоены номера.

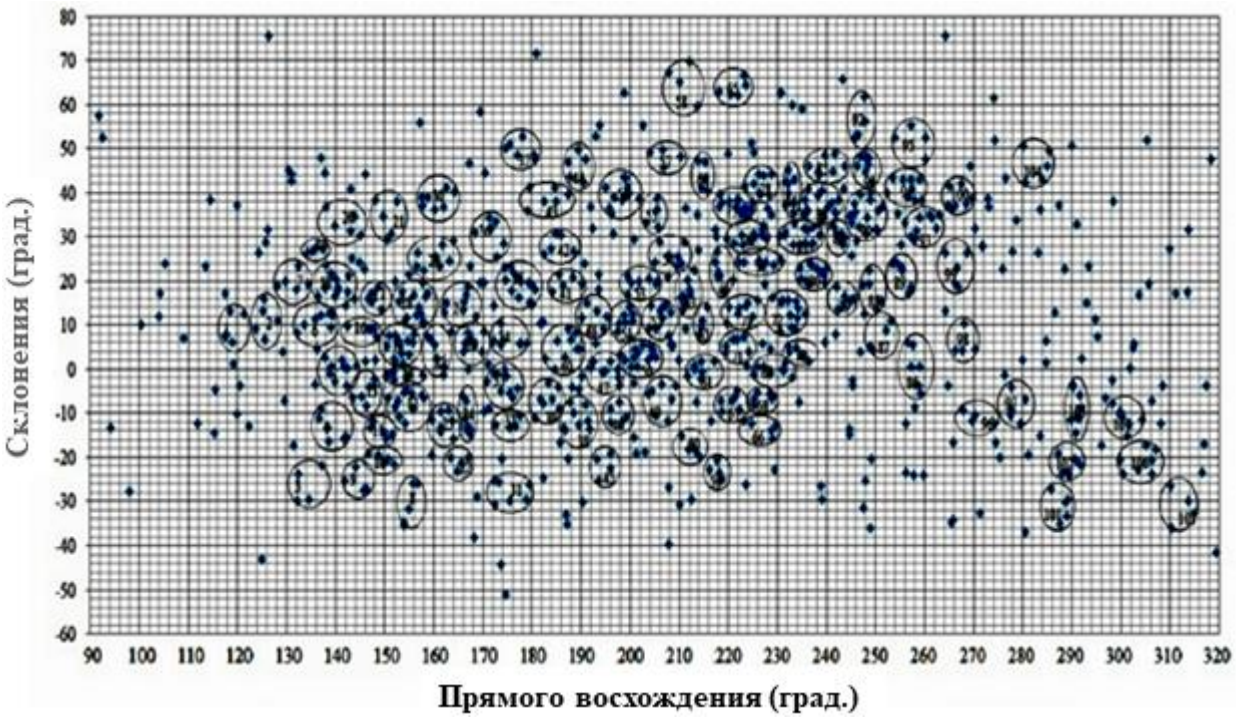

Рисунок 2.8. – Двухмерное распределение метеоров по прямому восхождению и склонению для периода наблюдений с 18 по 31 января

Далее фильтрация метеороидов с потоками и ассоциациями проводилась по скоростям. При этом те метеороиды, у которых скорость резко отличалась относительно метеороидов с близкими значениями

скоростей в группе, исключены из дальнейшей обработки. После этого для каждого потока и ассоциации вычислялись средние значения координат радиантов, скоростей и элементов орбит. Окончательный отбор метеороидов, принадлежащих к заданному потоку или ассоциации, осуществлялся с применением критериев Саутворта–Хокинса и Йопека.

При этом нами по метеороидам, входящим в заданную группу, производился расчет по выше названым критериям Саутворта–Хокинса [73] и Йопека [116]. В результате фильтрации для обеих периодов по критериям Саутворта–Хокинса и Йопека из 279 скоплений, выделяемых из спорадического фона, только 109 групп удовлетворяли указанным критериям и внесены в каталог малых потоков и ассоциаций.

При этом принято считать орбит близкими, когда величина критериев удовлетворяет условию D_{SH} [73] до 0.2 и D_H до 0.27 [116]. Некоторые члены групп, у которых критерий близости орбит превышает предельное значение $D_H = 0.25$, могут быть ассоциативно связанными с группой, согласно принятому критерию для ассоциаций $0.2 < D_H < 0.28$ [116].

На рисунке 2.9 представлены результаты подробных расчетов для каждого идентифицированного метеорного потока и ассоциации с использованием двух критериев динамического подобия: D_{SH} и D_H. Для анализа были выбраны данные за январь, что позволило оценить распределение орбитальных сходств в условиях зимней метеорной активности.

Из рисунка 2.9 видно, что значения D_{SH} для метеороидов, принадлежащих различным потокам и ассоциациям, сосредоточены в интервале от 0.06 до 0.28. Это указывает на относительно малое расхождение орбитальных элементов внутри каждой группы и подтверждает высокий уровень однородности метеороидов в пределах идентифицированных потоков. В то же время, значения D_H варьируются от 0.07 до 0.28, что также свидетельствует о тесной динамической связи объектов и подтверждает корректность применяемого критерия для разделения потоков и ассоциаций.

Следует отметить, что использование двух различных D-критериев позволяет более объективно оценивать степень орбитального сходства метеороидов. Совпадение результатов по обоим методам указывает на высокую достоверность выделенных потоков и ассоциаций, минимизирует влияние случайных ошибок и повышает уверенность в принадлежности отдельных объектов к конкретной группе.

Таким образом, анализ рисунка 2.9 демонстрирует, что выбранные критерии динамического подобия являются эффективными инструментами для идентификации метеороидов, обеспечивая надёжное разграничение потоков и ассоциаций даже при значительном объёме радиолокационных данных. Полученные результаты подтверждают возможность применения критерии D_{SH} и D_H для систематического исследования метеорного вещества в околоземном пространстве и дальнейшего сопоставления с международными каталогами.

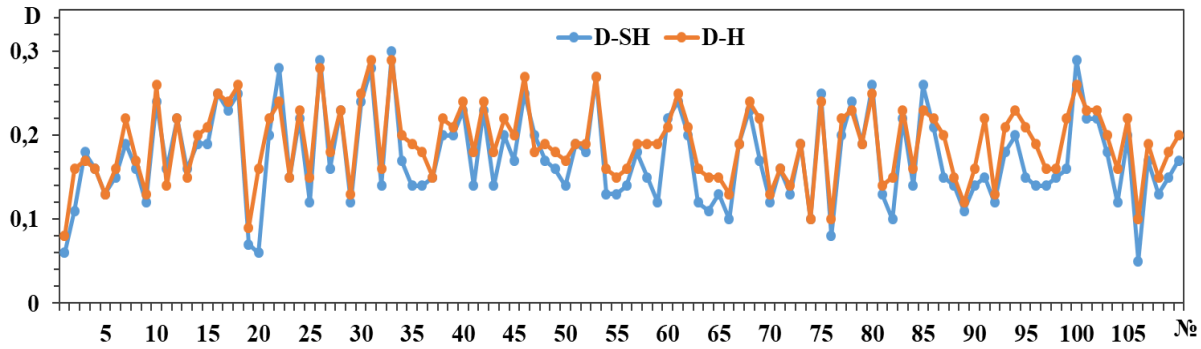

Рисунок 2.9. – Результаты вычислений D-критериев по Саутворту-Хокинсу (D_{SH}) и Йопеку (D_H) для групп метеороидов за январь

Распределение метеороидов по численности, входящей в каждую идентифицированную группу, представлено на рисунке 2.10. В анализ включены только те группы, в которых количество зарегистрированных метеоров составляет четыре и более, что позволяет избежать случайных выбросов и повышает достоверность статистических выводов.

Из рисунка 2.10 видно, что численность метеороидов в разных потоках и ассоциациях значительно варьируется. Наибольшее количество частиц, равное 120 метеороидов, принадлежит к потоку Квадрантид. Однако данный

поток не отображён на рисунке 2.10, что обусловлено особенностями масштабирования диаграммы и необходимостью фокусировки на потоках с меньшей численностью для более наглядного представления распределения.

Такое распределение позволяет выявить закономерности активности метеорных потоков и ассоциаций в рассматриваемый период наблюдений. Более многочисленные группы характеризуются устойчивой динамической структурой и высокой однородностью физических параметров метеороидов. В то же время, группы с меньшей численностью дают возможность оценить степень вариативности орбитальных и физических характеристик, а также выявить новые, ранее не зарегистрированные ассоциации.

Анализ рисунка 2.10 подтверждает, что большинство потоков состоит из ограниченного числа метеороидов, что типично для радиолокационно наблюдаемых метеорных групп. Выявление закономерностей численности объектов в потоках и ассоциациях имеет важное значение для оценки общей массы метеорного вещества, прогнозирования активности потоков и выявления потенциальных родительских тел.

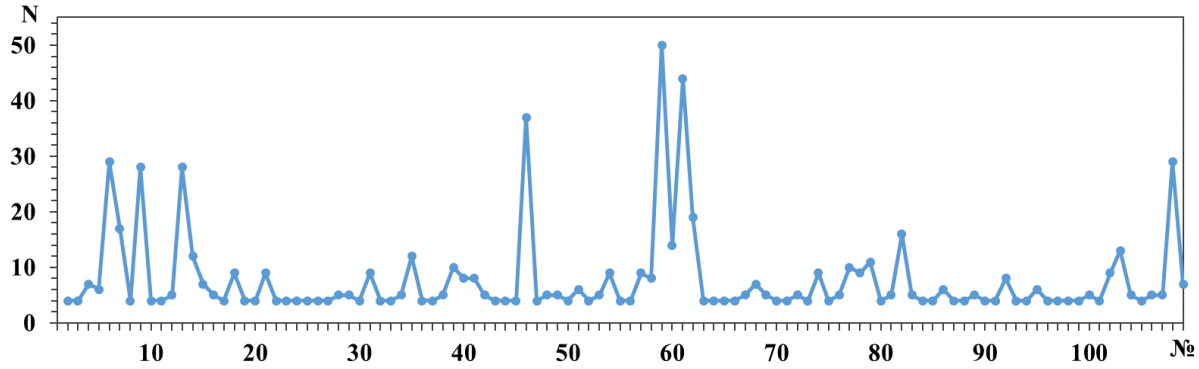

Рисунок 2.10. – Численность метеоров для каждой групп метеороидов (поток Квадрантид отсутствуют) за январь

Результаты окончательной обработки данных метеороидных групп, включая как известные потоки, так и выявленные ассоциации за январь 1970 года, представлены в виде таблицы (Приложение). Согласно приведённым данным, всего за январь были идентифицированы 109 потоков и ассоциаций. Из них 67 групп подтверждены на основе информации из базы данных ЦМД

МАС и других опубликованных исследований, что свидетельствует о достоверности проведённого анализа.

Особое внимание заслуживают 42 группы, которые не совпали ни с одной из ранее опубликованных работ и, следовательно, представляют собой новые, ранее не зарегистрированные метеорные группы. Эти результаты подтверждают эффективность применяемой методики идентификации потоков и ассоциаций, а также расширяют существующие представления о составе и динамике метеорного вещества в околоземном пространстве.

Выявление новых групп позволяет не только дополнить международные каталоги радиометеорных потоков, но и открыть возможности для дальнейшего изучения их физических и динамических характеристик, а также для определения потенциальных родительских тел. Достоверность и системность полученных данных обеспечивают надежную основу для дальнейших сравнительных исследований и практических приложений, включая прогнозирование активности потоков и оценку метеороидной опасности для космических аппаратов.

2.6. Февральские потоки и ассоциации метеороидов

В феврале активны несколько метеорных потоков: Alpha Centaurids (28 января – 21 февраля, пик 8 февраля, ZHR = 6), Delta Velids (22 января – 21 февраля, пик 5 февраля, ZHR = 1), а также слабые потоки Omicron Centaurids, Theta Centaurids и February Leonids.

Следует отметить, что в феврале с 1 по 28 числа были проведены ежедневные круглосуточные радионаблюдения за метеорной активностью. Для выявления метеорных потоков и ассоциаций использовались данные о радиантах, скоростях и орбитах 1484 метеоров, измеренных пеленгационно-временным радиометодом.

Идентификация метеорных потоков и ассоциаций, как и в [14, 15] осуществляется графически и по их скоростям, а также с применением D-критерия близости орбит Саутворта-Хокинса [73] и D-критерия близости

орбит Йопека [116]. Результаты двухмерного распределения метеоров по прямому восхождению α_R и склонению δ_R представлены на рисунке 2.10.

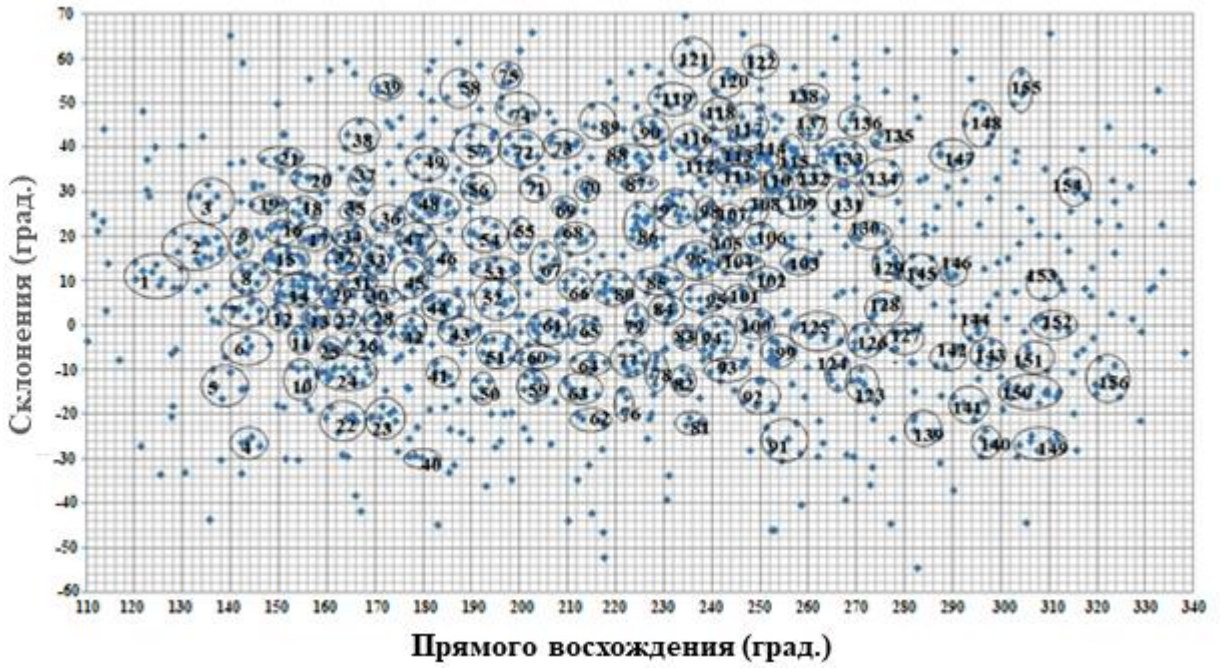

Рисунок 2.11. – Двухмерное распределение метеоров по прямому восхаждению α_R и склонению δ_R за февраль месяц

Из рисунка 2.11 очевидно большое количество скоплений радиантов, где концентрация радиантов метеоров выше по сравнению со спорадическим фоном. Каждая группа выделенных скоплений радиантов метеороидов относительно спорадического фона была пронумерована. Причем порядок нумерации скоплений радиантов осуществляется по увеличению прямого восхождения и склонения. Отделившихся скоплений радиантов графическим методом оказалось 156 групп.

Распределение радиантов метеоров в каждом скоплении отличается по форме и размеру. Размер каждой группы метеорных потоков и ассоциаций составляет до 10°x10°.

Следующий этап выявления метеорных потоков и ассоциаций основан на фильтрации по скоростям. На этом этапе метеоры, чья скорость отличается от средней скорости в каждой группе, исключены из дальнейшей обработки. Далее для каждого группы вычислены средние значения радиантов, скоростей и элементов орбит. Последний этап выявления групп

метеороидов (потоков и ассоциаций) производился с использованием D-критериев близости орбит Саутворта-Хокинса [73] и Йопека [116].

Мы использовали D-критерии Саутворта-Хокинса и Йопека для окончательного подтверждения поточных метеоров, которые являются членами той или иной группы, и провели соответствующие расчеты. В результате расчетов с использованием указанных D-критериев близости орбит из 156 скоплений, отделенных от спорадического фона, только 74 группы соответствует указанным критериям.

На рисунке 2.12 представлены результаты расчетов для каждого метеорного потока и ассоциации с использованием D-критериев близости орбит Саутворта-Хокинса и Йопека. Из рисунка 2.12 видно, что среднее значение D-критерия Саутворта-Хокинса для метеороидов их скоплений варьируется от 0.05 до 0.25, а для D-критерия Йопека от 0.06 до 0.26. Результаты расчетов с использованием D-критериев показывают, что идентификация метеороидов для метеорных потоков и ассоциаций соответствует указанным критериям.

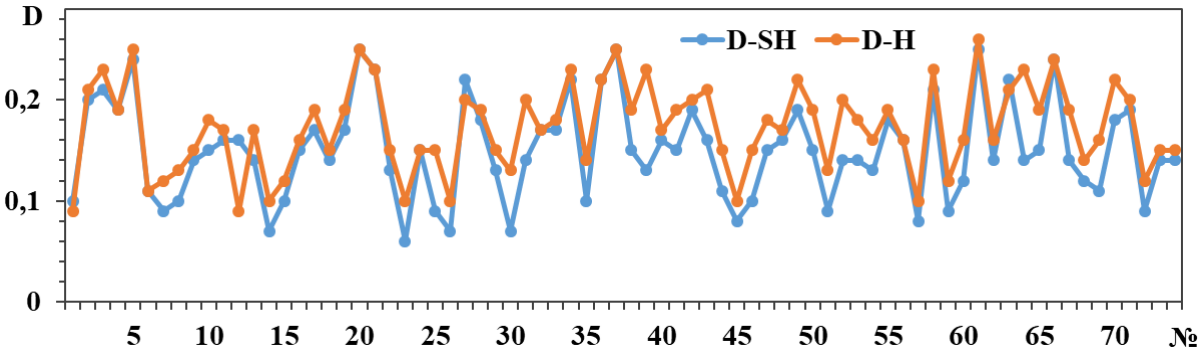

Рисунок 2.12. – Результаты вычислений D-критериев по Саутворту-Хокинсу (D_{SH}) и Йопеку (D_H) для выявленных групп метеороидов за февраль

Доля количества метеоров для каждой группы потоков и ассоциаций показана на рисунке 2.13. Из распределения очевидно, что минимальное количество в группах составляет от 4 и более метеороидов.

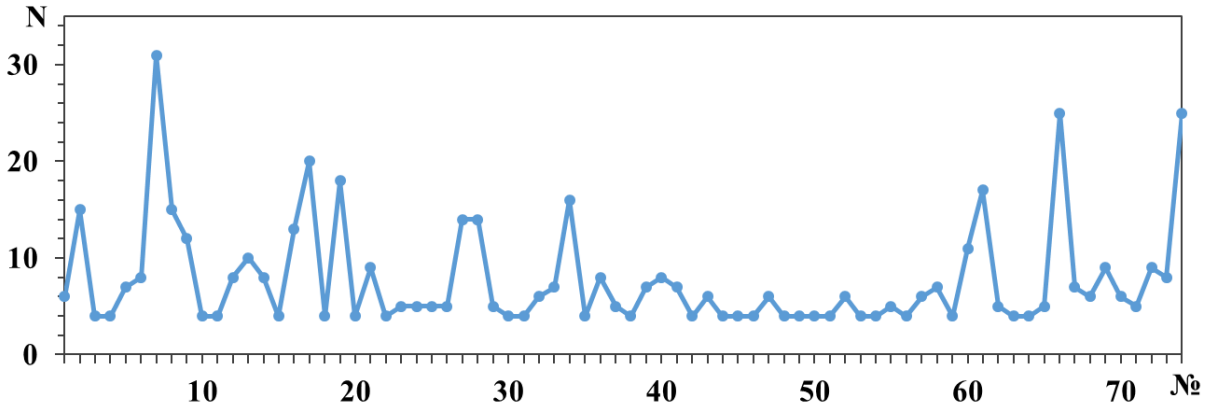

Рисунок 2.13. – Количество метеоров для каждой выявленной группы метеороидов за февраль месяц

Согласно расчетам, проведенным с использованием D-критерия Саутворта-Хокинса и D-критерия Йопека, из 156 групп, полученных графическим методом, только 74 установлены достоверно уверенно и отнесены к метеорным потокам, ассоциациям и новым группировкам. Из них 21 поток установлен по базе данных ЦМД МАС, 22 — подтверждённые ассоциации, и 31 — новая группировка.

С помощью, описанной выше методики отбора орбит метеороидов, было проанализировано 6544 зарегистрированных метеорных тел, на основании которых идентифицировано 276 групп. Включённый анализ охватывает как известные потоки, так и выявленные ассоциации.

Для каждой группы составлен подробный каталог, включающий радианты, скорости, элементы орбит и физические характеристики метеороидов. Данный каталог представлен в приложении 1 и служит основой для дальнейшего анализа физических и динамических свойств потоков и ассоциаций.

Ниже приведены градации численности метеороидов в различных потоках и ассоциациях (таблица 2.4). Использование таких градаций позволяет наглядно оценить распределение объектов по группам, выявить наиболее активные потоки и ассоциации, а также определить новые, ранее не зарегистрированные метеорные группы.

Анализ распределения численности метеороидов демонстрирует значительные различия между группами: некоторые потоки содержат большое количество частиц, что свидетельствует о высокой активности и стабильной динамической структуре, тогда как менее многочисленные ассоциации показывают вариативность характеристик и указывают на возможное наличие новых, малых потоков, требующих дальнейшего изучения.

Приведённый подход позволяет систематизировать результаты радиолокационных наблюдений, обеспечить их сопоставимость с международными базами данных и создать надёжную основу для оценки физико-динамических свойств метеорного вещества в околоземном пространстве.

Наибольшее количество орбит индивидуальных метеоров было обнаружено в составе наиболее активных главных ежегодных потоков. Так, для потока Геминид было зарегистрировано 400 орбит, что отражает его высокую интенсивность и стабильную динамическую структуру. Поток Квадрантид также характеризуется значительной активностью, включающей 120 орбит индивидуальных метеоров.

Высокая численность орбит в этих потоках позволяет не только более точно определить их радианты, скорости и элементы орбит, но и провести надежный расчёт физических характеристик метеороидов. Анализ таких активных потоков является важным этапом в изучении распределения метеорного вещества в околоземном пространстве и служит ориентиром для выявления менее изученных или новых потоков и ассоциаций.

Из 6544 метеоров 2617 (40%) были отнесены к 276 группам. Из этих 276 групп 171 можно считать достаточно достоверными. К ним относятся 2076 метеоров (32%). Следовательно, метеорные потоки составляют значительную часть метеоров, то есть до 40%.

Из 276 групп метеороидов в нашем каталоге, по крайней мере 171 (79%) подтверждаются результатами предшествующих наблюдений других

авторов и нашими измерениями. Большинство представителей этой группы можно считать достоверными метеорными потоками, в которых метеорные тела связаны общим происхождением.

Таблица 2.4. – Число групп метеороидов (потоков и ассоциаций) по числу индивидуальных метеоров в них

Число метеоров в группах	Число групп метеороидов			Число метеоров в группах	Число групп метеороидов			Число метеоров в группах	Число групп метеороидов		
	Общ. число	Поток	Ассоц.		Общ. число	Поток	Ассоц.		Общ. число	Поток	Ассоц.
4	**121**	**27**	**35**	**14**	**3**	**1**	**2**	**30**	**1**	**1**	**-**
5	**43**	**11**	**12**	**15**	**4**	**2**	**2**	**31**	**1**	**-**	**1**
6	**16**	**4**	**3**	**16**	**3**	**1**	**2**	**32**	**1**	**-**	**1**
7	**14**	**5**	**5**	**17**	**2**	**2**	**-**	**37**	**1**	**1**	**-**
8	**15**	**5**	**4**	**18**	**2**	**1**	**1**	**42**	**1**	**1**	**-**
9	**14**	**7**	**4**	**19**	**2**	**1**	**1**	**44**	**1**	**-**	**1**
10	**8**	**3**	**3**	**20**	**1**	**1**	**-**	**50**	**1**	**1**	**-**
11	**4**	**2**	**1**	**25**	**2**	**1**	**1**	**120**	**1**	**1**	**-**
12	**5**	**1**	**4**	**28**	**2**	**1**	**1**	**400**	**1**	**1**	**-**
13	**3**	**1**	**1**	**29**	**3**	**3**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

Из 105 групп метеороидов ни одна не совпадает с потоками, перечисленными в других каталогах, использованных для сравнения. Таким образом, эти группы, которые не отождествлены с другими опубликованными работами, остаются для дальнейшего исследования. В данной группе отсутствуют метеорные потоки с числом метеоров N>44 (главные метеорные потоки), и количество ассоциаций с N>13 относительно невелико. В среднем число метеоров в одной ассоциации этой группы

меньше, чем в группе отдельных потоков, даже без учета главных потоков с N>44.

Кажется, что группы ассоциированных потоков метеоров включают слабые метеорные потоки, новые и периодические потоки, которые ранее не наблюдались, а также потоки, которые ранее были замечены, но не были представлены в используемых для сравнения каталогах. Вероятно, значительная часть этих групп может быть случайными группами метеорных тел со сходными орбитами.

Итоговый результат обработки данных метеорных потоков и ассоциаций представлен в виде таблицы (Приложение).

2.7. Распределение радиантов, скоростей и элементов орбид 276 групп метеороидов

В результате редукции данных наблюдений с декабря 1969 по февраля 1970 г. пеленгационно-временным методом были измерены более 6.5 тысяч координат радиантов, скоростей и элементов орбит индивидуальных радиометеоров. Используя этот массив данных, нами идентифицированы 276 групп метеороидов, включенных в метеорные потоки и ассоциации.

При включении идентифицированных нами групп в список базы данных ЦМД МАС (ta3.sk/IAU), мы классифицируем их как метеорный поток. Если идентифицированная группа метеороидов отсутствует в списке базы данных МАС, мы классифицируем ее как ассоциацию или просто группу метеороидов. В результате оказалось, что среди 276 групп определены 86 метеорных потоков, 86 ассоциаций и 105 групп метеороидов. Среди установленных (86 потоков) метеорных потоков 22 потоков входят в список подтвержденных в базе данных МАС, 60 потоков входят в рабочий список базы данных МАС и 1 поток в список кандидатов для подтверждения в базе данных МАС, а 3 поток в список удалёный в базе данных МАС. Мы обнаружили 85 ассоциации, которые совпадают с результатами, полученными в работах [9, 10, 38, 67, 92, 114, 154-156]. Они отнесены к

новым потокам. Оставшиеся 105 группы метеороидов не были отождествлены и требуют дальнейшего исследования (подтверждения).

Распределение метеороидных потоков и ассоциаций по небесной сфере, представленное на рисунке 2.14, демонстрирует, что большинство выявленных групп сосредоточено в северном полушарии. Вместе с тем, были обнаружены и несколько южных потоков и ассоциаций, что указывает на более широкое пространственное распределение метеорного вещества.

Анализ склонений метеороидных групп показал следующее:

- 190 групп имеют склонение в диапазоне от +5° до +75°, что подтверждает их преобладание в северном полушарии;
- 44 группы расположены вблизи экваториальной зоны с склонениями от +5° до -5°;
- оставшиеся 42 группы имеют склонение от -5° до -35°, соответствуя южной небесной сфере.

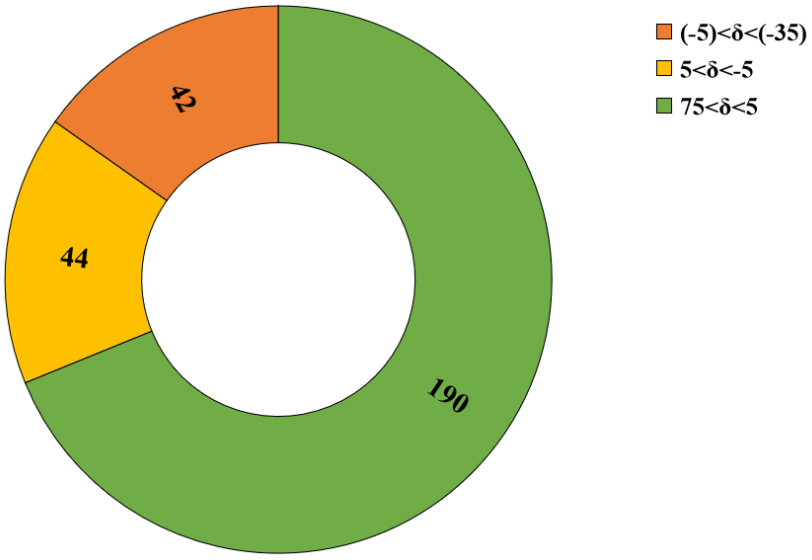

Рисунок 2.14. – Распределение метеорных потоков и ассоциаций по двум небесным полушариям

Такое распределение позволяет сделать вывод о характере пространственной активности метеорных потоков и ассоциаций, выявленных по результатам радиолокационных наблюдений. Преобладание северных потоков связано с географическим положением наблюдательной станции и особенностями орбитальных элементов родительских тел. Наличие южных

потоков указывает на возможность изучения метеорного вещества в южной части небесной сферы и подтверждает важность дальнейших наблюдений для полного картирования метеорной активности.

Распределение метеорных потоков и ассоциаций, а также новых (неотождествлённых) групп метеороидов по прямому восхождению и склонению представлено на рисунке 2.15. Из гистограммы распределения по склонениям следует, что радиокомплекс МИР-2 в отличие от данных, полученных в Харькове, Обнинске и Оттаве, способен регистрировать группы метеороидов (включая потоки и ассоциации) со склонениями более -30°.

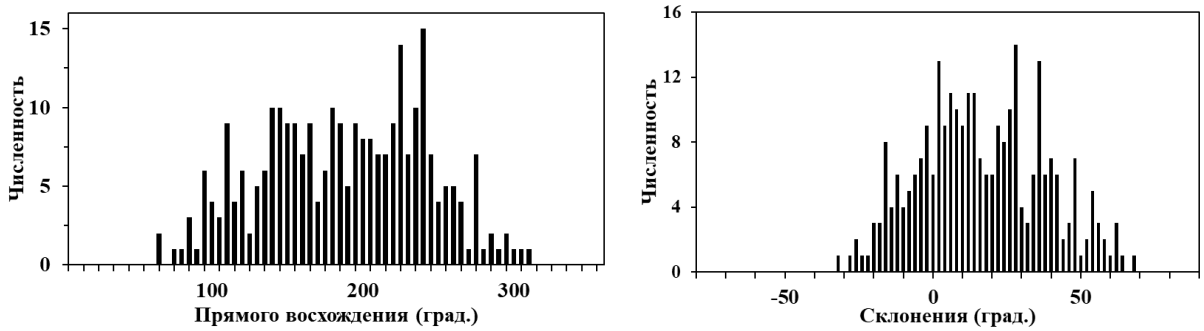

Рисунок 2.15. – Распределение групп метеороидов, включащыхся метеорных потоков и ассоциаций по прямому восхождению и склонению в геоцентрической системе координат

Рисунок 2.16. – Двухмерное распределение радиантов (по прямому восхождению и склонению) для 276 групп метеороидов

Двухмерное распределение радиантов по прямому восхождению и склонению показывает, что метеорные потоки и ассоциации выявленные по результатам радионаблюдений в ГисАО за зимний сезон года, расположены по обеим небесным полушариям. Причем из рисунка 2.16 следует, что большинство групп метеороидов расположены в северном полушарии. Южные метеорные потоки и ассоциации имеют склонения более -30°.

Радиолокационные и оптические наблюдения метеоров ярче $+5^m$ дают почти близкие распределения эксцентриситетов орбит метеорных тел. Орбитальный эксцентриситет, определяющий форму орбиты, линейно увеличивается в диапазоне от 0.2 до 0.8, как показано на рисунке 2.17, при этом большинство (67%) групп метеороидов имеют эксцентриситет от 0.8 до 1.0. Примерно 0.008% орбит, которые мы получили, оказались гиперболическими, и это во всяком случае можно связать с погрешностями измерения.

Вероятность столкновения с Землей метеорных тел, движущихся по разным орбитам, особенно сильно сказывается на измеренных распределениях орбит по перигелийным расстояниям и наклонам. В распределении орбит по перигелийному расстоянию q по результатам радиолокационным измерений орбит метеоров в ГисАО очевидно наличие двух максимумов в функции распределения: 0.2<q<0.4 a.e. и 0.9<q<1.0 a.e (рисунок 2.18).

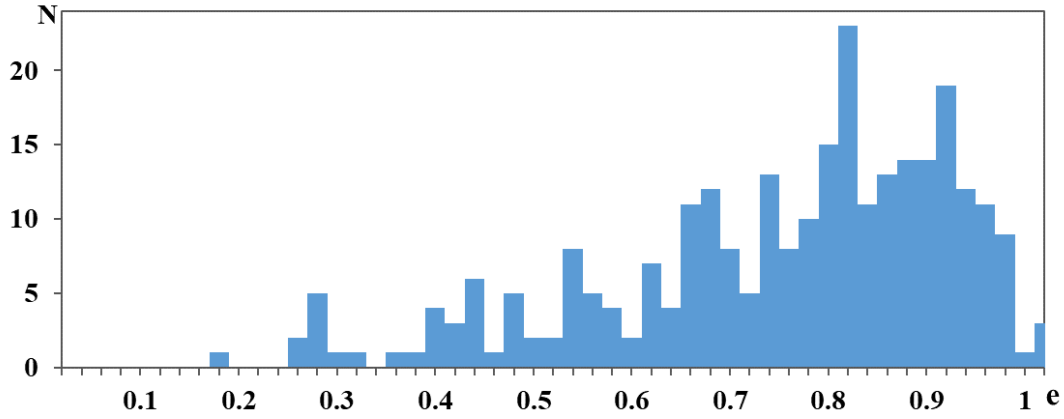

Рисунок 2.17. – Распределение эксцентриситетов *e* орбит для выявленных групп метеороидов.

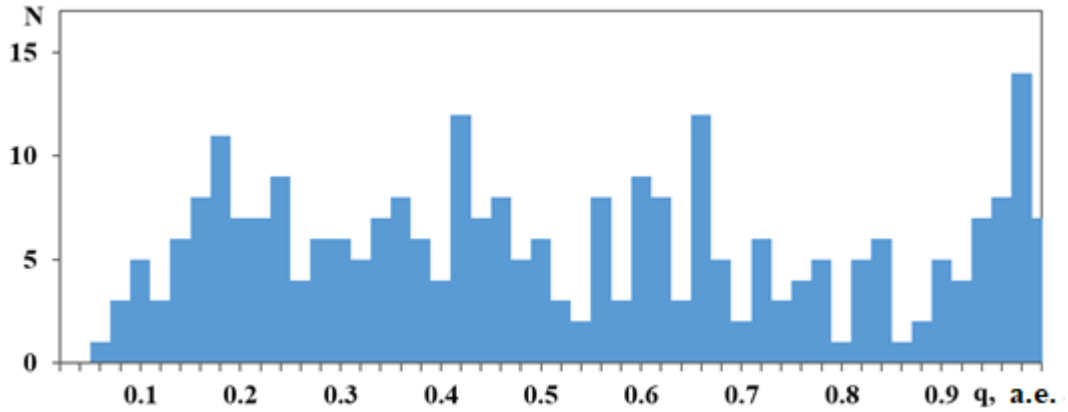

Рисунок 2.18. – Распределение перигелийного расстояния q орбит для выявленных групп метеороидов.

На рисунке 2.19 отображено измеренное распределение орбит групп метеороидов по углам наклона орбит i. Анализ распределения наклонений орбит метеороидов в потоках и ассоциациях свидетельствует о неоднородном сосредоточении i их во всех интервалах от 0° до 180°. Число орбит увеличивается при i<20° и уменьшается в интервале 85°<i<140°. Отсюда очевидно, что большое количество орбит имеют малое наклонение. Большое число орбит с малыми наклонами объяснятся главным образом астрономической селекцией (вероятность встречи метеорного тела с Землей пропорциональна cosec i).

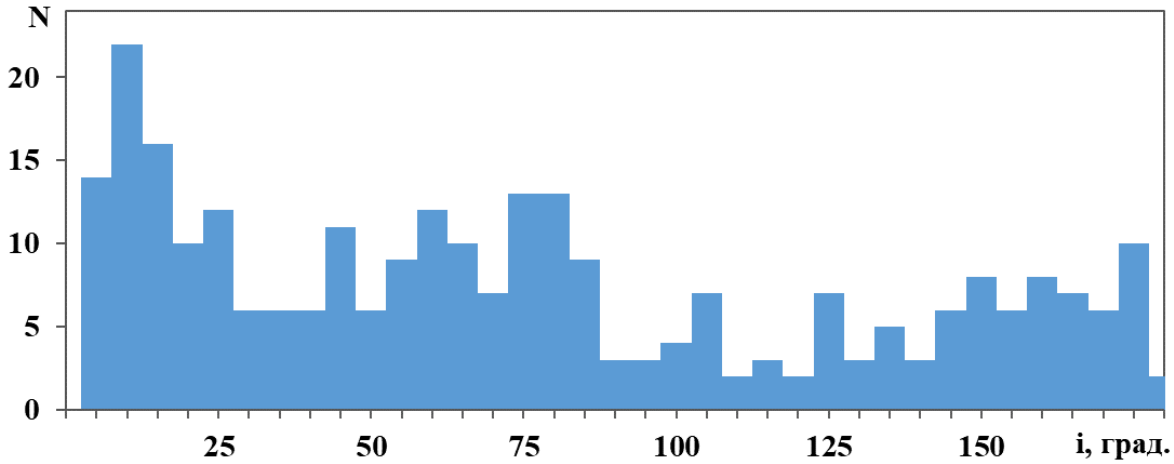

Рисунок 2.19. – Распределение наклонов орбит i для выявленных групп метеороидов.

Для определения типа орбит, помимо эксцентриситета и наклона, используется постоянная Тиссерана Tj. Если её значение удовлетворяет условию Tj<3.12, то орбита классифицируется как кометоподобная, а если

Tj>3.12, то она относится к астероидному типу. Согласно рисунку 2.20, 50% потоков и ассоциаций движутся по кометоподобным орбитам. Несмотря на это, по значению постоянной Тиссерана большинство этих объектов имеют кометное происхождение.

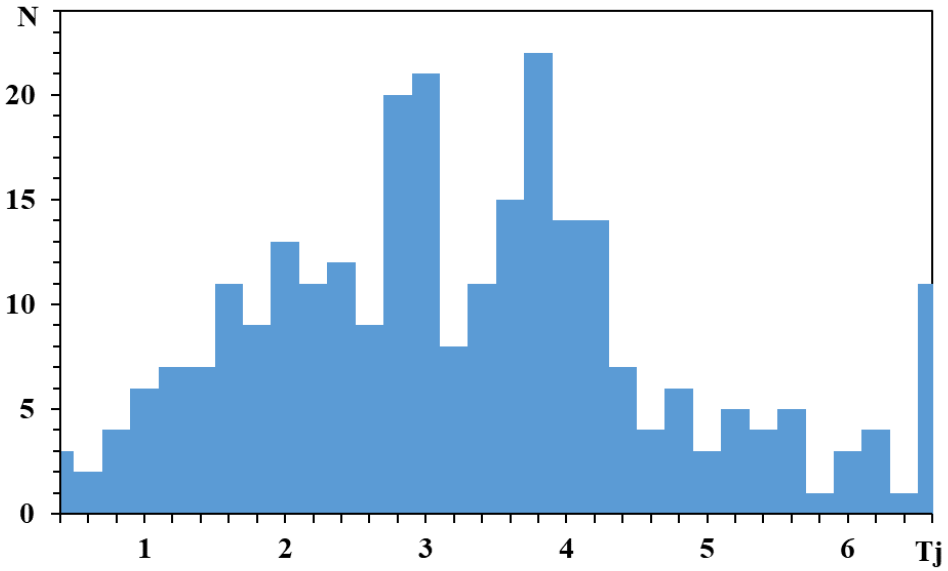

Рисунок 2.20. – Распределение постоянная Тиссерана Tj для выявленных групп метеороидов.

Таким образом, было получено 6.5 тысяч орбит метеорных тел меньшего размера, создающих метеоры яркостью более $+5^m$ и было обнаружено значительное разнообразие орбит. Были выявлены орбиты с a<1 а.е., почти круговые орбиты, а также некоторое количество орбит с низкими эксцентриситетами и большими наклонами. Тем не менее, большинство орбит все еще относились к двум упомянутым типам кометных орбит.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

Во второй главе диссертации проведён всесторонний анализ метеороидов на основе регистрации 6544 радиометеоров с использованием пеленгационно-временного радиометода в декабре 1969 года, январе и феврале 1970 года. Основная цель исследования заключалась в идентификации метеороидов с метеорными потоками и ассоциациями, а также в изучении их распределения по небесной сфере. Для этого применялся трёхступенчатый метод анализа, включающий графический

метод выявления скоплений радиантов, анализ распределения скоростей метеороидов и использование D-критериев Саутворда–Хокинса и Йопека для оценки близости орбит.

В ходе графического анализа выявлено 631 групповое скопление радиантов, что позволило предварительно выделить потенциальные потоки и ассоциации метеороидов. Применение D-критериев для оценки близости орбит обеспечило окончательный отбор устойчивых потоков и ассоциаций, в результате чего было идентифицировано 276 групп метеороидов, включающих 86 известных метеорных потоков, 85 ассоциаций и 105 новых групп метеороидов, которые ранее не были описаны. Среди установленных потоков 22 признаны подтверждёнными, 60 включены в рабочий список, один поток является кандидатом на подтверждение, а три потока были исключены из базы данных.

Выявленные 85 метеорных ассоциаций совпадают с результатами ранее опубликованных исследований и могут быть предложены для дальнейшей проверки и возможного подтверждения в качестве новых потоков. Этот результат демонстрирует высокую эффективность применения комбинированного подхода к идентификации метеороидов и подтверждает возможность выявления ранее неизвестных групп с использованием радионаблюдений.

Анализ пространственного распределения 276 групп метеороидов и ассоциаций показал, что 190 групп находятся в северной части небесной полусферы, где их склонение варьируется от 75° до 5°. 44 группы расположены вблизи экватора (от 5° до -5°), а 42 группы — в южном полушарии (от -5° до -35°). Такое распределение указывает на наличие выраженной асимметрии в расположении метеороидных потоков, что может быть связано с ориентацией их орбит относительно плоскости эклиптики, а также с закономерностями происхождения и динамического эволюционирования метеороидов в Солнечной системе.

Кроме того, результаты анализа показывают, что выделенные новые группы метеороидов представляют интерес для дальнейшего изучения, поскольку они могут быть связаны с неизвестными источниками метеороидов или с разветвлёнными ветвями уже известных потоков. Идентификация этих потоков и ассоциаций не только обогащает существующую базу данных, но и создаёт основу для построения систематической классификации метеороидов, учитывающей их динамические характеристики, скорости и пространственное распределение.

Таким образом, вторая глава диссертации демонстрирует эффективность интегрированного подхода к исследованию метеороидов, который сочетает графический анализ, оценку скоростей и орбитальную близость. Полученные результаты позволяют:

1. Выделять устойчивые группы метеороидов, отличать их от случайных скоплений.
2. Классифицировать потоки по степени подтверждённости и выявлять новые, ранее не описанные группы.
3. Анализировать пространственное распределение потоков и ассоциаций в северном, экваториальном и южном небесных полушариях, что важно для понимания динамики метеороидов и их источников.

В совокупности, данные исследования создают методологическую основу для дальнейшего изучения метеорных потоков, предоставляют практические инструменты для их систематизации и служат фундаментом для последующих разделов диссертации, посвящённых изучению динамики и эволюции метеороидных ассоциаций.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ И АССОЦИАЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ТАДЖИКИСТАНЕ

3.1. Определение данных атмосферной траектории метеора, величины линейной электронной плотности и радиовеличины 6544 радиометеоров, наблюденных в ГисАО

Вопросы исследования структуры, природы метеороидов относятся к ключевым задачам метеорной астрономии. Данные о структуре и природе метеороидов необходимы для конструирования космических летательных аппаратов и обеспечения безопасности их полетов в космическом и межпланетном пространстве, а также решения ряда прикладных и теоретических задач метеорной астрономии, космонавтики, космогонии, геофизики и распространения радиоволн. Наряду с радиантами и скоростями индивидуальных метеоров необходимо также иметь информацию об их природе. Одним из информативных и надёжных методов получения информации о физико-кинематических характеристиках метеороидов основан на данных радиолокационных наблюдений метеоров, так как он проводится в любых погодных условиях, независимо от сезона года и метеорологических условий.

Ранее физические свойства метеороидов, принадлежащих некоторым главным ежегодным метеорным потокам, были изучены как по результатам базисных оптических, так и частично результатам радиолокационных наблюдений. Однако физические свойства метеороидов в большинстве метеорных потоков и ассоциаций (особенно дневных) изучены недостаточно. Вместе с тем в большинстве случаев радиолокационные наблюдения метеоров проводятся с короткой базой или с одного пункта. А современная физическая теория метеоров вообще не применима для редукции данных радиолокационных наблюдений метеоров, зарегистрированных с одного пункта. Эти проблемы наиболее плотно исследовалось в работах [157-159] и

впервые внедрены для расчета физических характеристик 8916 метеороидов, входящих в Каталог радиометеоров, зарегистрированных в ГисАО.

Физические характеристики метеороидов, включая величину, линейную электронную плотность, звездные радиовеличины, массы и впервые плотности метеороидов для значительного массива данных метеоров, которые наблюдались в периоды декабря, января и февраля месяцев, исследованы в данной диссертации. Вычисления осуществляли согласно методическим рекомендациям, которые приведены авторами в работе [13]. Для каждого метеора с пленки измерялась длительность радиоотражения и по методике, изложенной выше, определялись высоты центрального пункта. По измеренным значениям длительности радиоэхо и данным, полученным по высоте центрального пункта, мы далее определяли величины линейных электронных плотностей (q) по формуле, которая рекомендована в [125, 160, 161]:

$$q = \left(\tau e^{-kt} + \frac{r^2}{4D}\right)\frac{D}{A\lambda^2}, \tag{3.1}$$

здесь τ – длительность радиоэхо, $A = \frac{e^2}{4\pi^2 mc^2} = 7.1 \cdot 10^{15}\text{см}^{-1}$, λ – длина волны; e, m – заряд и масса электрона, c – скорость света, r – начальный радиус следа и D – коэффициент амбиполярной диффузии. Для вычисления значений r, D и k использованы известные формулы [125]:

$$\left.\begin{aligned} r &= 1.47 \cdot 10^{-10} \cdot V^{0.65} \cdot \rho^{-1}, \\ lgD &= 0.079h - 6.6, \\ lgk &= 4.99 - 0.07h, \end{aligned}\right\} \tag{3.2}$$

где ρ – плотность атмосферы на высоте h. Высота точки зеркального отражения для центрального пункта наблюдения определяется по известной формуле:

$$h = R\cos Z + \Delta h, \tag{3.3}$$

здесь R – дальность до зеркальной отражающей точки следа, Z – зенитное расстояние отражающей точки на центральном пункте, Δh – поправка по

высоте, учитывающая кривизну Земли и превышение пункта наблюдения над уровнем моря.

Данные о величине линейной электронной плотности позволяют вычислить радиовеличину метеора по формуле, полученной по работам [159, 162-164] в виде:

$$m = 35 - 2.5 \lg q, \tag{3.4}$$

Результаты определения таких данных атмосферной траектории, как значения линейной электронной плотности и радиовеличины радиометеоров в виде гистограммы представлены на рисунках 3.1 и 3.2.

На рисунке 3.1 представлены результаты вычисления величин линейной электронной плотности для метеороидов, зарегистрированных в ходе радиолокационных наблюдений. Анализ показал, что рассчитанные значения логарифмов линейной электронной плотности метеоров находятся в диапазоне от 11.6 до 15.0 эл./см.

Наибольшее количество метеоров сосредоточено на гистограмме в интервале от 12.7 до 13.0 эл./см, что указывает на характерное распределение концентрации ионизации по большинству частиц. Такая концентрация значений свидетельствует о преобладании метеороидов со схожими физическими характеристиками и плотностью в пределах исследованных потоков.

Детальный анализ распределения линейной электронной плотности позволяет оценить однородность физических свойств метеороидов внутри потоков и ассоциаций, выявить наиболее активные группы с высокой ионизацией и определить диапазон масс частиц, участвующих в формировании радиолокационного сигнала. Эти данные являются важной основой для дальнейшего изучения физических характеристик метеорного вещества и сопоставления с динамическими параметрами потоков.

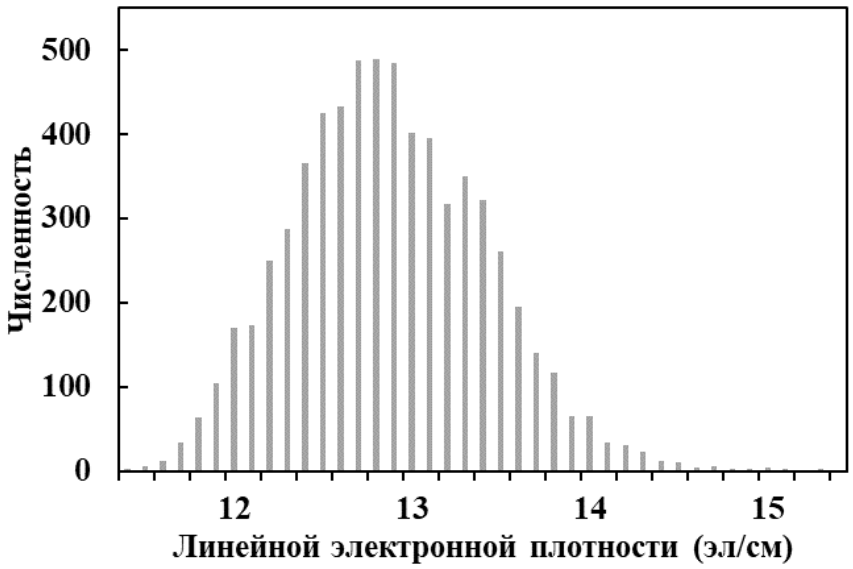

Рисунок 3.1. – Распределение 6544 радиометеоров по величинам линейной электронной плотности

Результаты анализа радиовеличин 6544 метеоров, зарегистрированных в Гиссарской астрономической обсерватории, представлены на рисунке 3.2. Выявлено, что значения радиовеличин сосредоточены в диапазоне от 0 до 5.5 mag, при этом максимальное количество метеоров наблюдается в интервале около 3.3 mag, что соответствует средним характеристикам ионизационной активности метеороидов, регистрируемых радиолокационным методом.

Анализ распределения радиовеличин обеспечивает количественную оценку численности метеоров в различных диапазонах яркости, выявление наиболее активных потоков и ассоциаций, а также сопоставление с динамическими и физическими характеристиками метеорного вещества. Полученные результаты служат надёжной основой для комплексного изучения физико-кинетических свойств метеороидов и их влияния на околоземное пространство.

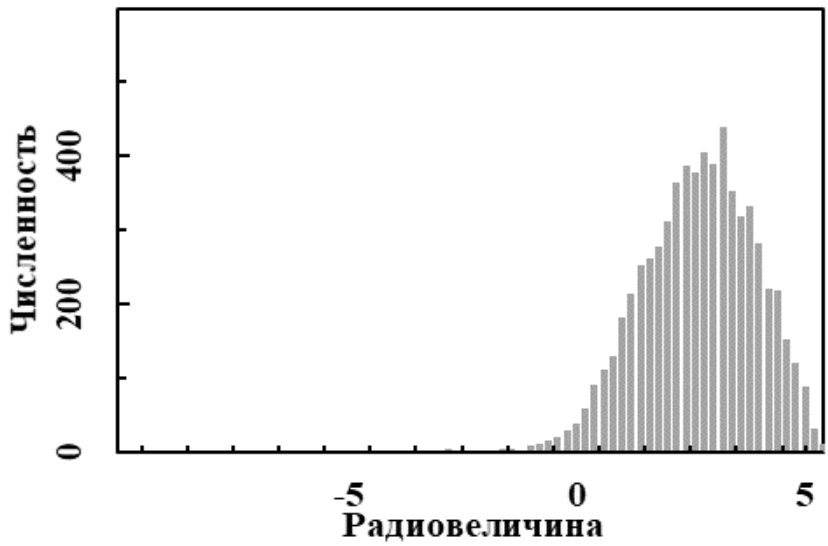

Рисунок 3.2. – Гистограмма распределения радиовеличин 6544 радиометеоров, наблюдаемых в ГисАО

Для вычисления начальной массы M и плотности δ метеорных тел использовались формулы, полученные в [125, 157]:

$$M = \frac{3\mu H^* q_m}{4\beta \cos Z_r (Q - {}^{Q_H}/_{Q} - {}^{2}/_{3} Q_H)^3}, \quad (3.5)$$

$$\delta = \gamma \left(\frac{A\lambda H^* V^2 \rho_m}{2(Q - {}^{2}/_{3} Q_H) M \cos Z_r} \right)^{3/2}, \quad (3.6)$$

где β - коэффициент ионизации; Z_r - зенитное расстояние радианта; m - масса атома метеорного вещества; H* - высота однородной атмосферы; $Q_н$ - энергия, необходимая для нагревания 1 г метеорного вещества до температуры испарения; Q - энергия, необходимая для нагревания и испарения 1 г метеорного вещества; A - коэффициент формы; λ – коэффициент теплопередачи. При расчетах (определении) масс и плотностей метеорных тел принято $\mu = 3.82 \cdot 10^{-23}$ г, $Q = 8 \cdot 10^{10}$ эрг/г, $Q_н = 2 \cdot 10^{10}$ эрг/г, A = 1.21 и λ = 1. При вычислении массы радиометеора использована зависимость коэффициента ионизации от скорости, полученная на основании данных комбинированных оптических и радиолокационных наблюдений [125]:

$$\beta = 10^{-7.73} \cdot V^{3.88}, \quad (3.7)$$

где V выражено в км/с.

Формулы (3.1) и (3.6) позволяют на основе измеренных значений высоты и длительности радиоэхо с учетом дробления и процессов деионизации вычислить массу метеоров. При расчете высоты однородной атмосферы H* в точке зеркального радиоотражения использованы следующие два полиноминальных ряда:

1) $H^* = 0.0015\,h^2 - 0.2978\,h + 19.76$, при диапазоне высот $60 < \text{H} < 89$ км.

2) $H^* = 0.007\,h^2 - 1.381\,h + 69.12$, при диапазоне высот $90 < \text{H} < 125$ км.

Формулы (3.3) и (3.6), применяемые для редукций физических характеристик радиометеоров, были проверены на основе результатов одновременных радиооптических наблюдений 59 слабых метеоров [125, 165, 166]. Эти формулы были использованы для калибровки данных радионаблюдений с результатами, полученными оптическим методом.

3.2. Распределение массы и плотности метеорных потоков и ассоциаций за период наблюдений декабря, января и февраля месяцев

Исследование физических параметров метеороидов, включая массу, плотность и структуру, важно для понимания их свойств, происхождения и эволюции. Радиолокационные наблюдения являются одним из наиболее информативных методов получения данных о физических свойствах метеороидов, наблюденных как в ночное, так и в дневное время суток. Результаты радиолокационных наблюдений позволяют: определить расстояние, продолжительность радиоэха, АВХ, фазу отраженных сигналов и ряд других параметров метеорного следа и атмосферы [162, 167-169]. Однако в большинстве случаев радиолокационные наблюдения проводятся из одного пункта, и это относится к одной отражающей точке на метеорном следе. А современная физическая теория метеоров оказалось неприменима для редукции таких данных. Это обстоятельство требовало разработки метода, который применяем для редукции данных радиоданных наблюдений, полученных с одной станции. Такая методика разработана впервые в

Институте астрофизики НАНТ [157]. При этом использовались экспериментальные отрезки ионизационных кривых метеоров, полученных с пяти пунктов в ГисАО. Несколько позже нами на основе результатов одновременных радиооптических наблюдений как слабых, так и ярких метеоров определены шкалы масс (зависимость коэффициента ионизации от скорости) и вичислены фотометрические и ионизационные массы одних и тех же метеороидов [158, 166, 170, 171].

Исходная формула (3.5), использованная нами в диссертации для вычисления массы индивидуальных метеороидов [125, 157].

Результаты вычисленных средних значений масс метеороидов, зарегистрированных в зимний сезон (декабрь, январь и февраль), приведены на рисунках 3.3- 3.5.

На рисунке 3.3 показаны результаты, свидетельствующие о том, что средние значения масс метеороидов в группах за декабрь находятся в интервале $2.5 \cdot 10^{-4} \div 0.063$ г. Результат анализа данных масс показал, что у 76% групп средние значения масс находятся в диапазоне от 0.001 до 0.01 г. Для 20% групп средние значения масс находятся в интервале от 0.01 до 0.063 граммов, а 4% метеороидов из групп имеют средние значения масс менее 0.001 г.

На рисунке 3.4 представлено распределение средних значений масс метеороидов в потоках, ассоциациях и новых группах (неотождествлённых) за январь, сосредоточенных в диапазоне от $4.44 \cdot 10^{-4}$ до $1.7 \cdot 10^{-1}$ г. Из анализа этих данных выяснилось, что для 79% групп средние значения масс находятся в диапазоне от 0.001 до 0.01 г. Для 19% групп средние значения масс находятся в интервале от 0.01 до 0.17 г, в то время как 2% метеороидов из групп имеют средние значения масс менее 0.001 г.

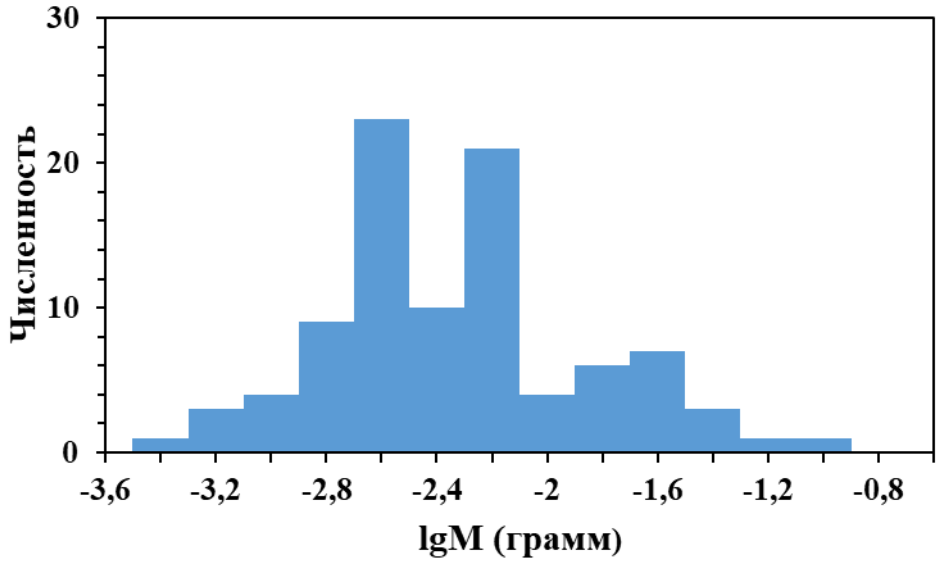

Рисунок 3.3. – Распределения средних значений логарифма масс для выявленных групп метеороидов за декабрь

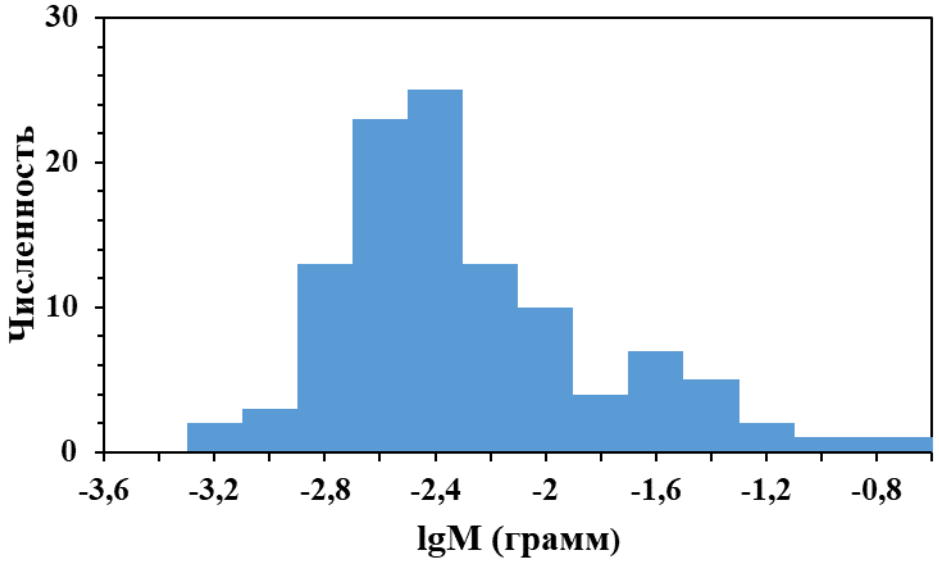

Рисунок 3.4. – Распределения средних значений логарифма масс для выявленных групп метеороидов за январь

За февраль были рассчитаны массы индивидуальных метеороидов для 74 групп (потоков и ассоциаций), результаты которых для каждой группы усреднены и представлены в виде распределения (рисунок 3.5).

На рисунке 3.5 показано распределение средних значений масс метеороидов в группах, в том числе потоков и ассоциаций, которые находятся в диапазоне от $7.26 \cdot 10^{-4}$ до $7.6 \cdot 10^{-2}$ г, большая часть (74%) которых находится в диапазоне от 0.0016 до 0.01 г. Анализы показали, что 26% групп метеороидов имеют массу более 0.01 г.

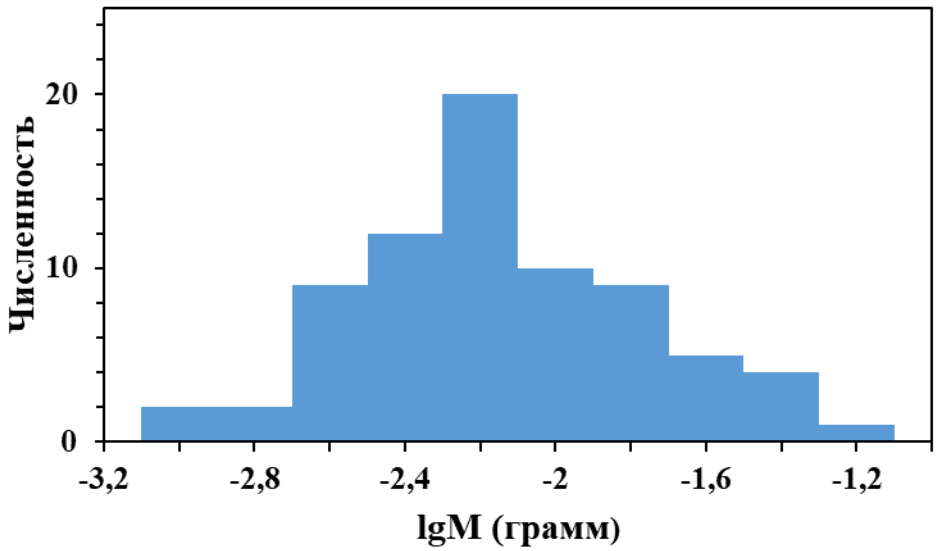

Рисунок 3.5. – Распределение средних значений lg M для групп метеороидов за февраль

Плотность индивидуальных метеороидов вычисляли по формуле (3.6) [125, 157].

Расчётные величины плотностей метеороидов в группах, включая потоки и ассоциации, были получены неоднозначными и диапазон этих величин достаточно широкий. Чтобы упростить сравнение плотностей метеороидов в различных группах, мы вычисляли их усреднённые значения. По результатам рассчётов были построены гистограммы усреднённых величин плотностей метеороидов в группах за декабрь, январь и февраль, и приведены на рисунках 3.6-3.8.

Согласно рисунку 3.6, усреднённая плотность метеороидов в группах находится в диапазоне от 0.42 до 6.47 г/см³. Как показали результаты этого этапа исследования, большинство групп (73%) метеороидов имеют средние плотности в диапазоне от более 1 до 3.8 г/см³, что соответствует углистым и обыкновенным хондритам. Для 24% групп средняя плотность метеороидов находится в диапазоне от 4 до 6.5 г/см³, что характерно для железокаменных метеоритов (палласитов и мезосидеритов). Только 3% групп метеороидов имеют кометную среднюю плотность в пределах от 0.4 до 1 г/см³.

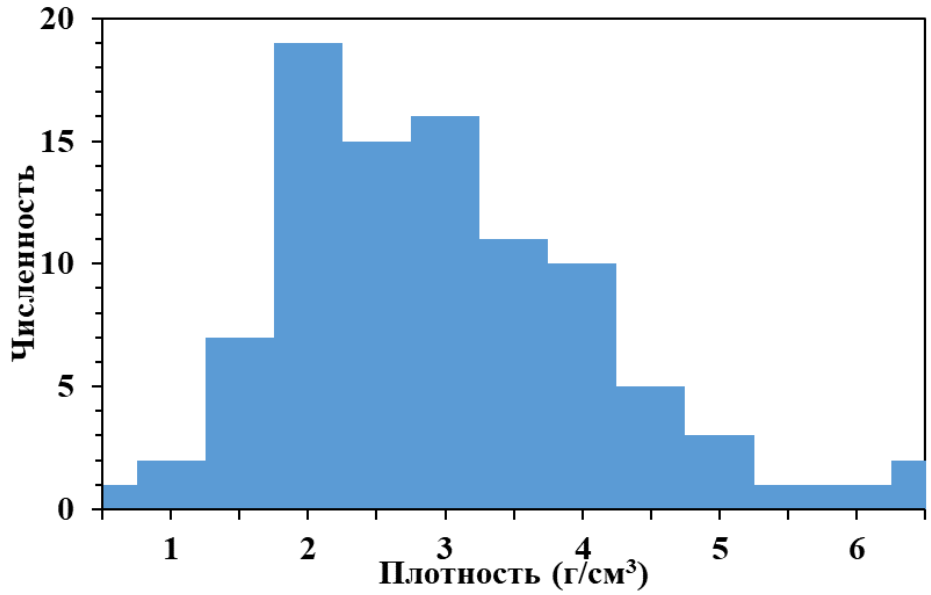

Рисунок 3.6. – Распределение средних значений плотностей метеороидов для выявленных групп метеороидов за декабрь месяц

Распределение средних плотностей метеорных тел в группах за январь, представленное на рисунке 3.7, находится в интервале от 0.33 до 6.41 г/см³. Анализ данных показал, что у 70% групп средние значения плотностей метеороидов сосредоточены в диапазоне от более 1 до 3.8 г/см³, что соответствует углистым и обыкновенным хондритам. У 13% групп средние значения плотностей метеороидов находятся в пределах от 4 до 6.5 г/см³, что характерно для железокаменных метеоритов (палласитов и мезосидеритов). 7% групп метеороидов имеют кометные средние значения плотностей в интервале от 0.3 до 1 г/см³.

Из анализа распределения средних значений плотностей метеороидов в группах следует, что они находятся в диапазоне от 0.37 до 5.37 г/см³ (рисунок 3.8). Согласно анализу, большинство групп метеороидов (78%) имеют плотности в диапазоне от более 1 до 3.8 г/см³, что соответствует углистым и обыкновенным хондритам. У 6% групп из общего числа средняя плотность метеороидов находится в диапазоне от 4 до 5.5 г/см³, что характерно для железокаменных метеоритов (палласитов и мезосидеритов). Только 16% групп метеороидов имеют кометную среднюю плотность в пределах от 0.3 до 1 г/см³.

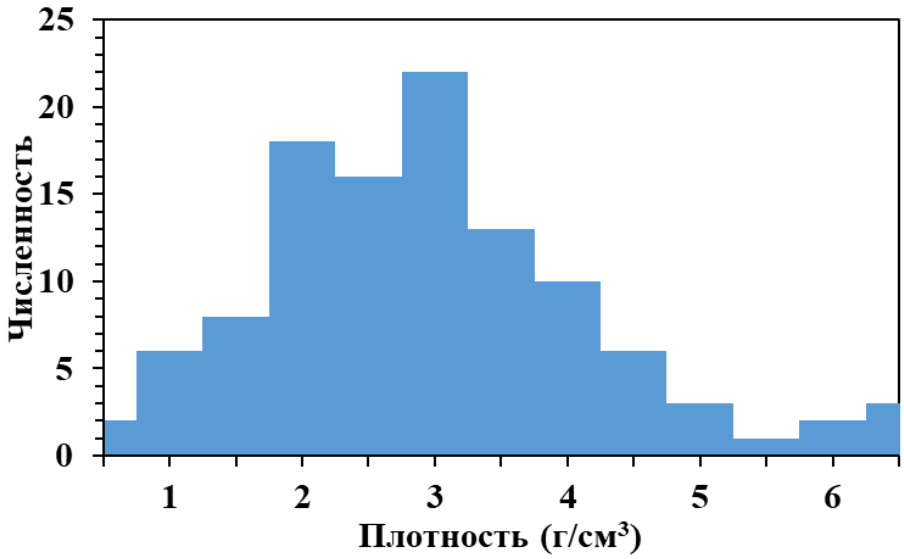

Рисунок 3.7. – Распределение средних плотностей для выявленных групп метеороидов за январь

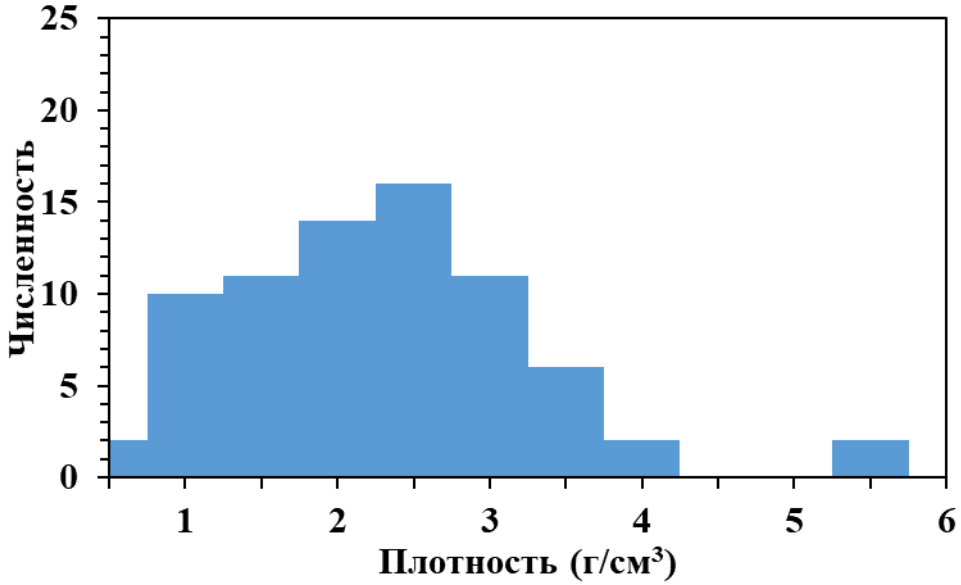

Рисунок 3.8. – Распределение средних плотностей (δ) для выявленных групп метеороидов за февраль

3.3. Определение параметров распределения метеорных тел по массам (параметр S)

При изучении потоков метеороидов и спорадического фона важной задачей представляется определение параметра S – который представляет собой параметр распределения метеорных тел по их массам. Данный параметр распределения метеорнчх тел по их массам представляет собой одну из основных характеристик - пространственно-временную характеристику, по которой проводится анализ структуры и динамики

метеорных явлений. Данные, получаемые по распределению метеорных тел по их массам необходимы в понимании процессов, которые происходят в космическом околоземном пространстве. Параметр S имеет не только фундаментальное значение в астрономических исследованиях, но и необходим при решении экспериментальных практических задач, позволяя оценивать приток метеорного вещества на земную поверхность, моделировать метеорную обстановку и прогнозировать потенциальные опасности для наземной инфраструктуры и в основном для космических аппаратов.

Параметр S можно определить несколькими методами, выбор этих методов зависит от метода наблюдений. Если наблюдения проводятся оптиместикм методом, то параметр S вычисляется по интегральным распределениям метеоров по их массам, которые, соотвественно, рассчитываются по величинам кривых блеска метеоров. Полученные кривые блеска метеоров характеризуют изменение яркости метеоров при их движении в земной атмосфере, и по ним оценивается масса тела метеоров. При использовании в наблюдениях радиолокационного метода определение параметра S проводится в основном по интегральным распределениям метеоров по их длительностям радиоэхо или их амплитудам [172-175]. Чаще всего радиолокационные методы применимы, когда необходимо регистрировать метеорные частицы с малыми массами, так как их сложно или невозможно определить с помощью оптического метода наблюдений.

Общее количество зарегистрированных метеоров принимается во внимание при расчете плотности падающего потока метеороидов, а вклад спорадического фона исключается из данных. Таким образом из общих массивов выделяются метеоры, которые относятся к опрделённым метеорным потокам, также это позволяет оценить их характеристики более точно. Для определения параметра S важно учитывать, что при максимальной активности метеорных потоков число метеоров в потоках значительно больше, чем число спорадических метеоров. Таким образом

минимизируется влияние спорадического фона на вычисленные конечные результаты.

Следовательно, изучение параметра S и распределения метеорных тел по их массам представляет собой как практическое, так и теоретическое значение. Полученные расчётные данные по параметру S позволяют понимать процессы, связанные с метеорной активностью, более углублённо, разработать защитные методы для наземной инфраструктуры и космических, предотвращать потенциальные риски, которые могут вызывать метеорные явления. Также получение данных по параметру S позволяет в уточнении закономерностей эволюции метеорных потоков, их взаимодействия с околоземной атмосферой, что необходимо при анализе и прогнозировании долгосрочных изменений в пространстве Земли.

Как правило, при использовании радиолкационных методов определения параметра S он определяется по данным, которые получают от одного наблюдательного пункта. Но данный метод не является достаточно точным и информативным, так как в нём при вычислениях не учитываются ряд важных факторов, это фрагментация метеорных тел и процессы, которые оказывают влияние на формирование кривых ионизации метеорных следов. Указанные факторы оказывают негативное влияние на форму кривой, искажают её, в результате чего в определении параметра S допускаются неточности, что в свою очередь в целом отрицательно влияет на достоверность конечных результатов.

При вычислениях параметра S, по данным авторской работы [176], в основном принимается ряд допущений, среди которых основными являются:

а) от метеорных следов радиоволны отражаются в основном от областей их максимальных ионизаций;

б) считается, что масса метеорных тел пропорциональна измеренной продолжительности или амплитуде отраженных сигналов;

в) распределение по массам метеорных тел предполагается тождественным их распределению по амплитудам радиоэхо или по их

длительностям.

Несмотря на тот факт, что указанные допущения упрощают вычисления, их применение ещё не получило должного экспериментального подтверждения. В частности, при фрагментации метеорных тел после их вхождения в околоземную атмосферу могут изменяться формы их кривых ионизации, но в стандартных моделях данный факт не принимается во внимание. Также взаимосвязь массы метеорных тел и их амплитуд или длительностей радиоэхо не всегда выражается линейной зависимостью, в основном это характеризует метеорные тела сложной структуры или при их фрагментации во входе в атмосферу Земли.

Чтобы точность определения параметра S была более точной, важно учитывать влияние указанных факторов, также необходимы дополнительные исследования по уточнению зависимостей радиолокационных характеристик и масс метеорных. Таким образом, будут минимизированы ошибки и получены адекватные достоверные результаты по распределению метеорных тел по их массам, что необходимо при изучении динамики метеорных потоков и оценки их влияния на околоземное пространство.

Для решение данной проблемы сотрудникам Института астрофизики НАНТ [157] использовались экспериментальные кривые ионизации метеоров, полученных с пяти приёмных станций в ГисАО, где в результаты внесены коррекции в формулы расчета масс и плотностей, полученных с одного пункта. Масса, рассчитанная с учетом поправочного коеэффицента равносильна значению массы, полученной по кривой ионизации метеора.

Достоверность и надежность данных параметра S, характеризующих распределение метеорных тел по их массам, полученных радиометодом, подтвердается определением параметра S на основе значений масс метеоров, рассчитанных по их кривым ионизации, отделить их от спорадического фона, ориентируясь на координаты радиантов, скорости и элементы орбит. В работе [176] для некоторых метеорных потоков был вычислен параметр S, вычисления которого проводились на основании масс метеоров,

вычисленных, в свою очередь, на основании их ионизационных кривых.

В настоящем диссертационном исследовании мы определяли параметр S на основании измеренных длительностей радиоэхо метеороидов, которые были отделены от спорадического фона, вычисления проводили по скоростям и координатам радиантов, поскольку при радионаблюдениях параметр S преимущественно вычисляется через интегральные распределения метеоров по длительности радиоэхо.

Каждый из линейных участков интегральных распределений метеоров по длительностям радиоэхо, в частности, логарифмические зависимости - lg N от lg τ, представляется следующим выражением:

$$\lg N = a - b \lg \tau,$$

здесь a=const, b − показатель интегрального распределения по длительности. Значения a и b преимущественно вычисляются для каждого потока метеоров на основании метода наименьших квадратов.

Параметр S, определяемый диссертантом по интегральным распределениям, основанным на измеренных длительностях радиоэхо для метеоров потока Геминид (4#GEM) и Квадрантид (10#QUA) составляет соответственно 1.64-1.66 и 1.74-1.76. Результаты определения параметра S для метеорных потоков Геминид и Квадрантид по различным источникам, приведены в таблице 3.1.

В [175] метеорные потоки Квадрантид и Геминид, включая их структуры, исследовались радиолокационным методом на основании систематических наблюдений метеоров, которые проводились в течение 1969-1970 годов в ГисАО. Усреднённая величина параметра S, которая была вычислена автором на основании общего количества метеоров метеорного потока Геминид и спорадического фона этого потока за рассматриваемый период оказалась равной 1.67. Величина, близкая к параметру S для Геминид, одновременно была нами рассчитана на основе интегральных распределений метеоров по длительностям радиоэхо для аналогичного периода наблюдений (1969 год). В нашем случае параметр S, в отличие от работы Исамутдинова

[175], определялся только для тех метеоров по измеренным длительностям, которые по координатам радиантов и скоростей отнесены к метеорным потокам Квадрантид и Геминид.

Таблица 3. – Параметр S для ночных метеорных потоков Геминид и Квадрантид по различным источникам

Источник	Метеорные потоки	
	Гемииды	Квадрантиды
Настоящая работа	**1.64-1.66**	**1.74-1.76**
Нарзиев [176]	1.8	1.6
Исамутдинов [175]	1.7	1.7
Белькович [173]	1.6-1.9	-
Андреев и др. [172]	1.69	1.94
Schult et al. [177]	1.64	1.56
Blaauw [178]	1.68	1.55
Reddy et al. [179]	1.64÷1.65	-

Blaauw в [178] по результатам радионаблюдений метеорного потока Геминид в 2015 году с канадского метеорного орбитального радара (CMOR) и восьми широкоугольных оптических камер Центра космических полетов Маршалла (MSFC) определил параметр индекса масс для метеорного потока Геминид, который составил 1.68±0.04.

Шулт и Броун по результатам двухгодичного цикла наблюдений головного эхо на радаре с большой апертурой MAARSY определили параметр S для метеорных потоков Геминид (GEM) и Квадрантид (QUA), которые автором приведены в таблице 3.

В исследовании Радди и др. [179] анализировались распределения метеорных сигналов по длительностям, отраженных от радара обратного рассеяния Гаданки (Индия) для трех групп длительности радиоэхо: T<0.4, T=0.4–1 и T>1 с в 2008 году. Авторы определили индексы массы S для метеорного потока Геминид, результаты приведены также в таблице 3.1.

Полученные результаты подтвердили надежность вычисления параметра S по интегральным распределениям метеорных тел по длительностям радиоэхо, при учёте фрагментации метеороидов и процессов деионизации. Как видно из таблицы 3, величины параметра S, вычисленные для ночных метеорных потоков Геминид и Квадрантид, варьируются в пределах от 1.5 до 1.8.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

В третьей главе диссертации проведён комплексный анализ физических характеристик метеороидов, зарегистрированных пеленгационно-временным радиометодом за декабрь, январь и февраль, с целью выявления их масс, плотностей и распределения по структуре и составу. Для всего массива данных радиометеоров были рассчитаны линейная электронная плотность, радиовеличины, массы и плотности. Средние значения масс метеороидов находятся в диапазоне от 2.54×10^{-4} до 1.675×10^{-1} г, что позволяет охарактеризовать их как преимущественно мелкие и средние частицы, способные создавать наблюдаемые радиосигналы при прохождении через атмосферу.

Для потоков Геминид и Квадрантид выполнено определение параметров распределения метеорных тел по массам (S), что позволило отделить их от спорадического фона на основе координат радиантов и скоростей. Значения параметра S составляют 1.64–1.66 для Геминид и 1.74–1.76 для Квадрантид, что свидетельствует о характерной массоразмерной структуре этих потоков.

Плотности метеороидов в потоках и ассоциациях распределены в диапазоне от 0.33 до 6.47 г/см³, что указывает на широкий спектр состава и пористости частиц. Детальный анализ показал, что примерно 9% метеороидов имеют плотности от 0.3 до 1 г/см³, что характерно для кометоподобных структур с высокой пористостью, состоящих преимущественно из льда и пыли. Эти метеороиды могут быть связаны с активными кометами и являются ценными для изучения первичной химии

Солнечной системы.

34% групп метеороидов обладают средними плотностями от более 1 до 2.2 г/см³, что соответствует углистым хондритам (CI, CM, CR, CO, CV, CK, CH, CB). Такие метеороиды богаты углеродом, содержат водные минералы и представляют собой одни из самых примитивных и химически сложных объектов, сохранившихся со времени формирования Солнечной системы.

Наибольшая часть — 44% потоков и ассоциаций — имеют плотности от более 2.2 до 3.8 г/см³, что соответствует обыкновенным хондритам (H, L, LL). Эти метеороиды состоят преимущественно из силикатов и никелистого железа и являются наиболее распространёнными среди метеоритов, наблюдаемых на Земле.

Оставшиеся 13% метеороидов представляют собой железокаменные объекты, включая палласиты и мезосидериты, со средними плотностями от более 4 до 6.5 г/см³. Они представляют собой смесь металла и силикатов и являются переходной формой между железными и каменными метеоритами. Их присутствие в потоках указывает на сложность формирования метеороидов и наличие разнообразных источников происхождения.

В целом, проведённый анализ физической структуры метеороидов показывает разнообразие состава, плотности и массовых характеристик в пределах отдельных потоков и ассоциаций. Эти результаты позволяют не только классифицировать метеороиды по типу материала и пористости, но и делать выводы о их происхождении, динамике и вероятной связи с кометами или астероидами. Полученные данные являются важной основой для дальнейшего исследования эволюции метеороидных потоков, оценки их опасности для космических объектов и разработки методов наблюдений и мониторинга метеоров в будущем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были проведены исследования по выявлению и идентификации метеорных потоков и ассоциаций радиолокационным методом на основе наблюдений, проведенных в ГисАО. Основные результаты, полученные в диссертации, сформулированы в виде следующих **выводов**:

1. Проведено измерение радиантов, скоростей и элементов орбит для 6544 метеоров ярче +5 звездной величины, с использованием пеленгационно-временного радиометода. Для этих радиометеоров проведено определение атмосферных траекторий, которые фиксировались с 4-х пунктов в ГисАО [1-А, 6-А, 13-А, 14-А].

2. Проанализированы результаты по двухмерному распределению радиантов, скоростей и элементов орбит метеоров, а также данных атмосферных траекторий радиометеоров ярче +5 звездной величины [1-А, 6-А, 13-А, 14-А].

3. Обнаружено, что в распределении геоцентрических скоростей 6544 радиометеоров наблюдаются два максимума. Первый максимум приходится на интервал 35–40 км/с, а второй - на диапазон 55–60 км/с [1-А, 6-А, 13-А, 14-А].

4. На основе анализа измеренных радиантов, скоростей и орбит 6544 метеоров, зарегистрированных пеленгационно-временным радиометодом в декабре 1969 г., январе и феврале 1970 г., осуществлена трехступенчатая идентификация метеороидов с метеорными потоками и ассоциациями: а) графическим методом, б) по скоростям, в) по D-критериям Саутворда-Хокинса и Йопека [3-А, 4-А, 5-А, 10-А, 11-А, 12-А].

5. Выявлено 631 групповое скопление радиантов по результатам двухмерного распределения радиантов и скоростей 6544 индивидуальных метеоров графическим методом [3-А, 4-А, 5-А, 10-А, 11-А, 12-А].

6. Осуществлён окончательный отбор потоков и ассоциаций метеороидов с применением D-критериев (близости орбит) Саутворда–Хокинса и Йопека, в результате которого идентифицировано 276 групп. Среди них обнаружено

86 установленных метеорных потоков, 85 ассоциации и 105 новые группы метеороидов [3-А, 4-А, 5-А, 10-А, 11-А, 12-А].

7. Среди 86 установленных метеорных потоков: 22 входят в список подтверждённых потоков базы данных МАС, 60 — в рабочий список базы данных МАС, 1 поток включён в список кандидатов на подтверждение, а 3 потока включены в список удалённых в базе данных МАС [3-А, 4-А, 5-А, 10-А, 11-А, 12-А].

8. Установленные 85 метеорные ассоциации были ранее обнаружены в опубликованных работах и представлены для дальнейшего подтверждения в качестве кандидатов на новые потоки в базе данных ЦМД МАС [3-А, 4-А, 5-А, 10-А, 11-А, 12-А].

9. Произведён анализ данных экваториальных координат 276 групп метеорных потоков и ассоциаций. При этом 190 группы метеороидов расположены в северной части небесной полусферы, где их склонение находится в диапазоне от 75° до 5°, 44 групп - в районе экватора (от 5° до -5°), а 42 групп расположены в южном полушарии (от -5° до -35°) [3-А, 4-А, 5-А].

10. Вычислены следующие физические характеристики метеороидов: величины линейной электронной плотности, радиовеличины, массы и плотности для массива данных радиометеоров, зарегистрированных за январь и февраль. Средние значения масс находятся в диапазоне от 2.54×10^{-4} до 1.675×10^{-1} г. [2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 7-А, 8-А, 9-А, 11-А, 15-А, 16-А].

11. Определены параметры распределения метеорных тел по массам (S) для массивов данных метеоров потоков Геминид и Квадрантид, отделяемых от спорадического фона по координатам радиантов и скоростям, которые имеют величины (1.64-1.66) и (1.74–1.76) соответственно [16-А,].

12. Вычислены плотности метеороидов в потоках и ассоциациях, значения которых сосредоточены в диапазоне от 0.33 до 6.47 г/см³ [3-А, 4-А, 5-А, 10-А, 11-А, 12-А, 16-А].

13. Причём у 9% метеороидов из потоков и ассоциаций имеют средние значения плотностей от 0.3 до 1 г/см³, что характерно для кометоподобных структур. Особенности: обладают высокой пористостью, состоят преимущественно изо льда и пыли [3-А, 4-А, 5-А, 10-А, 11-А, 12-А].

14. У 34% групп метеороидов средние значения плотностей расположены в диапазоне от более 1 до 2.2 г/см³, что соответствует углистым хондритам (карбонатные хондриты: CI, CM, CR, CO, CV, CK, CH, CB). Особенности: богаты углеродом, содержат водные минералы, являются одними из самых примитивных метеоритов [3-А, 4-А, 5-А, 10-А, 11-А, 12-А].

15. У 44% потоков и ассоциаций средние значения плотностей метеороидов находятся в пределах от более 2.2 до 3.8 г/см³, что соответствует обыкновенным хондритам (H, L, LL – в зависимости от содержания железа). Особенности: состоят из силикатов и никелистого железа, являются наиболее распространёнными метеоритами [3-А, 4-А, 5-А, 10-А, 11-А, 12-А].

16. Железокаменные метеороиды (палласиты, мезосидериты) составляют 13% от общего числа метеороидов в потоках и ассоциациях, их средние значения плотностей находятся в пределах от более 4 до 6.5 г/см³. Особенности: представляют собой смесь металла и силикатов, являются переходной формой между железными и каменными метеоритами [3-А, 4-А, 5-А, 10-А, 11-А, 12-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

Проблема космических угроз, включая астероиды, кометы, метеороиды и космический мусор, признана мировым сообществом актуальной, и для её предотвращения предпринимаются меры, включая привлечение новых ранее неиспользованных наблюдательных материалов, их редукцию и т.д. Исследования околоземных объектов и наблюдения малых тел Солнечной системы, включая метеорные потоки и ассоциации, играют важную роль в обеспечении защиты Земли. Полученные результаты основаны на

наблюдениях и современных методах исследований, доказавших свою надёжность. Новый каталог физико-кинематических свойств групп метеороидов, составленный на основе наблюдательных материалов, полученных в ГисАО, представляет собой важный прикладной и теоретический аспект исследований космического пространства и в ряде отраслей науки. Результаты диссертационного исследования имеют фундаментальное значение, внедрены в практическую деятельность и используются в области метеорной астрономии, космонавтики и космогонии для решения задач, связанных с обеспечением безопасности космических миссий и предотвращением космических угроз для Земли.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением и углублением анализа радиолокационных наблюдений метеоров. Рекомендуется продолжить аналогичные исследования, направленные на выявление новых групп метеороидов, включая метеорные потоки и ассоциации. Это позволит определить их родительские тела, уточнить динамические характеристики и подтвердить полученные результаты с использованием базы данных ЦМД МАС, что будет способствовать дальнейшему совершенствованию классификации метеорных потоков и пониманию распределения метеорного вещества в околоземном пространстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brown, P. Meteorites from meteor showers: A case study of the Taurids / P. Brown, V. Marchenko, D. E. Moser [et al.] // Meteoritics and Planetary Science. – 2013. – Т. 48. - № 2. – P. 270-288.

2. Klumov, B. A. Collision of comet Shoemaker–Levi 9 with Jupiter: what shall we see? / B. A. Klumov, V. I. Kondaurov, A. V. Konyukhov [et al.] // Physics-Uspekhi. – 1994. – Vol. 37. – P. 577-589.

3. Neslušan, L. The prediction of meteor showers from all potential parent comets / L. Neslušan, M. Hajduková, D. Tomko [et al.] // Proceedings of the IMC, Giron. – 2014. – P. 1-7.

4. Багров, А. В. Программа наблюдений крупных тел в метеорных и болидных потоках / А. В. Багров, Г. Т. Болгова, А. М. Микиша, М. А. Смирнов // Программы наблюдений высокоорбитальных спутников Земли и небесных тел Солнечной системы - СПб.: ИТА РАН, 1994. – С. 17-18.

5. Smirnov, M. The optical observations of meteoroids in near-Earth space / M. Smirnov, S. I. Barabanov // In Proceedings Second European Conference on Space Debris, Darmstadt. – 1997. – Vol. ESA-SP 393. – P. 155.

6. Барабанов, С. И. Анализ содержания крупных тел в метеорных и болидных роях / С. И. Барабанов, М. А. Смирнов // Астрономический вестник. – 2005. – Т. 39. - № 3. – С. 263-275.

7. Gorbanev, Yu. M. Groups of Meteorite-Dropping Fireballs in Near-Earth Asteroidal Orbits / Yu. M. Gorbanev, N. A. Konovalova, N. Kh. Davrukov // LPI Contributions. – 2022. – Т. 2695. – P. 6074.

8. Narziev, M. The physical properties of the superbolide of Tajikistan on the results of combined satellite and ground-based observations / M. Narziev, H. F. Khujanazarov // Advances in Astronomy and Space Physics. – 2022. – Vol. 12. – P. 8-12.

9. Кащеев, Б. Л. Метеорные явления в атмосфере Земли / Б. Л. Кащеев, В. Н. Лебединец, М. Ф. Лагутин. – М.: Наука, 1967. – 260 с.

10. Лебединец, В. Н. Потоки радиометеоров / В. Н. Лебединец, В. Н. Корпусов, А. К. Соснова // Физика верхней атмосферы. - Труды ИЭМ. – 1972. – Т. 34. - № 1. – С. 88-171.

11. Волощук, Ю. И. Метеорные потоки и ассоциации, выявленные по результатам многолетних радиолокационных наблюдений метеоров в Харькове / Ю. И. Волощук, Д. Ю. Горелов. – Харьков: НТМТ, 2011. – 383 с.

12. Чеботарев, Р. П. Пеленгационно-временной радиометод определения радиантов и скоростей отдельных метеоров / Р. П. Чеботарев // Радиотехника. – 1963. – Т. 6. – № 5. – С. 533-536.

13. Narziev, M. Catalog of radiants, velocities, orbits, and atmospheric trajectories of radio meteors observed in Tajikistan / M. Narziev, R. P. Chebotaryov. - Dushanbe: Donish, 2019. – 1318 p.

14. Худжаназаров, Х. Ф. Идентификация метеорных потоков и ассоциации за декабрь 1969 г. / Х. Ф. Худжаназаров, М. Нарзиев // Вестник ТНУ. – 2022. – №. 1. – С. 154-162.

15. Нарзиев, М. Январские метеорные потоки и ассоциации по результатам радиолокационных наблюдений в ГисАО / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров, Т. Й. Йопек // Доклады НАН Таджикистана. – 2023. – Т. 66. – № 9-10. – С. 550-560.

16. ГОСТ 25645.112-84. Вещество метеорное. Термины, определения и буквенные обозначения. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1984. – С. 8.

17. Ловелл, Б. Метеорная астрономия / Б. Ловелл / Пер. Ю. Левина. – М.: Физматгиз, 1958. – 490 с.

18. Лебединец, В. Н. Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры / В. Н. Лебединец. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 246 с.

19. Астапович, И. С. Метеорные явления в атмосфере Земли / И. С. Астапович. – М.: Физико-Математическое издательство, 1958. – 640 с.

20. International Meteor Organization (IMO) [Электронный ресурс]. - www.imo.net (дата обращения: 22.12.2024).

21. Бабаджанов, П. Б. Методика и некоторые результаты фотографических исследований метеоров / П. Б. Бабаджанов, Е. Н. Крамер. – М.: АН СССР, 1963. – 144 с.

22. Бабаджанов, П. Б. Орбит ярких метеоров по фотографическим наблюдениям в Душанбе и Одессе / П. Б. Бабаджанов, Е. Н. Крамер // Астрономический журнал. – 1966. – Т. 43. - № 6. – С. 1306.

23. Нарзиев, М. Результаты комплексных радиотелевизионных (ТВ) наблюдений метеорных потоков в Таджикистане. I. Динамические характеристики / М. Нарзиев, И. Ф. Малышев // Бюллетень Института астрофизики АН Республики Таджикистан. – 2006. – Т. 85. – С. 35-45.

24. Венгерская метеорная сеть [Электронный ресурс]. - http://www.videometeor.hu/ (дата обращения: 22.12.2024).

25. Глобальная метеорная сеть [Электронный ресурс]. – https://globalmeteornetwork.org/ (дата обращения: 22.12.2024).

26. Метеорная сеть Великобритании [Электронный ресурс]. - http://ukmeteornetwork.co.uk/ (дата обращения: 22.12.2024).

27. Польская метеорная сеть [Электронный ресурс]. – http://www.pkim.org/ (дата обращения: 22.12.2024).

28. Северо-Американская метеорная сеть [Электронный ресурс]. – http://www.namnmeteors.org/ (дата обращения: 22.12.2024).

29. Японская болидная сеть [Электронный ресурс]. – http://www3.cnet.ne.jp/c-shimo/index-e.html. (дата обращения: 22.12.2024).

30. SonotaCo. A meteor shower catalog based on video observations in 2007-2008 / SonotaCo // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2009. – Vol. 37. – P. 55-62.

31. Hey, J. S. Derivation of meteor stream radiants by radio reflexion method / J. S. Hey, G. S. Stewart // Nature. – 1946. – Vol. 158. – P. 481-482.

32. Фиалко, Е. И. Некоторые проблемы радиолокации метеоров / Е. И. Фиалко. – Томск: Томский университет, 1961. – 209 с.

33. Калашников, А. Г. О наблюдении магнитного эффекта метеоров индукционным методом / А. Г. Калашников // Доклады АН СССР. – 1949. – Т. 66. - Вып. 3. – С. 373-396.

34. Кащеев, Б. Л. Результаты радиолокационных наблюдений метеоров: Каталог орбит метеоров до +12m (Материалы мирового центра данных Б) / Б. Л. Кащеев, А. А. Ткачук. – М., 1980. 232 с.

35. Корпусов, В. Н. Исследование метеорных потоков и ассоциаций радиолокационным методом: дис. … канд. физ.-мат. наук / В. Н. Корпусов. – Обнинск, 1971. – 170 с.

36. Лебединец, В. Н. Радиолокационные исследования метеоров в Обнинске: Каталог орбит, сентябрь-декабрь 1967 (Материалы Мирового центра данных Б) / В. Н. Лебединец, В. Н. Корпусов, А. В. Манохина. – М., 1981. 196 с.

37. Nilsson, C. S. Orbital distribution of meteors of limiting magnitude +6 observed from the Southern Hemisphere / C. S. Nilsson // The Zodiacal Light and the Interplanetary Medium. – 1967. – T. SP150. – C. 201-211.

38. Sekanina, Z. Statistical Model of Meteor Streams. IV. A Study of Radio Streams from the Synoptic Year / Z. Sekanina, C. Miller // Icarus. – 1976. – Vol. 27. – № 2. – P. 265-321.

39. Brown, P. The Canadian Meteor Orbit Radar Meteor Stream Catalogue / P. Brown, R. J. Weryk, D. K. Wong, J. Jones // EM&P. – 2008. – Vol. 102. – P. 209-219.

40. Millman, P. M. Meteor echo duration and visual magnitudes / P. M. Millman, D. W. R. McKinley // Canad. J. Phys., – 1956. – Vol. 34. - № 1. – P. 50-61.

41. McKinley, D. W. R. Meteor science and engineering / D. W. R. McKinley. – New York: McGrow-Hill Book Co, 1961. – 309 p.

42. Алимов, О. А. Метеорная активность и слоистая структура спорадического слоя Е, ионосферы / О. А. Алимов. – Душанбе: Дониш, 2015. – 206 с.

43. Чеботарев, Р. П. Комплекс аппаратуры для радиолокационных исследований метеоров в Душанбе / Р. П. Чеботарев, В. Н. Сидорин, Г. А. Полушкин [и др.] // Бюллетень Института астрофизики АН ТаджССР. – 1970. – Т. 55. – С. 25-28.

44. Чеботарев, Р. П. Многолучевой индикатор метеорного радиолокатора / Р. П. Чеботарев, Ш. О. Исамутдинов // Бюллетень Института астрофизики АН ТаджССР. – 1970. – Т. 55. – С. 34-39.

45. Чеботарев, Р. П. Индикатор метеорного радиолокатора с ждуще-непрерывной фоторегистрацией / Р. П. Чеботарев, Н. А. Гартман // Бюллетень Института астрофизики АН ТаджССР. – 1979. – Т. 68. – С. 28-34.

46. Ловелл, Б. Радиоастрономия / Б. Ловелл, Дж. Клегг. – М.: Иностранная литература, 1953. – 240 с.

47. Чеботарев, Р. П. Возможности пеленгационно-временного радиометода определения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров / Р. П. Чеботарев // Кометы и метеоры. – 1976. – Т. 24. – С. 19-27.

48. Чеботарев, Р. П. Измерение радиантов и скоростей индивидуальных метеоров пеленгационно-временным радиометодом / Р. П. Чеботарев // Астрономический циркуляр. – 1969. – Т. 497. – С. 4.

49. Андринов, Н. С. Способ определения векторов скоростей индивидуальных метеоров по наклонным радиоотражениям / Н. С. Андринов, В. В. Сидоров / Метеорное распространение радиоволн. - Казанский университет. - 1966. – С. 28.

50. Лагутин, М. Ф. Определение торможения радиометеоров / М. Ф. Лагутин, Д. М. Смагин, Х. Д. Гульмедов // Астрономический циркуляр. – 1970. – Т. 577. – С. 5.

51. McKinley, D. W. R. Determination of the elements of meteor path from radar observations / D. W. R. McKinley, P. M. Millman // Canad. J. Phys., – 1949. – Vol. A27. – P. 53.

52. Jones, J. Visual and radar studies of meteor head echoes / J. Jones, A. R. Webster // Planet. Space Sci. – 1991. – Vol. 39. – P. 873.

53. Janches, D. An initial meteoroid stream survey in the Southern Hemisphere using the Southern Argentina Agile Meteor Radar (SAAMER) / D. Janches, J. L. Hormaechea, C. Brunini [et al.] // Icarus. – 2013. – Vol. 223. – P. 677-683.

54. Kero, J. First results from the 2009–2010 MU radar head echo observation programme for sporadic and shower meteors: The Orionids 2009 / J. Kero, C. Szasz, T. Nakamura [et al.] // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 2011. – Vol. 416. – P. 2550-2559.

55. Janches, D. A comparison of detection sensitivity between ALTAIR and Arecibo meteor observations: Can high power and large aperture radars detect low velocity meteor head-echoes / D. Janches, S. Close, J. T. Fentzke // Icarus. – 2008. – Vol. 193. – P. 105-111.

56. Dyrud, L. P. Interpretation of non-specular radar meteor trails / L. P. Dyrud, M. M. Oppenheim, S. Close, S. Hunt // Geophys. Res. Lett. – 2002. – Vol. 29. - № 21. – P. 81-84.

57. Dyrud, L. Plasma and electromagnetic simulations of meteor head echo radar reflections / L. Dyrud, D. Wilson, S. Boerve [et al.] // Earth Moon and Planets. – 2007. – Vol. 102. – P. 383–394.

58. Davies, J. G. The diffraction of radio waves from meteor trails and the measurement of meteor velocities / J. G. Davies, C. D. Elliett // Phil. Mag. – 1949. – Vol. 40. - № 7. – P. 614.

59. Gill, J. C. A radio echo method of meteor orbits determination / J. C. Gill, J. G. Davies // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1956. – T. 116. - № 1. – P. 105–113.

60. Кащеев, Б. Л. Исследование метеоров / Б. Л. Кащеев, В. Н. Лебединец, М. Ф. Лагутин. – М.: Наука, 1966. – С. 141-146.

61. Nilsson, C. S. A southern hemisphere radio survey of meteor streams / C. S. Nilsson // Austral. J. Phys. – 1964. – Vol. 17. - № 2. – P. 205-256.

62. Lebedinets, V. N. Radar meteor influx and its comparison with direct cosmic dust measurement data / V. N. Lebedinets // Space Res. – 1971. – Vol. 11. – P. 307-317.

63. Gartrell, G. Southern hemisphere meteor stream determinations / G. Gartrell, W. G. Elford // Australian Journal of Physics. – 1975. – Vol. 28. – P. 591-620.

64. Орбиты и численность метеоров по наблюдениям в Экваторе: Каталог за декабрь 1968 - июль 1970. – М., – 1975. 168 с.

65. Narziev, M. IAU MDC meteor orbits database–A sample of radio-meteor data from the Hissar Observatory / M. Narziev, R. P. Chebotarev, T. J. Jopek [et al.] // Planetary and Space Science. – 2020. – Vol. 192. – P. 105008.

66. Нарзиев, М. Орбиты метеорных потоков и ассоциаций по результатам радиолокационных наблюдений в Таджикистане / М. Нарзиев // Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2013. – Т. 2. - № 4. – С. 107-115.

67. Narziev, M. Physical and kinematic characteristics of meteoroids producing bright radio meteors / M. Narziev // The Meteoroids 2013: Proceedings of the Astronomical Conference held at A. M. University, Poznań, Poland, Aug. 26–30, 2013 / Eds. T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams. – Poznań: A. M. University Press, 2014. – P. 163–176.

68. Чеботарев, Р. П. Система точного измерения дальности до метеорного следа / Р. П. Чеботарев, В. Н. Сидорин // Бюллетень Института астрофизики АН ТаджССР. – 1970. – Т. 55. – С. 29-33.

69. SonotaCo. Observation error propagation on video meteor orbit determination / SonotaCo // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2016. – Vol. 44. – P. 42-45.

70. Park, R. S. The JPL Planetary and Lunar Ephemerides DE440 and DE441 / R. S. Park, W. M. Folkner, J. G. Williams, D. H. Boggs // The Astronomical Journal. – 2021. – Vol. 161. – P. 105-119.

71. Neslušan, L. A procedure of selection of meteors from major streams for determination of mean orbits / L. Neslušan, J. Svoren, V. Porubcan // Earth Moon Planets. – 1995. – Vol. 68. – P. 427-433.

72. Neslušan, L. The method of selection of major-shower meteors revisited / L. Neslušan, J. Svoren, V. Porubcan // Earth Moon Planets. – 2013. – Vol. 110. – P. 41-66.

73. Southworth, R. B. Statistics of meteor streams / R. B. Southworth, G. S. Hawkins // Smithsonian Contrib. Astrophys. – 1963. – Vol. 7. – P. 261-285.

74. Brown, P. A meteoroid stream survey using the Canadian Meteor Orbit Radar. I. Methodology and radiant catalogue / P. Brown, R. J. Weryk, D. K. Wong, J. Jones // Icarus. – 2008. – Vol. 195. – P. 317-339.

75. Всехсвятский, С. К. Эруптивные процессы в Галактике и гиперболические метеоры / С. К. Всехсвятский // Проблемы космической физики. – 1978. – Т. 13. – С. 141-146.

76. Davies, J. G. Radio echo measurements of the orbit of faint sporadic meteors / J. G. Davies, J. C. Gill // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1960. – Vol. 121. - № 5. – P. 437-462.

77. Кащеев, Б. Л. Радиолокационные исследования метеорных явлений / Б. Л. Кащеев, Б. Н. Лебединец. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 123 с.

78. Куликова, Н. В. О применении научной визуализации в исследованиях движения небесных тел (P<100 лет) на больших интервалах времени / Н. В. Куликова, В. И. Тищенко // Научная визуализация. – 2018. – Т. 10. - № 5. – С. 102-122.

79. Levy, D. H. Shoemaker by Levy: The story of man and the Shoemaker-Levy 9 comet / D. H. Levy. – Princeton, New Jersey: University Press, 1995. – 250 p.

80. Moorhead, A. V. Meteor shower radiant dispersions in Global Meteor Network data / A. V. Moorhead, T. Clements, D. Vida // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2021. – Vol. 508. – P. 326-339.

81. Бредихин, Ф. А. Этюды о метеорах / Ф. А. Бредихин. – М.: Академия наук СССР, 1954. – 612 с.

82. Whipple, F. L. A comet model I. The acceleration of comets / F. L. Whipple // Astrophys. Journal. – 1950. – Vol. 111. - № 2. – P. 375-394.

83. Whipple, F. L. A comet model II. Physical relation for comets and meteors / F. L. Whipple // Astrophys. Journal. – 1951. – Vol. 113. - № 3. – P. 464-474.

84. Whipple, F. L. A comet model III. The zodiacal light / F. L. Whipple // Astrophys. Journal. – 1955. – Vol. 121. – P. 750-770.

85. Левин, Б. Ю. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе / Б. Ю. Левин. – М.: Наука, 1956. – 293 с.

86. Катасев, Л. А. Физико-Аатематическое моделирование процесса образования и эволюции метеорных роев I / Л. А. Катасев, Н. В. Куликова // Астрономический вестник. – 1980. – Т. 14. - № 3. – С. 168-175.

87. Бабаджанов, П. Б. Особенности эволюции метеорных роев Геминид и Квадрантид / П. Б. Бабаджанов, Ю. В. Обрубов // Астрономический журнал. – 1984. – Т. 61. - № 5. – С. 1005-1012.

88. Бабаджанов, П. Б. Метеороидные рои: Образование, эволюция, связь с кометами и астероидами / П. Б. Бабаджанов, Ю. В. Обрубов // Астрономический вестник. – 1991. – Т. 25. - № 4. – С. 387-407.

89. Обрубов, Ю. В. Комплексы малых тел Солнечной системы / Ю. В. Обрубов // Астрономический журнал. – 1991. – Т. 68. - № 5. – С. 1063-1073.

90. Шустов, Б. М. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / Б. М. Шустов, Л. В. Рыхлова. – М., 2010. – 372 с.

91. Бахарев, А. М. Радианты телескопических метеоров по наблюдениям в СССР / А. М. Бахарев. // Бюллетень Сталинабадской астрономической обсерватории. – 1955. – Т. 12. – С. 10-27.

92. Терентьева, А. К. Исследования метеоров, Малые метеорные рои / А. К. Терентьева. – М.: Наука, 1966. – С. 62-132.

93. Jenniskens, P. A survey of southern hemisphere meteor showers / P. Jenniskens, J. Baggaley, I. Crumpton [et al.] // Planetary and Space Science. – 2018. – Vol. 154. – P. 21-29.

94. Jenniskens, P. CAMS confirmation of previously reported meteor showers / P. Jenniskens, Q. Nenon, P. S. Gural [et al.] // Icarus. – 2016. – Vol. 266. – P. 355-370.

95. Schiaparelli, G. V. Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen / G. V. Schiaparelli. – Stettin, 1871. – 268 p.

96. Клейбер, И. А. Астрономическая теория падающих звезд / И. А. Клейбер. – Санкт-Петербург: Имп. Спб. ун-т, 1884. – [4], 215 с.

97. Denning, W. F. General Catalogue of the Radiant Points of Meteoric Showers and of Fireballs and Shooting Stars observed at more than one Station / W. F. Denning // Memoirs of the Royal Astronomical Society. – 1899. – Vol. 53. – P. 203-292.

98. Малцев, В. А. Главнейшие радианты метеорных потоков: Русский астрономический календарь / В. А. Малцев. – Новгород, 1930. – 454 с.

99. McIntosh, R. A. An index to southern meteor showers / R. A. McIntosh // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1935. – Vol. 95. – P. 709-718.

100. Öpik, E. J. Results of the Arizona Expedition for the Study of Meteors. II. Statistical Analysis of Group Radiants / E. J. Öpik // Harvard College Observatory Circular. – 1934. – Vol. 388. – P. 1-38.

101. Сытинская, Н. Н. Окончательный каталог 827 метеорных радиантов и соответствующих орбит / Н. Н. Сытинская // Учетный записки ЛГУ. – 1937. – № 12. – С. 73-102.

102. Бахарев, А. М. Каталог телескопических метеоров астрономической обсерватории АН ТаджССР (1940-1948 гг.) / А. М. Бахарев // Труды Института астрофизики АН ТаджССР. – 1962. – Т. 9. – С. 113.

103. Астапович, И. С. Высоты и радианты метеоров по базисным визуальным наблюдениям в Ашхабаде и Фирюзе в 1950 г. / И. С. Астапович // Труды Института физики и геофизики АН Туркменской ССР. – 1959. – Т. 6. – С. 32.

104. Штепан, В. Е. Каталог радиантов телеметеоров / В. Е. Штепан // Бюллетень Комиссии по кометам и метеорам Астрономического совета АН СССР. – 1958. – Т. 3. – С. 33.

105. Ceplecha, Z. Classification of meteor orbits / Z. Ceplecha, E. Jozefov, V. Kalenda // Smithsonian Contributions to Astrophysics. – 1967. – Vol. 11. – P. 35-60.

106. Jenniskens, P. The established meteor showers as observed by CAMS / P. Jenniskens, Q. Nenon, J. Albers [et al.] // Icarus. – 2016. – Vol. 266. – P. 331-354.

107. Clegg, J. F. Determination of meteor radiants by observation of radio echoes from meteor trails / J. F. Clegg // Phil. Mag. – 1948. – Vol. 39. – P. 577-594.

108. Исамутдинов, Ш. О. Об одном методе определения координат радианта отдельно взятых метеоров / Ш. О. Исамутдинов // Бюллетень Института астрофизики АН ТаджССР. – 1962. – Т. 29. – С. 17.

109. Eshleman, V. R. Radar studies of 15-th magnitude meteors / V. R. Eshleman, P. B. Gallacher // Astron. J. – 1962. – C. 67.

110. Аврамова, Г. В. Определение метеорных радиантов методом незатухающих волн / Г. В. Аврамова. // Бюллетень Института астрофизики АН ТаджССР. – 1959. – Т. 27. – С. 31.

111. Brown, P. A meteoroid stream survey using the Canadian Meteor Orbit Radar. II: Identification of minor showers using a 3D wavelet transform / P. Brown, D. K. Wong, R. J. Weryk, P. Wiegert // Icarus. – 2010. – Vol. 207. – P. 66–81.

112. Hajduková, M. Modification of the Shower Database of the IAU Meteor Data Center / M. Hajduková, R. Rudawska, T. J. Jopek [et al.] // A&A. – 2023. – Vol. 671. – P. A155(1-9).

113. Verniani, F. An analysis of the physical parameters of 5759 faint radio meteors / F. Verniani // Journal of Geophysical Research. – 1973. – Vol. 78. - № 35. – P. 8429-8462.

114. Sekanina, Z. Statistical Model of Meteor Streams. III. Stream Search Among 19303 Radio Meteors / Z. Sekanina, J. Cook, T. Harris // Icarus. – 1973. – Vol. 18. - № 2. – P. 253-284.

115. Drummond, D. A test of comet and meteor shower associations / D. Drummond // Icarus. – 1981. – Vol. 45. - № 3. – P. 545-553.

116. Jopek, T. J. Remarks on the Meteor Orbital Similarity D-Criterion / T. J. Jopek // Icarus. – 1993. – Vol. 106. - № 2. – P. 603-607.

117. Valsecchi, G. B. Meteoroid stream identification: a new approach — I. Theory / G. B. Valsecchi, T. J. Jopek, C. Froeschlé // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1999. – Vol. 304. - № 4. – P. 743-750.

118. Jenniskens, P. Meteoroid streams that trace to candidate dormant comets / P. Jenniskens // Icarus. – 2008. – Vol. 194. – P. 13-22.

119. Jopek, T. J. Meteoroid Stream Searching: The Use of the Vectorial Elements / T. J. Jopek, R. Rudawska, P. Bartczak // Earth, Moon, and Planets. – 2008. – Vol. 102. – P. 73-78.

120. Welch, P. G. A new search method for streams in meteor data bases and its application / P.G. Welch // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2001. – Vol. 328. – P. 101-111.

121. Lindblad, B. A. A stream search among 865 precise photographic meteor orbits / B. A. Lindblad // Smithson. Contrib. Astrophys. – 1971. – Vol. 12. – P. 1-13.

122. Svoreˇn, J. A search for streams and associations in meteor databases. Method of Indices / J. Svoreˇn, L. Nesluˇsan, V. Porubˇcan // Planetary and Space Science. – 2000. – Vol. 48. - № 10. – P. 933-937.

123. Galligan, W. IAU Colloq.181: Dust in the Solar System and Other Planetary Systems / W. Galligan, D. Baggaley. – Oxford: Pergamon Press, – 2002. – P. 48.

124. Шестака, И. С. Статистическое подтверждение эволюции метеорных роев / И. С. Шестака. // Астрономический циркуляр АН СССР. – 1990. – № 1543. – С. 34-36.

125. Narziev, M. Meteoroids mass by results of the combined Radio-Television observations / M. Narziev // 44th Lunar and Planetary Science Conference. – Texas, 2013. – Vol. 1719. – P. 1818.

126. Jopek, T. J. Probability of coincidental similarity among the orbits of small bodies – I. Pairing / T. J. Jopek, M. Bronikowska // PSS. – 2017. – Vol. 143. – P. 43-52.

127. Janches, D. The Southern Argentina Agile Meteor Radar Orbital System (SAAMER-OS): An Initial Sporadic Meteoroid Orbital Survey in the Southern Sky / D. Janches, S. Close, J. L. Hormaechea [et al.] // The Astrophysical Journal. – 2015. – Vol. 809. – P. 36-52.

128. Нарзиев, М. Радиометеорные данные Гиссарской обсерватории в базе данных ЦМД МАС / М. Нарзиев, Р. П. Чеботарев, Т. Й. Йопек [и др.] // Политехнический вестник. Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – Т. 51. – № 3. – С. 18-22.

129. Greg, R. P. Table of radiants and durations of meteor systems / R. P. Greg // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1872. – Vol. 32. - № 9. – P. 345-355.

130. King, A. An ephemeris of the Gemenid radiant-point / A. King // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1926. – Vol. 86. – P. 638-641.

131. Jenniskens, P. Meteor stream activity I. The annual streams / P. Jenniskens // Astronomy and Astrophysics. – 1994. – Vol. 287. – P. 990-1013.

132. Arlt, R. The activity of the 2004 Geminid meteor shower from global visual observations / R. Arlt, J. Rendtel // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2006. – Vol. 367. - № 4. – P. 1721-1726.

133. Jewitt, D. Activity in Geminid Parent (3200) Phaethon / D. Jewitt, J. Li // The Astronomical Journal. – 2010. – Vol. 145. - № 5. – P. 1519-1527.

134. Li, J. Recurrent Perihelion Activity in (3200) Phaethon / J. Li, D. Jewitt // The Astronomical Journal. – 2013. – Vol. 145. - № 6. – P. 154-177.

135. Fox, K. The evolution of the orbit of the Geminid meteor stream / K. Fox, I. P. Williams, D. W. Hughes // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1982. – Vol. 200. – P. 313-324.

136. Fox, K. The rate profile of the Geminid meteor shower / K. Fox, I. P. Williams, D. W. Hughes // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1983. – Vol. 205. – P. 1155-1169.

137. Ryabova, G. Mathematical modelling of the Geminid meteoroid stream / G. Ryabova // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2007. – Vol. 375. - № 4. – P. 1371-1380.

138. Ryabova, G. Model Radiants of the Geminid Meteor Shower / G. Ryabova // Earth, Moon, and Planets. – 2008. – Vol. 102. - № 1-4. – P. 95-102.

139. Ryabova, G. A preliminary numerical model of the Geminid meteoroid stream / G. Ryabova // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2016. – Vol. 456. – P. 78-84.

140. Ryabova, G. The mass of the Geminid meteoroid stream / G. Ryabova // Planetary and Space Science. – 2017. – Vol. 143. – P. 125-131.

141. Ryabova, G. The Geminid meteor shower radiant: a mathematical model / G. Ryabova // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2021. – Vol. 507. - № 3. – P. 4481-4486.

142. Zigo, P. The activity and mass distribution of the Geminid meteor shower of 1996-2007 from forward scatter radio observations / P. Zigo, J. Deme // Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso. – 2009. – Vol. 39. - № 1. – P. 5-17.

143. Jakubík, M. Meteor complex of asteroid 3200 Phaethon: its features derived from theory and updated meteor data bases / M. Jakubík, L. Neslušan // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2015. – Vol. 453. – P. 1186-1200.

144. Neslušan, L. A summary of the research of Geminid meteoroid stream / L. Neslušan // Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso. – 2015. – Vol. 45. - № 1. – P. 60-82.

145. Hajduková, M. Meteoroid orbits from video meteors. The case of the Geminid stream / M. Hajduková, K. P. Koten, L. Kornoš, J. Tóth // Planetary and Space Science. – 2017. – Vol. 143. – P. 89-98.

146. Szalay, W. Z. Formation, Structure, and Detectability of the Geminids Meteoroid Stream / W. Z. Szalay, J. R. Cukier // Planetary Science Journal. – 2023. – Vol. 4. - № 6. – P. 109-118.

147. Сергиенко, М. В. Анализ динамических параметров метеорного комплекса Канкрид / М. В. Сергиенко, Ю. А. Нефедьев, А. О. Андреев // Журнал технической физики. – 2023. – Т. 93. - № 12. – С. 1778-1781.

148. Jenniskens, P. On the unusual activity of the Perseid meteor shower (1989±96) and the dust trail of comet 109P/Swift–Tuttle / P. Jenniskens, H. Betlem, M. de Lignie [et al.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1998. – Vol. 301. - № 4. – P. 941-954.

149. Kokhirova, G. I. Dynamical and physical features of Perseid meteoroids from Tajikistan fireball network observations / G. I. Kokhirova, P. B. Babadzhanov, U. H. Khamroev [et al.] // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2020. – Vol. 494. - № 1. – P. 1018-1026.

150. Webster, A. R. Multi-Year CMOR Observations of the Geminid Meteor Shower / A. R. Webster, J. R. Weryk, W. J. Cooke [et al.] // Meteoroids: The Smallest Solar System Bodies. – [s.l.]: NASA, 2011. – P. 48-57.

151. Hamid, M. N. A short note on the origin and age of the Quadrantids / M. N. Hamid, S. E. Youssef // Smithsonian Contributions to Astrophysics. – 1963. – Vol. 7. – P. 309-314.

152. Williams, I. P. The long-term orbital evolution of the Quadrantid meteor stream / I. P. Williams, S. J. Bus // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1979. – Vol. 183. - № 3. – P. 483-492.

153. Shiba, Y. Jupiter Family Meteor Showers by SonotaCo Network Observations / Y. Shiba, S. Nishimura, H. Noda, T. Watanabe // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2022. – Vol. 50. - № 2. – P. 38-61.

154. Terentjeva, A. K. Fireball streams / A. K. Terentjeva // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 1989. – Vol. 17. - № 6. – P. 242-245.

155. Rudawska, R. New meteor showers identified in the CAMS and SonotaCo meteoroid orbit surveys / R. Rudawska, P. Jenniskens // The Meteoroids 2013, Proceedings of the Astronomical Conference held at A.M. University / ed. T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams. – Poznań, 2014. – P. 217-224.

156. Rudawska, R. Independent identification of meteor showers in EDMOND database / R. Rudawska, P. Matlovič, J. Tóth, L. Kornoš // Planetary and Space Science. –2015. –Vol. 118, –P. 38-47.
doi.org/10.1016/j.pss.2015.07.011

157. Бибарсов, Р. Ш. Определение масс и плотностей метеорных тел по радиолокационным наблюдениям с одного пункта / Р. Ш. Бибарсов, М. Нарзиев, Р. П. Чеботарев // Астрономический вестник. – 1990. – Т. 24. - № 4. – С. 326-332.

158. Нарзиев, М. Масса метеороидов по результатам параллельных наблюдений. Шкала масс радиометеоров / М. Нарзиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2003. – Т. 40. - № 1. – С. 3-12.

159. Нарзиев, М. Исследование физических свойств метеоров и метеорных тел по радионаблюдениям: дис. … канд. физ.-мат. наук / М. Нарзиев. – Душанбе. 2003. – 144 с.

160. Бибарсов, Р. Ш. Влияние процессов деионизации на длительность метеорного радиоэхо / Р. Ш. Бибарсов // Бюллетень Института астрофизики АН ТаджССР. – 1970. – Т. 55. – С. 3-9.

161. Нарзиев, М. Физические свойства 8916 радиометеоров, наблюденных в ГисАО / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров // Политехнический Вестник, Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – Т. 63. - № 3. – С. 22-26.

162. Weryk, R. J. Simultaneous radar and video meteors—II: Photometry and ionisation / R. J. Weryk, A. R. Webster, J. A. Zook // Planetary and Space Science. – 2013. – Vol. 81. – P. 32-47.

163. Pecina, P. Simultaneous optical and radar observations of meteors: another criterion of commonness / P. Pecina, P. Koten, R. Stork // Proceedings of the Meteoroids 2001 Conference / ed. B. Warmbein. – Kiruna, Sweden: [s.n.], 2001. – Vol. ESA SP-495. – P. 425-428.

164. Pecina, P. Relation between the optical and radar characteristics of meteors: Perseids 1998 and 1999 / P. Pecina, P. Koten, R. Stork, P. Pridal // Proceedings of the Meteoroids 2001 Conference / ed. B. Warmbein. – Kiruna, Sweden: [s.n.], 2001. – Vol. ESA SP495. – P. 399-403.

165. Нарзиев, М. Массы параллельных радиооптических метеоров по величине интенсивности свечения и линейной электронной плотности / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров. // Республиканская научно-практическая конференция «Роль молодых ученых в развитии науки, инноваций и технологий». – Душанбе, 2017. – С. 146-150.

166. Нарзиев, М. О массе параллельных радиооптических слабых метеоров по величине интенсивности свечения и ионизации на высоте зеркальной точки / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров. // Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2017. – Т. 3. - № 4. – С. 109-114.

167. Campbell-Brown, M. D. Photometric and ionization masses of meteors with simultaneous EISCAT UHF radar and intensified video observations / M. D. Campbell-Brown, J. Kero, C. Szasz [et al.] // J. Geophys. Res. – 2012. – Vol. 117. – P. A09323.

168. Michell, R. G. Simultaneous optical and radar measurements of meteors using the Poker Flat Incoherent Scatter Radar / R. G. Michell // J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys. – 2010. – Vol. 72. – P. 1212-1220.

169. Michell, R. G. Simultaneous optical and radar observations of meteor head-echoes utilizing SAAMER / R. G. Michell, D. Janches, M. Samara [et al.] // Planet. Space Sci. – 2015. – Vol. 118. – P. 95-101.

170. Нарзиев, М. Фотометрические и ионизационные массы одних и тех же ярких оптических и радиолокационных метеоров / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров. // In: Abstractbook, CAMMAC-2017. – Винница, 2017. – С. 65-74.

171. Нарзиев, М. Вариации свечения и ионизации вдоль следа одних и тех же метеоров / М. Нарзиев // Радиотехника. – 2016. – Т. 184. – С. 53-58.

172. Андреев, Г. В. Плотность и приток вещества метеорных потоков Геминид, Квадрантид и Леонид по наблюдениям в Душанбе / Г. В. Андреев, Р. Г. Лазарев, Л. Н. Рубцов, Г. О. Рябова // Метеорное вещество в межпланетном пространстве. – Казань: Изд-во КГУ, – 1982. – С. 60–66.

173. Белькович, О. И. Некоторые структурные особенности метеорных потоков Геминид и Квадрантид / Взаимодействие метеорного вещества с Землей и Оценка притока метеорного вещества на Землю и Луну / О. И. Белькович, В. С. Тохтасьев, Н. И. Сулеймонов. – Душанбе: Дониш, – 1975. – С. 93–99.

174. Светящкова, Н. Т. Плотность метеорных тел в потоках Геминид, Квадрантид, Ариетид / Н. Т. Светящкова. // Астрономический циркуляр. – 1979. – Т. 1075. – С. 1-3.

175. Исамутдинов, Ш. О. Исследование структуры метеорных потоков радиометодом: дис. … канд. физ.-мат. наук / Ш. О. Исамутдинов. – Душанбе, 1973. – 171 с.

176. Нарзиев, М. Распределение метеорных тел по массам в некоторых метеорных потоках / М. Нарзиев // Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2013. – Т. 3. - № 4. – С. 106-111.

177. Schult, C. A meteoroid stream survey using meteor head echo observations from the Middle Atmosphere ALOMAR Radar System (MAARSY) / C. Schult, P. Brown, P. Pokorný [et al.] // Icarus. – 2018. – Vol. 309. – P. 177-186.

178. Blaauw, R. C. The mass index and mass of the Geminid meteoroid stream as determined with radar, optical and lunar impact data / R. C. Blaauw // Planetary and Space Science. – 2017. – Vol. 143. – P. 83-88.

179. Reddy, K. C. Visual observations of Geminid meteor shower 2004 / K. C. Reddy, V. P. D. Kumar, G. Yellaiah // Bull. Astron. Soc. India. – 2008. – Vol. 34. – P. 225-233.

180. Jopek, T. J. Meteor stream identification: a new approach – III. The limitations of statistics / T. J. Jopek, G. B. Valsecchi, C. Froeschlé // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2003. – Vol. 344. - № 2. – P. 665-672.

181. Jenniskens, P. Meteor Showers and their Parent Comets / P. Jenniskens. - Cambridge University Press, 2006. https://doi.org/10.1017/CBO9781316257104

182. Šegon, D. Results of CMN 2013 search for new showers across CMN and SonotaCo databases III / D. Šegon, Ž. Andreić, P. Gural [et al.] // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2014. – Vol. 42. - № 6. – P. 227-233.

183. Shigeno, Y. Meteor shower catalog based on 3770 triangulation analyses of double-station Image-Intensified video observations over Japan / Y. Shigeno, M. Yamamoto // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2012. – Vol. 40. - № 1. – P. 24-35.

184. Andreić, Ž. Results of CMN 2013 search for new showers across CMN and SonotaCo databases I-0.5mm / Ž. Andreić, P. Gural, D. Šegon [et al.] // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2014. – Vol. 42. - № 3. – P. 90-97.

185. Porubcan, V. A search for fireball streams among photographic meteors / V. Porubcan, M. Gavajdova // Planetary and Space Science. – 1994. – Vol. 42. – № 2. – P. 151-155.

186. Odeh, M. S. New showers identified among meteors observed in the UAE / M. S. Odeh, M. A. Al-Wardat, P. Jenniskens // Exp Astron. – 2023. – Vol. 56. – P. 793–819. https://doi.org/10.1007/s10686-023-09908-6

187. Molau, S. A Comprehensive List of Meteor Showers Obtained from 10 Years of Observations with the IMO Video Meteor Network / S. Molau, J. Rendtel // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2009. – Vol. 37. - № 4. – P. 98-121.

188. Arlt, R. The new working list of visual meteor showers / R. Arlt // WGN. – 1995. – Vol. 23. - № 4. – P. 105-109.

189. Molau, S. Results of the IMO Video Meteor Network - January 2013 / S. Molau, J. Kac, E. Berko [et al.] // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2013. – Vol. 41. – № 2. – P. 61-66.

190. Šegon, D. 8 new showers from Croatian Meteor Network data / D. Šegon, Ž. Andreić, K. Korlević [et al.] // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2013. – Vol. 41. – № 3. – P. 70-74.

191. Shiba, Y. Halley Type and Long Period Meteor Shower Luminous Altitude Characteristics / Y. Shiba // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2023. –Vol. 51, –N. 4, –P. 93-108

192. Pokorný, P. An orbital meteoroid stream survey using the Southern Argentina Agile Meteor Radar (SAAMER) based on a wavelet approach / P. Pokorný, D. Janches, P. G. Brown, J. L. Hormaechea // Icarus. – 2017. – Vol. 290. – P. 162-182.

193. Šegon, D. Results of CMN 2013 search for new showers across CMN and SonotaCo databases III / D. Šegon, Ž. Andreić, P. Gural, I. Skokić, K. Korlević, D. Vida, F. Novoselnik, D. Gostinski // WGN, Journal of the International Meteor Organization, – 2014. –Vol. 42, – № 6, – P. 227-233.

194. Amaral, L. S. Encontreitor: First Radiants / L. S. Amaral, C. A. P. B. Bella, L. S. Trindade [et al.]. // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2020. – Vol. 48. – № 3. – P. 69-88.

195. SonotaCo. J14: A Meteor Shower and Cluster Catalog / SonotaCo, S. Uehara, T. Sekiguchi, Y. Fujiwara, K. Maeda, M. Ueda // WGN, Journal of the International Meteor Organization, – 2021. – Vol. 49. – № 4. – P. 76-97.

196. Jopek, T. J. Meteor stream identification a new approach. Application to 3675 radio meteors / T. J. Jopek, G. B. Valsecchi, Cl. Froeschle, // Meteoroids 1998, editors: W. J. Baggaley and V. Porubcan. Proceedings of the International Conference held at Tatranska Lomnica, Slovakia, August 17-21, 1998. Astronomical Institute of the Slovak Academy of Sciences, – 1999. – P. 307-310.

197. Jopek, T. J. The Smallest Solar System Bodies / T. J. Jopek, P. M. Jenniskens // Meteoroids, Proceedings of the Meteoroids Conference. – 2011. – P. 1-13.

198. Jopek, T. J. Proceedings of the Astronomical Conference held at A.M. University / T. J. Jopek, Z. Kaˇnuchov´a // Meteoroids 2013 / ред. T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams. – Pozna: 2014. – P. 353-364.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

I. Статьи в журналах, индексируемые в международной базе данных (Web of Science и Scopus)

[1-A]. **Khujanazarov, H. F.** IAU MDC meteor orbits database - A sample of radio-meteor data from the Hissar observatory / M. Narziev, R. P. Chebotarev, T. J. Jopek, L. Neslušan, V. Porubčan, J. Svoreň, H. F. Khujanazarov, R. Sh. Bibarsov, Sh. N. Irkaeva, Sh. O. Isomutdinov, V. N. Kolmakov, G. A. Polushkin, V. N. Sidorin // Planetary and Space Science. – 2020. – Vol. 192. – P. 105008. https://doi.org/10.1016/j.pss.2020.105008

[2-A]. **Khujanazarov, H. F.** The physical properties of the superbolide of Tajikistan on the results of combined satellite and ground-based observations / M. Narziev, H. F. Khujanazarov // Advances in Astronomy and Space Physics. – 2022. – Vol. 12. – Issue 1-2. –P. 8-12. doi: 10.17721/2227-1481.12.8-12.

II. Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и ВАК при Президенте Российской Федерации

[3-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** Идентификация потоков и ассоциаций радиометеоров за вторую половину января 1970 г / Х. Ф. Худжаназаров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 1(69). – С. 16-23.

[4-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** Январские метеорные потоки и ассоциации по результатам радиолокационных наблюдений в ГисАО / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров, Т. Й. Йопек // Доклады НАН Таджикистана. – 2023. – Т. 66. – № 9-10. – С.550-560.

[5-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** Потоки и ассоциации метеороидов, идентифицированные по результатам радионаблюдений в ГисАО за декабрь 1969 г. / Х. Ф. Худжаназаров, М. Нарзиев // Вестник ТНУ, Серия естественных наук. – 2022. – № 1. – С. 140-154.

[6-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** Радиометеорные данные Гиссарской обсерватории в базе данных ЦМД МАС / М. Нарзиев, Р. П. Чеботарев, Т. Й. Йопек, Л. Неслушан, В. Порубчан, Й. Сворень, Х. Ф. Худжаназаров // Политехнический Вестник, Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. - № 3 (51). – С. 18-20.

[7-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** О массе параллельных радиооптических слабых метеоров по величине интенсивности свечения и ионизации на высоте зеркальной точки / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров // Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2017. – № 4. – Вып. 3. – С. 109-114.

[8-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** Физические свойства 8916 радиометеоров, наблюденных в ГисАО / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров // Политехнический Вестник, Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 3 (63). – С. 28-32.

III. Список работ, опубликованных в материалах республиканских и международных конференций

[9-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** Массы радиооптических метеоров по величине интенсивности свечения и линейной электронной плотности / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров // II Международная научная конференция «Роль молодых ученых в развитии науки, инноваций и технологий». - Душанбе, 2017. – С. 146-150.

[10-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** Потоки и ассоциации метеороидов, выявленные по результатам радионаблюдений в ГисАО за декабрь 1969 г. / Х. Ф. Худжаназаров, М. Нарзиев // XI Международная научная конференция «Околоземная астрономия и космическое наследие» (РФ, г. Казань, 30 сентября-4 октября 2019 г.). – С.41.

[11-А]. **Хуҷаназаров, Ҳ. Ф.** Ошкор намудани селҳо ва ассотсиатсияҳои метеории моҳи феврал / Ҳ. Ф. Хуҷаназаров, М. Нарзиев // Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы астрофизики», посвященная «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)». – Душанбе, 2024. – С. 73-84. ISBN 978-99985-46-49-3.

[12-А]. **Khujanazarov, H. F.** Streams and associations of meteoroids according to the results of radar observations in HisAO for January 1970 / M. Narziev, H. F. Khujanazarov // The Fifteenth Moscow Solar System Symposium (15MS^3-SB-PS-12), 2024, – P.307.

[13-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** Орбиты и атмосферные траектории 6544 радиометеоров, зарегистрированных в Гиссарской астрономической обсерватории / Х. Ф. Худжаназаров, М. Нарзиев // Uzbek Journal of Modern Physics. – 2025. – Т. 2. – № 1. – С. 24-33.

[14-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** Орбиты и атмосферные траектории 6544 радиометеоров, зарегистрированных в ГисАО / Х. Ф. Худжаназаров, М. Нарзиев // Материалы II International Conference Fundamental and Applied Research in Physics, NUUz, May 16-17, 2025, – С.159.

[15-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** Линейная электронная плотность и радиовеличины 6544 радиометеоров, наблюденных в ГисАО / Х. Ф.

Худжаназаров // Илм аз дидгоҳи олимони ҷавон. (Маводи конференсияи I-уми ҷумҳуриявии илмӣ-Амалии «Нақши олимони ҷавон дар рушди илм, инноватсия, иқтисоди рақамӣ ва давлатдории миллӣ») - Душанбе: Дониш, 2025, – С. 260-263.

[16-А]. **Худжаназаров, Х. Ф.** Физические параметры метеорных потоков и ассоциаций за декабрь / Х. Ф. Худжаназаров, М. Нарзиев // Распространение радиоволн: труды XXIX Всероссийской открытой научной конференции (Казань, 30 июня – 4 июля 2025 г.), 2025. – С. 370-373.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Каталог радиантов, скоростей, орбит и физических характеристик групп метеороидов по результатам радиолокационных наблюдений на ГисАО за декабрь, январь и февраль месяцы

№	Поток и ассоц.	$\lambda_\odot$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_∞, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
Декабрь 1969																		
1	00004 GEM	261.1±1.2	113.7±2.4	33.1±1.9	37.3	35.6±3.9	34.3±2.6	0.07	0.10	0.902	0.136	28.0	261.1	325.0	400	-2.202	2.500	MDC [30, 74, 106, 111, 180]
2	00289 DNA	259.8±3.2	66.7±1.6	30.8±2.4	18.8	14.9±4.4	36.1±2.2	0.11	0.11	0.571	0.754	4.3	259.9	249.4	4	-1.240	0.630	MDC [154]
3	A	259.4±2.4	65.9±2.2	41.9±1.9	24.1	21.3±3.8	39.5±2.5	0.19	0.20	0.808	0.702	12.5	259.4	249.6	4	-1.626	1.420	[92] (epsilon-Perds)
4	00257 ORS	265.2	78.9	18.5	24.3	21.5	38.7	0.08	0.12	0.778	0.631	3.4	85.0	79.9	10	-1.747	1.575	MDC [61, 106, 153, 180, 181]
5	00256 ORN	260.8	88.8	26.6	32.8	30.9	40.2	0.15	0.16	0.910	0.385	4.3	260.9	286.1	29	-1.784	1.720	MDC [106, 153, 180, 181]
6	00638 DZT	264.5	92.6	17.3	29.9	27.7	38.4	0.15	0.16	0.843	0.426	6.3	84.5	104.8	18	-1.912	1.555	MDC [106]
7	A	259.7±2.8	88.6±2.9	37.0±2.5	29.5	27.2±3.9	37.7±2.4	0.18	0.17	0.811	0.437	13.8	259.7	284.4	16	-1.833	1.730	[10] (L 706)
8	A	260.0±1.6	99.5±2.6	9.0±0.7	35.1	33.3±4.2	37.2±2.7	0.17	0.18	0.875	0.262	23.1	79.9	125.3	4	-1.627	0.420	[10] (L 652)
9	A	261.4	104.5	52.9	34.3	32.5	38.1	0.22	0.23	0.830	0.439	37.3	261.4	283.4	10	-2.382	3.695	[38] (DEC Lyncids)
10	00398 DCM	265.3	112.8	-12.6	42.9	41.3	40.6	0.16	0.15	0.892	0.396	61.9	85.3	106.1	9	-2.872	3.630	MDC [111, 106]
11	00019 MON	261.2	106.3	6.5	43.3	41.9	40.4	0.17	0.19	0.965	0.171	41.5	81.2	133.4	11	-2.695	4.335	MDC [30, 74, 106, 111, 180, 181]
12	A	260.9	100.6	17.6	38.5	36.8	39.5	0.15	0.15	0.946	0.197	10.8	80.9	130.6	19	-2.201	2.020	[9, 10] (L 654)
13	00728 PGE	266.5	111.8	24.6	34.8	32.9	35.4	0.16	0.16	0.879	0.185	6.2	266.5	318.1	30	-2.240	2.390	MDC [9, 10]
14	00390 THA	260.6±1.5	103.8±2.2	34.3±1.6	36.2	34.5±3.8	37.3±3.0	0.16	0.18	0.897	0.221	20.2	260.6	310.3	42	-2.144	2.730	MDC [111, 106]
15	A	265.1	112	46.6	35.5	33.6	37.3	0.12	0.14	0.846	0.335	35.7	265.1	296.7	32	-2.547	3.230	[9] (K AS191)
16	**A**	**261.0±1.7**	**104.5±1.2**	**63.5±2.9**	**36.2**	**34.4±2.7**	**40.5±1.6**	**0.12**	**0.15**	**0.896**	**0.581**	**44.8**	**261.0**	**262.6**	**4**	**-2.291**	**3.620**	–
17	A	261.7±1.6	114.5±2.3	6.9±2.4	42.4	40.9±1.0	35.8±0.9	0.18	0.19	0.943	0.101	50.2	81.7	148.6	4	-2.591	3.820	[10] (L 716)
18	00610 SGM	266.0	116.7	11.2	39.6	38.0	34.9	0.12	0.15	0.930	0.101	28.1	86.0	150.7	8	-2.661	3.540	MDC [182]

№	Поток и ассоц.	$\lambda_\odot$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_∞, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
19	00641 DRG	264.2	123.8	29.8	36.8	35.1	31.1	0.21	0.21	0.918	0.087	28.9	264.2	335.4	15	-2.375	3.413	MDC [9, 106]
20	**A**	**261.1±0.8**	**123.1±1.4**	**43.2±1.6**	**36.3**	**34.5±4.0**	**32.3±2.6**	**0.13**	**0.13**	**0.827**	**0.200**	**47.2**	**261.1**	**319.7**	**5**	**-2.254**	**1.520**	–
21	**A**	**260.7±1.4**	**117.2±1.1**	**46.3±1.4**	**38.0**	**36.3±2.2**	**35.5±1.8**	**0.07**	**0.10**	**0.847**	**0.255**	**47.4**	**260.7**	**308.3**	**8**	**-2.230**	**2.760**	–
22	**A**	**261.8±1.2**	**122.1±1.0**	**55.3±2.2**	**35.8**	**34.0±3.1**	**35.3±2.1**	**0.11**	**0.17**	**0.756**	**0.398**	**49.4**	**261.8**	**293.1**	**4**	**-2.772**	**4.600**	–
23	01097 DOH	261.8±0.9	133.2±1.9	6.9±1.3	46.9	45.5±1.5	29.5±1.3	0.25	0.25	0.946	0.052	120.9	81.8	161.8	4	-2.764	3.380	MDC Jenniskens, 2022, submitted
24	**A**	**261.3±1.8**	**140.1±2.7**	**8.6±1.6**	**51.9**	**50.7±3.8**	**30.0±4.4**	**0.09**	**0.11**	**0.893**	**0.115**	**154.7**	**81.3**	**151.9**	**5**	**-2.239**	**1.800**	–
25	**A**	**260.0±0.8**	**133.9±1.7**	**15.1±2.5**	**60.1**	**59.1±2.3**	**40.1±1.5**	**0.12**	**0.17**	**0.972**	**0.156**	**170.1**	**260.0**	**315.7**	**4**	**-2.840**	**2.750**	–
26	A	265.6	156	20.1	52.9	51.8	28.6	0.24	0.25	0.774	0.207	151.2	265.6	326.1	15	-2.741	2.783	[38] (DEC Leonids)
27	**A**	**261.3±1.3**	**135.6±2.4**	**63.9±1.1**	**39.7**	**38.1±2.1**	**38.0±1.4**	**0.16**	**0.18**	**0.670**	**0.579**	**61.1**	**261.3**	**267.3**	**4**	**-2.119**	**2.600**	–
28	**A**	**260.2±1.3**	**153.1±2.3**	**-0.2±1.6**	**57.1**	**55.9±1.7**	**29.0±1.1**	**0.11**	**0.13**	**0.507**	**0.460**	**155.8**	**80.2**	**126.2**	**4**	**-2.734**	**2.500**	–
29	**A**	**259.6±1.4**	**150.5±1.5**	**7.1±1.7**	**53.5**	**52.3±1.8**	**26.3±1.8**	**0.07**	**0.10**	**0.700**	**0.243**	**167.2**	**79.7**	**146.6**	**4**	**-3.013**	**4.750**	–
30	**A**	**261.1±1.2**	**147.8±2.2**	**14.4±1.5**	**59.8**	**58.7±2.9**	**34.4±3.2**	**0.10**	**0.12**	**0.800**	**0.309**	**175.6**	**261.1**	**304.2**	**5**	**-3.039**	**4.860**	–
31	00443 DCL	258.5±0.8	153.9±1.4	19.3±1.6	64.1	63.1±0.6	36.7±0.6	0.17	0.17	0.703	0.576	163.1	258.4	270.2	4	-2.544	2.700	MDC [183]
32	A	261.6±1.3	160.6±1.2	14.1±1.6	61.0	60.0±0.6	32.1±0.7	0.22	0.25	0.505	0.571	168.3	261.6	285.0	4	-3.596	6.470	[10] (L 669)
33	**A**	**261.2±1.8**	**156.7±1.6**	**34.8±1.4**	**50.4**	**49.1±1.2**	**29.7±2.0**	**0.07**	**0.12**	**0.679**	**0.314**	**117.8**	**261.2**	**313.9**	**4**	**-2.602**	**1.860**	–
34	A	262.1	151.3	44.6	48.1	46.8	33.8	0.20	0.22	0.747	0.358	95.4	262.1	301.2	9	-2.651	2.030	[10] (L 731)
35	**A**	**261.8±1.4**	**166.0±1.8**	**-15.3±1.6**	**59.8**	**58.7±2.8**	**32.0±3.0**	**0.17**	**0.15**	**0.244**	**0.897**	**141.5**	**81.8**	**341.3**	**4**	**-2.651**	**3.170**	–
36	**A**	**262.8±0.6**	**163.8±1.6**	**-4.5±1.6**	**59.0**	**57.9±2.0**	**29.1±2.1**	**0.16**	**0.20**	**0.246**	**0.717**	**158.1**	**82.8**	**117.0**	**4**	**-2.556**	**1.830**	–
37	**A**	**262.1±1.6**	**187.3±1.8**	**-19.3±1.2**	**57.7**	**56.6±2.0**	**32.5±2.3**	**0.1**	**0.16**	**0.661**	**0.411**	**144.5**	**82.1**	**241.6**	**4**	**-2.650**	**3.540**	–
38	**A**	**261.3±0.6**	**192.2±1.0**	**-14.0±2.1**	**54.9**	**53.8±1.9**	**29.9±1.2**	**0.12**	**0.16**	**0.758**	**0.240**	**157.0**	**81.3**	**220.6**	**4**	**-2.278**	**1.860**	–
39	A	258.8±1.6	196.1±1.4	-4.4±3.0	64.8	63.8±2.1	39.6±1.9	0.18	0.19	0.905	0.405	172.7	258.9	255.6	4	-2.438	2.430	[10] (L 665)
40	**A**	**259.6±2.6**	**190.9±2.0**	**19.1±1.2**	**49.5**	**48.3±1.9**	**24.6±1.4**	**0.14**	**0.18**	**0.500**	**0.373**	**126.5**	**259.6**	**26.7**	**4**	**-2.785**	**2.050**	–
41	00562 BCT	261.3±2.4	187.1±2.8	27.2±2.0	63.1	62.1±1.2	38.1±0.9	0.20	0.22	0.622	0.969	130.6	261.4	167.4	6	-2.684	1.930	MDC [184]
42	A	261.7±1.0	211.1±1.6	-1.2±2.0	57.7	56.6±2.0	38.1±2.4	0.14	0.16	0.934	0.173	142.3	261.7	44.6	4	-2.715	2.850	[10] (L 781)
43	00334 DAD	260.7	216.3	55.8	40.6	39.0	37.1	0.18	0.21	0.534	0.978	69.9	260.7	174.5	12	-2.369	2.105	MDC [30, 106, 153]

№	Поток и ассоц.	$\lambda_{\odot}$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_{∞}, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
44	01148 SLI	258.8±1.6	225.4±2.6	-25.1±1.4	45.5	44.1±2.4	39.7±1.6	0.20	0.19	0.981	0.069	32.2	78.8	208.2	4	-2.272	5.830	MDC Jenniskens, 2022, submitted
45	A	260.9	225.25	12.3	46.3	44.9	36.4	0.27	0.26	0.848	0.279	79.6	260.9	55.4	8	-2.735	2.885	[10] (L 790)
46	A	261.8±0.9	216.8±2.0	48.9±2.0	41.2	39.6±2.2	35.5±0.9	0.19	0.21	0.421	0.947	73.4	261.8	151.3	7	-2.686	3.340	[10] (L 783)
47	00262 KLI	265.2	238.1	-25.3	37.4	35.7	36.3	0.13	0.17	0.913	0.157	11.7	85.2	220.0	9	-1.885	1.970	MDC [61]
48	**A**	**258.0±1.0**	**232.1±2.2**	**-7.4±1.6**	**35.8**	**34.0±4.1**	**34.3±2.2**	**0.14**	**0.19**	**0.875**	**0.170**	**24.1**	**258.0**	**39.1**	**4**	**-1.799**	**1.710**	–
49	**A**	**258.9±1.4**	**227.4±3.0**	**28.8±1.7**	**44.8**	**43.4±3.0**	**38.3±1.2**	**0.12**	**0.17**	**0.774**	**0.614**	**74.5**	**258.9**	**97.7**	**6**	**-2.366**	**2.850**	–
50	**A**	**261.6±0.8**	**239.2±1.6**	**4.5±2.0**	**39.2**	**37.6±1.6**	**37.7±0.4**	**0.23**	**0.19**	**0.880**	**0.279**	**45.3**	**261.6**	**57.7**	**4**	**-1.438**	**3.430**	–
51	A	261.7±1.2	241.5±2.2	56.8±1.8	38.1	36.5±1.6	41.3±0.8	0.15	0.17	0.899	0.968	58.5	261.7	165.0	4	-2.303	2.510	[10] (L 792)
52	A	260.0±1.2	245.6±3.0	64.4±2.3	34.3	32.4±2.4	40.3±1.3	0.18	0.19	0.807	0.983	52.3	260.0	177.1	5	-1.707	1.310	[10]
53	A	261.1±2.4	263.6±2.6	37.3±2.0	27.3	25.3±3.2	39.2±1.8	0.25	0.27	0.738	0.870	36.2	261.1	136.4	4	-1.475	0.530	[10] L 803
54	00258 DAR	269.3±0.5	83.4±2.6	30.0±1.4	24.6	21.9±3.6	39.0±2.2	0.10	0.11	0.796	0.636	4.6	269.4	258.6	7	-1.877	1.710	MDC [185]
55	01179 OGE	270.1±1.0	90.0±2.1	23.7±2.4	27.3	24.9±2.8	39.3±1.5	0.20	0.21	0.839	0.545	1.8	270.4	268.6	13	-1.843	1.490	MDC [153]
56	A	269.7±0.9	96.9±2.6	0.9±3.0	26.4	23.9±3.6	36.3±2.2	0.12	0.13	0.709	0.530	18.3	89.7	96.9	7	-1.566	1.430	[10] (L S Taurids)
57	00726 DEG	269.5±0.5	100.0±1.9	23.1±1.0	32.2	30.2±2.6	39.1±1.5	0.11	0.13	0.883	0.368	1.1	269.5	289.8	5	-2.193	1.470	MDC [106]
58	A	270.8±0.5	97.6±1.3	37.1±1.8	31.0	28.9±2.5	40.0±1.6	0.21	0.18	0.891	0.468	14.0	270.8	276.6	6	-2.382	1.920	[92] (epsilon-Gemds)
59	A	270.1±0.8	105.8±2.6	11.9±2.5	30.9	28.8±2.3	35.9±1.3	0.17	0.18	0.811	0.329	13.3	90.1	119.4	12	-2.150	2.320	[9] (K AS192)
60	01098 EMI	280.0	114.15	2.9	36.4	34.8	39.7	0.26	0.26	0.907	0.333	24.5	100.0	113.7	11	-2.419	2.995	MDC Jenniskens, 2022, submitted
61	00604 ACZ	269.6±0.8	114.7±1.0	14.5±1.2	31.3	29.2±4.4	32.6±2.4	0.17	0.19	0.816	0.213	11.3	89.6	138.3	4	-2.457	3.080	MDC [67, 182]
62	A	269.5±0.8	112.7±1.2	28.8±1.4	35.2	33.4±2.9	36.7±1.9	0.14	0.15	0.887	0.214	12.4	269.6	311.7	5	-2.676	4.030	[9] (K AS189)
63	A	269.8±0.7	118.8±1.1	27.2±2.1	38.7	37.0±1.0	36.5±0.8	0.21	0.22	0.932	0.126	15.6	269.8	323.8	6	-2.691	3.890	[9] (K AS190)
64	A	269.6±0.5	120.4±2.8	40.3±3.0	27.4	25.0±0.4	31.0±0.3	0.25	0.25	0.699	0.316	21.9	269.6	310.6	4	-2.471	3.210	[154] (Gemds (N))
65	**A**	**269.0±0.4**	**141.3±2.4**	**14.0±2.4**	**57.8**	**56.7±2.2**	**38.8±1.2**	**0.06**	**0.10**	**0.969**	**0.106**	**167.7**	**89.1**	**145.2**	**4**	**-2.740**	**1.950**	–
66	**A**	**269.4±0.4**	**147.8±2.6**	**54.9±1.9**	**42.4**	**40.9±1.7**	**37.1±1.0**	**0.08**	**0.11**	**0.775**	**0.472**	**68.6**	**269.4**	**281.2**	**5**	**-3.347**	**6.360**	–
67	A	270.3±0.0	155.4±3.0	7.0±0.9	62.4	61.4±1.2	36.7±1.9	0.1	0.11	0.800	0.386	172.7	90.3	111.9	4	-2.457	1.550	[10, 67] (L 15)
68	A	269.5±1.7	156.9±2.3	14.9±1.7	61.2	60.2±2.6	36.1±2.9	0.17	0.17	0.806	0.354	167.5	269.5	296.5	5	-2.884	3.950	[156] (089EDMRud1 PVI)

№	Поток и ассоц.	$\lambda_\odot$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_∞, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
69	**A**	**270.0±0.4**	**161.2±1.0**	**55.1±2.0**	**44.3**	**42.9±2.6**	**36.8±2.0**	**0.11**	**0.17**	**0.721**	**0.571**	**76.3**	**270.0**	**270.8**	**4**	**-3.056**	**3.180**	**–**
70	**A**	**269.9**	**169.3**	**3.1**	**54.5**	**53.4**	**24.9**	**0.09**	**0.10**	**0.510**	**0.375**	**165.0**	**270.0**	**328.1**	**10**	**-2.995**	**4.025**	**–**
71	A	269.5±0.2	164.4±0.5	29.0±1.2	57.3	56.2±0.8	34.8±0.7	0.28	0.28	0.713	0.443	131.3	269.6	289.4	8	-2.814	2.370	[10] (L 724)
72	**A**	**269.6±0.4**	**177.6±2.2**	**4.0±1.0**	**59.8**	**58.7±2.8**	**28.7±3.0**	**0.15**	**0.15**	**0.245**	**0.717**	**174.3**	**269.6**	**300.4**	**4**	**-2.808**	**2.090**	**–**
73	**A**	**269.7±0.6**	**176.3±0.6**	**48.8±2.4**	**46.7**	**45.3±1.4**	**34.2±2.0**	**0.09**	**0.13**	**0.538**	**0.662**	**89.2**	**269.7**	**267.3**	**4**	**-2.582**	**2.090**	**–**
74	**A**	**269.9±0.6**	**187.2±1.4**	**-16.2±4.1**	**64.1**	**63.1±1.4**	**35.6±1.6**	**0.17**	**0.17**	**0.542**	**0.757**	**156.2**	**89.9**	**289.8**	**4**	**-2.291**	**1.830**	**–**
75	**A**	**269.6±0.4**	**194.1±0.4**	**27.7±1.6**	**58.7**	**57.6±0.6**	**35.3±0.6**	**0.06**	**0.09**	**0.380**	**0.982**	**123.1**	**269.6**	**174.2**	**4**	**-3.029**	**2.850**	**–**
76	A	269.9±0.4	200.5±2.0	39.6±2.0	57.2	56.1±1.0	40.2±1.0	0.23	0.22	0.792	0.983	104.8	269.9	181.2	4	-3.209	3.920	[10] (L 771
77	A	270.3±0.6	204.8±1.0	61.2±2.0	35.8	34.0±1.6	34.3±0.6	0.18	0.19	0.343	0.928	62.7	270.3	218.8	4	-2.385	2.440	[10] (L 763)
78	A	269.7±0.4	208.3±1.6	8.4±3.5	62.5	61.4±2.6	38.3±1.6	0.19	0.23	0.795	0.566	139.6	269.7	92.2	4	-2.372	1.010	[10] (L 775)
79	**A**	**269.8±0.4**	**209.1±0.6**	**24.5±1.2**	**52.1**	**50.9±1.0**	**32.5±0.8**	**0.06**	**0.08**	**0.411**	**0.699**	**109.7**	**269.8**	**90.1**	**4**	**-2.775**	**3.570**	**–**
80	**A**	**269.7±0.4**	**219.9±1.2**	**4.8±2.0**	**57.3**	**56.2±2.2**	**38.5±1.8**	**0.12**	**0.13**	**0.896**	**0.292**	**124.0**	**269.7**	**60.6**	**4**	**-2.938**	**2.810**	**–**
81	**A**	**270.0±0.7**	**215.5±3.3**	**58.1±2.1**	**37.5**	**35.8±2.5**	**35.7±1.2**	**0.10**	**0.17**	**0.418**	**0.975**	**65.1**	**270.0**	**192.1**	**5**	**-1.798**	**2.390**	**–**
82	00015 URS	270.1±0.4	215.9±1.6	68.1±2.2	36.7	34.9±1.6	38.7±1.0	0.18	0.19	0.675	0.954	58.9	270.1	202.2	4	-2.374	2.630	MDC [30, 74, 106, 111, 153]
83	**A**	**270.0±0.5**	**231.2±2.7**	**22.5±1.8**	**46.0**	**44.6±2.5**	**36.6±1.2**	**0.12**	**0.16**	**0.729**	**0.525**	**81.2**	**270.0**	**83.6**	**8**	**-2.912**	**2.400**	**–**
84	A	270.7±0.4	232.8±1.8	37.1±3.4	46.1	44.7±1.4	40.0±0.8	0.25	0.26	0.808	0.827	76.7	270.7	130.5	4	-3.207	4.430	[10] (L 50)
85	A	269.8±0.5	222.9±1.2	48.1±1.4	41.8	40.2±2.4	36.7±1.4	0.20	0.22	0.510	0.957	72.9	269.8	156.9	5	-2.609	1.930	[10] (L 782)
86	01147 NLI	270.4	242.0	-10.7	36.3	34.5	33.7	0.20	0.22	0.902	0.145	22.2	270.4	35.9	10	-1.843	1.615	MDC Jenniskens, 2022, submitted
87	00330 SSE	270.1±0.5	238.4±1.8	0.1±1.9	41.8	40.3±3.0	35.4±2.0	0.12	0.18	0.901	0.158	56.7	270.1	39.4	7	-2.631	3.000	MDC [74, 106, 111]
88	00320 OSE	270.3±0.8	242.8±0.7	3.8±1.8	38.7	37.1±3.7	35.5±2.5	0.19	0.22	0.850	0.246	49.2	270.3	50.4	5	-2.621	3.060	MDC Jenniskens 2022, submitted
89	A	270.5±0.0	237.6±2.2	16.9±2.0	40.0	38.4±1.2	34.4±2.0	0.28	0.28	0.734	0.391	65.3	270.5	64.4	4	-2.987	5.490	[10] (L 49)
90	A	270.5±0.7	242.4±1.2	24.7±1.5	41.3	39.8±2.8	38.3±2.0	0.27	0.14	0.783	0.590	64.4	270.5	94.6	4	-2.667	2.200	[10] (L 797)
91	00843 DMD	269.4±0.0	243.2±0.4	56.8±2.8	33.0	31.0±2.8	37.7±1.8	0.21	0.23	0.585	0.969	52.6	269.4	164.6	4	-2.247	2.210	MDC [93]
92	**A**	**270.0±0.8**	**277.5±2.7**	**-3.4±2.8**	**21.0**	**17.6±1.6**	**36.9±0.9**	**0.17**	**0.19**	**0.635**	**0.731**	**10.4**	**270.1**	**109.6**	**5**	**-1.132**	**1.430**	**–**
93	A	270.0±1.0	260.3±2.4	37.0±3.0	32.0	29.9±2.6	39.6±1.6	0.25	0.24	0.785	0.835	44.5	270.0	130.7	4	-2.260	4.170	[10] (L 798)

№	Поток и ассоц.	$\lambda_\odot$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_∞, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
Январь 1970																		
94	00010 QUA	283.4±0.4	229.9±3.7	49.4±2.6	42.0	40.4±1.9	38.3±1.6	0.06	0.08	0.633	0.976	71.0	283.4	170.6	120	-2.217	2.800	MDC [30, 74, 106, 111, 153, 180, 181]
95	A	288.0±2.8	95.3±2.3	14.6±2.6	22.0	18.9±2.6	39.2±2.5	0.11	0.16	0.783	0.739	4.7	108.0	65.3	4	-1.205	0.910	[92] (alfa-Orids)
96	00267 JNO	287.6±4.3	99.1±2.8	2.3±2.2	18.6	14.7±3.3	35.3±1.4	0.18	0.17	0.517	0.761	9.5	107.5	70.2	4	-0.776	0.580	MDC [154]
97	01168 DCN	292.5±3.5	112.9±0.9	4.6±3.4	23.5	20.6±2.8	36.2±1.6	0.16	0.16	0.663	0.610	11.7	112.5	87.7	7	-1.063	0.330	MDC Jenniskens 2022
98	01193 JLG	288.4±5.0	107.9±1.7	14.9±2.5	24.3	21.5±3.2	37.5±2.3	0.13	0.13	0.734	0.599	5.3	108.4	86.4	6	-1.711	0.750	MDC [186, 10]
99	00097 SCC	294.2	119.5	11.0	28.4	26.0	38.1	0.15	0.16	0.807	0.488	8.9	114.1	97.8	29	-1.747	1.555	MDC [61, 106, 153, 154, 186]
100	00331 AHY	289.0	132.4	-13.5	40.5	39.0	37.6	0.19	0.22	0.856	0.336	55.4	109.0	116.0	17	-2.207	2.390	MDC [30, 74, 106, 111, 187]
101	00266 ACC	294.4±0.8	127.2±0.7	6.6±1.7	25.9	23.3±2.1	33.7±1.0	0.16	0.17	0.684	0.420	11.1	114.4	114.4	4	-1.655	0.880	MDC [185]
102	00096 NCC	295.8	128.7	21.5	29.6	27.4	37.2	0.12	0.13	0.815	0.399	3.3	296.0	289.4	28	-2.034	1.867	MDC [38, 61, 106, 121, 153, 188, 189]
103	A	290.5±3.0	122.6±0.6	38.6±2.9	27.5	25.0±4.4	37.5±2.8	0.24	0.26	0.764	0.522	15.3	290.5	275.4	4	-1.718	1.170	[38] (JAN Cancrds)
104	**A**	**289.6±6.1**	**141.1±1.7**	**-30.4±2.0**	**44.6**	**43.1±1.1**	**37.4±1.7**	**0.16**	**0.14**	**0.728**	**0.580**	**75.6**	**109.6**	**88.6**	**4**	**-2.043**	**2.550**	–
105	00408 KHY	286.6±3.1	135.5±1.4	-2.9±0.9	44.8	43.4±2.5	38.4±3.3	0.22	0.22	0.952	0.155	59.1	106.6	137.4	5	-2.516	2.830	MDC [111]
106	A	299.0	136.225	10.1	30.7	28.5	35.4	0.16	0.15	0.812	0.319	8.5	119.0	122.2	28	-1.985	1.413	[38] (DEL-Cancrids)
107	A	290.7±3.6	135.6±2.7	13.8±2.6	37.6	35.9±1.6	36.7±2.0	0.19	0.2	0.927	0.154	7.2	110.7	139.7	12	-2.285	1.920	[10] (L 7)
108	00644 JLL	293.5±1.9	138.5±1.1	26.8±2.6	37.1	35.3±4.0	38.4±2.3	0.19	0.21	0.908	0.228	18.6	293.5	308.0	7	-2.405	1.730	MDC [106, 153]
109	A	289.3±5.1	133.1±2.4	32.6±1.3	31.2	29.1±3.1	35.5±2.2	0.25	0.25	0.804	0.329	18.5	289.4	300.2	5	-1.940	1.050	[92] (alfa-Lynds')
110	00402 JHY	294.6±0.8	145.8±1.4	-20.4±1.7	44.2	42.7±3.9	35.9±2.8	0.23	0.24	0.810	0.335	74.3	114.6	118.9	4	-2.540	6.280	MDC [111]
111	00405 MHY	299.7	146.9	-14.5	42.5	41.0	36.3	0.25	0.26	0.873	0.246	62.7	119.7	128.6	9	-2.772	4.830	MDC [111]
112	00515 OLE	294.2±2.2	146.6±1.8	7.0±0.5	40.6	39.0±2.7	34.3±1.8	0.07	0.09	0.954	0.064	24.7	114.2	156.6	4	-2.424	2.590	MDC [190]
113	**A**	**289.6±5.1**	**144.8±2.2**	**13.1±1.1**	**31.8**	**29.7±2.1**	**28.6±3.7**	**0.06**	**0.16**	**0.873**	**0.123**	**2.5**	**109.5**	**152.5**	**4**	**-2.217**	**2.940**	–
114	00747 JKL	299.5	156.45	24.0	38.1	36.5	34.3	0.28	0.24	0.900	0.144	34.0	299.5	324.9	9	-2.193	2.660	MDC [93
115	**A**	**287.3±5.5**	**141.7±1.9**	**49.7±1.8**	**34.5**	**32.6±2.7**	**37.7±1.6**	**0.15**	**0.15**	**0.802**	**0.461**	**40.3**	**287.3**	**281.5**	**4**	**-2.710**	**2.920**	–

№	Поток и ассоц.	$\lambda_\odot$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_∞, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
116	00708 RLM	292.9±2.3	156.5±3.6	36.6±1.3	35.5	33.7±3.4	33.1±3.6	0.22	0.23	0.805	0.251	43.9	292.9	312.9	4	-2.739	3.360	MDC [106]
117	**A**	**291.1±2.9**	**166.4±1.2**	**-6.6±0.8**	**60.1**	**59.0±3.0**	**37.4±3.2**	**0.12**	**0.15**	**0.874**	**0.301**	**148.2**	**111.1**	**120.2**	**4**	**-2.122**	**3.630**	–
118	A	289.4±4.0	162.4±1.6	12.1±2.3	55.8	54.6±2.4	37.2±3.3	0.29	0.28	0.961	0.081	160.2	289.4	331.0	4	-3.189	5.770	[10] (L 10)
119	**A**	**291.8±3.5**	**182.5±1.3**	**-16.7±1.6**	**60.0**	**58.9±1.1**	**32.0±1.5**	**0.16**	**0.18**	**0.416**	**0.664**	**150.0**	**111. 8**	**98.1**	**4**	**-2.349**	**3.310**	–
120	00089 PVI	287.4±4.3	173.7±2.1	7.0±1.3	62.9	61.9±2.6	37.3±3.8	0.23	0.23	0.819	0.389	170.3	287.4	291.2	4	-2.491	2.040	MDC [191]
121	**A**	**285.3±2.1**	**178.4±2.1**	**15.1±2.1**	**56.7**	**55.6±1.1**	**31.5±2.0**	**0.12**	**0.13**	**0.673**	**0.357**	**147.1**	**285.3**	**306.0**	**5**	**-2.695**	**2.450**	–
122	00822 NUT	292.9±2.0	183.2±0.8	21.2±1.4	59.2	58.2±3.0	37.6±3.0	0.24	0.25	0.827	0.433	130.2	292.9	284.8	5	-3.060	3.230	MDC [93]
123	A	290.2±2.9	185.1±2.3	-5.0±1.2	62.8	61.8±4.3	33.2±4.7	0.28	0.29	0.550	0.627	174.7	110.3	97.7	4	-2.713	2.920	[10] (L 15)
124	A	286.4	183.1	9.5	66.9	65.9	39.0	0.14	0.16	0.777	0.695	160.1	286.4	249.4	9	-2.430	2.855	[10] (L 21B)
125	A	293.6±1.7	187.6±0.8	16.1±3.0	57.7	56.6±2.4	33.6±0.9	0.30	0.29	0.659	0.451	137.6	293.6	291.3	4	-2.936	2.320	[156] (506EDMRud1 FEV)
126	A	291.6±5.2	187.1±2.5	25.9±2.9	58.2	57.1±1.8	37.5±3.0	0.17	0.20	0.758	0.554	121.4	291.6	272.1	4	-3.315	6.410	[156] (616EDMRud1 TOB)
127	**A**	**288.2±5.8**	**189.9±1.5**	**49.3±1.8**	**36.7**	**35.0±2.8**	**31.4±2.2**	**0.14**	**0.19**	**0.455**	**0.599**	**66.4**	**288.2**	**286.5**	**5**	**-1.711**	**1.070**	–
128	A	280.7	181.6	5.8	68.0	67.1	38.4	0.14	0.18	0.722	0.809	169.0	280.7	232.0	12	-2.732	2.400	[10] (L 21A)
129	**A**	**293.5±1.9**	**200.3±1.2**	**8.5±2.4**	**61.7**	**60.7±0.9**	**33.3±1.7**	**0.15**	**0.15**	**0.324**	**0.851**	**148.9**	**293.5**	**245.3**	**4**	**-2.874**	**5.370**	–
130	01103 FBI	287.8±4.4	199.9±1.6	15.6±1.3	67.7	66.8±1.3	40.7±1.5	0.20	0.22	0.847	0.947	141.0	287.8	199.9	4	-2.916	4.460	MDC Jenniskens, 2022, submitted
131	A	291.9±4.5	208.0±1.2	34.4±1.6	56.3	55.2±1.7	39.3±1.0	0.20	0.21	0.730	0.927	104.6	291.9	208.8	5	-2.785	3.280	[10] (L 31)
132	A	284.8	208.2	51.2	40.3	38.7	34.6	0.23	0.24	0.383	0.902	72.5	284.8	226.2	10	-2.117	2.185	[38] (LMD Bootds)
133	**A**	**286.4**	**210.0**	**59.3**	**33.6**	**31.6**	**34.3**	**0.14**	**0.18**	**0.367**	**0.894**	**57.4**	**286.4**	**230.5**	**8**	**-2.308**	**3.500**	–
134	A	296.7	222.4	2.4	63.2	62.2	35.9	0.23	0.24	0.550	0.787	145.4	296.7	115.5	8	-2.772	2.950	[10] (L 39)
135	**A**	**288.5±4.7**	**209.5±2.5**	**9.6±1.8**	**50.9**	**49.6±2.1**	**24.1±1.4**	**0.14**	**0.18**	**0.412**	**0.431**	**132.7**	**288.5**	**15.2**	**5**	**-2.840**	**3.990**	–
136	A	291.3±4.1	210.4±2.1	8.3±1.9	68.3	67.2±1.7	40.2±2.1	0.20	0.22	0.804	0.958	145.9	291.2	163.1	4	-2.793	3.690	[10] (L 37)
137	**A**	**292.5±1.8**	**214.6±2.1**	**26.7±1.1**	**47.7**	**46.3±3.6**	**29.2±3.5**	**0.17**	**0.20**	**0.231**	**0.761**	**102.0**	**292.5**	**11.6**	**4**	**-2.740**	**3.530**	–
138	A	289.2±5.6	217.2±0.4	38.5±1.1	51.5	50.3±2.5	38.5±1.5	0.25	0.27	0.645	0.972	93.2	289.2	185.5	4	-2.384	3.170	[10] (L 38)
139	00322 LBO	297.4	220.65	40.3	42.0	40.5	32.9	0.20	0.18	0.259	0.921	79.5	297.4	218.9	37	-2.545	2.633	MDC [74, 111]
140	**A**	**288.5±5.1**	**221.2±1.6**	**42.5±0.9**	**29.0**	**26.8±3.0**	**26.5±1.2**	**0.17**	**0.19**	**0.231**	**0.624**	**55.5**	**288.5**	**12.3**	**4**	**-1.409**	**1.180**	–

№	Поток и ассоц.	$\lambda_\odot$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_∞, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
141	**A**	**289.9±4.0**	**222.2±2.3**	**-2.1±2.5**	**59.4**	**58.3±2.2**	**33.4±2.3**	**0.16**	**0.18**	**0.636**	**0.473**	**149.0**	**289.9**	**69.0**	**5**	**-2.943**	**3.820**	**–**
142	**A**	**289.2±4.0**	**228.0±1.4**	**12.4±1.6**	**54.4**	**53.2±1.6**	**33.9±0.9**	**0.14**	**0.17**	**0.572**	**0.580**	**115.9**	**289.2**	**82.9**	**5**	**-2.492**	**1.690**	**–**
143	**A**	**287.5±4.5**	**227.0±1.6**	**22.7±1.1**	**54.4**	**53.2±1.4**	**37.1±2.2**	**0.19**	**0.19**	**0.606**	**0.806**	**105.0**	**287.5**	**121.5**	**4**	**-2.507**	**2.710**	**–**
144	00769 PPH	289.4±5.1	230.2±2.4	31.6±1.6	40.0	38.5±1.5	30.0±0.6	0.18	0.19	0.246	0.740	79.0	289.4	75.8	6	-2.506	2.200	MDC [192]
145	00900 BBO	294.3±2.1	224.9±1.9	38.5±1.3	51.0	49.7±2.0	39.4±2.3	0.27	0.27	0.723	0.982	90.1	294.3	177.5	4	-2.726	3.660	MDC [93, 191]
146	**A**	**289.0±3.8**	**236.1±0.7**	**5.5±1.5**	**44.7**	**43.2±3.7**	**28.4±3.7**	**0.13**	**0.16**	**0.780**	**0.206**	**97.0**	**289.0**	**35.2**	**5**	**-2.685**	**2.180**	**–**
147	**A**	**290.5±4.2**	**235.1±1.9**	**20.5±2.1**	**42.9**	**41.4±2.0**	**29.8±1.4**	**0.13**	**0.15**	**0.484**	**0.505**	**86.8**	**290.5**	**59.6**	**9**	**-2.506**	**3.540**	**–**
148	00788 NHR	288.8±4.1	242.0±2.3	3.9±2.0	37.3	35.6±1.1	26.3±2.6	0.14	0.16	0.811	0.154	68.6	288.8	27.2	4	-2.120	0.950	MDC [192]
149	**A**	**290.2±5.3**	**242.6±1.4**	**-0.9±1.6**	**48.8**	**47.5±2.6**	**33.5±3.3**	**0.18**	**0.19**	**0.881**	**0.162**	**102.5**	**290.2**	**37.8**	**4**	**-2.911**	**6.350**	**–**
150	**A**	**290.1±4.3**	**244.1±2.0**	**14.0±2.2**	**44.0**	**42.6±2.9**	**33.0±1.7**	**0.15**	**0.19**	**0.688**	**0.394**	**82.4**	**290.1**	**61.4**	**9**	**-2.738**	**3.350**	**–**
151	**A**	**292.7**	**244.2**	**22.9**	**44.6**	**43.2**	**34.8**	**0.12**	**0.19**	**0.603**	**0.614**	**81.6**	**292.7**	**87.9**	**8**	**-2.541**	**2.085**	**–**
152	00323 XCB	296.0	245.9	31.5	44.4	42.9	37.2	0.22	0.21	0.610	0.823	77.7	296.0	124.9	50	-2.611	2.730	MDC [74, 106, 111, 153, 187, 189]
153	00321 TCB	289.3±4.5	235.6±1.1	34.2±1.4	41.2	39.7±2.1	33.5±1.5	0.24	0.25	0.374	0.821	76.3	289.3	112.8	14	-2.391	2.410	MDC [74, 111]
154	A	296.0	244.7	40.5	42.6	41.0	38.3	0.20	0.21	0.651	0.927	72.2	296.0	149.5	44	-2.620	2.595	[38] (S3 Quadrantds)
155	00404 GUM	286.7±5.0	230.0±3.6	57.0±1.8	38.7	37.0±2.2	38.9±1.6	0.12	0.16	0.680	0.978	63.2	286.7	187.0	19	-2.353	3.560	MDC [106, 111, 153, 189]
156	**A**	**291.5±3.8**	**256.9±2.2**	**-18.5±2.0**	**31.6**	**29.5±4.4**	**28.6±3.8**	**0.11**	**0.15**	**0.862**	**0.125**	**9.9**	**291.5**	**26.9**	**4**	**-1.557**	**0.780**	**–**
157	**A**	**288.8±6.1**	**260.2±1.7**	**7.6±1.8**	**36.7**	**35.0±2.0**	**35.1±3.5**	**0.13**	**0.15**	**0.801**	**0.339**	**49.4**	**288.8**	**60.2**	**4**	**-2.263**	**4.090**	**–**
158	**A**	**293.9±1.0**	**255.3±0.8**	**16.2±2.8**	**49.2**	**47.9±1.9**	**41.2±1.1**	**0.1**	**0.13**	**0.944**	**0.521**	**80.1**	**293.9**	**91.7**	**4**	**-2.932**	**4.030**	**–**
159	**A**	**291.5±4.0**	**259.9±1.2**	**25.9±2.9**	**35.3**	**33.5±5.2**	**35.8±2.3**	**0.19**	**0.19**	**0.620**	**0.638**	**55.1**	**291.5**	**93.8**	**4**	**-2.597**	**2.730**	**–**
160	**A**	**289.3±4.6**	**267.4±3.6**	**40.6±1.4**	**35.0**	**33.1±0.6**	**40.7±1.4**	**0.23**	**0.24**	**0.860**	**0.870**	**50.7**	**289.3**	**138.5**	**5**	**-1.859**	**1.720**	**–**
161	A	290.0±5.1	257.1±2.2	43.1±1.9	32.8	30.8±3.2	36.7±2.3	0.17	0.22	0.551	0.888	52.1	290.0	135.2	7	-2.014	1.670	[10] (L 51)
162	00528 JZD	288.0±5.4	265.0±1.7	62.7±2.1	28.5	26.2±2.6	39.0±1.9	0.12	0.13	0.692	0.981	42.1	288.0	175.1	5	-1.531	1.180	MDC [193, 10]
163	**A**	**290.4±3.3**	**275.5±1.1**	**7.5±3.5**	**31.8**	**29.7±4.6**	**38.0±3.0**	**0.16**	**0.16**	**0.791**	**0.499**	**31.9**	**290.4**	**82.7**	**4**	**-1.811**	**2.320**	**–**
164	**A**	**286.3±2.1**	**289.2±1.7**	**-22.9±1.7**	**21.4**	**18.2±2.7**	**35.8±1.3**	**0.13**	**0.14**	**0.624**	**0.635**	**0.9**	**286.0**	**94.6**	**4**	**-0.839**	**0.490**	**–**
165	00099 JSC	288.2±3.2	289.9±1.9	-11.9±1.8	28.6	26.3±1.5	40.7±2.4	0.19	0.19	0.918	0.562	8.5	288.3	95.3	5	-1.748	2.590	MDC [114]

№	Поток и ассоц.	$\lambda_\odot$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_∞, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
166	**A**	**293.0±1.6**	**278.4±2.9**	**33.9±2.3**	**28.1**	**25.8±2.4**	**37.9±0.9**	**0.10**	**0.10**	**0.664**	**0.818**	**37.8**	**293.0**	**125.2**	**4**	**-2.406**	**3.050**	**–**
167	A	290.8	266.9	50.0	23.8	20.9	35.1	0.25	0.24	0.394	0.946	35.0	290.8	155.7	9	-1.290	1.560	[10] (L 55)
168	**A**	**306.6±3.1**	**148.7±1.4**	**-13.7±1.4**	**25.6**	**23.0±2.4**	**28.6±1.0**	**0.08**	**0.10**	**0.633**	**0.331**	**25.9**	**126.6**	**135.6**	**4**	**-1.693**	**1.260**	**–**
169	00110 AAN	303.8±4.7	153.5±1.2	-8.2±1.9	40.0	38.4±3.9	33.6±4.0	0.20	0.22	0.903	0.134	50.5	123.8	145.8	5	-2.612	3.870	MDC [123, 74, 111, 106, 153]
170	00643 OLS	305.1	149.1	-3.8	41.5	40.0	37.8	0.24	0.23	0.929	0.159	40.4	125.1	138.5	10	-2.438	3.235	MDC [106]
171	00515 OLE	303.2±2.9	153.6±1.9	5.6±2.1	41.3	39.8±3.6	35.8±3.7	0.19	0.19	0.960	0.070	18.3	123.1	154.3	9	-2.713	4.900	MDC [190]
172	A	298.6	141.8	6.7	35.8	33.9	35.7	0.26	0.25	0.885	0.189	14.3	118.6	137.1	11	-2.412	2.645	[156] (515EDMRud1 OLE)
173	A	306.8±2.9	160.8±1.5	2.3±3.5	29.7	27.4±5.7	27.5±5.1	0.13	0.14	0.829	0.144	8.6	126.8	152.9	4	-2.018	1.870	[38] (S3 ALF Leon)
174	00748 JTL	302.5±3.1	166.6±2.6	15.4±2.8	33.6	31.6±2.8	26.8±2.2	0.10	0.15	0.901	0.081	24.2	302.5	339.9	5	-2.409	2.270	MDC [93]
175	A	299.7	149.5	17.1	38.6	37.0	36.0	0.21	0.20	0.928	0.122	10.9	299.8	325.5	16	-2.729	3.335	[114] (S2 ALF Leon)
176	**A**	**306.1±4.6**	**159.2±1.6**	**37.7±1.2**	**32.5**	**30.5±3.5**	**35.8±2.7**	**0.14**	**0.16**	**0.779**	**0.393**	**33.4**	**306.1**	**292.8**	**5**	**-2.147**	**2.720**	**–**
177	00401 BSX	306.0±4.3	172.4±1.0	-2.4±1.6	55.2	54.0±3.7	37.5±4.4	0.26	0.23	0.977	0.068	151.9	126.0	153.1	4	-2.800	4.620	MDC [111]
178	00341 XUM	300.3±2.6	171.8±2.1	29.2±2.6	46.7	45.4±2.6	36.7±2.5	0.21	0.22	0.906	0.201	78.4	300.3	313.1	4	-2.599	1.700	MDC [30, 106, 153, 189]
179	**A**	**307.2±2.8**	**188.8±2.1**	**-11.5±2.3**	**56.1**	**55.0±3.2**	**30.6±2.9**	**0.15**	**0.2**	**0.750**	**0.272**	**160.1**	**127.2**	**135.0**	**6**	**-2.383**	**2.510**	**–**
180	**A**	**303.2±2.6**	**183.2±1.4**	**-5.4±1.9**	**65.6**	**64.6±1.9**	**40.6±0.9**	**0.14**	**0.15**	**0.932**	**0.418**	**170.9**	**123.2**	**101.3**	**4**	**-2.586**	**2.500**	**–**
181	**A**	**305.0±0.1**	**197.4±1.4**	**-10.9±1.3**	**59.4**	**58.3±2.9**	**30.1±3.0**	**0.11**	**0.12**	**0.518**	**0.503**	**172.8**	**125.0**	**117.1**	**4**	**-2.850**	**4.270**	**–**
182	**A**	**305.2±0.5**	**195.9±2.1**	**-0.9±1.8**	**63.6**	**62.6±3.7**	**35.9±3.6**	**0.14**	**0.16**	**0.730**	**0.529**	**168.1**	**305.1**	**277.7**	**5**	**-2.710**	**2.620**	**–**
183	A	303.7±2.8	202.8±2.2	2.7±1.5	59.7	58.6±2.7	31.2±2.9	0.15	0.22	0.476	0.593	155.8	303.7	285.7	4	-3.142	4.380	[10] (L 362)
184	A	306.8±2.5	203.3±1.4	3.7±1.2	69.1	68.2±1.1	41.3±0.9	0.12	0.13	0.914	0.765	156.2	306.8	236.9	4	-2.987	3.220	–
185	00090 JCO	303.5±3.9	202.3±1.3	12.0±1.6	61.4	60.4±1.3	36.0±2.1	0.18	0.21	0.600	0.679	139.3	303.5	259.5	8	-2.982	3.450	MDC [189]
186	00616 TOB	305.2±4.7	201.7±2.3	19.1±1.4	61.1	60.0±2.0	38.9±3.0	0.20	0.23	0.784	0.659	126.1	305.2	256.3	4	-2.785	2.900	MDC [193]
187	**A**	**301.9±3.0**	**209.3±1.9**	**26.8±2.1**	**55.2**	**54.0±3.0**	**35.9±1.9**	**0.15**	**0.21**	**0.533**	**0.819**	**110.2**	**301.9**	**239.6**	**4**	**-2.692**	**1.770**	**–**
188	**A**	**302.9±4.6**	**198.6±2.1**	**40.2±1.6**	**40.2**	**38.6±2.9**	**32.1±1.9**	**0.14**	**0.19**	**0.520**	**0.555**	**74.0**	**302.9**	**286.9**	**6**	**-2.507**	**1.630**	**–**
189	A	303.8±2.8	214.9±1.5	0.4±1.6	69.5	68.6±1.0	40.0±1.3	0.14	0.16	0.776	0.969	156.3	303.8	184.7	4	-3.353	5.810	[10] (L 26)
190	A	303.8±2.8	227.2±1.6	-6.3±1.1	62.0	61.0±3.7	33.3±4.0	0.15	0.16	0.514	0.669	157.5	303.8	88.8	4	-2.850	3.350	[10] (L 341)

№	Поток и ассоц.	$\lambda_\odot$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_∞, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
191	**A**	**302.0±3.0**	**224.2±1.4**	**13.9±1.4**	**45.7**	**44.3±2.1**	**23.6±2.1**	**0.16**	**0.22**	**0.418**	**0.423**	**110.3**	**302.0**	**14.6**	**4**	**-2.625**	**1.770**	**–**
192	00403 CVN	308.2±3.3	221.1±2.1	37.4±1.6	52.1	50.9±2.0	40.2±1.6	0.29	0.26	0.804	0.923	91.4	308.2	209.4	4	-2.545	3.010	MDC [111]
193	00858 FPB	302.5±3.0	225.7±1.4	42.3±1.7	47.9	46.6±2.9	39.1±2.4	0.22	0.23	0.705	0.970	83.2	302.5	195.3	5	-2.601	1.800	MDC [93]
194	A	306.6±2.7	237.5±1.0	22.0±1.6	57.0	55.9±2.3	39.4±1.5	0.22	0.23	0.745	0.916	106.6	306.6	147.2	4	-2.463	1.580	[156] (570EDMRud1 FBH)
195	A	294.7	235.1	29.1	37.0	35.3	28.2	0.18	0.2	0.297	0.624	73.3	294.7	48.1	9	-2.356	3.455	[38] (THT COR Borealids)
196	**A**	**302.5**	**234.8**	**38.7**	**44.1**	**42.7**	**36.1**	**0.12**	**0.16**	**0.448**	**0.972**	**79.7**	**302.5**	**168.9**	**13**	**-2.454**	**1.590**	**–**
197	A	301.1±2.6	254.7±1.2	22.4±2.6	46.8	45.4±1.1	38.3±1.4	0.20	0.22	0.760	0.654	80.9	301.1	102.6	5	-2.633	2.030	[156] (323EDMRud1 XCB)
198	**A**	**298.9±0.1**	**247.5±2.2**	**34.8±1.1**	**30.8**	**28.7±1.2**	**29.5±0.6**	**0.05**	**0.1**	**0.261**	**0.703**	**56.2**	**298.9**	**67.3**	**4**	**-2.141**	**2.110**	**–**
199	**A**	**305.1±5.5**	**248.5±0.5**	**46.5±2.3**	**40.1**	**38.5±2.2**	**39.0±1.2**	**0.17**	**0.19**	**0.694**	**0.971**	**66.1**	**305.1**	**165.6**	**5**	**-2.243**	**1.950**	**–**
200	**A**	**302.6±3.2**	**278.6±1.2**	**-8.6±3.0**	**33.5**	**31.6±2.7**	**34.4±0.9**	**0.13**	**0.15**	**0.834**	**0.235**	**24.6**	**302.6**	**47.5**	**5**	**-2.410**	**2.250**	**–**
201	00100 XSA	291.7	278.6	-19.6	30.0	27.8	36.2	0.15	0.18	0.804	0.352	4.5	291.8	62.8	29	-1.558	1.398	MDC [38]
202	00116 DEQ	302.4±2.9	299.7±1.6	-10.4±2.7	22.6	19.5±3.2	35.4±2.0	0.17	0.2	0.638	0.585	6.6	302.4	87.1	7	-1.474	1.630	MDC [38]
Февраль 1970																		
203	**A**	**318.9±4.3**	**124.2±3.4**	**10.6±2.0**	**26.5**	**23.9±2.2**	**42.8±1.0**	**0.10**	**0.09**	**1.019**	**0.712**	**6.0**	**138.9**	**62.9**	**6**	**-1.421**	**0.720**	**–**
204	00113 SDL	321.3	134.6	23.2	23.3	20.4	39.3	0.20	0.21	0.791	0.708	4.1	321.3	248.7	15	-1.466	1.410	MDC [38, 154]
205	**A**	**326.5±2.2**	**144.5±1.4**	**-26.4±0.7**	**34.4**	**32.5±4.3**	**40.8±3.6**	**0.21**	**0.23**	**0.925**	**0.600**	**38.1**	**146.5**	**80.8**	**4**	**-1.902**	**2.540**	**–**
206	A	326.8±3.8	139.8±2.0	-14.0±2.1	24.7	21.9±1.9	37.0±1.9	0.19	0.19	0.692	0.658	18.9	146.8	80.1	4	-1.689	2.130	[154] (alfa-Hydds)
207	A	321.7±5.6	142.2±2.5	3.4±1.6	31.9	29.8±3.8	41.6±2.3	0.24	0.25	0.965	0.500	11.3	141.7	90.7	7	-1.812	0.970	[154] (alfa Cncds-A)
208	00501 FPL	316.3±4.4	144.5±1.8	10.7±1.8	30.2	28.0±2.9	38.4±2.1	0.11	0.11	0.849	0.431	3.3	136.3	103.8	8	-1.694	0.770	MDC [155]
209	N. α-Leonids	313.9	151.9	12.4	32.5	30.6	36.6	0.09	0.12	0.856	0.294	3.7	314.0	302.5	31	-1.806	0.945	[66, 67]
210	A	317.7	150.4	18.2	31.2	29.1	38.6	0.10	0.13	0.862	0.405	6.5	317.7	286.3	15	-2.185	2.825	[92] (eta-Leods)
211	A	314.0	149.0	28.7	29.6	27.4	38.1	0.14	0.15	0.821	0.469	15.0	314.0	280.1	12	-1.995	1.530	[92] (37-LMids)
212	00203 GLE	324.0±1.4	149.6±1.8	28.2±1.7	21.3	18.1±2.7	35.6±1.2	0.15	0.18	0.598	0.668	8.6	324.0	262.3	4	-1.321	0.370	MDC [38]
213	**A**	**326.2±2.3**	**146.0±1.4**	**28.8±2.5**	**28.9**	**26.6±1.1**	**42.5±0.8**	**0.16**	**0.17**	**1.009**	**0.640**	**11.1**	**326.2**	**218.9**	**4**	**-2.369**	**1.360**	**–**
214	A	324.2±3.4	152.8±3.2	35.5±2.2	25.8	23.2±1.5	38.6±1.6	0.16	0.09	0.783	0.646	16.0	324.2	258.1	8	-1.700	0.840	[10] (L 64)

№	Поток и ассоц.	$\lambda_\odot$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_∞, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
215	**A**	**323.4**	**165.1**	**-15.9**	**38.3**	**36.6**	**35.0**	**0.14**	**0.17**	**0.862**	**0.212**	**43.3**	**143.4**	**134.6**	**10**	**-2.073**	**2.240**	–
216	00110 AAN	311.1±2.9	162.2±2.1	-12.2±1.3	42.9	41.3±2.1	34.5±2/3	0.07	0.10	0.922	0.125	61.8	131.1	146.2	8	-2.393	2.160	MDC [74, 106, 111, 123, 194, 153]
217	01125 FFL	327.1±2.3	166.3±1.5	-4.5±1.9	41.0	39.4±2.6	39.5±1.6	0.10	0.12	0.956	0.164	23.4	147.1	135.2	4	-1.523	0.460	MDC [195]
218	A	325.5±3.0	170.4±1.6	3.6±1.1	35.5	33.7±3.7	34.6±2.7	0.15	0.16	0.891	0.162	5.5	325.5	141.5	13	-2.103	1.410	[10]
219	00807 FLO	323.7	159.9	1.9	31.0	29.0	35.0	0.17	0.19	0.819	0.301	7.7	143.7	124.3	20	-1.634	0.983	[194, 67]
220	00011 EVI	327.6±1.7	168.7±1.1	9.8±0.9	38.9	37.2±4.1	39.3±3.2	0.14	0.15	0.949	0.203	8.9	327.6	309.6	4	-2.382	1.680	MDC [121, 181, 153]
221	A	325.5±3.0	167.3±4.0	16.5±2.5	35.6	33.8±3.2	38.3±2.7	0.17	0.19	0.903	0.278	16.0	325.5	301.7	18	-2.296	1.750	[67, 10] (L 70)
222	A	324.2±4.1	165.4±0.6	25.7±1.0	34.0	32.1±4.1	39.2±1.6	0.25	0.25	0.878	0.388	23.0	324.2	287.4	4	-2.395	2.580	[10] (L 67)
223	00406 FCB	323.4	176.8	30.0	28.3	26.0	33.0	0.23	0.23	0.674	0.414	26.8	323.4	297.4	9	-1.845	2.870	[74,10] MDC
224	00005 SDA	326.9±2.6	184.1±1.3	-10.7±1.1	35.9	34.1±2.3	26.8±1.8	0.13	0.15	0.938	0.051	31.8	146.9	163.6	4	-2.134	1.430	MDC [111, 30, 106, 153]
225	S. β-Leonids	328.1±1.9	177.6±1.1	-1.7±1.0	35.1	33.3±2.4	31.4±1.8	0.06	0.10	0.903	0.107	6.5	148.1	151.9	5	-1.945	0.840	[66, 67]
226	00732 FGV	327.8±4.7	186.4±2.0	-1.7±1.1	38.6	36.9±3.6	29.5±4.3	0.15	0.15	0.968	0.031	5.6	327.8	343.6	5	-2.274	2.740	MDC [106]
227	00749 NMV	329.2±0.6	184.4±2.3	4.1±1.4	41.5	40.0±2.1	34.2±1.7	0.09	0.15	0.965	0.049	24.8	329.2	339.6	5	-2.227	1.560	MDC [106]
228	N. β-Leonids	328.7±3.2	178.5±1.2	10.1±2.3	37.3	35.5±3.3	35.1±3.0	0.07	0.10	0.907	0.147	19.8	328.7	322.4	5	-2.398	2.590	[67, 92] (beta-Leods)
229	A	323.6	180.7	16.8	36.5	34.7	33.0	0.22	0.20	0.875	0.162	35.4	323.6	323.2	14	-2.175	1.330	[10] (L 75)
230	A	323.5±3.9	181.4±2.5	26.9±1.7	35.4	33.5±3.0	34.8±2.7	0.18	0.19	0.810	0.299	40.5	323.5	304.7	14	-2.293	2.050	[10] (L 74)
231	A	326.3±2.0	183.5±1.6	26.2±1.5	46.4	45.1±1.3	43.0±1.7	0.13	0.15	1.021	0.288	57.2	326.3	294.1	5	-2.056	1.260	[92] (14-Comds)
232	**A**	**322.4±2.5**	**194.7±2.3**	**-6.2±1.7**	**51.6**	**50.3±3.0**	**31.4±2.7**	**0.07**	**0.13**	**0.948**	**0.063**	**174.7**	**322.4**	**338.8**	**4**	**-2.581**	**2.690**	–
233	**A**	**322.2±4.6**	**198.7±1.7**	**4.7±3.0**	**58.3**	**57.2±2.3**	**38.2±2.2**	**0.14**	**0.20**	**0.926**	**0.208**	**141.2**	**322.2**	**310.8**	**4**	**-2.957**	**3.650**	–
234	A	325.4±1.4	196.2±4.4	20.1±1.9	42.9	41.5±3.3	33.6±3.7	0.17	0.17	0.853	0.201	71.8	325.4	317.7	6	-2.255	1.290	[10] (L 78)
235	A	325.1±3.9	191.1±1.6	29.7±2.1	38.0	36.4±4.1	35.2±3.1	0.17	0.18	0.789	0.341	53.8	325.1	299.8	7	-2.128	1.240	[10] (L 77)
236	00816 CVT	325.4	196.1	40.3	39.9	38.3	39.0	0.22	0.23	0.832	0.569	57.9	325.4	266.9	16	-2.255	1.615	MDC [193]
237	A	325.5±2.3	204.2±2.5	-9.9±3.4	61.2	60.2±2.4	36.9±2.6	0.10	0.14	0.860	0.300	172.6	325.5	301.1	4	-2.642	2.480	[66, 67]
238	01007 IVD	326.1±3.5	207.0±2.8	-0.9±1.9	58.9	57.9±3.0	35.9±4.0	0.22	0.22	0.850	0.270	152.8	326.1	306.7	8	-2.376	2.400	[67] MDC Jenniskens, 2022, submitted

№	Поток и ассоц.	$\lambda_\odot$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_∞, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
239	A	323.2±6.0	212.5±1.4	-14.7±0.9	61.8	60.8±1.5	33.4±1.3	0.25	0.25	0.589	0.539	176.6	143.2	102.4	5	-2.765	3.510	[9] (K AS126)
240	**A**	**324.3±2.5**	**215.1±1.0**	**0.1±1.2**	**62.5**	**61.4±3.3**	**36.3±3.5**	**0.15**	**0.19**	**0.730**	**0.539**	**150.9**	**324.3**	**276.0**	**4**	**-2.621**	**2.820**	–
241	**A**	**324.9±3.0**	**212.1±2.6**	**28.9±2.0**	**45.6**	**44.2±1.6**	**34.8±1.6**	**0.13**	**0.23**	**0.661**	**0.523**	**83.7**	**324.9**	**280.8**	**7**	**-2.119**	**0.830**	–
242	**A**	**324.9**	**198.5**	**52.2**	**35.7**	**33.9**	**39.9**	**0.16**	**0.17**	**0.828**	**0.753**	**50.2**	**324.9**	**241.9**	**8**	**-2.433**	**1.665**	–
243	**A**	**326.2±3.7**	**225.4±2.4**	**-8.8±2.9**	**56.1**	**55.0±2.9**	**26.6±3.1**	**0.15**	**0.19**	**0.450**	**0.467**	**161.6**	**326.2**	**318.3**	**7**	**-2.493**	**3.080**	–
244	00516 FMV	325.0±2.8	225.5±0.5	0.6±1.4	65.1	64.1±1.7	37.5±1.4	0.19	0.20	0.636	0.833	147.5	325.0	232.4	4	-2.220	2.410	MDC [67, 193, 10]
245	**A**	**327.5±2.4**	**215.0±3.5**	**9.3±2.1**	**53.9**	**52.7±2.6**	**32.9±3.4**	**0.16**	**0.21**	**0.715**	**0.360**	**122.7**	**327.5**	**303.2**	**6**	**-2.432**	**1.760**	–
246	**A**	**326.6±2.4**	**230.9±1.2**	**2.2±1.3**	**50.1**	**48.8±1.4**	**23.7±1.3**	**0.11**	**0.15**	**0.465**	**0.387**	**131.9**	**326.6**	**339.4**	**4**	**-2.429**	**1.510**	–
247	**A**	**323.5±3.4**	**230.0±2.5**	**9.4±1.9**	**34.2**	**32.3±1.1**	**15.4±1.2**	**0.08**	**0.10**	**0.763**	**0.136**	**82.7**	**323.5**	**355.1**	**4**	**-2.230**	**1.390**	–
248	**A**	**327.0±1.9**	**225.4±1.5**	**22.1±1.9**	**46.7**	**45.3±1.6**	**30.7±1.8**	**0.10**	**0.15**	**0.443**	**0.588**	**96.7**	**327.0**	**289.8**	**4**	**-2.607**	**2.170**	–
249	**A**	**321.5±1.9**	**224.4±1.7**	**37.2±1.7**	**45.8**	**44.4±1.9**	**36.9±2.2**	**0.15**	**0.18**	**0.592**	**0.840**	**81.6**	**321.5**	**234.5**	**6**	**-2.579**	**2.470**	–
250	**A**	**323.7±1.5**	**228.1±1.4**	**44.1±1.1**	**45.9**	**44.5±2.7**	**40.7±1.9**	**0.16**	**0.17**	**0.864**	**0.905**	**75.3**	**323.7**	**215.3**	**4**	**-2.773**	**2.970**	–
251	**A**	**321.6±6.1**	**248.3±2.3**	**-14.3±1.8**	**58.3**	**57.2±2.9**	**30.7±3.3**	**0.19**	**0.22**	**0.590**	**0.442**	**162.3**	**321.6**	**56.9**	**4**	**-2.617**	**5.370**	–
252	**A**	**320.3±4.0**	**241.9±1.5**	**-5.4±1.5**	**53.7**	**52.5±1.4**	**26.1±1.5**	**0.15**	**0.19**	**0.446**	**0.442**	**144.4**	**320.3**	**33.7**	**4**	**-2.676**	**2.060**	–
253	**A**	**322.2±3.5**	**241.0±1.9**	**-1.3±2.0**	**44.3**	**42.9±0.8**	**18.1±1.4**	**0.09**	**0.13**	**0.674**	**0.199**	**125.6**	**322.2**	**8.3**	**4**	**-2.527**	**2.850**	–
254	**A**	**327.1±2.8**	**233.5±1.4**	**26.8±2.4**	**51.4**	**50.2±2.3**	**36.6±1.6**	**0.14**	**0.20**	**0.540**	**0.896**	**97.2**	**327.1**	**222.0**	**6**	**-2.368**	**1.290**	–
255	A	326.7±2.1	239.2±0.5	24.7±2.2	56.9	55.8±2.9	40.3±1.6	0.14	0.18	0.809	0.973	104.1	326.7	194.7	4	-3.012	2.940	[10] (L 90)
256	A	327.2±4.7	253.2±0.6	-7.7±0.6	65.5	64.5±1.6	38.4±0.5	0.13	0.16	0.735	0.743	151.0	327.2	116.1	4	-2.612	3.430	[66, 67]
257	A	328.7±2.0	251.7±1.9	10.4±1.0	61.4	60.4±0.9	39.2±1.1	0.18	0.19	0.734	0.925	121.7	328.7	148.8	5	-2.768	3.490	[67, 10] (L 100)
258	00418 BHE	324.7±3.2	245.5±1.8	24.4±1.3	56.2	55.1±1.2	40.1±1.2	0.16	0.16	0.789	0.979	102.4	324.7	172.0	4	-2.907	3.180	MDC [187, 10] (L 99)
259	**A**	**322.6±2.4**	**253.9±0.7**	**31.2±1.4**	**42.8**	**41.4±1.9**	**34.4±0.8**	**0.08**	**0.10**	**0.363**	**0.921**	**79.3**	**322.6**	**138.6**	**6**	**-2.447**	**1.650**	–
260	A	324.8±2.9	242.8±2.6	36.3±2.3	49.4	48.1±3.1	40.1±1.4	0.21	0.23	0.792	0.982	85.2	324.8	187.9	7	-3.139	5.370	[10] (L 97)
261	**A**	**327.5±1.8**	**240.7±4.3**	**36.8±1.5**	**32.2**	**30.2±1.7**	**28.6±0.4**	**0.09**	**0.12**	**0.148**	**0.773**	**61.5**	**327.5**	**318.5**	**4**	**-1.821**	**0.830**	–
262	**A**	**321.2±4.4**	**248.4±2.9**	**43.8±2.0**	**37.1**	**35.4±2.4**	**35.3±0.9**	**0.12**	**0.16**	**0.388**	**0.983**	**64.9**	**321.2**	**176.9**	**11**	**-2.401**	**2.470**	–
263	00906 ETD	324.5	241	55.8	33.1	31.1	37.5	0.25	0.26	0.582	0.955	52.9	324.5	202.3	17	-2.097	1.545	MDC [93]
264	**A**	**322.3±4.8**	**262.3±3.2**	**-1.9±1.2**	**52.8**	**51.5±1.4**	**32.6±2.5**	**0.14**	**0.16**	**0.741**	**0.310**	**121.4**	**322.3**	**51.8**	**5**	**-2.340**	**2.340**	–

№	Поток и ассоц.	$\lambda_\odot$, [град]	α_R, [град]	δ_R, [град]	V_∞, [км/с]	V_g, [км/с]	V_h, [км/с]	D_{SH}	D_H	e	q, [а.е.]	i, [град]	Ω, [град]	ω, [град]	N	lg M, [г]	δ, [г/см^3]	Сопоставление с др, источниками
265	00889 YOP	327.2±3.5	279.3±1.6	-2.5±1.7	56.3	55.2±0.7	41.2±1.0	0.22	0.21	0.971	0.249	111.4	327.2	58.6	4	-2.460	2.330	MDC [93]
266	**A**	**327.1±1.8**	**276.6±1.9**	**13.7±1.0**	**40.5**	**38.9±3.9**	**32.1±2.6**	**0.14**	**0.23**	**0.669**	**0.397**	**73.5**	**327.1**	**59.5**	**4**	**-2.385**	**3.360**	**–**
267	**A**	**324.1±4.0**	**268.7±7.9**	**28.9±2.0**	**40.7**	**39.1±2.5**	**35.6±1.5**	**0.15**	**0.19**	**0.540**	**0.765**	**71.1**	**324.1**	**110.7**	**5**	**-2.381**	**3.220**	**–**
268	A	324.7	259.5	36.5	46.2	45.0	40.4	0.24	0.24	0.824	0.958	77.3	326.2	160.6	25	-2.545	2.297	[10] (L 102)
269	**A**	**323.1±6.8**	**266.5±2.7**	**38.7±1.7**	**34.4**	**32.6±2.2**	**34.6±1.0**	**0.14**	**0.19**	**0.405**	**0.884**	**59.0**	**323.1**	**130.1**	**7**	**-2.096**	**2.000**	**–**
270	**A**	**323.5±5.7**	**272.9±3.7**	**43.6±2.6**	**39.0**	**37.3±1.3**	**40.9±0.8**	**0.12**	**0.14**	**0.867**	**0.920**	**60.4**	**323.5**	**149.5**	**6**	**-2.362**	**1.820**	**–**
271	**A**	**324.6**	**296.1**	**-3.5**	**41.5**	**39.9**	**38.6**	**0.11**	**0.16**	**0.943**	**0.182**	**42.4**	**324.6**	**46.3**	**9**	**-2.336**	**1.945**	**–**
272	01175 FHL	324.0±2.1	284.5±3.5	12.2±2.5	45.1	43.7±3.5	39.4±2.9	0.18	0.22	0.894	0.409	70.6	324.0	75.3	6	-2.468	2.250	MDC Jenniskens 2022
273	**A**	**318.9±4.9**	**290.1±2.3**	**37.8±1.6**	**30.6**	**28.4±2.7**	**38.4±1.7**	**0.19**	**0.20**	**0.700**	**0.819**	**43.2**	**318.9**	**125.6**	**5**	**-1.714**	**0.850**	**–**
274	**A**	**325.9**	**310.5**	**5.0**	**33.5**	**31.5**	**39.8**	**0.09**	**0.12**	**0.907**	**0.433**	**26.0**	**325.9**	**78.3**	**8**	**-1.915**	**1.825**	**–**
275	00214 BCP	326.4±2.9	306.6±3.1	-14.9±1.2	36.3	34.6±3.7	37.2±2.5	0.14	0.15	0.909	0.188	8.3	326.4	45.4	9	-1.821	1.47	MDC [196]
276	00115 DCS	314.3	304.7	-17.3	30.6	28.4	37.2	0.14	0.15	0.831	0.378	9.9	134.3	248.1	25	-1.479	1.837	MDC [38, 63, 111, 114]