

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА  
ИНСТИТУТ АСТРОФИЗИКИ**

На правах рукописи

УДК 523. 503+523.53+523.031+523.682



**НАРЗИЕВ МИРХУСЕН**

**ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-КИНЕМАТИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ МЕТЕОРОИДОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ  
КОМБИНИРОВАННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И  
ОПТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
доктора физико-математических наук  
специальность: 1.3.42. Астрометрия и небесная механика

Душанбе – 2026

Диссертация выполнена в Институте астрофизики Национальной академии наук Таджикистана.

**Официальные  
оппоненты:**

**Киселев Николай Николаевич** - доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Заведующий лабораторией малых тел Солнечной системы Крымской астрофизической обсерватории Российской академии наук

**Абдужаббаров Ахмаджон Адилжанович** - доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института фундаментальных и прикладных исследований при Национальном исследовательском университете «ТИИИМСХ»

**Нарзиллов Бахтиёр** - доктор физико-математических наук, профессор, Институт перспективных исследований при Университете «Новый Узбекистан»

**Ведущая  
организация:**

Бюраканская астрофизическая обсерватория имени В. А. Амбарцумяна Национальной академии наук Республики Армения (Армения).

Защита диссертации состоится 02 июля 2026 года в 12<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-056 при Таджикском национальном университете по адресу: 734027, Республика Таджикистан, г. Душанбе п. Буни Хисорак, учебный корпус № 16, Физический факультет, зал диссертационного совета (206).

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке Таджикского национального университета по адресу 734025, г. Душанбе, проспект Рудаки 17, а также на сайте [WWW.tnu.tj](http://WWW.tnu.tj).

Автореферат разослан “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2026 года

Ученый секретарь диссертационного совета 6D.KOA-056, к.ф.-м.н., доцент



Исломов З.З.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы (предмета) исследования.** Освоение космического пространства неразрывно связано с исследованием природы малых тел, включая метеороиды и их распределение в околоземной и межпланетной среде. Метеороиды являются одними из самых многочисленных представителей малых тел и содержат первичную информацию о состоянии вещества, из которого сформировалась Солнечная система. Метеороиды при вторжении в земную атмосферу со скоростями от 11,2 до 72,8 км/с испытывают соударения с молекулами атмосферы, нагреваются до температур 2000 К и более, при этом происходят плавление, кипение и различные формы абляции (испарение, квазинепрерывная, осколочная, вспышечная, прогрессивная, либо одновременно протекают все формы дробления). Испарившиеся атомы при дальнейших столкновениях с атомами воздуха взаимно диссоциируются, возбуждаются, ионизируются наряду с атомами окружающей атмосферы и оставляют за собой световые и ионизационные следы, которые регистрируются оптическими и радиолокационными средствами наблюдений.

Исследование метеоров, как в оптическом, так и в радиолокационном диапазоне становится всё более важным. Оно оказывает влияние на такие различные области науки, как геофизика, космология, исследование космического пространства, распространение радиоволн, обеспечение безопасности полётов космических миссий, а также на решение ряда теоретических и прикладных задач и т.д. В частности, изучение метеороидов и их взаимодействия с атмосферой Земли и ионосферой может способствовать решению некоторых проблем, важных для жизни людей. Среди многочисленных факторов, вызывающих человеческие жертвы и разрушения на Земле, особенно опасны такие явления, как землетрясения и проникновение в атмосферу Земли метровых и декаметровых метеороидов, которые сосредоточены в некоторых метеорных потоках, ассоциациях [1–3] и группах метеоритообразующих метеороидов [4] и могут приземляться с разрушительными последствиями. Особенно опасны такие явления для тех областей Земли, где расположены атомные станции, химические заводы, дамбы (плотины) гидроэлектростанций и плотно населённые жилые районы. Эти события могут приводить к региональным разрушениям и несчастным случаям с людьми, что было наглядно продемонстрировано падением Челябинского метеорита 15 февраля 2013 года в России. [5]. Известно, что активное влияние метеороидов на верхнюю атмосферу вызывает первичное накопление ионов  $M^+$  [6]. Следовательно, исследование физико-кинематических свойств метеороидов является неотложной задачей, как в прикладных, так и в фундаментальных исследованиях.

Исследование комплексных физико-кинематических свойств метеороидов комбинированным радиооптическим методом может помочь в

понимании генезиса Солнечной системы и процессов, происходивших после образования малых тел, то есть в изучении космогонии Солнечной системы, их свойств, происхождения и эволюции, а также в определении природы их родительских объектов - комет и астероидов. Чрезвычайно важны организация наблюдений, сбор и накопление наблюдательного материала, охватывающего широкий диапазон скоростей и яркостей метеоров по результатам одновременных радиооптических наблюдений.

**Степень изученности научной темы.** Учитывая чрезвычайную актуальность данных радиооптических наблюдений для решения задач метеорной астрономии, геофизики и в области обеспечения безопасности полётов космических миссий, в последние три десятилетия существенно возрос интерес к проведению целого ряда различных научно-технических экспериментов [8–19, 27–29, 67]. Однако в подавляющем большинстве публикаций представляется информация лишь для одной зеркально-отражающей точки, что недостаточно для симультанного исследования вариаций свечения и ионизации вдоль следа метеоров. Ранее полученные сведения о кривых свечения и ионизации в работе Кук и др., 1973 [20], а также данные о массах и плотностях, полученные Верниани и др. [21], относятся к метеорам слабее от  $+6^m$  до  $+12^m$ . Вместе с тем форма индивидуальных ионизационных кривых в случае слабых метеоров была задана в виде подходящей параболы, и при определении плотности в работах Верниани и др., а также масс и плотностей в работах Бибарсова, Чеботарёва, Гартмана и др. [24, 30] не учитывалось влияние дробления и других факторов, что искажает полученные конечные результаты. Ныне экспериментальные кривые ионизации, полученные в работах [12, 27], основаны на редукции данных головного эхо, а кинематические свойства, приведённые в ранее опубликованных Каталогах, не калиброваны с результатами оптических наблюдений.

Исходя из вышеизложенного, докторантом в диссертации поставлен ряд целей, достижение которых существенно расширяет наши знания о природе метеороидов и их распределении в Солнечной системе. К ним, прежде всего, относятся:

А) Решение таких важных и до конца не решённых проблем метеорной астрономии, как определение физических свойств радиометеоров, наблюдаемых с одного пункта, исследование параметра распределения метеорных тел по массам  $S$ , расчёт притока метеорного вещества и плотности потока метеороидов, падающих на Землю, исследование строения, возраста и происхождения метеорных тел и т.д., не представляется возможным без правильной интерпретации и точного определения значений радиантов, скоростей и орбит, а также без изучения таких параметров атмосферной траектории, как кривые блеска и ионизации, определения фотометрических и ионизационных масс, плотности и структуры

метеороидов. Все ранее проводимые оценки параметра распределения метеорных тел по массам радиометодом [30–36] были основаны на изучении интегрального распределения метеоров по амплитудам или по длительностям радиоэхо, полученного с одного пункта. Однако:

1) современная физическая теория метеоров [6, 71, 72] не пригодна для интерпретации данных радионаблюдений метеоров с одного пункта;

2) при определении параметра  $S$  предполагалось, что высоты зеркальной точки совпадают с высотами максимума ионизации;

3) распределение метеороидов по массам тождественно с распределением по длительностям или амплитудам радиоэхо. Однако допустимость таких предположений нуждается в экспериментальном подтверждении.

Б) В настоящее время задача совершенствования методов исследования оптических и радиолокационных наблюдений относится к числу наиболее актуальных проблем метеорной астрономии. Ранее, во второй половине XX века, для исследования радиантов, скоростей и орбит метеоров по нескольким международным и национальным программам проводились наблюдения, результаты, которые опубликованы в [21, 38-44]. В настоящее время продолжают конструирование и развертывание более высокочувствительных и мощных станций, таких как средне- и верхнеатмосферный радар Arecibo 430 MHz UHF radar и Arecibo 46.8 MHz common-volume VHF radar [45], среднеатмосферная радиолокационная система ALOMAR MAARSY [46], Южно-Аргентинская метеорная станция (SAAMER) [47], радар некогерентного рассеяния Poker Flat (PFISR) [48], чувствительный радар некогерентного рассеяния (RISR) [49]. На основе этих наблюдательных материалов, импульсно-дифракционным методом (ИДМ) были рассчитаны координаты радиантов и скорости нескольких тысяч радиометеоров, результаты чего отражены в десятках научных статей и ряде каталогов. Однако эти каталоги не содержат информации о высотах и физических свойствах метеороидов, а ИДМ, как правило, позволяет обработать лишь около 15–25% обнаруженных метеоров [42], что приводит к потере значительной части наблюдательного материала. Исключение столь большого количества из обработки искажает реальную картину распределения радиантов метеоров на небесной сфере.

Измерения радиантов и скоростей метеоров на основе нового пеленгационно-временного радиометода (ПВР) в диссертации превосходят ИДМ как по точности (в 1,7 раза), так и по чувствительности (в 3 раза), исключая недостатки, присущие ИДМ.

В) В рамках проблемы астероидно-кометной опасности важной задачей является поиск новых потоков и ассоциаций метеороидов, наблюдаемых наземными методами. Однако физическая природа

большинства потоков и ассоциаций метеороидов в настоящее время ещё не выяснена.

Г) Немаловажную ценность представляет сбор и анализ данных о кривых блеска и ионизации метеоров в широком диапазоне звёздных величин и разных популяций. К настоящему времени на основе результатов базисных оптических и радиолокационных наблюдений метеоров [51-58], накоплено определённое количество кривых блеска и ионизации, охватывающих широкий диапазон звёздных величин ( $+12^m \div -20^m$ ). Однако общность и различия между кривыми свечения и ионизации метеоров в широком диапазоне звёздных величин до настоящего времени остаются недостаточно изученными.

Д) Для взаимной редукции и интерпретации данных оптических и радиолокационных наблюдений, и сопоставления данных радионаблюдений с оптическими, необходимо знание зависимости шкалы радиовеличин от скорости метеоров. Однако имеющиеся в настоящее время данные носят разрозненный характер и относятся лишь к узким диапазонам скоростей, а вопрос зависимости радиовеличины от скорости остаётся одной из нерешённых проблем метеорной астрономии.

**Связь исследования с программами (проектами) и научной тематикой.** Тема диссертационного исследования соответствует Приоритетным направлениям научных и (или) научно-фундаментальных исследований, утвержденных 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 «Оптические и радиолокационные исследования физических свойств метеороидов различных масс» 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 ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **Цели исследования:**

– выявить совместно зарегистрированные радиооптические метеоры, исследовать вариации интенсивностей свечения и ионизации вдоль следа и определить фотометрические и ионизационные массы одних и тех же метеоров, а также выполнить калибровку результатов радионаблюдений с оптическими;

– изучить экспериментальные кривые ионизации метеоров, классифицировать наблюдаемые формы ионизационных кривых; исследовать расположение высоты точки зеркального радиоотражения

относительно высоты максимума свечения и ионизации и разработать методику определения масс и плотностей метеоров, наблюдаемых с одного пункта;

– измерить радианты, скорости и орбиты совместных метеоров с применением нового пеленгационно-временного радиометода, впервые создать новый Каталог радиантов, скоростей, орбит и данных атмосферной траектории метеоров ярче  $+5^m$ , идентифицировать потоки и ассоциации метеороидов и изучить их физические свойства.

#### **Задачи исследования:**

– отождествить совместно зарегистрированные метеоры фото-радиолокационным и радиотелевизионным методами на основе опубликованного сводного каталога фотографических метеоров и результатов первичных радиотелевизионных наблюдений метеоров;

– исследовать одновременные вариации интенсивности свечения и ионизации вдоль следа и изучить зависимости отношения интенсивности свечения к ионизации от скорости, определить шкалы радиовеличины и масс, вычислить фотометрические и ионизационные массы одних и тех же радиооптических метеороидов;

– получить экспериментальные кривые ионизации поточных и спорадических метеоров, классифицировать наблюдаемые формы отрезков и ионизационных кривых; исследовать расположение высоты точки зеркального радиоотражения относительно высоты максимума свечения и ионизации и разработать методику определения физических характеристик радиометеоров, наблюдаемых с одного пункта;

– изучить форму распределения блеска вдоль следа метеоров широких диапазонов звёздной величины и разных популяций;

– измерить скорость совместного радиотелевизионного метеора тремя способами: а) комбинированным R-TV, б) импульсно-дифракционным и в) впервые пеленгационно-временным радиометодом; создать новый каталог радиометеоров ярче  $+5$  звёздной величины и исследовать распределение метеороидов по кинематическим и физическим свойствам;

– идентифицировать метеороиды, принадлежащие метеорным потокам и ассоциациям, по циклу годичных радиолокационных наблюдений метеоров в ГисАО, определить параметры распределения метеорных тел по массам в некоторых дневных и ночных метеорных потоках.

**Объектом исследования** являются данные совместно-зарегистрированных радиооптических и результаты базисных, ежемесячных, годичных наблюдений метеоров в Таджикистане.

**Предметом исследования** является изучение комплексных физико-кинематических свойств и данных атмосферных траекторий метеороидов на основе данных симультанных радиооптических и годичных базисных радиолокационных наблюдений метеоров.

**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 и современные представления теории разрушения метеороидов в атмосфере Земли, движения 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 одновременные радиооптические и базисные радиолокационные наблюдения метеоров, а также впервые использован новый метод - пеленгационно-временной радиометод, позволяющий исследовать распределение радиантов, скоростей и орбит метеороидов в небесной сфере. На основе анализа данных радиолокационных измерений радиантов, скоростей и орбит свыше 10600 метеоров, и применения методов кластеризации автором проведена идентификация 431 потоков и ассоциаций метеороидов, что подтверждает теоретическую и методологическую состоятельность исследования.

**Научная новизна исследования.** К основным научным результатам, относятся следующие:

1. **Выявлены** 8 совместных фото-радиолокационных метеоров за 1977–1980 гг., из которых 6 относятся к Персеидам, 1 - к потоку  $\delta$ -Акварид и 1 - к спорадическому фону. Метеор № 770954 имеет спектр, полученный методом мгновенной экспозиции, что является единственным случаем в мире, и 57 радиотелевизионных метеоров.

2. **Впервые** исследована вариация блеска и ионизации вдоль следа одних и тех же метеоров разных диапазонов скоростей. Показано, что ход вариации интенсивности свечения и ионизации вдоль следа один и тех же метеоров удовлетворительно согласуется между собой.

3. **Изучена** взаимосвязь отношения интенсивности свечения к ионизации от скорости для двух групп метеоров по звёздной величине: а)  $0^m \div +8^m$  и б)  $-0^m \div -14^m$ . Впервые выявлено, что у метеоров слабее  $0^m$  звёздной величины с увеличением скорости и атомного веса (по данным лабораторного моделирования) логарифм отношения интенсивности свечения к ионизации уменьшается на порядок. Для метеоров ярче  $-0^m \div -8^m$   $\lg I/q$  остаётся постоянным и составляет  $-4,2$ .

4. **Установлены** шкалы масс и зависимости радиовеличины от скорости метеоров на основе объединённых данных одновременных оптических и радиолокационных наблюдений. Причем разница в шкале радиовеличины между двумя крайними группами скоростей метеоров составила  $1,7 \div 3^m$ .

5. Определены шкалы масс как для ярких ( $m > 0$ ), так и для слабых ( $8 \leq m \leq 0$ ) радиометеоров. Рассчитаны впервые фотометрические и

ионизационные массы радиооптических метеороидов, которые согласуются между собой.

**6. Получены** экспериментальные ионизационные кривые 1100 метеороидов, проведена классификация наблюдаемых форм отрезков и ионизационных кривых. Впервые изучено расположение высоты зеркальной точки относительно высоты максимума ионизации. Оказались, что высоты зеркальных точек на 0,4 км ниже высот максимума ионизации. Разработана методика определения физических характеристик радиометеоров, наблюдаемых с одного пункта.

**7. Выявлены** общие закономерности и различия между кривыми блеска и ионизации метеоров в широком диапазоне звёздных величин ( $+8,5^m \div -18^m$ ) и разных метеорных популяций. Установлено, что параметр  $R$  ( $R = (H_b - H_m)/(H_b - H_e)$ , где  $H_b$ ,  $H_m$  и  $H_e$  - высоты начала, максимума и конца следа) на первой половине гистограммы распределения метеоров возрастает экспоненциально, а на второй половине убывает более плавно. Для болидов  $R$  находится в диапазоне 0,7–0,8, тогда как для ТВ- и Супер-Шмидтовских метеоров при переходе от популяции типа А к С2 и D наблюдается смещение положения максимума интенсивности свечения в гистограмме распределения по параметру  $R$ .

**8. Измерены** впервые скорость совместного радиотелевизионного метеора тремя способами: а) комбинированным R-TV, б) импульсно-дифракционным и в) впервые пеленгационно-временным методом. Скорость, измеренная комбинированным R-TV, оказалась на 1,5–3 км/с выше, чем скорость тех же метеоров, измеренная радиометодами.

**9. Создан впервые** новый каталог радиантов, скоростей, орбит и данных атмосферных траекторий 8916 радиометеоров ярче  $+5^m$ . Проведен анализ распределения радиантов, скоростей, орбит и физических свойств метеоров на небесной полусфере. Выявлено, что радианты метеоров ярче  $+5^m$  в северной части небесной полусферы распределены почти равномерно.

**10. Идентифицированы** 431 метеорных потоков и ассоциаций на основе анализа данных ежемесячных и годовых измерений радиантов, скоростей и орбит 10 913 радиометеоров, наблюдаемых в Таджикистане, при этом около половины потоков выявлены впервые. Определены параметры распределения метеорных тел по массам  $S$  для дневных потоков  $\eta$ -Акварид, о-Цетид, Писцид,  $\nu$ -Писцид и Ариетид, а также для ночных потоков  $\delta$ -Акварид, Квадрантид, Геминид, Северных и Южных  $\delta$ -Акварид, i-Акварид.

**11. Проведена** калибровка данных радионаблюдений относительно оптических. Полученные результаты сопоставлены с данными других авторов и результатами наблюдений с космических аппаратов и опубликованы в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РТ.

**Положения, выносимые на защиту:**

- результаты комбинированных радио-оптических наблюдений метеоров в Таджикистане;
- изучение вариаций интенсивности свечения и ионизации вдоль следов метеоров и исследование отношения интенсивности этих процессов от скорости и химсостава, определение шкалы радио величины и масс ярких и слабых метеоров, результаты вычислений фотометрических и ионизационных масс одних и тех же метеороидов;
- данные ионизационных кривых метеоров, их квалификации по форме, исследование месторасположения высоты точки зеркального радиоотражения и разработка методики определения физических характеристик радиометеоров, наблюдаемых с одного пункта;
- результаты анализа общности и различий в форме распределения интенсивности свечения и ионизации вдоль следов метеоров широких диапазонов звёздной величины и разных популяций;
- измерение скорости метеоров: а) комбинированным R-TV и б) впервые пеленгационно-временным радиометодами, создание нового Каталога радиометеоров ярче  $+5^m$  и исследование распределения метеороидов по кинематическим и физическим свойствам;
- результаты идентификации метеорных потоков и ассоциаций и определение параметров распределения метеорных тел по массам в основных ежегодных дневных и ночных метеорных потоках.

#### **Теоретическая и практическая значимость исследования:**

Создан новый «Каталог радиантов, скоростей, элементов орбит и атмосферных траекторий радиометеоров, наблюдаемых в Таджикистане», зарегистрированный в ЦМД МАС, в него включены результаты одновременных фото-радиолокационных (ОФР) и радиотелевизионных (Р-TV) наблюдений метеоров в Таджикистане, экспериментальные данные кривых свечения и ионизации одних и тех же метеоров ярче  $+5^m$ ; физико-кинематические свойства метеороидов, зарегистрированных оптико-радиолокационным методом; данные о шкалах масс ярких и слабых метеороидов; параметры распределения метеорных тел по массам в дневных и ночных метеорных потоках; распределение метеоров по эклиптическим и гелиоцентрическим координатам, по скоростям и элементам орбит на небесной сфере, что представляет собой ценный наблюдательный материал не только для метеорной астрономии, космонавтики и космогонии Солнечной системы, но и является необходимым для обеспечения безопасности полётов космических миссий, прогнозирования возможных столкновений опасных космических объектов с Землёй, а также для решения вопросов формирования и эволюции Солнечной системы.

**Степень достоверности результатов диссертации.** Выводы и результаты работы обеспечены на основе фактического наблюдательного оптико-радиолокационного материала и данных многостанционных

радиолокационных наблюдений метеоров в ГисАО, опубликованных в международных и национальных журналах. В частности, опубликованный «Каталог радиантов, скоростей, орбит и атмосферных траекторий 8916 радиометеоров, наблюдаемых в Таджикистане» зарегистрирован для использования в Центре метеорных данных Международного астрономического союза (ЦМД МАС). Полученные результаты сопоставлялись с данными других авторов и с результатами, полученными с космических аппаратов, опубликованы в рецензируемых изданиях, включённых в перечень ВАК. Разработанные автором новые методы редукции данных наблюдений в ИА НАНТ, а также научные результаты, были апробированы и доказали высокую степень достоверности и надёжности.

#### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности.**

Тема диссертационного исследования полностью соответствует Паспорту номенклатуры специальностей ВАК при Президенте Республики Таджикистан по специальности 1.3.42. Астрометрия и небесная 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, включая радиолокацию и лазерную локацию, а также определение массы, формы и гравитационных полей небесных тел на основе анализа наблюдений с Земли и данных космических аппаратов.*

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

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

Содержание и результаты докторской диссертации полностью соответствуют Паспорту специальности 1.3.42. Астрометрия и небесная механика.

**Личный вклад соискателя ученой степени в подготовке диссертации.** Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в организацию и проведение наблюдений, получение и анализ наблюдательного материала, поиск и выявление совместно зарегистрированных оптико-радиолокационных метеоров, редукцию данных и исследование вариаций интенсивности свечения и ионизации вдоль следов одних и тех же метеоров с разными скоростями. Автор разработал методику определения масс, плотностей, звёздных величин и величин линейной электронной плотности метеоров, руководил работой лаборантов и непосредственно участвовал в редукции данных около 11000 радиометеоров, расчёте исходных данных,

создании программ для определения кинематических и физических характеристик метеороидов, а также в создании и оформлении Каталога 8916 радиометеоров и идентификация метеорных потоков и ассоциаций. Подготовка к публикации наблюдательных материалов осуществлялась как самостоятельно, так и совместно с соавторами, при этом вклад диссертанта является определяющим. Представленные в диссертации результаты получены преимущественно автором.

**Апробация и внедрение.** Основные результаты диссертации докладывались на семинаре «Малые тела СС» Института астрофизики НАНТ, а также на следующих региональных и международных конференциях и симпозиумах: Всесоюзном симпозиуме «Метеорные тела в межпланетном пространстве и земной атмосфере» (Казань, 1980 г.); Всесоюзных конференциях «Физика и динамика малых тел Солнечной системы» (Душанбе, 1982 г.), «Метеорное вещество в атмосфере Земли и межпланетном пространстве» (Суздаль, 1984 г.); «Взаимодействие метеорного вещества с атмосферой Земли» (Кацивели, 1986 г.); «Физика и динамика комет, астероидов и метеорного вещества» (Душанбе, 1987 г.); Международном симпозиуме ГЛОБМЕТ-2 (Казань, 1988 г.); Международном научном семинаре, посвящённом 90-летию со дня рождения профессора Б. Л. Кашеева (Харьков, 2009 г.), International Conferences of Meteoroids «The Smallest Solar System Bodies. NASA/CP-2011-216469» (Breckenridge, Colorado, USA, 2011 г.); Международной конференции (Красноярск, 2011 г.), International Conferences «Dust, Atmosphere and Plasma Environment of the Moon and Small Bodies (DAP-2012)» (Boulder, Colorado, 2012 г.); Международной конференции «Околосемная астрономия» (Краснодар, 2013 г.); International Conferences "On Lunar and Planetary Science Conference» (Woodlands, Texas, 2012 г.); Международной конференции Meteoroids (Poznan, Poland, 2013 г.); 43<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assembly (Moscow, Russia, 2014 г.); 45<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference (2014 г.); Международной конференции «Околосемная астрономия» (Терскол, 2015 г.); Международной научной конференции «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий» посвящённой 25-летию Государственной независимости Республики Таджикистан (Душанбе, 2016 г.); Международной конференции "Comets, Asteroids, Meteors, Meteorites, Astroproblems, Craters» (Винница, Украина, 2017 г.); Международной конференции Околосемная астрономия» (Мариуполь, Украина, 2017 г.); X International Conference «Near-Earth Astronomy-2017» (Krasnodar, Russia, 2017 г.); International Conference САММАС-2017 (Винница, Украина, 2017 г.); On the 3<sup>rd</sup> COSPAR Symposium (ICC) (Jeju, South Korea, 2017 г.); VI Международной конференции «Современные проблемы физики» (Душанбе, 2018 г.); Международной научно-практической конференции «Электроэнергетика: Проблемы и

перспективы развития энергетики региона» (Душанбе, 2018 г.); Научно-практической конференции с международным участием (Москва, 2022 г.); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы малых тел Солнечной системы – текущее состояние и перспективы»; посвящённой 90-летию Института астрофизики НАН Таджикистана (Душанбе, 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, 2024 г.); International symposium “The fifteenth Moscow solar system symposium (15MS<sup>3</sup>-SB-PS-12) (Москва, 2024 г.); II International Conference Fundamental and Applied Research in Physics (NUUz, 2025 г.); Научно-практической конференции с международным участием (Москва, 2025 г.); XXIX Всероссийской открытой научной конференции «Распространение радиоволн» (РРВ’2025) (Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), Россия, 2025 г).

**Публикации по теме диссертации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 52 печатных работах, из которых 1 монография, 29 статей опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК при Президенте Республики Таджикистан, и 22 статьи – в сборниках трудов конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитированной литературы. Она содержит 306 страниц машинописного текста, включает 39 рисунка и 40 таблиц. Список литературы включает 307 наименований зарубежных и отечественных авторов.

### **Краткое содержание глав диссертации**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, определена её цель, сформулирована научная новизна полученных результатов, их область применения, основные результаты, выносимые на защиту, а также показан личный вклад автора и положения, предлагаемые к защите.

**Первая глава** состоит из четырёх параграфов.

**В первом** параграфе изложены основные уравнения, описывающие процессы, сопровождающие полет метеорного тела в земной атмосфере.

**Во втором** параграфе впервые описаны уравнения ионизации с учётом различных форм абляции, включая квазинепрерывное, прогрессивное, осколочное и вспышечное дробление.

**В третьем** параграфе приведены зависимости характеристик радиоэха от мощности и длительности радиотражения.

**Четвёртый параграф** посвящён учёту влияния различных факторов деионизации на разрушение ионизированных метеорных следов.

Описывается зависимость длительности радиоэха для метеоров, наблюдаемых как в ночное, так и в дневное время суток, приводятся уравнения длительности радиоэха с учётом процессов деионизации, параметров аппаратуры и характеристик метеорного следа.

**Вторая глава** посвящена исследованию связи между интенсивностями оптической яркости и ионизации одних и тех же метеоров разных скоростей.

**В первом параграфе** изложена история внедрения одновременных радиооптических наблюдений, приведены краткие характеристики данных радиовизуальных и радиотелескопических наблюдений, а также результаты фото-радиолокационных наблюдений метеоров, полученных в Джодрелл-Бэнк и в ГисАО.

**Во втором параграфе** представлен обзор современного состояния и перспектив исследования метеоров по результатам одновременных оптико-радиолокационных наблюдений в различных научно-исследовательских центрах. Здесь сформулированы цели и задачи комбинированных оптических и многостанционных радиолокационных наблюдений метеоров.

**В третьем параграфе** приведены технические характеристики комплекса оптической и радиолокационной аппаратуры МИР-2 и МИР-3, используемой для одновременных радиооптических наблюдений метеоров в ГисАО.

«Для радиолокационных наблюдений использовался комплекс РЛС МИР-2» [59], в состав которого входят: а) передатчик, работающий на длине волны  $\lambda = 8$  м, с частотой повторения 500 имп./с, мощностью 60 кВт в импульсе и длительностью импульса 6,5 мксек; б) приёмо-регистрирующая система, состоящая из пяти приёмных пунктов: один расположен рядом с передатчиком, остальные - относительно центрального пункта на расстояниях от 4 до 11 км. Расстояние между двумя наиболее удалёнными пунктами составляло 15 км, что позволяло получать длину следа на высотном разрезе до 3,75 км. Комплекс МИР-2 позволял измерять следующие параметры: абсолютную дальность до метеорного следа с ошибкой не более 0,1 км; разность дальностей между вынесенными и центральным пунктами с ошибкой не более 0,05 км; длительность радиоэхо с ошибкой 4 мс по амплитуде отражённых сигналов; скорость дрейфа метеорных следов от 0 до 200 м/с; радианты метеоров с точностью до  $\pm 3^\circ$ ; угловые координаты с точностью  $\pm 0,3^\circ$  с помощью фазового угламера.

«Телевизионная аппаратура, используемая для наблюдений метеоров в Институте астрофизики НАНТ, создана на базе промышленной телевизионной станции ПТС-3» [61] и состоит из: а) телевизионного телескопа, б) усилителей, в) видеоконтрольных устройств, г) фотокамеры. Телевизионный телескоп выполняет функции передающей камеры и состоит из входной оптики, ЭОП типа УМ-92 в сочетании с суперорбитиком ЛИ-214.

В качестве входной оптики применён объектив «Юпитер-3» с фокусным расстоянием  $F = 50$  мм, относительным отверстием  $1/1,5$  и полем зрения  $20 \times 30^\circ$ . Основные характеристики телевизионной аппаратуры: способ разложения - строчный, стандарт разложения - 625 строк в кадре, частота смены полей - 50 Гц, полоса пропускания видеосигнала с неравномерностью до  $\pm 0,5$  дБ - 5 МГц, напряжение питания сети - 220 В, время непрерывной работы - до 10 часов.

**В четвёртом параграфе** диссертации предложена методика поиска и определения отражающей точки на следе метеора при организации одновременных радиотелевизионных наблюдений главных ежегодных метеорных потоков.

**В пятом параграфе** изложена методика организации параллельных радиотелевизионных наблюдений, критерии отбора и результаты совместно зарегистрированных метеоров.

**Шестой параграф** содержит методику одновременных радиооптических наблюдений, критерии поиска и методику редукции данных одновременных фото-радиолокационных и радиотелевизионных наблюдений метеоров. Результаты фильтрации данных параллельных радиотелевизионных наблюдений метеорных потоков в Таджикистане приведены в таблице 1.

**Таблица 1. - Результаты одновременных радиотелевизионных наблюдений метеорных потоков в Таджикистане**

№ п/п	Период наблюдений (день, месяц, год)	Количество часов наблюдений	Количество метеоров по TV-наблюдениям	Среднее часовое число TV-метеоров	Предварительное число совместных метеоров	Число совместных метеоров
1	8.08–14.08.78	16	101	6.0	8	4
2	03.01–04.01.79	7.5	78	10.0	11	8
3	25.07–02.08.79	33	162	5.0	23	18
4	21.10–24.10.79	9	33	3.0	6	4
5	11.12–12.12.79	3	12	4.0	4	3
6	12.08–14.08.80	10.5	173	16.0	30	20

**В седьмом параграфе** представлены методика фотометрической редукции и результаты трёхлетних комплексных оптических и радиолокационных наблюдений метеоров в Институте астрофизики. В результате исследований были выявлены следующие: один фототелевизионный, восемь фото-радиолокационных (в том числе один с результатами спектральных наблюдений) и 57 телевизионно-

радиолокационных совместно зарегистрированных метеоров. Абсолютная звёздная величина  $M$  для заданных точек следа метеора определялась по формуле:

$$M = m + \Delta m_R + \Delta m_W + \Delta m_Z, \quad (1)$$

где:  $m$  – видимая звёздная величина метеора в заданной точке следа;  $\Delta m_R$  – поправка, учитывающая приведение блеска метеора к стандартному расстоянию;  $\Delta m_W$  – поправка на различие скорости передвижения изображения метеора и звезды по фотослою;  $\Delta m_Z$  – поправка на атмосферное поглощение света. Величины этих поправок определялись по следующим формулам:

$$\Delta m_R = 10 - 5 \lg R, \quad (2)$$

$$\Delta m_W = -2.5 p \lg U_M / U_z, \quad (3)$$

$$\Delta m_Z = -2.5 \Delta M_z \lg P, \quad (4)$$

где:  $R$  – дальность до метеора;  $P$  и  $\Delta M_z$  – коэффициент прозрачности атмосферы и разность воздушных масс при  $Z=0$  и при  $Z$  точек метеорного следа; величина  $\Delta M_z$  определяется по таблице Бемпорада;  $U_z$  и  $U_M$  – скорость передвижения изображений звёзд и метеора по фотослою;  $p$  – показатель Шварцшильда. Экспериментально полученная величина  $\Delta m_W$ , рассчитанная по следам звёзд для угловых скоростей от  $10^\circ/\text{сек}$  до  $24^\circ/\text{сек}$ , составляет от  $3^m$  до  $4.2^m$ .

**В восьмом параграфе** приведены результаты определения кривых блеска метеоров по данным радиотелевизионных наблюдений в ГисАО. Проведён анализ кривых блеска, показавший разнообразие распределений интенсивности свечения вдоль следа метеоров. У 42 метеоров наблюдалось относительно плавное изменение блеска. Максимум блеска у 3 метеоров приходился на первую половину следа. Для 9 метеоров характерна симметричная форма распределения блеска. Среди всех наблюдаемых метеоров выявлены 2 вспышечных метеора со сложными кривыми блеска. Для расчёта фотометрической массы метеороида использовались два метода: а) интегрирование интенсивности свечения вдоль следа с учётом дробления ( $m_{ph}$ ); б) определение массы по величине интенсивности свечения  $I_m$  на высоте максимума блеска ( $m_{ph1}$ ) без учёта дробления. Отношение  $m_{ph1}/m_{ph}$  составило 3. С учётом этого поправочного коэффициента уравнение расчёта фотометрической массы метеороида примет вид:

$$m_{ph} = 3N^* I_m / 2\tau_0 V^3 \cos Z_r. \quad (5)$$

Образцы данных атмосферных траекторий метеоров приведены в таблице 2, где:  $N$  – номер метеора;  $Z_R$  – зенитное расстояние радианта;  $V$  – скорость метеора;  $H_n$ ,  $H_m$  и  $H_k$  – высоты начала, максимума свечения и конца следа;  $M_m$  – абсолютная звёздная величина;  $m_{ph}$  – фотометрическая масса;  $m_m$  – масса, вычисленная по величине  $M_m$ .

**Таблица 2. - Результаты параллельных радиотелевизионных наблюдений траекторий метеоров в Таджикистане**

N	Z <sub>R</sub>	V, км/с	H <sub>н</sub> , км	H <sub>м</sub> , км	H <sub>к</sub> , км	M <sub>м</sub>	m <sub>ph</sub> ·10 <sup>3</sup> г	m <sub>н</sub> ·10 <sup>3</sup> г
август 1978								
1	54.05	56.7	108.0	101.5	96.0	0.7	27.4	26.6
2	57.02	36.46	101.3	92.5	89.3	1.1	57.4	46.9
3	34.31	59.99	115.7	103.0	98.0	-0.3	84.6	41.6
4	-	-	-	101.0	96.0	-0.9	-	-
январь 1979								
5	69.3	43.89	-	102.0	92.0	-1.7	-	547.1
6	67.0	40.84	102.7	99.3	97.5	1.63	19.4	32.1
7	55.3	57.9	107.5	103.0	100.5	1.8	11.4	8.5
8	61.95	46.18	107.0	99.5	95.0	0.0	153.4	94.0
9	54.91	40.1	96.0	91.0	88.5	2.5	10.8	10.0
10	59.35	21.94	92.0	85.0	80.7	0.05	595.0	316.3
11	44.11	41.40	101.0	96.8	95.0	1.6	17.6	17.4

**Девятый параграф** посвящён исследованию вариаций интенсивности свечения и ионизации вдоль следа метеоров разных скоростей. Для получения вариаций линейной электронной плотности вдоль следа индивидуальных метеоров нами использованы значения длительности радиоотражения, получаемые в нескольких пунктах для данного метеора. Для вычисления  $q_n$  в ночное время использовалась формула, полученная диссертантом:

$$q_n = 1/A\lambda^2 \{ [\omega/3D (\tau_n - t)^3 + t] e^{-k\tau_n} + r^2/4 D \} \cdot D, \quad (6)$$

где  $\tau_n$  – длительность отражения;  $A = e^2/4\pi^2 mc^2$ ;  $\lambda$  – длина волны;  $e$ ,  $m$  – заряд и масса электрона;  $c$  – скорость света;  $r$  – начальный радиус следа;  $D$  – коэффициент амбиполярной диффузии;  $t$  – постоянная времени мелкомасштабных вихрей;  $\omega$  – удельная энергия диссипации атмосферных вихрей;  $k$  – скорость прилипания электронов к нейтральным частицам.

Для метеоров, у которых длительность  $\tau_n \leq t \leq 10$  с, использовали известную формулу:

$$q = (\tau e^{-k\tau + r^2/4D}) D/A\lambda^2. \quad (7)$$

Для вычисления значений  $r$ ,  $D$  и  $k$  использованы известные формулы:

$$r = 1.47 \cdot 10^{-10} V^{0.65} \rho^{-1}; \lg D = 0.079 H_i - 6.6; \lg k = 4.99 - 0.07 H_i, \quad (8)$$

где  $\rho$  – плотность атмосферы на высоте  $H_i$ .

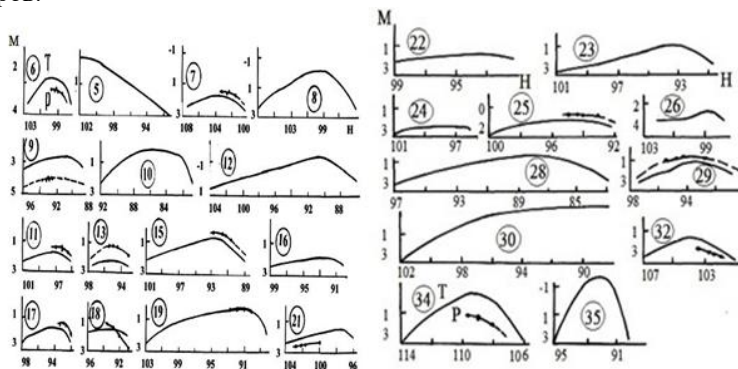
Высоты отражающих точек  $\Delta h_i$  на следе метеора относительно высоты центрального пункта находятся из выражения:

$$\Delta h_i = V \Delta t \cos Z_R, \quad (9)$$

где  $V$  - скорость метеора. «Для сравнения полученных участков ионизационных кривых с соответствующими фрагментами их кривых свечения по значениям линейной электронной плотности, вычисленным для каждой наблюдаемой точки следа метеора, были определены радиозвёздные величины  $M_r$ , рассчитанные нами по данным радиооптических наблюдений в работах» [15, 18, 20, 62, 63]:

$$M_r = 35 - 2.5 \lg q. \quad (10)$$

На рисунке 1 для некоторых совместно зарегистрированных метеоров представлены кривые блеска и ионизации одних и тех же метеоров, где по оси ординат отложена звёздная величина, а по оси абсцисс - высота. Данный эксперимент проводился впервые в мире и является подтверждением одинакового секундного расхода массы для процессов свечения и ионизации метеоров.



**Рисунок 1. - Вариации радиовеличины  $M_r$  (P) звёздных величин (T) вдоль следа одних и тех же метеоров**

Из наблюдавшихся 57 совместных метеоров у 15 метеоров максимумы блеска по обоим наблюдениям совпадают по высоте, у 5 метеоров наблюдаемые участки радиолокационной «кривой блеска» совпадают с восходящей ветвью телевизионной кривой, а у 12 метеоров - с нисходящей. Для остальных метеоров (включая 6 поворотных радиометеоров) не удалось получить достаточно достоверные участки ионизационных кривых.

Результатам поиска совместных фото-радиолокационных наблюдений метеоров посвящён **десятый параграф**. Диссертантом в результате анализа опубликованных материалов и данных первичных радионаблюдений метеоров, зарегистрированных на плёнках в 1977–1980 гг. на комплексе МИР-2, выявлены 8 совместных метеоров, один из которых принадлежит метеорному потоку Южных  $\delta$ -Акварид, один - к спорадическому фону, а остальные 6 метеоров - к метеорному потоку Персеид. У совместного фото-радиолокационного боида № 770954 зарегистрирован спектр, как по методу

мгновенной экспозиции, так и с использованием дифракционной решётки.

«Проблема исследования взаимосвязи между интенсивностью свечения и величиной линейной электронной плотности в зависимости от скорости и химического состава метеороидов рассматривается в **одиннадцатом параграфе**. Первоначально были использованы результаты одновременных базисных двухстанционных телескопических и радиолокационных наблюдений 263 метеоров, полученные Знойлом и соавт.» [64] в 1972–1973 гг.

При этом для каждой группы метеоров: апексных, тороидальных, антиапексных и отстающих были рассчитаны логарифмы отношения визуальной интенсивности светимости  $I_v$  к линейной электронной плотности  $q$  (таблица 3). Очевидно, что при переходе от высокоскоростных (апексные) групп метеоров к среднескоростным, тороидальным и низкоскоростным антиапексным и отстающим метеорам логарифм отношения  $I_v/q$  увеличивается от - 4,95 до - 4,3.

**Таблица 3. - Отношение визуальной интенсивности свечения к линейной электронной плотности для четырёх групп спорадических метеоров**

Источник	$H_{cp.}$ (км)	$Mv_{cp.}$	$\tau_{cp.}$ (сек.)	$lg I_v/q$	n
Апексные	97.75±1.25	4.45±1.25	0.793	-4.95	30
Тороидальные	93.08±1.34	5.38±1.72	0.428	-4.76	72
Антиапексные	93.0±2.66	4.44±1.43	0.315	-4.26	40
Отстающие	90.68±0.94	5.03±1.27	0.293	-4.32	41

«Для исследования зависимости  $lg I_{ph}/q$  от скорости автор использовал результаты фото-радиолокационных и радиотелевизионных наблюдений метеоров в Таджикистане» [62, 65], «результаты фото-радиолокационных наблюдений метеоров в Джодрелл-Бэнк» [63], «данные многостанционных радиотелевизионных наблюдений метеоров в Кембридже (Массачусетс)» [20], «а также результаты видео-радиолокационных наблюдений в Оттаве» [18].

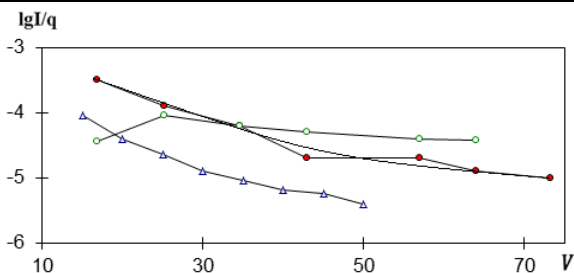
Взаимосвязь между интенсивностью свечения и величиной линейной электронной плотности в зависимости от скорости исследована для двух групп метеоров по звёздным величинам: а) метеоры ярче -0 звёздной величины и б) метеоры слабее от +0<sup>m</sup> до +8<sup>m</sup>.

Результаты расчёта зависимости отношения  $I_{ph}/q$  от скорости  $V$  для метеоров ярче -0<sup>m</sup> приведены в таблице 4. Анализ средних значений зависимости  $lg I_{ph}/q$  и их стандартных отклонений показывает, что в диапазоне скоростей от 14 до 72 км/с значение  $lg I_{ph}/q$  изменяется незначительно и остаётся практически постоянным. Среднее значение  $lg I_{ph}/q$  составляет  $4,2 \pm 0,12$ . Зависимости  $lg I_{ph}/q$  от скорости, исследованные по наблюдениям 184 метеоров с абсолютными звёздными величинами в интервале от +0<sup>m</sup> до +8<sup>m</sup>, приведены на рисунке 2. Расчётные значения  $lg I_{ph}$

$I/q$  по объединенным данным оптико-радиолокационных наблюдений находились в диапазоне от  $-7,2$  до  $-2,0$  с максимумом  $-5.0 \div -4$ .

**Таблица 4. - Зависимость  $\lg I_{ph}/q$  от скорости по результатам комбинированных радиооптических наблюдений метеоров ярче  $-0^m$**

V, км/с	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
$\lg I_{ph}/q$	-4.09	-4.720	-3.957 $\pm 0.65$	-4.207 $\pm 0.16$	-3.42 $\pm 0.7$	-4.216 $\pm 0.16$	-3.7 $\pm 0.01$
N	1	1	3	3	2	14	2



**Рисунок 2. - Зависимость логарифма отношения интенсивности свечения к линейной электронной плотности от скорости по результатам: а) ● – объединённых параллельных радиооптических наблюдений; б) ○ – по результатам лабораторного моделирования процессов свечения и ионизации железных пылинок; в) Δ – тоже для медных пылинок, полученных, как в [66]**

Результаты расчёта отношения коэффициента светимости к коэффициенту ионизации для пылевых частиц микронного размера, содержащих в своём составе Mg, Si, Ca и Fe, показали, что значение  $\lg I/q$  также находится в широком диапазоне от  $-5,46$  до  $-4,33$  (таблица 5)

Согласно рисунку 2, логарифм отношения  $I_{ph}/q$  уменьшается более чем на порядок с увеличением скорости метеоров.

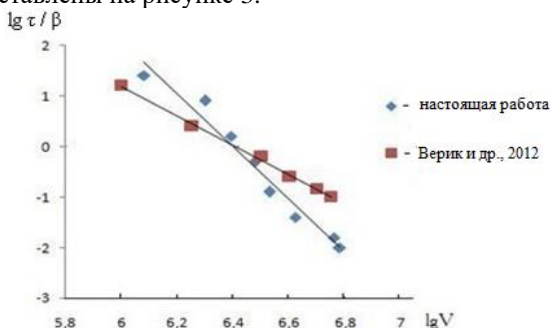
**Таблица 5. - Зависимости отношения  $\lg I/q$  от химического состава пылинок микронного размера для скорости  $V = 40$  км/с, рассчитанные по данным лабораторного моделирования процессов свечения и ионизации**

Элементы	$\lg \tau$	$\lg \beta$	$\lg I/q$
Mg	-3.40	-0.821	-5.46
Si	-2.97	-0.523	-5.27
Ca	-2.88	-0.208	-5.33
Fe	-2.03	-0.225	-4.33

**Двенадцатый параграф** посвящён исследованию связи между коэффициентами свечения и ионизацией при различных значениях скоростей метеоров. Теоретическая формула, выражающая связь отношения интенсивности свечения к ионизации и параметрам метеора, может быть получена из уравнений свечения и ионизации в виде:

$$I_{ph}/q = \tau_{ph} \mu V^3 / 2 \beta, \quad (11)$$

где  $\tau_{ph}$  — коэффициент светимости, определяемый как доля расходуемой кинетической энергии, преобразованной в свет;  $\beta$  - коэффициент ионизации, определяемый как среднее число электронов, генерируемых одним метеорным атомом;  $V$  - скорость метеора;  $\mu$  - средняя масса метеорного атома. «Используя уравнение (11), приняв средний атомный вес метеорного вещества равным  $\mu = 3,82 \cdot 10^{-23}$  г и представив отношение логарифмической интенсивности светового излучения к линейной электронной плотности по результатам одновременных радиооптических наблюдений» [63], мы рассчитали отношение коэффициента светимости к ионизации. Результаты расчётов представлены на рисунке 3.



**Рисунок 3. - Зависимость отношения коэффициента свечения к ионизации от скорости V**

Там же приведены результаты расчёта отношения коэффициента ионизации к свечению по работе [7] в виде:

$$\lg \beta / \tau = (3,00 \pm 0,62) \lg V - (4,27 \pm 1,37). \quad (12)$$

Очевидно, что результаты обоих циклов наблюдений при скорости  $V = 40$  км/с хорошо согласуются друг с другом. Согласно рисунку 3, отношение коэффициента светимости к ионизации и в диапазоне скоростей 12–70 км/с уменьшилось на три порядка.

**Тринадцатый параграф** посвящён исследованию общности распределения интенсивности свечения и ионизации вдоль следа метеоров различных диапазонов звёздных величин. К настоящему времени на основе результатов базисных наземных оптических и радиолокационных наблюдений накоплено определённое количество кривых блеска и ионизации, охватывающих широкий диапазон звёздных величин ( $+12^m \div$

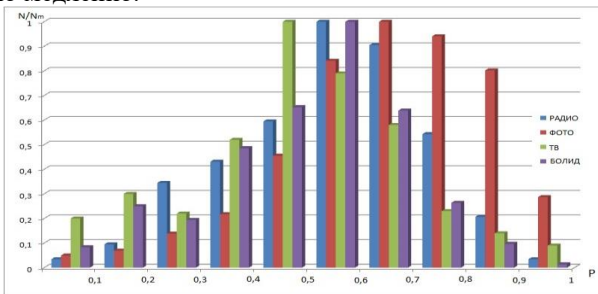
–20<sup>m</sup>) метеоров. Формы кривых свечения и ионизации метеоров в целом можно квалифицировать как две группы: А) кривые с гладкими формами распределения свечения и ионизации вдоль следа, и Б) аномальные (вспышечные) кривые блеска и ионизации метеоров. Согласно работе Лебединца [6], все три вида гладких кривых блеска и ионизации метеоров хорошо описываются в рамках теории квазинепрерывной фрагментации. Однако вопрос исследования специфических особенностей распределения блеска вдоль следа метеоров в широком диапазоне звёздной величины до сих пор не изучался.

«Для решения поставленных задач были использованы опубликованные данные атмосферной траектории болидов Прерийной и Европейской сети» [51, 52], «результаты атмосферных траекторий 413 метеоров, полученных на светосильной камере Супер-Шмидт» [54], результаты базисных телевизионных наблюдений 454 слабых метеоров Сарма и Джонса [55] «со звёздной величиной от +1 до +8,5<sup>m</sup> в Сперингхилле, результаты фотографических наблюдений метеоров в Таджикистане [51], данные атмосферных траекторий болидов, завершившихся падением метеоритов» [56], а также кривые ионизации 270 радиометеоров ярче +5<sup>m</sup>, полученные в [56] и автором в [57]. Наличие высоты начала  $H_b$ , максимума  $H_m$  и конца  $H_e$  следа метеора позволяет определить приблизительную форму кривой свечения или ионизации. Далее, используя формулу:

$$P = (H_b - H_m) / (H_b - H_e), \quad (13)$$

нами вычислен параметр P. Результаты вычисления параметра P для различных массивов оптических и радиолокационных наблюдений приведены на рисунке 4.

Анализ гистограммы распределения метеоров по параметру P указывает на наличие общей закономерности: увеличение числа метеоров в первой половине всех гистограмм происходит примерно экспоненциально, а уменьшение числа метеоров во второй половине гистограмм происходит относительно медленно.

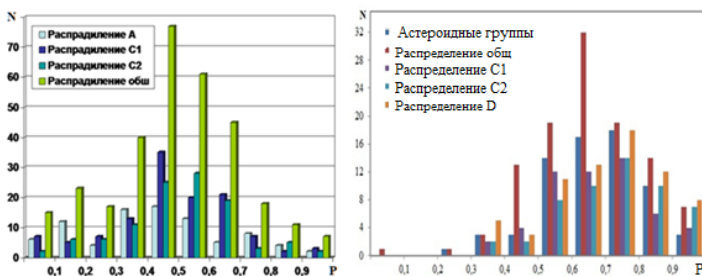


**Рисунок 4. - Распределение метеоров по параметру P**

Расчёт параметра P произведён также для болидов, завершившихся падением метеоритов. За исключением метеорита Ванбурра Рокчоле, где P =

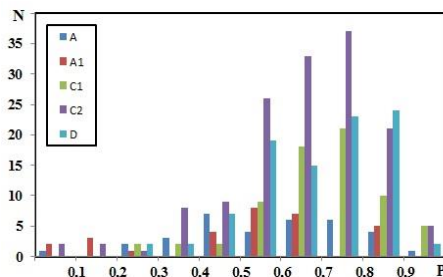
0,24, у остальных болидов, порождающих метеориты, численные значения параметра  $P$  находятся в интервале 0,6–0,9. Среднее значение  $P$  для этих болидов равно 0,74.

**Четырнадцатый параграф** посвящён исследованию распределения свечения вдоль следа метеоров различных метеороидных популяций ТВ-метеоров, болидов Европейской и Прерийной сетей и данные Супер-Шмидтовских метеоров. Результаты расчёта параметра  $P$  для каждой группы популяции метеороидов представлены в виде распределения на рисунке 5. Если параметр  $P$  в случае телевизионных метеоров распределён по всему диапазону гистограммы, то для популяции болидов параметр  $P$  ограничен в основном интервалом 0,3–1,0. Максимальное число значений параметра  $P$  для ТВ-метеоров находится в интервале 0,4–0,5, а у болидов в диапазоне 0,7–0,8.



**Рисунок 5. - Распределение метеоров по параметру  $P$  для разных популяций телевизионных [54] и болидов Европейской и Прерийной сетей [51, 52]**

Основное количество значений параметра  $P$  в распределении астероидной группы ( $A'$ ) находится в интервале 0,5–0,9. Диапазон значений параметра  $P$  в группе  $A$  (синие линии) относительно других групп находится в широком диапазоне 0,4–1,0. Группа  $C1$  имеет широкий максимум (как палочка), расположенный в интервале 0,5–0,8.



**Рисунок 6. - Распределение параметра  $P$  для популяций Супер-Шмидтовских метеоров [54]**

Распределение параметра  $P$  для популяций Супер-Шмидтовских метеоров приведено на рисунке 6. Наиболее чёткий максимум в гистограмме распределения параметра  $P$  наблюдается у популяций групп C2 и D, где значения  $P$  сосредоточены в интервале 0,7–0,8.

**Параграф 15** посвящён измерению высоты метеоров по результатам комбинированных радиотелевизионных наблюдений. Для этого автор использовал фотоизображения, записанные на плёнку ТВ-камерами. Используя координаты и точные значения расстояний, рассчитанных по данным радиолокационных наблюдений, были определены высоты начала  $H_b$ , максимума  $H_m$  и конца  $H_e$  каждого метеорного следа. В таблице 6 приведены данные о средней высоте начала, максимума и конца метеорного следа для метеорных потоков.

**Таблица 6. - Средние высоты поточных метеоров, полученные комбинированным радиотелевизионным методом**

№	Название потока	$H_b \pm s.d$ (км)	$H_m \pm s.d$ (км)	$H_r \pm s.d$ (км)	$H_e \pm s.d$ (км)
1	Персеиды	111,28±0,72	102,53±1,15	103,75±0,6	98,47±1,55
2	S. $\delta$ - Аквариды	100,23±0,57	94,96±0,76	95,12±0,97	92,71±0,82
3	Квадрантиды	99,9±1,74	97,27±2,35	97,08±1,95	93,25±1,94
4	Геминиды	94,0±1,0	86,15±6,15	89,2±2,2	81,5±8,5
5	Ориониды	115,3±1,3	110,25±0,75	109,0±1,5	107,1±1,1

**В шестнадцатом параграфе** приведены результаты измерения атмосферных траекторий и орбит 426 радиометеоров по наблюдениям с 4–5 пунктов в ГисАО, а также классификация ионизационных кривых по форме. Для экспериментального получения ионизационных кривых метеоров ярче +5<sup>m</sup> использовались измерения радиантов, скоростей и орбит метеоров по результатам радионаблюдений метеорных потоков Южных  $\delta$ -Акварид, Северных  $\delta$ -Акварид, Южных  $i$ -Акварид, Северных  $i$ -Акварид,  $\alpha$ -Каприкорнид, Персеид и спорадического фона, зарегистрированных с 5 пунктов. В обработку вошли более 1000 метеоров.

Далее, по методике, изложенной в предыдущем параграфе, для каждого метеора построены зависимости линейной электронной плотности от высоты, форма которых разнообразны. Отрезки, относящиеся только к восходящей ветви, составляют 4%. Отрезки, охватывающие восходящую ветвь и часть области максимума ионизации, отнесены ко второй группе и составляют 7% всех отрезков. К третьей группе отнесены отрезки, охватывающие область максимума ионизации наряду с восходящими и нисходящими участками следа метеоров; они составили 63,6% наблюдаемых отрезков. Отрезки, охватывающие область максимума ионизации вместе с нисходящими участками, составляют 20%, а отрезки, относящиеся только к нисходящим участкам - 6,4%.

Используя отрезки третьей группы, были восстановлены наблюдаемые формы ионизационных кривых путём экстраполяции нисходящих и восходящих ветвей до нулевого уровня. В результате выделены пять групп ионизационных кривых метеоров по форме распределения линейной электронной плотности вдоль следа. Первым трём группам метеоров свойственна более плавная вариация линейной электронной плотности, а к последним двум группам отнесены вспыхивающие метеоры. Средняя длина следов вспыхивающих метеоров несколько короче и составляет 5,2–5,9 км на высотном разрезе, тогда как у первых трёх групп она равна 7–7,9 км.

**Третья глава** диссертации посвящена исследованиям физических свойств метеороидов как по результатам одновременных радиооптических наблюдений, так и по результатам базисных радиолокационных наблюдений метеоров.

**В первом параграфе** «приводятся результаты определения масс метеороидов по кривым свечения, полученным по результатам комбинированных радиотелевизионных наблюдений. Массы метеороидов вычислялись: а) путём интегрирования интенсивности свечения вдоль следа и б) по величине интенсивности свечения в точке максимума блеска. Вычисленные значения масс метеороидов по кривому блеску находятся в интервале от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^0$  г с максимумом около  $10^{-2}$  г» [55]. Средние значения масс, рассчитанные вторым методом, оказались в три раза больше масс, определённых первым методом. Аналогичные результаты получены при вычислении масс метеороидов по ионизационным кривым метеоров [24]. На основании этих результатов был введён поправочный коэффициент для расчёта масс метеороидов по результатам измерения интенсивности свечения и ионизации в высоты максимума свечения и ионизации.

**Во втором параграфе** изложены методы определения масс метеороидов по кривым свечения и ионизации одних и тех же метеороидов, зарегистрированных радиооптическим методом. Массы метеороидов вычислялись как по шкале масс, полученной автором, так и по шкале масс, рекомендованной на Обнинском совещании.

**В третьем параграфе** приведены результаты вычисления масс одних и тех же слабых метеоров по величине интенсивности свечения и ионизации на высоте зеркальной точки, полученные по данным одновременных радиооптических наблюдений. В работах [68,69] на основании этих данных получен среднестатистический поправочный коэффициент, позволяющий приближённо учитывать влияние дробления и других факторов при определении масс метеороидов по величине интенсивности свечения или ионизации в точке максимума блеска и ионизации. Исходные формулы имеют вид:

$$m_{\phi} = 3N_{\text{I}_m} / 2\tau_{\phi} V^3 \cos Z, \quad (14)$$

$$m_r = 3N_{\text{I}_m} \mu_{\text{Hq}_m} / 4\beta \cos Z, \quad (15)$$

где  $H$  – высота однородной атмосферы.

В формулах (14) и (15) диссертации параметры  $I$ ,  $V$ ,  $Z$ ,  $h$  и  $q$  определяются непосредственно из наблюдений, а при расчётах масс в качестве среднего значения массы атомов метеорного вещества принимается величина  $\mu_{\text{mn}} = 3,82 \cdot 10^{-23}$  г. Для подтверждения достоверности полученных результатов, повышения точности и надёжности измерений данных радионаблюдений, получаемых с одного пункта, необходимо их калибровать с оптическими результатами, обладающими относительно высокой точностью. Такая калибровка осуществляется путём определения шкалы масс (зависимость коэффициента ионизации от скорости) радиометеоров относительно шкалы масс (скоростная зависимость коэффициента свечения) фотографических метеоров.

Коэффициент ионизации  $\beta$  при использовании данных параллельных наблюдений определяется выражением, вытекающим из уравнения свечения и ионизации в виде:

$$\beta = \tau_{\phi} q V^3 \mu_{\text{H}} / 2 I_{\phi}. \quad (16)$$

Принимая среднюю массу атомов метеорного вещества  $\mu_{\text{mn}} = 3,82 \cdot 10^{-23}$  г, используя численные значения  $I_{\phi}/q$ , полученные на основании результатов параллельных радиооптических наблюдений, и вычисляя  $\tau_{\phi}$  согласно [65] по формулам:

$$\tau_{\phi} = 3.25 \cdot 10^{-19} V \quad \text{при скорости } 10 \text{ км/с} < V < 7 \text{ км/с}, \quad (17)$$

$$\tau_{\phi} = -9.6 \cdot 10^{-7} / V \quad \text{при } V > 17 \text{ км/с}, \quad (18)$$

мы определили значения  $\beta$  при различных скоростях (таблица 7). Полученные численные значения  $\beta$  для скоростей от 20 до 60 км/с близки к второй модели Тохтасьева [70], а при  $V = 40$  км/с хорошо согласуются с результатами работы [72].

**Таблица 7. - Зависимость коэффициента ионизации  $\beta$  от скорости  $V$  по данным параллельных радиооптических наблюдений**

$V$ (км/с)	15	20	30	40	50	60
$\beta$	0.0001	0.0008	0.007	0.04	0.09	0.2

Наилучшее согласие между фотографической и ионизационной массой наблюдается при использовании шкалы радиолокационных масс (зависимость  $m_r$  от скорости  $V$ ), полученной докторантом по результатам комбинированных радио-оптических наблюдений (таблица 8).

Массы радиометеоров также были вычислены с использованием шкалы масс, принятой на Обнинском совещании ( $m_{ri}$ ). Шкалы масс, принятые на Обнинском совещании, в среднем на порядок меньше, чем шкалы радиолокационных масс, калиброванные относительно шкалы фотографических масс. Следовательно, полученные нами значения

**Таблица 8. -Средние значения масс метеороидов для различных интервалов метеорных скоростей**

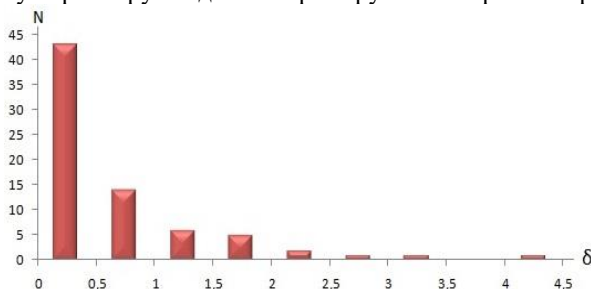
V (км/с)	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
$m_{\phi} \cdot 10^3$ (г)	3.92	189	70.4	80.7	18.1	20.7
$m_r \cdot 10^3$ (г)	1.72	212.0	157.7	94.7	18.0	19.6
$m_{r1} \cdot 10^3$ (г)	0.32	35.6	45.9	39.7	9.3	12.5

коэффициента ионизации  $\beta$  от скорости V рекомендуются для обработки большого объёма материалов, полученных при радиолокационных наблюдениях метеоров на различных станциях. С использованием этой шкалы были вычислены массы 630 метеороидов как по величине линейной электронной плотности в точке максимума ионизации, так и путём интегрирования кривых ионизации.

**Четвёртый параграф** посвящён определению шкалы масс ярких радиометеоров. Для этого исследована зависимость логарифма отношения интенсивности ионизации к величине линейной электронной плотности для 29 ярких метеоров со скоростями от 14 до 69 км/с. Установлено, что  $\lg I_{ph}/q$  в диапазоне метеорных скоростей остаётся практически постоянным и составляет -4.2. Этот результат использован для вывода шкалы масс ярких радиометеоров. Сравнение фотометрических и ионизационных масс показало их удовлетворительное согласование.

**В пятом параграфе** рассматривается применение критерия конечных высот для определения плотности параллельных радиооптических метеороидов. Выяснилось, что теория единого недробящегося тела применима для объяснения механизма разрушения лишь 3% слабых метеоров.

Для определения плотности индивидуального метеора по вычисленному параметру PE для четырёх групп метеоров построен график



**Рисунок 7. - Распределение метеорных тел по плотностям** зависимости плотности от параметра PE. Далее по значениям параметра PE для конкретного метеора на графике, определяется его плотность. Данные о плотностях метеороидов представлены в виде гистограммы на рисунке 7.

Вычисленные значения плотностей находятся в широком диапазоне от 0.10 до 4.4 г/см<sup>3</sup>.

**Шестой раздел третьей главы** «посвящён сопоставлению теоретических и наблюдаемых кривых свечения метеороидов, полученных по результатам одновременных радиооптических наблюдений. Данные о наблюдаемых кривых блеска совместных метеоров позволили автору провести их анализ в рамках модели квазинепрерывного дробления.

Теоретическая кривая блеска метеора с учётом квазинепрерывного дробления рассчитывалась по следующему уравнению» [71]:

$$I = -\frac{\tau V^2}{2} \frac{dM_u}{dt}.$$

Выражение для скорости испарения метеорного вещества  $dM_u / dt$  имеет вид:

$$\frac{dM_u}{dt} = -\rho \frac{\theta(\rho_k - \rho)}{m_o} \int_{\rho_o}^{\rho} \frac{dM}{d\rho'} \frac{dm_k}{d\rho} \theta(b - \rho') d\rho'.$$

Уравнения расхода массы метеороида  $dM / d\rho'$  и фрагмента  $dm_k / d\rho$  имеют вид:

$$\frac{dM}{d\rho'} = -\frac{\Lambda A H V^2 M^{1/3}}{2 Q_f \delta_o^{2/3} \text{Cos} Z_r}; \quad \frac{dm_k}{d\rho} = -\frac{\Lambda' H' V^2 m_k^{1/3}}{2(Q - Q_f) \delta_f^{2/3} \text{Cos} Z_r}.$$

В уравнения входят следующие величины:  $\rho$  – плотность атмосферы на участке метеорной траектории, изменяющаяся по экспоненциальному закону:  $\rho = 3 \cdot 10^{-9} \exp(-h/H)$ ;  $\rho_n, \rho_k$  – плотность атмосферы на высоте начала дробления и прекращения явления метеора соответственно;  $a = \rho_n + R_1$  – плотность атмосферы на высоте исчезновения фрагментов, которые отделились на высоте начала дробления;  $b = \rho_n + R_0$  – плотность атмосферы на высоте прекращения дробления;  $\rho'$  – плотность атмосферы на произвольной высоте;  $M_0, m_0$  – начальная масса метеороида и фрагментов;  $M, m_k$  – массы метеороида и фрагментов на произвольной высоте;  $\delta_0, \delta_f$  – плотность метеороида и фрагментов. Для фрагментов коэффициент теплопередачи  $\Lambda=1$ , коэффициент формы  $A=1.21$ ;  $Q_f = 2 \cdot 10^{10}$  эрг/г – удельная энергия дробления метеороида,  $\theta(x)$  – функция Хевисайда:  $\theta(x) = 1$  при  $x > 0$ ,  $\theta(x) = 0$  при  $x < 0$ .

Выражения для параметров  $R_0$  и  $R_1$ , определяющих квазинепрерывное дробление, имеют вид:

$$R_o = \frac{6Q_f (M_o \delta_o^2)^{1/3} \text{Cos} Z_r}{\Lambda A H V^2}; \quad R_1 = \frac{6(Q - Q_f) (m_o \delta_f^2)^{1/3} \text{Cos} Z_r}{\Lambda' H' V^2}$$

По приведённым выше уравнениям были рассчитаны модельные кривые блеска исследуемых метеоров. Из условия наилучшего совпадения модельных и наблюдаемых кривых блеска определялись объёмные плотности  $\delta_0$  индивидуальных метеороидов и массы отделяющихся

фрагментов  $m_0$ . При этом для тех метеоров, у которых наблюдаемые и теоретические кривые свечения совпадали, были рассчитаны объёмные плотности. Результаты расчёта плотности поточных и спорадических метеороидов на базе теории квазинепрерывного дробления позволили нам вычислить средние величины объёмной плотности для поточных метеороидов. Результаты вычислений приведены в таблице 9: первый столбец - название потока; второй столбец - число метеоров в потоке; третий столбец - средние значения плотности; четвёртый столбец - диапазон масс фрагментов.

**Таблица 9. - Плотность поточных метеороидов по результатам параллельных радиотелевизионных и фоторадиолокационных наблюдений**

Поток	N	$\delta_0 \pm \delta_0$ , г/см <sup>3</sup>	$m_0$ , г	Поток	N	$\delta_0 \pm \delta_0$ , г/см <sup>3</sup>	$m_0$ , г
δ-Аквариды	9	3.5±0.3	10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-5</sup>	Квадрантиды	4	2.1±0.6	10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-5</sup>
Персеиды	17	1.0±0.2	5·10 <sup>-6</sup> -5·10 <sup>-5</sup>	Каприкорниды	1	1.4	5·10 <sup>-6</sup>
Ориониды	2	0.5±0.2	10 <sup>-6</sup>	С. Виргиниды	1	5.0	
Геминиды	1	3.6	10 <sup>-6</sup>	Ю. Тауриды	1	1.8	5·10 <sup>-6</sup>
Леониды	2	0.6±0.2	10 <sup>-6</sup>	Спорадические	18	1.3±0.2	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-5</sup>

**Таблица 10. - Плотности и пористости поточных и спорадических метеороидов по результатам фотографических и комбинированных радиооптических наблюдений**

Поток	$\delta_0 \pm \delta_0$ , г/см <sup>3</sup> , настоящ ая	$\delta_0 \pm \Delta \delta_0$ , г/см <sup>3</sup> [71]	$\delta_0$ [72]	$\delta_m$ , г/см <sup>3</sup> [73]	$\delta_m$ , г/см <sup>3</sup> [71]	настоящ ая К [71]	
δ-Аквариды	3.5±0.3	2.4±0.6	3.3	4.1	3.4±0.4	7	29
Персеиды	1.0±0.2	1.2±0.2	-	2.4	2.25±0.04	57	45
Ориониды	0.5±0.2	0.9±0.5	-	-	2.4±0.2	79	62
Геминиды	3.6	2.9±0.6	-	3.3	2.9±0.2	0	0
Леониды	0.6±0.2	0.4±0.1	-	-	2.3±0.2	74	83
Квадрантиды	2.1±0.6	1.9±0.2	2.8	3.4	3.4±0.8	38	44
Каприкорниды	1.4	2.1	-	2.8	3.4±0.8	55	38
С. Виргиниды	5.0	-	-	-	-	-	-
Ю. Тауриды	1.8	1.6±0.4	2.3	2.7	2.7±0.2	32	41
Спорадич.	1.3±0.2	1.8±0.3		2.7	3.0±0.1	36	40

Ранее в работах [71, 73] на основе данных фотографических наблюдений были рассчитаны значения минералогических плотностей для ряда поточных и спорадических метеороидов. Используя эти значения плотностей и данные по объёмным плотностям, мы рассчитали величины пористости для нескольких метеорных потоков. Результаты представлены в таблице 10.

Очевидно, что метеороиды потоков  $\delta$ -Акварид и Геминид имеют плотную структуру, тогда как метеороидам потоков Персеид и Леонид присуща рыхлая структура.

**Седьмой параграф** посвящён изучению природы суперболида Таджикистан по комбинированным результатам спутниковых и наземных наблюдений. Среднее значение массы, рассчитанное нами тремя методами (фотометрическим, динамическим и графическим), составляет  $17,8 \pm 2,4$  т, что близко к граничным значениям масс, полученным в работах [4, 58]. Объёмные значения плотности болида также рассчитаны тремя методами: а) по параметру PE, б) по уравнению, связывающему высоты максимума свечения с параметрами метеороида, и в) по уравнению торможения (динамический метод). Средние вычисленные значения плотности суперболида тремя методами составляют  $1,2 \pm 0,1$  г/см<sup>3</sup>.

**Восьмой параграф** «посвящён исследованию параметра распределения метеорных тел по массам для некоторых ежегодных дневных и ночных метеорных потоков. Значение параметра S, полученное по интегральным распределениям метеорных тел по массам, для дневных метеорных потоков находится в интервале 1,4 (для потоков Писцид, о-Цетид и Пегасид) до 1,9 - для потоков  $\eta$ -Акварид, v-Писцид и Ю. М. Ариетид» (таблица 11).

**Таблица 11. - Параметр S в некоторых дневных метеорных потоках**

Источник	$\eta$ - Аквариды	о-Цетиды	v- Писциды	$\gamma$ - Пегасиды	Писциды	С.М. Ариетиды	Ю.М. Ариетиды
Настоящая работа	1,8	1,4	1,8	1,6	1,4	1,7	1,9
[30] Vlaau	1,85	-	-	-	-	1,68	1,85

«Параметр S для ночных метеорных потоков: Квадрантид равен 1,6; для С.  $\delta$ -Акварид, Ю.  $\delta$ -Акварид и Геминид - 1,7; для i-Акварид - 1,86. Полученные значения параметра S были сопоставлены с параметрами S, найденными другими исследователями» (таблица 12).

Очевидно, что исследованный нами параметр S, вычисленный по массам метеороидов на основе ионизационных кривых, согласуется с результатами параметра S, рассчитанного по интегральным распределениям по

длительности радиоэха только для даты максимума активности тех же потоков по радиолокационным наблюдениям.

**Таблица 12. - Параметр S для ряда ночных метеорных потоков по различным источникам**

Источник	Метеорные потоки				
	С. δ-Аква-риды	Ю. δ-Аква-риды	Гемини-ды	Квадран-тиды	i-Аква-риды
Настоящая работа	1,76	1.7	1.8	1.6	1.86
[36]	-	-	1.7	1.7	1.8
[35]	-	-	1.6-1.9	-	-
[34]	-	-	1.69	1.94	-
[33]	-	-	1.64	1.56	-
[30]		1.80	1.68	1.55	-
[31]	-	-	1.64÷1.75	-	-
[32]	-	1.9÷2.0	-	-	-

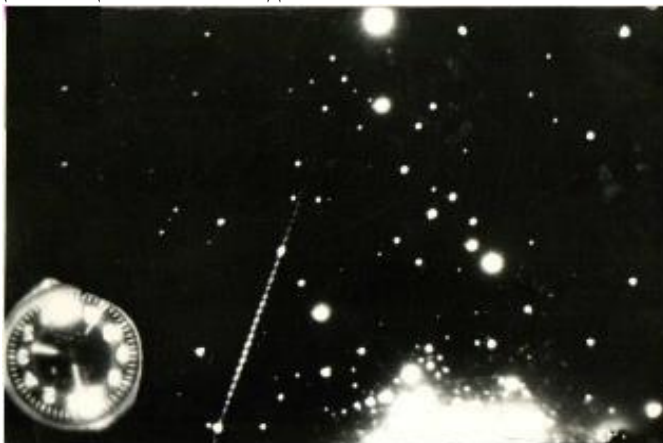
**Четвёртая глава** посвящена измерению радиантов, скоростей, орбит и атмосферных траекторий метеоров, зарегистрированных по результатам одновременных оптикорadiолокационных наблюдений, а также данным базисных радиолокационных наблюдений метеоров с четырёх пунктов в ГисАО Института астрофизики НАНТ.

**В первом параграфе** «обсуждается вопрос измерения радиантов и скоростей метеоров импульсно-дифракционным и пеленгационно-временным радиометодами. Показано, что пеленгационно-временной радиометод, разработанный в Институте астрофизики Р.П. Чеботаревым, превосходит импульсно-дифракционный метод как по чувствительности (в три раза), так и по точности измерений» (в 1.7 раза).

**Во втором параграфе** представлены результаты измерений скоростей одних и тех же метеоров тремя методами: а) одновременным телерадиолокационным, б) импульсно-дифракционным и в) пеленгационно-временным радиолокационным методом. На рисунке 8 в качестве примера приведена фотография совместного радиотелевизионного метеора, полученная на телевизионной установке Института астрофизики НАНТ.

Установлено, что средние значения скоростей метеоров потока δ-Акварид, измеренные по данным комбинированных радиотелевизионных наблюдений, составляют  $41,2 \pm 1,16$  км/с. Это несколько выше средних скоростей тех же метеоров, измеренных по радиолокационным наблюдениям, где  $V = 39,9 \pm 0,8$  км/с. Для метеоров потока Персеид средняя скорость, измеренная комбинированным методом, составляет  $60 \pm 0,60$  км/с, что на 3 км/с больше, чем скорость тех же метеоров по радиолокационным наблюдениям ( $V = 57,06 \pm 1,1$  км/с). Различия между скоростями,

измеренными комбинированным и радиолокационными методами, по нашему мнению, объясняются тем, что у большинства радиометеоров (68%) точки зеркального радиоотражения находятся на нисходящих участках их ионизационных кривых, где метеоры испытывают наибольшее торможение. Этот вывод позднее подтверждён авторами [18] на основе одновременных видео-радиолокационных наблюдений.



**Рисунок 8. - Фотография совместного радиотелевизионного метеора, полученная на телевизионной установке Института астрофизики НАНТ**

Следовательно, полученный результат докторантом использован для коррекции измеренных скоростей с учётом торможения при расчёте внеатмосферных скоростей, зарегистрированных на радиокomплексе МИР-2 в период с декабря 1968 по январь 1970 гг.

**В третьем параграфе** описана методика редукции данных радиантов, скоростей и элементов орбит по результатам одновременных радиотелевизионных и базисных радиолокационных наблюдений метеоров. Здесь последовательно изложена методика обработки данных радиотелевизионных наблюдений метеоров.

**В четвёртом параграфе** представлена методика обработки наблюдательного материала для определения горизонтальных координат зеркально-отражающей точки.

**В пятом параграфе** изложены результаты наблюдений и методика измерений радиантов и скоростей метеоров пеленгационно-временным радиометодом.

**В шестом параграфе** приведены результаты обработки наблюдательного материала для определения высоты зеркально-отражающей точки метеора.

**В седьмом параграфе** представлена методика определения горизонтальных координат радианта (азимута  $A_r$  и зенитного расстояния  $Z_r$ )

пеленгационно-временным методом. Исходные выражения для расчёта имеют вид [30]:

$$A_r = A_1 + \arctg (t_2 b_1 / t_1 b_2 \cdot \operatorname{cosec} A_{21} \cdot \operatorname{ctg} A_{12}), \quad (19)$$

$$Z_r = \arctg [-\operatorname{ctg} Z / \cos (A - A_r)], \quad (20)$$

где  $A_1$  - азимут первого пункта;  $b_2, b_3, b_i$  - длины баз второго, третьего и  $i$ -го пунктов относительно центрального пункта;  $A_{12} = A_2 - A_1$  - разность азимутов соответствующих пунктов;  $A$  и  $Z$  - азимут и зенитное расстояние отражающей точки на следе метеора.

Для вычисления радиантов, скоростей и элементов орбит исходные данные вводились в компьютер в следующей последовательности: год и месяц наблюдения, номер метеора, номер вынесенного пункта, временной сдвиг относительно центрального пункта, дата и время наблюдения (часы, минуты, секунды), номер варианта, точные значения дальности и горизонтальных координат отражающей точки, значение дифракционной скорости, азимут радианта, значение временного сдвига, вычисленное как разность максимумов дифракционных картин выносного и центрального пунктов.

**В восьмом** параграфе описана программа вычисления радиантов, скоростей и орбит метеороидов при заведомо введённых расстоянии и азимуте каждого выносного пункта относительно центрального. Остальные данные - расстояние от Земли до Солнца, орбитальная скорость Земли, долгота Солнца и звёздное время - представлены в виде аналитических функций времени. Программа учитывает поправки на вращение и притяжение Земли и приведение к эпохе J2000.

Поправка к наблюдаемой скорости из-за торможения вычислялась по формуле, полученной из данных одновременных радиотелевизионных наблюдений в ГисАО:

$$\Delta \vartheta = 0.65 + 0.38 \cdot \vartheta.$$

где  $\vartheta$  - измеренная средняя скорость метеора импульсно-дифракционным и пеленгационно-временным методами.

Внеатмосферная скорость метеора определялась как:

$$\vartheta_{\infty} = \vartheta + \Delta \vartheta.$$

Вычисление радиантов, скоростей и элементов орбит проводилось в следующей последовательности:

1. Измерение импульсно-дифракционной и пеленгационно-временной скорости;
2. Расчёт внеатмосферной скорости;
3. Измерение горизонтальных координат зеркально-отражающей точки;
4. Определение азимута и зенитного расстояния радианта;
5. Определение горизонтальных координат видимого радианта;
6. Вычисление экваториальных координат радианта;

7. Определение геоцентрической скорости метеора;
8. Вычисление эклиптических координат исправленного радианта;
9. Вычисление гелиоцентрической скорости метеора;
10. Вычисление координат истинного радианта и его элонгации от апекса;
11. Определение элементов орбит метеороида;
12. Вычисление эклиптических координат перигелия.

**Таблица 13. - Радианты, скорости и орбиты поточных метеоров**

Назв. потока	$\alpha_R$	$\delta_R$	$V_{\infty}$ км/с	1/a	e	q	$\Omega$	$\Omega$	i
Персеиды	47,3 ±0,8	57,8 ±1,1	59,8 ±0,8	0,07 ±0,07	0,94 ±0,07	0,94 ±0,007	147,7 ±2,15	139,0 5 ±0,2	112,6 ±1,66
δ-Аквариды	341,9 ±1,5	-15,6 ±1,04	42,2 ±1,0	0,52 ±0,08	0,97 ±0,05	0,07 ±0,01	154,9 ±2,4	305,8 ±0,87	34,06 ±5,94
Квадрантиды	227,7 ±2,4	49,6 ±1,77	42,5 ±1,14	0,36 ±0,12	0,64 ±0,11	0,97 ±0,0005	172,9 ±5,43	281,8 ±0,18	72,14 ±1,58
Ориониды	100,3 ±3,11	19,1 ±1,81	65,8 ±3,61	0,37 ±0,21	0,8 ±0,075	0,62 ±0,15	81,6 ±22,84	28,45 ±0,55	171,3 5±5,0
Геминиды	109 ±1,6	29,75 ±1,65	39,7 ±1,21	0,54 ±0,14	0,94 ±0,007	0,11 ±0,007	326,5 ±3,51	259,2 ±0,0	20,48 ±3,53

Сопоставление данных радиантов, скоростей и орбит поточных метеоров, полученных с помощью комбинированных наблюдений, с результатами других авторов показывает хорошую сходимость с данными фотографических и видеонаблюдений [13]. Результаты вычислений приведены в таблице 13.

**Девятый параграф** посвящён разработке методики вычисления атмосферной траектории метеора. Для определения линейной электронной плотности q следов промежуточного и переуплотнённого типа использованы выражения (6), (7) и (8). Наличие линейной электронной плотности (эл/см) позволило вычислить радиовеличину M и массу метеорного тела  $m_r$  по формулам [7, 18]:

$$M = 35.3 - 2.5 \lg q; \quad m_r = 3N^* \mu q_m / 4\beta \cos Z, \quad (21)$$

При расчётах высоты однородной атмосферы  $N^*$  в точке зеркального радиоотражения нами получены и использованы следующие полиномиальные ряды:

- 1)  $N^* = 0.0015 h^2 - 0.2978 h + 19.76$  - при диапазоне высот  $60 < h < 89$  км
- 2)  $N^* = 0.007 h^2 - 1.381 h + 69.12$  - при диапазоне высот  $90 < h < 125$  км.

**. Таблица 14. – Образец результатов вычисления элементов орбит и данных атмосферных траекторий радиометеоров**

№	1	2	3	4	5	6	7
Yr	1968	1968	1968	1968	1968	1968	1968
Mn	12	12	12	12	12	12	12
Day	12.735	12.736	12.74	12.74	12.74	12.74	12.74
$\lambda_{\odot}$	261.22	261.22	261.2	261.2	261.2	261.2	261.2
$M_r$	2.6	1.3	2.98	2.07	3.73	5.05	4.12
$H_{ref}$	100.04	97.79	88.83	94.09	90.48	84.8	94.07
$\alpha_r$	109.37	105.15	110.5	112.8	113.4	107.1	110.3
$\delta_r$	33.73	30.06	33.52	27.14	33.2	30.98	34.35
$V_{\infty}$	38	37.9	35.1	38.7	37.1	33.3	37.4
$V_g$	36.3	36.2	33.2	37.1	35.4	31.4	35.7
$V_h$	36.5	37.7	34.1	34.9	34.3	34	35.8
$\cos Z_r$	0.731	0.753	0.724	0.669	0.699	0.748	0.736
Q	0.16	0.172	0.172	0.093	0.134	0.2	0.162
E	0.915	0.927	0.876	0.939	0.905	0.855	0.905
A	1.88	2.347	1.384	1.519	1.41	1.377	1.704
Q	3.6	4.522	2.597	2.945	2.686	2.554	3.246
i	25.32	15.3	22.24	15.45	27.08	14.41	26.4
$\Omega$	318.82	315.63	320.1	330.5	324.9	316.8	319.3
$\Omega$	261.23	261.23	261.2	261.2	261.2	261.2	261.2
П	220.05	216.87	221.3	231.8	226.1	218	220.5
$\lg q_a$	12.983	13.501	12.79	13.2	12.52	11.94	12.37
$\lg m_{\infty}$	-2.223	-1.73	-2.29	-2.037	-2.65	-3.032	-2.842

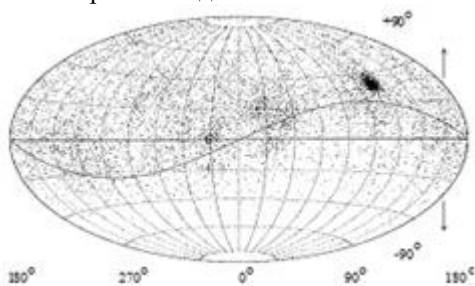
Элементы орбит и данные атмосферных траекторий 8916 радиометеоров представлены в таблицах в следующем порядке: № – номер метеора, Yr – год, Mn – месяц, Day – день (время полёта выражено в долях суток),  $\lambda_{\odot}$  – долгота Солнца,  $M_r$  – радиовеличина метеора,  $H_{ref}$  – высота центрального пункта на следе метеора,  $\alpha_r$  и  $\delta_r$  – экваториальные координаты радианта,  $V_{\infty}$ ,  $V_g$ ,  $V_h$  – внеатмосферная, геоцентрическая и гелиоцентрическая скорости,  $\cos Z_r$  – косинус зенитного расстояния радианта, q – перигелийное расстояние в а.е., e – эксцентриситет, a – большая полуось в а.е., Q – афелийное расстояние в а.е., i – наклон орбиты к эклиптике,  $\omega$  – аргумент перигелия, W – долгота восходящего узла, p – долгота перигелия,  $\lg q_a$  – логарифм линейной электронной плотности и в последнем столбце -  $\lg m$  – логарифм массы метеороида.

Пример результатов расчёта кинематических и физических характеристик метеороидов представлен в таблице 14

«Таким образом, на основании результатов базисных радиолокационных наблюдений метеоров с четырёх пунктов впервые

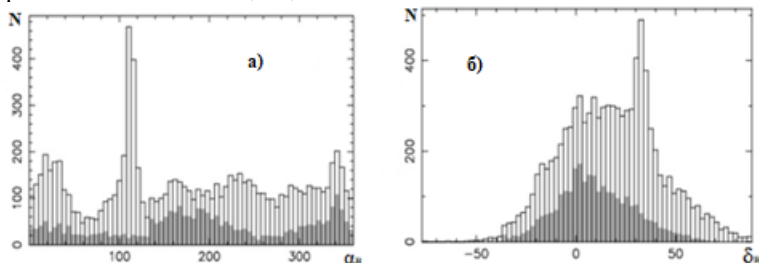
составлен каталог орбит и атмосферных траекторий 8916 метеоров ярче +5 звёздной величины, зарегистрированных в Центре метеорных данных (ЦМД) Международного астрономического союза (МАС). Координаты радиантов и угловые орбитальные элементы приведены к эпохе J2000. Для расчёта орбитальных элементов и получения геоцентрических координат Земли во время наблюдений использованы эфемериды планеты JPL 431» [75].

**В десятом параграфе** приведены результаты анализа распределения метеороидов на небесной сфере по геоцентрическим экваториальным координатам радиантов и скоростей, а также по гелиоцентрическим Кеплеровым оскулирующим элементам орбит. Определены также физические характеристики метеороидов, такие как внеатмосферная масса, звёздная величина радиометеора и линейная плотность электронов на высоте центральной точки метеорного следа.



**Рисунок 9. - Диаграмма распределения Хаммера-Айто для геоцентрических радиантов 8916 метеоров, наблюдаемых в ГисАО**

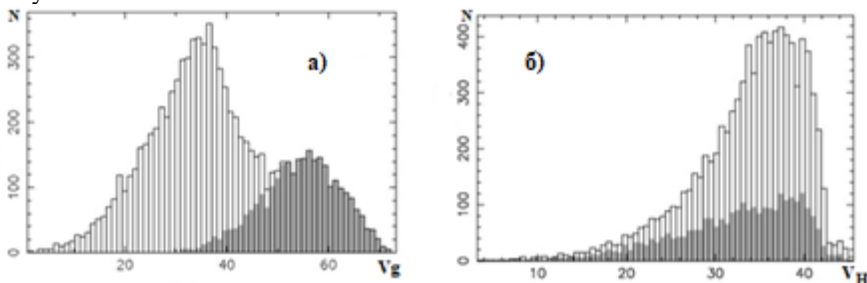
Двухмерное распределение по экваториальным координатам 8916 метеоров, зарегистрированных в ГисАО, представлено на рисунке 9. Пунктирная синусоидальная кривая показывает положение эклиптики. Как видно из рисунка, большинство радиантов сосредоточено в северном полушарии. На рисунке 9, кроме радиантов метеоров потоков Геминид и  $\eta$ -Акварид, видны также широкие скопления (яркие точки) радиантов малых метеорных потоков и ассоциаций.



**Рисунок 10. - Распределение метеоров по а) прямому восхождению—  $\alpha_R$  (град.) и б) склонению—  $\delta_R$  (град.)**

Из анализа распределения очевидно, что: а) радиокomплекс МИР-2 способствовал регистрации радиантов метеоров со склонением до  $-45^\circ$ ; б) распределение метеоров в северном небесном полушарии представляется почти равномерным; в) географическое расположение комплекса МИР-2 в ГисАО позволило наряду со спорадическими метеорами зарегистрировать множество потоков и ассоциаций и в южной небесной полусфере. Распределение метеоров по прямому восхождению и склонению представлено на рисунке 10. Затемнённые участки соответствуют метеорам с ретроградными орбитами. Первый пик гистограммы соответствует метеорному потоку Геминид, а второй - дневному потоку  $\eta$ -Акварид. Гистограммы распределения 8916 метеоров по геоцентрическим и гелиоцентрическим скоростям представлены на рисунке 11. Распределения характеризуются различными особенностями: первое имеет два максимума, тогда как последнее - только один.

Биномиальный характер первого распределения объясняется тем, что значения геоцентрических скоростей представляют собой суперпозицию двух компонентов: скорости метеороида на его гелиоцентрической орбите и скорости движения Земли. Минимальная геоцентрическая скорость метеороидов с ретроградными орбитами составляет примерно 30 км/с. Распределение гелиоцентрических скоростей метеороидов приведено на рисунке 11.



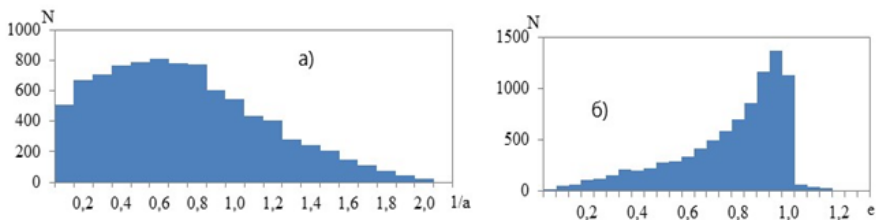
**Рисунок 11. - Распределение а) геоцентрических- $V_g$  и б) гелиоцентрических- $V_h$  скоростей метеоров в км/с**

В правой области «хвоста» распределения обнаружено 148 метеороидов с гиперболическими гелиоцентрическими орбитами. Часть из них может быть связана с погрешностями измерений геоцентрической скорости. Вместе с тем известно, П'Оумуама (2017), 2И/Борисов (2019) и 3И/ATLAS (2025), как первые зарегистрированные межзвёздные малые тела (кометы), входят внутрь Солнечной системы.

«Следовательно, нельзя полностью исключать возможность существования межзвёздных метеороидов. Анализ гистограммы распределения больших полуосей, полученной автором, в сравнении с аналогичными данными, полученными в Гарварде и Харькове для метеоров

+10 ÷ +12 звёздной величины» [21, 42], показал смещение распределения в сторону меньших значений  $1/a$ .

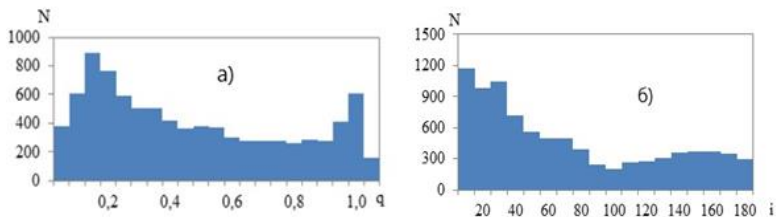
Распределение по эксцентриситетам имеет чёткий максимум в интервале 0.90–0.95, тогда как по материалам [42] для слабых радиометеоров максимум наблюдается в интервале 0.7–0.8 (рисунок 12б).



**Рисунок 12. - Распределение метеоров по большим полуосям (а) и по эксцентриситетам (б)**

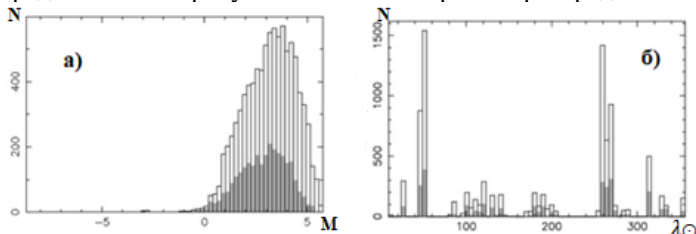
Распределение по перигелийным расстояниям приведено на рисунке 13а. Очевидно, что оно характеризуется двумя максимумами: первый находится в интервале 0.1–0.2 а.е., а второй - в интервале 0.95–1.0 а.е.

Распределение метеоров по наклонам орбит представлено на рисунке 13б. Из гистограммы следует, что подавляющему большинству метеоров свойственно прямое движение, а доля метеоров с наклоном более  $90^\circ$  составляет 31.4%.



**Рисунок 13. - Гистограммы распределения: а) перигелийных расстояний, б) наклонов орбит к плоскости эклиптики**

Распределение метеороидов по звёздной величине и по долготе Солнца представлено на рисунке 14. Из гистограммы распределения следует,



**Рисунок 14. - Распределение метеороидов по а) звёздной величине и по б) эклиптической долготе Солнца –  $\lambda_\odot$  (град.)**

что радиовеличины метеоров сосредоточены преимущественно в диапазоне  $0^m-5,5^m$ , с максимумом на  $3,3^m$  (рисунок 14а).

На рисунке 14б показано распределение метеоров по эклиптической долготе Солнца в момент их появления. Наибольшее число поточных метеоров относится к потокам Геминид,  $\eta$ -Акварид и  $\delta$ -Акварид.

**Пятая глава** диссертации посвящена идентификации метеорных потоков и ассоциаций по результатам ежемесячных и годичных базисных радиолокационных наблюдений метеоров с четырёх пунктов с декабря 1968 по декабрь 1969 гг.

**В первом параграфе** приводится обзор формирования метеорных роёв, потоков и ассоциаций метеороидов. Здесь обоснованы два основных источника образования метеорных роёв: кометное и астероидное. При подходе к Солнцу на расстояние менее 4-5 а.е. кометы прогреваются, с их поверхности испаряются газы и высвобождаются пылевые частицы различных размеров.

«Астероидное происхождение метеорных роёв связано с фрагментацией их тел при взаимных столкновениях с другими астероидами, а также с болидообразующими и метеоритообразующими телами. Образовавшийся ансамбль частиц на протяжении десятков тысяч лет распространяется вдоль объекта-родоначальника и формирует метеорный рой, форма которого близка к булочке» [26]. При пересечении такого роя с Землёй наблюдается метеорный поток – явление в атмосфере, регистрируемое визуальными, оптическими, инфразвуковыми и радиолокационными средствами. Под воздействием гравитационных и негравитационных сил, а также планетных возмущений, рой постепенно теряет плотность и формируют метеорные потоки с малым часовым числом метеоров и большой площадью радиации. Позже такие поредевшие потоки были названы метеорными ассоциациями.

**Во втором параграфе** приводится обзор работ по выявлению потоков и ассоциаций метеороидов. Исследование метеорных потоков первоначально проводилось на основании визуальных данных, а затем – фотографических и с конца 1960-х годов – телевизионных и видеонаблюдений. С 1990-х годов видеонаблюдения стали широко внедряться в Европе, США, Канаде, Японии, Южной Корее и Китае, что позволило накопить обширные материалы, представленные в Центре метеорных данных МАС [37, 55, 74].

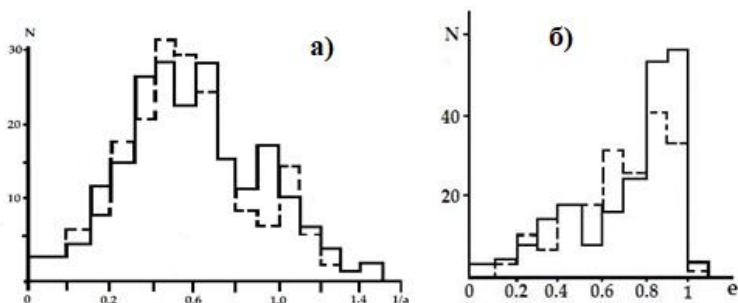
**Третий параграф** посвящён идентификации метеорных потоков и ассоциаций на основе базисных радиолокационных измерений радиантов, скоростей и орбит метеоров пеленгационно-временным радиометодом в Таджикистане. Идентификация осуществлялась по данным свыше 10 683 метеоров в два этапа: а) графическим методом по двухмерному распределению координат радиантов и скоростей; б) с применением критерия Саутворта–Хокинса и критерия Йопека. В результате анализа

выявлены 431 метеорный поток и ассоциация, при этом около 50% обнаружены впервые. Некоторые потоки, такие как северные и южные  $\nu$ -Офиурхиды,  $\delta$ -Виргиниды,  $\alpha$ -Скорпиониды,  $\nu$ -Гидриды, Южные  $\alpha$ -Леониды, S-Либриды, а также ряд ассоциаций, выявлены радиолокационным методом впервые.

В четвёртом параграфе построены распределения метеороидов по элементам орбит для потоков и ассоциаций. Распределение больших полуосей  $1/a$  для метеорных потоков и ассоциаций по нашим данным и по результатам радиолокационных наблюдений более слабых метеоров в Харькове [42] приведено на рисунке 15.

Несмотря на то, что наши данные относятся к более ярким метеорам, форма распределения по большим полуосям несколько смещена в сторону больших значений по сравнению с данными Харькова.

На гистограмме наблюдаются два максимума: первый для обоих наборов данных приходится на интервал 1,4–3,3 а.е., с максимумом около 2,0 а.е.; второй максимум для наших метеоров – в интервале 0,9–1 а.е., а у метеоров Харькова – около 1–1,2 а.е. Доля потоков и ассоциаций с гиперболическими орбитами составляет 1,9%, что, вероятно, связано с ошибками измерения скоростей метеоров.



**Рисунок 15. - Распределение по а) большим полуосям  $1/a$  и по б) эксцентриситету метеоров потоков и ассоциаций: сплошная линия - наши результаты, пунктирная - по работе [42]**

«Метеорные потоки и ассоциации с большой полуосью  $a < 1$  а.е. составляют 11,6% от общего числа метеоров. Форма распределения по эксцентриситетам для наших метеоров и для метеоров, полученных по результатам радиолокационных наблюдений в Харькове, в диапазоне 0,8–1 совпадает. Для Тв метеоров» [42, 55] первый максимум наблюдается в интервале 0,6–0,7, а второй – в интервале 0,9–1.

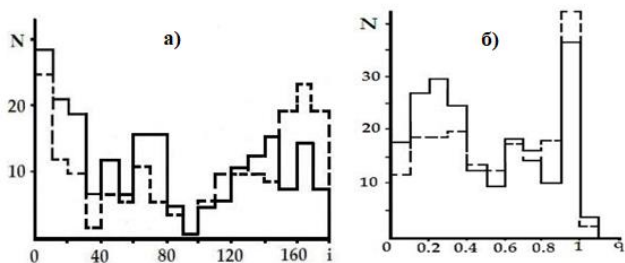
На рисунке 16а приведено измеренное распределение орбит метеорных потоков и ассоциаций по наклонам орбит  $i$  для массива, полученного нами в Душанбе (сплошная линия), и наблюдений в Харькове (пунктирная линия). Согласно рисунку 16а, 61,4% потоков и ассоциаций

имеют прямое движение, в то время как более слабые метеоры преимущественно обладают орбитами с обратным движением.

Согласно рисунку 16б, в распределении по перигелийным расстояниям по обоим источникам наблюдений выделяются три максимума. Значительное количество перигелийных расстояний сосредоточено в интервале  $0,1 \leq q \leq 0,4$  а.е. (первый максимум). Второй максимум в распределении приходится на диапазон  $0,6-0,8$  а.е.

**Пятый параграф** пятой главы посвящён изучению физических характеристик метеороидов в потоках и ассоциациях. Докторантом для каждого метеороида потока и ассоциации были вычислены масса и плотность.

Средние значения масс метеороидов ( $m$ , г.) в потоках и ассоциациях находятся в интервале от  $7 \cdot 10^{-4}$  до  $0,3$  г, а их плотности ( $\delta$ , г/см<sup>3</sup>) варьируются в диапазоне  $0,3-7$  г/см<sup>3</sup>. При этом у 76% метеорных потоков и ассоциаций средние значения плотности метеороидов сосредоточены в диапазоне  $1-4$  г/см<sup>3</sup>. У 11% потоков и ассоциаций средние плотности находятся в пределах  $4-7$  г/см<sup>3</sup>, а 13% метеороидов имеют среднее плотности менее  $1$  г/см<sup>3</sup>.



**Рисунок 16. - Распределение орбит метеоров потоков и ассоциаций по а) наклонам и по б) перигелийному расстоянию: сплошная линия - наши результаты, пунктирная - по работе [42]**

**Шестой параграф** пятой главы посвящён изучению физической природы метеороидов потоков-близнецов. Установлено, что плотность и структура метеорных тел потоков с общим происхождением имеют сходные значения. На основании анализа средних значений масс и плотностей метеороидов показано, что с увеличением значения массы частиц их средняя плотность уменьшается (рисунок 17). Согласно рисунку 17, плотность большинства метеороидов потоков и ассоциаций соответствует трём типам углистых хондритов. Очевидно, что 22 группы метеороидов состоят из рыхлого кометного вещества, тогда как только 8 групп имеют железокаменный состав.

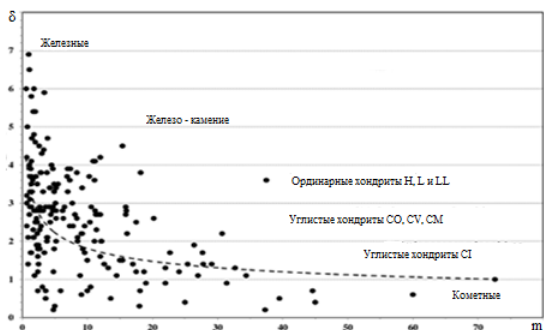


Рисунок 17. - Зависимость плотности –  $\delta$  (г/см<sup>3</sup>) от массы –  $m$  (г.) метеороидов

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Итоговые выводы диссертационной работы:

1. **Получены** теоретические выражения, описывающие формы кривых ионизации метеороидов с учётом различных форм абляции [10-А].

2. В результате одновременных комплексных фотографических, спектральных, телевизионных и радиолокационных наблюдений метеоров в 1977–1980 гг. в Институте астрофизики НАНТ **выявлены**: один общий зарегистрированный фотографический и телевизионный метеор, один радиолокационный и фотографический болид со спектральными данными, 7 одновременно зарегистрированных фотографически и радиолокационно, и 57 радиотелевизионных метеоров [17-А; 28-А; 33-А; 47-А].

3. По результатам одновременных радиотелевизионных наблюдений одних и тех же метеоров **измерены** скорости двумя способами: а) комбинированным телевизионно-радиолокационным и б) радиолокационным методом. Установлено, что скорость, измеренная комбинированным способом, на 1,5–3 км/с выше, чем скорость, измеренная радиолокационным методом [34-А].

4. Впервые **получены** кривые блеска и ионизации одних и тех же метеоров ярче +4<sup>m</sup> по результатам одновременных телевизионных и радиолокационных наблюдений. Скорости метеоров составляют 14÷69 км/с. Синхронность изменения интенсивности свечения и ионизации подтверждает их зависимость от единицы секундного расхода масс [6-А; 18-А].

5. **Исследованы** зависимости отношения интенсивности свечения к ионизации от скорости для слабых (0<sup>m</sup> ÷ +8<sup>m</sup>) и ярких (–0<sup>m</sup> ÷ –7,2<sup>m</sup>) метеоров. Установлено, что для слабых метеоров отношение уменьшается более чем на порядок с увеличением скорости. Лабораторные эксперименты показали, что изменение химического состава вещества увеличивает это отношение от –5,4 до –3,6 [29-А; 43-А].

6. **Установлены** зависимости радиовеличины от скорости. Разница в шкале радиовеличины между крайними группами скоростей составила  $1,7 \div 3^m$  [51-A].

7. Впервые **определены** шкалы масс (зависимость коэффициента ионизации от скорости) для слабых и ярких метеоров. Коэффициент ионизации увеличивается более чем на три порядка с ростом скорости [7-A].

8. **Рассчитаны** фотометрические и ионизационные массы для двух групп метеоров ( $0^m \div +8^m$  и  $-0^m \div -7,2^m$ , скорости 12–69 км/с). Получена хорошая согласованность между массами, рассчитанными по разработанной шкале [7-A; 29-A; 36-A; 37-A].

9. **Вычислены** параметры Р, характеризующие месторасположение высоты максимума свечения и ионизации относительно начала и конца следа метеора. Установлено, что на первой половине распределения интенсивность возрастает экспоненциально, а на второй уменьшается плавно [20-A].

10. **Исследованы** распределения параметра Р для различных метеорных популяций. Установлено, что болиды астероидного происхождения имеют максимум в интервале  $P = 0,7-0,8$ . Для кометных популяций (типы С2 и D) наблюдается смещение максимума, что свидетельствует о неоднородной структуре метеороидов [49-A].

11. Впервые **внедрен** пеленгационно-временной радиометод измерения радиантов и скоростей метеоров для редукции данных базисных радиолокационных наблюдений метеоров с четырёх–пяти пунктов в ГисАО. Для 10913 метеоров: сняты первичные данные с плёнки; выполнены счётные работы; определены горизонтальные координаты зеркальной точки и азимут радиантов; измерены дифракционные скорости, зенитные расстояния радиантов и пеленгационно-временные скорости; подготовлены исходные данные для расчёта экваториальных координат радиантов; составлена программа расчёта орбит и вычислены экваториальные и эклиптические координаты радиантов, а также внеатмосферные, геоцентрические и гелиоцентрические координаты метеоров [1-A; 5-A; 13-A; 15-A; 22-A].

12. **Разработана** методика определения атмосферной траектории метеоров, наблюдаемых с одной станции, вычислены линейная электронная плотность, радиовеличины и массы метеоров. Проведена калибровка шкалы масс радиометеоров на основе одновременных радиооптических наблюдений. С использованием этой шкалы рассчитаны массы 8916 радиометеоров ( $5 \cdot 10^{-4}$  до  $10^{-1}$  г.) с максимумом около  $10^{-2}$  г. [1-A; 2-A; 3-A; 30-A].

13. **Впервые составлен** Каталог радиантов, скоростей, орбит и данных атмосферных траекторий 8916 метеоров ярче  $+5^m$ . Каталог зарегистрирован в Центре метеорных данных Международного астрономического союза (ЦМД МАС) и не имеет аналогов среди ранее

опубликованных каталогов [1-А].

14. **Исследованы** распределения радиантов, скоростей и элементов орбит метеороидов ярче  $+5^m$ . Установлено: а) радианты метеоров на северной небесной полусфере распределены почти равномерно; б) радиокомплекс МИР-2 способен зарегистрировать метеоры со склонением до  $-50^\circ$ ; в) распределение геоцентрических скоростей имеет бинарное свойство с максимумами в интервалах 35–40 км/с и 55–60 км/с [1-А; 3-А].

15. **Проведена** идентификация метеорных потоков и ассоциаций по данным каталога 8916 метеоров в три этапа: графическое построение двумерного распределения по координатам радианта, отбор по скоростям и проверка по D-критериям Саутворта-Хокинса, и Йопека. Выявлены 431 поток и ассоциация, половина из которых зарегистрирована радиолокационным методом впервые [14-А; 15-А; 23-А; 27-А].

16. **Изучен** механизм разрушения метеороидов и определены плотности поточных и спорадических метеороидов. Мелкие метеороиды более однородны по структуре. Наиболее плотные - Геминиды и Южные  $\delta$ -Аквариды, наименее плотные - Ориониды и Леониды [10-А; 12-А].

17. По интегральным распределениям метеорных тел по массам для дневных потоков  $\eta$ -Акварид, о-Цетид, Писцид, v-Писцид, Ариетид и ночных  $\delta$ -Акварид, Квадрантид, Геминид, Северных и Южных  $\delta$ -Акварид, i-Акварид **определены** параметры S. Параметры S по массам и длительностям хорошо согласуются, что позволяет использовать их для интерпретации радионаблюдений с одной станции [16-А].

18. **Выявлено**, что потоки Северных и Южных  $\delta$ -Акварид и дневные потоки о-Цетид и Писцид имеют одинаковый параметр S, что свидетельствует об их принадлежности к одному метеороидному рою и общности происхождения [26-А; 27-А].

**Рекомендации.** Полученные результаты могут быть использованы в следующих областях: метеорная астрономия и астрофизика, исследование распределения метеорных частиц в околоземном и межпланетном пространстве, изучение процессов распространения радиоволн через ионизированные следы метеоров, моделирование и прогнозирование риска столкновения крупных метеороидов с Землей, обеспечение безопасности функционирования спутников и космических аппаратов, а также в космонавтике и космологии Солнечной системы. В частности,

1. **Каталог «Радианты, скорости, орбиты и атмосферные траектории 8916 радиометеоров, наблюдавшихся в Таджикистане»** является завершающим этапом редукции наблюдательных данных и воплощением разработанных в диссертации методов обработки и определения физических и кинематических свойств метеорных частиц. Каталог зарегистрирован для использования в Базе данных метеоров Международного астрономического союза (МАС).

**2. Шкалы радиовеличин**, полученные в диссертации, позволяют переводить радиолокационные данные в оптические наблюдения и наоборот. Это крайне важно для обработки и интерпретации данных, полученных с различной аппаратуры (радиолокационной и оптической) с различной чувствительностью и в широком диапазоне звёздных величин.

**3. Выражения и формулы, учитывающие совокупность факторов** (разновидности дробления, вариации коэффициентов формы и др.), влияющих на формирование формы кривых ионизации метеоров, могут быть использованы для исследования процессов разрушения метеороидов в атмосфере Земли и определения их физических свойств.

**4. Идентификация потоков и ассоциаций метеороидов** позволяет проверять достоверность различных математических моделей эволюции метеорных роёв, моделировать и прогнозировать столкновения крупных объектов с Землёй.

**5. Данные одновременных радиооптических наблюдений метеоров** могут применяться для решения геофизических задач, таких как определение параметров турбулентной диффузии, изучение зависимости коэффициента прилипания электронов к нейтральным частицам от скорости, исследование факторов деионизации и т.д.

**6. Разработанная методика вычисления масс и плотностей метеороидов** может быть широко использована для редукции наблюдательных данных, полученных с одной станции, что актуально, поскольку большинство радионаблюдений метеоров проводится именно с одного пункта.

**7. Материалы диссертации** могут быть полезны докторантам, аспирантам, соискателям, магистрантам и студентам старших курсов кафедры астрономии и общей физики при преподавании специальных курсов, а также при подготовке дипломных и научных работ.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### *Монографии:*

[1-A]. **Narziev, M.** Catalog of radian's, velocities, orbits and atmospheric trajectories of radio meteors observed in Tajikistan, December 1968 - December 1969 / M. Narziev, R. P. Chebotaryov. – Dushanbe, 2019. - 1318 p.

### *Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан:*

[2-A]. **Нарзиев, М.** 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.

[3-A]. **Нарзиев, М.** Определение масс и плотностей метеороидов по радиолокационным наблюдениям с учётом процессов, влияющих на форму

ионизационных кривых метеоров / Р. Ш. Бибарсов, М. Нарзиев, Р. П. Чеботарев // Доклады АН ТаджССР. – 1990. - Т. 33. - № 6. - С. 372-376.

[4-А]. **Нарзиев, М.** Плотность метеорных тел в родственных потоках / М. Нарзиев, Р. Ш. Бибарсов, Р. П. Чеботарев // Доклады АН ТаджССР. – 1991. - Т. 34. - № 7. - С. 412-414.

[5-А]. **Нарзиев, М.** Кинематические и физические характеристики метеороидов в майских потоках и ассоциациях / М. Нарзиев, Р. Ш. Бибарсов // Доклады АН ТаджССР. – 1992. - Т. 35. - № 9-10. - С. 417-420.

[6-А]. **Нарзиев, М.** Кривые свечения и ионизации метеоров по результатам параллельных телевизионных и радиолокационных наблюдений / П. Б. Бабаджанов, И. Ф. Малышев, М. Нарзиев, Р. П. Чеботарев // Кометы и метеоры. - 1985. - № 37. - С. 28-33.

[7-А]. **Нарзиев, М.** Масса метеороидов по результатам параллельных наблюдений. Шкала масс радиометеоров / М. Нарзиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2003. - Т. 46. - № 9-10. - С. 4-9.

[8-А]. **Нарзиев, М.** О механизме разрушения и плотностях метеороидов по результатам совместных фото-радиолокационных и радиотелевизионных наблюдений / Н. А. Коновалова, М. Нарзиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. – Т. 51. – № 4. - С. 264-270.

[9-А]. **Нарзиев, М.** Кривые блеска метеоров и определение масс метеороидов по результатам комплексных радиотелевизионных наблюдений / М. Нарзиев, И. Ф. Малышев // Известия АН Республики Таджикистан. – 2009. – № 4 (137). - С. 36-45.

[10-А]. **Нарзиев, М.** О механизме разрушения и физических характеристиках совместных радиооптических метеороидов / Н. А. Коновалова, М. Нарзиев // Радиотехника. – 2010. – № 160. - С. 118-123.

[11-А]. **Нарзиев, М.** Зависимость свечения и ионизации от скорости и химсостава метеоров / М. Нарзиев // Радиотехника. – 2010. – № 160. - С. 127-131.

[12-А]. **Нарзиев, М.** О дроблении и плотностях метеорных тел по данным комбинированных радиооптических наблюдений / Н. А. Коновалова, М. Нарзиев // Вестник СибГАУ. – Красноярск. - 2011. – Т. 6. – № 39. - С. 95-98.

[13-А]. **Нарзиев, М.** Исследование метеорных потоков и ассоциации по результатам радиолокационных наблюдений в Таджикистане / М. Нарзиев // СибГАУ. – Красноярск. – 2011. – Т. 6. – № 39. - С. 99-104.

[14-А]. **Нарзиев, М.** Радианты, скорости, массы и плотности метеоров в метеорных потоках и ассоциациях / М. Нарзиев // Вестник Таджикского технического университета. – 2013. - № 4 (24). – С. 9-16.

[15-А]. **Нарзиев, М.** Орбиты метеорных потоков и ассоциаций по результатам радиолокационных наблюдений в Таджикистане / М. Нарзиев //

Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2013. – № 4. Т. 2. – С. 107-115.

[16-А]. **Нарзиев, М.** Распределение метеорных тел по массам в некоторых метеорных потоках / М Нарзиев // Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2013. – № 4. Т. 2. – С. 106-111.

[17-А]. **Нарзиев, М.** Некоторые результаты поиска совместных фоторадиолокационных наблюдений метеоров в Таджикистане / М. Нарзиев // Радиотехника. – 2016. - № 184. - С. 49-52.

[18-А]. **Нарзиев, М.** Вариации свечения и ионизации вдоль следа одних и тех же метеоров / М. Нарзиев // Радиотехника. – 2016. – № 184. – С. 53-58.

[19-А]. **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. - № 4. - Вып. 3. - С. 109-114.

[20-А]. **Narziev, M.** Physical properties of the meteoroids using simultaneous radar and optical observations / M. Narziev // Planetary and Space Science. – 2019. – Vol. 173. - № 1. – P. 42-48.

[21-А]. **Нарзиев, М.** Общность в форме распределения блеска и ионизации вдоль следа метеоров разных диапазонов интенсивностей / М. Нарзиев, Ш. Ш. Шоёкубов // Радиотехника. – 2020. – Вып. 201. – С. 72–77. doi: 10.30837/rt.2020.2.201.05

[22-А]. **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. - № 3 (51). - С. 18-21.

[23-А]. **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, L. Neslušán, 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>

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

[25-А]. **Нарзиев, М.** Атмосферные траектории и орбиты 426 радиометеоров по наблюдениям с 4-5 пунктов в ГисАО (Таджикистан) / М. Нарзиев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2022. - № 4. - С. 162-194.

[26-A]. **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. – Issue 1-2. – P. 8-12. doi: 10.17721/2227-1481.12.8-12.

[27-A]. **Нарзиев, М.** Физических свойств 8916 радиометеоров, наблюдаемых в ГисАО / М. Нарзиев, Х.Ф. Худжаназаров // *Политехнический Вестник, Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции*. – 2023. – №3(63). – С.22-26.

[28-A]. **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.

[29-A]. **Нарзиев М.** Зависимость шкалы радиовеличины от скорости метеоров / М. Нарзиев // *Научные труды Института астрономии РАН*. – 2025. – Т. 10, № 4. – С. 267-271. – DOI 10.51194/INASAN.2025.10.4.012.

[30-A]. **Narziev, M.** Meteoroid Streams and Associations Based on Radar Observations at the Hisar Astronomical Observatory in January 1970 / M. Narziev, H. F. Khujanazarov // *Advances in Space Research*. – 2026, – Vol.77, – Issue 6, – P.7484-7493. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2026.01.021>.

#### **Результаты, изложенные в других публикациях по теме диссертации:**

[31-A]. **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. – № 85. - С. 35-45.

[32-A]. **Narziev, M.** Dependences of Ratio of the Luminosity to Ionization on Velocity and Chemical Composition of Meteors / Meteoroids: The Smallest Solar System Bodies / M. Narziev // *NASA/CP-2011-216469*. - Breckenridge, Colorado, USA, 2011. - P. 168-173.

[33-A]. **Narziev, M.** Meteoroids Mass by Results of the combined Radio-Television observations / M. Narziev // *Dust, Atmosphere and Plasma Environment of the Moon and Small Bodies (DAP-2012)*. - Boulder, Colorado, 2012.

[34-A]. **Нарзиев, М.** Радианты, скорости и орбиты метеорных потоков и ассоциаций по результатам радиолокационных наблюдений в Таджикистане / М. Нарзиев // *Международная конференция «Околосолнечная астрономия»: Сборник тезисов*. - Краснодар, 2013. - С. 105-106.

[35-A]. **Нарзиев, М.** Распределение метеорных тел по массам в некоторых метеорных потоках / М. Нарзиев // *Международная конференция «Околосолнечная астрономия»: Сборник тезисов*. – Краснодар, 2013. – С. 115-117.

[36-A]. **Нарзиев, М.** О результатах поиска совместных фото-радиолокационных наблюдений метеоров в Таджикистане / М. Нарзиев //

Международная конференция «Околосемная астрономия». – Терскол, 2015. – С. 64-69.

[37-А]. **Нарзиев, М.** Скорость метеоров по результатам комбинированных радиотелевизионных наблюдений / М. Нарзиев // Международная конференция «Околосемная астрономия»: Сборник тезисов. – Терскол, 2015. - С. 70-75.

[38-А]. **Нарзиев, М.** Дар бораи баъзе аз параметҳои физикавии Суперсокибаи Тоҷикистон (О некоторых физических параметрах суперболида Таджикистан) / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров // Международная научная конференция «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий», посвящённая 25-летию Государственной независимости Республики Таджикистан. – Душанбе, 2016. - С. 15-18.

[39-А]. **Нарзиев, М.** Фотометрические и ионизационные массы одних и тех же ярких оптических и радиолокационных метеоров / In: Abstractbook, САММАС-2017 / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров. – Винница, Украина, 2017. - С. 65-74.

[40-А]. **Нарзиев, М.** О каталоге радиантов, скоростей, орбит и атмосферных траекторий 4500 радиометеоров, наблюдаемых в Таджикистане / М. Нарзиев, Р. П. Чеботарев // Comets, Asteroids, Meteors, Meteorits, Astropoblemes, Craters VINNUTCIA. – 2017. - С. 91-103.

[41-А]. **Нарзиев, М.** Массы параллельных радиооптических метеоров по величине интенсивности свечения и линейной электронной плотности / М. Нарзиев, Х.Ф. Худжаназаров // II Международная научно-практическая конференция «Роль молодых учёных в развитии науки, инновации и технологии». – Душанбе, 2017. - С. 146-150.

[42-А]. **Нарзиев, М.** Величины линейной электронной плотности, радиомagnitude, массы и плотности 8916 радиометеоров, зарегистрированных в ГисАО / М. Нарзиев, Т. Й. Йопек, Х.Ф. Худжаназаров // VI Международная конференция «Современные проблемы физики». – Душанбе: «ЭР-граф», 2018. - С. 293-295.

[43-А]. **Нарзиев, М.** Применение критерия конечных высот для определения плотности параллельных радиооптических метеороидов / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров // Международная научно-практическая конференция «Электроэнергетика: Проблемы и перспективы развития энергетики региона». - Душанбе, 2018. - С. 14-24.

[44-А]. **Narziev, M.** IAUMDC, version 2018 / M. Narziev [et al.] // The 1968-1969 samples of HISSAR radio-meteor data: <https://www.astro.sk/~ne/IAUMDC/PhVR2018/>

[45-А]. **Нарзиев, М.** Радианты, скорости и орбиты метеоров по результатам комбинированных радиотелевизионных наблюдений/ Нарзиев, М// МАТЕРИАЛЫ международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы астрофизики», посвященная «Двадцатилетию

изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)» и «80-летие Члена корр. НАНТ, д.ф.м.н., профессора Ибадинова Х.И.», Душанбе – 2024, с. 49-58.

[46-А]. **Нарзиев, М.** Ошкор намудани селҳо ва ассотсияҳои метеории мохи феврал / Хучаназаров Ҳ. Ф., Нарзиев М// МАТЕРИАЛЫ международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы астрофизики», посвященная «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)» и «80-летие Члена корр. НАНТ, д.ф.м.н., профессора Ибадинова Х.И.», Душанбе – 2024, С. 74-83.

[47-А]. **Нарзиев, М.** Мавқеи мушоҳидаҳои муштараки оптикию радиолокатионии Тоҷикистон дар таҳқиқи ҳодисаи метеорӣ/ Нарзиев М // МАТЕРИАЛЫ международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы астрофизики», посвященная «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)» и «80-летие Члена корр. НАНТ, д.ф.м.н., профессора Ибадинова Х.И.», Душанбе – 2024, С. 89-97 .

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

[49-А]. **Нарзиев, М.** Некоторые результаты симультанных фотографических, телевизионных, спектральных и радиолокационных наблюдений метеоров в Таджикистане / М. Нарзиев // Uzbek Journal of Modern Physics. –2025. –Т.2. – №1. – С. 42-52.

[50-А]. **Нарзиев, М.** Об особенностях формы кривых свечения метеороидов разных популяций и источников происхождения //Материалы II International Conference Fundamental and Applied Research in Physics, NUUz, May 16-17, 2025, С.167.

[51-А]. **Нарзиев, М.** Физические параметры метеорных потоков и ассоциаций за декабрь / Х. Ф. Худжаназаров, М. Нарзиев // Распространение радиоволн: Труды XXIX Всероссийской открытой научной конференции, Казань, 30 июня – 04 2025 года. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2025. – С. 670-673. – DOI 10.26907/rwp29.2025.670-673.

[52-А]. **Нарзиев, М.** Зависимость шкалы радиовеличины от скорости метеоров / Нарзиев М. // Сборник тезисов Научно-практическая конференция с международным участием, “Околосемная астрономия – 2025”. 2 - 4 июня 2025, Москва, С.78.

#### **Цитируемая литература**

1. Brown, P. Meteorites from meteor showers: A case study of the Taurids / P. Brown, V. Marchenko, D. E. Moser, R. Weryk, W. Cooke // Meteoritics and

Planetary Science. – 2013. – Vol. 48. – № 2. – P. 270-288. DOI: 10.1111/maps.12055.

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. DOI: org/10.1070/pu1994v037n06abeh000027.

3. Neslusan, L. The prediction of meteor showers from all potential parent comets / L. Neslusan, M. Hajdukova, D. Tomko [et al.] // *Proceedings of the IMC*. – Giron, 2014. – P. 1-7. DOI: org/10.48550/arXiv.1410.1307.

4. 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. – Vol. 2695. – P. 6074.

5. Popova, O. P. Chelyabinsk Airburst, Damage Assessment, Meteorite Recovery, and Characterization / O. P. Popova, P. Jenniskens, V. Emel'yanenko [et al.] // *Science express*. – 2013. – Vol. 342. – P. 1069-1073.

6. Лебединец, В. Н. Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры / В. Н. Лебединец. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. 246с.

7. Нарзиев, М. Зависимость свечения и ионизации от скорости и химсостава метеоров / М. Нарзиев // *Радиотехника*. – 2010. – № 160. – С. 127-131.

8. Dijkema, T. J. Simultaneous broadband radio and optical emission of meteor trains imaged by LOFAR / AARTFAAC and CAMS / T. J. Dijkema, C. Bassa, M. Kuiack [et al.] // *WGN Journal of the IMO*. – 2021. – Vol. 49. – No 5. – P. 137-141.

9. Edwards, W. N. Infrasonic Observations of Meteoroids: Preliminary Results from a Coordinated Optical-radar-infrasound Observing Campaign / W. N. Edwards, P. G. Brown, P. J. Weryk, D. O. Revelle // *Earth, Moon, and Planets*. – 2008. – Vol. 102. – P. 221-229.

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

11. Fujiwara, Y. Simultaneous observations of meteors with the radar and TV systems / Y. Fujiwara, M. Ueda, T. Nakamura, M. Tsutsumi // *Earth, Moon, and Planets*. – 1995. – V. 68. - P. 277-282.

12. Nishimura, K. High sensitivity radar-optical observations of faint meteors / K. Nishimura, T. Sato, T. Nacamura, M. Ueda. - 2001. – P. 1877-1884.

13. Kohoutek, L. Comparison of radar and optical meteor observations / L. Kohoutek, J. Grygar, Z. Plavcov' a, J. Kv' izov' a // *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*. – 1970. – Vol. 21. – P. 18-28.

14. Li, G. Z. First results of optical meteor and meteor trail irregularity from simultaneous Sanya radar and video observations / G. Z. Li, B. Q. Ning, A.

Li [et al.] // *Earth and Planetary Physics*. – 2018. – Vol. 2. – P. 15-21. DOI: 10.26464/epp2018002.

15. Pecina, P. Simultaneous optical and radar observations of meteors: another criterion of commonness / P. Pecina, P. Koten, R. Stork [et al.] // *ESA Special Publication*. - 2001. - No 495. - P. 404-408.

16. Pupillo, G. Radio-Optical observations of meteors by BLM radar: preliminary results, Mem. / G. Pupillo, G. Cevolani [et al.] // *Suppléments à la Société Astronomique Italienne*. – 2007. - Vol. 11. – P. 100-102.

17. Ohsawa, R. Relationship between Radar Cross Section and Optical Magnitude based on Radar and Optical Simultaneous Observations of Faint Meteors / R. Ohsawa, A. Hirota, K. Morita [et al.] // *Planetary & Space Science*. – 2020. – V. 194. – P. 105011. DOI: 10.1016/j.pss.2020.105011.

18. Weryk, R. J. Simultaneous radar and video meteors / R. J. Weryk // *Electronic Thesis and Dissertation Repository*. - 2012. - <https://ir.lib.uwo.ca/etd/1021>.

19. Weryk, R. J. Simultaneous radar and video meteors. - II: Photometry and ionization / R. J. Weryk, P. G. Brown // *Planetary and Space Science*. – 2013. – V. 81. – P. 32-47.

20. Cook, A. F. Combined observations of meteors by image-orthicon television camera and multi-station radar / A. F. Cook, G. Forti, R. E. McCrosky [et al.] // *Evolutionary and physical properties of meteoroids*. IAU - Colloquium. NASA SP-319. – 1973. – P. 23-44.

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

22. Куликова, Н. В. Кометы и метеороидные комплексы / Н. В. Куликова, В. И. Тищенко // *Международная конференция «Околосолнечная астрономия»*. – Терскол, 2007. – С. 52.

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

24. Бибарсов, Р. Ш. Массы и плотности метеорных тел, порождающих метеоры +1 ÷ +4 звёздной величины / Р. Ш. Бибарсов, Р. П. Чеботарев // *Астрономический вестник*. – 1975. - Т. 9. - № 2. - С. 94-101.

25. Бабаджанов, П. Б. О форме короткопериодических метеорных роёв / П. Б. Бабаджанов, Ю. В. Обрубов // *Доклады АН ТаджССР*. – 1987. – Т. 30. – № 8. - С. 486-491.

26. Бабаджанов, П. Б. О форме короткопериодических метеорных роёв / П. Б. Бабаджанов, Ю. В. Обрубов // *Доклады АН ТаджССР*. – 1987. – Т. 30. – № 8. - С. 486-491.

27. Michell, R. G. Simultaneous optical and radar observations of meteor head-echoes utilizing SAAMER / R. G. Michell, D. Janches, M. Samara [et al.] // *Planetary and Space Science*. – 2015. – Vol. 118. – P. 95-101. DOI: org/10.1016/j.pss.2015.04.018.
28. Michell, R. G. Simultaneous optical and radar measurements of meteors using the Poker Flat Incoherent Scatter Radar / R. G. Michell // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. – 2010. – Vol. 72. – P. 1212-1220.
29. 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.] // *Journal of Geophysical Research*, – 2012. – Vol. 117. – P. A09323. DOI: 10.1029/2012JA017800.
30. 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.
31. Reddy, K. C. Geminid Meteor shower activity 2003-2005 as observed by Gadanki radar / K. C. Reddy, P. Venkata, D. Kumar, G. Yellaiah / *Geminid // Planetary and Space Science*. – 2008. – Vol. 56. – P. 1014- 1022.
32. Rendtel, J. Letter - Meteoroid streams, meteor showers / J. Rendtel // *WGN, Journal of the International Meteor Organization*. – 2014. – P. 155-156.
33. 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. DOI: 10.1016/J.ICARUS.2018.02.032.
34. Андреев, Г. В. Структурные характеристики метеорных потоков по радионаблюдениям на  $\lambda=10$  м / В кн.: Метеорное вещество в межпланетном пространстве / Г. В. Андреев, Л. Н. Рубцов, Г. О. Рябова. - Казань: Изд-во КГУ, 1982. – С. 129-130.
35. Белькович, О. И. Некоторые структурные особенности метеорных потоков Геминид и Квадрантид / В кн.: Взаимодействие метеорного вещества с Землёй и оценка притока метеорного вещества на Землю и Луну / О. И. Белькович, В. С. Тохтасьев, Н. И. Сулеймонов. – Душанбе: Дониш, 1975. – С. 93-99.
36. Исамутдинов, Ш. О. Исследование структуры метеорных потоков радиометодом: дис. канд. физ.-мат. наук / Ш. О. Исамутдинов. – Душанбе, 1973. - 171 с.
37. Jenniskens, P. The established meteor showers as seen in video meteoroid orbit surveys / P. Jenniskens, P. S. Gural, D. Holman / In: M. Gyssens, P. Roggemans // *31st IMC. - La Palma, 2012-2013*. – P. 38-43.
38. Davies, J. G. Radio echo method measurements of the orbits of faint sporadic meteors / J. G. Davies, J. C. Gill // *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* – 1960. – V. 121. – No 5. – P. 437-452.

39. 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.
40. Gartrell, G. Southern hemisphere meteor stream determinations / G. Gartrell, W. G. Elford // *Austral. J. Phys.* – 1975. – Vol. 28. - № 5. – P. 591-620.
41. 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. - SP150. – P. 201-211.
42. Кашеев, Б. Л. Метеорные явления в атмосфере Земли / Б. Л. Кашеев, В. Н. Лебединец, М. Ф. Лагутин. - М.: Наука, 1967. – 260 с
43. Корпусов, В. Н. Измерение скоростей и радиантов метеоров на волне 12 метров / В. Н. Корпусов // *Труды ИЭМ*. – 1970. – № 16. – С. 88-99.
44. Бабаджанов, П. Б. Результаты измерения радиантов метеоров на экваторе / П. Б. Бабаджанов, Б. Л. Кашеев, Н. В. Новоселова [и др.] // *Доклады АН СССР*. – 1974. – Т. 218. – № 2. - С. 308-311.
45. Mathews, J. D. Extensive meteoroid fragmentation in V/UHF radar meteor observations at Arecibo Observatory / J. D. Mathews, S. J. Briczinski, A. Malhotra, J. Cross // *Geophysical Research Letters*, – 2010. – Vol. 37. – P. L04103. DOI:10.1029/2009GL041967.
46. 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. DOI: 10.1016/J.ICARUS.2018.02.032.
47. 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, N. Swarnalingam, A. Murphy, B. Vandepeer, B. Fuller, D. C. Fritts, C. Brunini // *Astrophysical Journal* – 2015. – V. 809. – P. 1-36. – DOI: 10.1088/0004-637X/809/1/36.
48. Kelly, J. D. Initial results from Poker flat incoherent scatter radar (PFISR) / J. D. Kelly, C. J. Heinselman // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. – 2009. – Vol. 71. - No 6-7. – P. 635-635.
49. Malhotra, A. Study on Various Meteoroid Disintegration Mechanisms as Observed from the Resolute Bay Incoherent Scatter Radar (RISR) / A. Malhotra, J. D. Mathews // *Proceedings of the Meteoroids 2010 Conference held in Breckenridge*. - Colorado, USA, 2011. – P. 297-302.
50. Mathews, J. D. Extensive meteoroid fragmentation in V/UHF radar meteor observations at Arecibo Observatory / J. D. Mathews, S. J. Briczinski, A. Malhotra, J. Cross // *Geophysical Research Letters*. – 2010. – Vol. 37. – P. L04103. DOI: 10.1029/2009GL041967.

51. Мак-Кроски, Р. Е. Болиды Прерийной сети. - I. Общие сведения и орбиты / Р. Е. Мак-Кроски, Ц. И. Шао, А. Позен // Метеоритика. - 1978. - № 37. - С. 44-59.

52. Цеплеха, З. Болиды Европейской сети. 1 Фотографические программы: их прошлое и будущее / З. Цеплеха // Метеоритика. - 1978. - № 37. - С. 60-68.

53. Сводный каталог элементов орбит и кривых блеска метеоров, сфотографированных в Институте астрофизики АН Таджикистана (Душанбе) / Отв. ред. П. Б. Бабаджанов. - Душанбе: Дониш, 2006. - 208 с.

54. Jacchia, L. G. An analysis of the atmospheric trajectories of 413 precisely reduced photographic meteors / L.G. Jacchia, F. Verniani, R. E. Briggs // *Smithson. Contr. Astrophys.* - 1967. - Vol. 10. - No 1. - P. 81-231. DOI: [org/10.5479/si.00810231.10-1.1](https://doi.org/10.5479/si.00810231.10-1.1)

55. Sarma, T. Double - Station observations of 454 TV meteors. - I. Trajectories / T. Sarma, J. Jones // *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia.* - 1985. - Vol. 36. - P. 9-24.

56. Гартман, Н. А. Кривые ионизации, массы и плотности 276 метеорных тел по радиолокационным наблюдениям с 5 пунктов / Н. А. Гартман, Р. П. Чеботарев // *Кометы и метеоры.* - 1982. - № 32. - С. 23-36.

57. Нарзиев, М. Атмосферные траектории и орбиты 426 радиометеоров по наблюдениям с 4-5 пунктов в ГисАО (Таджикистан) / М. Нарзиев // *Вестник Таджикского национального университета.* - 2021. - № 4. - С. 162-194.

58. Popova, O. Very low strength of interplanetary meteoroids and small asteroids / O. Popova, J. Borovicka, W.K. Hartman [et al.] // *Meteoritics & Planetary Science.* - 2011. - Vol. 46. - P. 1525-1550.

59. 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. - № 55. - С. 25-28.

60. Чеботарев, Р. П. Возможности пеленгационно-временного радиометода определения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров / Р. П. Чеботарев // *Кометы и метеоры.* - 1976. - № 24. - С. 19-27.

61. Бабаджанов, П. Б. Телевизионные наблюдения метеоров в Душанбе / П. Б. Бабаджанов, И. Ф. Малышев // *Астрономический циркуляр.* - 1979. - № 1071. - С. 5-6.

62. Бабаджанов, П. Б. Свечение и ионизация метеоров / П. Б. Бабаджанов // *Доклады АН СССР.* - 1969. - Т. 184. - № 4. - С. 800-802.

63. Davies, J. G. Combined photographic and radio echo observations of meteors / J. G. Davies, J. S. Greenhow, J. E. Hall *Proceedings of the Royal Society.* - 1959. - Vol. 253. - No 1272. - P. 121-129.

64. Znoil, V. The relation between meteor optical brightness and properties of the ionized trail. - III. Double Station Observation / V. Znoil, J. Hollan, M. Simek // Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia. – 1985. – Vol. 36. – No 1. – P. 44-56.

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

66. Slattery, J. C. Ionization probability of iron particles at meteor velocities / J. C. Slattery, J. F. Friichtenicht // Astrophysical Journal. – 1967. – Vol. 147. – P. 235-244.

67. Tarnecki, L. K. Mass estimation from simultaneous optical and radar meteor observations / L. K. Tarnecki, R. A. Marshall, P. Brown, G. Stober // Journal of Geophysical Research: Space Physics, – 2024. – Vol. 129. – P. 1–14. e2023JA032281.

68. Нарзиев, М. Кривые блеска метеоров и определение масс метеороидов по результатам комплексных радиотелевизионных наблюдений / М. Нарзиев, И. Ф. Малышев // Известия АН Республики Таджикистан. – 2009. – № 4 (137). - С. 36-45.

69. 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.

70. Тохтасьев, В. С. Вероятность ионизации в метеорных следах / В. кн.: Метеорное распространение радиоволн / В. С. Тохтасьев. – Казань: Изд-во КГУ, 1970. – № 7. - С. 33-49.

71. Бабаджанов, П. Б. Плотность и пористость метеороидов / П. Б. Бабаджанов, Г. И. Кохирова // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2006. - Т. 49. - № 6. - С. 493-500.

72. Лебединец, В. Н. Оценка плотности дробящихся метеорных тел по наблюдаемому торможению метеоров / В. Н. Лебединец // Доклады АН СССР. – 1986. – Т. 291. – № 2. - С. 313-316.

73. Бенюх, В. В. О минералогической плотности метеорных тел в некоторых потоках / В. В. Бенюх // Астрономический вестник. – 1974. – Т. 8. – № 2. - С. 96-101.

74. Jenniskens, P. On Removing Showers from the IAU Working List of Meteor Showers / P. Jenniskens, T. J. Jopek, D. Janches [et al.] // Planetary and Space Science. – 2020. – Vol. 182. – P. 104821. DOI: 10.1016/j.pss.2019.104821/

75. Park, R. S. The JPL Planetary and Lunar Ephemerides DE440 and DE431 / R. S. Park, W. M. Folkner, J. G. Williams, D. H. Boggs // The Astronomical Journal. – 2021. – Vol. 161. – P. 1-15. DOI: 10.3847/1538-3881/abd414.

**АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН  
ИНСТИТУТИ АСТРОФИЗИКА**

Хуқуқи даснавис



УДК 523.031+523.503+523.53+523.682

**НАРЗИЕВ МИРҲУСЕН**

**ТАҲҚИҚИ ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКӢ ВА КИНЕМАТИКИИ  
МЕТЕОРОИДҲО ДАР АСОСИ НАТИҶАИ МУШОҶИДАҲОИ  
МУШТАРАКИ РАДИОЛОКАТСИОНӢ ВА ОПТИКӢ**

**АВТОРЕФЕРАТИ**

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмӣ  
доктори илмҳои физикаю математика аз рӯи ихтисоси  
1.3.42. Астрометрия ва механикаи осмон

Душанбе – 2026

Диссертатсия дар Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон иҷро шудааст.

**Муқарризони расмӣ:**

**Киселев Николай Николаевич** – доктори илмҳои физика-математика, сарҳодими илмӣ, Мудири лабораторияи ҷирмҳои хурди Системаи офтобӣ Расадхонаи астрофизикии Қрими Академияи илмҳои Россия

**Абдуҷаббаров Аҳмаджон Адилжанович** - доктори илмҳои физика-математика, профессор, сарҳодими илмӣ Институти таҳқиқоти бунёдӣ ва амалии назди донишгоҳи миллии таҳқиқотӣ «ИТБАДМТ»

**Нарзиллоев Бахтиёр** – доктори илмҳои физика-математика, профессор, Институти таҳқиқоти пешсафи назди Донишгоҳи “Узбекистони нав”

**Муассисаи пешбар:**

Расадхонаи астрофизикии Бюракан ба номи В. А. Амбарсумяни Академияи миллии илмҳои Ҷумҳурии Арманистон (Арманистон).

Ҳимояи диссертатсия санаи 02 июли соли 2026, соати 12:00 дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии 6D.KOA-056 назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон бо нишони: 734027, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, шаҳраки Буни Ҳисорак, бинои таълимии № 16, факултети физика, толори шурои диссертатсионӣ (206) баргузор мегардад.

Бо диссертатсия дар китобхонаи марказии илмӣ Донишгоҳи миллии Тоҷикистон бо нишони 734025, ш. Душанбе, хиёбони Рудақӣ 17, инчунин дар сомонаи [www.tnu.tj](http://www.tnu.tj) шинос шудан мумкин аст.

Автореферат “ ” \_\_\_\_\_ соли 2026 фириастода шуд.

Котиби илмӣ Шурои диссертатсионии 6D.KOA-056 н.и.ф.-м., дотсент



Исломов З.З.

## МУҚАДИМА

**Мубрамии мавзун таҳқиқот.** Азхудкунии фазои кайҳонӣ чуднопазир бо омӯзиши табиати чирмҳои хурд, аз ҷумла метеороидҳо ва паҳншавии онҳо дар муҳити наздизаминӣ ва байнисайёравӣ алоқаманд аст. Метеороидҳо яке аз сершумортарин намояндагони чирмҳои хурд ба ҳисоб рафта, маълумоти ибтидоиро дар бораи ҳолати моддае дар бар мегиранд, ки Низоми офтобӣ аз он ташаккул ёфтааст. Метеороидҳо ҳангоми ворид шудан ба атмосфераи Замин бо суръатҳо аз 11,2 то 72,8 км/с бо молекулаҳои атмосфера бархӯрд намуда, то ҳароратҳои 2000 К ва бештар аз он гарм мешаванд, дар ин ҳол равандҳои гудозиш, ҷӯшиш ва шаклҳои гуногуни аблятсия (бухоршавӣ, квазибефосилагӣ, пора-пора, дурахшӣ, прогрессивӣ ё ҳамзамон чараён гирифтани ҳамаи шаклҳои майдашавӣ) ба амал меоянд. Атомҳои бухоршуда ҳангоми бархӯрдҳои минбаъда бо атомҳои ҳаво ба таври мутақобила диссоциатсия шуда, ба ғалаён меоянд ва ионизатсия мешаванд, ҳамзамон бо атомҳои атмосфераи атроф ва аз паси худ изҳои равшан ва ионизатсия мегузоранд, ки бо воситаҳои мушоҳидавии оптикӣ ва радиолокатионӣ ба қайд гирифта мешаванд.

Омӯзиши метеороҳо ҳам дар диапазони оптикӣ ва ҳам дар диапазони радиолокатионӣ торафт аҳамияти бештар пайдо мекунад. Он ба чунин соҳаҳои гуногуни илм, аз қабилҳои геофизика, космология, омӯзиши фазои кайҳонӣ, паҳншавии мавҷҳои радио, таъмини амнияти парвозҳои миссияҳои кайҳонӣ, инчунин ба ҳалли як қатор масъалаҳои назариявӣ амалӣ ва ғайра таъсир мерасонад. Аз ҷумла, омӯзиши метеороидҳо ва таъсири мутақобилаи онҳо бо атмосфераи Замин ва ионосфера метавонад ба ҳалли баъзе масъалаҳои муҳим барои ҳаёти инсон мусоидат намояд. Дар байни омилҳои сершуморе, ки боиси талафоти ҷонӣ ва вайронии дар Замин мегарданд, чунин падидаҳо махсусан хатарнок мебошанд, ба монанди заминларзаҳо ва ворид шудани метеороидҳои андозашон метрӣ ва даҳҳо метрӣ ба атмосфераи Замин, ки дар баъзе селҳои метеорӣ, ассотиатсияҳо [1–3] ва гурӯҳҳои метеороидҳои метеориттавлидкунанда [4] мутамарказ шудаанд ва метавонанд бо оқибатҳои харобиовар ба Замин фуруд оянд. Ин гуна ҳодисаҳо махсусан барои он минтақаҳои Замин хатарнок мебошанд, ки дар онҳо нерӯгоҳҳои атомӣ, заводҳои кимиёвӣ, дамбаҳо (плотинаҳо)-и нерӯгоҳҳои барқӣ обӣ ва минтақаҳои зичи аҳолинишин ҷойгир шудаанд. Ин рӯйдодҳо метавонанд ба вайронии минтақавӣ ва ҳодисаҳои нохуш ба одамон оварда расонанд, ки ин бо бархурди метеорити Челябинск 15 феввали соли 2013 дар Русия равшан нишон дода шуд [5]. Маълум аст, ки таъсири фаёли метеороидҳо ба атмосфераи болоӣ боиси чамъшавии ибтидоии ионҳои  $M^+$  мегардад [6]. Аз ин рӯ, омӯзиши хусусиятҳои физикӣ-кинематикӣ метеороидҳо вазифаи таъхирнопазир ҳам дар таҳқиқоти амалӣ ва ҳам дар таҳқиқоти бунёдӣ мебошад.

Омӯзиши хусусиятҳои мураккаби физикӣ-кинематикӣи метеороидҳо бо усули якҷояи радиооптикӣ метавонад ба дарки генетикаи Низоми офтобӣ ва равандҳое, ки баъд аз ташаккули ҷисмҳои хурд ба амал омадаанд, мусоидат намояд, яъне дар омӯзиши космогонияи Низоми офтобӣ, хусусиятҳо, пайдоиш ва таҳаввули онҳо, инчунин дар муайян намудани табиати объектҳои модарии онҳо – кометаҳо ва астероидҳо нақши муассир дорад. Ташкил намудани мушоҳидаҳо, ҷамъоварӣ ва захира кардани маводи мушоҳидавие, ки дар доираи васеи суръатҳо ва дурахшониҳои метеороидҳо дар бар мегирад, аз рӯи натиҷаҳои мушоҳидаҳои ҳамзамони радиооптикӣ бениҳоят муҳим аст.

**Дарачаи омӯзиши мавзӯи диссертатсия.** Бо дарназардошти аҳамияти ниҳоят баланди маълумоти мушоҳидаҳои радиооптикӣ барои ҳалли масъалаҳои астрономияи метеорӣ, геофизика ва дар соҳаи таъмини амнияти парвозҳои миссияҳои кайҳонӣ, дар се даҳсолаи охир таваҷҷуҳ ба гузаронидани як қатор таҷрибаҳои гуногуни илмӣ-техникӣ ба таври назаррас афзудааст [8–19, 27–29, 67]. Бо вучуди ин, дар аксари кулли нашрияҳо маълумот танҳо барои як нуктаи инъикоси оинавӣ пешниҳод мегардад, ки барои таҳқиқи яквқтаинаи тағйирёбии шуоъафканӣ ва ионизатсия дар тӯли изи метеороидҳо кифоякунанда нест. Маълумоти қаблан бадастомада оид ба қачиҳои дурахшонӣ ва ионизатсия дар қори Кук ва дигарҳо, 1973 [20], инчунин маълумот оид ба массаҳо ва зичиҳо, ки аз ҷониби Верниани ва дигарон гирифта шудаанд [21], ба метеороидҳои заифтари аз  $+6^m$  то  $+12^m$  тааллуқ доранд. Ҳамзамон, шакли қачии инфиродии ионизатсия дар мавриди метеороидҳои заиф ба шакли параболаи мувофиқ карда шуда, ҳангоми муайян намудани зичӣ дар қорҳои Верниани ва дигарон, инчунин массаҳо ва зичиҳо дар қорҳои Бибарсов, Чеботарёв, Гартман ва дигарон [24, 30] таъсири пора-порашавӣ ва дигар омилҳо ба назар гирифта нашудааст, ки ин натиҷаҳои ниҳони бадастомадаро таҳриф менамояд. Ҳаҷми таҷрибаҳои қачии ионизатсиониро, ки дар қорҳои [12, 27] ҳосил шудаанд, ба таҳлили маълумоти радио акс аз сатҳи метеороид асос ёфта хосиятҳои кинематикӣ, ки дар Каталогҳои қаблан нашршуда оварда шудаанд, бо натиҷаҳои мушоҳидаҳои оптикӣ танзим нагардидаанд.

Бо назардошти гуфтаҳои боло, аз ҷониби докторант дар диссертатсия як қатор ҳадафҳо гузошта шудаанд, ки ноил шудан ба онҳо дониши моро дар бораи табиати метеороидҳо ва паҳншавии онҳо дар Низоми офтобӣ ба таври назаррас васеъ менамояд. Ба онҳо, пеш аз ҳама, инҳо дохил мешаванд:

А) ҳалли ҷунин масъалаҳои муҳими астрономияи метеорӣ, ки то ба охир ҳал нашудаанд, ба монанди муайян намудани хосиятҳои физикӣи радиометеороидҳои аз як нукта мушоҳидашаванда, омӯзиши вобастагии интенсивияти равандҳои шуоъафканӣ ва ионизатсия аз суръат, таҳқиқи параметри тақсимоти ҷирмҳои метеорӣ аз рӯи масса  $S$ , омӯзиши сохтор, синну сол ва пайдоиши ҷирмҳои метеорӣ ва ғайра, бидуни тафсири дуруст

ва муайян намудани дақиқи киматҳои радиантҳо, суръатҳо ва мадорҳо, инчунин бидуни омӯзиши чунин параметрҳои траекторияи атмосферӣ, ба монанди қачин дурахшонӣ ва ионизатсия, муайян намудани массаҳои фотометрӣ ва ионизатсионӣ, зичӣ ва сохтори метеороидҳо ғайриимкоти мебошад. Ҳамаи арзёбиҳои қаблан гузаронидашудаи параметри тақсимои чирмҳои метеорӣ аз рӯи масса бо усули радиогӣ [30–36] ба омӯзиши тақсимои интегралӣ метеорҳо аз рӯи амплитудаҳо ё давомнокии радиоакс, ки аз як нуқта гирифта шудаанд, асос ёфтаанд. Аммо:

1. назарияи муосири физикии метеорҳо [6, 71, 72] барои тафсири маълумоти мушоҳидаҳои радиометеорҳо аз як нуқта мувофиқ нест;

2. ҳангоми муайян намудани параметри  $S$  чунин фарз карда мешуд, ки баландии нуқтаи оинавӣ бо баландии максимуми ионизатсия мувофиқат мекунад;

3. тақсимои метеороидҳо аз рӯи масса бо тақсимои аз рӯи давомноқӣ ё амплитудаи радиоакс айният дода мешуд. Аммо қобили қабул будани чунин фарзияҳо ба тасдиқи таҷрибавӣ ниёз дорад.

Б) дар айни замон масъалаи тақмили усулҳои таҳқиқи мушоҳидаҳои оптикӣ ва радиолокатионӣ ба зумраи мушқилоти аз ҳама мубрами астрономияи метеорӣ дохил мешавад. Қаблан, дар нимаи дуҷуми асри XX, барои омӯзиши радиантҳо, суръатҳо ва мадорҳои метеорҳо дар доираи як қатор барномаҳои байналмилалӣ ва миллӣ мушоҳидаҳо баргузор шуданд, ки натиҷаашон дар мақолаҳои зерин дарҷ гардидаанд [21, 38–44]. Холо чунин мушоҳидаҳои радиолокатионӣ бо истиғоҳои хассосияти баланд ва пуриктидор, ба монанди радарҳои миёна ва болоиатмосферии Arecibo 430 MHz UHF radar ва Arecibo 46.8 MHz common-volume VHF radar [45], системаи радиолокатионии миёнаатмосферии ALOMAR MAARSY [46], истиғои метеории ҷануби Аргентина (SAAMER) [47], радари парокандашавии нокоҳерентии Poker Flat (PFISR) [48], радари хассоси парокандашавии нокоҳерентӣ (RISR) [49] гузаронида шуда истодаанд. Дар асоси ин маводи мушоҳидавӣ бо усули импульс-дифраксионӣ (УИД) координатаҳои радиантҳо ва суръатҳои чанд ҳазор радиометеор ҳисоб карда шуда, натиҷаҳои он дар дахҳо мақолаҳои илмӣ ва як қатор каталогҳои инъикос ёфтаанд. Аммо ин каталогҳои маълумот дар бораи баландӣ ва хосиятҳои физикии метеороидҳоро дар бар намегиранд ва УИД, одатан, имкон медиҳад танҳо тақрибан 15–25 % метеорҳои ошкоршударо коркард намояд [42], ки боиси аз даст рафтани қисми назарраси маводи мушоҳидавӣ мегардад. Аз коркард хориҷ намудани чунин ҳаҷми бузурги маълумот тасвири воқеии тақсимои радиантҳои метеорҳоро дар кураи осмон таҳриф мекунад.

Ченкунии радиантҳо ва суръатҳои метеорҳо дар асоси усули нави радиогии пеленгатионӣ-вакӣ (РПВ), ки дар диссертатсия истифода

шудааст, аз УИД ҳам аз рӯи дақиқӣ (1,7 маротиба) ва ҳам аз рӯи ҳассосият (3 маротиба) бартарӣ дошта, камбудии хоси УИД-ро бартараф менамояд.

В) дар доираи мушкилоти хатари астероидно кометавӣ, вазифи муҳим ҷустуҷӯи селҳо ва ассотсиатсияҳои нави метеороидҳо мебошад, ки бо усулҳои заминӣ мушоҳида мешаванд. Аммо табиати физикии аксари селҳо ва ассотсиатсияҳои метеороидҳо дар айни замон ҳанӯз муайян карда нашудааст.

Г) ҷамъоварӣ ва таҳлили маълумот оид ба қачии дурахшонӣ ва ионизатсияи метеороҳо дар доираи васеи қиматҳои бузургии ситораӣ ва наслҳои гуногун аҳамияти калон дорад. То имрӯз дар асоси натиҷаҳои мушоҳидаҳои базавии оптикӣ ва радиолокатионии метеороҳо [51–58] миқдори муайяни қачии дурахшонӣ ва ионизатсия ҷамъоварӣ шудааст, ки доираи васеи бузургии ситораиро ( $+12^m \div -20^m$ ) фаро мегирад. Бо вучуди ин, умумият ва фарқияти байни қачии шуоъафканӣ ва ионизатсияи метеороҳо дар доираи васеи бузургии ситораӣ то ҳол ба қадри кофӣ омӯхта нашудааст.

Д) барои таҳлили мутақобила ва тафсири маълумоти мушоҳидаҳои оптикӣ ва радиолокатионӣ, инчунин барои муқоисаи маълумоти мушоҳидаҳои радиогӣ бо оптикӣ, донишҷӯи вобастагии миқдоси радиобузургии аз суръати метеороҳо зарур мебошад. Аммо маълумоти мавҷуда дар айни замон хусусияти пароканда дошта, танҳо ба диапазонҳои маҳдуди суръатҳо тааллуқ доранд ва масъалаи вобастагии радиобузургии аз суръат яке аз мушкилоти ҳалношудаи астрономияи метеороӣ боқӣ мемонад.

**Робитаи мавзӯи диссертатсия бо иҷрои мавзӯҳои давлатӣ ва барномаҳои илмӣ:**

Мавзӯи таҳқиқоти диссертатсионӣ ба Самтҳои афзалиятноки таҳқиқоти илмӣ ва (ё) илмӣ-бунёдӣ, ки дар «Стратегияи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соҳаҳои илм, технология ва инноватсия барои давраи то соли 2030» тасдиқ гардидаанд (Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 30 июни соли 2021, №263), мутабоқат дошта, дар доираи лоиҳаи МБИТ Т-2113 «Таҳқиқоти оптикӣ ва радиолокатионии хосиятҳои физикии метеороидҳои массаҳояшон гуногун» ва лоиҳаҳои давлатӣ амалӣ карда шудааст. Таҳқиқот ба татбиқи Нақшаи чорабинӣ барои солҳои 2020–2025 ҷиҳати амалисозии эълон гардидани солҳои 2020–2040 ҳамчун «Бистсолаи омӯзиш ва рушди илмҳои табиӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи маориф ва илм», ки бо Қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 30 июли соли 2020, №427 тасдиқ шудааст, равона гардидааст.

### **ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ**

#### **Ҳадафҳои таҳқиқот:**

– ошкор намудани метеороҳои радиооптикийи яқоя бақайдгирифташуда, омӯзиши тағйирёбии интензивияти шуоъафканӣ ва ионизатсия дар тӯли из ва муайян намудани массаҳои фотометрӣ ва

ионизатсионии ҳамон як метеорҳо, инчунин иҷро намудани танзимкунии натиҷаҳои мушоҳидаҳои радиогӣ бо натиҷаҳои оптикӣ;

– омӯзиши таҷрибавии қачии ионизатсионии метеорҳо, тасниф намудани шаклҳои мушоҳидашавандаи қачии ионизатсия; таҳқиқи ҷойгиршавии баландии нуқтаи оинавии инъикоси радиогӣ нисбат ба баландии максимуми шуоъафканӣ ва ионизатсия ва таҳия намудани усули муайян кардани массаҳо ва зичиҳои метеорҳое, ки аз як нуқта мушоҳида мешаванд;

– чен кардани радиантҳо, суръатҳо ва мадорҳои метеорҳои якҷоя бо истифода аз усули нави радиогии пеленгатсионӣ-вақтӣ, бори аввал таҳия намудани Зичи (Каталог) нави радиантҳо, суръатҳо, мадорҳо ва маълумоти траекторияи атмосферии метеорҳои равшантар аз  $+5^m$ , идентификатсия намудани селҳо ва ассотсиатсияҳои метеороидҳо ва омӯзиши хосиятҳои физикии онҳо.

#### **Вазифаҳои таҳқиқот:**

– ҳамсон кардани метеорҳои якҷоя бақайдгирифташуда бо усулҳои фото-радиолокатсионӣ ва радиотелевизионӣ дар асоси зичи ҷамъбастии нашршудаи метеорҳои фотогафӣ ва натиҷаҳои мушоҳидаҳои ибтидоии радиотелевизионӣ;

– омӯзиши тағйирёбии ҳамзамони интенсивияти шуоъафканӣ ва ионизатсия дар тӯли из ва таҳқиқи вобастагӣҳои нисбати интенсивияти шуоъафканӣ ба ионизатсия аз суръат, муайян намудани миқёси радиобузургӣ ва массаҳо, ҳисоб намудани массаҳои фотометрӣ ва ионизатсионии ҳамон як метеороидҳои радиооптикӣ;

– бадаст овардани таҷрибавии қачии ионизатсияи метеорҳои сел ва спорадикӣ, тасниф намудани шаклҳои мушоҳидашавандаи порчаҳо ва қачии ионизатсия; таҳқиқи ҷойгиршавии баландии нуқтаи оинавии инъикоси радиогӣ нисбат ба баландии максимуми шуоъафканӣ ва ионизатсия ва таҳия намудани усули муайян кардани хусусиятҳои физикии радиометеорҳое, ки аз як нуқта мушоҳида мешаванд;

– омӯзиши шакли тақсимои равшанӣ дар тӯли изи метеорҳо дар диапазонҳои васеи бузургии ситораӣ ва наслҳои гуногун;

– чен кардани суръати метеори муштараки радиотелевизионӣ бо се усул: а) усули якҷояи R-TV, б) усули импульсӣ-дифраксионӣ ва в) бори аввал бо усули радиогии пеленгатсионӣ-вақтӣ; таҳия намудани каталогҳои нави радиометеорҳои равшантар аз  $+5$  бузургии ситораӣ ва омӯзиши тақсимои метеороидҳо аз рӯи хосиятҳои кинематикӣ ва физикӣ;

– идентификатсия намудани метеороидҳое, ки ба селҳо ва ассотсиатсияҳои метеорӣ тааллуқ доранд, дар асоси даври мушоҳидаҳои солони радиолокатсионии метеорҳо дар Расадхонаи астрономии Ҳисор, муайян намудани параметрҳои тақсимои чирмҳои метеорӣ аз рӯи масса дар баъзе селҳои метеориин рӯзона ва шабона.

**Объекти таҳқиқот** маълумоти метеорҳои радиооптикаи муштарак бақайдгирифташуда ва натиҷаҳои мушоҳидаҳои базисии моҳона ва солонаи метеорҳо дар Тоҷикистон мебошад.

**Предмети таҳқиқот** омӯзиши маҷмӯии маълумоти физикӣ-кинематикӣ ва траекторияҳои атмосферии метеороидҳо дар асоси маълумоти мушоҳидаҳои муштарак радиооптикӣ ва мушоҳидаҳои солонаи базисии радиолокатионии метеорҳо мебошад.

**Асосҳои назариявии тадқиқот.** Асосҳои назариявии диссертатсияро маҷмӯи консепсияҳо, назарияҳо ва қонуниятҳои механикаи осмонии ҷисмҳои хурди Низоми офтобӣ ташкил медиҳанд, ки заминаи методологии корро таъмин мекунанд. Тадқиқот ба тасаввуроти классикӣ ва муосири назарияи вайроншавии метеороидҳо дар атмосфераи Замин, ҳаракати метеороидҳо ва мансубияти онҳо ба селҳо ва ассотсиатсияҳои метеорӣ, инчунин ба меъёрҳои шабоҳати динамикии мадорҳои Саутворт Хокинс ва Йопек таъя мекунанд. Ҳамчун усули асосӣ мушоҳидаҳои ҳамзамон радиооптикӣ ва базисии радиолокатионии метеорҳо истифода шуданд, инчунин бори аввал усули нави радиогии пеленгасионӣ - вақтӣ истифода шуд, ки имкон медиҳад тақсими радиантҳо, суръатҳо ва мадорҳои метеороидҳоро дар соҳаи осмонӣ таҳқиқ кунад. Дар асоси таҳлили маълумоти ҷенкунии радиолокатионии радиантҳо, суръатҳо ва мадорҳои зиёда аз 10600 метеор ва истифодаи усулҳои кластеркунӣ, муаллиф 431 селҳо ва ассотсиатсияҳои метеороидҳоро муайян кардааст,

#### **Навгониҳои илмӣ таҳқиқот:**

Ба натиҷаҳои асосии илмӣ натиҷаҳои зерин дохил мешаванд:

1. Дар солҳои 1977–1980 8 метеори муштаракӣ фото-радиолокатионӣ ошкор карда шуданд, ки аз онҳо 6-то ба сели Персеидҳо, 1-то ба сели  $\delta$ -Акварид ва 1-то ба заминаи спорадикӣ тааллуқ доранд. Метеори № 770954 дорои спектр мебошад, ки бо усули экспозитсияи фаврӣ гирифта шудааст ва ин ягона ҳолат дар ҷаҳон ба ҳисоб меравад, инчунин 57 метеори радиотелевизионӣ ба қайд гирифта шудаанд.

2. Бори аввал тағйирёбии дурахшонӣ ва ионизатсия дар тӯли изи ҳамон як метеорҳо дар диапазонҳои гуногуни суръатҳо таҳқиқ карда шуд. Нишон дода шуд, ки рафти тағйирёбии интензивияти шуоъафканӣ ва ионизатсия дар тӯли изи ҳамон як метеорҳо бо ҳамдигар мувофиқати қаноатбахш доранд.

3. Вобастагии нисбати интензивияти шуоъафканӣ ба ионизатсия аз суръат барои ду гурӯҳи метеорҳо аз рӯи бузургии ситораӣ омӯхта шуд: а)  $0^m \div +8^m$  ва б)  $-0^m \div -14^m$ . Бори аввал муайян гардид, ки барои метеорҳои заифтари аз  $0^m$  бузургии ситораӣ хангоми зиёд шудани суръат ва вазни атомӣ (аз рӯи маълумоти моделсозии лабораторӣ) логарифми нисбати интензивияти шуоъафканӣ ба ионизатсия ба як тартиб кам мешавад. Барои

метеорҳои равшантар аз  $-0^m \div -8^m$  қимати  $Ig I/q$  доимӣ боқӣ монда,  $-4,2$ -ро ташкил медиҳад.

4. Дар асоси маълумоти муттаҳидшудаи мушоҳидаҳои ҳамзамони оптикӣ ва радиолокатсионӣ тақсимои массаҳо ва вобастагии радиобузургӣ аз суръати метеорҳо муайян карда шуданд. Дар айни ҳол фарқият дар миқёси радиобузургӣ байни ду гурӯҳи канорӣ суръатҳои метеорҳо  $1,7 \div 3^m$ -ро ташкил дод.

5. Тақсимои массаҳо ҳам барои радиометеорҳои равшан ( $m > 0$ ) ва ҳам барои радиометеорҳои заиф ( $8 \leq m \leq 0$ ) муайян карда шуданд. Бори аввал массаҳои фотометрӣ ва ионизатсионии метеороидҳои радиооптикӣ ҳисоб карда шуданд, ки бо ҳамдигар мувофиқат доранд.

6. Таҷрибавӣ қачии ионизатсияи 1100 метеороид ба даст оварда шуда, таснифи шаклҳои мушоҳидашавандаи порчаҳо ва қачии ионизатсия анҷом дода шуд. Бори аввал ҷойгиршавии баландии нуқтаи оинавӣ нисбат ба баландии максимуми ионизатсия таҳқиқ гардид. Муайян карда шуд, ки баландии нуқтаҳои оинавӣ ба ҳисоби миёна  $0,4$  км аз баландии максимуми ионизатсия пасттар мебошанд. Усули муайян кардани хусусиятҳои физикии радиометеорҳое, ки аз як нуқта мушоҳида мешаванд, таҳия гардид.

7. Қонуниятҳои умумӣ ва фарқиятҳо байни қачии дурахшонӣ ва ионизатсияи метеорҳо дар диапазони васеи бузургии ситоравӣ ( $+8,5^m \div -18^m$ ) ва барои наслҳои гуногуни метеорӣ ошкор карда шуданд. Муайян гардид, ки параметри  $R$  [ $R = (N_b - N_m)/(N_b - N_e)$ , ки дар он  $N_b$ ,  $N_m$  ва  $N_e$  мутаносибан баландии ибтидоӣ, максимум ва интиҳои из мебошанд] дар нисфи аввали гистограммаи тақсимои метеорҳо ба таври экспоненсиалӣ меафзояд, дар ҳоле ки дар нисфи дуюм тадриҷан коҳиш меёбад. Барои болидҳо қимати  $R$  дар ҳудуди  $0,7-0,8$  қарор дорад, дар ҳоле ки барои метеорҳои ТВ ва Супер-Шмидт ҳангоми гузариш аз насли навъи А ба С2 ва D ҷойивазшавии мавқеи максимуми интенсивияти шуоафканӣ дар гистограммаи тақсимои аз рӯи параметри  $R$  мушоҳида мегардад.

8. Бори аввал суръати метеори муштаракӣ радиотелевизионӣ бо се усул чен карда шуд: а) усули якҷояи R-TV, б) усули импульсӣ-дифраксионӣ ва в) усули пеленгатсионӣ-вақтӣ. Суръате, ки бо усули якҷояи R-TV чен карда шудааст, нисбат ба суръати ҳамон як метеорҳо, ки бо усулҳои радиогӣ муайян гардидаанд,  $1,5-3$  км/с зиёдтар баромад.

9. Бори аввал зичии нави радиантҳо, суръатҳо, мадорҳо ва маълумоти траекторияҳои атмосферии 8916 радиометеори равшантар аз  $+5^m$  таҳия карда шуд. Таҳлили тақсимои радиантҳо, суръатҳо, мадорҳо ва хосиятҳои физикии метеорҳо дар нимкураи осмонӣ анҷом дода шуд. Муайян гардид, ки радиантҳои метеорҳои равшантар аз  $+5^m$  дар қисми шимолии нимкураи осмонӣ тақрибан ба таври яксон тақсим шудаанд.

10. Дар асоси таҳлили маълумоти ченкуниҳои моҳона ва солонии радиантҳо, суръатҳо ва мадорҳои 10 913 радиометеоре, ки дар Тоҷикистон

мушоҳида шудаанд, 431 селҳо ва ассотсиатсияҳои метеорӣ идентификатсия карда шуданд, ки тақрибан нисфи онҳо бори аввал ошкор гардидаанд. Параметрҳои тақсимои чирмҳои метеорӣ аз рӯи масса  $S$  барои селҳои рӯзонаи  $\eta$ -Акварид,  $\alpha$ -Цетид, Писцид,  $\nu$ -Пистид ва Аристид, инчунин барои селҳои шабонаи  $\delta$ -Акварид, Квадрантид, Геминид,  $\delta$ -Акваридҳои Шимолий ва Чанубӣ ва  $i$ -Акварид муайян карда шуданд.

11. Танзимкунии маълумоти мушоҳидаҳои радиоғӣ нисбат ба маълумоти оптикӣ анҷом дода шуд. Натиҷаҳои бадастомада бо маълумоти муаллифони дигар ва натиҷаҳои мушоҳидаҳо аз дастгоҳҳои кайҳонӣ муқоиса гардида, дар нашрияҳои тақризшавандае, ки ба рӯйхати КОА ҚТ дохил мешаванд, ба таъби расидаанд.

### **Нуктаҳои, ки ба ҳимоя пешниҳод мегарданд:**

• Натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштараки радио–оптикийи метеороҳо дар Тоҷикистон.

• Омӯзиши тағйирёбии интенсивияти шуоафканӣ ва ионизатсия дар тӯли изи метеороҳо ва таҳқиқи вобастагии интенсивияти ин равандҳо аз суръат ва таркиби химиявӣ; муайянкунии шкалаи радиобузургӣ ва массаҳои метеороҳои равшан ва заиф; натиҷаҳои ҳисобкунии массаҳои фотометрӣ ва ионизатсионии ҳамон метеороидҳо.

• Маълумот ва қачиҳои ионизатсионии метеороҳо, таснифшон аз рӯи шакл; омӯзиши ҷойгиршавии баландии нуқтаи оинавии радиоакс ва таҳияи усули муайянкунии хусусиятҳои физикӣ радиометеороҳо, ки аз як истгоҳ мушоҳида мешаванд.

• Натиҷаҳои таҳлили умумият ва фарқиятҳо дар шакли тақсимои интенсивияти шуоафканӣ ва ионизатсия дар тӯли изи метеороҳо барои диапазонҳои васеи равшанӣ ва наслҳои гуногуни метеороҳо.

• Ҷенкунии суръати метеороҳо: а) бо усули якҷояи R-TV, б) бори аввал бо усули радиоғӣ пеленгавӣ–вақтӣ; таҳияи зичи нави радиометеороҳо аз  $+5^m$  равшантар ва омӯзиши тақсимои метеороидҳо аз рӯи хусусиятҳои кинематикӣ ва физикӣ.

• Натиҷаҳои идентификатсияи селҳо ва ассотсиатсияҳои метеороидҳо; муайянкунии параметрҳои тақсимои чирмҳои метеорӣ аз рӯи масса дар селҳои асосии ҳарсолаи рӯзона ва шабонаи метеороҳо.

### **Аҳамияти назариявӣ ва амалии таҳқиқот:**

«Зичи нави радиантҳо, суръатҳо, элементҳои мадор ва траекторияҳои атмосферии радиометеороҳо, ки дар Тоҷикистон мушоҳида шудаанд», ки дар Маҳзани маълумоти метеороии Иттиҳоди байналмилалӣ астрономӣ (МММ ИБА) ба қайд гирифта шудааст, натиҷаҳои мушоҳидаҳои ҳамзамони фото–радиолокасионӣ (ФР) ва радиотелевизионӣ (Р-ТВ)-и метеороҳо дар Тоҷикистон, маълумоти таҷрибавии қачии шуоафканӣ ва ионизатсияи ҳамон як метеороҳои равшантар аз  $+5^m$ ; хосиятҳои физикӣ–кинематикӣ метеороидҳо, ки бо усули оптико–радиолокасионӣ ба қайд гирифта

шудаанд; маълумот дар бораи шкалаҳои массаи метеороидҳои равшан ва заиф; параметрҳои тақсимои чирмҳои метеорӣ аз рӯи масса дар селҳои рӯзона ва шабонаи метеорӣ; тақсимои метеорҳо аз рӯи координатаҳои эклиптикаӣ ва гелиомакразӣ, суръатҳо ва элементҳои мадор дар кураи осмон маводи арзишманди мушоҳидавӣ мебошанд, на танҳо барои астрономияи метеорӣ, кайҳоннавардӣ ва космогонияи Низоми офтобӣ, балки барои таъмини амнияти парвозҳои миссияҳои кайҳонӣ, пешгӯии бархӯрдҳои эҳтимолии объектҳои хатарноки кайҳонӣ бо Замин, инчунин барои ҳалли масъалаҳои ташаккул ва таҳаввули Низоми офтобӣ зарур мебошанд.

**Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо.** Хулосаҳо ва натиҷаҳои кор дар асоси маводи воқеии мушоҳидавии оптикию радиолокасионӣ ва маълумоти мушоҳидаҳои бисёрстигоҳаи радиолокатионии метеорҳо дар РАҶ таъмин гардидаанд, ки дар маҷаллаҳои байналмилалӣ ва миллӣ ба нашр расидаанд. Аз ҷумла, «Зичи радиантҳо, суръатҳо, мадорҳо ва траекторияҳои атмосферавии 8916 радиометеор, ки дар Тоҷикистон мушоҳида шудаанд» барои истифода дар Маҳзани маълумоти метеорӣ Иттиҳоди байналмилалӣ астрономӣ (МММ ИБА) ба қайд гирифта шудааст. Натиҷаҳои бадастомада бо маълумоти муаллифони дигар ва бо натиҷаҳои аз дастгоҳҳои кайҳонӣ гирифташуда муқоиса гардида, дар нашрияҳои тақризишавандае, ки ба рӯйхати КОА дохил шудаанд, ба нашр расидаанд. Усулҳои нави таҳлили маълумоти мушоҳидавӣ, ки аз ҷониби муаллиф дар ИА АМИТ таҳия шудаанд, инчунин натиҷаҳои илмӣ санҷида шуда, дараҷаи баланди эътимоднокӣ ва бозътимодии худро исбот намуданд.

#### **Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ.**

Мавзӯи таҳқиқоти диссертатсионӣ пурра ба Шиносномаи номгузории ихтисосҳои КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон аз рӯи ихтисоси 1.3.42. Астрометрия ва механикаи осмон мутобиқат менамояд, аз ҷумла ба банди зерин:

*б.2. Таҳияи усулҳои муайян намудани мавқеъ дар фазо ва ҳаракати чирмҳои осмонӣ. Ба ин ҷо ҳамаи усулҳое дохил мешаванд, ки ба мушоҳидаҳои астрономии заминӣ ва берун аз атмосфера асос ёфтаанд, аз ҷумла радиолокатию ва локатию лазерӣ, инчунин муайян намудани масса, шакл ва майдонҳои гравитатионии чирмҳои осмонӣ дар асоси таҳлили мушоҳидаҳо аз Замин ва маълумоти дастгоҳҳои кайҳонӣ.*

*б.4. Таҳқиқи эволютию динамикии низомҳои чирмҳои осмонӣ дар миқёси гуногуни замонӣ.*

*б.7. Тафсири натиҷаҳои омӯзиши ҳаракати чирмҳои осмонӣ бо мақсади сохтани тасвири геометрӣ, кинематикӣ ва физикӣ олам.*

*Мундариҷа ва натиҷаҳои диссертатсияи докторӣ пурра ба Шиносномаи ихтисоси 1.3.42. Астрометрия ва механикаи осмон мутобиқат мекунанд.*

**Саҳми шахсии муаллиф.** Мундариҷаи диссертатсия ва муқаррароти асосие, ки ба ҳимоя пешниҳод шудаанд, саҳми шахсии муаллифро дар ташкил ва гузаронидани мушоҳидаҳо, ба даст овардан ва таҳлили маводи мушоҳидавӣ, ҷустуҷӯ ва ошкор намудани метеорҳои оптико-радиолокатионии ҳамзамон ба қайд гирифташуда, таҳлили маълумот ва омӯзиши тағйирёбииҳои интенсивияти шуофканӣ ва ионизатсия дар тули изи ҳамон як метеорҳо бо сурбатҳои гуногун инъикос менамоянд. Муаллиф усули муайян намудани массаҳо, зичиҳо, бузургҳои ситоравӣ ва киматҳои зичии ҳаттии электронии метеорҳо таҳия намуда, ба кори лаборантҳо роҳбарӣ кардааст ва бевосита дар таҳлили маълумоти тақрибан 11000 радиометеор, ҳисобкунии маълумоти ибтидоӣ, таҳияи барномаҳо барои муайян намудани хусусиятҳои кинематикӣ ва физикии метеороидҳо, инчунин дар таҳия ва таҳрири Зичи 8916 радиометеор ва анҷом додани ошкор намудани селҳо ва ассотсиатсияҳои метеорӣ иштирок намудааст. Омодасозии маводи мушоҳидавӣ барои нашр ҳам мустақилона ва ҳам дар ҳамкорӣ бо ҳаммуаллифон анҷом дода шудааст, ки дар ин ҳолат саҳми диссертант ҳалқунанда мебошад. Натиҷаҳо, ки дар диссертатсия пешниҳод шудаанд, асосан аз ҷониби худӣ муаллиф ба даст оварда шудаанд.

#### **Тасвӣ ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия.**

Натиҷаҳои асосии диссертатсия борҳо дар семинарҳои илмии Институти астрофизика АМИТ, конференсияҳо ва симпозиумҳои ҷумҳуриявӣ, минтақавӣ ва байналхалқии зерин пешниҳод карда шуданд: Всесоюзном симпозиуме «Метеорные тела в межпланетном пространстве и земной атмосфере» (Казань, 1980 г.); Всесоюзных конференциях «Физика и динамика малых тел Солнечной системы» (Душанбе, 1982 г.), «Метеорное вещество в атмосфере Земли и межпланетном пространстве» (Суздаль, 1984 г.); «Взаимодействие метеорного вещества с атмосферой Земли» (Казивели, 1986 г.); «Физика и динамика комет, астероидов и метеорного вещества» (Душанбе, 1987 г.); Международном симпозиуме ГЛОБМЕТ-2 (Казань, 1988 г.); Международном научном семинаре, посвящённом 90-летию со дня рождения профессора Б. Л. Кашеева (Харьков, 2009 г.), International Conferences of Meteoroids «The Smallest Solar System Bodies. NASA/CP-2011-216469» (Breckenridge, Colorado, USA, 2011 г.); Международной конференции (Красноярск, 2011 г.), International Conferences «Dust, Atmosphere and Plasma Environment of the Moon and Small Bodies (DAP-2012)» (Boulder, Colorado, 2012 г.); Международной конференции «Околосемная астрономия» (Краснодар, 2013 г.); International Conferences "On Lunar and Planetary Science Conference» (Woodlands, Texas, 2012 г.); Международной конференции Meteoroids (Poznan, Poland, 2013 г.); 43th COSPAR Scientific Assembly (Moscow, Russia, 2014 г.); 45th Lunar and Planetary Science Conference (2014 г.); Международной конференции «Околосемная астрономия» (Терскол, 2015 г.); Международной научной

конференции «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий» посвящённой 25-летию Государственной независимости Республики Таджикистан (Душанбе, 2016 г.); Международной конференции "Comets, Asteroids, Meteors, Meteoroids, Astroproblemes, Craters» (Винница, Украина, 2017 г.); Международной конференции «Околоземная астрономия» (Мариуполь, Украина, 2017 г.); X International Conference «Near-Earth Astronomy-2017» (Krasnodar, Russia, 2017 г.); International Conference САММАС-2017 (Винница, Украина, 2017 г.); On the 3rd COSPAR Symposium (ICC) (Jeju, South Korea, 2017 г.); VI Международной конференции «Современные проблемы физики» (Душанбе, 2018 г.); Международной научно-практической конференции «Электроэнергетика: Проблемы и перспективы развития энергетики региона» (Душанбе, 2018 г.); Научно-практической конференции с международным участием (Москва, 2022 г.); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы малых тел Солнечной системы – текущее состояние и перспективы»; посвящённой 90-летию Института астрофизики НАН Таджикистана (Душанбе, 2022 г.); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы астрофизики»; посвящённой «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 Х. И. Ибадинова (Душанбе, ТНУ, 2024 г.); International symposium “The fifteenth Moscow solar system symposium (15MS<sup>3</sup>-SB-PS-12) (Москва, 2024 г.); II International Conference Fundamental and Applied Research in Physics (NUUZ, 2025 г.); Научно-практической конференции с международным участием (Москва, 2025 г.); XXIX Всероссийской открытой научной конференции «Распространение радиоволн» (РРВ’2025) (Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), Россия, 2025 г).

**Наширяхо по мавзӯи диссертатсия.** Натиҷаҳои асосии диссертатсия дар 52 кори ҷопӣ нашр шудаанд, аз ҷумла 1 монография, 29 мақола дар маҷаллаҳои тақризишаванда, ки ба рӯйхати ҚОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва 22 мақола дар маҷмӯаҳои маводи конфронсро дохиланд.

**Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия.** Диссертатсия аз муқаддима, панҷ боб, хулоса ва рӯйхати адабиёт иборат аст. Он 306 саҳифа матни ҷопӣ, 39 расм ва 40 ҷадвалро дар бар мегирад. Рӯйхати адабиёт 307 номгуи муаллифони дохилӣ ва хориҷӣ ба назар гирифта шудааст.

#### **Мӯҳтавои мухтасари бобҳои диссертатсия**

**Дар муқаддима** мубрам будани мавзӯи диссертатсия асоснок шудааст, мақсад муайян гардидааст, нағони илмӣ натиҷаҳои бадастомада, соҳаи истифодаи онҳо, натиҷаҳои асосӣ, ки барои химоя

пешниҳод мешаванд, нишон дода шудааст, ҳамчунин саҳми шахсии муаллиф ва нуктаҳои пешниҳодшуда барои химоя нишон дода шудаанд.

**Боби якум** аз чор параграф иборат аст:

**Дар параграфи аввал** муодилаҳои асосӣ, равандҳои, ки дар ҳангоми парвози ҷирми метеорӣ дар атмосфераи Замин рӯй медиҳанд, тавсиф мекунанд, оварда шудаанд.

**Дар параграфи дуюм** барои аввал муодилаҳои ионизатсия бо назардошти шаклҳои гуногуни аблия, аз ҷумла аблияи квазибифосила, прогрессивӣ, пора-пора ва порашавии афрузанда, тавсиф шудаанд.

**Дар параграфи сеюм** таъсирҳои хосиятҳои радиоаксро аз иқтидори инъикоси мавҷи радиогӣ ва давомнокии инъикос оварда шудаанд.

**Параграфи чорум** бо дар назардошти таъсири омилҳои гуногуни деионизатсия ба харобшавии изи ионизатсияшудаи метеороҳо бахшида шудааст. Дар ин ҷо вобастагии давомнокии радиоакс барои метеороҳо, ки ҳам дар шаб ва ҳам рӯз мушоҳида мешаванд, оварда шудааст; муодилаҳои давомнокии радиоакс бо назардошти равандҳои деионизатсия, параметрҳои таҷҳизот ва хусусиятҳои изи метеор оварда шудаанд.

**Боби дуюм** ба таҳқиқи муносибат байни интенсивияти дурахшони оптикӣ ва ионизатсияи ҳамон метеороҳо бо суръатҳои гуногун бахшида шудааст.

**Дар параграфи аввал** таърихи истифодаи мушоҳидаҳои ҳамзамони радио-оптикӣ оварда шудааст, хусусиятҳои мухтасари маълумоти мушоҳидаҳои радиовизуалӣ ва радиотелескопӣ, ҳамчунин натиҷаҳои мушоҳидаҳои фото-радиолокатсионии метеороҳо, ки дар Ҷодрелл-Бэнк ва РАҶ ба даст омадаанд, оварда шудаанд.

**Дар параграфи дуюм** шарҳи вазъи муосир ва дурнамои таҳқиқи метеороҳо бо натиҷаҳои мушоҳидаҳои ҳамзамони оптикӣ ва радиолокатсионӣ оварда шудааст. Мақсад ва вазифаҳои мушоҳидаҳои муштаракӣ оптикӣ ва чандмавзаии радиолокатсионӣ муайян шудаанд.

**Дар параграфи сеюм** хусусиятҳои техникаи комплекси таҷҳизоти оптикӣ ва радиолокатсионии МИР-2 ва МИР-3, ки барои мушоҳидаҳои ҳамзамони радио-оптикӣ дар Институти астрофизикаи АМИТ истифода мешаванд, оварда шудаанд. Натиҷаҳои мушоҳидаҳои фотографияи чандсолаи базисӣ чамбаст ва дар Зичи чамбастӣ ... [53] нашр шудаанд.

Барои мушоҳидаҳои радиолокатсионӣ комплекси СРЛ МИР-2 [59] истифода шудааст, ки дар он дохил мешаванд: а) Фиристанда бо дарозии мавҷи  $\lambda = 8$  м қор мекунад, тақрори импульс 500 имп./с, иқтидори 60 кВт дар импульс ва давомнокии импульс 6,5 мкс; б) Системаи қабул ва сабт, иборат аз панҷ пункт: яке наздик ба фиристанда, боқӣ аз нуктаи марказӣ дар масофаҳои 4 то 11 км. Масофа байни ду нуктаи дуртарин 15 км буд, ки имкон меод дар қутби баландии 3,75 км изи метеороҳо дастрас кунанд. Комплекс МИР-2 имкон меод параметрҳои зеринро ҷен кунад: дурии

мутлақ ба изи метеор бо хатогии на бештар аз 0,1 км; фарқи масофа байни нуқтаҳои дур ва марказӣ бо хатогии на бештар аз 0,05 км; давомнокии радиоакс бо хатогии 4 мс аз рӯи амплитудаи сигналҳои инъикосшуда; суръати тағйирёбии изи метеорҳо аз 0 то 200 м/с; радиантҳои метеорҳо бо дақиқии  $\pm 3^\circ$ ; координатҳои кунҷӣ бо дақиқии  $\pm 0,3^\circ$  тавассути фазаи кунҷченкунанда.

Таҷҳизоти телевизионӣ, ки барои мушоҳидаи метеорҳо дар Институти астрофизикаи АМИТ истифода шудааст, барои ПТС-3 сохта шудааст [61] ва иборат аст аз: а) Телескопи телевизионӣ, б) Пуркуваткунанда, в) Воидоназораткунандаҳо, г) Фотокамера. Телескопи телевизионӣ вазифаи камераи интиқолиро иҷро мекунад ва аз оптикаи воридшаванда, ЭОП намуди УМ-92 бо суперорбитон ЛИ-214 иборат аст. Воридкунии оптика объектива «Юпитер-3» бо фокус  $F = 50$  мм, диафрагма 1/1,5 ва майдони назар  $20 \times 30^\circ$  мебошад.

Хусусиятҳои асосии таҷҳизоти телевизионӣ: усули ҷудоиш – ҳаттӣ, стандарт – 625 ҳаг дар кадр, такрори майдонҳо – 50 Ҳс, пахнои интиқоли видео бо нобаробарӣ  $\pm 0,5$  дБ – 5 МҲс, шиддати таъминот – 220 В, вақти қори доимӣ – то 10 соат мебошад.

**Дар параграфи чорум** усули ҷустуҷӯ ва муайян кардани нуқтаи инъикоси изи метеор хангоми мушоҳидаҳои ҳамзамони радиотелевизионӣ барои селҳои асосии солони метеорӣ пешниҳод шудааст.

**Дар параграфи панҷум** усули ташкили мушоҳидаҳои параллелӣ радиотелевизионӣ, меъёрҳои интиҳоб ва натиҷаҳои метеорҳои муштарак сабтшуда оварда шудаанд.

**Ҷадвал 1. - Натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштарак радиотелевизионӣ селҳои метеорӣ дар Тоҷикистон**

№ п/п	Давраи мушоҳидаҳо (рӯз, моҳ, сол)	Миқдори соатҳои мушоҳида	Шумораи метеорҳои тибқи мушоҳидаҳои телевизионӣ	Миёнаи соати шумораи метеорҳои TV	Шумораи пешакии метеорҳои муштарак	Шумораи метеорҳои муштарак
1	8.08–14.08.78	16	101	6.0	8	4
2	03.01–04.01.79	7.5	78	10.0	11	8
3	25.07–02.08.79	33	162	5.0	23	18
4	21.10–24.10.79	9	33	3.0	6	4
5	11.12–12.12.79	3	12	4.0	4	3
6	12.08–14.08.80	10.5	173	16.0	30	20

**Параграфи шашум** усули мушоҳидаҳои ҳамзамони радио-оптикӣ, меъёрҳои ҷустуҷӯ ва усули таҳлили маълумоти мушоҳидаҳои ҳамзамони фото-радиолокатсионӣ ва радиотелевизионӣ оварда шудааст. Натиҷаҳои ҷудокунии маълумоти мушоҳидаҳои параллелии радиотелевизионии Тоҷикистон дар ҷадвал 1 оварда шудаанд.

**Дар параграфи ҳафтум** усули таҳлили фотометрӣ ва натиҷаҳои се соли мушоҳидаҳои комплекси оптикӣ ва радиолокатсионии метеороҳо дар Институти астрофизика оварда шудаанд. Дар натиҷаи таҳқиқот метеороҳои муштараки сабтшуда муайян гардиданд: як метеори фототелевизионӣ, ҳафт фото-радиолокасионӣ (аз ҷумла як метеор бо натиҷаҳои мушоҳидаи спектралӣ) ва 57 телевизионӣ радиолокатсионӣ, ки ҳамзамон сабт шудаанд. Бузургии мутлақи ситорагӣ  $M$  барои нуқтаҳои муайяншудаи изи метеор бо истифода аз муодилаи зерин муайян карда мешуд:

$$M = m + \Delta m_R + \Delta m_W + \Delta m_Z, \quad (1)$$

ки дар он:  $m$  – бузургии зохирии ситорагии метеор дар нуқтаи муайяншудаи изи он;  $\Delta m_R$  – ислоҳот вобаста ба табдили дурахшонии метеор ба масофаи стандартӣ;  $\Delta m_W$  – ислоҳот вобаста ба фарқияти суръати ҳаракати тасвири метеор ва ситора дар қабати рӯшноӣ;  $\Delta m_Z$  – ислоҳот вобаста ба фурубарии нур дар атмосфера. Микдорҳои ин ислоҳҳо бо истифода аз муодилаҳои зерин муайян карда мешуданд:

$$\Delta m_R = 10 - 5 \lg R, \quad (2)$$

$$\Delta m_W = -2.5 \lg U_m / U_z, \quad (3)$$

$$\Delta m_Z = -2.5 \Delta M_z \lg P, \quad (4)$$

ки дар он:  $R$  – масофа то метеор;  $P$  ва  $\Delta M_z$  – коэффисиенти шаффофияти атмосфера ва фарқи массаҳои ҳаво барои  $Z = 0$  ва барои  $Z$  нуқтаҳои изи метеор; бузургии  $\Delta M_z$  бо истифода аз ҷадвали Бемпорад муайян карда мешавад;  $U_z$  ва  $U_m$  – суръати ҳаракати тасвирҳои ситораҳо ва метеор дар қабати рӯшноӣ;  $p$  – нишондиҳандаи Шварсшилд. Бузургии таҷрибавии  $\Delta m_W$ , ки бо истифода аз изи ситораҳо барои суръатҳои кунҷӣ аз  $10^\circ/\text{с}$  то  $24^\circ/\text{с}$  ҳисоб шудааст, аз  $3^m$  то  $4,2^m$  мебошад.

**Дар параграфи ҳаштум** натиҷаҳои муайян кардани қачиҳои дурахшонии метеороҳо дар асоси маълумоти радиотелевизионӣ дар РАҲ оварда шудаанд. Таҳлили қачиҳои дурахшонӣ нишон дод, ки тақсимоти интенсивияти дурахшонӣ дар тӯли изи метеороҳо гуногун аст. Дар 42 метеор тағйири нисбатан ҳамвории дурахшонӣ мушоҳида карда шуд. Максими дурахшонӣ дар 3 метеор ба нимаи аввали изи метеор рост меомад. Барои 9 метеор шакли симметрияи тақсимоти дурахшонӣ хос буд. Дар байни ҳамаи метеороҳои мушоҳидашуда ду метеори афрузишнок бо қачиҳои мураккаби дурахшонӣ муайян карда шуданд.

Барои ҳисоб кардани массаи фотометрии метеороид ду усул истифода шуданд: а) интегратсияи интенсивияти дурахшонӣ дар тӯли изи метеор бо назардошти порашавӣ ( $m_{ph}$ ); б) муайян кардани масса дар асоси

интенсивияти дурахшонӣ  $I_m$  дар баландии максими дурахшонӣ ( $m_{ph1}$ ) бе назардошти порашавӣ. Нисбати ҳисоби  $m_{ph1}/m_{ph}$  ба 3 баробар аст. Бо назардошти ин коэффисиенти ислохкунӣ, муодилаи ҳисоб кардани массаи фотометрии метеороид чунин шакл мегирад:

$$m_{ph} = 3N \cdot I_m / 2\tau_0 V^3 \cos Z_R. \quad (5)$$

Намунаҳои маълумоти траекторияҳои атмосферии метеороҳо дар ҷадвали 2 оварда шудаанд, ки дар он:  $N$  – рақами метеоро;  $Z_R$  – масофаи зенитии радиант;  $V$  – суръати метеоро;  $H_{иб}$ ,  $H_m$  ва  $H_{ин}$  – баландии ибтидоӣ, максималӣ шуофканӣ ва интиҳои изи метеоро;  $M_m$  – бузургии мутлақи ситорагӣ;  $m_{ph}$  – массаи фотометрӣ;  $m_m$  – масса, ки дар асоси  $M_m$  ҳисоб карда шудааст.

**Ҷадвали 2. – Натиҷаҳои мушоҳидаҳои параллелии радиотелевизионӣ оид ба траекторияҳои метеороҳо дар Тоҷикистон**

N	$Z_R$	V, км/с	$H_{иб}$ , км	$H_m$ , км	$H_{ин}$ , км	$M_m$	$m_{ph} \cdot 10^3$ г	$m_m \cdot 10^3$ г
август 1978								
1	54.05	56.7	108.0	101.5	96.0	0.7	27.4	26.6
2	57.02	36.46	101.3	92.5	89.3	1.1	57.4	46.9
3	34.31	59.99	115.7	103.0	98.0	-0.3	84.6	41.6
4	-	-	-	101.0	96.0	-0.9	-	-
январ 1979								
5	69.3	43.89	-	102.0	92.0	-1.7	-	547.1
6	67.0	40.84	102.7	99.3	97.5	1.63	19.4	32.1
7	55.3	57.9	107.5	103.0	100.5	1.8	11.4	8.5
8	61.95	46.18	107.0	99.5	95.0	0.0	153.4	94.0
9	54.91	40.1	96.0	91.0	88.5	2.5	10.8	10.0
10	59.35	21.94	92.0	85.0	80.7	0.05	595.0	316.3
11	44.11	41.40	101.0	96.8	95.0	1.6	17.6	17.4

**Параграфи нӯҳум** ба таҳқиқи тағйирёбии интенсивияти шуофканӣ ва ионизатсия дар тӯли изи метеороҳои дорои суръатҳои гуногун бахшида шудааст. Барои ба даст овардани тағйирёбии зичии хаттии электронӣ дар тӯли изи метеороҳои инфиродӣ мо усули бисёрмазаа истифода кардем, ки дар он бар асоси бузургиҳои ҷеншудаи давомнокии инъикоси радиогӣ, ки дар ҷанд мавзъ барои метеорои муайян гирифта мешуданд, бузургии зичии хаттии электронӣ  $q_n$  барои нуктаҳои инъикоскунандаи ҳар як нуктаи берунии муайян карда мешуд. Барои ҳисоб кардани  $q_n$  дар вақти шаб формулаи истифода шуд, ки онро диссертант пешниҳод намудааст:

$$q_n = 1/\lambda^2 \{ [\omega/3D (\tau_n - t)^3 + t] e^{-k\tau_n} + r^2/4 D \} \cdot D. \quad (6)$$

дар ин ҷо:  $\tau_n$  – давомнокии инъикос;  $A = e^2/4\pi^2 mc^2$ ;  $\lambda$  – дарозии мавҷ;  $e$ ,  $m$  – заряди ва массаи электрон;  $s$  – суръати рӯшноӣ;  $r$  – радиуси ибтидоии из;  $D$  – коэффисиенти диффузияи амбиполярий;  $t$  – вақти доимии тобхурандаи

хурдмикёс;  $\omega$  – энергияи махсуси диссипатсияи тобхурандаи атмосфера;  $k$  – суръати часпиши электронҳо ба зарраҳои нейтралӣ. Барои метеорҳое, ки дар онҳо  $\tau_n \leq t \leq 10$  с, формулаи маъруф истифода шуд:

$$q = (\tau e^{-k\tau} + r^2/4D) D/A\lambda^2. \quad (7)$$

Барои ҳисоб кардани бузургиҳои  $r$ ,  $D$  ва  $k$  формулаҳои маъруф истифода шуданд:

$$\begin{aligned} r &= 1.47 \cdot 10^{-10} V^{0.65} \rho^{-1}, \\ \lg D &= 0.079 h_i - 6.6, \\ \lg k &= 4.99 - 0.07 h_i, \end{aligned} \quad (8)$$

ки дар он  $\rho$  – зичии атмосфера дар баландии  $h_i$  мебошад.

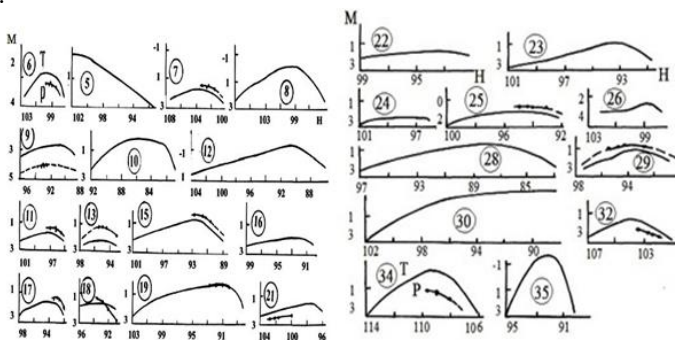
Баландии нуқтаҳои инъикоскунанда  $\Delta h_i$  дар изи метеор нисбат ба баландии нуқтаи марказӣ аз ифода гирифта мешаванд:

$$\Delta h_i = V \Delta t \cos Z_R, \quad (9)$$

ки дар он  $V$  – суръати метеор ва  $Z_R$  – масофаи зенитии радиант мебошад. Барои муқоиса кардани қисматҳои ба даст омадаҳои қачиҳои ионизатсионӣ бо фрагментҳои мувофиқи қачиҳои дурахшонӣ дар асоси бузургиҳои зичии хаттии электронӣ, ки барои ҳар нуқтаи мушоҳидашавандаи изи метеор ҳисоб карда шуда буд, радиобузургии ситорагӣ  $M_r$  муайян карда шуданд, ки аз рӯи маълумоти мушоҳидаҳои радиооптикӣ дар қорҳо [15, 18, 20, 62, 63] ҳисоб карда шудаанд:

$$M_r = 35 - 2.5 \lg q. \quad (10)$$

Дар расми 1 барои баъзе метеорҳои муштараки сабтшуда қачиҳои дурахшонӣ ва ионизатсионӣ нишон дода шудаанд, ки дар онҳо тири ординат бузургии ситорагӣ ва тири абсиса – баландӣ мебошад. Ин таҷриба бори аввал дар ҷаҳон гирифта шудааст ва тасдиқи ҳамон суръати сониявии талафёбии масса барои равандҳои шуофкани ва ионизатсияи метеорҳо мебошад.



**Расми 1. – Тағйирёбии радиомикдор  $M_r$  (дар меҳвари уфуқӣ) ва яркӣҳои ситораҳо (дар меҳвари амудӣ) дарозии пайи ҳамон метеорҳо**

Аз 57 метеори ҳамзамон сабтшуда 15 метеорҳо дорои максимумҳои дурахшонӣ дар ҳар ду мушоҳида мувофиқат мекунанд, аз 5 метеорҳо

кисматҳои мушоҳидашудаи «қачии дурахшонӣ» радиолокатсионӣ бо шохай болоравии қачии телевизионӣ ва аз 12 метеороҳо – бо шохай поинравӣ мувофиқанд. Барои дигар метеороҳо (аз ҷумла 6 радиометеори гардишкунанда) наметавонистанд қисматҳои кофии эътимодбахши қачиҳои ионизатсионӣ ба даст оварда шаванд.

Натиҷаҳои ҷустуҷӯ оид ба мушоҳидаҳои муштаракӣ фото-радиолокатсионии метеороҳо дар **параграфи даҳум** оварда шудаанд. Дисертант дар натиҷаи таҳлили маводҳои нашршуда ва маълумоти мушоҳидаҳои ибтидоии радиометеороҳо, ки дар солҳои 1977–1980 бо плёнка дар комплекси МИР-2 сабт шудаанд, 8 метеори муштаракро муайян кардааст. Аз ин 8 метеор: якто ба сели метеории δ-Акваридаи ҷанубӣ, якто ба фони спородикӣ ва боқимонда 6 метеор ба сели метеории Персеидҳо тааллуқ доранд. Дар болиди муштаракӣ фото-радиолокатсионии № 770954 спектр, ҳам бо усули экспозитсияи фаврӣ ва ҳам бо истифода аз панҷараи дифраксионӣ сабт шудааст.

Масъалаи таҳқиқи робитаи байни интенсивияти шуофканӣ ва бузургии зичии хатии электронӣ вобаста ба суръат ва таркиби кимиёвӣ метеороидҳо дар **параграфи ёздаҳум** баррасӣ шудааст. Аввалан натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштаракӣ дуистгоҳаи – телескопӣ ва радиолокатсионии 263 метеор, ки Знойл ва ҳаммуаллифон [64] дар солҳои 1972–1973 гирифта буданд, истифода шудаанд. Барои ҳар гурӯҳи метеороҳо – апексӣ, тороидалӣ, антиапексӣ ва пасмондаҳо – ҳисоб карда шуданд:  $H_{cp}$  – баландии миёна,  $M_v$  – миёнаи бузургии мутлақӣ ситорагӣ ва  $\tau$  (с) – давомнокии миёнаи радиоаксии метеор, инчунин логарифми нисбати интенсивияти визуалии шуофканӣ  $I_v$  ба зичии хатии электронӣ  $q$  низ ҳисоб шудааст (ҷадвали 3). Мушоҳидаҳои нишон медиҳанд, ки бо гузаштан аз гурӯҳҳои суръати баланд (апексӣ) ба метеороҳои миёнасуръат (тороидалӣ) ва пастсуръат (антиапексӣ ва пасмонда), логарифми нисбати  $I_v/q$  аз  $-4,95$  то  $-4,3$  афзоиш меёбад.

**Ҷадвали 3. – Нисбати интенсивияти визуалии шуофканӣ ба зичии хатии электронӣ барои чор гурӯҳи метеороҳои спорадикӣ**

Манбаъ	$H_{aver}$ (km)	$M_{v_{aver}}$	$T_{aver}$ (сек.)	$\log I_v/q$	n
Апексӣ	97.75±1.25	4.45±1.25	0.793	-4.95	30
Тороидалӣ	93.08±1.34	5.38±1.72	0.428	-4.76	72
Антиапексӣ	93.0±2.66	4.44±1.43	0.315	-4.26	40
Пасмонда	90.68±0.94	5.03±1.27	0.293	-4.32	41

Барои таҳқиқи вобастагӣ  $\lg I_{ph}/q$  аз суръат, муаллиф натиҷаҳои мушоҳидаҳои фото-радиолокатсионӣ ва радио-телевизионӣ метеороҳои дар Тоҷикистон буда [62, 65], натиҷаҳои мушоҳидаҳои фото-радиолокатсионии метеороҳои дар Чодрелл-Бэнк буда [63], маълумоти мушоҳидаҳои бисёрталоқи радио-телевизионӣ метеороҳои дар Кембридж буда (Массачусетс) [20], инчунин натиҷаҳои мушоҳидаҳои видео-радиолокатсионии дар Оттава буда [18]-ро истифода кардааст.

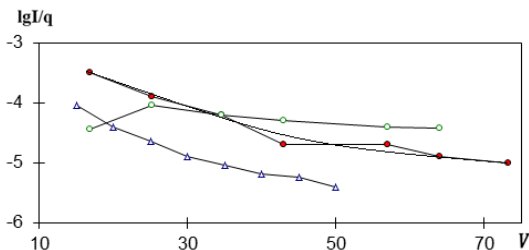
Робита байни интенсивияти шуофканӣ ва бузургии зичии хатии электронӣ вобаста ба суръат барои ду гурӯҳи метеороҳро дар асоси бузургии ситорагӣ таҳқиқ шудааст: а) метеороҳро равшантар аз  $-0$  бузургии ситорагӣ ва б) метеороҳро заифи дар интервали аз  $+0^m$  то  $+8^m$  аст.

Натиҷаҳои ҳисоб кардани вобастагӣ байни  $I_{ph}/q$  ва суръати  $V$  барои метеороҳро равшантар аз  $-0^m$  дар ҷадвали 4 оварда шудаанд. Маълумотҳои нишон додашуда дар ҷадвали 4 нишон медиҳанд, ки дар диапазони суръати метеороҳро аз 10 то 30 км/с маълумоти статистикӣ ҳанӯз кофӣ нест. Таҳлили бузургиҳои миёнаи вобастагӣ  $\lg I_{ph}/q$  ва стандартҳои ихтилофии онҳо нишон медиҳад, ки дар интервали суръатҳо аз 14 то 72 км/с қимати  $\lg I_{ph}/q$  тағйири ҷиддӣ надорад ва амалан тақрибан доимӣ мемонад. Қимати миёнаи  $\lg I_{ph}/q$  баробар аст ба  $4,2 \pm 0,12$ .

**Ҷадвали 4. – Вобастагӣ  $\lg I_{ph}/q$  аз суръат дар натиҷаи мушоҳидаҳои муштаракӣ радиооптикӣ барои метеороҳро аз  $-0^m$  равшантар**

V, km/s	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
( $\lg I_{ph}/q$ )	-4.09	-4.720	-3.957 $\pm 0.65$	-4.207 $\pm 0.16$	-3.42 $\pm 0.7$	-4.216 $\pm 0.16$	-3.7 $\pm 0.01$
N	1	1	3	3	2	14	2

Вобастагиҳои  $I_{ph}/q$  аз суръат, ки дар натиҷаи мушоҳидаҳои 184 метеоро бо бузургии мутлақ ситорагӣ дар интервали аз  $+0^m$  то  $+8^m$  таҳқиқ шудаанд, дар расми 2 оварда шудаанд. Қиматҳои ҳисобии  $\lg I_{ph}/q$  бо маълумоти муттаҳиди мушоҳидаҳои оптико-радиолокатсионӣ дар интервали аз  $-7,2$  то  $-2,0$ , бо максимуми  $-5,0 \div -4$  қарор дошанд.



**Расми 2. – Нисбати логарифми интенсивияти шуофканӣ ба зичии хатии электронӣ дар вобастагӣ ба суръат бо натиҷаҳои:**

- а) • – мушоҳидаҳои муштаракӣ параллели радиооптикӣ;**
- б) о – натиҷаҳои моделсозии лабораторӣ барои шуофканӣ ва ионизатсияи зарраҳои оҳан;**
- в) Δ – ҳамон барои зарраҳои мис гирифташуда, ҳамон тавре ки дар [66]**

Натиҷаҳои ҳисоб кардани нисбати коэффиенти шуофканӣ ба коэффиенти ионизатсия барои зарраҳои чангии андозаҳои микронӣ дошта, ки дар таркибашон Mg, Si, Ca ва Fe доранд, нишон доданд, ки қимати  $\lg I/q$  низ дар диапазони васеъ аз  $-5,46$  то  $-4,33$  қарор дорад (ҷадвали 5).

**Чадвали 5. – Вобастагиҳои нисбати  $I_g I/q$  аз таркиби кимиёвӣ зарраҳои ҷангии андозаи микронӣ барои суръат  $V = 40$  км/с, ҳисобшуда бо маълумоти моделсозии лабораторӣ дар равандҳои шуофкани ва ионизатсия**

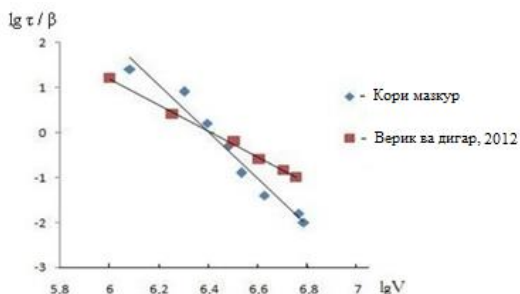
Унсурҳо	$I_g \tau$	$I_g \beta$	$I_g I/q$
Mg	-3.40	-0.821	-5.46
Si	-2.97	-0.523	-5.27
Ca	-2.88	-0.208	-5.33
Fe	-2.03	-0.225	-4.33

Натиҷаҳои таҳқиқи  $I_g I/q$  бо маълумоти мушоҳидаҳои муштарақӣ оптико-радиолокатсионӣ ва натиҷаҳои моделсозии лабораторӣ барои метеороҳо дар расми 2 оварда шудаанд. Тибқи расми 2, логарифми нисбати  $I_{ph}/q$  бо зиёд шудани суръати метеороҳо зиёда аз як тартиб кам мешавад.

**Параграфи дувоздаҳум** ба таҳқиқи вобастагӣ байни коэффисиентҳои шуофкани ва ионизатсия дар кимати гуногуни суръати метеороҳо бахшида шудааст. Формулаи назариявӣ, ки вобастагии нисбати интенсивияти шуофкани ба ионизатсия ва параметрҳои метеороро ифода мекунад, метавонад аз муодилаи шуофкани ва ионизатсия шакли зеринро гирад:

$$I_{ph}/q = \tau_{ph} \mu V^3 / 2 \beta, \quad (11)$$

дар ин ҷо  $\tau_{ph}$  - коэффисиенти шуофкани, ҳамчун ҳиссаи энергияи кинетикии сарфшуда муайян карда мешавад, ки ба рӯшноӣ табдил меёбад;  $\beta$  – коэффисиенти ионизатсия, ҳамчун миёнаи шумораи электронҳо муайян карда мешавад, ки аз як атоми метеоро ҳосил мешавад;  $V$  — суръати метеоро;  $\mu$  — массаи миёнаи атоми метеоро. Бо истифода аз муодилаи (11), агар массаи миёнаи атоми моддаи метеоро  $\mu = 3,82 \cdot 10^{-23}$  г қабул кунем ва нисбати логарифми интенсивияти рӯшноӣ ба зичии хатии электронӣ бо натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштарақӣ радиооптикӣ [63] пешниҳод карда шавад, мо нисбати коэффисиенти шуофкани ба ионизатсияро ҳисоб кардем. Натиҷаҳои ҳисобҳо дар расми 3 нишон дода шудаанд.



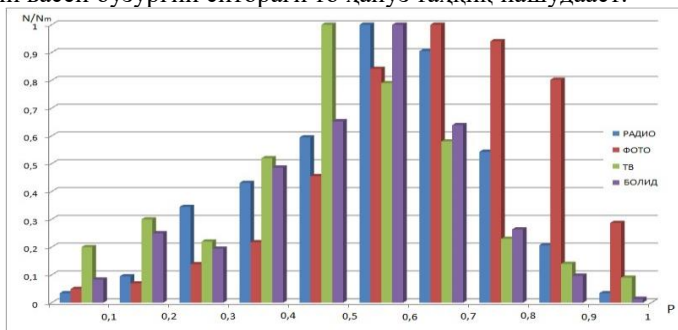
**Расми 3. – Вобастагӣ нисбати коэффисиенти рӯшноӣ ба ионизатсия аз суръати  $V$**

Ҳамчунин, дар ҳамин чо натиҷаҳои ҳисоби нисбати коэффисиенти ионизатсия ба шуофкани дар кори [7] оварда шудаанд:

$$\lg\beta/\tau = (3,00 \pm 0,62) \lg V - (4,27 \pm 1,37). \quad (12)$$

Одатан, ки натиҷаҳои ҳарду давраи мушоҳида барои суръати  $V=40$  км/с бо ҳам хуб мувофиқанд. Тибқи расми 3, нисбати коэффисиенти шуофкани ба ионизатсия дар интервали суръатҳо 12–70 км/с ба се тартиб коҳиш ёфтааст.

**Параграфи сздаҳум** ба таҳқиқи умумияти тақсимоти интензивияти шуофкани ва ионизатсия дарозии изи метеороҳи дар интервали гуногуни бузургии ситорагӣ мебошад. То ба имрӯз, дар асоси натиҷаҳои мушоҳидаҳои базисии оптикӣ заминӣ ва радиолокатионӣ миқдори муайяни қачиҳои дурухшонӣ ва ионизатсия чамъоварӣ шудааст, ки интервали васеи бузургии ситорагии метеороҳо ( $+12^m \div -20^m$ )-ро фаро мегирад. Шаклҳои қачиҳои шуофкани ва ионизатсияи метеороҳо ба ду гурӯҳ тасниф карда мешаванд: А) қачиҳои бо шаклҳои ҳамвор тақсимшавии шуофкани ва ионизатсия дар ҳамон из ва Б) қачиҳои аномалӣ (афрузиш) дурухшонӣ ва ионизатсияи метеороҳо. Тибқи кори Лебединес [6], ҳамаи се навъи қачиҳои ҳамвор барои дурухшонӣ ва ионизатсия метеороҳо дар доираи назарияи фрагментасияи квазибелфосилагӣ хуб шарҳ дода мешаванд. Аммо масъалаи таҳқиқи хусусиятҳои махсуси тақсимоти рӯшноӣ дарозии изи метеороҳо дар интервали васеи бузургии ситорагӣ то ҳанӯз таҳқиқ нашудааст.



**Расми 4. – Тақсимоти метеороҳо аз рӯи параметри P**

Барои ҳал кардани вазифаҳои гузошташуда, маълумотҳои зерин истифода шуданд: маълумотҳои траекторияи атмосферӣ болидҳои шабакаи Прерий ва Аврупо [51, 52]; натиҷаҳои траекторияи атмосферӣ 413 метеороҳо, ба даст омада аз камераи қавии Супер-Шмидт [54]; натиҷаҳои мушоҳидаҳои телевизионии базисии 454 метеорои заиф аз Сарма ва Чонс [55] бо бузургии ситорагии аз +1 то +8,5<sup>m</sup> дар Сперингхилле, натиҷаҳои мушоҳидаҳои аксардории метеороҳо дар Тоҷикистон [51], маълумотҳои траекторияи атмосферӣ болидҳо, ки ба фурудомадани метеоритҳо анҷом ёфтаанд [56], инчунин қачиҳои ионизатсияи 270 радиометеорои аз +5<sup>m</sup> равшантар, ки дар [56] ва аз қониби муаллиф дар [57] ба даст оварда шудаанд. Хузури

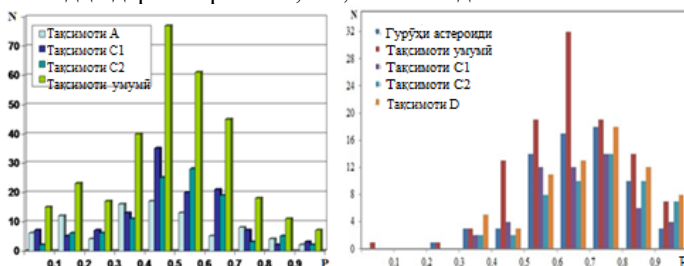
баландии ибтидоӣ  $H_b$ , максималӣ  $H_m$  ва интиҳой  $H_e$  изи метеор имкон медиҳад, шакли тахминии қачии шуоафканӣ ё ионизатсия муайян гардад. Пас, бо истифода аз формулаи зерин:

$$P = H_b - \frac{H_m}{H_b} - H_e \quad (13)$$

мо параметри  $P$ -ро ҳисоб кардем. Натиҷаҳои ҳисоб кардани параметри  $P$  барои массивҳои гуногуни мушоҳидаҳои оптикӣ ва радиолокатсионӣ дар расми 4 оварда шудаанд.

Таҳлили гистограммаи тақсимоти метеорҳо аз рӯи параметри  $P$  нишон медиҳад, ки дар тақсимоти интенсивияти шуоафканӣ ва зичии хатии электронӣ дарозии изи метеорҳо як тамоюли умумӣ вучуд дорад. Хусусан, қоидаи умумии зерин ошкор шудааст: афзоиши шумораи метеорҳо дар нимаи аввали гистограмма тақрибан ба таври экспоненсиалӣ сурат мегирад ва камшавии шумораи метеорҳо дар нимавараи дуҷуми гистограмма нисбатан суст аст. Ҳисоби параметри  $P$  ҳамчунин барои болидҳо, ки ба фурудомадани метеоритҳо анҷом ёфтаанд, анҷом дода шуд. Ба истиснои метеорити Ванбурра Рокчолле, ки дар он  $P = 0,24$  мебошад, барои дигар болидҳо, ки метеоритро ба вучуд овардаанд, қиматҳои адабии параметри  $P$  дар интервали  $0,6-0,9$  қарор доранд. Қимати миёнаи  $P$  барои ин болидҳо  $0,74$  мебошад.

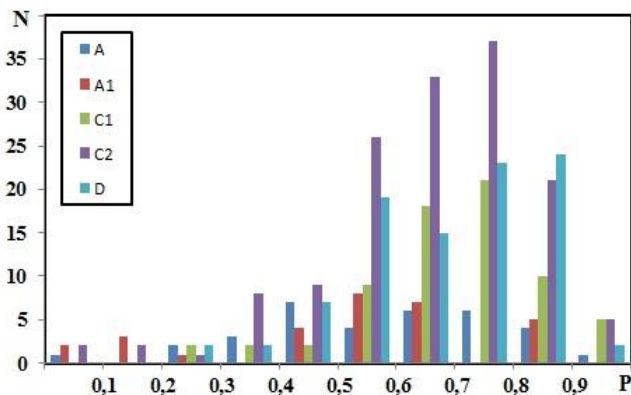
**Параграфи чаҳордаҳум** ба таҳқиқи тақсимоти шуоафкании дарозии изи метеорҳо аз наслҳои гуногуни метеороидӣ бахшида шудааст. Барои таҳқиқи тақсимоти параметри  $P$  дар наслҳои гуногун, маълумотҳои траекторияҳои мадорӣ ва атмосферӣ ТВ-метеорҳо [53], болидҳои шабакаҳои Аврупо ва Прерий [49, 50], инчунин маълумотҳои метеорҳои Супер-Шмидт [51] истифода шуданд. Натиҷаҳои ҳисоб кардани параметри  $P$  барои ҳар як гурӯҳи насли метеороидҳо дар шакли тақсимот дар расми 5 оварда шудаанд. Агар параметри  $P$  барои метеорҳои телевизионӣ дар тамоми диапазони гистограмма тақсим шуда бошад, пас барои насли болидҳо параметри  $P$  асосан дар интервали  $0,3-1,0$  маҳдуд мебошад. Шумораи максималии қиматҳои параметри  $P$  барои ТВ-метеорҳо дар интервали  $0,4-0,5$  қарор дорад ва барои болидҳо дар интервали  $0,7-0,8$  мебошад.



Расми 5. - Тақсимоти метеорҳо аз рӯи параметри  $P$  барои наслҳои гуногуни метеорҳои телевизионӣ [54] ва болидҳои шабакаҳои Аврупо ва Прерий [51, 52]

Аксарияти бузургҳои параметри  $P$  дар тақсимои гурӯҳи астероидӣ ( $A'$ ) дар интервали  $0,5-0,9$  қарор доранд. Диапазони қиматҳои параметри  $P$  дар гурӯҳи  $A$  (хатҳои кабуд) нисбат ба дигар гурӯҳҳо васеъ буда, аз  $0,4$  то  $1,0$  фаро мегирад. Гурӯҳи  $C1$  дорои як максимуми васеъ (монанд ба саҳфа) мебошад, ки дар интервали  $0,5-0,8$  ҷойгир аст.

Тақсимои параметри  $P$  барои наслҳои метеороҳи Супер-Шмидт дар расми 6 оварда шудааст. Максимум бештар дар гистограммаи тақсимои параметри  $P$  дар наслҳои гурӯҳҳои  $C2$  ва  $D$  мушоҳида мешавад, ки дар он қиматҳои  $P$  дар интервали  $0,7-0,8$  мутамарказ мебошанд.



Расми 6. – Тақсимои параметри  $P$  барои наслҳои метеороҳи Супер-Шмидт [54]

**Параграфи 15** ба андозагирии баландии метеороҳо аз рӯи натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштараки радио-телевизионӣ бахшида шудааст. Барои ин муаллиф аз тасвирҳои фото, ки бо камераҳои ТВ сабт шуда буданд, истифода кардааст. Бо истифода аз координатҳо ва қиматҳои дақиқи масофаҳо, ки аз мушоҳидаҳои радиолокатионӣ ҳисоб шудаанд, баландии ибтидоӣ  $H_b$ , максимали  $H_m$  ва интиҳӣ  $H_e$ -и ҳар як изи метеор муайян карда шуданд. Дар чадвали 6 маълумот оид ба баландии миёнаи ибтидо, максимум ва интиҳии изи метеор барои селҳои метеор оварда шудааст.

**Дар параграфи 16** натиҷаҳои андозагирии траекторияҳои атмосферии ва мадорҳои 426 радиометеороҳо аз рӯи мушоҳидаҳо аз 4–5 нукта дар РАҲ оварда шудаанд, инчунин таснифи қачиҳои ионизатионӣ аз рӯи шакл дода шудааст. Барои ба даст овардани қачиҳои ионизатионӣ ба таври таҷрибавӣ барои метеороҳи дурахшандатар аз  $+5^m$ , аз андозагирии радиантҳо, суръатҳо ва мадорҳои метеороҳо аз рӯи натиҷаҳои мушоҳидаҳои радиометеороҳи селҳои чанубии  $\delta$ -Акварид, шимолии  $\delta$ -Акварид, чанубии  $i$ -Акварид, шимолии  $i$ -Акварид,  $\alpha$ -Каприкорнид, Персеид ва фонҳои спорадиқӣ, ки аз 5 нукта сабт шуда буданд, истифода шудааст. Дар қоркард бештар аз 1000 метеор шомил карда шуданд.

**Ҷадвал 6. – Баландии миёнаи метеорҳои сел, ки бо усули муштаракӣ радио-телевизионӣ ба даст оварда шудаанд**

№	Номи сел	$H_b \pm s.d$ (км)	$H_m \pm s.d$ (км)	$H_r \pm s.d$ (км)	$H_e \pm s.d$ (км)
1	Персеидҳо	111.28±0.72	102.53±1.15	103.75±0.6	98.47±1.55
2	S. δ- Акваридҳо	100,23±0,57	94,96±0,76	95,12±0,97	92,71±0,82
3	Квадрантидҳо	99,9±1,74	97,27±2,35	97,08±1,95	93,25±1,94
4	Геминидҳо	94.0±1.0	86.15±6.15	89.2±2.2	81.5±8.5
5	Орионидҳо	115.3±1.3	110.25±0.75	109.0±1.5	107.1±1.1

Сипас, мувофиқи усуле, ки дар параграфи қаблӣ баён шудааст, барои ҳар як метеор вобастагӣҳои зичии ҳаттии электронӣ аз баландӣ сохта шуданд, ки шакли онҳо гуногун мебошанд. Қисмҳое, ки танҳо ба шоҳаи болораванда мансубанд, 4%-ро ташкил медиҳанд. Қисмҳое, ки шоҳаи болораванда ва як қисми минтақаи максималии ионизатсияро фаро мегиранд, ба гурӯҳи дуҷум мансуб доништа шуда, 7% ҳамаи қисмҳоро ташкил медиҳанд. Ба гурӯҳи сеҷум қисмҳое дохил карда шудаанд, ки минтақаи максималии ионизатсияро яқоя ба қисмҳои болораванда ва поёнравандаи изи метеорҳо фаро мегиранд; онҳо 63,6% қисмҳои мушоҳидашударо ташкил доданд. Қисмҳое, ки минтақаи максималии ионизатсияро яқоя ба қисмҳои поёнраванда фаро мегиранд, 20%-ро ташкил медиҳанд ва қисмҳое, ки танҳо ба қисмҳои поёнраванда мансубанд - 6,4% мебошанд.

Истифода бурдани қисматҳои гурӯҳи сеҷум имкон дод, ки шаклҳои мушоҳидашудаи қачаҳои ионизатсионӣ бо экстраполятсия кардани шоҳаҳои болоравӣ ва поинравӣ то сатҳи сифр барқарор карда шаванд. Дар натиҷа панҷ гурӯҳи қачаҳои ионизатсионӣ барои метеорҳо аз рӯи шакли тақсимоти зичии ҳаттии электронӣ дарозии изи метеор муайян шуданд. Ба се гурӯҳи аввал метеорҳо бо тағйирёбии нисбатан ҳамвории зичии ҳаттии электронӣ хосанд ва ду гурӯҳи охир ба метеорҳои афрузанда тааллуқ доранд. Дарозии миёнаи изҳои метеорҳои афрузанда нисбатан кӯтоҳтар буда, 5,2–5,9 км дар буриши баландӣ мебошад, дар ҳоле ки барои се гурӯҳи аввал он ба 7–7,9 км баробар аст.

**Боби сеюми** диссертасия ба таҳқиқи хосиятҳои физикии метеороидҳо ҳам бо натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштаракӣ радио-оптикӣ ва ҳам бо натиҷаҳои мушоҳидаҳои базисии радиолокатсионии метеорҳо бахшида шудааст.

**Дар параграфи аввал** натиҷаҳои муайян кардани массаи метеороидҳо аз рӯи қачаҳои дурахшонӣ, ки аз натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштаракӣ радио-телевизионӣ ба даст омадаанд, оварда шудаанд. Массаи метеороидҳо ҳисоб карда шуданд: а) бо роҳи интегралгирии интенсивияти шуофкании дарозии из ва б) бо бузургии интенсивияти шуофкани дар

нуктаи максимуми дурахшонӣ. Қиматҳои ҳисобшудаи массаи метеороидҳо аз рӯи қачии дурахшонӣ дар интервали  $5 \cdot 10^{-3}$  то  $5 \cdot 10^0$  г бо максимуми тақрибан  $10^{-2}$  г қарор дошт [55]. Қиматҳои миёнаи массаҳо, ки бо усули дуюм ҳисоб шуда буданд, се маротиба аз массаҳои муайяншуда бо усули аввал зиёд мебошад. Натиҷаҳои монанд ҳангоми ҳисоб кардани массаи метеороидҳо аз рӯи қачии ионизатсионӣ [24] ба даст оварда шуданд. Дар асоси ин натиҷаҳо коэффисиенти ислоҳӣ барои ҳисоб кардани массаи метеороидҳо бо истифодаи интензивияти шуофканӣ ва ионизатсия дар баландии максималии шуофканӣ ва ионизатсия ворид карда шуд.

**Дар параграфи дуюм** усулҳои муайян кардани массаи метеороидҳо аз рӯи қачии шуофканӣ ва ионизатсия барои ҳамон метеороидҳои ба усули радио-оптикӣ сабтшуда оварда шудаанд. Массаи метеороидҳо ҳам бо истифодаи шкалаи массаҳо, ки муаллиф муайян кардааст ва ҳам бо истифодаи шкалаи массаҳо, ки дар Конференсияи Обнинск тавсия шудааст, ҳисоб карда шудааст.

**Дар параграфи сеюм** натиҷаҳои ҳисоб кардани массаи ҳамон метеороидҳои заиф аз рӯи бузургии интензивияти шуофканӣ ва ионизатсия дар баландии нуктаи аксхурӣ, ки аз мушоҳидаҳои муштараки радио-оптикӣ гирифта шудаанд, оварда шудаанд. Дар қорҳои [24, 55] дар асоси ин маълумот коэффисиенти миёнаи статистикӣ ба даст оварда шуд, ки имкон медиҳад тақрибан таъсири фрагментатсия ва дигар омилҳоро ҳангоми муайян кардани массаи метеороидҳо аз бузургии интензивияти шуофканӣ ё ионизатсия дар нуктаи максималии дурахшонӣ ва ионизатсия ба назар гирифт. Формулаҳои ибтидоӣ чунинанд:

$$m_{\phi} = 3N_{\phi} m / 2 \tau_{\phi} V^3 \cos Z, \quad (14)$$

$$m_r = 3N_{\phi} \mu_{\phi} m_{\phi} / 4 \beta \cos Z, \quad (15)$$

ки дар онҳо  $N$  – баландии атмосфераи яқинса мебошад.

Дар формулаҳои (14) ва (15) дар диссертация параметрҳои  $I$ ,  $V$ ,  $Z$ ,  $h$  ва  $q$  мустақиман аз мушоҳидаҳои муайян мешаванд ва ҳангоми ҳисоб кардани массаҳо ҳамчун массаи миёнаи атомҳои моддаи метеорӣ  $\mu_{mn} = 3,82 \cdot 10^{-23}$  г қабул шудааст. Барои тасдиқи дурустии натиҷаҳои ба даст омада, баланд бардоштани дақиқӣ ва эътимоднокии андозагирӣ, маълумотҳои мушоҳидаи радиогӣ, ки аз як нукта гирифта шудаанд, бояд бо натиҷаҳои оптикӣ, ки нисбатан дақиқ мебошанд, танзим карда шаванд. Ин танзимкунӣ бо муайян кардани шкалаи массаҳо (вабастагӣ коэффисиенти ионизатсия ба суръат) радиометеороҳо нисбат ба шкалаи массаҳо (вабастагӣ коэффисиенти шуофканӣ ба суръат) барои метеороҳои фотографӣ амалӣ мешавад.

Коэффисиенти ионизатсия  $\beta$  ҳангоми истифодаи маълумотҳои мушоҳидаҳои параллелӣ бо ифодаи муайян карда мешавад, ки аз муодилаи шуофканӣ ва ионизатсия бармеояд:

$$\beta = \tau_{\phi} q V^3 \mu_{mn} / 2 I_{\phi}. \quad (16)$$

Массаи миёнаи атомҳои моддаи метеорӣ  $\mu_{mn} = 3,82 \cdot 10^{-23}$  г қабул карда

шуда, қиматҳои рақами  $I\phi/q$ , ки аз натиҷаҳои мушоҳидаҳои параллелии радио-оптикӣ ба даст омадаанд, истифода шуданд ва  $\tau_\phi$  мувофиқи [65] бо формулаҳо ҳисоб карда шуд:

$$\tau_\phi = 3.25 \cdot 10^{-19} V \quad \text{барои } 10 \text{ км/с} < V < 7 \text{ км/с}, \quad (17)$$

$$\tau_\phi = -9.6 \cdot 10^{-7}/V \quad \text{барои } V > 17 \text{ км/с}, \quad (18)$$

мо қиматҳои  $\beta$ -ро барои суръатҳои гуногун муайян кардем (ҷадвали 7). Қиматҳои ба даст омадаи  $\beta$  барои суръатҳои аз 20 то 60 км/с ба модели дуоми Тохтасиев [70] мувофиқанд ва барои  $V = 40$  км/с бо натиҷаҳои кор [72] хуб мувофиқанд.

**Ҷадвали 7. – Вобастагии коэффисиенти ионизатсия  $\beta$  аз суръат  $V$  аз рӯи мушоҳидаҳои параллелии радио-оптикӣ**

V(км/с)	15	20	30	40	50	60
$\beta$	0.0001	0.0008	0.007	0.04	0.09	0.2

Ҳамоҳангии беҳтарин байни массаи фотографӣ ва массаи ионизатсионӣ ҳангоми истифодаи шкалаи массаҳои радиолокатсионӣ (вабастагӣ  $m_r$  ба суръат  $V$ ), ки аз ҷониби докторант аз рӯи натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштарак ради-оптикӣ барои интервали суръатҳо аз 16 то 62 км/с ба даст омадааст, мушоҳида мешавад (ҷадвали 8). Массаи радиометеороҳо инчунин бо истифодаи шкалаи массаҳо, ки дар Конференсияи Обнинск қабул шудааст ( $M_{ri}$ ), ҳисоб карда шуданд. Шкалаҳои масса, ки дар Конференсияи Обнинск қабул шудаанд, ба таври миёна ба андозаи як тартиб камтар аз шкалаҳои массаҳои радиолокатсионӣ мебошанд, ки нисбат ба шкалаи массаҳои фотографӣ танзим шудаанд. Ҳамин тавр, қиматҳои ба даст омадаи коэффисиенти ионизатсия  $\beta$  аз суръат  $V$  тавсия дода мешаванд, барои қоркард кардани ҳаҷми зиёди мавод, ки ҳангоми мушоҳидаҳои радиолокатсионии метеороҳо дар истгоҳҳои гуногун гирифта шудаанд. Бо истифодаи ин шкалаи массаҳои 630 метеороид, ҳам аз рӯи қимати зичии хатии электронӣ дар нуқтаи ҳадди аксар ионизатсия ва ҳам бо интегралгирии қачиҳои ионизатсия ҳисоб карда шуданд. Дар асоси қиматҳои ҳисобшудаи масса бо ду усул коэффисиенти ислоҳкунанда ворид карда шудааст, ки он дар формулаҳои ҳисоб кардани массаҳо аз рӯи бузургии интенсивияти ионизатсия дар баландии нуқтаҳои аксхурӣ истифода мешавад.

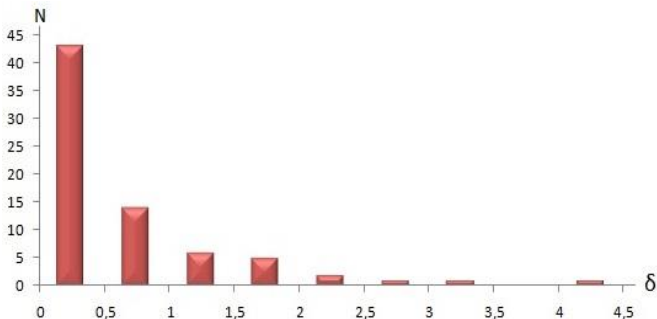
**Ҷадвали 8. – Қиматҳои миёнаи массаи метеороидҳо барои диапазонҳои гуногуни суръати метеороҳо**

V (км/с)	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
$M_\phi \cdot 10^3$ (г)	3.92	189	70.4	80.7	18.1	20.7
$M_r \cdot 10^3$ (г)	1.72	212.0	157.7	94.7	18.0	19.6
$M_{r1} \cdot 10^3$ (г)	0.32	35.6	45.9	39.7	9.3	12.5

**Параграфи чорум** ба муайян кардани шкалаи массаи радиометеорҳои равшан бахшида шудааст. Барои ин вобастагии логарифми нисбати интенсивияти ионизатсия ба бузургии зичии хатии электронӣ барои 29 радиометеори равшан бо суръатҳои аз 14 то 69 км/с таҳқиқ карда шуд. Муайян карда шуд, ки  $\lg I_{\text{pt}}/q$  дар диапазони суръати метеорҳо амали доимӣ буда, баробар ба  $-4,2$  мебошад. Ин натиҷа барои тартиб додани шкалаи массаи радиометеорҳои равшан истифода шудааст. Муқоисаи массаҳои фотометрӣ ва ионизатсионӣ нишон дод, ки онҳо мувофиқат ва ҳамоҳангии қаноатбахш доранд.

**Параграфи панҷум** ба истифодаи меъёри баландии ниҳой барои муайян кардани зичии метеороидҳои параллелии радио-оптикӣ бахшида шудааст. Дар асоси ин меёр баландии интизоршаванда мувофиқи назарияи классикии чирми ягонаи поранашаванда ҳисоб карда шуданд. Маълум гардид, ки назарияи ҷисми ягонаи поранашаванда танҳо барои фаҳмидани механизми шикастани 3 % метеорҳои заиф татбиқпазир аст.

Барои муайян кардани зичии метеори инфиродӣ аз рӯи параметри ҳисобшудаи PE барои чор гурӯҳи метеорҳо, графики вобастагӣ миёни зичӣ ва параметри PE сохта шуд. Сипас, аз қиматҳои параметри PE барои метеори мушаххас дар график зичии он муайян карда мешавад. Маълумот дар бораи зичии метеороидҳо дар шакли гистограмма дар расми 7 оварда шудаанд. Қиматҳои ҳисобшудаи зичӣ дар интервали васеъ аз 0,10 то 4,4 г/см<sup>3</sup> қарор доранд.



**Расми 7. – Тақсими чирми метеорӣ аз рӯи зичиашон**

**Қисмати шашуми боби сеюм** ба муқоисаи назариявӣ ва мушоҳидавии қачиҳои шуофкании метеороидҳо бахшида шудааст, ки аз натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштараки радио-оптикӣ ба даст омадаанд. Маълумот дар бораи қачиҳои дурахшонии мушоҳидавии метеорҳои муштарак ба муаллиф имкон дод, ки онҳоро дар доираи модели квазибифосилагии порашавӣ таҳлил кунад.

Қачии дурахшонии назариявии метеор бо дарназардошти квазибифосилагии порашавӣ бо истифода аз муодилаи зерин ҳисоб карда шуд [71]:

$$I = -\frac{\tau V^2}{2} \frac{dM_u}{dt}.$$

Ифодаи барои суръати ӯхоршавии моддаи метеор  $dM_i / dt$  чунин аст:

$$\frac{dM_u}{dt} = -\rho \frac{\theta(\rho_k - \rho)}{m_o} \int_{\rho_0}^{\rho} \frac{dM}{d\rho'} \frac{dm_k}{d\rho} \theta(b - \rho') d\rho'.$$

Муодилаи масрафи массаи метеороид  $dM / d\rho'$  ва фрагменташ  $dm_k / d\rho$  чунинанд:

$$\frac{dM}{d\rho'} = -\frac{\Lambda A H V^2 M^{1/3}}{2 Q_f \delta_o^{2/3} \text{Cos} Z_f}; \quad \frac{dm_k}{d\rho} = -\frac{\Lambda A' H' V'^2 m_k^{1/3}}{2(Q - Q_f) \delta_f^{2/3} \text{Cos} Z_f}.$$

Дар муодилаҳои маскур бузургиҳои зерин дохил мешаванд:  $\rho$  – зичии атмосфера дар қисмати траекторияи метеор, ки ба қонуни экспоненсиалӣ тағйир меёбад:  $\rho = 3 \cdot 10^{-9} \exp(-h/H)$ ;  $\rho_n, \rho_k$  – зичии атмосфера дар баландии ибтидоии порашавӣ ва интиҳои ҳодисаи метеор;  $a = \rho_n + R_1$  – зичии атмосфера дар баландии азбайнравии фрагментҳо, ки дар баландии ибтидоии фрагментатсия ҷудо шуданд;  $b = \rho_n + R_0$  – зичии атмосфера дар баландии интиҳои фрагментатсия;  $\rho'$  – зичии атмосфера дар баландии дилҳо;  $M_0, m_0$  – массаи ибтидоии метеороид ва фрагментҳо;  $M, m_k$  – массаҳои метеороид ва фрагментҳо дар баландии дилҳо;  $\delta_0, \delta_f$  – зичии метеороид ва фрагментҳо. Барои фрагментҳо коэффисиенти интиқоли гармӣ  $\Lambda = 1$ , коэффисиенти шакл  $A = 1,21$ ;  $Q_f = 2 \cdot 10^{10}$  эрг/г – энергияи махсуси фрагментатсияи метеороид,  $\theta(x)$  – функцияи Хевисайд:  $\theta(x) = 1$  агар  $x > 0$ ,  $\theta(x) = 0$  агар  $x < 0$ .

Ифода барои параметрҳои  $R_0$  ва  $R_1$ , ки фрагментатсияи тақрибан пайвастаро муайян мекунад, чунин аст:

$$R_o = \frac{6Q_f (M_o \delta_o^2)^{1/3} \text{Cos} Z_f}{\Lambda A H V^2}; \quad R_1 = \frac{6(Q - Q_f) (m_o \delta_f^2)^{1/3} \text{Cos} Z_f}{\Lambda A' H' V'^2}$$

Аз рӯи муодилаҳои зикршуда модели қачиҳои дурахшонӣ барои метеорҳои таҳқиқшуда ҳисоб карда шуданд. Аз рӯи шарти беҳтарин мувофиқат байни қачиҳои дурахшонии моделӣ ва мушоҳидавӣ, зичии ҳаҷмии  $\delta_0$ -и метеороидҳои инфиродӣ ва массаи фрагментҳои ҷудошуда то муайян карда мешуд. Дар ҳамин ҳолат, барои он метеорҳое, ки қачиҳои шуофкании мушоҳидавӣ ва назариявӣ мувофиқ буданд, зичиҳои ҳаҷмӣ ҳисоб карда шуданд. Натиҷаҳои ҳисоб кардани зичии метеороидҳои мутаалиқ ба сел ва спорадиқӣ дар асоси назарияи фрагментатсияи тақрибан пайваста ба муаллиф имкон дод, ки қиматҳои миёнаи зичии ҳаҷмии метеороидҳои селро муайян намояд. Натиҷаҳои ҳисобҳо дар қадвали 9 оварда шудаанд: сутуни аввал – номи сел; сутуни дувум – шумораи метеорҳо дар сел; сутуни сеюм – қиматҳои миёнаи зичӣ; сутуни чорум – диапазони массаҳои фрагментҳо.

**Чадвали 9. – Зичии метеороидҳои сел дар асоси натиҷаҳои мушоҳидаҳои параллели радиотелевизионӣ ва фото-радиолакай**

Сел	N	$\delta_0 \pm \delta_0$ , г/см <sup>3</sup>	$m_0$ , г	Сел	N	$\delta_0 \pm \delta_0$ , г/см <sup>3</sup>	$m_0$ , г
δ-Акваридҳо	9	3.5±0.3	10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-5</sup>	Квадрантидҳо	4	2.1±0.6	10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-5</sup>
Персеидҳо	17	1.0±0.2	5·10 <sup>-6</sup> -5·10 <sup>-5</sup>	Каприкорнидҳо	1	1.4	5·10 <sup>-6</sup>
Орионидҳо	2	0.5±0.2	10 <sup>-6</sup>	С. Виргинидҳо	1	5.0	
Геминидҳо	1	3.6	10 <sup>-6</sup>	Ю. Тауридҳо	1	1.8	5·10 <sup>-6</sup>
Леонидҳо	2	0.6±0.2	10 <sup>-6</sup>	Спорадикӣ	18	1.3±0.2	10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-5</sup>

**Чадвали 10. – Зичӣ ва ковокӣ метеороидҳои мутааллиқ ба сел ва спорадикӣ аз рӯи натиҷаҳои мушоҳидаҳои фотографӣ ва параллели радио-оптикӣ**

Сел	$\delta_0 \pm \Delta\delta$ , г/см <sup>3</sup> , кори мазкур	$\delta_0 \pm \Delta\delta_0$ , г/см <sup>3</sup> [71]	$\delta_0$ [72]	$\delta_m$ , г/см <sup>3</sup> [73]	$\delta_m$ , г/см <sup>3</sup> [71]	K, кори мазкур	K [71]
δ-Акваридҳо	3.5±0.3	2.4±0.6	3.3	4.1	3.4±0.4	7	29
Персеидҳо	1.0±0.2	1.2±0.2	-	2.4	2.25±0.04	57	45
Орионидҳо	0.5±0.2	0.9±0.5	-	-	2.4±0.2	79	62
Геминидҳо	3.6	2.9±0.6	-	3.3	2.9±0.2	0	0
Леонидҳо	0.6±0.2	0.4±0.1	-	-	2.3±0.2	74	83
Квадрантидҳо	2.1±0.6	1.9±0.2	2.8	3.4	3.4±0.8	38	44
Каприкорнидҳо	1.4	2.1	-	2.8	3.4±0.8	55	38
С. Виргинидҳо	5.0	-	-	-	-	-	-
Ю. Тауридҳо	1.8	1.6±0.4	2.3	2.7	2.7±0.2	32	41
Спорадикӣ	1.3±0.2	1.8±0.3		2.7	3.0±0.1	36	40

Дар қорҳои қаблӣ [71, 73] бо истифода аз маълумоти мушоҳидаҳои фотографӣ қиматҳои зичии минералогӣ барои як қатор метеороидҳои мутааллиқ ба сел ва спорадикӣ ҳисоб карда шуда буданд. Бо истифода аз ин қиматҳои зичӣ ва маълумот оид ба зичии ҳаҷмӣ, мо қиматҳои ковокӣ (пористӣ) барои чанд сели метеороидро муайян намудем. Натиҷаҳо дар чадвали 10 оварда шудаанд. Мушоҳидаҳо нишон медиҳанд, ки метеороидҳои селҳои δ-Акварид ва Геминид сохтори зич доранд, дар ҳоле ки метеороидҳои селҳои Персеид ва Леонид сохтори камзич ва ковок доранд.

**Параграфи ҳафтум** ба таҳқиқи табиати суперболиди Тоҷикистон бо

истифодаи натиҷаҳои муштаракӣ аз мушоҳидаҳои моҳворагӣ ва заминӣ бахшида шудааст. Қимати миёнаи масса, ки бо се усул ҳисоб карда шуд (фотометрӣ, динамикӣ ва графикӣ),  $17,8 \pm 2,4$  тоноро ташкил медиҳад, ки ба қиматҳои масса, ки дар қорҳои [4, 59] ба даст омадаанд, наздик мебошад. Қиматҳои ҳаҷмии зичии болиди низ бо се усул ҳисоб шудаанд: а) бо параметри PE, б) бо муодилаи баландии максими шуофкани бо параметрҳои метеороид робита медиҳад, в) бо муодилаи тормозхури (усули динамикӣ). Қимати миёнаи зичии суперболид, ки бо се усул ҳисоб шудааст,  $1,2 \pm 0,1$  г/см<sup>3</sup> мебошад.

**Ҷадвали 11. – Параметри S дар баъзе селҳои метеории рӯзона**

Манбаъ	η-Акваридҳо	ο-Сетидҳо	ν-Писидҳо	γ-Пегасидҳо	Писидҳо	С.М. Ариетидҳо	Ю.М. Ариетидҳо
Кори мазкур	1,8	1,4	1,8	1,6	1,4	1,7	1,9
[30]	1,85	-	-	-	-	1.68	1.85

**Параграфи хаштум** ба таҳқиқи параметри тақсимои қирмҳои метеорӣ аз рӯи масса барои баъзе селҳои метеории рӯзона ва шабона бахшида шудааст. Қимати параметри S, ки аз тақсимои интегралӣ аз рӯи массаи қирмҳои метеорӣ ба даст омадааст, барои селҳои метеории рӯзона дар интервали 1,4 (барои селҳои Писид, ο-Сетид ва Пегасид) то 1,9 (барои селҳои η-Акварид, ν-Писид ва Ю. М. Ариетид) қарор дорад (ҷадвали 11).

**Ҷадвали 12. – Параметри S барои чанд потлоқҳои метеории шабона бо истифода аз манбаъҳои гуногун**

Манбаъ	Сели метеорӣ				
	С. δ-Акваридҳо	Ю. δ-Акваридҳо	Геминидҳо	Квадрантидҳо	i-Акваридҳо
Кори мазкур	1,76	1.7	1.8	1.6	1.86
[36]	-	-	1.7	1.7	1.8
[35]	-	-	1.6-1.9	-	-
[34]	-	-	1.69	1.94	-
[33]	-	-	1.64	1.56	-
[30]	-	1.80	1.68	1.55	-
[31]	-	-	1.64÷1.75	-	-
[32]	-	1.9÷2.0	-	-	-

Параметри S барои селҳои метеории шабона: барои Квадрантид = 1,6; барои С. δ-Акварид, Ю. δ-Акварид ва Геминид = 1,7; барои i-Акварид = 1,86. Қиматҳои бадастовардаи параметри S бо параметрҳои S, ки дигар

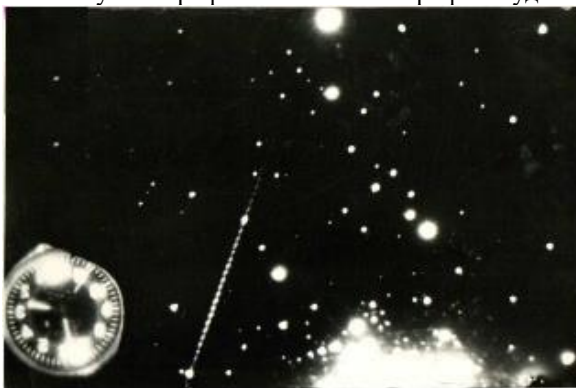
муҳаккиқон барои санаи баландтарин фаъолияти селҳо аз рӯи тақсимои чирмҳои метеорӣ аз рӯи давомнокии радиоакс ба даст овардаанд, муқоиса карда шуданд (ҷадвали 12).

Маълум аст, ки параметри  $S$ , ки мо бо истифода аз массаи метеороидҳо ва асоси қачиҳои ионизатсионӣ ҳисоб кардаем, бо натиҷаҳои параметри  $S$ , ки бо истифода аз тақсимои интегралӣ аз рӯи давомнокии радиоакс ҳисоб шудаанд, вале танҳо барои санаи баландтарин фаъолияти ҳамон селҳо аз рӯи мушоҳидаҳои радиолокатсионӣ мувофиқат мекунад.

**Боби чорум** ба ченкунии радиантҳо, суръатҳо, мадорҳо ва траекторияҳои атмосферарии метеорҳо бахшида шудааст, ки онҳо бо натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштараки оптикӣ ва радиолокатсионӣ сабт шудаанд. Ҳамчунин, ба ин боб маълумоти мушоҳидаҳои асосии радиолокатсияи метеорҳо аз чор нуқат дар РАҲ-и Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон дохил карда шудааст.

**Дар параграфи аввал** масъалаи ченкунии радиантҳо ва суръатҳои метеорҳо бо усулҳои радиогии импульс-дифраксионӣ ва пеленгатсионӣ-вақтӣ баррасӣ шудааст. Муайян карда шуд, ки усули пеленгатсионӣ-вақтии усули радиогӣ, ки аз ҷониби Р.П. Чеботарев дар Институти астрофизика таҳия шудааст, нисбат ба усули импульс-дифраксионӣ ҳам аз ҷиҳати ҳассосият (се баробар зиёдтар) ва ҳам аз ҷиҳати дақиқии ченкуниҳо (1,7 баробар дақиқтар) беҳтар мебошад.

**Дар параграфи дуюм** натиҷаҳои ченкунии суръатҳои ҳамон метеорҳо бо се усул пешниҳод шудаанд: а) усули муштараки телевизионӣ радиолокатсионӣ, б) импульс-дифраксионӣ, в) пеленгатсионӣ-вақтии усули радиолокатсионӣ. Дар расми 8 ҳамчун намунаи акси метеори муштараки радио-телевизионӣ нишон дода шудааст, ки бо истифода аз дастгоҳи телевизионӣ Институти астрофизикаи АМИТ гирифта шудааст.



**Расми 8.** – Акси аз метеори муштараки радио-телевизионӣ, гирифташуда бо насбгоҳи телевизионӣ Институти астрофизикаи АМИТ

Муайян карда шуд, ки қиматҳои миёнаи суръатҳои метеорҳои селҳои

δ-Акварид, ки бо истифода аз мушоҳидаҳои муштаракӣ радио-телевизионӣ чен шудаанд,  $41,2 \pm 1,16$  км/с мебошад. Ин суръат каме баландтар аз суръатҳои миёнаи ҳамон метеоро аз рӯи мушоҳидаҳои радиолокатсионӣ мебошад, ки дар он ҷо  $V = 39,9 \pm 0,8$  км/с аст. Барои метеороҳои сели Персеид, суръати миёна, ки бо усули муштарак чен шудааст,  $60 \pm 0,60$  км/с аст, ки 3 км/с бештар аз суръати ҳамон метеоро аз рӯи мушоҳидаҳои радиолокатсионӣ ( $V = 57,06 \pm 1,1$  км/с) мебошад.

Тафовути байни суръатҳое, ки бо усулҳои муштарак ва радиолокатсионӣ чен шудаанд, ба андешаи мо, аз он бармеояд, ки дар аксари радиометеоро (68 %) нуқтаҳои инъикоси радио дар қисматҳои фурудодаи қачиҳои ионизатсионӣ ҷойгир шудаанд, ки дар ин минтақаҳо метеоро ба баландтарин тормозхури дучор меоянд. Ин натиҷа баъдтар аз ҷониби муаллифони [18] бо истифода аз мушоҳидаҳои муштаракӣ видео-радиолокатсионӣ тасдиқ карда шудааст.

Аз ин рӯ, натиҷаи бадастномаи докторант барои таҳрири суръатҳо ба назардошти тормозхури истифода шуд, то ки суръатҳои берунаазатмосфера ва хусусиятҳои кинематикӣ радиометеоро, ки дар радиоконкомплексии МИР-2 аз декабри 1968 то январи 1970 сабт шудаанд, бо дақиқӣ муайян карда шаванд.

**Дар параграфи сеюм** усули таҳлили маълумотҳо оид ба радиантҳо, суръатҳо ва элементҳои мадори аз натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштаракӣ радио-телевизионӣ ва радиолокатсионии асосӣ пешниҳод шудааст. Дар ин ҷо усули коркарди маълумотҳои мушоҳидаи радио-телевизионӣ ба таври пайдарпай оварда шудааст.

**Дар параграфи чорум** усули коркарди мавод барои муайян намудани координатҳои уфукии нуқтаи инъикоси радиометеор пешниҳод шудааст.

**Дар параграфи панҷум** натиҷаҳои мушоҳидаҳо ва усули ҷенкунии радиантҳо ва суръатҳои метеоро бо усули пеленгатсионӣ-вакӣ оварда шудааст.

**Дар параграфи шашум** натиҷаҳои коркарди мавод барои муайян намудани баландии нуқтаи инъикоси радиометеор оварда шудаанд.

**Дар параграфи ҳафтум** усули муайян кардани координатҳои уфукии радиант (азимут  $A_g$  ва масофаи зенитӣ  $Z_r$ ) бо усули пеленгатсионӣ-вакӣ пешниҳод шудааст. Ифодаҳои ибтидоӣ барои ҳисоб кардан чунинанд [30]:

$$A_r = A_1 + \arctg(t_2 b_1 / t_1 b_2 \cdot \operatorname{cosec} A_{21} \cdot \operatorname{ctg} A_{12}), \quad (19)$$

$$Z_r = \arctg[-\operatorname{ctg} Z / \cos(A - A_r)], \quad (20)$$

ки дар он:  $A_1$  – азимути нуқтаи аввал;  $b_2, b_3, b_1$  – дарозии базаҳои дуюм, сеюм ва  $i$ -ум нисбат ба нуқтаи марказӣ;  $A_{12} = A_2 - A_1$  – фарқи азимутҳои нуқтаҳои мувофиқ;  $A$  ва  $Z$  – азимут ва масофаи зенитии нуқтаи инъикос дар изи метеор.

Барои ҳисоб кардани радиантҳо, суръатҳо ва элементҳои мадор

маълумоти ибтидоӣ ба компютер бо тартиби зерин ворид мешуд: сол ва моҳ барои мушоҳида, рақами метеор, рақами нуқтаи хоричшуда, гузариши вақт нисбат ба нуқтаи марказӣ, сана ва вақт (соат, дақиқа, сония), рақами варианти мушоҳида, қиматҳои дақиқи масофа ва координатҳои уфуқии нуқтаи инъикос, қиматҳои суръати дифраксионӣ, азимут ва радиант, қиматҳои гузариши вақт, ки ҳамчун фарқи максимуми тасвирҳои дифраксионӣ ҳисоб шудааст.

**Дар параграфи ҳаштум** барномаи ҳисоб кардани радиантҳо, суръатҳо ва мадорҳои метеороидҳо бо масофа ва азимути ҳар нуқтаи беруна нисбат ба марказ пешниҳод шудааст. Дигар маълумотҳо – масофа аз Замин то Офтоб, суръати мадории Замин, тӯли Офтоб ва вақти ситорагӣ – ҳамчун функсияҳои аналитикӣ аз вақт ворид карда шуданд. Барнома ба гардиш ва кашиши Замин ва мувофиқкунии он ба давраи J2000 эътибор медиҳад.

Ислоҳот барои суръати мушоҳидашуда бо сабаби тормозхури бо формулаи аз мушоҳидаҳои муштараки радио-телевизионӣ дар РАҲ гирифта ҳисоб карда шуд:

$$\Delta\vartheta = 0.65 + 0.38 \cdot \vartheta.$$

ки дар он  $\vartheta$  – суръати миёнаи метеор мебошад, ки бо усулҳои импульс-дифраксионӣ ва пеленгатсионӣ-вақтӣ чен шудааст.

Суръати берунаазатмосфераии метеор чунин муайян карда шуд:

$$\vartheta_{\infty} = \vartheta + \Delta\vartheta.$$

Ҳисобкунии радиантҳо, суръатҳо ва элементҳои мадор бо тартиби зерин сурат гирифтааст:

1. Ченкунии суръат бо усулҳои импульс-дифраксионӣ ва пеленгатсионӣ-вақтӣ;
2. Ҳисобкунии суръати берунаазатмосфера;
3. Муайян кардани координатҳои уфуқии нуқтаи инъикос;
4. Муайян кардани азимут ва масофаи зенитии радиант;
5. Муайян кардани координатҳои уфуқии радиант;
6. Ҳисобкунии координатҳои экваториалии радиант;
7. Муайян кардани суръати геомарказӣ;
8. Ҳисобкунии координатҳои эклиптикӣ пас аз таҳрир;
9. Ҳисобкунии суръати гелиомарказӣ;
10. Муайян кардани координатҳои радианти ҳақиқӣ ва элонгатсия аз апекс;
11. Муайян кардани элементҳои мадори метеороид;
12. Ҳисобкунии координатҳои эклиптикӣ барои перигелий.

Муқоисаи маълумотҳои радиантҳо, суръатҳо ва мадорҳои метеороиди мутааллиқ ба сел, ки бо усули мушоҳидаҳои муштарақ бадаст омадаанд, бо натиҷаҳои дигар муаллифон нишон медиҳад, ки онҳо хуб бо маълумотҳои мушоҳидаҳои фотографӣ ва видеоӣ мувофиқанд [13]. Натиҷаҳои ҳисобкуниҳо дар ҷадвали 13 оварда шудаанд/

**Чадвал 13. – Радиантҳо, суръатҳо ва элементҳои мадори селҳои метеорӣ**

Номи сел	$\alpha_R$	$\delta_R$	$V_\infty$ км/с	1/a	E	q	$\Omega$	$\Omega$	i
Персеидҳо	47,3 ±0,8	57,8 ±1,1	59,8 ±0,8	0,07 ±0,07	0,94 ±0,07	0,94 ±0,007	147,7 ±2,15	139,05 ±0,2	112,6 ±1,66
δ- Акваридҳо	341,9 ±1,5	-15,6 ±1,04	42,2 ±1,0	0,52 ±0,08	0,97 ±0,05	0,07 ±0,01	154,9 ±2,4	305,8 ±0,87	34,06 ±5,94
Квадран- тидҳо	227,7 ±2,4	49,6 ±1,77	42,5 ±1,14	0,36 ±0,12	0,64 ±0,11	0,97 ±0,0005	172,9 ±5,43	281,8 ±0,18	72,14 ±1,58
Орионид- ҳо	100,3 ±3,11	19,1 ±1,81	65,8 ±3,61	0,37 ±0,21	0,8 ±0,075	0,62 ±0,15	81,6 ±22,8 4	28,45 ±0,55	171,3 5±5,0
Геминид- ҳо	109 ±1,6	29,75 ±1,65	39,7 ±1,21	0,54 ±0,14	0,94 ±0,007	0,11 ±0,007	326,5 ±3,51	259,2 ±0,0	20,48 ±3,53

**Дар параграфи нӯҳум** усули ҳисоб кардани траекторияи атмосфераии метеор таҳия шудааст. Барои муайян кардани зичии хатии электронӣ (q) барои изи метеорҳо миёна ва аз ҳад зич, истифодаи ифодаҳои (6), (7) ва (8) ба қор бурда шуд. Доштани зичии хатии электронӣ (эл/см) имкон меод, ки радиобузургӣ M ва массаи ҷирми метеор  $m_r$  бо формулаҳои [7, 18] ҳисоб карда шаванд:

$$M = 35.3 - 2.5 \lg q,$$

$$m_r = 3N^* \mu q_m / 4\beta \cos Z, \quad (21)$$

Дар ҳисобкуниҳо барои баландии атмосфераи яқчинса  $N^*$  дар нуқтаи инъикоси радиогии метеор, қаторҳои полиномиро истифода кардем:

- 1)  $N^* = 0.0015 h^2 - 0.2978h + 19.76$  - барои интервали баландӣ  $60 < h < 89$  км;
- 2)  $N^* = 0.007 h^2 - 1.381h + 69.12$  - барои интервали баландӣ  $90 < h < 125$  км.

Элементҳои мадор ва маълумоти траекторияҳои атмосфераии 8916 метеор бо тартиби зерин пешниҳод шудаанд: № – рақами метеор, Yr – сол, Mn – моҳ, Day – рӯз (вақти парвоз ба ҳисоби қисми рӯзҳо),  $\lambda_\odot$  – тӯли Офтоб, Mr – радиобузургии метеор, Href – баландии нуқтаи марказӣ дар изи метеор,  $\alpha_r$  ва  $\delta_r$  – координатҳои экваториалии радиант,  $V_\infty$ ,  $V_g$ ,  $V_h$  – суръати берунаазатмосфера, геомарказӣ ва гелиомаказӣ,  $\cos Z_r$  – косинуси масофаи зенитии радиант, q – масофаи перигелий дар в.а., e – эксцентриситет, a – нимтири калон дар в.а., Q – масофаи афелий дар в.а., i – моилии мадор нисбат ба эклиптика,  $\omega$  – аргументи перигелий, W – тӯли гиреҳи болораванда, p – тӯли перигелий,  $\lg q_a$  – логарифми зичии хатии электронӣ,  $\lg m$  - логарифми массаи метеороид.

Намунаи натиҷаҳои ҳисобкунии хусусиятҳои кинематикӣ ва физикии метеороидҳо дар чадвали 14 оварда шудааст.

Ҳамин тариқ, бо истифода аз натиҷаҳои мушоҳидаҳои радиолокатионии асосӣ дар чор нуқта, аввалин зичи мадорҳо ва траекторияҳои атмосфераии 8916 метеор бо дурахшонии аз +5 равшантар, ки

дар Маркази маълумоти метеор (ЦМД) Иттиҳоди Байналмилалии Астрономӣ (МАС) сабт шудаанд, таҳия гардид.

**Ҷадвали 14. – Намунаи натиҷаҳои ҳисобкунии элементҳои мадор ва маълумоти траекторияҳои атмосферарии радиометеороҳо**

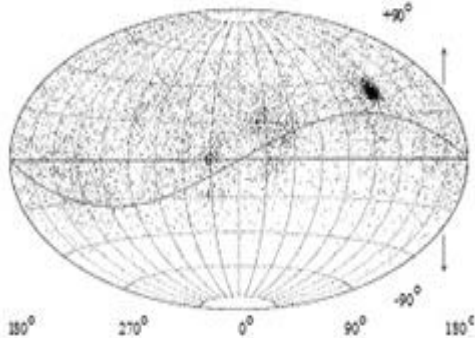
№	1	2	3	4	5	6	7
Yr	1968	1968	1968	1968	1968	1968	1968
Mn	12	12	12	12	12	12	12
Day	12.735	12.736	12.74	12.74	12.74	12.74	12.74
$\lambda_{\odot}$	261.22	261.22	261.2	261.2	261.2	261.2	261.2
$M_r$	2.6	1.3	2.98	2.07	3.73	5.05	4.12
$H_{ref}$	100.04	97.79	88.83	94.09	90.48	84.8	94.07
$\alpha_r$	109.37	105.15	110.5	112.8	113.4	107.1	110.3
$\delta_r$	33.73	30.06	33.52	27.14	33.2	30.98	34.35
$V_{\infty}$	38	37.9	35.1	38.7	37.1	33.3	37.4
$V_g$	36.3	36.2	33.2	37.1	35.4	31.4	35.7
$V_h$	36.5	37.7	34.1	34.9	34.3	34	35.8
$\cos Z_r$	0.731	0.753	0.724	0.669	0.699	0.748	0.736
Q	0.16	0.172	0.172	0.093	0.134	0.2	0.162
E	0.915	0.927	0.876	0.939	0.905	0.855	0.905
A	1.88	2.347	1.384	1.519	1.41	1.377	1.704
Q	3.6	4.522	2.597	2.945	2.686	2.554	3.246
I	25.32	15.3	22.24	15.45	27.08	14.41	26.4
$\Omega$	318.82	315.63	320.1	330.5	324.9	316.8	319.3
$\Omega$	261.23	261.23	261.2	261.2	261.2	261.2	261.2
$\Pi$	220.05	216.87	221.3	231.8	226.1	218	220.5
$\lg q_a$	12.983	13.501	12.79	13.2	12.52	11.94	12.37
$\lg m_{\infty}$	-2.223	-1.73	-2.29	-2.037	-2.65	-3.032	-2.842

Координатҳои радиантҳо ва элементҳои кунҷии мадорӣ барои давраи J2000 оварда шудаанд. Барои ҳисоб кардани элементҳои мадор ва ба даст овардани координатҳои геомарказии Замин дар вақти мушоҳидаҳо, эфемеридҳои сайёраи JPL 431 истифода шудаанд [75].

**Дар параграфи даҳум** натиҷаҳои таҳлили тақсими метеороидҳо дар осмон бо истифода аз координатҳои геомарказии экваториалӣ (радиантҳо ва суръатҳо), инчунин бо элементҳои мадори Кеплери гелиомаказӣ оварда шудаанд. Ҳамчунин хусусиятҳои физикии метеороидҳо муайян карда шуданд, аз қабилӣ массаи берунаазатмосферӣ, бузургии ситорагии радиометеор ва зичии хатии электронҳо дар баландии нуқтаи марказии изи метеор мебошанд.

Тақсими дученакаи координатҳои экваториалӣ барои 8916 метеор, ки дар РАҶ сабт шудаанд, дар расми 9 нишон дода шудааст. Хатти нуқтагӣ-синусоидалӣ ҷойгиришавии эклиптикаро нишон медиҳад. Аз расм дида

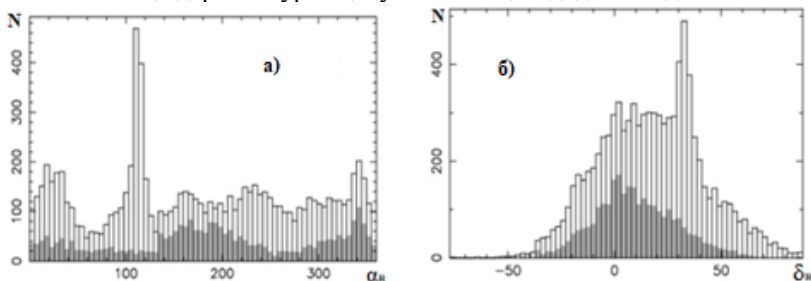
мешавад, ки аксари радиантҳо дар нимкураи шимолӣ мутамарказ шудаанд. Дар расми 10, чуз радиантҳои метеорҳои потнокҳои Геминид ва  $\eta$ -Акварид, ҳамчунин радиантҳои васеъ ва тақсимоти дигар низ намоёнанд.



**Расми 9. – Диаграммаи тақсимоти Хаммер-Айто барои радиантҳои геомарказии 8916 метеор, ки дар РАҶ сабт шудаанд**

Дар расм гуруҳҳои радиантҳо (нуктаҳои дурахшон), ки ба селҳои хурд ва ассотсиатсияҳои метеорӣ тааллуқ доранд, намоёнанд.

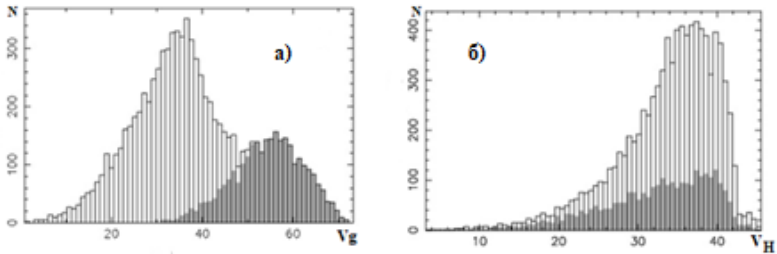
Аз таҳлили тақсимот маълум мешавад, ки: а) радиокомплексии МИР-2 имкон дод, ки радиантҳои метеорҳо бо майли то  $-45^\circ$  сабт шаванд; б) тақсимоти метеорҳо дар нимкураи шимолӣ осмон тақрибан баробар ва яксон мебошад; в) ҷойгиршавии ҷуғрофии комплекси МИР-2 дар РАҶ имкон дод, ки ҳамроҳ бо метеорҳои спорадики сабти метеорҳои мутааллиқ ба селҳо ва ассотсиатсияҳо дар нимкураи ҷанубӣ низ анҷом дода шавад.



**Расми 10. – Тақсимоти метеорҳо аз рӯи а) фарози мустақим бо дараҷа ва аз рӯи б) майл бо дараҷа**

Тақсимоти метеорҳо бо фарози мустақим ва майл дар расми 10 нишон дода шудааст. Қисмҳои сояфкан нишондиҳандаи метеорҳо бо мадорҳои ретроградӣ мебошанд. Аввали қулаи гистограмма ба сели метеории Геминид ва қулаи дуюм ба сели рӯзонаи  $\eta$ -Акварид мувофиқ аст.

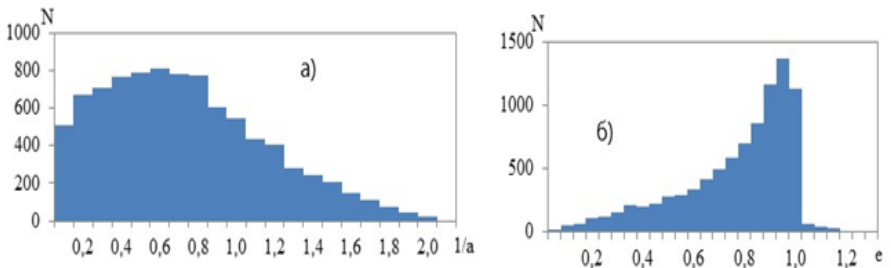
Гистограммаҳои тақсимоти 8916 метеор бо суръатҳои геомарказӣ ва гелиомарказӣ дар расми 11 оварда шудаанд.



**Расми 11. – Тақсимои суръатҳои а) геомарказӣ ва б) гелиомаказии метеороҳо бо км/с**

Тақсимотҳо хусусиятҳои гуногун доранд: аввалӣ ду максимум дорад, дар ҳоле ки охирӣ танҳо як максимум дорад. Хусусияти бимодалии тақсимоти аввал бо он шарҳ дода мешавад, ки қиматҳои суръатҳои геомарказии метеороидҳо ҳамчунин ҳамчояшавии ду ҷузъ мебошанд: суръати метеороид дар мадори гелиомаказӣ ва суръати ҳаракати Замин аст. Минтақаи минималии суръати геомарказӣ барои метеороидҳои бо мадорҳои ретроградӣ тақрибан 30 км/с аст. Тақсимоти суръатҳои гелиомаказии метеороидҳо дар расми 12 оварда шудааст. Дар минтақаи рости «дум» тақсимот 148 метеороид бо мадорҳои гиперболии гелиомаказӣ пайдо шуданд. Қисме аз онҳо метавонанд ба хатоҳои ченкунии суръати геомарказӣ марбут бошанд. Ҳамзамон маълум аст, ки Ил<sup>o</sup>Оумуама (2017), 2И/Борисов (2019) ва 3И/ATLAS (2025) ҳамчун аввалин ҷирмҳои хурди байниситорай (кометаҳо) ворида Низоми офтобӣ шудаанд. Аз ин рӯ, имконпазир аст, ки метеороидҳои байниситорай низ вучуд дошта бошанд.

Таҳлили гистограммаи тақсимоти нимтири калон, ки муаллиф ба даст овардааст, дар муқоиса бо маълумоти шабех, ки дар Гарвард ва Харков барои метеороҳои +10 ÷ +12 бузургии ситорайӣ ба даст омада буд [21, 42], нишон медиҳад, ки тақсимот ба сӯи қиматҳои хурдтари 1/a қўчида шудааст.

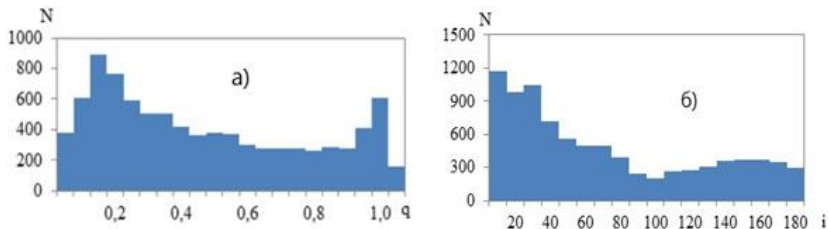


**Расми 12. - Тақсимои метеороҳо аз рӯи нимтири калон (а) ва эксцентриситет (б)**

Тақсимот аз рӯи эксцентриситет дорои максими баланд дар интервали 0,90–0,95 мебошад, дар ҳоле ки тибқи маълумоти [42] барои

радиометеорҳои заиф максимум дар интервали 0,7–0,8 мушоҳида мешавад (расми 12б).

Таксимот аз рӯи масофаҳои перигелий дар расми 13а нишон дода шудааст. Он ба таври возеҳ дорои ду максимум мебошад: якумаш дар интервали 0,1–0,2 в.а., дуюмаш – дар интервали 0,95–1,0 в.а. аст.

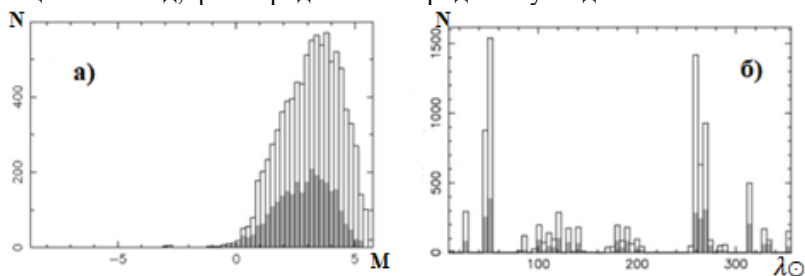


**Расми 13. – Гистограммаҳои тақсимот: а) масофаҳои перигелий, б) моилии мадор нисбат ба ҳамвори эклиптика**

Таксимоти метеорҳо аз рӯи моилии мадор дар расми 13б оварда шудааст. Аз гистограмма бармеояд, ки аксарияти метеорҳо ҳаракати мустақим доранд ва ҳиссаи метеорҳо бо моилии бештар аз  $90^\circ$  ба 31,4% мерасад.

Таксимоти метеороидҳо аз рӯи бузургии ситорагӣ ва аз рӯи тӯли Офтоб дар расми 14 нишон дода шудааст. Аз гистограмма бармеояд, ки радиобузургии метеорҳо асосан дар диапазони  $0^m$ – $5,5^m$  буда, бо максимуми дар  $3,3^m$  (расми 15а) мебошад.

Дар расми 15б тақсимоти метеорҳо аз рӯи тӯли эклиптикаи Офтоб дар вақти пайдоишашон нишон дода шудааст. Аксарияти метеорҳои мутааллиқ ба селҳои Геминид,  $\eta$ -Акварид ва  $\delta$ -Акварид мансубанд.



**Расми 14. – Тақсимоти метеороидҳо аз рӯи а) бузургии ситорагӣ ва аз рӯи б) тӯли эклиптикаи Офтоб бо дараҷа**

**Панҷумин боби** диссертатсия ба ошкоркунии селҳо ва ассотсиатсияҳои метеорӣ дар асоси натиҷаҳои мушоҳидаҳои моҳона ва солонаи радиолокатсионии аз чор нуқат аз декабри 1968 то декабри 1969 бахшида шудааст.

**Дар параграфи аввал** баррасии ташаккули тӯдаҳо, селҳо ва

ассотсиатсияҳои метеороидҳо оварда шудааст. Дар ин ҷо ду манбаи асосии пайдоиши тӯдаҳои метеорӣ, яъне кометавӣ ва астероидӣ, асоснок карда шудааст. Вақте ки кометаҳо ба масофаи камтар аз 4–5 в.а. ба Офтоб наздик мешаванд, онҳо гарм шуда, аз сатҳи худ газҳо ва зарраҳои чанги андозаҳои гуногунро хорич мекунанд.

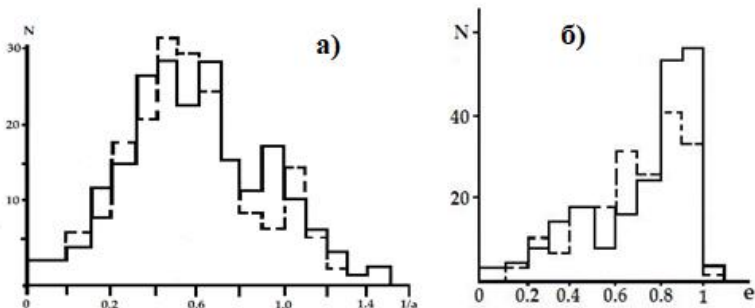
Манбаи астероидии тӯдаҳои метеорӣ ба парокандашавии чирмҳои онҳо ҳангоми бархӯрд бо астероидҳои дигар, инчунин бо чирмҳои бо лиҳози болидтавлидкунанда ва метеориттавлидкунанда марбут аст. Гуруҳи ҳосилшудаи зарраҳо дар тӯли даҳҳо ҳазор сол объект-волидайноро мегирад ва тӯдаи метеорӣ ташаккул меёбад, ки шакли он ба булочка наздик аст [26]. Ҳангоми убур кардани чунин тӯда аз Замин, сели метеорӣ – падидаи атмосферавӣ, ки бо воситаҳои визуалӣ, оптикӣ, инфрасадоӣ ва радиолокатсионӣ сабт мешавад – мушоҳида мегардад. Зери таъсири қувваҳои ҷозибавӣ ва ғайриҷозибавӣ, инчунин ошӯби сайёравӣ, тӯдаҳо тадричан зичиашонро гум карда, селҳои метеорӣ бо шумораи ками метеорҳо ва майдони калон ҳосил мекунанд. Баъдтар чунин селҳои камзич ном ассотсиатсияҳои метеорӣ гирифтанд.

**Дар параграфи дуюм** баррасии қорҳои муайянкунии селҳо ва ассотсиатсияҳои метеороидҳо оварда шудааст. Таҳқиқи селҳои метеорӣ аввалиан бо истифодаи маълумоти визуалӣ анҷом меёфт, баъдан бо маълумоти аксардорӣ ва аз охири солҳои 1960 – бо мушоҳидаҳои телевизионӣ ва видеой амали гардиданд. Аз солҳои 1990 мушоҳидаҳои видеой дар Аврупо, ИМА, Канада, Чопон, Кореяи Чанубӣ ва Чин васеъ қорӣ шуданд, ки имкон доданд маводи васеъ ҷамъоварӣ карда шаванд ва дар Маркази маълумоти метеорӣ ИБА нигоҳ дошта шаванд [37, 55, 74].

**Параграфи сеюм** ба муайянкунии селҳо ва ассотсиатсияҳо бо истифодаи ҷенкунии радиантҳо, суръатҳо ва мадорҳо бо усули радиометоди пеленгатсионӣ-вақтӣ дар Тоҷикистон бахшида шудааст. Муайянкунӣ бо истифодаи маълумоти зиёда аз 10 683 метеор дар ду марҳила анҷом ёфт: а) бо усули графикӣ аз рӯи тақсмоти дученака (радиантҳо ва суръатҳо); б) бо истифодаи критерии Саутворт–Хокинс ва критерии Йопек.

Натиҷаи таҳлил нишон дод, ки 431 селҳо ва ассотсиатсияҳои метеорӣ ошқор карда шудаанд, ки тақрибан 50% онҳоро бори аввал муайян кардаанд. Баъзе селҳо, ба монанди  $\nu$ -Офиурхидҳо шимолӣ ва ҷанубӣ,  $\delta$ -Виргинидҳо,  $\alpha$ -Скорпионидҳо,  $\nu$ -Гидридҳо,  $\alpha$ -Леонидҳои ҷанубӣ, S-Либридҳо, инчунин чандин ассотсиатсияҳо бо усули радиолокатсионӣ бори аввал ошқор шуданд.

**Дар параграфи чорум** тақсмоти метеороидҳо аз рӯи элементҳои мадор барои селҳо ва ассотсиатсияҳо сохта шудааст. Тақсмоти бузургии нимтири калон (1/a) барои селҳо ва ассотсиатсияҳо аз рӯи маълумоти мо ва натиҷаҳои мушоҳидаҳои радиолокатсионии метеорҳои заиф дар Харков [42] дар расми 15 оварда шудааст.



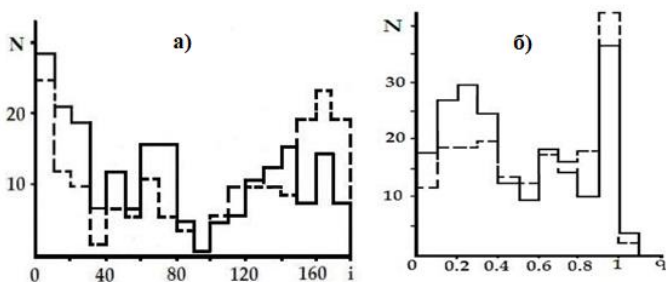
**Расми 15. – Тақсимои метеороҳ аз рӯи а) бузургии нимтири калон  $1/a$  ва б) эксцентриситет барои селҳо ва ассотсиатсияҳо: хатти доимӣ – натиҷаҳои мо, хатти нуқтадор – маълумот аз [42]**

Ҳарчанд маълумоти мо ба метеороҳи равшани бештар дахл дорад, шакли тақсимот аз рӯи нимтири калон нисбат ба маълумоти Харьков каме ба сӯи киматҳои калонтар ғеҷиш кардааст.

Дар гистограмма ду максимум мушоҳида мешавад. Максимуми аввал барои ҳар ду маҷмӯа маълумот дар интервали 1,4–3,3 в.а. ҷойгир аст, бо максимум тақрибан 2,0 в.а. мебошад. Максимуми дуюм барои метеороҳи мо дар интервали 0,9–1 в.а. ва барои метеороҳи Харьков – тақрибан 1–1,2 в.а. аст. Ҳиссаи селҳо ва ассотсиатсияҳо бо мадорҳои гиперболикӣ 1,9% мебошад, ки эҳтимолан ба ҳатоғҳои андозагирии суръати метеороҳи вобаста аст.

Селҳо ва ассотсиатсияҳои метеорӣ бо нимтири калон  $a < 1$  в.а. 11,6% аз шумораи умумии метеороҳоро ташкил медиҳанд. Шакли тақсимот аз рӯи эксцентриситет барои метеороҳи мо ва метеороҳи мушоҳидашуда дар Харьков дар диапазони 0,8–1 мувофиқ аст. Барои метеороҳи тавсияшуда [42, 55] максимуми аввал дар интервали 0,6–0,7 ва максимуми дуюм дар интервали 0,9–1 ҷойгир аст.

Дар расми 16а тақсимои ченшудаи мадорҳо аз рӯи моилҳои мадор  $i$  барои маҷмӯае, ки дар Душанбе гирифта шудааст (хатти доимӣ) ва мушоҳидаҳо дар Харьков (хатти нуқтадор) нишон дода шудааст. Ба иттилои расм 16а, 61,4% селҳо ва ассотсиатсияҳо ҳаракати рост доранд, дар ҳоле ки метеороҳи заиф аксаран мадорҳои баръакс доранд. Ба иттилои расм 16б, дар тақсимот по масофаҳои перигелий барои ҳар ду манбаи мушоҳида се максимум ҷудо карда мешавад. Теъдоди назаррас масофаҳои перигелий дар интервали  $0,1 \leq q \leq 0,4$  в.а. (максимуми аввал) ҷамъ шудаанд. Максимуми дуюм дар тақсимот дар диапазони 0,6–0,8 в.а. ҷойгир аст.

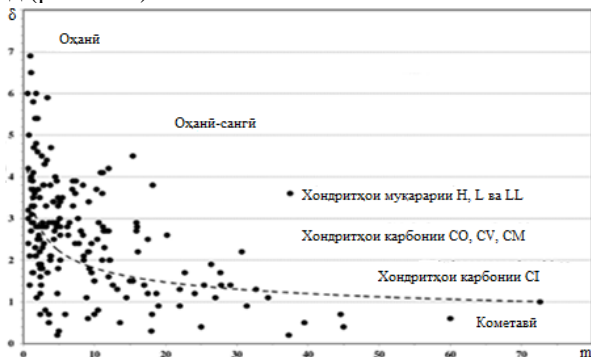


**Расми 16. – Тақсимоти мадорҳои метеороидҳои селҳо ва ассотсиатсияҳо аз рӯи а) моилӣ ва аз рӯи б) масофаи перигелий: хатти доимӣ – натиҷаҳои мо, хатти нуқтадор – маълумот аз [42]**

**Параграфи панҷуми боби панҷум** ба омӯзиши хусусиятҳои физикии метеороидҳо дар селҳо ва ассотсиатсияҳо бахшида шудааст. Докторант барои ҳар метеороиди сел ва ассотсиатсия масса ва зичӣ ҳисоб кардааст.

Қимати миёнаи массаи метеороидҳо дар селҳо ва ассотсиатсияҳо дар диапазони  $7 \cdot 10^{-4}$  то  $0,3$  г қарор доранд, дар ҳоле ки зичии онҳо дар диапазони  $0,3-7$  г/см<sup>3</sup> тағйир меёбад. Ҳамин тавр, дар 76 % селҳо ва ассотсиатсияҳо, қимати миёнаи зичии метеороидҳо дар интервали  $1-4$  г/см<sup>3</sup> мебошанд, дар 11 % селҳо ва ассотсиатсияҳо, миёнаи зичӣ дар  $4-7$  г/см<sup>3</sup> қарор дорад, инчунин дар 13 % метеороидҳо миёнаи зичӣ камтар аз  $1$  г/см<sup>3</sup> мебошад.

**Параграфи шашуми боби панҷум** ба омӯзиши табиати физикии метеороидҳои селҳои дугоник (близнецов) бахшида шудааст. Муайян карда шуд, ки зичӣ ва сохтори чирмҳои метеорӣ дар селҳои дорои манбаи умумӣ қиматҳои шабеҳ доранд. Дар асоси таҳлили қимати миёнаи масса ва зичии метеороидҳо нишон дода шуд, ки бо афзоиши массаи зарраҳо, миёнаи зичӣ коҳиш меёбад (расми 17).



**Расми 17. – Таъсири массаи –  $m$  (г.) метеороидҳо ба зичӣ –  $\delta$  (г/см<sup>3</sup>)**

Тибқи расми 17, зичии аксари метеороидҳои селҳо ва ассотсиатсияҳо

бо се типҳои хондритҳои карбонатӣ мувофиқ аст. Мушоҳидаҳои нишон медиҳанд, ки 22 гурӯҳи метеороидҳои аз моддаи кометӣ ва нисбатан ноҳамвор ташкил ёфтаанд, дар ҳоле ки танҳо 8 гурӯҳи сохтори сангию оҳани доранд.

### ХУЛОСА ВА ТАВСИЯҲО

Хулосаҳои асосии диссертатсия:

1. Ба даст овардани ифодаҳои назариявӣ, ки шаклҳои қачии ионизатсияи метеороидҳоро бо назардошти шаклҳои гуногуни аблятсия тавсиф мекунад [10-М].

2. Дар натиҷаи мушоҳидаҳои муштараки маҷмӯии фотографияӣ, спектралӣ, телевизионӣ ва радиолокатионии метеороҳо дар солҳои 1977–1980 дар Институти астрофизика муайян карда шуданд: як метеори умумӣ, ки ҳам ба таври фотографияӣ ва ҳам телевизионӣ ба қайд гирифта шудааст, як болиди радиолокатионӣ ва фотографияӣ бо маълумоти спектралӣ, 7 метеор, ки ҳамзамон ба таври фотографияӣ ва радиолокатионӣ сабт шудаанд ва 57 метеори радиотелевизионӣ [17-М; 28-М; 33-М; 47-М].

3. Тибқи натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштараки радиотелевизионӣ ҳамон як метеороҳо, суръатҳо бо ду усул чен карда шуданд: а) усули муштараки телевизионӣ-радиолокатионӣ ва б) усули радиолокатионӣ. Муайян карда шуд, суръате, ки бо усули муштарак чен шудааст, нисбат ба суръате, ки бо усули радиолокатионӣ муайян гардидааст, ба андозаи 1,5–3 км/с баландтар мебошад [34-М].

4. Бори аввал қачиҳои дурахшонӣ ва ионизатсияи ҳамон як метеороҳо, ки равшаниашон аз  $+4^m$  бештар аст, дар асоси натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштараки телевизионӣ ва радиолокатионӣ ба даст оварда шуданд. Суръати метеороҳо дар ҳудуди 14–69 км/с қарор дорад. Ҳамзамонии тағйирёбии интенсивияти шуофканиӣ ва ионизатсияи вобастагии онҳоро аз воҳиди масрафи масса дар як сония тасдиқ менамояд [6-М; 18-М].

5. Вобастагиҳои байни интенсивияти шуофканиӣ ва ионизатсияи нисбат ба суръат барои метеороҳои заиф ( $0^m \div +8^m$ ) ва дурахшон ( $-0^m \div -7,2^m$ ) муайян карда шуданд. Барои метеороҳои заиф таносуб бо афзоиши суръат бештар аз як тартиб кам мешавад. Таҷрибаи лабораторӣ нишон дод, ки тағйири таркиби химиявӣ ин таносубро аз  $-5,4$  то  $-3,6$  зиёд мекунад [29-М; 43-М].

6. Вобастагиҳои радиобузургӣ аз суръат муайян карда шуданд. Фарқ дар радиобузургӣ байни гурӯҳҳои суръатҳо  $1,7-3^m$  буд [51-М].

7. Бори аввал шкалҳои масса (коэффитсиенти ионизатсия аз суръат) барои метеороҳои заиф ва дурахшон муайян карда шуданд. Коэффитсиенти ионизатсия бо афзоиши суръат бештар аз се тартиб афзоиш меёбад [7-М].

8. Массаҳои фотометрӣ ва ионизатсионӣ барои ду гурӯҳи метеороҳо ( $0^m \div +8^m$  ва  $-0^m \div -7,2^m$ , суръат 12–69 км/с) ҳисоб карда шуданд. Мутаносибии хуб байни массаҳо, ки аз рӯи шкалаи таҳияшуда ҳисоб шудаанд, ба даст омад [7-М; 29-М; 36-М; 37-М].

9. Муайян карда шуданд параметрҳои  $P$ , ки макони баландтарин шуофкани ва ионизатсияро нисбат ба оғози ва охири из нишон медиҳанд. Муқарар гардид, ки дар нимаи аввал интензивият экспоненциалӣ меафзояд, дар нимаи дуввум ба тадриҷ кам мешавад. [20-M].

10. Тақсимои параметри  $P$  барои наслҳои гуногуни метеорӣ таҳқиқ карда шуд. Муайян гардид, ки болидҳои пайдоишашон астероидӣ дорои максимум дар фосилаи  $P = 0,7-0,8$  мебошанд. Барои наслҳои кометаӣ (навъҳои C2 ва D) ҷойивазкунии максимум мушоҳида мешавад, ки ин аз сохтори ғайрирякчинсагии метеороидҳо шаҳодат медиҳад [49-M].

11. Бори аввал усули радиолокатионии пеленгатионӣ-вақтӣ барои чен кардани радиантҳо ва суръатҳои метеорҳо ҷорӣ карда шуд, ки барои таҳлили маълумоти мушоҳидаҳои базисии радиолокатионии метеорҳо аз ҷор-панҷ нукта дар РАҲ истифода гардид. Барои 10 913 метеор: маълумоти ибтидоӣ аз плёнка бардошта шуданд; қорҳои ҳисоббарорӣ анҷом дода шуданд; координатаҳои уфуқии нуктаи оинавӣ ва азимутҳои радиантҳо муайян гардиданд; суръатҳои дифраксионӣ, масофаҳои зенитии радиантҳо ва суръатҳои пеленгатионӣ-вақтӣ чен карда шуданд; маълумоти ибтидоӣ барои ҳисобкунии координатаҳои экваториалии радиантҳо омода гардиданд; барномаи ҳисобкунии мадорҳо таҳия шуда, координатаҳои экваториалӣ ва эклиптикаии радиантҳо, инчунин координатаҳои беруназатмосферӣ, геомарказӣ ва гелиомаказии метеорҳо ҳисоб карда шуданд [1-M; 5-M; 13-M; 15-M; 22-M].

12. Усули муайянкунии маълумоти траекторияи атмосферии метеорҳо, ки аз як истгоҳ мушоҳида мешаванд, таҳия карда шуд; зичии хаттии электронӣ, бузургихои радиойӣ ва массаи метеорҳо ҳисоб карда шуданд. Танзимкунии шкалаи массаҳои радиометеорҳо дар асоси мушоҳидаҳои муштараки радиооптикий анҷом дода шуд. Бо истифода аз ин шкала, массаи 8916 радиометеор дар ҳудуди  $(5 \cdot 10^{-4} - 0,1)$  г бо ҳадди аксар тақрибан  $10^{-2}$  г ҳисоб карда шуд [1-M; 2-M; 3-M; 30-M].

13. Бори аввал Зичии радиантҳо, суръатҳо, мадорҳо ва маълумоти траекторияҳои атмосферии 8916 метеор, ки дурахшониашон аз  $+5^m$  бештар аст, тартиб дода шуд. Зич дар Маркази маълумоти метеории Иттиҳоди байналмилалӣ астрономӣ (МАС) ба қайд гирифта шуда, дар байни зичҳои қаблан нашршуда аналог надорад [1-M].

14. Тақсимои радиантҳо, суръатҳо ва элементҳои мадори метеороидҳо, ки равшаниашон аз  $+5^m$  бештар аст, таҳқиқ карда шуд. Муайян карда шуд: а) радиантҳои метеорҳо дар нимкураи шимолии осмон қариб ба таври яқсон тақсим шудаанд; б) комплекси радиолокатионии МИР-2 қобилияти ба қайд гирифтани метеорҳоро то майли  $-50^\circ$  дорад; в) тақсимои суръатҳои геомарказӣ хусусияти бимодалӣ дошта, ҳадди аксарҳо дар фосилаҳои 35–40 км/с ва 55–60 км/с мушоҳида мешаванд [1-M; 3-M].

15. Идентификатсияи селҳо ва ассотсиатсияҳои метеорӣ аз рӯи

маълумоти зичи 8916 метеор дар се марҳила анҷом дода шуд: сохтани графики тақсимоти дученака аз рӯи координатаҳои радиант; интиҳоб аз рӯи суръатҳо; ва санҷиш бо истифода аз D-критерияҳои Саутворт–Хокинс ва Йопек. Дар натиҷа 431 сел ва ассотсиатсияи метеорӣ ошкор карда шуданд, ки нисфи онҳо бори аввал бо усули радиолокатсионӣ ба қайд гирифта шудаанд [14-М; 15-М; 23-М; 27-М].

16. Механизми вайроншавии метеороидҳо омӯхта шуда, зичиҳои метеороидҳои селӣ ва спорадиқӣ муайян карда шуданд. Метеороидҳои хурд аз ҷиҳати сохтор яксонтар мебошанд. Зичтаринҳо - Геминидҳо ва  $\delta$ -Акваридҳои ҷанубӣ, камзичтаринҳо - Орионидҳо ва Леонидҳо ба ҳисоб мераванд [10-М; 12-М].

17. Тибқи тақсимоти интегралӣ чирмҳои метеорӣ аз рӯи массаҳо барои селҳои рӯзонаи  $\eta$ -Акварид,  $\alpha$ -Сетид, Писсид,  $\nu$ -Писсид, Ариетид ва селҳои шабона  $\delta$ -Акварид, Квадрантид, Геминид,  $\delta$ -Акваридҳои шимолӣ ва ҷанубӣ,  $i$ -Акварид, параметрҳои  $S$  муайян карда шуданд. Параметрҳои  $S$  аз рӯи масса ва давомнокӣ ба хубӣ мувофиқат мекунанд, ки имкон медиҳад онҳоро барои тафсири мушоҳидаҳои радиогӣ аз як истгоҳ истифода бурд [16-М].

18. Муайян карда шуд, ки селҳои  $\delta$ -Акваридҳои шимолӣ ва ҷанубӣ ва селҳои рӯзонаи  $\alpha$ -Сетид ва Писсид дорои параметри  $S$ -и яқхела мебошанд, ки ин шаҳодат медиҳад онҳо ба як роҳи метеороидӣ ва як пайдоиш тааллуқ доранд [26-М; 27-М].

**Тавсияҳо.** Натиҷаҳои бадастомада метавонанд дар соҳаҳои зерин истифода шаванд: астрономияи метеороҳо ва астрофизика, таҳқиқи тақсимоти зарраҳои метеор дар фазои атрофи Замин ва байнисайёравӣ, омӯзиши равандҳои паҳншавии мавҷҳои радиогӣ тавассути изолятсияшудаи изи метеороҳо, моделсозӣ ва пешгӯии хатари бархӯрдҳои метеороидҳои калон бо Замин, таъмини амнияти қори мохвораҳо ва воситаҳои қайҳонӣ, инчунин дар космонавтика ва космологияи Низоми офтобӣ. Хусусан:

1. Зич «Радиантҳо, суръатҳо, мадорҳо ва траекторияҳои атмосферагии 8916 радиометеороҳо, ки дар Тоҷикистон мушоҳида шуданд» марҳилаи ниҳонии таҳлили маълумоти мушоҳидавӣ ва таҷассуми усулҳои таҳлил ва муайянкунии хусусиятҳои физикӣ ва кинематикӣ зарраҳои метеорӣ мебошад. Зич барои истифода дар маркази маълумоти метеороҳои Иттиҳоди байналмилалӣ астрономӣ (МАС) ба қайд гирифта шудааст.

2. Шкалаҳои радиобузургӣ, ки дар диссертатсия таҳия шудаанд, имкон медиҳанд маълумоти радиолокатсионӣ ба мушоҳидаҳои оптикӣ ва баръакс табдил дода шаванд. Ин барои таҳлил ва тафсири маълумотҳое, ки бо таҷҳизоти гуногун (радиолокатсионӣ ва оптикӣ) бо хассосиятҳои гуногун ва дар диапозони васеи равшанӣ гирифта шудаанд, аҳамияти калон дорад.

3. Ифодаҳо ва формулаҳо, ки маҷмӯи омилҳоро (навъҳои шикастан, тағйирёбии коэффисиентҳои шакл ва ғайра) ба назар мегиранд ва ба

ташаққули қачиқои ионизатсияи метеорқо таъсир мерасонанд, метавонанд барои омӯзиши равандқои вайроншавии метеороидқо дар атмосфера ва муайян кардани хусусиятқои физикии онқо истифода шаванд.

4. Идентификатсияи селқо ва ассотсиатсияқои метеороидқо имкон медиҳад эътибори моделқои гуногуни математикӣ оид ба эволютсияи роқои метеорӣ санҷида шавад, инчунин бархӯрдқои объектқои калон бо Замин моделсозӣ ва пешгӯй карда шаванд.

5. Маълумоти мушоҳидақои муштараки радиооптикӣ метавонад барои ҳалли масъалақои геофизикӣ истифода шавад, ба монанди муайян кардани параметрқои диффузияи турбулентӣ, омӯзиши вобастагии коэффисиенти часпиши электронқо ба заррақои нейтралӣ аз суръат, таққиқи омилқои деионизатсия ва ғайра.

6. Усули таҳияшудаи ҳисобқунии масса ва зичиқои метеороидқо метавонад барои таҳлили маълумоти мушоҳидавӣ, ки аз як истғоҳ гирифта шудаанд, васеъ истифода шавад, ки ин муқим аст, зеро аксарияти мушоҳидақои радиогии метеорқо аз як нуқта ба амал меоянд.

7. Маводқои диссертатсия метавонанд барои докторантқо, аспирантқо, докталабон, магистрантқо ва донишҷӯёни курсқои болоии кафедраи астрономия ва физикаи умумӣ дар таълими курсқои махсус, инчунин дар тайёр кардани корқои дипломӣ ва илмӣ муфид бошанд.

## **НАШИРЁТҚО ДОИР БА МАВЗЌИ ДИССЕРТАСИЯ**

### *Монографияи:*

[1-М]. **Narziev, M.** Catalog of radiant's, velocities, orbits and atmospheric trajectories of radio meteors observed in Tajikistan, December 1968 - December 1969 / M. Narziev, R. P. Chebotaryov. – Dushanbe, 2019. - 1318 p.

*Мақолақои дар маҷаллақои илмӣи тавсияшудаи ҚОА-и назди*

*Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашршуда:*

[2-М]. **Нарзиев, М.** 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.

[3-М]. **Нарзиев, М.** Определение масс и плотностей метеороидов по радиолокационным наблюдениям с учётом процессов, влияющих на форму ионизационных кривых метеоров / Р. Ш. Бибарсов, М. Нарзиев, Р. П. Чеботарев // *Доклады АН ТаджССР*. – 1990. - Т. 33. - № 6. - С. 372-376.

[4-М]. **Нарзиев, М.** Плотность метеорных тел в родственных потоках / М. Нарзиев, Р. Ш. Бибарсов, Р. П. Чеботарев // *Доклады АН ТаджССР*. – 1991. - Т. 34. - № 7. - С. 412-414.

[5-М]. **Нарзиев, М.** Кинематические и физические характеристики метеороидов в майских потоках и ассоциациях / М. Нарзиев, Р. Ш. Бибарсов // *Доклады АН ТаджССР*. – 1992. - Т. 35. - № 9-10. - С. 417-420.

[6-М]. **Нарзиев, М.** Кривые свечения и ионизации метеоров по результатам параллельных телевизионных и радиолокационных наблюдений / П. Б. Бабаджанов, И. Ф. Малышев, М. Нарзиев, Р. П. Чеботарев // *Кометы и метеоры*. - 1985. - № 37. - С. 28-33.

[7-М]. **Нарзиев, М.** Масса метеороидов по результатам параллельных наблюдений. Шкала масс радиометеоров / М. Нарзиев // *Доклады АН Республики Таджикистан*. - 2003. - Т. 46. - № 9-10. - С. 4-9.

[8-М]. **Нарзиев, М.** О механизме разрушения и плотностях метеороидов по результатам совместных фото-радиолокационных и радиотелевизионных наблюдений / Н. А. Коновалова, М. Нарзиев // *Доклады АН Республики Таджикистан*. - 2008. - Т. 51. - № 4. - С. 264-270.

[9-М]. **Нарзиев, М.** Кривые блеска метеоров и определение масс метеороидов по результатам комплексных радиотелевизионных наблюдений / М. Нарзиев, И. Ф. Малышев // *Известия АН Республики Таджикистан*. - 2009. - № 4 (137). - С. 36-45.

[10-М]. **Нарзиев, М.** О механизме разрушения и физических характеристиках совместных радиооптических метеороидов / Н. А. Коновалова, М. Нарзиев // *Радиотехника*. - 2010. - № 160. - С. 118-123.

[11-М]. **Нарзиев, М.** Зависимость свечения и ионизации от скорости и химсостава метеоров / М. Нарзиев // *Радиотехника*. - 2010. - № 160. - С. 127-131.

[12-М]. **Нарзиев, М.** О дроблении и плотностях метеорных тел по данным комбинированных радиооптических наблюдений / Н. А. Коновалова, М. Нарзиев // *Вестник СибГАУ*. - Красноярск. - 2011. - Т. 6. - № 39. - С. 95-98.

[13-М]. **Нарзиев, М.** Исследование метеорных потоков и ассоциации по результатам радиолокационных наблюдений в Таджикистане / М. Нарзиев // *СибГАУ*. - Красноярск. - 2011. - Т. 6. - № 39. - С. 99-104.

[14-М]. **Нарзиев, М.** Радианты, скорости, массы и плотности метеоров в метеорных потоках и ассоциациях / М. Нарзиев // *Вестник Таджикского технического университета*. - 2013. - № 4 (24). - С. 9-16.

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

[16-М]. **Нарзиев, М.** Распределение метеорных тел по массам в некоторых метеорных потоках / М. Нарзиев // *Экологический вестник научных центров ЧЭС*. - 2013. - № 4. Т. 2. - С. 106-111.

[17-М]. **Нарзиев, М.** Некоторые результаты поиска совместных фоторадиолокационных наблюдений метеоров в Таджикистане / М. Нарзиев // *Радиотехника*. - 2016. - № 184. - С. 49-52.

[18-М]. **Нарзиев, М.** Вариации свечения и ионизации вдоль следа одних и тех же метеоров / М. Нарзиев // Радиотехника. – 2016. – № 184. - С. 53-58.

[19-М]. **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. - № 4. - Вып. 3. - С. 109-114.

[20-М]. **Narziev, M.** Physical properties of the meteoroids using simultaneous radar and optical observations / M. Narziev // Planetary and Space Science. – 2019. – Vol. 173. - № 1. – P. 42-48.

[21-М]. **Нарзиев, М.** Общность в форме распределения блеска и ионизации вдоль следа метеоров разных диапазонов интенсивностей / М. Нарзиев, Ш. Ш. Шоёкубов // Радиотехника. – 2020. – Вып. 201. – С. 72–77. doi: 10.30837/rt.2020.2.201.05

[22-М]. **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. - № 3 (51). - С. 18-21.

[23-М]. **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, L. Neslušán, 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>

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

[25-М]. **Нарзиев, М.** Атмосферные траектории и орбиты 426 радиометеоров по наблюдениям с 4-5 пунктов в ГисАО (Таджикистан) / М. Нарзиев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2022. - № 4. - С. 162-194.

[26-М]. **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. – Issue 1-2. –P. 8-12. doi: 10.17721/2227-1481.12.8-12.

[27-М]. **Нарзиев, М.** Физических свойств 8916 радиометеоров, наблюдаемых в ГисАО / М. Нарзиев, Х.Ф. Худжаназаров // Политехнический Вестник, Серия Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. –№3(63). – С.22-26.

[28-М]. **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.

[29-М]. **Нарзиев М.** Зависимость шкалы радиовеличины от скорости метеоров / М. Нарзиев // Научные труды Института астрономии РАН. – 2025. – Т. 10, № 4. – С. 267-271. – DOI 10.51194/INASAN.2025.10.4.012.

[30-М]. **Narziev, M.** Meteoroid Streams and Associations Based on Radar Observations at the Hisar Astronomical Observatory in January 1970 / M. Narziev, H. F. Khujanazarov // Advances in Space Research. – 2026, – Vol.77, – Issue 6, – P.7484-7493. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2026.01.021>.

### **Натиҷаҳои дар дигар нашриҳо вобаста ба мавзӯи диссертатсия баёнгардида:**

[31-М]. **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. – № 85. - С. 35-45.

[32-М]. **Narziev, M.** Dependences of Ratio of the Luminosity to Ionization on Velocity and Chemical Composition of Meteors / Meteoroids: The Smallest Solar System Bodies / M. Narziev // NASA/CP-2011-216469. - Breckenridge, Colorado, USA, 2011. - P. 168-173.

[33-М]. **Narziev, M.** Meteoroids Mass by Results of the combined Radio-Television observations / M. Narziev // Dust, Atmosphere and Plasma Environment of the Moon and Small Bodies (DAP-2012). - Boulder, Colorado, 2012.

[34-М]. **Нарзиев, М.** Радианты, скорости и орбиты метеорных потоков и ассоциаций по результатам радиолокационных наблюдений в Таджикистане / М. Нарзиев // Международная конференция «Околоземная астрономия»: Сборник тезисов. - Краснодар, 2013. - С. 105-106.

[35-М]. **Нарзиев, М.** Распределение метеорных тел по массам в некоторых метеорных потоках / М. Нарзиев // Международная конференция «Околоземная астрономия»: Сборник тезисов. – Краснодар, 2013. – С. 115-117.

[36-М]. **Нарзиев, М.** О результатах поиска совместных фоторадиолокационных наблюдений метеоров в Таджикистане / М. Нарзиев // Международная конференция «Околоземная астрономия». – Терскол, 2015. - С. 64-69.

[37-М]. **Нарзиев, М.** Скорость метеоров по результатам комбинированных радиотелевизионных наблюдений / М. Нарзиев // Международная конференция «Околоземная астрономия»: Сборник тезисов. – Терскол, 2015. - С. 70-75.

[38-М]. **Нарзиев, М.** Дар бораи баъзе аз параметҳои физикавии Суперсоқибан Тоҷикистон (О некоторым физическим параметрах

суперболида Таджикистан) / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров // Международная научная конференция «Роль молодых учёных в развитии науки, инноваций и технологий», посвящённая 25-летию Государственной независимости Республики Таджикистан. – Душанбе, 2016. - С. 15-18.

[39-М]. **Нарзиев, М.** Фотометрические и ионизационные массы одних и тех же ярких оптических и радиолокационных метеоров / In: Abstractbook, САММАС-2017 / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров. – Винница, Украина, 2017. - С. 65-74.

[40-М]. **Нарзиев, М.** О каталоге радиантов, скоростей, орбит и атмосферных траекторий 4500 радиометеоров, наблюдаемых в Таджикистане / М. Нарзиев, Р. П. Чеботарев // Comets, Asteroids, Meteors, Meteorits, Astroproblemes, Craters VINNUTCIA. – 2017. - С. 91-103.

[41-М]. **Нарзиев, М.** Массы параллельных радиооптических метеоров по величине интенсивности свечения и линейной электронной плотности / М. Нарзиев, Х.Ф. Худжаназаров // II Международная научно-практическая конференция «Роль молодых учёных в развитии науки, инновации и технологии». – Душанбе, 2017. - С. 146-150.

[42-М]. **Нарзиев, М.** Величины линейной электронной плотности, радиомagnitude, массы и плотности 8916 радиометеоров, зарегистрированных в ГисАО / М. Нарзиев, Т. Й. Йопек, Х.Ф. Худжаназаров // VI Международная конференция «Современные проблемы физики». – Душанбе: «ЭР-граф», 2018. - С. 293-295.

[43-М]. **Нарзиев, М.** Применение критерия конечных высот для определения плотности параллельных радиооптических метеороидов / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров // Международная научно-практическая конференция «Электроэнергетика: Проблемы и перспективы развития энергетики региона». - Душанбе, 2018. - С. 14-24.

[44-М]. **Narziev, M.** IAUMDC, version 2018 / M. Narziev [et al.] // The 1968-1969 samples of HISSAR radio-meteor data: <https://www.astro.sk/~ne/IAUMDC/PhVR2018/>

[45-М]. **Нарзиев, М.** Радианты, скорости и орбиты метеоров по результатам комбинированных радиотелевизионных наблюдений/ Нарзиев, М// МАТЕРИАЛЫ международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы астрофизики», посвященная «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)» и «80-летие Члена корр. НАНТ, д.ф.м.н., профессора Ибадинова Х.И.», Душанбе – 2024, с. 49-58.

[46-М]. **Нарзиев, М.** Ошкор намудани селхо ва ассотсияҳои метеорологии моҳи феврал / Худжаназаров Х. Ф., Нарзиев М// МАТЕРИАЛЫ международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы астрофизики», посвященная «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования

(2020-2040 годы)» и «80-летие Члена корр. НАНТ, д.ф.м.н., профессора Ибадинова Х.И.», Душанбе – 2024, С. 74-83.

[47-М]. **Нарзиев, М.** Мавқеи мушоҳидаҳои муштараки оптикӣ радиолатсионии Тоҷикистон дар таҳқиқи ҳодисаи метеорӣ/ Нарзиев М // МАТЕРИАЛЫ международной научно-практической конференции на тему «Современные проблемы астрофизики», посвященная «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040 годы)» и «80-летие Члена корр. НАНТ, д.ф.м.н., профессора Ибадинова Х.И.», Душанбе – 2024, С. 89-97 .

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

[49-М]. **Нарзиев, М.** Некоторые результаты симультанных фотографических, телевизионных, спектральных и радиолокационных наблюдений метеоров в Таджикистане / М. Нарзиев // Uzbek Journal of Modern Physics. –2025. –Т.2. – №1. – С. 42-52.

[50-М]. **Нарзиев, М.** Об особености формы кривых свечения метеороидов разных популяций и источников происхождения //Материалы II International Conference Fundamental and Applied Research in Physics, NUUZ, May 16-17, 2025, С.167.

[51-М]. **Нарзиев, М.** Физические параметры метеорных потоков и ассоциаций за декабрь / Х. Ф. Худжаназаров, М. Нарзиев // Распространение радиоволн: Труды XXIX Всероссийской открытой научной конференции, Казань, 30 июня – 04 2025 года. – Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2025. – С. 670-673. – DOI 10.26907/rwp29.2025.670-673.

[52-М]. **Нарзиев, М.** Зависимость шкалы радиовеличины от скорости метеоров / Нарзиев М. // Сборник тезисов Научно-практическая конференция с международным участием, “Околоземная астрономия – 2025”. 2 - 4 июня 2025, Москва, С.78.

#### **Адабиёти истифодашуда**

1. Brown, P. Meteorites from meteor showers: A case study of the Taurids / P. Brown, V. Marchenko, D. E. Moser, R. Weryk, W. Cooke // Meteoritics and Planetary Science. – 2013. – Vol. 48. – № 2. – P. 270-288. DOI: 10.1111/maps.12055.

2. Klumov, B. A. Collision of comet Shoemaker–Levi 9 with Jupiter: what shall we see? / B.A. Klumov, V. I. Kondaurou, A. V. Konyukhov [et al.] // Physics-Uspexhi. – 1994. – Vol. 37. – P. 577-589. DOI: org/10.1070/pu1994v037n06abeh000027.

3. Neslusan, L. The prediction of meteor showers from all potential parent comets / L. Neslusan, M. Hajdukova, D. Tomko [et al.] // Proceedings of the IMC. – Giron, 2014. – P. 1-7. DOI: org/10.48550/arXiv.1410.1307.
4. 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. – Vol. 2695. – P. 6074.
5. Popova, O. P. Chelyabinsk Airburst, Damage Assessment, Meteorite Recovery, and Characterization / O. P. Popova, P. Jenniskens, V. Emel'yanenko [et al.] // Science express. – 2013. – Vol. 342. – P. 1069-1073.
6. Лебединец, В. Н. Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры / В. Н. Лебединец. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. 246с.
7. Нарзиев, М. Зависимость свечения и ионизации от скорости и химсостава метеоров / М. Нарзиев // Радиотехника. – 2010. – № 160. – С. 127-131.
8. Dijkema, T. J. Simultaneous broadband radio and optical emission of meteor trains imaged by LOFAR / AARTFAAC and CAMS / T. J. Dijkema, C. Bassa, M. Kuiack [et al.] // WGN Journal of the IMO. – 2021. – Vol. 49. –No 5. – P. 137-141.
9. Edwards, W. N. Infrasonic Observations of Meteoroids: Preliminary Results from a Coordinated Optical-radar-infrasound Observing Campaign / W. N. Edwards, P. G. Brown, P. J. Weryk, D. O. Revelle // Earth, Moon, and Planets. – 2008. – Vol. 102. – P. 221-229.
10. Michell, R. G. Simultaneous optical and radar observations of meteor head-echoes utilizing SAAMER / R. G. Michell, D. Janches, M. Samara [et al.] // Planetary and Space Science. – 2015. – Vol. 118. – P. 95-101.
11. Fujiwara, Y. Simultaneous observations of meteors with the radar and TV systems / Y. Fujiwara, M. Ueda, T. Nakamura, M. Tsutsumi // Earth, Moon, and Planets. – 1995. – V. 68. - P. 277-282.
12. Nishimura, K. High sensitivity radar-optical observations of faint meteors / K. Nishimura, T. Sato, T. Nacamura, M. Ueda. - 2001. – P. 1877-1884.
13. Kohoutek, L. Comparison of radar and optical meteor observations / L. Kohoutek, J. Grygar, Z. Plavcová, J. Kvízov'a // Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia. – 1970. – Vol. 21. – P. 18-28.
14. Li, G. Z. First results of optical meteor and meteor trail irregularity from simultaneous Sanya radar and video observations / G. Z. Li, B. Q. Ning, A. Li [et al.] // Earth and Planetary Physics. – 2018. – Vol. 2. – P. 15-21. DOI: 10.26464/epp2018002.
15. Pecina, P. Simultaneous optical and radar observations of meteors: another criterion of commonness / P. Pecina, P. Koten, R. Stork [et al.] // ESA Special Publication. - 2001. - No 495. - P. 404-408.

16. Pupillo, G. Radio-Optical observations of meteors by BLM radar: preliminary results, Mem. / G. Pupillo, G. Cevolani [et al.] // *Suppléments à la Société Astronomique Italienne*. – 2007. - Vol. 11. – P. 100-102.
17. Ohsawa, R. Relationship between Radar Cross Section and Optical Magnitude based on Radar and Optical Simultaneous Observations of Faint Meteors / R. Ohsawa, A. Hirota, K. Morita [et al.] // *Planetary & Space Science*. – 2020. – Vol. 194. – P. 105011. DOI: 10.1016/j.pss.2020.105011.
18. Weryk, R. J. Simultaneous radar and video meteors / R. J. Weryk // *Electronic Thesis and Dissertation Repository*. - 2012. - <https://ir.lib.uwo.ca/etd/1021>.
19. Weryk, R. J. Simultaneous radar and video meteors. - II: Photometry and ionization / R. J. Weryk, P. G. Brown // *Planetary and Space Science*. – 2013. – V. 81. – P. 32-47.
20. Cook, A. F. Combined observations of meteors by Iimage-orthicon television camera and multy-station radar / A. F. Cook, G. Forti, R. E. McCrosky [et al.] // *Evolutionary and physical properties of meteoroids*. IAU - Colloquium. NASA SP-319. – 1973. – P. 23-44.
21. Verniani, F. An Analysis of the physical parameters of 5759 faint radio meteors / F. Verniani // *Journal of Geophysical Research*. – 1973. – Vol. 78. – No 35. – P. 8429-8462.
22. Куликова, Н. В. Кометы и метеороидные комплексы / Н. В. Куликова, В. И. Тищенко // *Международная конференция «Околосемная астрономия»*. – Терскол, 2007. – С. 52.
23. Pokorný P. An orbital meteoroid stream survey using the Southern Argentina Agile Meteor Radar (SAAMER) based on a wavelet approach/ Pokorný P, Janches D, Brown P. G, Hormaechea J. L. // *Icarus*, – 2017, – Vol. 290. – P. 162-182.
24. Бибарсов, Р. III. Массы и плотности метеорных тел, порождающих метеоры +1 ÷ +4 звёздной величины / Р. III. Бибарсов, Р. П. Чеботарев // *Астрономический вестник*. – 1975. - Т. 9. - № 2. - С. 94-101.
25. Бабаджанов, П. Б. О форме короткопериодических метеорных роёв / П. Б. Бабаджанов, Ю. В. Обрубов // *Доклады АН ТаджССР*. – 1987. – Т. 30. – № 8. - С. 486-491.
26. Бабаджанов, П. Б. О форме короткопериодических метеорных роёв / П. Б. Бабаджанов, Ю. В. Обрубов // *Доклады АН ТаджССР*. – 1987. – Т. 30. – № 8. - С. 486-491.
27. Michell, R. G. Simultaneous optical and radar observations of meteor head-echoes utilizing SAAMER / R. G. Michell, D. Janches, M. Samara [et al.] // *Planetary and Space Science*. – 2015. – Vol. 118. – P. 95-101.
28. Michell, R. G. Simultaneous optical and radar measurements of meteors using the Poker Flat Incoherent Scatter Radar / R. G. Michell // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. – 2010. – Vol. 72. – P. 1212-1220.

29. 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.] // *Journal of Geophysical Research*, – 2012. – Vol. 117. – P. A09323. DOI: 10.1029/2012JA017800.

30. 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.

31. Reddy, K. C. Geminid Meteor shower activity 2003-2005 as observed by Gadanki radar / K. C. Reddy, P. Venkata, D. Kumar, G. Yellaiah // *Geminid // Planetary and Space Science*. – 2008. – Vol. 56. – P. 1014- 1022.

32. Rendtel, J. Letter - Meteoroid streams, meteor showers / J. Rendtel // *WGN, Journal of the International Meteor Organization*. – 2014. – P. 155-156.

33. 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. DOI: 10.1016/J.ICARUS.2018.02.032.

34. Андреев, Г. В. Структурные характеристики метеорных потоков по радионаблюдениям на  $\lambda=10$  м / В кн.: Метеорное вещество в межпланетном пространстве / Г. В. Андреев, Л. Н. Рубцов, Г. О. Рябова. - Казань: Изд-во КГУ, 1982. – С. 129-130.

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

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

37. Jenniskens, P. The established meteor showers as seen in video meteoroid orbit surveys / P. Jenniskens, P. S. Gural, D. Holman / In: M. Gyssens, P. Roggemans // 31st IMC. - La Palma, 2012-2013. – P. 38-43.

38. Davies, J. G. Radio echo method measurements of the orbits of faint sporadic meteors / J. G. Davies, J. C. Gill // *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* – 1960. – V. 121. – No 5. – P. 437-452.

39. 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.

40. Gartrell, G. Southern hemisphere meteor stream determinations / G. Gartrell, W. G. Elford // *Austral. J. Phys.* – 1975. – Vol. 28. - № 5. – P. 591-620.

41. 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. - SP150. - P. 201-211.

42. Кашеев, Б. Л. Метеорные явления в атмосфере Земли / Б. Л. Кашеев, В. Н. Лебединец, М. Ф. Лагутин. - М.: Наука, 1967. - 260 с

43. Корпусов, В. Н. Измерение скоростей и радиантов метеоров на волне 12 метров / В. Н. Корпусов // *Труды ИЭМ*. - 1970. - № 16. - С. 88-99.

44. Бабаджанов, П. Б. Результаты измерения радиантов метеоров на экваторе / П. Б. Бабаджанов, Б. Л. Кашеев, Н. В. Новоселова [и др.] // *Доклады АН СССР*. - 1974. - Т. 218. - № 2. - С. 308-311.

45. Mathews, J. D. Extensive meteoroid fragmentation in V/UHF radar meteor observations at Arecibo Observatory / J. D. Mathews, S. J. Briczinski, A. Malhotra, J. Cross // *Geophysical Research Letters*, - 2010. - Vol. 37. - P. L04103. DOI:10.1029/2009GL041967.

46. 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. DOI: 10.1016/J.ICARUS.2018.02.032.

47. 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, N. Swarnalingam, A. Murphy, B. Vandepeer, B. Fuller, D. C. Fritts, C. Brunini // *Astrophysical Journal* - 2015. - V. 809. - P. 1-36. - DOI: 10.1088/0004-637X/809/1/36.

48. Kelly, J. D. Initial results from Poker flat incoherent scatter radar (PFISR) / J. D. Kelly, C. J. Heinselman // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. - 2009. - Vol. 71. - No 6-7. - P. 635-635.

49. Malhotra, A. Study on Various Meteoroid Disintegration Mechanisms as Observed from the Resolute Bay Incoherent Scatter Radar (RISR) / A. Malhotra, J. D. Mathews // *Proceedings of the Meteoroids 2010 Conference held in Breckenridge*. - Colorado, USA, 2011. - P. 297-302.

50. Mathews, J. D. Extensive meteoroid fragmentation in V/UHF radar meteor observations at Arecibo Observatory / J. D. Mathews, S. J. Briczinski, A. Malhotra, J. Cross // *Geophysical Research Letters*. - 2010. - Vol. 37. - P. L04103. DOI: 10.1029/2009GL041967.

51. Мак-Кроски, Р. Е. Болиды Прерийной сети. - I. Общие сведения и орбиты / Р. Е. Мак-Кроски, Ц. И. Шао, А. Позен // *Метеоритика*. - 1978. - № 37. - С. 44-59.

52. Цеплеха, З. Болиды Европейской сети. I Фотографические программы: их прошлое и будущее / З. Цеплеха // *Метеоритика*. - 1978. - № 37. - С. 60-68.

53. Сводный каталог элементов орбит и кривых блеска метеоров, сфотографированных в Институте астрофизики АН Таджикистана (Душанбе) / Отв. ред. П. Б. Бабаджанов. – Душанбе: Дониш, 2006. – 208 с.

54. Jacchia, L. G. An analysis of the atmospheric trajectories of 413 precisely reduced photographic meteors / L.G. Jacchia, F. Verniani, R. E. Briggs // *Smithson. Contribs Astrophys.* – 1967. – Vol. 10. – No 1. – P. 81-231.

55. Sarma, T. Double - Station observations of 454 TV meteors. - I. Trajectories / T. Sarma, J. Jones // *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia.* – 1985. – Vol. 36. – P. 9-24.

56. Гартман, Н. А. Кривые ионизации, массы и плотности 276 метеорных тел по радиолокационным наблюдениям с 5 пунктов / Н. А. Гартман, Р. П. Чеботарев // *Кометы и метеоры.* – 1982. – № 32. - С. 23-36.

57. Нарзиев, М. Атмосферные траектории и орбиты 426 радиометеоров по наблюдениям с 4-5 пунктов в ГисАО (Таджикистан) / М. Нарзиев // *Вестник Таджикского национального университета.* – 2021. – № 4. – С. 162-194.

58. Popova, O. Very low strength of interplanetary meteoroids and small asteroids / O. Popova, J. Borovicka, W.K. Hartman [et al.] // *Meteoritics & Planetary Science.* – 2011. – Vol. 46. – P. 1525-1550.

59. 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. – № 55. – С. 25-28.

60. Чеботарев, Р. П. Возможности пеленгационно-временного радиометода определения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров / Р. П. Чеботарев // *Кометы и метеоры.* – 1976. - № 24. - С. 19-27.

61. Бабаджанов, П. Б. Телевизионные наблюдения метеоров в Душанбе / П. Б. Бабаджанов, И. Ф. Малышев // *Астрономический циркуляр.* – 1979. – № 1071. - С. 5-6.

62. Бабаджанов, П. Б. Свечение и ионизация метеоров / П. Б. Бабаджанов // *Доклады АН СССР.* – 1969. - Т. 184. – № 4. - С. 800-802.

63. Davies, J. G. Combined photographic and radio echo observations of meteors / J. G. Davies, J. S. Greenhow, J. E. Hall *Proceedings of the Royal Society.* – 1959. – Vol. 253. – No 1272. – P. 121-129.

64. Znoil, V. The relation between meteor optical brightness and properties of the ionized trail. - III. Double Station Observation / V. Znoil, J. Hollan, M. Simek // *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia.* – 1985. – Vol. 36. – No 1. – P. 44-56.

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

66. Slattery, J. C. Ionization probability of iron particles at meteor velocities / J. C. Slattery, J. F. Friichtenicht // *Astrophysical Journal*. – 1967. – Vol. 147. – P. 235-244.
67. Tarnecki, L. K. Mass estimation from simultaneous optical and radar meteor observations / L. K. Tarnecki, R. A. Marshall, P. Brown, G. Stober // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, – 2024. – Vol. 129. – P. 1–14.
68. Нарзиев, М. Кривые блеска метеоров и определение масс метеороидов по результатам комплексных радиотелевизионных наблюдений / М. Нарзиев, И. Ф. Малышев // *Известия АН Республики Таджикистан*. – 2009. – № 4 (137). - С. 36-45.
69. 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.
70. Тохтасьев, В. С. Вероятность ионизации в метеорных следах / В. кн.: Метеорное распространение радиоволн / В. С. Тохтасьев. – Казань: Изд-во КГУ, 1970. – № 7. - С. 33-49.
71. Бабаджанов, П. Б. Плотность и пористость метеороидов / П. Б. Бабаджанов, Г. И. Кохирова // *Доклады АН Республики Таджикистан*. – 2006. - Т. 49. - № 6. - С. 493-500.
72. Лебединец, В. Н. Оценка плотности дробящихся метеорных тел по наблюдаемому торможению метеоров / В. Н. Лебединец // *Доклады АН СССР*. – 1986. – Т. 291. – № 2. - С. 313-316.
73. Бенюх, В. В. О минералогической плотности метеорных тел в некоторых потоках / В. В. Бенюх // *Астрономический вестник*. – 1974. – Т. 8. – № 2. - С. 96-101.
74. Jenniskens, P. On Removing Showers from the IAU Working List of Meteor Showers / P. Jenniskens, T. J. Jopek, D. Janches [et al.] // *Planetary and Space Science*. – 2020. – Vol. 182. – P. 104821. DOI: 10.1016/j.pss.2019.104821/
75. Park, R. S. The JPL Planetary and Lunar Ephemerides DE440 and DE431 / R. S. Park, W. M. Folkner, J. G. Williams, D. H. Boggs // *The Astronomical Journal*. – 2021. – Vol. 161. – P. 1-15.

## АННОТАЦИЯ

диссертации Нарзиева Мирхусена на тему: «Исследования физико-кинематических свойств метеороидов по результатам комбинированных радиолокационных и оптических наблюдений», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.42. Астрометрия и небесная механика.

**Ключевые слова:** метеороид, свечение, ионизация, радиотелевизионный, фоторадиолокационный, спектральный, массы, плотности, орбиты, D-критерии, потоки, ассоциации.

**Основной целью диссертации** является исследование вариации интенсивности свечения и ионизации вдоль следа и изучение отношения их интенсивностей от скорости; измерение радиантов, скоростей и орбит метеоров R-TV и ПВМ, составление каталога радиометеоров ярче  $+5^m$  и выявление потоков и ассоциаций метеоров.

### **Научная новизна полученных результатов.**

1. В результате анализа данных комплексных РОИМ **выявлены:** 8 совместных фото-радиолокационных метеоров (причём метеор № 770954 имеет спектр), один фототелевизионный, и 57 радиотелевизионных метеоров.

2. **Исследована** вариация блеска и ионизации вдоль следа одних и тех же метеоров, определены шкалы радиовеличин и масс, рассчитаны фотометрическая и ионизационная массы и выявлены общность и различия между кривыми блеска и ионизации метеоров.

3. **Измерены** впервые скорости метеоров: а) комбинированным R-TV и б) ПВМ. Установлено, что скорость метеоров, измеренная по результатам комбинированных Р-ТВ, на 1.5-3 км/с больше, чем скорость, тех же метеоров, измеренная радиолокационными методами.

4. **Создан** впервые новый Каталог радиантов, скоростей, орбит и данных атмосферных траекторий 8916 радиометеоров ярче  $+5^m$  и идентифицированы 431 метеорных потоков и ассоциаций, где около половины выявлены впервые.

**Возможности использования результатов.** Полученные в диссертации выражения и формулы могут быть использованы для определения массы и плотности метеороидов, наблюдаемых с одной станции (ныне радиолокационные наблюдения, в основном, проводятся с одного пункта). Составленный диссертантом каталог радиометеоров, выявленные потоки и ассоциации метеороидов могут быть использованы для проверки достоверности модельных задач формирования метеорных роёв, потоков и ассоциаций, прогноза столкновения крупных объектов с планетой Земля и т.д.

## АННОТАТСИЯ

диссертасияи Нарзиев Мирхусен дар мавзуи: «Таҳқиқи хусусиятҳои физикӣ–кинематикӣи метеороидҳо аз рӯи натиҷаҳои мушоҳидаҳои муштаракӣи радиолокатионӣ ва оптикӣ», ки барои дарёфти дараҷаи илмӣи доктори илмҳои физика–математика, аз рӯи ихтисоси 1.3.42. Астрометрия ва механикаи осмон.

**Калидвожаҳо:** метеороид, шуофканӣ, ионизатсия, радиотелевизионӣ, фоторадиолокатионӣ, спектралӣ, массаҳо, зичи, мадор, D-критерия, сел, ассотсиатсия.

**Ҳадафи асосии диссертатсия** таҳқиқи тағйирёбии интенсивияти шуофканӣ ва ионизатсия дар тӯли изи метеор, омӯзиши вобастагии интенсивияти онҳо аз суръат, ченкунии радиантҳо, суръатҳо ва мадорҳои метеороҳо бо усулҳои R-TV ва ПВРМ, тартиб додани каталоги радиометеороҳои аз  $+5^m$  дурахшонтар ва ошкор кардани селҳо ва ассотсиатсияҳои метеороҳо мебошад.

### **Навоари илмӣи натиҷаҳо:**

1. Тибқи таҳлили маълумоти комплекси РОНМ муайян карда шуданд: 8 метеори муштаракӣи фото–радиолокатионӣ (аз ҷумла, метеор №770954 бо спектр), як метеори фото–телевизионӣ ва 57 метеори радиотелевизионӣ.

2. Тағйирёбии дурахшонӣ ва ионизатсия дар тӯли изи ҳамон метеороҳо омӯхта шуд; шкалаҳои радиобузургӣ ва массаҳо муайян карда шуданд; массаҳои фотометрӣ ва ионизатионӣ ҳисоб карда шуда, умумият ва фарқиятҳои байни қачаҳои дурахшонӣ ва ионизатсияи метеороҳо ошкор гардиданд.

3. Суръати метеороҳо бори аввал чен карда шуд: а) бо усули муштаракӣи R-TV, б) бо усули ПВРМ. Муайян карда шуд, ки суръати метеороҳо, ки бо усули муштаракӣи R-TV чен шудааст, 1,5–3 км/с баландтар аз суръати ҳамон метеороҳо бо усулҳои радиолокатионӣ мебошад.

4. Бори аввал зичи радиантҳо, суръатҳо, мадорҳо ва маълумоти траекторияҳои атмосферагии 8916 радиометеороҳои аз  $+5^m$  равшантар тартиб дода шуд ва муайян карда шуданд 431 сел ва ассотсиатсияи метеороҳо, ки тақрибан нисфи онҳо бори аввал ошкор гардиданд.

**Имкониятҳои истифодаи натиҷаҳо.** Формулаҳо ва ифодаҳои пешниҳодшуда метавонанд барои муайян кардани масса ва зичии метеороидҳо, ки аз як истоғ мушоҳида мешаванд, истифода шаванд (акнун аксарияти мушоҳидаҳои радиолокатионӣ аз як нукта ба амал меоянд). Зичи радиометеороҳо, инчунин ошкор кардани селҳо ва ассотсиатсияҳои метеороидҳо метавонанд барои санҷиши эътибори моделҳои таҳаввули тудайи метеорӣ, селҳо ва ассотсиатсияҳо, пешгӯии бархӯрдҳои объектҳои калон бо Замин ва дигар масъалаҳои астрономӣ ва астрофизикӣ истифода шаванд.

## ANNOTATION

of the dissertation by Mirhusen Narziev on the topic “Investigation of the Physical and Kinematic Properties of Meteoroids Based on Combined Radiolocation and Optical Observations”, submitted for the degree of Doctor of Physical and Mathematical Sciences, specialty 1.3.42. Astrometry and Celestial Mechanics.

**Keywords:** meteoroid, luminosity, ionization, radio–television, photoradiolocation, spectral, masses, densities, orbits, D-criteria, meteor streams, associations.

**The main objective** of the dissertation is the study of the variation in luminosity and ionization along meteor trails and the investigation of the relationship of their intensities with velocity, the measurement of meteors’ radiants, velocities, and orbits using R-TV and PVRM, the compilation of a catalog of meteors brighter than +5<sup>m</sup>, and the identification of meteor streams and associations.

### **Scientific novelty of the obtained results:**

1. Analysis of complex RONM data revealed: 8 joint photo–radiolocation meteors (including meteor No. 770954 with spectral data), 1 photo–television meteor, and 57 radio–television meteors.

2. The variation of luminosity and ionization along the trails of the same meteors was investigated; radio magnitude and mass scales were determined; photometric and ionization masses were calculated, and the commonalities and differences between the luminosity and ionization curves of meteors were identified.

3. Meteor velocities were measured for the first time: a) by the combined R-TV method, b) by the PVRM method. It was established that the velocities measured by the combined R-TV method are 1.5–3 km/s higher than those measured by radiolocation methods for the same meteors.

4. A new catalog of radiants, velocities, orbits, and atmospheric trajectory data of 8916 meteors brighter than +5<sup>m</sup> was created for the first time, and 431 meteor streams and associations were identified, approximately half of which were detected for the first time.

### **Applications of the results:**

The formulas and expressions obtained in the dissertation can be used to determine the mass and density of meteoroids observed from a single station (currently, most radiolocation observations are conducted from a single point). The compiled catalog of meteors, as well as the identified meteor streams and associations, can be applied to verify the reliability of model tasks for the formation of meteor swarms, streams, and associations, as well as to forecast collisions of large objects with Earth, among other applications.