

УДК: 523.53:523.682:523.683

DOI: 10.65599/III4900

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИАНТОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ И АССОЦИАЦИЙ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ГИССАРСКОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Х.Ф. Нурзода^{1,2}, М. Нарзиев¹, М.Н. Латипов¹

¹Институт астрофизики Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан

²Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В работе представлены результаты анализа радиолокационных наблюдений метеоров, выполненных в Гиссарской астрономической обсерватории в 1969–1970 гг. Методом пеленгационно-временной редукции определено более 6,5 тыс. индивидуальных орбит метеороидов, на основе которых исследованы их радиантные и орбитальные характеристики. Проведён анализ орбитальных характеристик зарегистрированных метеороидов с целью выявления и классификации групп метеорного вещества в околоземном пространстве. В результате идентифицировано 276 групп метеороидов, распределённых по обоим небесным полушариям. Среди них 86 групп отнесены к метеорным потокам, значительная часть которых представлена в базе данных Международного астрономического союза (МАС), что подтверждает достоверность проведённой идентификации. Наряду с известными метеорными потоками выявлены 85 ассоциаций и 105 новых групп, которые могут представлять интерес для дальнейшего уточнения структуры и происхождения метеороидных комплексов. Анализ распределений эксцентриситетов, наклонений орбит и значений постоянной Тиссерана показал, что существенная часть исследованных метеороидов характеризуется кометоподобными орбитами. Полученные закономерности в целом согласуются с результатами оптических исследований метеорного вещества. Проведённый анализ позволил получить статистически обоснованную картину распределения метеороидных групп и подтвердил информативность радиолокационных наблюдений для выявления метеорных потоков и ассоциаций. Полученные результаты дополняют существующие сведения о метеорных потоках и указывают на необходимость дальнейшего и независимого подтверждения природы выявленных новых групп.

Ключевые слова: радиолокационные наблюдения, метеорные потоки, метеорные ассоциации, радианты метеоров, элементы орбит, метеороиды.

ТАҲЛИЛИ ТАҚСИМОТИ РАДИАНТҲО ВА ЭЛЕМЕНТҲОИ МАДОРИ СЕЛҲО ВА АССОТСИАЦИЯҲОИ МЕТЕОРӢ ДАР АСОСИ МУШОҲИДАҲОИ РАДИОЛОКАТСИОНИИ РАСАДҲОНАИ АСТРОНОМИИ ҲИСОР

Х.Ф. Нурзода^{1,2}, М. Нарзиев¹, М.Н. Латипов¹

¹Институт астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

²Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола натиҷаҳои таҳлили мушоҳидаҳои радиолокатсионии метеороҳ, ки солҳои 1969–1970 дар Расадхонаи астрономии Ҳисор гузаронида шудаанд, пешниҳод гардидаанд. Бо истифода аз усули редуксияи пеленгационӣ-вақтӣ зиёда аз 6,5 ҳазор мадори инфиродии метеороидҳо муайян карда шуда, дар асоси онҳо хусусиятҳои радиантӣ ва мадории онҳо таҳлил карда шудаанд. Хусусиятҳои мадории метеороидҳои ба қайд гирифташуда бо мақсади муайян ва тасниф намудани гурӯҳҳои моддаи метеорӣ дар фазои наздизаминӣ таҳлил карда шуданд. Дар натиҷа 276 гурӯҳи метеороидҳо, ки дар ҳар ду нимкураи осмонӣ тақсим шудаанд, муайян карда шуданд. Аз ҷумла, 86 гурӯҳ ба селҳои метеорӣ мансуб доништа шуданд, ки қисми назарраси онҳо дар пойгоҳи маълумоти Иттиҳоди байналмилалӣ астрономӣ (ИБА) мавҷуданд ва ин эътиמודнокии натиҷаҳои ошкоршударо тасдиқ мекунанд. Дар баробари селҳои метеорӣ маълум, 85 ассотсиатсия ва 105 гурӯҳи нав муайян карда шуданд, ки метавонанд барои таҳқиқоти минбаъдаи соҳтор ва пайдоиши комплексҳои метеороидӣ аҳамият дошта бошанд. Таҳлили тақсимои эксцентриситет, майлҳои мадорӣ ва кинематикӣ параметри Тиссеран нишон дод, ки қисми назарраси метеороидҳои таҳқиқшуда дорои мадорҳои кометавӣ мебошанд. Қонуниятҳои ошкоршуда дар маҷмӯъ бо натиҷаҳои таҳқиқоти оптикӣ моддаи метеорӣ мувофиқат мекунанд. Таҳлили гузаронидашуда имкон дод, ки тасвири аз ҷиҳати омӯри асоснокӣ тақсимои гурӯҳҳои метеороидӣ ба даст оварда шуда, самаранокии мушоҳидаҳои радиолокатсионӣ барои муайян намудани селҳо ва ассотсиатсияҳои метеорӣ тасдиқ карда шаванд. Натиҷаҳои бадастомада маълумоти мавҷударо оид ба селҳои метеорӣ пурра намуна, зарурати таҳқиқоти минбаъда ва тасдиқи мустақили табиати гурӯҳҳои нави муайяншударо нишон медиҳанд.

Калидвожаҳо: мушоҳидаҳои радиолокатсионӣ, селҳои метеорӣ, ассотсиатсияҳои метеорӣ, радиантҳои метеороҳ, элементҳои мадор, метеороидҳо.

ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF RADIANTS AND ORBITAL ELEMENTS OF METEOR STREAMS AND ASSOCIATIONS BASED ON RADAR OBSERVATIONS OF THE HISAR ASTRONOMICAL OBSERVATORY

^{1,2}H.F. Nurzoda, ¹M. Narziev, ¹M.N. Latipov

¹Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

²Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This paper presents the results of radar observations of meteors conducted at the Hissar Astronomical Observatory in 1969–1970. Using the bearing-time reduction method, more than 6,500 individual meteoroid orbits were determined, providing a basis for analyzing their radiant distribution and orbital characteristics. The orbital characteristics of the recorded meteoroids were analyzed to identify and classify groups of meteoric matter in near-Earth space. As a result, 276 meteoroid groups distributed across both celestial hemispheres were identified. Of these, 86 groups were classified as meteor showers, a significant proportion of which are listed in the International Astronomical Union (IAU) database, confirming the reliability of the identification results. In addition to known meteor showers, 85 associations and 105 new groups were identified, which may be of interest for further investigation of the structure and origin of meteoroid complexes. Analysis of the distributions of orbital eccentricities, inclinations, and Tisserand parameter values showed that a substantial proportion of the investigated meteoroids are characterized by comet-like orbits. The observed patterns are generally consistent with the results of optical studies of meteoric matter. The analysis provided a statistically substantiated picture of the distribution of meteoroid groups and confirmed the effectiveness of radar observations for identifying

meteor showers and associations. The results supplement existing knowledge of meteor showers and indicate the need for further investigation and independent confirmation of the nature of the newly identified groups.

Keywords: radar observations, meteor streams, meteor associations, meteor radiant, orbital elements, meteoroids.

Введение (Introduction)

Метеорные потоки и ассоциации являются важными объектами современной метеорной астрономии, поскольку их исследование позволяет изучать структуру, происхождение и динамическую эволюцию малых тел Солнечной системы [1–3]. Особое значение имеет исследование пространственно-кинематических и орбитальных характеристик метеорных тел, позволяющее выявлять группы объектов с близкими динамическими параметрами и устанавливать их возможные генетические связи [3].

Для определения радиантов и скоростей метеоров широко применяются оптические и радиолокационные методы наблюдений. Радиолокационный метод, получивший интенсивное развитие с 1950-х годов, позволяет регистрировать слабые метеорные тела, недоступные оптическим наблюдениям, и тем самым существенно расширяет статистическую базу исследований [4].

В настоящей работе исследуются радианты, геоцентрические скорости и орбитальные элементы метеорных тел. Совместный анализ этих характеристик позволяет выявлять метеорные потоки и ассоциации, исследовать их динамические свойства и оценивать возможное происхождение [5–9].

На основе радиолокационных наблюдений зимнего периода 1969–1970 гг. проанализированы более 6,5 тыс. индивидуальных метеорных орбит и идентифицированы 276 групп метеороидов. Особое внимание уделено пространственному распределению радиантов, эксцентриситетам, перигелийным расстояниям и наклонениям орбит, а также классификации выделенных групп по их динамическим характеристикам.

Материалы и методы (Materials and methods)

Использование радиолокационных методов наблюдений позволяет регистрировать слабые метеоры, недоступные для оптических методов, что существенно расширяет статистическую базу исследований [4]. Это особенно важно при исследовании компоненты с малой массой метеорного вещества, которая играет существенную роль в формировании и эволюции метеорных потоков и ассоциаций.

В работе исследуется распределение радиантов и орбитальных элементов метеорных тел, что соответствует современным методам исследования метеорных потоков [5, 6]. Комплексное рассмотрение этих характеристик позволяет установить не только индивидуальные особенности отдельных потоков, но и выявить общие закономерности их пространственного распределения и формирования.

Распределение радиантов метеорных потоков характеризуется выраженной неоднородностью по небесной сфере. Радианты преимущественно сосредоточены в отдельных областях, что может быть связано с особенностями орбит родительских тел, а также с динамическим воздействием гравитационных возмущений планет [2, 7]. Наличие групп метеорных потоков с близкими положениями радиантов может указывать на их динамическую связь или возможное общее происхождение. Подобные закономерности согласуются с представлениями о существовании метеорных комплексов и групп потоков, связанных общими источниками.

Результаты анализа показали, что метеорные частицы характеризуются достаточно широким диапазоном геоцентрических скоростей. При этом в распределении скоростей прослеживаются отдельные области повышенной концентрации значений. Наблюдаемая неоднородность может быть обусловлена присутствием метеорного вещества, связанного с различными источниками и находящегося на орбитах с неодинаковыми динамическими характеристиками. В общем случае более высокие скорости чаще характерны для метеороидов, связанных с кометными источниками, тогда как частицы с меньшими скоростями могут быть связаны преимущественно с астероидным веществом [3, 8]. Поэтому скорость целесообразно рассматривать не изолированно, а совместно с другими параметрами орбиты.

Сопоставление больших полуосей, эксцентриситетов и наклонов орбит позволило выявить заметное разнообразие динамических характеристик исследуемых потоков. Для части потоков характерны орбиты с достаточно большими значениями эксцентриситета, что согласуется с возможной кометной природой соответствующего метеорного вещества [1, 9]. Наряду с ними выявлены потоки, орбиты которых отличаются меньшими эксцентриситетами. Такие особенности допускают их связь с астероидными источниками, хотя окончательное определение происхождения только по одному орбитальному параметру является недостаточным.

Для уточнения принадлежности метеорных групп проводилось совместное рассмотрение их радиантов, скоростей и орбитальных элементов. Близость этих характеристик позволяет объединять отдельные группы в более крупные динамические комплексы и выявлять возможные связи между ними [5]. Такой подход дает возможность перейти от анализа отдельных метеорных потоков к исследованию их взаимосвязей и возможного общего происхождения. Полученные результаты показывают, что одновременное использование радиантов, скоростей и орбитальных параметров является более информативным при исследовании структуры метеорного комплекса.

В исследовании проведён анализ данных по 276 метеорным потокам и ассоциациям. Методика и основные этапы их идентификации подробно представлены в работах [10–14]. Полученный массив данных представляет собой значительный статистический материал, позволяющий провести комплексное исследование радиантов, скоростей и орбитальных характеристик метеорного вещества. Результаты проведённого анализа имеют существенное научное значение для изучения структуры, динамики и возможного происхождения метеорных потоков, а также могут быть использованы при дальнейшем исследовании метеорных комплексов и ассоциаций. Они могут быть использованы при моделировании метеорных потоков, оценке метеорной опасности для космических аппаратов, а также при планировании наблюдательных программ [6]. Кроме того, полученные данные могут служить основой для дальнейших исследований динамики и эволюции метеорного вещества.

В настоящее время существуют два широко распространённых метода измерения радиантов и скоростей метеоров, которые позволяют рассчитывать орбитальные параметры индивидуальных метеорных тел. Это оптический и радиолокационный методы. С 50-х годов прошлого века радиолокационный метод получил значительное развитие, и в настоящее время его широко используют для измерения радиантов и скоростей индивидуальных метеоров [15].

Что касается распределения метеорных тел в межпланетном пространстве, которые представляют опасность столкновения с Землёй и движутся по различным орбитам, их изучение является целесообразной целью. Наблюдения метеоров в атмосфере Земли свидетельствуют о том, что только те метеоры, чьи расстояния перигелия $q \leq 1$ а.е., афелия $Q \geq 1$ а.е., могут попасть в окрестности Земли [16].

Результаты (Results)

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

При включении идентифицированных нами групп в список базы данных ЦМД МАС (ta3.sk/IAU), мы классифицируем их как метеорный поток. Если идентифицированная группа метеороидов отсутствует в списке базы данных МАС, мы классифицируем ее как ассоциацию или просто группу метеороидов. В результате оказалось, что среди 276 групп определены 86 метеорных потоков, 85 ассоциаций и 105 групп метеороидов. Среди установленных (86 потоков) метеорных потоков 22 потоков входят в список подтвержденных в базе данных МАС, 60 потоков входят в рабочий список базы данных МАС и 1 поток в список кандидатов для подтверждения в базе данных МАС, а 3 поток в список, удалённый в базе данных МАС. Мы обнаружили 85 ассоциации, которые совпадают с результатами, полученными в работах [16–24]. Они отнесены к новым потокам, а оставшиеся 105 групп метеороидов являются новыми группами.

Распределение метеорных потоков и ассоциаций по небесной сфере, представленное на рисунке 1, демонстрирует, что большинство выявленных групп сосредоточено в северном полушарии. Вместе с тем, были обнаружены и несколько южных потоков и ассоциаций, что указывает на более широкое пространственное распределение метеорного вещества.

Анализ распределения метеороидных групп по склонению показал следующее:

- 190 групп имеют склонение в диапазоне от $+5^\circ$ до $+75^\circ$, что свидетельствует об их преобладании в северной небесной полусфере;
- 44 группы расположены вблизи небесного экватора и имеют склонение от -5° до $+5^\circ$, что соответствует экваториальной области небесной сферы;

Оставшиеся 42 группы имеют склонение в диапазоне от -35° до -5° , что соответствует южной небесной полусфере.

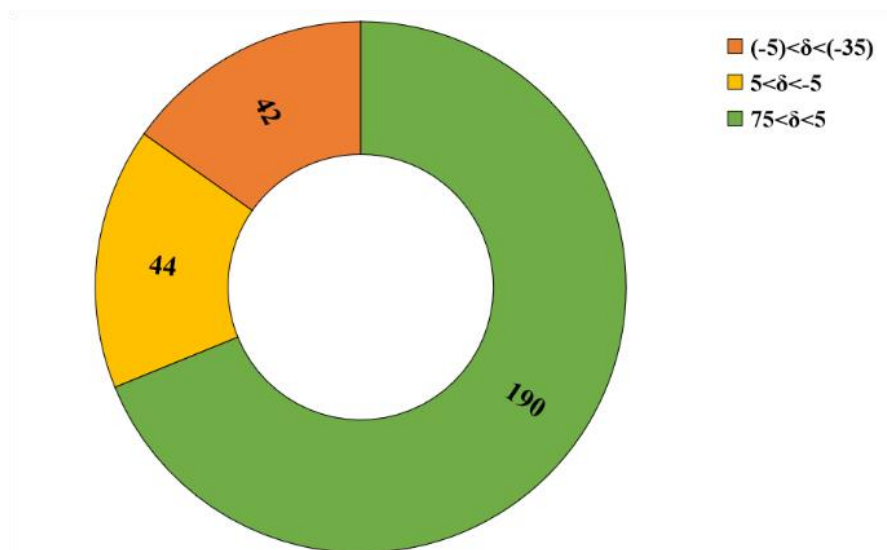


Рисунок 1 – Распределение метеорных потоков и ассоциаций по двум небесным полушариям и в районе экватора
Figure 1 – Distribution of meteor showers and associations across the two celestial hemispheres and the equatorial region

Такое распределение позволяет сделать вывод о характере пространственной активности метеорных потоков и ассоциаций, выявленных по результатам радиолокационных наблюдений. Преобладание северных потоков связано с географическим положением наблюдательной станции и особенностями орбитальных элементов родительских тел. Наличие южных потоков указывает на возможность изучения метеорного вещества в южной части небесной сферы и подтверждает важность дальнейших наблюдений для полного картирования метеорной активности.

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

Двухмерное распределение радиантов по прямому восхождению и склонению показывает, что метеорные потоки и ассоциации, выявленные по результатам радионаблюдений в ГисАО за зимний сезон года, расположены по обоим небесным полушариям. Причем из рисунка 3 следует, что большинство групп метеороидов расположены в северном полушарии. Южные метеорные потоки и ассоциации имеют склонения более -30° .

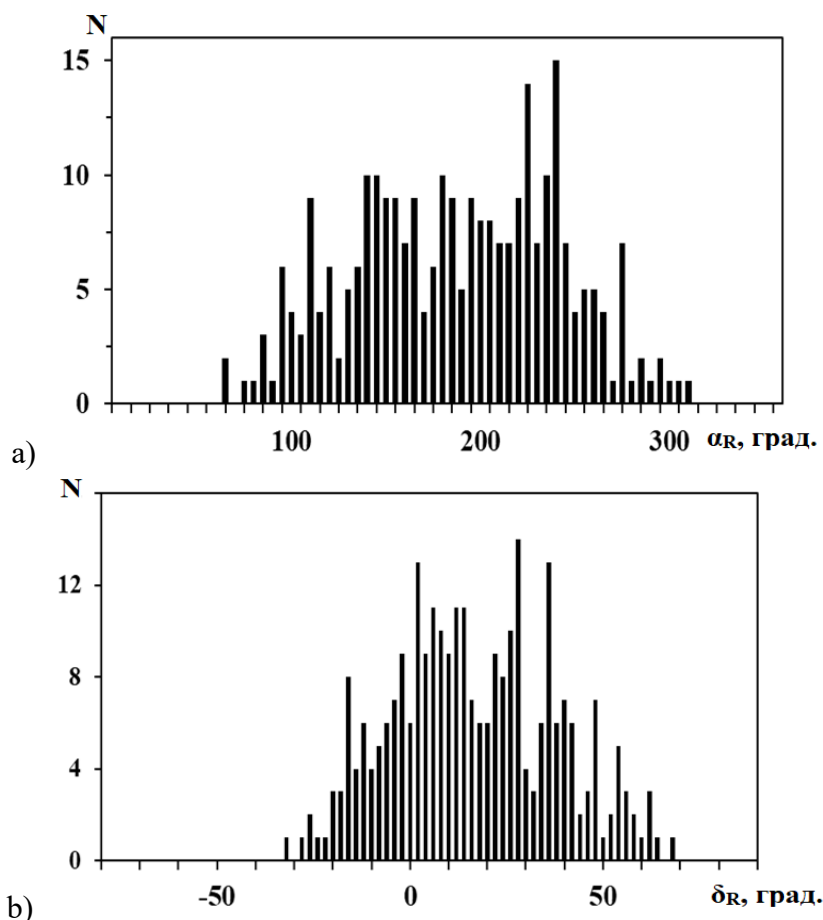


Рисунок 2 – Распределение групп метеороидов, включающих метеорных потоков и ассоциаций по а) прямому восхождению и б) склонению в геоцентрической системе координат
 Figure 2 – Distribution of meteoroid groups, including meteor showers and associations, as a function of a) right ascension and b) declination in the geocentric coordinate system

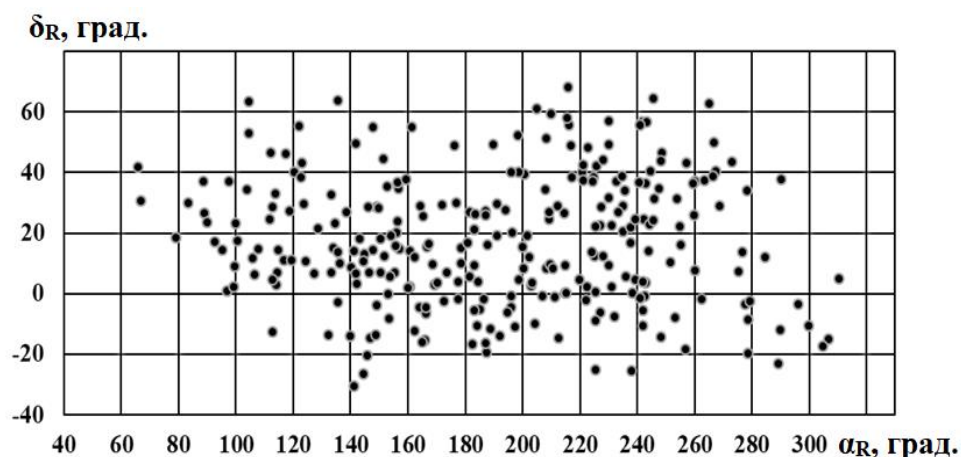


Рисунок 3 – Двухмерное распределение радиантов (по прямому восхождению и склонению) для 276 групп метеороидов
 Figure 3 – Two-dimensional distribution of radiant (right ascension and declination) for 276 identified meteoroid groups

Радиолокационные и оптические наблюдения метеоров ярче +5m показывают близкие распределения эксцентриситетов орбит метеорных тел. Орбитальный эксцентриситет, характеризующий степень вытянутости орбиты, демонстрирует постепенное увеличение числа объектов в диапазоне значений от 0.2 до 0.8 (рисунок 4). При этом основная часть выявленных групп

метеороидов (67%) имеет эксцентриситеты в интервале $0.8 \leq e < 1.0$, что свидетельствует о преобладающем вкладе кометных метеороидов, движущихся по сильно вытянутым эллиптическим орбитам. Наблюдаемое возрастание числа орбит с увеличением эксцентриситета в диапазоне $0.2 \leq e < 0.8$ может быть связано, как с повышением вероятности пересечения орбиты Земли, так и с динамической эволюцией метеороидных частиц под воздействием планетных возмущений. Лишь около 0.008% полученных орбит являются гиперболическими ($e > 1$), что, вероятнее всего, обусловлено погрешностями определения скоростей и орбитальных элементов метеоров.

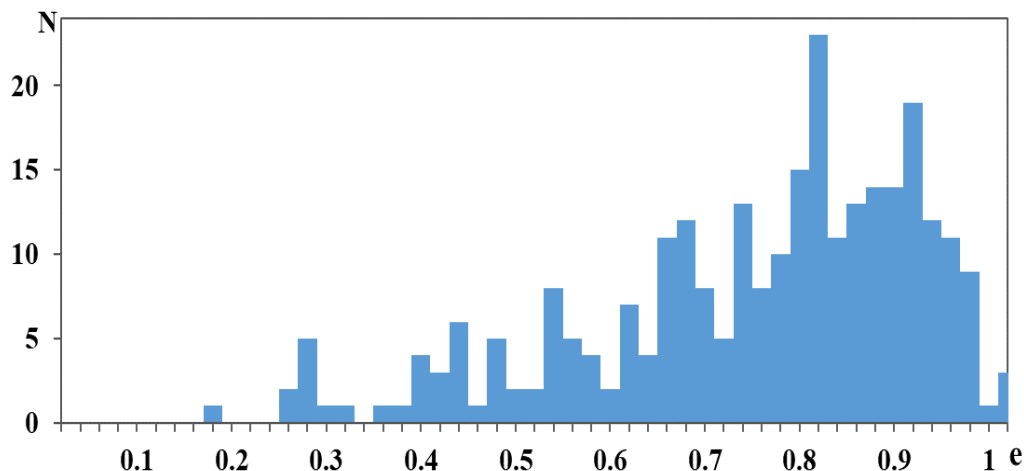


Рисунок 4 – Распределение эксцентриситетов e орбит для выявленных групп метеороидов
Figure 4 – Distribution of orbital eccentricities e for the identified meteoroid groups

Вероятность столкновения метеорных тел с Землёй существенно зависит от параметров их орбит и оказывает заметное влияние на наблюдаемые распределения орбитальных элементов, прежде всего перигелийных расстояний и наклонов. Анализ распределения орбит по перигелийному расстоянию (q), полученного по результатам радиолокационных измерений метеоров в ГисАО, выявил наличие четырёх локальных максимумов функции распределения (рисунок 5).

Перигелийные расстояния орбит обнаруженных групп метеороидов охватывают широкий диапазон значений – от 0.08 до 1.0 а.е., при этом распределение не содержит ярко выраженного глобального максимума. Наиболее заметные концентрации орбит наблюдаются в интервалах $q \approx 0.15 - 0.25$ а.е., $0.40 - 0.45$ а.е. и $0.60 - 0.70$ а.е., а также вблизи $q = 1$ а.е. Последний максимум обусловлен селекционным эффектом наблюдений, поскольку для регистрации метеоров их орбиты должны пересекать орбиту Земли или проходить в непосредственной близости от неё. Наличие нескольких локальных максимумов свидетельствует о неоднородности метеороидной популяции и может быть связано с существованием различных источников метеорного вещества. В целом полученное распределение отражает как разнообразие родительских тел, так и сложный характер динамической эволюции метеороидов в межпланетном пространстве.

На рисунке 6 представлено распределение орбит выявленных групп метеороидов по углу наклона орбиты (i). Анализ показывает, что наклоны орбит распределены неравномерно по всему диапазону значений от 0° до 180° . Наибольшее число орбит сосредоточено при малых наклонениях ($i < 25^\circ$), тогда как в интервале $80^\circ < i < 140^\circ$ наблюдается заметное уменьшение их количества. Такое преобладание орбит с малыми наклонениями обусловлено как особенностями происхождения метеороидов, так и действием астрономической селекции, поскольку вероятность встречи метеорного тела с Землёй пропорциональна $\cos i$.

Максимум распределения при $i < 25^\circ$ свидетельствует о преобладающем вкладе метеороидов, связанных с астероидами главного пояса и короткопериодическими кометами, орбиты которых расположены вблизи плоскости эклиптики. Напротив, в диапазоне $80^\circ < i < 140^\circ$ число орбит существенно уменьшается, что связано с меньшим количеством родительских тел, обладающих высоконаклонёнными и ретроградными орбитами, характерными преимущественно для долгопериодических комет. В результате доля соответствующих метеороидов в наблюдаемой выборке оказывается значительно ниже. Полученное распределение отражает как влияние наблюдательной селекции, так и особенности пространственного распределения источников метеорного вещества в Солнечной системе.

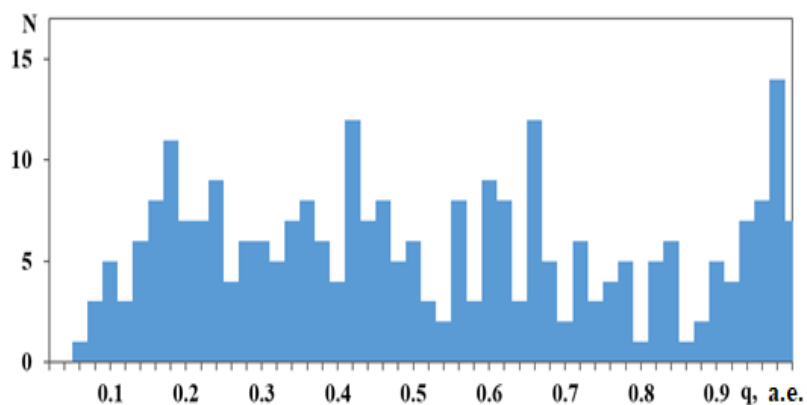


Рисунок 5 – Распределение перигелийного расстояния q орбит для выявленных групп метеороидов
 Figure 5 – Distribution of perihelion distances q of the orbits of the identified meteoroid groups

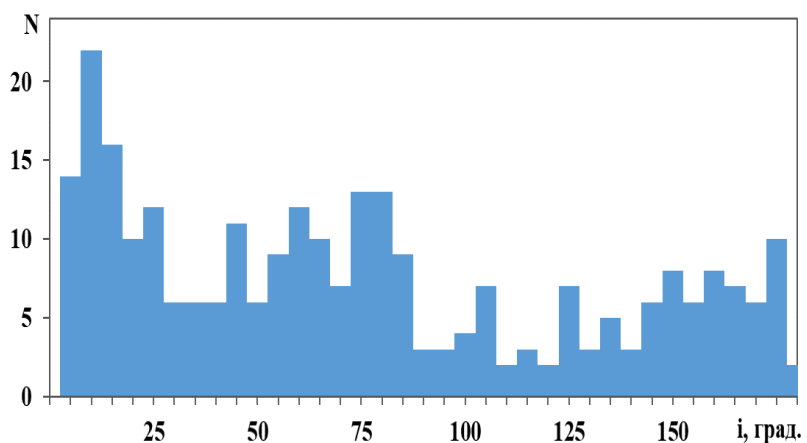


Рисунок 6 – Распределение наклонов орбит i для выявленных групп метеороидов
 Figure 6 – Distribution of orbital inclinations i for the identified meteoroid groups

Для определения типа орбит, помимо эксцентриситета и наклона, используется постоянная Тиссерана T_j . Если её значение удовлетворяет условию $T_j < 3.12$, то орбита классифицируется как кометоподобная, а если $T_j > 3.12$, то она относится к астероидному типу. Согласно рисунку 7, 50% потоков и ассоциаций движутся по кометоподобным орбитам. Несмотря на это, по значению постоянной Тиссерана большинство этих объектов имеют кометное происхождение (рисунок 7).

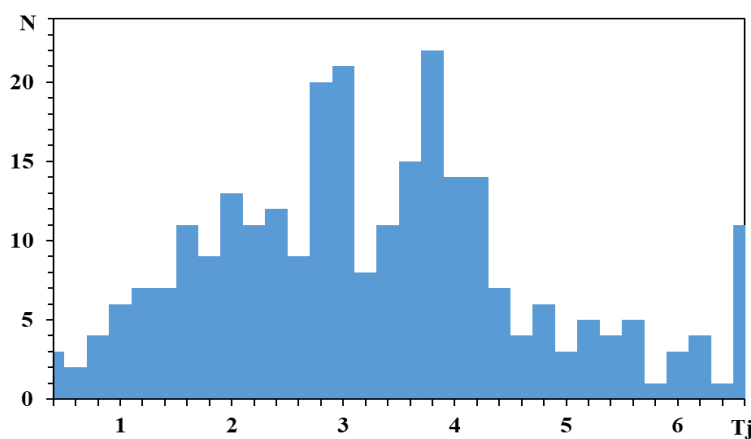


Рисунок 7 – Распределение постоянной Тиссерана T_j для выявленных групп метеороидов
 Figure 7 – Distribution of the Tisserand parameter T_j for the identified meteoroid groups

Обсуждение (*Discussions*)

Полученные в результате редукции радиолокационных наблюдений данные позволяют существенно расширить представления о пространственно-динамической структуре метеороидного вещества. На основе более 6,5 тыс. индивидуальных орбитальных решений выделено 276 групп метеороидов, включая метеорные потоки, ассоциации и неотожествлённые группы. Распределение радиантов по небесной сфере неоднородно, с заметным преобладанием северных радиантов (рис. 1–3). Это может быть связано с геометрией наблюдений, положением радиолокационной станции и селекционными эффектами.

Анализ орбитальных элементов показывает, что значительная часть групп характеризуется большими эксцентриситетами и сравнительно малыми наклонениями (рис. 4–6), что согласуется с возможным кометным происхождением части метеороидного вещества. При этом наблюдаемое преобладание орбит с малыми наклонениями может частично объясняться условиями регистрации метеоров. В распределении перигелийных расстояний выявлены несколько областей концентрации, которые могут соответствовать различным динамическим популяциям родительских тел.

Классификация по параметру Тиссерана показывает, что около половины исследованных потоков и ассоциаций имеют орбитальные характеристики, близкие к кометным (рис. 7). Сопоставление с результатами предыдущих исследований [16–24] подтвердило соответствие значительной части выявленных ассоциаций ранее известным образованиям.

Вместе с тем значительное число неотожествлённых групп требует дальнейшего изучения и сопоставления с каталогами IAU MDC и орбитами потенциальных родительских тел. Полученные результаты расширяют имеющиеся данные о структуре метеороидного комплекса и выделяют группы, перспективные для последующего динамического исследования.

Таким образом, в исследуемой выборке получено около 6,5 тыс. орбит метеорных тел, вызывающих появление метеоров ярче $+5^m$. Их анализ показал значительное разнообразие орбитальных и динамических характеристик. Были выявлены орбиты с $a < 1$ а.е., почти круговые орбиты, а также некоторое количество орбит с низкими эксцентриситетами и большими наклонами. Тем не менее, большинство орбит все еще относились к двум упомянутым типам кометных орбит.

Открытие двух новых типов орбит мелких метеорных тел имеет важное значение для изучения происхождения и эволюции метеорного вещества. Две группы кометных орбит связаны между собой, поскольку возмущения со стороны Юпитера и Сатурна могут перевести кометы с орбит типа «а» на орбиты типа «б». Орбиты типа «в» почти не встречаются среди более крупных тел в Солнечной системе и не являются производными от орбит типа «б». Время жизни метеорных тел на короткопериодических орбитах очень мало по сравнению с возрастом в Солнечной системе; следовательно, метеорные тела не могли образоваться на орбитах типа «в». Предположительно, значительная часть мелких метеорных тел образуется на орбитах очень больших размеров. Под воздействием сил торможения (эффект Пойнтинга-Робертсона, воздействие солнечных корпускулярных потоков, сопротивление межпланетной среды и др.) орбиты метеорных тел постепенно уменьшаются, тем быстрее, чем меньше масса тел. В этом процессе в течение определенного промежутка времени орбита становится близкой к орбите Юпитера (или Сатурна), и метеорное тело может испытывать тесные сближения с Юпитером (или Сатурном). Для крупных метеорных тел этот промежуток времени имеет большую продолжительность, и вероятность того, что за это время метеорное тело будет захвачено Юпитером, переброшено на орбиту типа «б» или выброшено из Солнечной системы, велика. Орбиты мелких метеорных тел уменьшаются значительно быстрее, и для них вероятность пройти «барьер Юпитера» (или Сатурна) значительно больше.

К основным достоинствам работы следует отнести большой объём анализируемого материала, комплексный подход к исследованию, а также использование радиолокационных данных, обладающих высокой точностью. Полученные результаты хорошо согласуются с современными представлениями о природе метеорных потоков и вносят существенный вклад в развитие метеорной астрономии.

Заключение (*Conclusions*)

Проведённый анализ 276 групп метеороидов, выявленных по данным радиолокационных наблюдений, позволил получить статистически обоснованную картину распределения метеорного вещества в околоземном пространстве. Установлено, что значительная часть исследуемых групп (86) относится к метеорным потокам, причём существенная доля из них уже представлена в базе данных Международного астрономического союза (МАС), что подтверждает достоверность полученных

результатов. Одновременно выявлено большое количество ассоциаций и ранее неотожествлённых групп (105) как новых групп, требующих дальнейшего изучения, что свидетельствует о продолжающемся процессе пополнения каталога метеорных потоков.

В результате проведённого исследования установлено, что метеороидная популяция характеризуется значительным разнообразием радиантов и орбитальных характеристик. Выявленная асимметрия распределения радиантов в основном определяется условиями наблюдений, тогда как особенности эксцентриситетов, наклонов и параметра Тиссерана указывают на существенную долю метеороидов, связанных с кометными источниками. Полученные данные расширяют сведения о структуре метеорных потоков и ассоциаций и показывают перспективность радиолокационного метода для их дальнейшей идентификации и изучения.

Рецензент: Бахромзод Р. – к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Физико-технического института имени С.У. Умарова НАНТ.

Литература

1. Peña-Asensio, E. Statistical Equivalence of Metrics for Meteor Dynamical Association / E. Peña-Asensio, J. M. Sánchez-Lozano // *Advances in Space Research*. — 2024. — Vol. 74, No. 2. — P. 1073–1089. — DOI: 10.1016/j.asr.2024.05.005.
2. Ďurišová, S. Independent Identification of Meteor Showers from the EDMOND and the Search for Their Parent Bodies / S. Ďurišová, J. Tóth, M. Hajduková // *Planetary and Space Science*. — 2023. — Vol. 236. — Art. 105752. — DOI: 10.1016/j.pss.2023.105752.
3. Hajduková, M. On the Parent Bodies of Meteor Showers / M. Hajduková, S. Ďurišová, L. Neslušan, T. J. Jopek, R. Rudawska // *Asteroids, Comets, Meteors Conference 2023*. — 2023. — LPI Contribution No. 2851. — Abstract No. 2368.
4. Ceplecha, Z. Meteor Phenomena and Bodies / Z. Ceplecha, J. Borovička, W. G. Elford [et al.] // *Space Science Reviews*. — 1998. — Vol. 84. — P. 327–471.
5. Vida, D. The Global Meteor Network — Methodology and First Results / D. Vida, P. S. Gural, P. G. Brown [et al.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2021. — Vol. 506, No. 4. — P. 5046–5074. — DOI: 10.1093/mnras/stab2008.
6. Moorhead, A. V. Meteor Shower Radiant Dispersions in Global Meteor Network Data / A. V. Moorhead, D. Vida, P. G. Brown [et al.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2021. — Vol. 508, No. 1. — P. 326–342. — DOI: 10.1093/mnras/stab2620.
7. Neslušan, L. The Meteoroid Stream of Comet 109P/Swift-Tuttle, Perseids, and Further Related Meteor Showers / L. Neslušan, M. Hajduková // *Icarus*. — 2022. — Vol. 382. — Art. 115015. — DOI: 10.1016/j.icarus.2022.115015.
8. Ďurišová, S. Independent Identification of Meteor Showers from the EDMOND and the Search for Their Parent Bodies / S. Ďurišová, J. Tóth, M. Hajduková // *Planetary and Space Science*. — 2023. — Vol. 236. — Art. 105752. — DOI: 10.1016/j.pss.2023.105752.
9. Peña-Asensio, E. Statistical Equivalence of Metrics for Meteor Dynamical Association / E. Peña-Asensio, J. M. Sánchez-Lozano // *Advances in Space Research*. — 2024. — Vol. 74, No. 2. — P. 1073–1089. — DOI: 10.1016/j.asr.2024.05.005.
10. Худжаназаров, Х. Ф. 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.
11. Худжаназаров, Х. Ф. Идентификация потоков и ассоциаций радиометеоров за вторую половину января 1970 г. / Х. Ф. Худжаназаров // *Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции*. — 2025. — № 1 (69). — С. 16–23.
12. Нарзиев, М. Январские метеорные потоки и ассоциации по результатам радиолокационных наблюдений в ГисАО / М. Нарзиев, Х. Ф. Худжаназаров, Т. Й. Йопек // *Доклады Национальной академии наук Таджикистана*. — 2023. — Т. 66, № 9–10. — С. 550–560.
13. 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, No. 6. — P. 7484–7493. — DOI: 10.1016/j.asr.2026.01.021.
14. Хучаназаров, Х. Ф. Ошкор намудани селҳо ва ассотсиатсияҳои метеории моҳи феврал / Х. Ф. Хучаназаров, М. Нарзиев // *Современные проблемы астрофизики : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020–2040 годы)»*. — Душанбе, 2024. — С. 73–84. — ISBN 978-99985-46-49-3.
15. Лебединец, В. Н. Пыль в верхней атмосфере и космическом пространстве. Метеоры / В. Н. Лебединец. — Л. : Гидрометеиздат, 1980. — 246 с.
16. Кашеев, Б. Л. Метеорные явления в атмосфере Земли / Б. Л. Кашеев, В. Н. Лебединец, М. Ф. Лагутин. — М. : Наука, 1967. — 260 с.

17. Лебединец, В. Н. Потоки радиометеоров / В. Н. Лебединец, В. Н. Корпусов, А. К. Соснова // Физика верхней атмосферы : труды ИЭМ. — 1972. — Т. 34, № 1. — С. 88–171.
18. Sekanina, Z. Statistical Model of Meteor Streams. IV. A Study of Radio Streams from the Synoptic Year / Z. Sekanina, C. Miller // *Icarus*. — 1976. — Vol. 27, No. 2. — P. 265–321.
19. Narziev, M. Physical and Kinematic Characteristics of Meteoroids Producing Bright Radio Meteors / M. Narziev // *The Meteoroids 2013 : Proceedings of the Astronomical Conference Held at A. M. University, Poznań, Poland, August 26–30, 2013* / eds. T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams. — Poznań : A. M. University Press, 2014. — P. 163–176.
20. Терентьева, А. К. Исследования метеоров. Малые метеорные рои / А. К. Терентьева. — М. : Наука, 1966. — С. 62–132.
21. Sekanina, Z. Statistical Model of Meteor Streams. III. Stream Search Among 19303 Radio Meteors / Z. Sekanina, J. Cook, T. Harris // *Icarus*. — 1973. — Vol. 18, No. 2. — P. 253–284.
22. Terentjeva, A. K. Fireball Streams / A. K. Terentjeva // *WGN, Journal of the International Meteor Organization*. — 1989. — Vol. 17, No. 6. — P. 242–245.
23. Rudawska, R. New Meteor Showers Identified in the CAMS and SonotaCo Meteoroid Orbit Surveys / R. Rudawska, P. Jenniskens // *The Meteoroids 2013 : Proceedings of the Astronomical Conference Held at A. M. University* / ed. T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams. — Poznań, 2014. — P. 217–224.
24. Rudawska, R. Independent Identification of Meteor Showers in EDMOND Database / R. Rudawska, P. Matlovič, J. Tóth, L. Kornoš // *Planetary and Space Science*. — 2015. — Vol. 118. — P. 38–47. — DOI: 10.1016/j.pss.2015.07.011.

References

1. Peña-Asensio, E. Statistical Equivalence of Metrics for Meteor Dynamical Association / E. Peña-Asensio, J. M. Sánchez-Lozano // *Advances in Space Research*. — 2024. — Vol. 74, No. 2. — P. 1073–1089. — DOI: 10.1016/j.asr.2024.05.005.
2. Ďurišová, S. Independent Identification of Meteor Showers from the EDMOND and the Search for Their Parent Bodies / S. Ďurišová, J. Tóth, M. Hajduková // *Planetary and Space Science*. — 2023. — Vol. 236. — Art. 105752. — DOI: 10.1016/j.pss.2023.105752.
3. Hajduková, M. On the Parent Bodies of Meteor Showers / M. Hajduková, S. Ďurišová, L. Neslušan, T. J. Jopek, R. Rudawska // *Asteroids, Comets, Meteors Conference 2023*. — 2023. — LPI Contribution No. 2851. — Abstract No. 2368.
4. Ceplecha, Z. Meteor Phenomena and Bodies / Z. Ceplecha, J. Borovička, W. G. Elford [et al.] // *Space Science Reviews*. — 1998. — Vol. 84. — P. 327–471.
5. Vida, D. The Global Meteor Network — Methodology and First Results / D. Vida, P. S. Gural, P. G. Brown [et al.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2021. — Vol. 506, No. 4. — P. 5046–5074. — DOI: 10.1093/mnras/stab2008.
6. Moorhead, A. V. Meteor Shower Radiant Dispersions in Global Meteor Network Data / A. V. Moorhead, D. Vida, P. G. Brown [et al.] // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. — 2021. — Vol. 508, No. 1. — P. 326–342. — DOI: 10.1093/mnras/stab2620.
7. Neslušan, L. The Meteoroid Stream of Comet 109P/Swift-Tuttle, Perseids, and Further Related Meteor Showers / L. Neslušan, M. Hajduková // *Icarus*. — 2022. — Vol. 382. — Art. 115015. — DOI: 10.1016/j.icarus.2022.115015.
8. Ďurišová, S. Independent Identification of Meteor Showers from the EDMOND and the Search for Their Parent Bodies / S. Ďurišová, J. Tóth, M. Hajduková // *Planetary and Space Science*. — 2023. — Vol. 236. — Art. 105752. — DOI: 10.1016/j.pss.2023.105752.
9. Peña-Asensio, E. Statistical Equivalence of Metrics for Meteor Dynamical Association / E. Peña-Asensio, J. M. Sánchez-Lozano // *Advances in Space Research*. — 2024. — Vol. 74, No. 2. — P. 1073–1089. — DOI: 10.1016/j.asr.2024.05.005.
10. Khujanazarov, H. F. Meteor Streams and Associations Identified from Radio Observations at the Hisar Astronomical Observatory in December 1969 / H. F. Khujanazarov, M. Narziev // *Bulletin of the Tajik National University. Series of Natural Sciences*. — 2022. — No. 1. — P. 140–154.
11. Khujanazarov, H. F. Identification of Streams and Associations of Radio Meteors during the Second Half of January 1970 / H. F. Khujanazarov // *Polytechnical Bulletin. Series: Intellect. Innovation. Investment*. — 2025. — No. 1 (69). — P. 16–23.
12. Narziev, M. January Meteor Streams and Associations Based on Radar Observations at the Hisar Astronomical Observatory / M. Narziev, H. F. Khujanazarov, T. J. Jopek // *Reports of the National Academy of Sciences of Tajikistan*. — 2023. — Vol. 66, No. 9–10. — P. 550–560.
13. 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, No. 6. — P. 7484–7493. — DOI: 10.1016/j.asr.2026.01.021.
14. Khujanazarov, H. F. Identification of Meteor Streams and Associations in February / H. F. Khujanazarov, M. Narziev // *Modern Problems of Astrophysics : proceedings of the International Scientific and Practical Conference, dedicated to the “Twentieth Anniversary of the Study and Development of Natural, Exact and Mathematical Sciences in Science and Education (2020–2040)”*. — Dushanbe, 2024. — P. 73–84. — ISBN 978-99985-46-49-3.
15. Lebedinets, V. N. Dust in the Upper Atmosphere and Outer Space. Meteors / V. N. Lebedinets. — Leningrad : Gidrometeoizdat, 1980. — 246 p.
16. Kashcheev, B. L. Meteor Phenomena in the Earth's Atmosphere / B. L. Kashcheev, V. N. Lebedinets, M. F. Lagutin. — Moscow : Nauka, 1967. — 260 p.

17. Lebedinets, V. N. Radio Meteor Streams / V. N. Lebedinets, V. N. Korpusov, A. K. Sosnova // *Physics of the Upper Atmosphere : Proceedings of IEM.* — 1972. — Vol. 34, No. 1. — P. 88–171.
18. Sekanina, Z. Statistical Model of Meteor Streams. IV. A Study of Radio Streams from the Synoptic Year / Z. Sekanina, C. Miller // *Icarus.* — 1976. — Vol. 27, No. 2. — P. 265–321.
19. Narziev, M. Physical and Kinematic Characteristics of Meteoroids Producing Bright Radio Meteors / M. Narziev // *The Meteoroids 2013 : Proceedings of the Astronomical Conference Held at A. M. University, Poznań, Poland, August 26–30, 2013* / eds. T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams. — Poznań : A. M. University Press, 2014. — P. 163–176.
20. Terentjeva, A. K. Meteor Studies. Small Meteor Showers / A. K. Terentjeva. — Moscow : Nauka, 1966. — P. 62–132.
21. Sekanina, Z. Statistical Model of Meteor Streams. III. Stream Search Among 19303 Radio Meteors / Z. Sekanina, J. Cook, T. Harris // *Icarus.* — 1973. — Vol. 18, No. 2. — P. 253–284.
22. Terentjeva, A. K. Fireball Streams / A. K. Terentjeva // *WGN, Journal of the International Meteor Organization.* — 1989. — Vol. 17, No. 6. — P. 242–245.
23. Rudawska, R. New Meteor Showers Identified in the CAMS and SonotaCo Meteoroid Orbit Surveys / R. Rudawska, P. Jenniskens // *The Meteoroids 2013 : Proceedings of the Astronomical Conference Held at A. M. University* / eds. T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams. — Poznań, 2014. — P. 217–224.
24. Rudawska, R. Independent Identification of Meteor Showers in EDMOND Database / R. Rudawska, P. Matlovič, J. Tóth, L. Kornoš // *Planetary and Space Science.* — 2015. — Vol. 118. — P. 38–47. — DOI: 10.1016/j.pss.2015.07.011.

Сведения об авторах:

Нурзода Хабибджон Файзали, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ассистент, Институт астрофизики Национальной академии наук Таджикистана, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID: 0000-0003-2009-0237. E-mail: habibjon_2012@mail.ru.

Нарзиев Мирхусен, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт астрофизики Национальной академии наук Таджикистана. ORCID: 0009-0008-5665-0754. E-mail: mirhusseyn_narzi@mail.ru.

Латипов Манучехр Нурахмадович, научный сотрудник, Институт астрофизики Национальной академии наук Таджикистана. E-mail: manu90_09@mail.ru.

Маълумот оид ба муаллифон:

Нурзода Ҳабибҷон Файзали, номзади илмҳои физикаю математика, ходими калони илмӣ, ассистент, Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими. ORCID: 0000-0003-2009-0237. E-mail: habibjon_2012@mail.ru.

Нарзиев Мирхусен, номзади илмҳои физикаю математика, ходими пешбари илмӣ, Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. ORCID: 0009-0008-5665-0754. E-mail: mirhusseyn_narzi@mail.ru.

Латипов Манучехр Нурахмадович, ходими илмӣ, Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон. E-mail: manu90_09@mail.ru.

Information about the authors:

Nurzoda Habibjon Faizali, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Assistant, Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: 0000-0003-2009-0237. E-mail: habibjon_2012@mail.ru.

Narziev Mirhusen, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan. ORCID: 0009-0008-5665-0754. E-mail: mirhusseyn_narzi@mail.ru.

Latipov Manuchehr Nurahmadovich, Researcher, Institute of Astrophysics of the National Academy of Sciences of Tajikistan. E-mail: manu90_09@mail.ru.