ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

На правах рукописи

Сергиенко Мария Викторовна

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ И ИХ РОДИТЕЛЬСКИХ ТЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА

1.3.1. Физика космоса, астрономия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, доцент Нефедьев Юрий Анатольевич

Казань – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПО	
ИЗУЧЕНИЮ МНТ	26
1.1. Основные задачи и современное состояние в области изучения	
MHT	26
1.2. Создание базы наблюдений МНТ	39
1.3. Исследование АСЗ на основе анализа орбитальных и физико-	
химических параметров.	52
Выводы по главе 1	7(
ГЛАВА 2. СОЗДАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПО	
ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МНТ	72
2.1. Основные критерии для оценки параметров генетических связей	
MHT	72
2.2. Синтетический метод для определения генетических связей	
MHT	87
Выводы по главе 2	88
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕТИЧЕСКИ	
СВЯЗАННЫХ МНТ И РАЗРАБОТКА	
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА	
АНАЛИЗА МАЛЫХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ АПКАМНТ	91
3.1. Алгоритм определения пороговых значений для всех критериев,	
используемых в синтетическом методе	9
3.2. Независимый способ отбора кандидатов в родительские тела с	
помощью синтетического метода	90
3.3. Создание автоматизированного программного комплекса анализа	
малых небесных тел АПКАМНТ	9
3.4. Результаты по определению пороговых значений критериев	

синтетического метода и независимого способа отбора кандидатов в	
родительские тела	103
Выводы по главе 3	108
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МАЛЫХ	
МЕТЕОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ δ-КАНКРИДЫ, к-ЦИГНИДЫ,	
h-ВИРГИНИДЫ, АНДРОМЕДИДЫ И ρ-ГЕМИНИДЫ С АСЗ НА	
ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА	111
4.1. Применение синтетического метода к исследуемым метеорным	
потокам и анализ полученных результатов	111
4.2. Оценка взаимосвязей в группах родительских тел исследуемых	
метеорных потоков на основе дополнительных критериев	130
4.3. Исследование структуры избранных метеорных потоков на основе	
графического метода анализа данных	156
Выводы по главе 4	185
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	189
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	198
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	199
ПРИЛОЖЕНИЕ	215

введение

Актуальность и степень разработанности темы исследования

Фундаментальной задачей современной астрономии, несомненно, является изучение Солнечной системы (СС), а именно малых тел, таких как кометы, астероиды, метеороиды. Согласно современной концепции образования СС, кометы и астероиды несут информацию о том протовеществе, которое больше четырех млрд лет назад участвовало в образовании планет СС. Основная масса комет и астероидов не изменили свои физико-химические свойства и состав, так как являются объектами с малыми массами, поэтому их вещество осталось практически неизменным с момента образования планетной системы [1]. В связи с этим, изучая малые небесные тела (МНТ), мы можем получить ценные сведения об эволюции СС.

Вопросы образования СС в настоящее время очень актуальны [2]. Исследования малых небесных тел Солнечной системы и, в первую очередь, астероидов и комет играет первостепенную роль в развитии эволюционной теории [3-7]. Таким образом, изучение всего комплекса малых тел является актуальной задачей.

Комплекс МНТ как астероидов, так и комет потенциально опасен для Земли из-за возможных столкновений [1]. Для построения более точных моделей распределения малых тел в околоземном и межпланетном пространстве наиболее важны исследования, которые определяют природу этих объектов, их химикофизические свойства, работа по выявлению потухших кометных ядер из числа сближающихся с Землей астероидов, и изучение связанных с ними метероидных потоков [8-10]. На основе наблюдений метеоров строятся модели распределения метеороидного вещества в околоземном и межпланетном пространстве, что помимо фундаментального аспекта, имеет большое прикладное значения для успешной реализации космических проектов. Комплекс МНТ Солнечной системы представляет собой многочисленную популяцию астероидов, комет, метеороидов потокового и спорадического типа и их ассоциаций. Международный астрономический союз (МАС) приводит реестр из 110 подтвержденных наблюдениями метеорных потоков [11]. Из них 78 потоков – это потоки-сироты с неустановленными родительскими телами (РТ) астероидами и кометами, практически все они относятся к малым метеорным потокам с невысокой активностью. Проблема изучения и отождествления малых потоков связана в основном с нерегулярностью их наблюдений инструментальными методами, вследствие чего отсутствуют данные об их структуре, радиантах, скоростях и орбитальных параметрах [12,13].

Очень активно обсуждается вопрос о вероятной связи метеорных потоков и астероидов, принимая, что астероид может быть ядром или фрагментом ядра угасшей кометы, которая в прошлом была активна и породила поток метеороидов, также нельзя исключить вопрос о образовании метеорного потока из частиц пыли при распаде астероида [14,15]. По данной тематике выполнено достаточно много исследований, в том числе по поиску связей астероидов с такими ежегодными интенсивными метеорными потоками как Геминиды, Тауриды, Квадрантиды, альфа-Каприкарниды и др. [16,17]. Однако связи малых потоков с околоземными объектами исследованы пока недостаточно именно по причине недостаточности данных о потоках.

Изучая связи МНТ с метеорными потоками и при идентификации их с предполагаемыми родительскими телами (РТ) обычно оценивают расстояние между орбитами двух тел при помощи критериев подобия орбит. В качестве основных критериев используют безразмерные D критерии, которые задают расстояние между орбитами в некотором фазовом пространстве. Метрика Холшевникова, разработана К. В. Холшевниковым позже и, в отличие от формальных D критериев, рассматривается именно как расстояние между орбитами в астрономических единицах [18]. При выполнении данной работы особое внимание было уделено совместному использованию D критерия Драммонда [19], который включает в себя безразмерные величины в заданном фазовом пространстве, с размерной метрикой Холшевникова [18], параметров динамической эволюции орбит – квазистационарных параметров v и μ [20],

параметр μ представляет собой проекцию кинетического момента движения на нормаль к плоскости эклиптики, а квазистационарный параметр v применяется для оценки вероятности тесных сближений с планетами, параметр Тиссерана [21] и долготы перигелия π , что позволило более точно учитывать влияние внешних тел на орбитальную эволюцию МНТ, а для достоверности определения родительских тел были применены критерии Ашера [22] и более строгий критерий Саутворта-Хоккинса [23].

С целью исследования генетических взаимосвязей метеорных комплексов с кометами и астероидами разработано достаточно много подходов. Нами в данной работе использован синтетический метод, основанный на совокупности критериев, позволяющий при изучении генетических связей МНТ учитывать как начальные условия формирования метеорного комплекса, так и факторы его последующей динамической эволюции. При этом выявляется система связанных околоземных небесных объектов в контексте их возможных генетических связей.

При исследовании генетических взаимосвязей МНТ существует проблема в виде неоднозначности подходов нахождения пороговых значений критериев, решая которую можно отклонить или принять гипотезу о вероятной связи двух тел. Если расстояние между двумя рассматриваемыми орбитами ниже некого критического значения, то считается, что два этих тела могут иметь схожее происхождение. На сегодняшний день нет разработанной единой методики для решения данной задачи, исследователи применяют разные методы нахождения порогового значения и, в результате, в работах разных авторов может быть указан один и тот же метеорный поток в возможной связи с разными МНТ, что приводит к неоднозначности в установлении его РТ. Поэтому разработка алгоритмов пороговых значений критериев актуальной определения является И востребованной задачей.

Полученные в работе результаты в дальнейшем планируется использовать, и уже использованы, при редукции наблюдений, получаемых телескопом Мини-МегаТортора – уникальном телескопе Казанского университета и для анализа данных наблюдений метеорного радара КФУ (Казанский (Приволжский)

федеральный университет). А также полученные результаты применимы для планирования как наземных наблюдений, так и космических миссий, которые своей целью ставят изучение метеороидного содержания не только на околоземной орбите, но и при экстраполировании метеороидной обстановки на траектории полета от Земли до Марса, а также для решения вопросов астероидной опасности.

Таким образом, цель данной работы состоит в построении системы генетически связанных МНТ с помощью созданного синтетического метода, включающего в себя совокупность критерия Драммонда, метрики Холшевникова, квазистационарных параметров μ и ν, параметра Тиссерана и долготы перигелия π [24].

Цели и задачи диссертационной работы

Целью исследования является создание системы генетических связей метеорных потоков и их родительских тел с использованием синтетического метода.

Задачи, которые реализовывались для достижения поставленной цели:

- 1. Анализ реестра метеорных потоков по классификации наблюдаемой активности и орбитальным параметрам. Анализ реестра базы данных АСЗ (астероиды, сближающиеся с Землей) как потенциальных кандидатов для поиска РТ метеорных потоков. Анализ физико-химических и орбитальных параметров групп околоземных астероидов Атоны, Аполлоны, Амуры, Атиры как потенциальных кандидатов для поиска РТ метеорных потоков.
- Создание синтетического метода по определению генетических связей МНТ на основе совокупности критериев подобия орбит Драммонда, метрики Холшевникова и квазистационарных параметров μ и ν, параметра Тиссерана Т, полученных как следствие из ограниченной задачи трех тел, и долготы перигелия π.

- 3. Разработка алгоритма нахождения пороговых значений критериев генетических связей МНТ.
- 4. Создание независимого метода отбора кандидатов в РТ.
- 5. Анализ стохастических связей малых метеорных комплексов δ-Канкриды, к-Цигниды, h-Виргиниды, Андромедиды и ρ-Геминиды с околоземными астероидами групп Аполлоны и Амуры на основе синтетического метода.
- Оценка взаимосвязей в группах РТ исследуемых метеорных потоков с помощью критерия D_{SH} Саутворта-Хоккинса и его модификации критерия D_{AH} Ашера
- 7. Построение автоматизированного программного комплекса анализа малых небесных тел АПКАМНТ.
- 8. Исследование структуры метеорных потоков на основе графического метода анализа данных.

Работа носит как теоретический, так и практический характер, в частности, проводились и анализировались наблюдения, полученные на телескопе Мини-МегаТортора. Так как программное обеспечение телескопа, к сожалению, не позволяет непосредственно определить динамические параметры метеоров, поэтому мы, практически в ручном режиме, определяли эти параметры из снимков, полученных с помощью телескопа Мини-МегаТортора и, по возможности, включили эти результаты в данную диссертационную работу, как дополнение к используемым базам данных. Сами наблюдения удалось выполнять дистанционно, с использованием пункта управления телескопом в АОЭ (Астрономическая обсерватория им. В.П. Энгельгардта, КФУ).

Научная новизна

Данная диссертация – это завершенное научное исследование, все результаты, представленные в работе, оригинальны и опубликованы в работах автора впервые.

- Впервые разработан, создан и применен в работе синтетический метод генетических связей околоземных объектов по нахождению генетических связей МНТ на основе совокупности критериев подобия орбит Драммонда, метрики Холшевникова и квазистационарных параметров μ и ν, параметра Тиссерана Т, полученных как следствие из ограниченной задачи трех тел, и долготы перигелия π.
- 2. Впервые разработан алгоритм нахождения пороговых значений для всех критериев генетических связей МНТ, используемых в синтетическом методе.
- 3. Впервые создан и применен в работе независимый способ отбора кандидатов в РТ.
- Впервые произведен анализ стохастических связей малых метеорных комплексов δ-Канкриды, к-Цигниды, h-Виргиниды, Андромедиды и ρ-Геминиды с АСЗ на основе синтетического метода.
- 5. Впервые произведена проверка генетических взаимосвязей АСЗ между собой в группах РТ исследуемых метеорных потоков.
- 6. Впервые за период 17 лет построены и проанализированы структурные параметры метеорного потока δ-Канкриды на основе графического метода анализа данных, и по определенной величине среднегодовой максимальной активности потока сделан вывод о долготе узла Ω РТ, связанного с потоком δ-Канкрид.
- Впервые исследован характер изменения функции светимости метеоров вдоль орбиты Земли и определена величина среднегодовой максимальной активности, а также момент ее наступления.
- Впервые смоделирован профиль пространственной плотности потока δ-Канкриды для разных масс метеороидов.
- Впервые построены и проанализированы зависимости большой полуоси от массы и эксцентриситета от массы, и оценены возрастные параметры потока б-Канкрид.
- 10.Впервые уточнены значения суточного смещения радиантов и получены значения площади радиации.

Теоретическая и практическая значимость

Результаты, представленные в данной работе, направлены на решение обширного круга задач в области метеорной астрономии.

- 1. Созданный синтетический метод генетически связанных МНТ по определению генетических связей МНТ позволил получить более достоверные их генетические связи.
- 2. Подтверждено предположение, что для поиска РТ для метеорных потоков наиболее подходят группы Аполлона и Амура.
- Разработанный алгоритм нахождения пороговых значений критериев генетических связей МНТ может в дальнейшем использоваться для нахождения генетических связей МНТ.
- 4. Созданный независимый способ отбора кандидатов в РТ на основе интервальной оценки при помощи СКО (среднеквадратичное отклонение) позволил получить более вероятные РТ для метеорных потоков.
- 5. На основе разработанного синтетического метода выявлены стохастические связи малых метеорных комплексов с околоземными астероидами.
- Полученные структурные параметры метеорного потока δ-Канкриды позволили сделать вывод о долготе узла Ω РТ и смоделировать профиль пространственной плотности потока.
- 7. Практическое применение совокупности критериев для поиска РТ метеорных потоков, оценивающих расстояние между орбитами МНТ и критериев, учитывающих гравитационные и негравитационные возмущения, позволило получить более точные значения генетических связей, что может быть использовано при анализе других систем МНТ.

Результаты работы могут быть применены в ИНАСАН, ГАИШ МГУ, КФУ, ИКИ РАН, УрФУ и в научных организациях, занимающихся схожими исследованиями.

В заключение следует отметить, что исследования, выполненные в настоящей работе по установлению генетических связей между МНТ, позволят

использовать полученные результаты при развитии новых методов метеорной астрономии, позволяющих получить более достоверные результаты по отождествлению родительских тел.

Материалы и методы исследования

В работе использованы как теоретические, так и экспериментальные методы и расчеты. Материалы, используемые в работе – это мировые базы данных и данные, полученные телескопом Мини-МегаТортора. В результате был построен синтетический метод анализа и создана система генетических связей МНТ. Также следует отметить, что был разработан автоматизированный программный комплекса анализа малых небесных тел АПКАМНТ на языке Си ++, содержащий 5 модулей и отражающий все этапы исследования: 1) Модуль по нахождению значений согласно критериям D Драммонда, метрики р Холшевникова, квазистационарных параметров μ и v, долготы перигелия π , параметра Тиссерана Т между средней орбитой метеорного потока и собственными орбитами метеороидов с помощью синтетического метода. 2) Модуль по определению и оценке критических значений согласно критериям Драммонда, метрики Холшевникова, долготы перигелия π , квазистационарных параметров μ и v, а также параметра Тиссерана Т, с использованием индивидуальных орбит метеороидов и средней орбиты метеорного потока, их дисперсий σ^2 и среднеквадратичных отклонений о. 3) Модуль по определению степени выполнения совокупности критериев D Драммонда, метрики р Холшевникова, квазистационарных параметров μ и v, долготы перигелия π , параметра Тиссерана Т между средней орбитой потока и орбитами астероидов. 4) Модуль по отбору кандидатов в РТ. 5) Модуль анализа и оценки взаимосвязей динамических параметров в группах РТ. Все методы, подходы и программы, реализуемые в работе, были проанализированы и протестированы на их достоверность и точность.

Положения, выносимые на защиту

Основные результаты настоящей работы, выносимые на защиту:

- Методика поиска вероятных связей метеорных потоков-сирот с околоземными объектами, которая включает синтетический метод анализа малых небесных тел, алгоритм определения пороговых значений критериев генетических связей и независимый способ отбора кандидатов в родительские тела.
- 2. Определены стохастических связи малых метеорных комплексов и получены параметры взаимосвязей пяти метеорных потоков с 89 околоземными астероидами. В результате данного исследования получены параметры идентификации метеорных потоков и их родительских тел, и проведен анализ полученных результатов на достоверность.
- 3. На основе графического метода анализа данных получены структурные параметры метеорного потока δ-Канкриды. Определено, что структура δ-Канкрид соответствует структуре старых потоков. Определена долгота узла орбиты для вероятного родительского тела. Построены профили активности, профили светимости и массы потока в зависимости от долготы Солнца, и по профилям определен максимум активности потока. Изучена структура радиантов ветвей потока на основе данных из каталогов метеорных орбит. Уточнены значения суточного смещения радиантов и получены значения площади радиации.
- 4. Построены и проанализированы зависимости орбитальных элементов большой полуоси и эксцентриситета от массы для северной NCC и южной SCC ветвей метеорного потока δ-Канкрид. Выявлено смещение максимума активности потока по долготе Солнца в зависимости от массы частиц. Впервые сделан вывод о том, что значения больших полуосей и эксцентриситетов смещаются в меньшую сторону в зависимости от уменьшения массы метеороидов. Установлено, что в области слабых звездных величин для обеих ветвей значения больших полуосей совпадают по размеру с резонансными орбитами в области 3:1.

- 5. Определены возрастные параметры потока δ-Канкрид за счет действия негравитационного эффекта Пойнтинга-Робертсона. Сделано предположение, что северная ветвь потока NCC имеет возраст в диапазоне от 24 до 30 тысячи лет на основании расчетов для метеороидов углеродного и кремниевого химсостава. Сделан вывод, что в потоке отсутствует мелкая фракция и преимущественно масса метеороидов больше или равна 0.001 г.
- 6. Создана система генетических связей пяти метеорных потоков и их родительских тел с использованием синтетического метода, алгоритма определения пороговых значений и независимого способа отбора родительских тел, и проведен анализ достоверности полученных результатов.

Достоверность полученных результатов

Полученные результаты, а именно их достоверность, можно подтвердить: 1) согласованностью полученных результатов с результатами, нами 2) опубликованными ведущими мировыми учеными; совокупностью использования нескольких критериев генетической общности; 3) сразу проведением тестирования критериев подобия орбит и квазистационарных параметров на их устойчивость к геометрии орбит и ошибок методов наблюдений, на внешнюю и внутреннюю сходимость относительно геометрии орбит МНТ и селекционных ошибок наблюдений метеоров разными методами; 4) оценкой взаимосвязей динамических параметров выделенных АСЗ, входящих в группу Аполлонов и Амуров, с помощью критерия D_{AH} Ашера и критерия D_{SH} Саутворта-Хоккинса.

Апробация работы

Результаты, полученные в диссертации, опубликованы в 9 публикациях, в рецензируемых научных журналах, входящих в базы цитирования SCOPUS, WoS, РИНЦ, рекомендованных ВАК. Результаты и выводы, полученные в рамках данной диссертационной работы, докладывались на различных научных

семинарах, итоговых научных конференциях КФУ, а также автор докладывал результаты работы на Международных и Всероссийских конференциях.

Основные результаты диссертации докладывались Всероссийских и Международных конференциях:

Всероссийские конференции:

- 1. Всероссийская астрономическая конференция ВАК-2017 «Астрономия: познание без границ», г. Ялта, Крым, Россия, 17 сентября 22 сентября 2017 г.
- 2. Всероссийская астрономическая конференция ВАК-2021: «Астрономия в эпоху многоканальных исследований», Москва, 23-28 августа 2021 г.
- 3. Всероссийская астрометрическая конференция "Пулково-2018" 1-5 октября 2018 г.
- 4. Третья астрометрическая конференция-школа «Астрометрия вчера, сегодня, завтра» 14–16 октября 2019 г., ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия.

Международные конференции:

- 1. Международная конференция «Околоземная астрономия 2015», п. Терскол, Кабардино-Балкария, Россия, 31 августа 5 сентября 2015 г.
- IX Международная научная конференция « Физика солнечной плазмы и активность Солнца», пгт. Научный, Крым, Россия 4 сентября – 10 сентября 2016 г.
- 3. Международная конференция «Околоземная астрономия 2017», 2-6 октября 2017, Краснодарский край, Туапсинский район, п. Агой, Россия
- 4. Международная конференция «81st Annual Meeting of the Meteoritical-Society»,
 г. Москва, 22-27 июля 2018 г.
- 5. Международная конференция «Околоземная астрономия-2019», 30 сентября 4 октября 2019, Казань, Россия.
- 6. Международная конференция «PhysicA.SPb/2019», ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия, 22-24 октября 2019 г.

- Международная конференция 20th International Scientific GeoConference SGEM 2020, 16 - 25 August 2020, Albena, Bulgaria.
- 8. Международная конференция «PhysicA.SPb/2020», ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия, 20-22 октября 2020 г.
- 9. Международная конференция «84th annual meeting of the meteoritical society», Чикаго, США, 15-21 августа 2021 г.
- 10. Международная конференция «PhysicA.SPb/2021», ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия, 18-22 октября 2021 г.
- 11. Научно-практическая конференция с международным участием «Околоземная астрономия-2022», 18-21 апреля 2022 г.
- 12. Международная конференция «PhysicA.SPb/2022», ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия, 17-21 октября 2022 г.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в базы цитирования SCOPUS, WoS, РИНЦ, рекомендованных ВАК

- Sergienko M.V., Sokolova M.G., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. Search for possible connections of the h-Virginids meteor shower with near-Earth asteroids // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2103. – P. 012037.
- Сергиенко М.В., Соколова М.Г., Нефедьев Ю.А., Андреев А.О. Метеорный поток к-Цигниды и его связь с околоземными астероидами // Астрономический журнал. – 2020. – Т. 97. – №12. – С. 1051-1056.
- Sergienko M.V., Sokolova M.G., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. The study of near Earth objects and meteor showers // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1697. – P. 012036.
- Сергиенко М.В., Соколова М.Г., Холшевников К.В. Многофакторная методика поиска малых тел на близких орбитах // Астрономический журнал. – 2020. – Т. 97. – № 5. – С. 432-440.

- Sergienko M.V., Sokolova M.G., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. Genetic analysis of the meteor showers and asteroids // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol.1400. – P. 022045.
- Sokolova M.G., Sergienko M.V., Nefedyev Y.A., Andreev A.O., Nefedyev L.A. Genetic analysis of parameters of near earth asteroids for determining parent bodies of meteoroid streams // Advances in Space Research.– 2018. – Vol. 62, Issue 8. – P. 2355-2363.
- Sokolova M.G., Nefedyev Y.A., Sergienko M.V., Demina N.Y., Andreev A.O. Analysis of the Lyrids' meteor stream structure for long timeslots // Advances in Space Research. – 2016. – Vol. 58, Issue 4. – P. 541-544.
- Соколова М.Г., Сергиенко М.В. Сравнение структур метеорных потоков кометного и предположительно астероидного происхождения // Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы. – 2016. – Т. 50. – № 6. – С. 401-411.
- Соколова М.Г., Сергиенко М.В. Астероиды, сближающиеся с Землей, как возможные родительские тела метеорных потоков // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2016. – Т. 158. – № 4. – С. 583-592.

Иные публикации по теме диссертации

- Nefedyev Y.A., Sergienko M.V., Andreev A.O. Analysis of orbital elements of near earth objects over a long-term period // Meteoritics & Planetary Science. – 2021. – Vol. 56, Issue 1. – P. 6087.
- Nefedyev Y.A., Sergienko M.V., Andreev A.O. The coordinate ranging of the delta Cancrids meteor shower // Meteoritics & Planetary Science. 2021. Vol. 56, Issue 1. P. 6088.
- Андреев А.О., Соколова М.Г., Нефедьев Ю.А., Сергиенко М.В. Астероидно-кометная опасность и генетические связи малых небесных тел // Минералы: строение, свойства, методы исследования. – 2020. – № 11. – С. 21-22.

- 4. Сергиенко М.В., Соколова М.Г., Андреев А.О., Нефедьев Ю.А. Метод нахождения родительских тел для малых метеорных потоков // Минералы: строение, свойства, методы исследования. 2020. № 11. С. 266-267.
- Сергиенко М.В., Соколова М.Г., Нефедьев Ю.А., Андреев А.О. Исследование генетических связей метеорного потока k-цигниды // Минералы: строение, свойства, методы исследования. – 2020. – № 11. – С. 268-269.
- Соколова М.Г., Сергиенко М.В. Радианты и элементы орбит метеороидов комплекса δ-Канкриды // Научные труды Института Астрономии РАН. – 2020. – Т. 5. № 3. – С. 125-128.
- Sergienko M.V., Sokolova M.G., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. The kappa cygnids meteoroid shower and its connection with near-earth asteroids // Meteoritics & planetary science. 2019. Vol. 54, Issue 2. P. 6056.
- Sergienko M.V., Sokolova M.G., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. Analysis of the genetic connections between near-earth objects and delta cancrids meteoroids // Meteoritics & planetary science. 2019. Vol. 54, Issue 2. P. 6057.
- Sokolova M.G., Sergienko M.V., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. Dynamic evolution of the orbits of 2001yb5 and (356394) 2010qd2 asteroids // Meteoritics & planetary science. 2019. Vol. 54, Issue 2. P. 6059.
- 10.Nefedyev Y.A., Sokolova M.G., Andreev A.O., Sergienko M.V., Demina N.Y. The use of the d-criterion method for the analysis of observational data of tunguska event // Meteoritics & planetary science. 2018. Vol. 53, Issue S1. P. 6188.

Личный вклад автора в совместных работах

Автор самостоятельно получал основные результаты данной диссертационной работы. Содержание диссертационной работы, а также основные положения, выносимые на защиту, отражают личную позицию и вклад автора в опубликованные работы. Автор диссертации всегда принимал активное участие в анализе данных, расчетах и последующей интерпретации результатов. В написании всех статей, которые опубликованы в рамках данного диссертационного исследования, автор непосредственно участвовал, начиная от постановки задачи и непосредственных расчетов, до получения самих результатов и их интерпретации, а также, в написании и технической реализации самой статьи.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа включает в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложение. Полный текст диссертации состоит из 218 страниц, включая 55 рисунков, 72 таблицы. Список литературы включает 185 пунктов на 16 страницах. Приложение состоит из 4 страниц.

Основное содержание работы

Во **введении** приведена актуальность, новизна исследования, цели и задачи диссертационной работы, научная, методическая и практическая значимость, методы и методология исследования, основные положения, выносимые на защиту, достоверность, апробация работы, описан личный вклад автора, приведены основные публикации по теме диссертации, приведены данные о структуре и объеме диссертации, кратко описаны основные разделы работы.

В первой главе приводится анализ современного состояния проблемы по изучению МНТ. Проанализированы и обобщены работы по проблеме изучения МНТ. Приведены результаты анализа по изучению генетических связей МНТ с использованием различных методов и подходов. Сделан вывод, что основное внимание в мировой практике посвящено поиску генетических связей с кометами и астероидами главных метеорных потоков, имеющих высокую наблюдаемую активность, при этом недостаточно изучены малые потоки с низкой наблюдаемой активностью. Поэтому актуальной задачей является исследование таких метеорных потоков в контексте их генетических связей с астероидами, сближающимися с Землей (АСЗ). Возможно, что ряд АСЗ могут быть ядрами потухших комет, которые утратили свою летучую составляющую за счет многократного прохождения перигелия. Приведено описание и сравнение цифровых баз данных современных наблюдений МНТ. Проанализированы разные методы наблюдений метеорных потоков – визуальный, телевизионный и радиолокационный. Сделан вывод, что наиболее пригодным для наших исследований является телевизионный метод наблюдения. Произведен анализ реестра метеорных потоков по классификации наблюдаемой активности и орбитальным параметрам. Построено распределение метеорных потоков-сирот по величине большой полуоси, сделан вывод, что в основном метеорные потоки имеют размеры средней орбиты потока, меньше, чем 5 а.е., следовательно, возможно проводить для них поиск потенциальных РТ среди астероидов, пересекающих орбиту Земли. Произведен анализ реестра базы данных АСЗ как потенциальных кандидатов для поиска РТ метеорных потоков. Проанализированы физико-химические и орбитальные параметры групп околоземных астероидов Атоны, Аполлоны, Амуры, Атиры как потенциальных кандидатов для поиска РТ метеорных потоков. Сделан вывод, что группы астероидов Аполлоны и Амуры являются наиболее подходящими для поиска в них РТ для метеорных потоков. Созданы рабочие (модифицированные) базы данных метеорных орбит и орбит астероидов, используемые нами для расчетов. Приведены данные и описание малых метеорных комплексов δ-Канкриды, к-Цигниды, h-Виргиниды, Андромедиды и р-Геминиды к которым мы применяем разработанный нами синтетический метод генетически связанных МНТ.

Во второй главе рассмотрено создание синтетического метода по определению генетических связей МНТ на основе совокупности критериев подобия орбит Драммонда, метрики Холшевникова и квазистационарных параметров μ и ν, параметра Тиссерана Т, полученных как следствие из ограниченной задачи трех тел, и долготы перигелия π. Определены основные критерии для оценки параметров генетических связей МНТ. Показано, что критерии генетической общности могут быть как безразмерными D критериями, так и размерными метриками К.В. Холшевникова. Проведено тестирование D

критериев на их устойчивость к геометрии орбит и ошибок методов наблюдений. Показано, что D критерий Драммонда имеет более высокую внешнюю и внутреннюю сходимость относительно геометрии орбит МНТ и селекционных ошибок наблюдений метеоров разными методами. В рамках дополнительных критериев применяются квазистационарные параметры динамической эволюции и параметр Тиссерана, полученные как следствие из ограниченной задачи трех Произведен анализ ИХ значений на устойчивость. Рассмотрены тел. существующие способы определения верхних пороговых значений критериев и проблемы неоднозначности их определения. Сделан вывод, что отсутствие единой методики определения пороговых значений критериев приводит к тому, что в научных публикациях в качестве РТ для конкретного метеорного потока выявляются разные МНТ. Описан алгоритм построения и использования синтетического метода по определению генетических связей МНТ. Определена актуальность и практическая значимость авторского синтетического метода по нахождению генетических связей МНТ.

В третьей главе описан созданный способ определения пороговых значений всех используемых критериев по единой методике в рамках авторского синтетического метода. Разработана методика независимого отбора кандидатов в РТ, основанная на оценке попадания вероятного РТ в интервал значений – пороговое значение каждого критерия ± среднеквадратичное отклонение σ и определение меры выполнения совокупности всех критериев по аналогии с определением произведения вероятного и событий. Приводится результат исследования параметров единой методики определения верхних пороговых значений критериев и способа отбора генетически связанных МНТ на основе разработанного автоматизированного программного комплекса анализа малых небесных тел АПКАМНТ.

Изначально метод предполагает, что для каждой используемой базы данных орбит метеоров, рассчитываются элементы средней орбиты потока метеоров с использованием элементов индивидуальных орбит метеороидов и их дисперсий. Данный подход направлен на учет начальных условий выброса метеороидов из РТ

и последующую эволюцию их орбит. Далее задается алгоритм определения пороговых значений критериев. В рамках созданного алгоритма, индивидуально для каждого метеорного потока, для всех используемых в синтетическом методе критериев, между орбитой метеороида и средней вычисленной орбитой потока, производится расчет средних пороговых значений, ИХ дисперсий И среднеквадратичных отклонений. Было показано, что для каждого критерия, приведенного в синтетическом методе необходимо определять свои пороговые значения и их среднеквадратичные ошибки (σ) для каждого исследуемого метеорного потока.

Описан разработанный независимый способ отбора кандидатов в РТ. Независимый отбор кандидатов в РТ базируется на оценке близости орбит МНТ путем проверки выполнения каждого критерия согласно полученным для них пороговым значениям и их среднеквадратическим ошибкам σ (СКО). Степень близости орбит МНТ оценивается некоторым фактором Р следующим образом. Фактор принимается равным 1, когда значения критерия Драммонда и метрики Холшевникова меньше или равны вычисленному пороговому значению критерия; значение 0.9 принимается в случае, когда значения критериев Драммонда и Холшевникова, Тиссерана а также долготы перигелия, параметра И квазистационарных параметров попадают в интервал пороговое значение критерия $\pm \sigma$ (СКО); соответственно, значение 0.8 принимается при попадании в интервал пороговое значение критерия $\pm 2\sigma$ и т.д. Общий фактор P определяется произведение выполнения совместных событий, как т.е. совокупности выполнения всех критериев с определенным пороговым значением. Таким образом, отбор объектов с близкими орбитами выполняется путем вычисления общего фактора Р как меры выполнения всех критериев, чем выше этот фактор, тем более вероятна генетическая связь МНТ.

Описан созданный Си++ программный на языке комплекс многопараметрического анализа генетических связей МНТ (АПКМА), который содержит 5 модулей и отражает все этапы исследования: 1) Модуль по значений согласно критериям D Драммонда, нахожлению метрики ρ

Холшевникова, квазистационарных параметров μ и ν, долготы перигелия π, Тиссерана Т между средней орбитой метеорного потока и параметра индивидуальными орбитами метеороидов с помощью синтетического метода. 2) Модуль по оценке пороговых значений и определению степени выполнения совокупности критериев D Драммонда, метрики ρ Холшевникова, квазистационарных параметров μ и ν, долготы перигелия π, параметра Тиссерана Т, с использованием индивидуальных орбит метеороидов и средней орбиты метеорного потока, их дисперсий σ^2 и среднеквадратичных отклонений σ . 3) Модуль по отбору кандидатов в РТ. 4) Модуль по анализу и оценке взаимосвязей динамических параметров выделенных NEA (Near-Earth Asteroids, околоземные астероиды) согласно независимым критериям Ашера D_{АН} и Саутворта-Хоккинса D_{SH}.

Приведены основные результаты применения синтетического метода к исследованию генетической связи метеорных потоков δ-Канкриды, k-Цигниды, h-Виргиниды, ρ-Геминиды, Андромедиды с NEA групп Аполлоны и Амуры. Указаны вычисленные автором средние орбиты исследованных метеорных комплексов. По каждому из критериев генетической общности, входящих в синтетический метод, приведены рассчитанные пороговые значения. Для каждого метеорного потока показан результат применения независимого способа отбора астероидов и приведен анализ полученных результатов.

В четвертой главе приведен анализ стохастических связей малых метеорных потоков δ-Канкриды, k-Цигниды, h-Виргиниды, ρ-Геминиды, Андромедиды с AC3 на основе синтетического метода и анализируются полученные результаты. Сделаны основные выводы по достоверности и надежности найденных параметров генетически связанных МНТ. Выполнены работы по нахождению основных параметров генетической связи AC3, при этом были использованы современные орбиты AC3, которые могут определенным образом совпасть в процессе вычислений на программном комплексе АПКАМНТ. Для более надежного анализа и подтверждения достоверных генетических связей была исследована орбитальная эволюция NEA и определены количественные

характеристики пересечения их орбиты с орбитой Земли. Необходимо отметить, что метеорные потоки, связанные с АСЗ должны пересекать орбиту Земли примерно такое же количество раз, как и связанные с ними АСЗ.

Была проведена проверка генетических связей групп РТ среди выделенных NEA между собой при помощи использования независимых критериев - критерия Cayтворта-Хоккинса, содержащего значения пяти элементов орбиты перигелийного расстояния q, эксцентриситета e, наклона i, аргумента перицентра ω , долготы восходящего узла Ω , и его модификации – D критерия Ашера, который включает в себя значения трех элементов орбиты перигелийного расстояния q, эксцентриситета e, наклона i. В результате, получено, что все связанные с метеорными комплексами AC3 находятся в хорошем согласии взаимных значений критериев Ашера и Саутворта-Хоккинса, следовательно, могут быть вероятными PT для метеорных потоков.

Сделан вывод, что NEA, отождествленные с потоком Северные δ-Канкриды (NCC) это (1991 AQ), (2017 YO4), (2010 XC11), (2015 PU228), (2001YB5), 2212 Hephaistos (1978 SB), (2019 AQ), (2011YA), (2010 QD2), (2014 YQ34), (2006 BF56), (2003 RW11), (2012 XR134), (2011 YA), (2003 AA83), (2013 AQ63), (2019 BH1). Для потока Южные δ-Канкриды (SCC) отождествлены астероиды (2017 YO4), (2019 AQ), (1991 AQ), (2015 PU228), (2010 QD2), (2014 YQ34), 2212 Hephaistos (1978 SB), (2011 SR12), (2014 RS17), (2001YB5), (2001 BO61), (2003 RW11), (2006 AM8), (2006 BF56), (2010 XC11), (2002 RT129), (2017 BT93), (2016 SN2), (2005 RC), (2014 RD11), (2004 BF85), (2014 BX2), (2015 PC), (2018 RB), (2012 XR134), (2016 AM66), (1990 SM).

С потоком к-Цигниды связаны выделенные астероиды Аполлоны - (2014 UH210), (2002 LV), (2001 MG1), (2017 NW5), (2008 ED69), (2004 LA12), и астероиды Амуры (2002 GJ8), и, возможно, (2010 QA5).

С потоком h-Виргиниды связаны AC3 – (2014 HD198), (2001 SZ269), (2014 HU2), (2010 RL43), (2010 TP55), (2014 JH15), и астероид группы Амуры (2014 JF57).

К потоку Андромедиды можно отнести (2020 SR7), (2021 FD), (2009 WJ1), (2009 ST103), (2021 EN4), (2003 UQ25), (2009 TA1), (2004 GB2), (2016 UP36), (2016 FC14), (2021 SX3), (2012 EL5).

С потоком ρ-Геминиды можно связать астероиды (2006 WP127), (2011 OX17), (2007 VW137), (2010 AG30), (2005 YX128), (2000 WK63), (2009 YG), (2011 YA), (2008 OO), (2016 PZ39), (2019 AQ), (2014 OU344), (2017 NN6), (2019 AN12), (2014 XJ3), (2008 BC15), (2000 OM), (2003 AA83).

Впервые для δ -Канкрид за длительный период наблюдений 17 лет изучена структура потока, характер изменения функции светимости метеоров вдоль орбиты Земли, определена величина среднегодовой максимальной активности, момент ее наступления. Для δ -Канкрид положение максимальной активности наблюдается на долготе Солнца в интервале 298.5° и совпадает с протяженным минимумом параметра S распределения метеороидов по массам в потоке. Сделан вывод, что родительское тело δ -Канкрид при образовании метеорного потока вероятно имело орбиту с долготой узла 298.5. Показано, что из отождествленных с помощью синтетического метода, алгоритма определения пороговых значений и определенного итогового фактора Р с метеорным потоком δ -Канкриды астероидов, по долготе узла орбиты профилям изменения активности, светимости и массы соответствуют астероиды 2001YB5, 356394 (2010 QD2), 2010 XC11, 2014 YQ34, 2017 BT93, 2002 RT, 2015 PU228, 2006 BF56.

На основе телевизионных наблюдений изучена структура радиантов ветвей большой потока, построены зависимости полуоси ОТ массы a(m)И эксцентриситета от массы e(m) и произведен их анализ. Анализируя влияние негравитационного эффекта Пойнтинга-Робертсона (П-Р) на метеороидные частицы оценен возраст потока δ-Канкриды. Получено, что структура δ-Канкрид соответствует структуре старых потоков. Определено, что положение максимумов для мелкой M<10⁻² г и крупной M>10⁻² г составляющей частиц потока не смещение по долготе Солнца для более мелких метеороидов совпадает наблюдается на $2^{\circ}-3^{\circ}$ раньше.

На основе телевизионных наблюдений получены координаты радиантов ветвей потоков, хорошо согласующиеся с имеющимися немногочисленными данными других авторов. Уточнены значения суточного смещения радиантов, получены значения площади радиации. Были построены и проанализированы распределения орбитальных параметров, впервые получено, что для звездных величин от -5^{m} до $+3^{m}$ большие полуоси и эксцентриситеты орбит уменьшаются в зависимости от яркости метеоров.

Анализ распределений орбитальных элементов северной NCC и южной SCC ветвей δ -Канкрид (DCA) впервые позволил сделать вывод о том, что для диапазона звездных величин от -5^m до +3^m имеет место уменьшение больших полуосей и эксцентриситетов орбит в зависимости от яркости метеоров.

В заключении приводятся основные полученные результаты в данной диссертационной работе, указано практическое применение полученных результатов, показаны перспективы дальнейших исследований с использованием полученных в работе результатов. Подчеркнута актуальность применения синтетического метода к анализу генетических связей среди МНТ к анализу других метеорных ассоциаций.

В приложении приведены дополнительные поясняющие материалы по главам настоящей работы. Алгоритм автоматизированного программного комплекса анализа малых небесных тел АПКАМНТ, графики зависимости D критериев от долготы восходящего узла метеорных орбит Ω для главных метеорных потоков как пояснения при анализе устойчивости D критериев, и таблицы с данными взаимных значения между АСЗ по критериям Ашера и Саутворта-Хоккинса.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ МНТ

1.1 Основные задачи и современное состояние в области изучения МНТ

При написании данной Главы диссертации использованы публикации [25-29], выполненные соискателем в соавторстве, в которых отражены основные результаты, положения и выводы исследования.

Метеороиды, кометы, астероиды входят в популяцию малых тел СС. Комплекс наблюдаемых метеорных тел делят на два класса: потоковые метеоры, которые в определенное время года появляются из одной области звездного неба - радианта и движутся с примерно одинаковыми скоростями, и спорадические, которые появляются и движутся из различных областей неба по всевозможным направлениям с разными скоростями. Таким образом, потоковые метеоры движутся по практически схожим орбитам, близким к орбите их родительского (PT), продуктом тела разрушения которого они являются, тогда как спорадические метеоры движутся в межпланетном пространстве по самым разнообразным орбитам и, вероятнее всего, представляют собой рассеянные в пространстве со временем остатки метеороидных роев. Предполагают, что малые тела содержат в себе то протовещество, из которого ранее, 4.5 млрд. лет назад, и образовались планеты СС. Учитывая малую массу, их состав остался почти неизменным с того времени. Изучение малых тел важно с фундаментальной точки зрения, чтобы понять изначальные условия, которые были при формировании Солнечной системы [1].

Согласно данным Международного астрономического союза (MAC, IAU (англ.)), метеороиды находятся и движутся в межпланетном пространстве, а их размер варьируется от 30 мкм до 1 м [11].





Рис. 1.1. Список разделения метеорных потоков на группы по данным MAC [11], дата обращения 24.12.2022)

Как указано в разработанном ГОСТ метеорного вещества [30], метеорные потоки представляют собой компактные группы метеороидов и движутся этой группой по приблизительно общей орбите. Следовательно, считается, что метеорные потоки являются динамически однородными системами, что мы и учитывали при выполнении настоящей работы.

В список МАС входит 957 метеорных потоков [11]. Из потоков, которые называются «рабочими», можно выделить подтвержденные наблюдениями метеорные потоки, их 112 (рис. 1.1), временные потоки – это те, которые наблюдались только 1 раз, потоки – кандидаты на исключение из реестра, потоки – гипотезы, взятые из литературных источников. Из 112 потоков, относятся к кометам 21, к астероидам – пять, к комплексу комета+астероид – шесть. Но у большего числа метеорных потоков из перечня, у 80-ти потоков, нет РТ, в настоящей работе введено обозначение таких потоков – потоки-сироты. Перечислим некоторые причины, исходя из которых, существует множество потоков без принадлежности к конкретному РТ:

- Малое количество первоначальных наблюдательных данных малых потоков-сирот с разделением орбит по метеорным потокам, по причине сложности и нерегулярности наблюдений за малыми потоками;
- Орбиты МНТ, отличающиеся от первоначальных, вследствие возмущений от больших планет;
- Разное время существования метеороидного потока в компактной форме и существования кометного ядра в активной фазе. Из наблюдений имеются данные о кометах, сближающиеся с Землей на расстояние менее, чем 0.25 астрономических единиц (а.е.), которые могли бы быть связаны с наблюдаемыми метеорными потоками, но таких связей не было обнаружено [180].

Поэтому, исследования, выполненные в нашей работе, являются вполне актуальными.

В современной концепции эволюции СС метеороидные рои генетически связывают не только с кометами, но и предполагают их связь с астероидами, что

мы также учли это при выполнении данной работы. По данной проблеме следует сказать, что типичным представителем астероидного потока является метеорный поток Геминиды [17], который связывают с астероидом Фаэтон. Наблюдения комет и астероидов показывают, что некоторые объекты изначально открытые, как астероиды, могут проявлять кометную активность. Например, периодическая комета Швассмана-Вахмана I, которая при повторном открытии в 1976 году сначала имела звездообразный вид, а потом приобрела кому. Так же объекты, первоначально открытые, как кометы, двигаются по астероидным орбитам с малыми эксцентриситетами и наклонами орбит. Хирон, который был открыт в 1977 году, сначала был зарегистрирован как астероид № 2060, но потом стал проявлять кометную активность и аномальное увеличение блеска. Возможную связь метеорных потоков с астероидами демонстрирует и анализ химсостава метеоритов, упавших на поверхность Земли.

По наблюдениям потоков в определенные даты и годы метеорные потоки можно отнести к двум типам. В первом случае метеорное вещество распределено вдоль его орбиты равномерно, образуя замкнутое тороидальное образование (кольцо). Если Земля пересекает такой метеороидный рой, то в одни и те же даты ежегодно наблюдается метеорный поток примерно одинаковой интенсивности. Такие потоки принято называть главными (Персеиды, Геминиды, Квадрантиды, Урсиды и др.). Во втором случае метеорное вещество вдоль орбиты распределено неравномерно, сосредоточено вблизи какого-то участка орбиты роя. Земля может пересекать такой рой не каждый год. Такие потоки принято называть периодическими (Леониды, Лириды, Дракониды, Июньские Боотиды и др.). Также, по орбитальным параметрам метеорные потоки разделяются на 3 группы. Потоки 1 группы имеют афелии за орбитой Юпитера. Периоды обращения, характеризующиеся десятками лет и сильно наклоненные к эклиптике вытянутые орбиты. К группе Юпитера можно отнести Лириды, Персеиды, Ориониды, Леониды и другие.

Группой Юпитера называются потоки Боотиды, Андромедиды, Дракониды и другие. Эти потоки имеют период в несколько лет, афелии близки к

юпитерианской орбите, наклон к плоскости эллиптики мал. Они очень возмущены действием Юпитера, и он значительно меняет орбиты, в связи с чем, условия наблюдения с Земли для них меняются. Потоки третьей группы с периодом один – три года, составляют семейство метеорных потоков, которые движутся вблизи орбиты Земли. Это Виргиниды, δ-Аквариды, Квадрантиды и другие, и дневные потоки с большим зенитно-часовым числом ZHR – дневные χ -Сагиттариды, дневные Апрельские Писциды и др.. Орбиты метеороидов этой группы имеют малый наклон и сонаправлены с движением Земли.

орбиты Следует считать, ЧТО рои, метеороидов которых сильно возмущаются гравитационным влиянием планет И негравитационными эффектами (например, эффектом Пойнтинга-Робертсона, световым давлением), со временем рассеиваются, и метеороиды переходят в статус спорадических. Спорадический метеорный комплекс является диффузным, а не изотропным фоном, так как постоянно, то частично пополняется новым веществом, то частично теряет его за счет гравитационных и негравитационных эффектов [31]. Как следствие, такие потоки наблюдают не ежегодно и имеют невысокую активность. Наблюдаемая активность метеорных потоков рассчитывается как число метеоров, регистрируемых в зените за 1 час (зенитное часовое число ZHR). Такая характеристика сложилась на основе визуальных наблюдений метеоров исходя из того, что при наблюдениях бывают максимумы и минимумы активности потока, но за интервал 1 час накапливается достаточная выборка для оценки метеорной активности. Потоки, активность которых сравнима со спорадическим фоном, не превышающим 10 метеоров в час, относят к группе малых метеорных потоков. В таблице 1.1 приведены главные и периодические метеорные потоки с активностью ZHR>10 как отождествленные с родительскими телами (кометами и астероидами), так и потоки-сироты, для которых РТ пока не найдено. В таблице 1.2 приведены малые метеорные потоки с активностью 2<ZHR≤10, их родительские тела (кометы и астероиды), если определены, и гипотезы о них для потоков-сирот.

В таблицах 1.1 и 1.2 дано: полное название потока (английский и русский варианты), их сокращенное название (код), большая полуось средней орбиты метеорного роя (а, а.е., округленная до целого числа, интервал большой полуоси означает ее предельные значения, приведенные в Центре метеорных данных MAC), дата максимальной активности (дата ZHR_{max}), средняя геоцентрическая скорость метеорных тел потока (V_{део}, км/с, округленная до целого числа), РТ или предположение о РТ, МАС [11]). В последнем столбце приведена величина наблюдаемой максимальной активности (ZHR) потока ПО данным Международной метеорной организации (ММО, английская аббревиатура ІМО) [32], по работам [33-35]. Анализ данных таблиц 1.1 и 1.2 показывает, что большая часть наблюдаемых потоков-сирот относится к малым потокам. Малая активности наблюдений И, как следствие, нерегулярность ИХ оптическими, И радиолокационными методами являются причиной недостаточной статистики наблюдательных данных. Отсутствие наблюдений затрудняет исследование структуры и эволюции малых потоков, поиска их родительских тел, орбиты которых, возможно, уже значительно отличаются от средней орбиты самого потока. Все вышесказанное позволило более наглядно структурировать наши результаты.

Так как единого мнения об образовании метеорных потоков нет, то мы пришли к заключению, что возможны следующие механизмы их образования:

1. распад кометного ядра и последующая дезинтеграция осколков;

2. разрушение более крупных тел, влекущее за собой образование комет и метеорных потоков;

3. дробление астероидов и столкновительный сценарий;

4. астероид в концепции «угасшая комета», которая за время эволюции растратила свою летучую составляющую.

В 1834 г. Кларк [36] сделал предположение, что метеороиды могут быть кометными фрагментами. Позже, в 1836 г., Олмстед [37] выдвинул предположение о сходстве между метеорами и материалом в хвостах комет. Херрик в 1837 г. [38] также предполагал связь между наблюдаемыми метеорами

N⁰	Название (анг./рус.),	a(a.e.)	Дата	V _{geo}	Родительское	ZHR	
п/п	код		ZHR _{max}	км/с	тело		
Кометные							
1	June Bootids/	3	27 июн.	18	7P/Pons-Winnecke	Var/11[7]	
2	Draconids/ Дракониды, DRA	3	9 окт.	20	21P/Giacobini-Zinner	Var/13[1]	
3	Ursids/Урсиды, URS	5	23 дек.	33	8P/Tuttle	10/12 [1]	
4	Lyrids/Лириды, LYR	28	22 апр.	49	C/1861 Thatcher	18/13 [1]	
5	Perseids/Персеиды,PER	26	13 авг.	59	109P/Swift-Tuttle	100/84 [1]	
6	η-Aquarids/η-Аквариды, ETA	21	6 мая	66	1P/Halley	55/38 [7]	
7	Orionids/Ориониды, ORI	10	21 окт.	66	1P/Halley	20/25 [7]	
8	Leonids/Леониды, LEO	10	17нояб	71	55P/Tempel-Tuttle	15/23 [9]	
Астероидные							
9	Geminids/Геминиды, GEM	1	14 дек.	35	3200 Phaethon	120/80 [8]	
10	Quadrantids/ Квадрандиды, QUA	3	3 янв.	41	2003 EH1	120/120 [8]	
Сироты							
11	*Puppid-Velids/ Пуппиды-Велиды, PUV		7 дек.	40	неизвестно	10/12 [7]	
12	*South.δ-Aquarids/ Юж. δ-Аквариды, SDA	3	28 июля	41	неизвестно	16/12 [7]	

Таблица 1.1. Наблюдаемые главные метеорные потоки (ZHR > 10).

Таблица 1.2 а. Наблюдаемые малые метеорные потоки (2 < ZHR \leq 10).

N⁰	Название (анг./рус.),	a(a.e.)	Дата	V _{geo} Родительское		ZHR		
п/п	код		ZHR _{max}	км/с	тело			
Кометные								
1	π-Puppids/ π-Пуппиды, PPU	3	24 апр.	18	26P/Grigg-Skjellerup	-/3 [9]		
2	JuneLyrids/ Июн.Лириды, JLY	-	16 июн.	31	C/1915 Mellish II	3/- [9]		
3	Monocerotids/ Моноцеродиты, MON	8-22	9 дек.	42	C/1917 F1 Mellish	2/2 [9]		
4	η-Lyrids/ η-Лириды, ELY	6-21	8 мая	45	C/1983 H1 IRAS	3/- [9]		
5	LeoMinorids/ Лео Минориды, LMI	11-34	20 окт.	62	C /1739 K1	2/3 [9]		
6	JulyPegasids/ Июл. Пегасиды, JPE	4-24	10 июл.	70	C/1819 BlanpainIV	3/- [9]		
Астероидные								
7	Corvids/Корвиды, COR	2	26 июл.	9	2004 HW	Наблюдения 1937г.		

N₂	Название (анг./рус.),	a(a.e.)	Дата	V _{geo}	Родительское	ZHR	
п/п	/п код		ZHR _{max}	км/с	тело		
Кометно-астероидные комплексы							
1	Phoenicids/	3	9 дек.	18	D/1819 W1,	/3 [9]	
	фунициды, г по				160P/NEAT		
2	а-Каприкорницы САР	3	30 июл.	23	(-2002 FX12)	5/3 [1]	
	*South Taurids/	2	5 нояб	27	2P/Encke		
3	Южные Таурилы. STA	2	2 110/101	27	Di / Elicke,	5/7 [1]	
	North.Taurids/ Северные Тауриды, NTA	2	12нояб.	27	2004 TG10	5, 7 [1]	
		Сиро	ГЫ	<u> </u>		<u> </u>	
		-	1	· · · ·		T	
1	*Virginids/	3	25 мар.	23	гипотеза	10	
	Виргиниды, VIR		- 1		1620 Географ	(автор)	
2	*Scorpiid-Sagittariid/ Скорпиды-	3	20 мая	23	гипотеза	-/3 [7]	
	Сагитариды, SAG			<u> </u>	2101 Адонис		
3	ĸ-Cygnids/	3	18 авг.	25	ГИПОТЕЗЫ	5/- [9]	
	к-цигниды, КСС	<u> </u>			2008 ED69, 2001MG1		
4	*χ-Orionids/	-	2 дек.	25	неизвестно	9 [9]	
	χ-Ориониды, ХОК			-			
5	*δ-Cancrids/	2	17 янв.	26	гипотеза	8 (автор)	
	б-Канкриды, DCA	ļ			2001 YB5		
6	PiscisAustrinids/	3-6	28 июл.	35	неизвестно	5/5 [7]	
	Писцы Аустриниды, РАО	<u> </u>					
7	*North. δ-Aquariids/	2	11 авг.	40	неизвестно	4/5 [7]	
	Сев. б-Аквариды, NDA						
0	*α-Centaurids/		0.1		гипотезы	(6.17)	
8	α-Центауриды, АСЕ	12	8 фев.	56	209P/ LINEAR,	-/6[/]	
		<u> </u>			2101Адонис		
9	γ-Normids/	-	14 мар.	56	неизвестно	6/6 [9]	
	γ-πορΜиды, GNO	0.17					
10	o-Hydrids/	9-17	12 дек.	58	неизвестно	3/3 [9]	
	Sentem s Perseids/	0.26					
11	Сент г-Персеилы SPE	9-30	9 сент.	64	неизвестно	5/- [7]	
	a-Monocerotids/		22		ГИПОТЕЗЯ	Var/10	
12	а-Моноцеротилы, АМО	18	нояб.	65	C/1943 W1	[9]	
13	ComaeBerenicids/	1-14	поло.		гипотеза	L 1	
	Кома Береничилы, СОМ	4-14	16 дек.	65	C/1913 Lowe I	3/- [9]	
	Aurigids/				гипотеза	гипотеза	
14	Ауригиды, AUR		1 сент.		66 C/1911 N1	6/9 [7]	
	ε-Geminids/	10-33	10	-	гипотеза	2/ [0]	
15	є-Геминиды, ЕGE		18 окт.	70	C/1964 N1 Ikeya)	3/- [9]	

Таблица 1.2 b. Наблюдаемые малые метеорные потоки ($2 < ZHR \le 10$).

* - данные потоки образуют соответствующие метеорные группы, выделенные на сайте MAC.

и кометами. Уолкер в 1843 г. [39] обратил внимание на сходство эксцентриситетов между орбитами метеоров и комет.

Ньютон в 1865 г. [40] пришел к выводу, что большая часть спорадических метеоров имеет орбиты в виде эксцентрических эллипсов. Кирквуд в 1861 г. [41] предположил, что наблюдаемые потоковые метеоры – это обломки древней кометы. Скиапарелли в 1867 г. [42-43] идентифицировал связь потока Персеиды с кометой 109P/Swift-Tuttle. Таким образом, астрономический мир начал принимать возможную связь между метеорами и кометами, но эту связь окончательно не принимали вплоть до 1872 г., пока не произошел, предсказанный Вайсом в 1867 г. [44] интенсивный поток метеоров Андромедид. Несколько ранее в 1867 г. Вайс идентифицировал метеоры потока Андромедиды с уже несуществующими кометами 3D/Biela, а также поток Лирид с кометой С/1861 Thatcher. Наличие метеорного потока, предсказанного Вайсом, дало окончательное доказательство связи между метеорами и кометами.

До середины 20-го века кометы считались конгломератом пылевых частиц – модель летающего песчаного хранилища [45]. Уипл в 1950 году предложил новую модель [46], согласно которой у кометы имеется ледяное ядро с вкрапленными в него пылевыми зернами – модель грязного снежного кома [46]. Согласно этой модели при приближении кометы к Солнцу происходит сублимация льда, и высвобождающийся газ уносит с собой пыль: более крупные тела становятся метеороидами, более мелкие – образовывают хвост кометы. Уипл в 1951 г. смоделировал эту ситуацию с определенными скоростями выброса метеорных частиц [47]. Густафсон в 1989 г. [48], Крифо в 1995 г. [49], Ма и др. в 2002 г. [50] внесли изменения в эту модель, но все пришли к единому выводу, что скорость оттока метеороидов от ядра кометы мала и намного меньше, чем орбитальная скорость кометы. Поэтому относительно родительской кометы изменения удельной энергии и импульса выброшенных метеороидов малы, и они движутся по схожим с кометой орбитам, образуя ее метеороидный рой.

Крупные метеороиды размером больше, чем 20 см, вторгаясь в атмосферу Земли, вызывают явление болида – огненного шара, иногда сопровождающееся

выпадением метеорита. Было высказано предположение, что производителями болидов являются астероиды. Для доказательства этого предположения нужно было определить орбиты наиболее ярких болидов. В 1959 году в Чехии фотоспособом был зафиксирован болид Pribram [182]. В 1960-х годах была создана Испанская болидная сеть, состоящая из сети широкоугольных камер, которая вычисляла орбиты ярких болидов. Тогда же, в 60-х годах, Испанской болидной сетью был зарегистрирован болид с орбитой, схожей с орбитой короткопериодической кометы [52]. С помощью болидной сети США Prairie в 1970 году был зафиксирован болид Lost City [183]. Болид Innisfree был зафиксирован Канадской болидной сетью [184]. Орбиты этих болидов полностью соответствовали орбитам околоземных астероидов [51], а не комет. В настоящее время создаются болидные сети с видео- и ПЗС-изображениями, которые дают возможность определить точную гелиоцентрическую орбиту и, таким образом, получить представление о возможном происхождении болидов. Если рассматривать комету как модель грязного снежного кома Уипла, то подобный объект, движущийся по кометоподобной орбите, может быть только фрагментом разрушившегося ядра. Изучение болидов и метеоритов дает важную информацию о свойствах ядер и поверхности комет.

Как отмечалось выше, предположение, что метеорные потоки и астероиды могут иметь генетически общее происхождение, очень активно изучается. Данной проблеме мы уделили наибольшее внимание в настоящей работе. Проблема рассматривается в нескольких аспектах: или астероид является распавшимся кометным ядром, тогда он сам будет частью астероидно-кометно-метеорного комплекса, или астероид является уже неактивной угасшей кометой, которая в прошлом была активна и произвела поток метеороидных частиц, или нельзя не учитывать вероятность, что сам астероид мог распасться и образовать пылевой рой. Граница между кометами и астероидами размыта, некоторые астероидные объекты могут проявлять кометную активность, в то время как объекты, движущиеся по кометным орбитам, могут казаться астероидами. Было высказано предположение, что подобная активность астероидов может быть вызвана сублимацией внутреннего льда, воздействием внешнего тела, а так же вращательным и тепловым возбуждением [53].

Следует отметить, что неактивные объекты на кометных орбитах считаются угасшими кометами, т.е. кометами, которые источили все свое летучее вещество и больше не выбрасывают пыль. Их также называют потухшими (спящими) кометами [54]. Из-за их неактивной природы такие кометы очень сложно отличить от астероидов с помощью существующих методов наблюдений [55]. Так физическое время существования кометы гораздо короче, чем ее как динамическое время жизни, то существует много неактивных угасших комет [56,57]. Даже, если малое тело на данный момент неактивно, то обнаруженная рядом с ним метеорная активность может служить доказательством того, что метеороиды выброшены им недавно. Такие сведения особенно важны при изучении объектов с нерегулярной активностью и/или тех, которые перестали быть активными недавно.

Последние исследования Центра малых планет MAC привели к объектов двойственными обнаружению с характеристиками, которые первоначально были зарегистрированы как астероиды, но позже проявили кометную активность [58]. Такие объекты одновременно сохраняют обозначение и астероидов, и комет, например, предполагаемое родительское тело потока α-Каприкорниды 169P/NEAT(=2002 EX12). Данный вывод можно видеть при анализе таблицы 2.

В нашей работе было проведено исследование малых метеорных комплексов δ-Канкриды, k-Цигниды, h-Виргиниды, ρ-Геминиды, Андромедиды. Здесь следует вспомнить, что кометные метеороидные потоки вероятнее всего могли образоваться или при дезинтеграции ядра кометы, или при активном выбросе из кометного ядра, тогда как потоки астероидного типа могли появиться только при фрагментации астероида в случае столкновительного сценария или влияния центробежных и гравитационных сил, также нельзя исключать, что кометное ядро могло стать неактивным и перейти в разряд потухших комет, но сохранить свою связь с выброшенными частицами.
Если астероид или его обломок проходит около планеты в пределах ее области Роша, то есть области, где гравитационные силы планеты оказывают значительное влияние, то при некоторых динамических условиях на него могут Также влиять приливные силы. имеются предположения 0 TOM, ЧТО околосолнечные астероиды могут разрушаться из-за интенсивных тепловых эффектов [59-60]. Важную роль при этом играют условия, предшествующие сближению, такие как перигелийное расстояние орбиты, параметры скорости столкновения, ориентации спина и оси вращения астероида [61-62]. В зависимости от условий сближения астероид может разрушиться на несколько фрагментов с разной массой [63]. В результате может наблюдаться ассоциация астероидоподобных объектов и метеорного потока. Такой метеорный поток также является семейством, только его члены на порядок меньше, чем члены семейства астероидов в его традиционном понимании. Примером такой ассоциации является астероид группы Аполлоны (3200) Фаэтон и метеорный поток Геминиды, которые имеют очень схожие орбиты с очень маленьким перигелийным расстоянием 0.140 а.е. [64-65]. Несмотря на близкое орбитальное сходство с потоком Геминид, этот астероид ранее не проявлял кометной активности. Возможно, что он является угасшей кометой, деятельность которой прекратилась относительно недавно. В 2010 году было обнаружено, что (3200) Фаэтон демонстрирует некоторую слабую активность в перигелии, но уровень производства пыли слишком мал для того, чтобы объяснить образование интенсивного потока Геминид [17,66]. Все вышесказанное объясняет, почему предметом нашего исследования является поиск генетических связей малых метеорных комплексов δ-Канкриды (Северная и Южная ветвь), к-Цигниды, h-Виргиниды, Андромедиды и р-Геминиды с AC3.

Возможные связи между астероидами и кометно-метеорным комплексом более вероятны для тех наблюдаемых метеорных потоков-сирот, которые относятся к группе Юпитера, так как их средние орбиты соизмеримы с размерами орбит Юпитера и астероидами главного пояса. На построенной нами диаграмме (рис. 1.2) представлено распределение по величине большой полуоси метеорных потоков-сирот (в том числе, имеющих гипотезы о РТ), по данным построенным нами таблиц 1 и 2. Как видим, из 34 потоков-сирот 18 имеют размеры средней орбиты, меньшие, чем 5 а.е., что позволяет проводить для них поиск РТ среди околоземных объектов, причем 9 из них уже на уровне гипотезы предположительно связывают с астероидом или несколькими астероидами.



Рис. 1.2. Распределение по большой полуоси средних орбит метеорных потоков-сирот

Мы считаем, что установление родительского тела метеорного потока дает информацию об истории его образования, существования и эволюции. При этом, мы исследовали метеорный поток Андромедиды, который связан с уже не существующей кометой 3D/Biela. Следует добавить, что утраченная комета 3D/Biela является самым ранним и, возможно, лучшим примером того, что наблюдение за метеорами может помочь понять эволюцию кометы. Комета 3D/Biela была первоначально открыта Жаком Лейбаком Монтень в 1772 году [67-68]. Было обнаружено, что во время прохождения перигелия своей орбиты в 1846 г. комета раскололась и после прохождения своего перигелия в 1852 г. была потеряна. Однако, в 1872 и 1885 гг. наблюдался метеорный поток, появление которого предполагает полный распад кометы [69]. Радиант потока находился в созвездии Андромеды, причем орбиты метеоров соответствовали орбите кометы 3D/Biela. Наблюдение Андромедидами в сочетании с за динамическим

моделированием образования роя предполагает, что комета 3D/Biela была активна еще в течение как минимум примерно 200 лет после ее окончательного распада [70]. Всесторонний анализ остаточной пылевой массы в потоке Андромедид показывает, что несколько более крупных фрагментов кометы 3D/Biela, возможно, пережили ее распад и теперь выглядят как осколки спящей кометы, однако пока такие фрагменты (если они существуют) не найдены [71].

Для понимания природы связи кометы 3D/Biela с метеорным потоком Андромедид, полезно также рассмотреть аналогичный пример связи кометы 289P/Blanpain с метеорным потоком Фоеницид. Эту связь независимо друг от друга идентифицировали в 2005 году Микели [72] и Дженниксенс и Летинен [73]. Эта связь закрывает вопрос о давно потерянной комете D/1819 W1 (Blanpain) и происхождению метеорного дождя Фоеницид. Предполагается, что прародитель кометы 289P/Blanpain распался в 1817-1819 гг. с образованием большое количества метеорной составляющей, которая и помогла ее открытию. Метеороиды, выброшенные из ядра в 1819 году, приблизились к Земле в 1956 и 2014 гг., регистрировалось повышение метеорной активности [73-76]. Было обнаружено, ЧТО комета 289P/Blanpain по-прежнему проявляет слабую активность, но недостаточную для повышения активности потока Фоеницид [77].

Таким образом, как исследуемая нами комета 3D/Biela так и комета 289P/Blanpain представляют собой уникальные случаи, которые позволяют непосредственно изучать метеорное вещество, выброшенное из родительского тела и получить полезную информацию на аналогичные процессы, например, такие как фрагментация кометы 332P/Ikeya-Murakami, фрагменты которой не наблюдаются, так как не пересекают орбиту Земли [78-80].

1.2 Создание базы наблюдений МНТ

Анализ базы данных АСЗ.

Для применения синтетического метода использовались астероидные орбиты, представленные в базе Jet Propulsion Laboratory [81]. Нами была

проанализирована база орбит астероидов и построена диаграмма распределения AC3 по их количеству, по вертикальной оси отложено количество астероидов. Красным цветом выделены астероиды группы Аполлоны, зеленым – астероиды Атоны, синим – астероиды Атиры и голубым цветом обозначены астероиды группы Амуры. Над столбцами приведены данные о количестве AC3 в каждой группе.



Рис. 1.3. Количество АСЗ по данным Jet Propulsion Laboratory

Анализируя график можно отметить, что открыто более 30 тыс. АСЗ, среди групп всех астероидов больше всего открытых, занумерованых, потенциально опасных астероидов принадлежит группе Аполлоны (рис. 1.3). Амуров открыто меньше, но число занумерованных среди них примерно соотносится с числом занумерованных среди открытых в числе Аполлонов. Открыто мало астероидов группы Атиры.

Нами на основе имеющихся данных была сформирована собственная база орбит астероидов, которую мы использовали для дальнейших расчетов.

Анализ метеорных комплексов, принятых к обработке.

Исследование метеорных тел и физических явлений с ними связанных, проводятся различными методами – визуальными, фотографическими, телевизионными, радиолокационными, космическими, где метеорные частицы регистрируются датчиками, расположенными на космических аппаратах. Любой из перечисленных методов обладает своими особенностями и результативностью. Никакой из методов не идеален, все они обладают недостатками, поэтому изучая метеорное вещество применяют комплекс из разных методов исследования.

Самые простые из наблюдений – это визуальные наблюдения, которые характеризуются подсчетом числа метеоров. Визуальный метод позволяет уточнить численность метеоров за один час, разделить метеоры на сезонные и суточные, зарегистрировать момент времени, звездную величину, видимую траекторию, зафиксировать цвет и т.п. Основными характеристиками при визуальных наблюдениях являются период активности потока, положение радианта над горизонтом и зенитное часовое число ZHR.

Визуальные наблюдения дают большие ошибки при определении параметров. Особенный вклад в ошибки наблюдения вносят спорадические метеоры. Так как спорадическая активность происходит в течение всего года, то иногда случается, что продолжение в обратном направлении метеорного следа спорадического метеора совпадает с радиантом потока. Таким образом, данные об орбитах метеорных потоков включают в себя определенный вклад от спорадических метеоров, такой вклад составляет порядка 1-2 метеора в час. При наблюдении главного метеорного потока с активностью 80 метеоров в час ошибка составляет примерно 2.5%, но при наблюдении малого потока, с активностью всего 4 метеора в час эта ошибка уже 50%. Таким образом, спорадический фон является главной проблемой при наблюдении малых метеорных потоков [82].

База ММО – это общепринятое сокращение Международной Метеорной Организации, содержит визуальные наблюдения метеоров и открыта для свободного пользования. Организация каждый год выпускает бюллетени с данными потоковых и спорадических метеоров по численности и звездной

41

величине [82]. В базе ММО содержится информация о наблюдениях метеорных потоков, как главных, так и малых за период с 1982 года по настояшее время. В настоящее время это самая полная и обеспеченная наблюдениями для решения задач по изучению притока метеороидного вещества на Землю, определению активности потоков, по изучению вариации числа метеоров. Также с помощью этой базы можно проводить выявление новых радиантов и поиск теоретических. Одним из недостатков визуальных наблюдений является невозможность определить скорость метеоров и, следовательно, рассчитать их орбиты. Но, с помощью базы ММО можно изучить структурные параметры потока, такие как профиль функции светимости метеоров, так называемый S параметр, профиль активности потока по ZHR и определить по нему ширину профиля, его форму, и, таким образом, оценить возраст потока.

Базисные наблюдения в свою очередь позволяют определить скорости и элементы орбиты метеороидов, а также их высоты и направления движения метеоров. На их основе составляют телевизионные и фотографические каталоги орбит метеороидов. Каталог МАС, полученный фотометодом [83], является объединением нескольких каталогов – это каталог Позена, МакКроски, Гарвардские наблюдения малыми камерами, орбиты, полученные в Одессе, Киеве, Душанбе и самые последние орбит метеороидов и геоцентрические данные траекторий метеоров. Астрономическим институтом Словацкой Академии Наук был опубликован фотографический каталог за период с 1935 года по 1996 год в с орбитами в количестве 4583 штук [84]. В нем представлены орбиты болидов от - 20^{m} и метеоров до $+2^{m}$, диапазон масс 10^{-1} - 10^{-2} г., отсутствуют ошибки определения параметров скоростей.

Существуют две основные составляющие метеорной фотографии – фотография слабых метеоров и патрульная фотография болидов. Для регистрации болидов используется широкоугольный объектив, экспозиции ставят от 1 до 6 часов. Патруль наиболее эффективен, когда он организован в виде сети станций, которые разделены между собой несколькими десятками километров. Это

42

позволяет вычислить траекторию и определить местоположение в случае выпадения метеорита [85]. Фотокаталог Голландского метеорного общества [86] создан на основе наблюдений за 1980-1993 годы, где каждый метеор был снят одновременно с нескольких камер, и включает 360 орбит ярких метеоров от -10^m до 0^m. Оценки точности в определении скорости лежат в интервале от 0.19 до 1.51 км/с.

Телевизионный метод наиболее молодой из всех методов наблюдений за метеорами. Совокупность фото- и телекаталогов позволяет расширить область исследуемых масс метеороидов, что особенно ценно при изучении структурных особенностей потока. К телевизионным каталогам относится чешский каталог за период 1997-2003 годов, с 816 орбитами [83] и голландский за период 1990-2003 годов, с 1182 орбитами [86]. В этих каталогах приводятся ошибки определения скоростей метеоров (< 11%), а также элементы орбит метеороидов и координаты радиатов метеоров, каждые с ошибками.

В настоящее время существуют телевизионные метеорные сети, которые производят мониторинг и публикуют каталоги метеорных орбит, некоторые из них находятся в открытом доступе. Сеть MSSWG Meteoroid Orbits [103] и одноименный каталог объединяет данные нескольких станций Японии. "MSSP" – указывает на фотографические наблюдения, "MSSI" – на телевизионные наблюдения, однако они могут содержать метеорные орбиты с большими ошибками наблюдений. Каталог [86] базы Голландского метеорного общества DMS Video Database, включает в себя телевизионные наблюдения с двух станций. Имеются данные о 248 главных метеорных потоках и 38 малых.

База данных видеометеоров IMO Video Meteor Network, созданная в 1999 году, регулярно экспортируется в EDMOND (The European video Meteor Observation Network) [87] – каталог орбит, включает в себя 317830 орбит, собранных за 2009 – 2016 гг. В данный момент в EDMOND входят наблюдатели из разных стран Европы, объединяя 7 международных сетей и 59 станций наблюдения за метеорами: BOAM (French amateur observers France BOAM network / Base des Observateurs Amateurs de Météores), CEMeNt (Central European Meteor Network, cross-border network of Czech and Slovak amateur observers), HMN (Hungarian amateur observers, Hungarian Meteor Network / Magyar Hullócsillagok Egyesület), IMTN (Italian amateur observers in Italian Meteor and TLE network), PFN (Polish Fireball Network / Pracownia Kometi Meteorów, PkiM), SVMN (Comenius University network, Slovak Video Meteor Network) and UKMON (British amateur observers, UK Meteor Observation Network). Метеорные данные в этой базе получены различными инструментами и методами обработки (MetRecand UFO Tools) и продолжают пополняться, точность наблюдений не приводится.

Сеть SonotaCo [88] включает в себя более 100 видеокамер, работающих на более, чем 30 станциях в Японии. На многих станциях используется несколько камер для улучшения точности и покрытия большей площади. Данные записываются и анализируются специальным программным пакетом. Каталоги Японской метеорной сети SonotaCo [88] содержат непрерывные видеонаблюдения за 2001 – 2020 гг. и разделены по метеорным потокам, относительная точность определения скоростей метеороидов составляет порядка 20%. В базе данных EDMOND содержится более 322 566 орбит. Сведения об ошибках определения элементов орбит метеороидов в каталоге не приводятся.

База метеорных орбит CAMS [89] содержит информацию об орбитах 110521 метеороида от -2 до $+4^{m}$ звездной величины (медианное значение $+1.2^{m}$). Точность составляет <2° (медианное значение 0.24°) при определении направления радианта и <10% определения скорости (медианные значения 0.31 и 0.51 км/с, примерно 2%). В каталоге CAMS орбитальные элементы метеороидов приводятся с ошибками их определения.

Сеть Хорватского метеорного общества Croatian Meteor Network (CMN) [90,91] была введена в 2007 г. На данный момент состоит из 30 видеокамер, каждая из которых имеет поле 64х48 градусов. Камеры в паре, что позволяет вычислить орбиту метеора. Камеры контролируют большую часть неба над Хорватией. На основании наблюдений созданы каталоги орбит за 2007 – 2012 гг. [90,91].

44

В России также имеются видеокамеры, способные осуществлять мониторинг околоземного пространства. Одной из таких камер является FAVOR, которая была разработана в начале 2000-х годов [92] и была способна регистрировать слабые метеоры +7^m, +8^m, обычно недоступные для наблюдений. В середине 2014 года начались метеорные наблюдения с помощью системы Мини-МегаТортора [93-94], которая является многоканальной широкополосной камерой мониторинга, расположенной в Специальной астрофизической обсерватории (CAO). FAVOR [96] и роботизированный инструмент TORTORA [97] – это инструменты мониторинга, которые используются для обнаружения и классификации быстрых оптических процессов естественного и техногенного происхождения. Мини-МегаТортора имеет поле зрения 900 квадратных градусов и непрерывно контролирует небо с временным разрешением 0.1 с. Таким образом, это устройство может осуществлять широкомасштабный мониторинг и режим наблюдения за узким полем, также имеется возможность установки различных фильтров в разных каналах. Обнаруженное событие моментально распознается и обрабатывается в режиме реального времени. Метеоры распознаются за счет их удлиненной формы, изображения анализируются автоматически.

Для регистрации слабых потоков используют радарные методы [98]. Когда метеор проходит через верхние слои атмосферы он создает ионизованный метеорный след. Этот след способен отражать радиоволны от передатчиков, расположенных на Земле. Радиолокация позволила увеличить количество регистрируемых метеоров и наблюдать слабые метеоры до +12^m - +13^m звездной величины. Плюс метода в том, что наблюдать можно круглосуточно и всепогодно, что очень важно при изучении вариации метеоров и для кратковременных метеорных потоков. Но существуют и минусы метода – практически не регистрируются метеоры со скоростью < 20 км/с и крайне мало со скоростью > 60 км/с.

Внедрение радиолокации существенно увеличило статистику о метеорном веществе вдоль орбиты Земли. Среди каталогов, которые имеются в отрытом доступе, Гарвардский [99], который содержит примерно 37000 метеорных орбит [100,101]. Австралийские, по наблюдениям в Аделаиде включают примерно 3 тысячи орбит метеоров [102,103]. Обнинский, включает 9359 метеорных орбит [104] и каталог, по наблюдениям в г. Могадишо (Сомали), содержит более 5000 метеорных орбит [105,106]. В харьковском каталоге приведены орбиты примерно 5000 слабых метеоров [107]. При радионаблюдениях невозможно отождествить метеорные орбиты к конкретным потокам, отсутствует точность при определении скоростей, невозможно точно определить орбитальные элементы. Анализируя каталоги радионаблюдений, такие как обнинский, харьковский и по наблюдениям в Могадишо можно отметить, что кеплеровские элементы орбиты спорадических метеоров распространяются на все пространство элементов, доступное для пересекающих орбиту Земли метеороидов.

Постоянные радионаблюдения ведутся в Канаде и Новой Зеландии, но эти данные закрыты для общего пользования. Канадский метеорный радиолокатор (CMOR) содержит базисную 5-ти элементную принимающую систему, расположенную совместно с импульсным передатчиком, предназначенным для наблюдения за метеорным эхом и определяющим положения метеора в пространстве с угловым разрешением примерно 1° и радиальное разрешение 3 км. Два вторичных принимающих участка расположены примерно в нескольких километрах и образуют прямой угол с базисной станцией. Таким образом, есть возможность определять скорость и направление метеора [108]. На сегодняшний день база CMOR содержит самый большой набор метеорных орбит, но, к сожалению, эти наблюдения являются закрытыми.

На основании всего вышеизложенного мы пришли к выводу: телевизионный метод наиболее подходит для нашего исследования. На основе имеющихся баз данных метеорных потоков, таких как EDMOND, CAMS и SonatoCo, были отобраны метеорные орбиты для исследуемых нами метеорных комплексов δ-Канкриды (северная и южная ветви), к-Цигниды, h-Виргиниды, Андромедиды и ρ-Геминиды. Все метеорные орбиты приведены в единую систему и из них сформированы собственные метеорные базы, которые в дальнейшем используются нами для исследования.

46

δ-Канкриды. Поток δ-Канкриды относится к малым метеорным потокам, подвержден наблюдениями и имеет разделение на северные δ-Канкриды (NCC #96) и южные δ-Канкриды (SCC #97) [11], иногда не подразделяется на ветви и обозначается DCA, например, в базе данных MMO.

У потока отсутствует РТ. Радиант б-Канкрид находится в созвездии Рака, даты наблюдений с 1 по 30 января, большая полуось средней орбиты примерно a=2.5 a.e., геоцентрическая скорость $V_{g} = 27$ км/с. Поток относится малоизученным, очень мало данных об исследованиях его эволюции и структурных параметров. В таблице 1.3. приведены рассчитанные автором элементы средних орбит потока б-Канкриды, которые мы используем в дальнейшей работе. Элементы средних орбит потока рассчитывались нами по методу [181], с помощью созданной на основе каталогов EDMOND, CAMS и SonatoCo метеорной базы.

Поток, код IAU	Дата	V_G ,	Каталог	a±σ	e± σ	q±σ	$i^{\circ} \pm \sigma^{\circ}$	$\pi^{\circ} \pm \sigma^{\circ}$	T±σ
		км/с		(a.e)		(a.e)			
Северные б-	1 января —	25	EDMOND	2.073	0.780	0.437	3.127	222.547	3.264
Канкриды (NCC)	31 января			±0.387	±0.043	±0.072	±1.262	±5.195	±0.458
код IAU #96			CAMS	2.224	0.801	0.412	2.481	225.246	3.126
				±0.656	±0.058	±0.047	±1.709	±7.637	±0.381
			SonatoCo	2.349	0.813	0.420	2.481	225.246	3.101
				±0.201	±0.035	± 0.080	±1.005	±4.562	±0.528
Южные δ-	1 января —	25	EDMOND	2.063	0.788	0.435	7.209	230.212	3.533
Канкриды (SCC) кол IAU #97	31 января			±0.221	±0.028	±0.060	±3.761	±5.115	±0.452
			CAMS	2.063	0.812	0.435	5.676	233.705	3.076
				±0.328	±0.061	±0.005	±2.321	±7.600	±0.316
			SonatoCo	2.257	0.821	0.374	5.677	233.704	3.300
				±0.220	±0.030	±0.061	±1.320	±5.102	±0.876
			SonatoCo	2.904	0.721	0.758	9.229	244.234	2.901
				±0.547	±0.050	±0.058	±1.158	±8.813	±0.494

Таблица 1.3. Элементы средних орбит δ-Канкрид, рассчитанные автором.

Интересно отметить, что комплекс δ-Канкрид по параметру Тиссерана лежит между кометным и астероидным типом, но по значениям параметра T из некоторых каталогов, поток ближе к астероидному типу.

к-Цигниды. Метеорный поток к-Цигниды является малым (КСС #12) [11] его радиант располагается рядом с созвездиями Лиры, Лебедя и Дракона., время наблюдения 3 – 25 августа. Прямое восхождение α =277.50°, и склонение радианта δ =52.80°, средняя геоцентрическая скорость метеороидов V_g=20.90 км/с, активность потока наблюдается на долготе Солнца L=141.0°, (эпоха J2000.0) [11]. Согласно [109] повышение активности потока фиксируется на долготе Солнца L=145.69° и L=147.61°. В таблице 1.4. приведены рассчитанные автором элементы средних орбит потока к-Цигниды, которые мы используем в дальнейшей работе. Элементы средних орбит потока рассчитывались нами по методу [181], с помощью, созданной на основе каталогов EDMOND, CAMS и SonatoCo метеорной базы.

Поток, код IAU	Дата	V _G ,	Каталог	a±σ	e± σ	q±σ	$i^{\circ} \pm \sigma^{\circ}$	$\pi^{\circ} \pm \sigma^{\circ}$	T±σ
		км/с		(a.e)		(a.e)			
k-Цигниды (KCG)	3 августа —	24	EDMOND	6.562	0.723	0.983	34.944	338.146	2.346
код IAU #12	25 августа			±5.587	±0.129	±0.015	±3.603	±8.671	±0.765
			CAMS	4.425	0.713	0.955	32.765	319.788	2.660
				±2.150	±0.077	±0.036	±7.898	±44.518	±0.244
			SonatoCo	3.111	0.673	0.978	33.265	344.353	2.729
				±0.465	±0.050	±0.014	±3.529	±6.439	±0.086

Таблица 1.4. Элементы средних орбит к-Цигнид, рассчитанные автором.

h-Виргиниды. Активность комплекса Виргинид продолжается с конца февраля до начала мая. В метеороидный поток входят десятки спорадических потоков, происхождение которых и их родительские тела неизвестны, но все они связаны общим происхождением.

В состав метеороидного комплекса Виргиниды входят несколько субпотоков, одним из которых является метеорный поток h-Виргинид. Метеороидный поток h-Виргинид (h-Virginids, HVI, #343, [11]) является малым метеорным потоком, для которого не найдено родительское тело. h-Виргиниды наблюдаются с 20 по 10 мая и имеют низкую активность с ZHR < 2.

Виргиниды	αο	δ°	V _G (км/с)	a (a.e)	e	ω°	Ω°	i°	Источник
h-Virginids,	204.2	-1.6	18.7	-	-	-	-	-	[88]
HVI #343	214.1	-1.4	(24.1)	-	-	-	-	-	[110]
	204.8	-1.5	17.2	2.280	0.659	72.7	218.2	0.9	[111]
Northern March	185.7	2.3	23.0	1.691		282.4	358.0	3.7	[112]
Virginids, NVI #123	174.3	8.7	23.0	1.955	-	252.7	353.5	3.7	[113]
Southern March	179.7	-8.5	22.9	2.160	-	91.2	182.0	6.1	[112]
Virginids, SVI #124	172.6	2.7	20	1.95	-	83	175.7	0.1	[114]

Таблица 1.5. Координаты радианта и элементы средней орбиты ветвей комплекса Виргинид (по данным [11], 08.03.2021).

В табл. 1.5 для разных ветвей комплекса Виргинид (в том числе и h-Виргинид HVI #343, Северных мартовских Виргинид (Northern March Virginids) NVI #123, Южных мартовских Виргинид (Southern March Virginids) SVI #124) приведены по [11] координаты радиантов потоков, элементы средних орбит и геоцентрические скорости по данным разных источников (все угловые элементы даны на эпоху (J2000.0). Как видим, радианты и динамические параметры ветвей Виргинид имеют близкие значения, что не исключает гипотезу их возможно общего происхождения. Эксцентриситеты орбит определены ненадежно, значение приведено только по данным работы [111].

Анализ фотографических и визуальных наблюдений [115] показывает, что система Виргинид очень рассредоточена и лучше всего представлена отдельными небольшими ручьями, действующими не менее двух месяцев.

Таблица 1.0	6.	Элементы с	редних о	рбит h-B	виргинид,	рассчитанные	автором
				1		1	

Поток, код IAU	Дата	V_G ,	Каталог	a±σ	e± σ	q±σ	$i^{\circ} \pm \sigma^{\circ}$	$\pi^{\circ} \pm \sigma^{\circ}$	T±σ
		км/с		(a.e)		(a.e)			
h-Виргиниды (HVI)	22 апреля —	17 –	EDMOND	2.897	0.726	0.704	0.802	289.064	2.987
код IAU #343	30 апреля	24		±0.840	±0.073	±0.033	±0.562	±2.777	±0.720
			CAMS	2.897	0.669	0.749	0.802	289.428	2.987
				±1.092	±0.028	±0.018	±0.713	±3.454	±0.194
			SonatoCo	2.874	0.733	0.758	0.819	284.646	2.838
				±0.240	±0.022	±0.016	±0.279	±1.052	±0.190

В таблице 1.6. приведены рассчитанные автором элементы средних орбит потока h-Виргиниды, которые мы используем в дальнейшей работе. Элементы средних орбит потока рассчитывались нами по методу [181], с помощью, созданной на основе каталогов EDMOND, CAMS и SonatoCo метеорной базы.

Андромедиды. Андрометиды являются подтвержденным метеорным потоком и имеют подтвержденную связь с кометой 3D/Biela [11]. Комета 3D/Biela была обнаружена трижды за свою историю, а также была потеряна, поэтому имеет в своем названии букву "D", тогда как периодические кометы обозначены буквой "Р". Комета распалась в 1842,1843 годах и продолжила распадаться в 1846,1852 годах. Фрагментация породила активный метеорный поток Андрометиды. Поток был впервые зарегистрирован в 1798 году и сопровождался сильной активностью в 1872 и 1885 годах [116], интенсивность потока уменьшалась и к началу 20 века фиксировалось уже несколько метеоров в час [117]. В 1845 году, а потом и в 1852 году наблюдатели зафиксировали 2 ядра у кометы – главное и вторичное ядро кометы.

Поток, код IAU	Дата	V_G ,	Каталог	a±σ	e± σ	q±σ	$i^{\circ} \pm \sigma^{\circ}$	$\pi^{\circ} \pm \sigma^{\circ}$	T±σ
		км/с		(a.e)		(a.e)			
Андромедиды	26	17 –	EDMOND	2.770	0.715	0.762	9.164	108.312	2.933
(AND) код IAU #18	октября —	18		±0.390	±0.043	±0.043	±1.156	± 2.580	±0.338
	20 ноября		CAMS	3.257	0.739	0.813	11.795	108.708	2.644
	-			±0.528	±0.037	±0.047	±2.692	±1.641	±0.074
			SanataCa	2 004	0.721	0.758	0 220	244 234	2 001
			SolialoCo	± 0.547	+0.050	+0.058	+1 158	+8 813	± 0.401
	1	1		±0.547	± 0.050	±0.050	±1.130	-0.015	<u>10.474</u>

Таблица 1.7. Элементы средних орбит Андромедид, рассчитанные автором.

При следующем своем появлении в 1859 году комета была неудачно расположена для наблюдения и не была найдена, астрономы предположили, что она полностью распалась [116]. Было высказано предположение, что сильная активность потока была связана с распадом кометы и метеорный поток был порожден ее обломками. В дальнейшем фиксировалась низкая активность, возможно из-за того, что фрагменты кометы 3D/Biela утратили свою активность и летучую составляющую. В таблице 1.7. приведены рассчитанные автором элементы средних орбит потока Андромедид, которые мы используем в дальнейшей работе. Элементы средних орбит потока рассчитывались нами по методу [181], с помощью, созданной на основе каталогов EDMOND, CAMS и SonatoCo метеорной базы.

По вычисленным нами средним орбитам для потока Андромедиды получено усредненное значение параметра Тиссерана Т_j 2.7, что указывает на движение метеороидов потока по кометной орбите.

р-Геминиды. Малый метеорный поток *р*-Геминиды (*р*-Geminids, rho Geminids, RGE, #94 [11]) был открыт в 1952 – 1954 годах Саутвортом и Хоккинсом (Southworth and Hawkins) по Гарвардской метеорной программе [23]. *р*-Геминиды активны с 28 декабря по 28 января, максимум приходится примерно на 8 января, вторичный максимум на 21 января. Родительское тело потока не определено. Является малым метеорным потоком, имеет низкое зенитно-часовое число (ZHR), примерно 20 метеоров в час [118].

Таблица 1.8. Элементы средних орбит р-Геминид, рассчитанные автором.

Поток, код IAU	Дата	V _G ,	Каталог	a±σ	e± σ	q±σ	$i^{\circ} \pm \sigma^{\circ}$	$\pi^{\circ} \pm \sigma^{\circ}$	T±σ
		км/с		(a.e)		(a.e)			
р-Геминиды (RGE)	28	21	EDMOND	2.167	0.737	0.558	2.679	203.345	3.336
код IAU# 94	декабря —			±0.310	±0.043	±0.077	±1.359	±6.636	±0.403
	28 ghbang								
	20 millapa		CAMS	2.373	0.749	0.590	2.893	185.968	3.103
				±0.188	± 0.024	±0.027	±0.815	± 1.377	±0.322
			SonatoCo	2.616	0.765	0.535	2.529	204.667	3.147
				±0.771	±0.053	±0.101	±1.413	±6.727	±0.525

В публикациях [119-112] приведены наблюдения и радианты потока р-Геминид, а вот публикаций по установлению ГС с потоком мало, в связи с его низкой численностью [120]. В работе [120] были проанализированы метеороиды и определена их хондритовая природа. Хондриты – это каменные объекты с вкраплением небольших хондр – сферических образований размером до 1 мм. Хондриты - это самая распространенная группа среди астероидов. В таблице 1.8. приведены рассчитанные автором элементы средних орбит потока р-Геминиды, которые мы используем в дальнейшей работе. Элементы средних орбит потока рассчитывались нами по методу [181], с помощью, созданной на основе каталогов EDMOND, CAMS и SonatoCo метеорной базы.

1.3 Исследование АСЗ на основе анализа орбитальных и физико-химических параметров

Рассматривая связь метеорных потоков с астероидами, мы можем говорить только о тех астероидных объектах, которые пересекают орбиту Земли – это АСЗ, таких астероидов сейчас более 31 тысяч и этот список пополняется новыми объектами.

В орбитальном движении астероидов используются следующие параметры: размер орбиты – эксцентриситет е, перигелийное расстояние q (a.e.), долгота восходящего узла Ω°, большая полуось a (a.e.), наклон орбиты i°, аргумент перигелия ω°.

К АСЗ – астероидам, сближающимся с Землей, относятся объекты с $q \le 1.3$ а.е. Из них около 2.3 тыс, то есть $\frac{1}{15}$ всех АСЗ [121] – это ПОО, потенциально опасные объекты. ПОО приближаются к Земле на г ≤ 0.05 а.е., это $\approx 7.60 \cdot 10^6$ км. У ПОО яркость $\ge +22^m$, что эквивалентно D ≈ 0.16 км. Если объект более маленький в диаметре, то земная атмосфера его разрушит. В первом столбце табл. 1.9 приведены 4 группы АСЗ: Амуры, Аполлоны, Атоны и Атиры.

У Аполлонов a>1 a.e. и пересечение с орбитой Земли возникает во внешней стороне орбиты. У Атонов a<1 a.e. и пересечение с внутренней стороны орбиты у перигелия. Самые близкие к Солнцу Атиры и их орбита лежит внутри земной орбиты. Амуры имеют перегелийное расстояние 1.017 a.e.<q<1.3 a.e, они находятся в сближении с Землей и их орбиты располагаются за ее орбитой. Аполлоны и Атоны, в свою очередь, проходят внутрь орбиты Земли, пересекают ее, благодаря чему повышается вероятность столкновения с Землей. Эти группы околоземных астероидов рассматривают для поиска в них генетически связанных

Таблица 1.9. Число открытых АСЗ	(по данным [81], дата	а обращения 20.03.2023).
---------------------------------	-----------------------	--------------------------

Группа	Тип орбиты	Всего открыто	Зануме- ровано	ПОО	Имеют Номер (ПОО)	Тип орбиты
Атиры	Q<0.983 a.e., сближаются с Землей в афелии орбиты АСЗ	17	6	6	2	● M O O O
Атоны	Q>0.983 a.e., a<1 a.e., пересекаются с Землей в перигелии ее орбиты	1318	216	169	88	► E
Аполлоны	q<1.017 a.e., a>1 a.e., пересекаются с Землей в перигелии орбиты АСЗ	9748	1339	1598	572	► To The
Амуры	1.017 а.е. <q<1,3 а.е.,<br="">сближаются с Землей в перигелии орбиты AC3</q<1,3>	6778	1074	118	31	₹

Нами были проанализированы группы АСЗ на такие параметры, как орбитальные параметры, плотность, диаметр и физико-химические характеристики. Орбитальные элементы астероидов, такие как наклон орбиты і° и эксцентриситет е очень возмущаются гравитационным воздействием от больших планет и Солнца, что способствует астероидной миграции. Если у АСЗ і°≤30°, то эксцентриситет е изменяется значительно. Сильно вытянутые орбиты относятся к

кометоподобным орбитам, так как большая часть открытых комет имеет орбиты с эксцентриситетами больше, чем 0.4.

Анализ распределений астероидов по данным параметрам (плотности, размеру, эксцентриситету орбиты) в каждой из четырех групп проводился нами на основе статистического и робастного анализа. Данные по диаметрам и по эксцентриситетам для астероидов в каждой из групп АСЗ взяты из созданной нами базы данных АСЗ (см. пункт 1.2). Диаметры известны не для всех открытых АСЗ, статистика определенных по диаметру АСЗ указана в табл. 1.10. Применение робастного обусловлено необходимостью анализа учета наблюдательной селекции, так как число открытых астероидов в группах Атоны, Аполлоны, Амуры и Атиры сильно отличается (таблица 1.9). Путем группирования данных по выборкам на определенных условиях робастный анализ позволяет ограничить влияние неоднородностей различных групп данных, либо вовсе их исключить. Совместное применение статистического и робастного анализов повышает достоверность полученных результатов, особенно в условиях недостаточной статистики исходных данных.

При решении задачи определения родительских тел для метеорных потоков для разных астероидных групп анализируется различное количество астероидов в них входящих. Возникает проблема, как учитывается количество астероидов в каждом исследуемом классе и как это влияет на окончательные выводы. Например, если бы наблюдались астероиды Атиры в 100 раз больше астероидов Аполлонов, был бы получен вывод, что Атиры являются самым вероятным источником потоков метеороидов? Для решения данной проблемы следует использовать соответствующий робастный метод. При выявлении различий между значениями определенного параметра в разных астероидных группах может быть обнаружено отличие параметра у разных объектов. Но возникает вопрос: не случайные ли это эксперементальные ошибки, основанными на количестве наблюдений? Разумеется, достоверность зависит от числа измерений (наблюдений), от моделей, которые используются в методах статистики и других

54



Probability density distribution of the eccentricities values of the group of asteroids Ateni



Рис. 1.4 а. Распределение плотности вероятности значений эксцентриситетов астероидов групп Атиры и Атоны



Probability density distribution of the eccentricities values of the group of asteroids Amuri



Рис. 1.4 b. Распределение плотности вероятности значений эксцентриситетов астероидов групп Аполлоны и Амуры



Рис. 1.4 с. Распределение плотности вероятности значений диаметров астероидов групп Атоны и Аполлоны



Рис. 1.4 d. Распределение плотности вероятности значений диаметров астероидов группы Амуры

отклонений в рассматриваемой величине. При достоверном выяснении вопроса о случайном или неслучайном расхождении значений исследуемых параметров в не зависимости от количества наблюдений в нескольких группах наблюдений выполняются робастные оценки и определяется достоверность отличия или равенства параметров на основе соответствующих выборок. При практическом подходе, если в выборках существует даже маленький процент сильно отличающихся наблюдений, то это может сильно изменить итог статистического исследования. Чтобы улучшить результат статистического исследования нужно каким-либо образом учесть влияние отличающихся наблюдений. Для этого группируют данные, не исключая отдельные наблюдения, чтобы уменьшить или вообще исключить действие неоднородностей, потом, в дальнейшем, можно использовать классические методы статистики. Группировка данных – это один из методов робастного анализа. Группируя данные можно снизить эффект от отдельных отличающихся наблюдений, не отсортировывая их. Группирование данных, в частности разбиение на интервалы, не трудоемко, но даёт действенный результат. Благодаря этому, достоверность статистической обработки зависит от условий выборки, а методы робастной статистики могут значительно увеличить достоверность полученных результатов статистической обработки и при этом уменьшить влияние на достоверность количества используемых при обработке наблюдений. В данной работе для этих целей был использован следующий робастный подход.

Метод заключается в следующем:

Нахождение плотности вероятности W(p) распределения астероидов, по какому либо параметру p. Пусть имеется N наблюдений разных астероидов в группе. Каждый астероид характеризуется параметром p_i (i=1...N). Пусть параметр меняется в пределах от p_{min} до p_{max} . Введем шаг изменения параметра=dp. В каждом интервале p_j p_j+dp выделим подгруппу из n_j астероидов, попадающих в этот интервал значений параметра. Число таких групп:

$$k = Int\left[\frac{\left(p_{\max} - p_{\min}\right)}{dp}\right] \bowtie \sum_{j=1}^{k} n_j = N.$$

Тогда

$$W(p_j) = \frac{n_j p_j}{\sum_{i}^{N} p_i}.$$

Кроме того, величина $\frac{n_j}{N}$ дает распределение числа астероидов в подгруппах в зависимости от изменения параметра р. Программа группировки и расчета плотности вероятности разработана в пакете MatLab.

В результате получены следующие результаты:

На основе робастного анализа получены рисунки 1.4 a-d. На рисунках 1.4 a,b показаны графики по распределению значений плотности эксцентриситетов орбит в четырех группах околоземных астероидов. На рисунках 1.4 с-d показаны

распределения диаметров астероидов в группах. Анализируя рис. 1.4 а, b можно выделить группу Аполлонов, имеющих ярко выраженный двойной максимум плотности распределения со значениями 0.6 и 0.65. Амуры демонстрируют двойной максимум, но со значениями 0.45 и 0.55. Атоны имеют максимум плотности распределения по эксцентриситету 0.4. Атиры демонстрируют наличие трех максимумов, один из которых соответствует эксцентриситету, равному 0.78. Из анализа плотностей распределений по диаметру астероидов в группах (рис. 1.4 c-d) можно сделать следующие выводы. В Атонах больше представлены мелкие астероиды с размерами до 0.5 км, при этом, имеются астероиды различных размеров и их соотношение находится на примерно одинаковом уровне. У Амуров и Аполлонов в наборе астероидов диапазон диаметров меняется от мелких до крупных. Анализируя распределение по диаметрам в группе астероидов Аполлонов мы видим ярко выраженную зависимость в виде экспоненты, характеризующуюся ростом числа астероидных объектов B зависимости от уменьшения их D, нельзя исключать, что данный факт является последствием дробления более крупных объектов.

Основная цель - определить группу близких к Земле астероидов, которые наиболее предрасположены к дроблению и разрушению под действием физических факторов, таких как перепады температуры и воздействие солнечной гравитации.

Поэтому выбор границ критериев основан на том, что наиболее подвержены разрушению следующие объекты: 1) астероиды, имеющие вытянутые орбиты, подобно кометам; 2) при этом необходимо учитывать то, что есть явная зависимость роста количества астероидов от уменьшения диаметра, так как это говорит о существующих процессах дробления астероидов; 3) также очевидно, что чем менее плотные астероиды, тем большая вероятность их разрушения, поэтому должен быть проведен сравнительный анализ плотности астероидов. Провести статистический анализ по плотности астероидов согласно критерию 3 очень трудно, так как практически отсутствуют наблюдательные данные. Основываясь на данных робастного анализа и критериях 1 и 2 можно подтвердить выше сделанный вывод, что наиболее подходят на роль генетических родителей метеорных потоков астероиды группы Аполлонов.

Одним из способов установления возможной связи малых тел: астероидов, комет, метеороидов и метеоритов, является сравнение их по химикоминералогическому составу. Используют классификацию SMASS, по которой каждому астероиду приводят в соответствие свой спектральный класс [121].

По SMASS астероиды делятся на 3 крупные группы – С (углеродные), S (кремниевые) и X (железные). Астероиды С-группы слабопрочные углеродные объекты и согласно работе [122] такие астероиды по плотности примерно 1.80 г/см³. К S-группе относятся кремниевые силикатные объекты с прочностью больше, чем группа C, их плотность 2.4 г/см³ [122]. Группа железных астероидов (X-группа) имеет высокое содержание с самыми прочными механическими свойствами, устойчивы к высоким температурам и имеющие плотность 5.0 г/см³ [122].

Таблица 1.10. Статистика астероидов АСЗ по диаметру и спектральному типу (по данным [81], дата обращения 17.07.2022).

		Количество определенных астероидов						
Группа астероидов	Всего	По спектральному классу (SMASSII)	по диаметру D					
Атиры	17	0 (0%)	0 (0%)					
Атоны	1322	27 (2%)	96 (7%)					
Аполлоны	9776	157 (2%)	482 (5%)					
Амуры	6795	129 (2%)	270 (4%)					

Статистика определения химико-минералогического состава открытых на сегодня астероидов очень низкая (таблица 1.10). Для групп Атоны, Аполлоны, Амуры этот показатель не превышает 2% от общего числа открытых в них астероидов, и ни для одного астероида Атира химический состав пока не



Рис. 1.5. Распределение астероидов в группах по диаметру (D, км)

определен. Это не позволяет выполнить полноценный статистический и робастный анализ распределений астероидов в группах по их плотности.

Можно еще отметить, что анализируя данные объектов, для которых удалось установить спектральный класс, Амуры и Аполлоны преимущественно относятся к слабопрочным астероидам (S-группа), больше всего металлических объектов (X-группа) у Атонов.

С точки зрения разрушения астероидов особый интерес представляют группы АСЗ, популяции которых насыщены астероидами небольших размеров, т.е. они могут быть или уже продуктами распада астероидов и комет, или содержать ядра потухших комет примерно километровых размеров. Однако, размеры известны не для всех даже пронумерованных астероидов, как пример можно привести астероиды группы Атиры, у которых нет ни одного астероида с определенным диаметром. Анализируя таблицу 1.10, можно увидеть, что показатель опеределения по диаметру D не больше 7% от общего числа астероидов каждой группы. Согласно данным таблицы 1.10 на рис. 1.5 построено распределение астероидов по диаметру D в каждой из групп, по вертикали отложено отношение числа астероидов определенных по диаметру к общему числу астероидов (frequency), по горизонтальной оси – диаметр D в км.

Рис. 1.5 выполнен в виде столбчатых гистограмм – это статистический анализ, а линия – это робастный анализ.

Определено, что крупный объект разрушается согласно закону, когда мелких фрагментов всегда больше, чем крупных:

$$\frac{dN(m)}{dm} \sim \frac{1}{m^s},\tag{1}$$

где N – количество тел, m – масса тел, s – показатель степени, определяет соотношения между диапазонами различных масс [123]. Статистический и робастный анализ параметров демонстрирует, что у Атонов в распределении число астероидов разных размеров примерно одинаково, а D \leq 3 км.



Рис. 1.6 а. Распределение астероидов в группах по эксцентриситету орбит



Рис. 1.6 b. Распределение астероидов в группах по эксцентриситету орбит

В группе Амуров распределение астероидов по диаметрам случайно, но имеются объекты с $D \le 3$ км, что характерно для кометных ядер, в распределении астероидов Аполлонов тоже имеются астероиды с диаметром $D \le 3$, возможно, что в данных группах могут содержаться ядра потухших комет.

У Аполлонов статистический анализ подтверждает выявленную робастным методом экспоненциальную зависимость роста количества объектов с уменьшением их D, что является результатом дробления этих объектов.

Наклоны орбиты комет и астероидов к эклиптике меняются в достаточно широких пределах, но астероиды в отличие от комет имеют более круговые орбиты. Поэтому для каждой группы астероидов построены распределения по эксцентриситету орбиту е (рис. 1.6a,b, гистограммы - статистический анализ; сплошная линия – робастный анализ). Анализируя графики для Аполлонов и Атиров, можно отметить, что в группах существуют вытянутые орбиты с 0.6≤ е ≥0.8, характерные для комет, и с эксцентриситетом от 0.8 до 1.0, то есть близкие к почти параболическим. У групп АСЗ Атоны и Амуры орбиты имеют менее



Рис. 1.7 а. Распределение астероидов по параметру Тиссерана



Рис. 1.7 b. Распределение астероидов по параметру Тиссерана

вытянутую форму, и также имеется доля практически параболических орбит. Таким образом, по совокупности таких параметров как плотность, диаметр и форма орбит выделяется группа Аполлонов, члены которой с большей вероятностью могут быть связанными с метеорными потоками-сиротами. Для проверки достоверности полученных выводов используем величину параметра Тиссерана Т (11, см. глава 2), который является следствием решения граниченной задачи трех тел Солнце - Юпитер - астероид, при этом масса астероида принимается за бесконечно малую величину. Принимают, что если у МНТ Т≈3, то у него переходная орбита и невозможно определить какая она – кометная или астероидная, объекты с T<3.1 движутся по кометоподобным орбитам, если T>3.1, то орбита астероидная [14].

На рис. 1.7 а, b показано статистическое распеределение числа астероидов по инварианту Тиссерана, построенное на основе данных из созданной нами базы орбит астероидов, которую мы используем для исследования. На графиках по вертикали – отношение количества астероидов к общему числу астероидов, по горизонтали – инвариант Т. Таким образом, по значению параметра Тиссерана группы Атоны и Атиры относятся к астероидному типу.

В то время как Аполлоны и Амуры имеют в своих группах объекты, значение параметра Тиссерана которых ниже значения 3.1, и объекты двойственной природы, которые, вероятно, могут быть ядрами потухших комет. Не противоречат полученным выводам и данные Центра метеорных данных (MAC) [11], приведенные выше (таблицы 1.1 и 1.2).

В таблице 1.11 для астероидов, указанных в таблицах 1.1 и 1.2 как вероятные РТ потоков-сирот, приведены данные их параметров, такие как наименование метеорного потока, название РТ потока – астероида и его тип, параметр Тиссерана Т, эксцентриситет е, диаметр D в км, абсолютная звездная величина H, минимальное расстояние сближения с Землей d в а.е. Приведенные параметры взяты по каталогу Центра малых планет [3].

Следует отметить, что все астероиды из таблицы 1.11 - Аполлоны и Амуры, их орбиты вытянуты, е>0.6, диаметры для большего количества астероидов не определены. Что касается астероида 3200 Phaethon, который является предположительным РТ потока Геминиды, то по спектральному индексу он относится к С типу, а его диаметр характерен для ядра кометы. В работе [120] отмечается, что поток Геминиды явно проявляет все признаки кометного метеорного потока. Однако, по параметру Тиссерана, равному значению 4.51, Фаэтон относится к астероидному типу. Противоречия гипотезы генетической связи астероида 3200 Phaethon и потока Геминиды остаются и обсуждения различных гипотез продолжаются, например, в работе [124]. Таким образом, анализ физико-химических и орбитальных параметров выделяет группы Аполлонов и Амуров как группы для поиска в них РТ для наблюдаемых метеорных потоков, для которых еще не найдена генетическая связь с МНТ.

Таблица 1.11. Установленная связь метеорных потоков с их РТ – астероидами [11].

Наименование потока	РТ - астероид	Тип астероида	Т	e	D (км)	Н	d (a.e.)
Корвиды (COR#63)	374038 2004 HW	Аполлоны	3.044	0.635	-	17.20	0.009
Сев.Тауриды (NTA#61)	2004 TG10	Аполлоны	2.992	0.861	1.316	19.4	0.023
Геминиды (GEM#4)	3 200 Phaethon (1983 TB)	Аполлоны	4.510	0.890	6.25	14.39	0.020
Сев. δ-Канкриды (NCC#96)	85182 1991 AQ	Аполлоны	3.163	0.777	1.1	17.14	0.016
Юж. δ-Канкриды (SCC#97)	2001 YB5	Аполлоны	2.895	0.865	-	20.9	0.004
Квадрантиды (QUA#10)	196256 2003 EH1	Амуры	2.066	0.619	-	16.19	0.212
Виргиниды VIR	1998 SH2	Аполлоны	2.914	0.714	0.383	20.8	0.019
Днев. к-Аквариды (МКА#128)	2002 EV11	Аполлоны	3.047	0.890	-	20.0	0.045
Юж. <i>ҳ-</i> Ориониды (XRO#1198)	2002 XM35	Аполлоны	2.965	0.838	-	22.96	0.020
Днев. Сектантиды (DSX#221)	155140 2005 UD	Аполлоны	4.506	0.872	-	17.48	0.077
Днев. Апр. Писциды (APS#144)	242643 2005 NZ6	Аполлоны	3.430	0.860	1.989	17.49	0.006

Практически все астероиды, приведенные в таблице 1.11 как возможно связанные с кометно-метеорным комплексом, имеют абсолютную звездную величину ярче +22^m, а их расстояния сближения с Землей меньше или сопоставимы с критическим, равным 0.05 а.е. (7.5.10⁶ км), что относит их к

потенциально опасным для Земли объектам (ПОО). В настоящее время, для обнаружения ПОО функционируют наземные телевизионные наблюдательные патрули, целью которых является регистрация, как новых объектов, так и слежение за уже открытыми, при этом идет только вычисление их орбит. С помощью телевизионных патрулей невозможно определить химико-физические характеристики. Стоимость космических миссий высока, поэтому полет осуществлен только на 12 астероидов было только 4 выхода И на околоастероидную орбиту.

Изучение физико-динамических свойств астероидов имеет огромное значение для установления природы взаимосвязей малых тел Солнечной системы, механизма их миграции в околоземное пространство. Кроме того, знания физикодинамических свойств объектов комплекса МНТ необходимы для реалистичной оценки последствий их возможного столкновения с Землей, развития и разработки технических мероприятий и средств предупреждения и парирования астероидно-кометной опасности.

Выводы по главе 1

Произведен анализ современного состояния по изучению МНТ. Рассмотрены основные задачи и современное состояние в области изучения МНТ. Рассмотрены основные метеорные базы и имеющиеся каталоги метеорных орбит, и база орбит астероидов. На основе имеющихся данных создана собственная цифровая база МНТ, где все параметры приведены в единую систему. С помощью созданных баз метеорных орбит, орбит астероидов и визуальных наблюдений метеоров произведены все вычислительные процедуры, представленные в данной работе.

Произведен анализ реестра метеорных потоков по классификации наблюдаемой активности и орбитальным параметрам. Показано, что большая часть наблюдаемых в настоящее время потоков-сирот относится к малым метеорным потокам. Построено распределение метеорных потоков-сирот по величине большой полуоси, сделан вывод, что в основном потоки имеют размеры средней орбиты потока, меньше, чем 5 а.е., следовательно, возможно проводить для них поиск потенциальных РТ среди астероидов, пересекающих орбиту Земли.

Приведены основные данные об исследуемых малых потоках-сиротах δ-Канкриды, обе ветви NCC и SCC, k-Цигниды, h-Виргиниды, ρ-Геминиды, Андромедиды. Для каждого исследуемого метеорного потока приводятся рассчитанные нами средние орбиты по каждому каталогу метеорных орбит.

Выполнен анализ реестра базы данных АСЗ как потенциальных кандидатов для поиска РТ метеорных потоков. Произведен анализ физико-химических и орбитальных параметров групп околоземных астероидов Атоны, Аполлоны, Амуры, Атиры как потенциальных кандидатов для поиска РТ метеорных потоков. Сделан вывод, что осуществлять поиск РТ для метеорных потоков нужно в группах астероидов Аполлона и Амура.

ГЛАВА 2. СОЗДАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МНТ

2.1 Основные критерии для оценки параметров генетических связей МНТ

При написании данной Главы диссертации использованы публикации [24,125], выполненные соискателем в соавторстве, в которых, отражены основные результаты, положения и выводы исследования.

В работе [6] Б. Ловелл приводит 4 главных критерия для выявления связи кометы и метеорного потока:

1. элементы орбиты кометы и потока должны иметь сходство, если комета околоземная;

2. период метеороидного потока должен быть схож с периодом обращения кометы;

3. смещение по дате у метеорного потока должно быть в соответствии с движением узла кометы;

4. если поток длительный, то его суточный радиант должен смещаться.

При эволюции МНТ возникают сложные по структуре метеороидные ассоциации, поэтому вопрос об отождествлении кометы/астероида с метеороидным роем достаточно сложный.

Критерии подобия орбит. Один из первых и наиболее часто используемых D критериев был разработан и предложен Саутвортом и Хоккинсом в 1963 г. и позднее получил название критерий Саутворта-Хоккинса [23]. Функция расстояния для орбит с номерами 1 и 2 (2) [23]:

$$D_{SH}^{2} = \left(e_{2} - e_{1}\right)^{2} + \left(q_{2} - q_{1}\right)^{2} + \left(2\sin\frac{K_{21}}{2}\right)^{2} + \left(\frac{e_{2} + e_{1}}{2}\right)^{2} \left(2\sin\frac{L_{21}}{2}\right)^{2},$$
(2)

где
$$\left(2sin\frac{K}{2}\right)^2 = \left(2sin\frac{i_2-i_1}{2}\right)^2 + \sin i_1 \sin i_2 \left(2sin\frac{\Omega_2-\Omega_1}{2}\right)^2$$
$$L = \omega_2 - \omega_1 \pm 2\arcsin\left(\cos\frac{i_2 + i_1}{2}\sin\frac{\Omega_2 - \Omega_1}{2}\sec\frac{K}{2}\right)$$

где К – общий угол наклона орбиты, L – угол направления на перигелий, Ω , e, q, i, ω - орбитальные элементы. Если $|\Omega_2 - \Omega_1| > 180^\circ$, то ставим знак "-". Согласно авторам статьи [23], считается, что ошибки измерений орбитальных параметров намного меньше, чем реальная дисперсия орбит в потоке.

В 1981 году Драммонд предложил модифицированный вариант для двух орбит 1 и 2 в виде (3) [19]:

$$D_{DR}^{2} = \left(\frac{e_{2} - e_{1}}{e_{2} + e_{1}}\right)^{2} + \left(\frac{q_{2} - q_{1}}{q_{2} + q_{1}}\right)^{2} + \left(\frac{K_{21}}{180^{\circ}}\right)^{2} + \left(\frac{e_{2} + e_{1}}{2}\right)^{2} \cdot \left(\frac{N_{21}}{180^{\circ}}\right)^{2}, \qquad (3)$$
$$N = \arccos\left(\sin\beta_{2}\sin\beta_{1} + \cos\beta_{2}\cos\beta_{1}\cos(\lambda_{2} - \lambda_{1})\right)$$

где λ , β - координаты точек перигелиев (эклиптические): $\lambda = \Omega + arctg(\cos(i)tg(\omega));$ прибавляется 180°, если $\cos \omega < 0$ $\beta = arcsin(sin(i)sin(\omega)).$

Позднее Йопек [157] сравнил эти два критерия и пришел к выводу, что критерий Саутворта-Хоккинса D_{SH} очень зависим от перигелийного расстояния, в то время как критерий Драммонда D_{DR} сильно зависит от эксцентриситета. Он так же установил, что в критериях Драммонда и Саутворта–Хоккинса нет эквивалентности и численно проанализировав свойства критериев D_{SH} и D_{DR} , презентовал смешанную функцию (4) [157]:

$$D_{J}^{2} = (e_{2} - e_{1})^{2} + \left(\frac{q_{2} - q_{1}}{q_{2} + q_{1}}\right)^{2} + \left(2\sin\frac{K_{21}}{2}\right)^{2} + \left(\frac{e_{2} + e_{1}}{2}\right)^{2} \left(2\sin\frac{W_{21}}{2}\right)^{2}, \quad (4)$$
$$L_{21} = \omega_{2} - \omega_{1} \pm 2\arcsin\left(\cos\frac{i_{2} + i_{1}}{2}\right)\sin\left(\frac{\Omega_{2} - \Omega_{1}}{2}\right)\sec\left(\frac{K}{2}\right)$$

В дальнейшем Ашер в 1994 году [22] модифицировал все предыдущие критерии и предложил вариант для трехмерного пространства элементов орбит (5) [22]:

$$D_{AH}^{2} = (e_{2} - e_{1})^{2} + \left(\frac{q_{2} - q_{1}}{q_{2} + q_{1}}\right)^{2} + \left(2\sin\left(\frac{K_{12}}{2}\right)\right)^{2} + \left(\frac{e_{2} + e_{1}}{2}\right)^{2} \left(2\sin\left(\frac{L_{12}}{2}\right)\right)^{2}$$
(5)

Для всех описанных D критериев считаем родственно связанными МНТ тогда, когда рассчитанное значение для двух орбит МНТ ниже, чем установленный авторами порог величины D.

Анализ критериев подобия орбит на устойчивость их к геометрии орбит и ошибкам методов наблюдений.

Основная проблема при использовании D критериев заключается именно в определении порогового значения D_c. Общее приближенное правило для вычисления порогового значения D_c для принятия гипотезы о схожести двух орбит следующее (6) [68]:

$$D_c = 0.20 \left(\frac{360}{N}\right)^{1/4},\tag{6}$$

где N – размер выборки отождествляемых метеорных орбит. В работе Линблада [126] предложена модификация формулы (6) в виде:

$$D_{c} = 0.80 N^{1/4}$$

В соответствии с выводами Йопека [157] использование этих формул не всегда возможно из-за разницы в статистической обеспеченности и точности для наблюдаемых орбит метеороидов. Поэтому Йопек и Фроечли [127] разработали численный способ для получения порогового значения D_c, соответствующего вероятности случайного появления потока с заданным числом членов в случайных данных. Таким образом, при использовании D критериев любого типа именно выбор порогового значения D_c является решающим моментом процедуры поиска связи между метеороидом и его предполагаемым родительским телом.

При изучении связей между малыми телами исследователи чаще всего используют D критерии Cayтворта-Хоккинса (2), Драммонда (3) и Йопека (4) [128]. Поэтому была исследована их внутренняя и внешняя сходимость на примере главных метеорных потоков Лирид, Персеид, Орионид, Геминид, Леонид, Урсид, Драконид с известными родительскими кометами [164]. Почти все выбранные потоки в отличие от других хорошо обеспечены наблюдениями в метеорных каталогах орбит и, кроме того, отличаются большим разнообразием орбит родительских тел как по размеру и форме большой полуоси, так и по наклону их орбит к эклиптике. Были использованы чешский телевизионный каталог метеорных орбит за 1997-2002 гг. [83] и голландский телекаталог за 1990-2003 гг. [84], а также голландский фотокаталог за 1980-1994 гг. [86], в этих каталогах метеорные орбиты уже отождествлены с конкретным метеорным потоком. Значения D критериев D_{SH} , D_{DR} , D_J вычислялись соответственно по формулам 2, 3, 4 путем сравнения каждой индивидуальной орбиты метеора потока и орбиты его родительского тела.

По каждому из каталогов [83,84,86] были вычислены значения D критериев Саутворта-Хоккинса, Драммонда и Йопека между каждой индивидуальной орбитой метеорного тела и орбитой РТ для каждого метеорного потока, и построены графики зависимости D критериев, в зависимости от долготы восходящего узла Ω (рис. 2 Приложения). Анализируя рис. 2 Приложения, можно отметить, что критерий Драммонда является наиболее независимым к ошибкам наблюдений, но его верхние пределы для потоков почти в два раза ниже других D – критериев. Величина D, равная принятому авторами критериев значению 0.2, достигается только для Геминид. Для остальных потоков максимальное значение D выше независимо от каталога орбит.

Также нами было выявлено, что при отождествлении орбит метеоров к определенному потоку по верхнему значению критерия Саутворта-Хоккинса выделяются потоки, элементы которых по геометрической ориентации орбит близки к орбитам определяемого потока, но имеют совершенно различные гелиоцентрические скорости, то есть геометрия орбит схожая, но размеры и формы орбит не совпадают.

75

На основе всех вычисленных значений D для каждого потока (рис. 2 Приложения) и каждого каталога определялись средние арифметические значения D. Статистика орбит по каталогам и результаты вычислений приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Значения D критериев Саутворта-Хоккинса (D_{SH}), Драммонда (D_{DR}), Йопека (D_J) для главных метеорных потоков.

KaraJor	Лириды	Персеиды	Ориониды	Леониды	Vpcutta	Дракониды	Геминиды
			D	SH			
[83] [84] [86]	0.100 0.100 0.141	0.282 0.471 0.430	0.350 0.291 0.193	0.563	0.342	0.360	0.161 0.184 0.252
среднее	0.114	0.394	0.278	0.563	0.342	0.360	0.199
			D	DR			
[83] [84] [86] среднее	0.050 0.091 0.074 0.07	0.162 0.261 0.180 0.201	0.110 0.114 0.151 0.092	0.423	0.201	0.332	0.141 0.100 0.184 0.142
			Ľ) _J			
[83] [84] [86]	0.102 0.104 0.141	0.284 0.470 0.431	0.353 0.282 0.191	0.562	0.341	0.360	0.184 0.191 0.253
среднее	0.116	0.395	0.275	0.562	0.341	0.360	0.209
Статистика орбит по потокам							
[83] [84] [86]	8 3 3	183 45 111	102 49 8	236	3	72	71 104 132

На основе всех средних вычисленных значений D по каждому критерию, по данным таблицы 2.1 был построен график, представленный на рис. 2.1 а, показывающий значения верхних пределов D критериев для главных метеорных потоков в зависимости от большой полуоси родительского тела. Анализируя график на рис. 2.1 а, можно отметить, что значения критерия Драммонда, для каждого из метеорных потоков, значетельно ниже, чем остальных критериев D.



Рис. 2.1 а. Значения верхних пределов D критериев для главных метеорных потоков в зависимости от большой полуоси родительского тела



Рис. 2.1 b. Средние значения D критерия Драммонда в зависимости от большой полуоси родительского тела

Анализ поведения D критерия Драммонда относительно разных каталогов метеорных орбит показал, что наиболее надежным для отождествления метеорных потоков с их PT оказался критерий Драммонда. Данный критерий является наиболее устойчивым для всех потоков и менее чувствительным к ошибкам наблюдений (независимо от ошибок элементов орбит разных каталогов разброс значений критерия незначительный). На рисунке 2.1 b показана зависимость средних значений D критерия Драммонда от большой полуоси родительского тела.

Анализируя наиболее вероятные значения D критерия Драммонда, полученные для потоков, выявлено, что для кометных потоков это значение не превышает значения 0.2, в то время как для астероидных потоков это значение выше. Как видно из графика на рисунке 2.1 b, Геминиды попадают в группу кометных потоков, хотя его родительским телом считается астероид 3200 Phaethon.

Анализируя результаты, мы считаем, что наиболее надежным для целей отождествления метеорных потоков с родительскими телами, как по внутренней, так и по внешней сходимости, является критерий Драммонда. Данный критерий является наиболее устойчивым для всех потоков независимо от геометрии их орбит и ориентации в пространстве. К тому же критерий Драммонда менее чувствителен к ошибкам регистрации метеоров и определения орбит, так как разброс значений средних значений D потоков является незначительным для всех трех использованных каталогов.

Таким образом, исходя из анализа поведения критериев Саутворта-Хокинса, Драммонда и Йопек для главных метеорных потоков, таких как Лириды, Персеиды, Ориониды, Леониды, Урсиды, Геминиды с их РТ – кометами и астероидами, соответственно: C/1861 G1 Thatcher, 109P/Swift-Tuttle, 1P/Halley, 55P/Tempel-Tuttle (8P/Tuttle), астероид 3200 Phaethon, а также анализа пороговых значений данных критериев и анализа их внутренней и внешней сходимости. Нами было показано, что на критерий Драммонда меньше влияет геометрия орбит метеоров и он наименее чувствительный к инструментальным ошибкам

78

орбитальных элементов, полученных разными методами. Поэтому в синтетический метод нами был включен критерий Драммонда.

Анализируя применимость всех критериев, можно определить, что в них есть ряд неустранимых недостатков, согласно работам [18,129]. Данные критерии некорректно определяются в случае околокруговых орбит и нарушают аксиому треугольника, для некоторых случаев:

$$D(x, z) > D(x, y) + D(y, z)$$
, где x, y, z - тройка орбит.

Недостатки не так ощущаются в случае вытянутых орбит. А так как метеорные и кометные орбиты вытянуты, то ослабленная аксиома треугольника еще может быть выполнена [129]:

$$D(x, z) < F(D(x, y) + D(y, z)), npu$$
 F>1, F-постоянная.

Эти недостатки попробовал учесть К.В. Холшевников и им, в 2016 г., была опубликована метрика [18], в которой учитываются указанные выше недостатки, и которая является не безразмерным критерием, а именно расстоянием в 5-ти мерном пространстве кеплеровых орбит.

Метрика Холшевникова. Задание метрик происходит в нескольких фактор пространствах [18]. Одна их метрик Холшевникова ρ_1 рассматривается в 5-ти мерном фазовом пространстве орбитальных элементов тел 1 и 2 [18]:

$$\rho_{1 \ Khol}^{2} = \left(1 + e_{1}^{2}\right) p_{1} + \left(1 + e_{2}^{2}\right) p_{2} - 2\sqrt{p_{1}p_{2}} \left(\cos K + e_{1}e_{2}\cos J\right), \tag{7}$$

где р — фокальный параметр, К – общий угол наклона орбиты

$$\cos K = k_1 k_2 + d_1 d_2 \cos \Delta,$$

$$k = \cos K, d = \sin i, \Delta = \Omega_1 - \Omega_2,$$

знак минус отвечает случаю $|\Delta| > \pi$, при обычном соглашении $0 \le \Omega \le 2\pi$,

$$\cos J = A + B \cos \Delta + C \sin \Delta,$$

$$A = d_1 d_2 \sin \omega_1 \sin \omega_2;$$

$$B = \cos \omega_1 \cos \omega_2 + k_1 k_2 \sin \omega_1 \sin \omega_2;$$

$$C = k_1 \cos \omega_1 \sin \omega_2 - k_1 \sin \omega_1 \cos \omega_2,$$

Поскольку $0 \le J \le 2\pi$, угол J однозначно определяется косинусом.

Метрика Холшевникова ρ_2 вводится в фактор-пространстве, с постоянным фокальным параметром р, эксцентриситетом е, наклоном і, долготой восходящего узла Ω , так как они меняются незначительно и разными направлениями перицентров ω [18]:

$$\rho_{2Khol}^{2} = \left(1 + e_{1}^{2}\right) p_{1} + \left(1 + e_{2}^{2}\right) p_{2} - 2\sqrt{p_{1}p_{2}} \left(\cos K + e_{1}e_{2}\right).$$
(8)

Метрика Холшевникова ρ_3 используется при различных положениях линий узлов и линиц апсид для оценки наименьшего расстояния между орбитами двух МНТ.

$$\rho_3^2 = \left(1 + e_1^2\right) p_1 + \left(1 + e_2^2\right) p_2 - 2\sqrt{p_1 p_2} \left(e_1 e_2 + \cos\left(i_1 - i_2\right)\right) \tag{9}$$

Проанализировав все метрики, и обсудив результат с автором метрик, сделан вывод, что для наших исследований наиболее применима метрика ρ_3 , заданная в трехмерном фактор-пространстве. Данная метрика наиболее применима к нашим исследованиям, так как в этой метрике учтено, что неизменным является класс орбит с такими постоянными величинами, как фокальный параметр р, эксцентриситет е, наклон i, изменение которых со временем незначительно, и меняющимися значениями направлений перицентров ω и узлов орбиты Ω , которые испытывают большие вековые возмущения. Далее в работе мы будем обозначать метрику ρ_3 , как ρ . В расчетах мы вычисляем ρ^2 в а.е. и D^2 для критерия Драммонда (3).

Квазистационарные параметры, параметр Тиссерана, долгота перигелия и их анализ.

Все функции расстояния D имеют общий недостаток, обусловленный тем, что элементы орбит q, e, i, ω , Ω являются динамическими инвариантами только в задаче двух тел, в то время как орбиты метеороидов подвержены возмущениям, и их орбитальные элементы могут значительно изменяться [130-136].

Минус D-критериев в том, что они не учитывают гравитационные или негравитационные возмущения орбит, планетные возмущения сильно влияют на орбитальные параметры метеороидов, в итоге, метеороиды одного и того же потока, могут иметь различные элементы орбиты внутри роя, и в отношении с орбитой РТ [140]. Для учета этого недостатка, согласно [24], мы включили в синтетический метод и другие критерии, основанные на совпадении долготы перигелия π , а также μ , v и T-характеристик.

Для определенного класса тел Солнечной системы в качестве надежной динамической характеристики, мало изменяющейся со временем может служить параметр Тиссерана, являющийся следствием решения ограниченной задачи 3-х тел [21]:

$$T = \frac{1}{a} + 2\left(1 + m_n\right)^{0.5} \frac{1}{a_n^{1.5}} \left(a\left(1 - e^2\right)\right)^{0.5} \cos i,$$
(10)

где m_n, a_n - масса и большая полуось планеты. Если за возмущающую планету принять Юпитер, то формула имеет вид:

$$T = \frac{1}{a_j} + 2\left(1 + m_j\right)^{0.5} \frac{1}{a_j^{1.5}} \left(a\left(1 - e^2\right)\right)^{0.5} \cos i,$$
(11)

где $a_j=5.203$ а.е. – среднее расстояние Юпитера от Солнца, $m_j=1.9\cdot10^{27}$ кг – масса Юпитера. Элементы с индексом «j», относятся к Юпитеру. Значение остается приблизительно неизменным для орбит, афелийные расстояния которых не намного больше среднего расстояния Юпитера от Солнца, и когда можно пренебречь притяжением со стороны Сатурна, Урана и Нептуна. Инвариант Тиссерана Т используют для классификации орбит на кометоподобные и астероидные орбиты [137-139]. При условии, если T≤3.1, то орбита считается как астероидная [14,137].

Часто значение параметра Тиссерана нормируют на значение большой полуоси планеты и для каждой планеты используют свое значение:

$$T_{3eMЛR} = \frac{3}{1} = 3$$

$$T_{Honumep} = \frac{3}{5.2} = 0.577$$

$$T_{Camyph} = \frac{3}{9.582} = 0.313$$

$$T_{Vpah} = \frac{3}{19.229} = 0.156$$

$$T_{Henmyh} = \frac{3}{30.104} = 0.099$$
(12)

Среднее значение параметра Тиссерана было рассчитано как для потока, так и для его родительского тела применительно для планет Земля, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Полученные результаты приведены в таблице 2.2. В таблице выделены цветом те потоки, которые образуют семейство малых тел данной планеты.

Как видно из таблицы 2.2, планета Земля оказывает наибольшее влияние на динамику астероидного потока Виргиниды, который наблюдаются в февралемарте и имеет продолжительность больше месяца.

Таким образом, оценивая результаты, считаем, что параметр Тиссерана не является дополнительным признаком для определения класса родительского тела, но дает возможность выявить основную возмущающую планету для потока, к тому же планета может оказывать различное влияние на поток и его родительское тело. Тогда, или орбита РТ не совпадает со средней орбитой роя вследствие их динамической эволюции, либо можно ставить под сомнение выбор самого родительского тела потока.

Метеорный поток и его РТ		Значения параметра Тиссерана для планет, согласно формулам (10-11)				
	T_3	Т_Ю=	T_C=	T_Y=	T_H=	
	=3	0.57	0.3	0.17	0.01	
Виргиниды(Vir), астероид	<mark>2,897</mark>	1,481	0,846	0,800	0,788	
(1620) Географ	2,842	1,486	0,875	0,831	0,819	
Геминиды(Gem), Астероид (3200)Фаэтон	1,723	1,082	0,794	0,773	0,768	
	1,743	1,105	0,819	0,798	0,795	
Дельта-Канкриды(δ-Can), астерод	1,728	<mark>0,921</mark>	0,559	0,533	0,526	
(2001)YB5	1,961	0,937	0,478	0,444	0,436	
Дракониды(Dra), комета	2,412	<mark>2,834</mark>	0,409	0,363	0,351	
21Р/Джакобини-Циннера	2,545	2,805	0,350	0,310	0,297	
Леониды(Leo), комета	-2,201	-0,617	0,093	<mark>0,145</mark>	0,159	
55Р/Темпеля-Тутля	-2,511	-0,772	0,009	0,066	0,081	
Лириды(Lyr), комета (C/1861 G1)Тэтчера	0,567	<mark>0,241</mark>	0,095	0,085	<mark>0,082</mark>	
	0,504	0,18	0,034	0,024	0,021	
Ориониды(Ori), комета 1Р/Галлея	-1,875	-0,535	0,067	<mark>0,111</mark>	<mark>0,123</mark>	
	-1,992	-0,625	-0,013	0,032	0,044	
Персеиды(Per), комета 109Р/Свифта-Туттля	-0,934	-0,236	0,076	0,099	<mark>0,105</mark>	
	-1,061	-0,328	0,0009	0,025	0,031	
Урсиды(Urs), комета 8Р/Туттля	1,752	<mark>0,734</mark>	<mark>0,228</mark>	0,244	0,235	
	1,756	0,705	0,229	0,194	0,185	

Таблица 2.2. Средние значения параметра Тиссерана для потоков и их родительских тел применительно к планетам.

На основе решения ограниченной задачи трех тел, когда тело с бесконечно малой массой движется под влиянием притяжения Солнца и планеты, получают еще два квазистационарных параметра [141]. Параметр µ определяется по формуле

$$\mu = a^{1/2} (l - e^2)^{1/2} \cos i = const, \tag{13}$$

и представляет собой проекцию кинетического момента на нормаль к плоскости эклиптики.

Лидов [142] для орбит, не испытывающих тесных сближений с возмущающими телами, получил еще один квазистационарный параметр, остающийся приблизительно постоянным [141]:

$$v = e^2(0, 4 - \sin^2 \omega \sin^2 i) = const.$$
⁽¹⁴⁾

Оба параметра µ и v лишь приблизительно остаются постоянными. Их изменения со временем обусловлены как вековыми возмущениями элементов орбит, так и негравитационными эффектами. В работе [143] вычислили и проанализировали значения квазистационарных параметров на большом временном интервале в 10000 лет, учитывая возмущения от планет и эффект П-Р, результат показал, что их изменения не превышают 10 процентов. За 10 тыс. лет элементы орбит малых тел могут изменяться в значительно больших пределах, особенно долгота восходящего узла и аргумент перигелия.

Ранее рассмотренные критерии (формулы 10,13,14) были проверены на устойчивость. Было выявлено, что значение квазистационарного параметра µ для потоков не вычисляется для большинства числа метеорных орбит. Что касается, гравитационного параметра v, то он устойчив к геометрии орбиты и одинаково считается для любого набора элементов орбит потока и родительского тела. Средние значения параметров, вычисленные для каждого потока, представлены на графиках в зависимости от большой полуоси родительского тела.

Как видно из графика, представленного ниже (рис. 2.2), параметр µ не может быть использован как признак кометного или астероидного происхождения потока, так как его значение определяется в основном размерами орбит, которые для потоков любого происхождения меняются в широких пределах.

Анализируя значения параметра v, представленные на рисунке 2.3, выяснилось, что значение этого параметра нельзя использовать в качестве критерия для отождествления метеоров к тому или другому метеорному потоку, или родительскому телу, так как диапазон его значений практически одинаков для всех выделенных орбит и потоков.

Анализируя данные графика 2.3 можно отметить, что значения параметра ν для предположительно астероидных потоков (δ-Канкриды и Виргиниды) близко к нулю, на основании чего можно предположить, что потоки астероидного типа в меньшей степени испытывают тесные сближения с планетами, в отличие от кометных потоков.

84



Рис. 2.2. Средние значения динамического параметра µ в зависимости от большой полуоси родительского тела



Рис. 2.3. Средние значения динамического параметра v в зависимости от большой полуоси родительского тела

Как видно из рисунка 2.3, по признаку параметра v Геминиды попадают в кометную группу, хотя его РТ предположительно считается астероид 3200 Phaethon.

Достаточная близость значений параметра Тиссерана для двух малых тел является необходимым, но недостаточным условием их тождественности. Чтобы предположить родственную связь для двух тел, нужно, чтобы при орбитальной эволюции их орбиты сохранили близость значении всех трех параметров, как параметра Тиссерана T, так и квазистационарных параметров µ, v.

На основании исследования значений параметра Тиссерана и значений квазистационарных параметров µ и v для потоков астероидного, кометного и предположительно астероидного типа, мы пришли к выводу, что данные параметры нужно включить в синтетический метод. При разработке синтетического метода учтено, что эти параметры должны сохранять близкие значения между собой.

По отдельности долгота восходящего узла и аргумент перигелия орбиты сильно изменяются, а значение их суммы, то есть долгота перигелия π , остается постоянной [141,143]:

$$\pi = \omega + \Omega \tag{15}$$

Свойство сохранения долготы перигелия на длительных интервалах времени выявлено для исследуемых нами метеорных потоков, представленных в настоящей работе. В связи с выявленным постоянством значений долготы перигелия π для потоков, мы приняли решение о включении в синтетический метод и долготы перигелия, как еще один дополнительный критерий для проверки генетической общности.

Резюмируя сказанное, в рамках предположения о вероятной общности МНТ необходимо сохранение постоянства значений параметра Тиссерана Т, квазистационарных параметров μ, v и долгот перигелиев π в процессе эволюции орбит. Учитывая этот факт, параметр Тиссерана Т, квазистационарные параметры

µ, ν и долготу перигелия π можно использовать вместе, как дополнительные критерии проверки генетической связи между МНТ.

2.2. Синтетический метод для определения генетических связей МНТ

Для повышения достоверности отождествления РТ для МНТ нами, как было показано выше, был произведен анализ критериев подобия орбит, квазистационарных параметров, параметра Тиссерана и долготы перигелия на их устойчивость к геометрии орбит и ошибкам методов наблюдений. Анализируя полученные результаты, решили объединить ΜЫ несколько критериев генетической общности вместе. Объединив совокупность разных критериев, которые учитывают гравитационные и негравитационные взаимодействия мы имеем возможность получить достоверные результаты по исследованию МНТ. В статье [185] была выполнена предварительная работа по использованию ряда критериев, но, во-первых, они применялись каждый по отдельности, без объединения в единую систему, и, во-вторых, в синтетический метод мы включили менее чувствительные к ошибкам наблюдений критерии и учли метрики Холшевникова и долготу перигелия, что привело к более достоверному отождествлению родительских тел для метеорных потоков.

Синтетический метод по определению генетических связей МНТ базируется на основе совокупности критериев подобия орбит Драммонда (3), метрики Холшевникова (9) и квазистационарных параметров μ (13) и v (14), параметра Тиссерана T (10), полученных как следствие из ограниченной задачи трех тел, и долготы перигелия π (15) [24].

Мы исследовали обоснованность объединения критериев разного рода в одну систему – критериев, вычисляющих расстояние между орбитами двух тел, а также критериев, являющихся следствием решения ограниченной задачи трех тел, которые определяют гравитационные и негравитационные взаимодействия.

Изначально, проверка приминимости производилась на обильных наблюдениями главных метеорных потоках, имеющих большое количество

метеорных частиц и имеющих точно установленное РТ. Для потоков кометного происхождения – Персеиды, Леониды, Урсиды, Лириды, Дракониды, Ориониды.



Рис. 2.4. Синтетический метод по нахождению генетических связей околоземных объектов

Для потоков астероидного происхождения – Геминиды и для астероидного комплекса Виргиниды. Проверка синтетического метода проводилась в контексте связи потоков с уже установленными для них РТ. Было установлено, что все указанные метеорные потоки подтверждают свою связь с определенными РТ и значения для параметра Тиссерана Т, квазистационарных параметров и долготы перигелия π при выполнении расчетов между вычисленной средней орбитой метеорного потока и орбитой РТ сохраняют близкое значение.

Выводы по главе 2

Во второй главе был выполнен анализ критериев генетической общности и критериев, учитывающих гравитационное и негравитационное влияние. Средние значения D-критериев Саутворта-Хоккинса, Драммонда, Йопека, критериев, основанных на совпадении долготы перигелия π орбит, близости гравитационных параметров µ, v и величины T параметра Тиссерана и их применимость были

получены для потоков кометного Дракониды, Леониды, Лириды, Ориониды, Персеиды, Урсиды и потоков Дельта-Канкриды, Виргиниды, Скорпиды/Саггитариды, Альфа-Каприкониды астероидного происхождения. D критерии были проанализированы на устойчивость к геометрии орбит и ошибки методов наблюдения. Были сделаны следующие выводы:

- D-критерии отождествления орбит родительского тела и метеороида дают для кометных потоков среднее значение более низкое не превышающее 0.2, в отличие от астероидных потоков, для которых значение выше установленного значения в 0.2;
- Анализ значений квазистационарного параметра и параметра Тиссерана, показал, что МНТ испытывают тесные сближения с планетами, особенно кометы;
- Сравнение значений параметра Тиссерана, полученных для планета- потока и для планета-родительского тела может подтвердить или опровергнуть их общее генетическое происхождение;
- 4. D критерий Драммонда более устойчивый к геометрии орбит метеороидов и ошибкам методов наблюдения;
- Полученные результаты можно использовать в качестве критериев и признаков при поиске и отождествлении родительского тела к конкретному метеорному потоку.

Таким образом, была разработана усовершенствованная методика поиска вероятных связей метеорных потоков-сирот с околоземными объектами (астероидами, потухшими кометами или осколками их разрушения) и создан синтетический метод по нахождению генетических связей МНТ. Синтетический метод по нахождению генетических связей МНТ создан на основе критериев подобия орбит Драммонда, метрики Холшевникова и квазистационарных параметров μ и ν, параметра Тиссерана Т, полученных как следствие из ограниченной задачи трех тел, и долготы перигелия π, который сохраняет постоянство при эволюции орбиты. Анализ показал, что для повышения точности определения генетических связей МНТ и достоверности полученных результатов, синтетический метод по нахождению генетических связей МНТ должен включать совокупность критериев: 1) безразмерный D критерий Драммонда; 2) размерная метрика Холшевникова; 3) долгота перигелия π; 4) параметр Тиссерана Т; 5) квазистационарные параметры µ и v, которые являются следствием ограниченной задачи трех тел. Последнее получается в том случае, когда тело с бесконечно малой массой движется под влиянием притяжения Солнца и планеты, в данном случае Юпитера. При этом параметр и представляет собой проекцию кинетического момента движения на нормаль к плоскости эклиптики. Здесь следует отметить, что согласно работе [141] долгота перигелия π испытывает определенные изменения, с другой стороны, согласно работе Шестаки [143] эти изменения незначительны на большом временном интервале. В нашей работе мы склонились к мнению Шестаки как к более аргументированному. Обосновано, что применение каждого из параметров повышает достоверность выводов о наличие родственных связей малых тел.

Показано, что использование синтетического метода по исследованию генетической связи МНТ позволяет получить более достоверные результаты, которые находятся в хорошем согласии с результатами ведущих мировых ученых.

ГЛАВА З. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕТИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ МНТ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА АНАЛИЗА МАЛЫХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ АПКАМНТ

3.1 Алгоритм определения пороговых значений для всех критериев, используемых в синтетическом методе

При написании данной Главы диссертации использована публикация [24], выполненная соискателем в соавторстве, в которой отражены основные результаты, положения и выводы исследования.

Как уже обсуждалось выше, при применении критериев генетической общности основной проблемой является определение верхнего порогового значения D_c, при котором для орбит двух малых тел х и у должно выполняться соотношение:

$$D^2(x, y) \le D_c^2. \tag{16}$$

При выполнении данного условия предполагают, что два малых тела могут иметь общее происхождение. Аналогично для метрики Холшевникова. Метрика Холшевникова пока еще мало изучена с точки зрения анализа ее пороговых значений. В то время как в литературе описаны различные способы определения пороговых значений D критериев.

Ашер и др. [144] при изучении связей потока Таурид с астероидами использовал критерий Ашера D_H (5) и, принимая пороговое значение 0.26, выделил 25 связанных с потоком астероидов. В результате было принято, что для комплекса Таурид пороговое значения D критерия равно 0.2 [144]. Порубчан и др. [145] также для комплекса Таурид использовали критерий Саутворта-Хоккинса D_{SH} (2), с порогом 0.3 был выделен 91 астероид. Для последующего отбора орбиты астероидов моделировались на 5000 лет назад и было отобрано 9 связанных с потоком астероидов [145].

Рудавска и др. [146] провели тестирование критериев Саутворта-Хоккинса D_{SH} (2) и Ашера D_H (5), используя метод случайной генерации и эволюции метеороидов, описанный в [147]. Они определили пороговое значение, равное

0.084, для критерия Саутворта-Хоккинса D_{SH} (2) и 0.077 для критерия Ашера D_H (5) [147]. В статье Сегон и др. [148] также для критериев Саутворта-Хоккинса D_{SH} (2) и Ашера D_H (5) используется одинаковое пороговое значение D_c , равное 0.15, полученное на основе работ Линбланда [119, 149] и Дженискенса [118]. Рябова [150] для оценки дисперсии модели образования потока Геминид использует метод интегрирования орбит назад на 2000 лет, при этом было получено, что критерий Саутворта-Хоккинса D_{SH} (2) не может быть меньше 0.046 и больше 0.2 [150].

Таким образом, обзор показывает, существующие подходы в определении критического значения критериев – это статистический и метод моделирования орбит назад на значительные интервалы времени, так называемый, ретроанализ. Пороговое значение при статистическом анализе выводится из выборки исследуемых метеорных орбит, которые принадлежат метеорным потокам уже отождествленным с РТ, например, [149]

$$D_c = 0.8 x^{-1/4}$$

где *х* – количество выбранных отождествленных метеорных орбит.

При использовании статистического подхода к исследованию D критериев, было установлено, что, в основном, для пары метеороидная частица – орбита PT, вне зависимости от метеорного потока критическое значение критерия составляет $D_c \leq 0.2$. Показанные выше формулы очень чувствительны к статистической обеспеченности метеорными орбитами и их точности. Способ графической интерполяции в 2 этапа показан в работе [128]. Сначала определяют пороговое значение для каждого выбранного D критерия, потом на их основе определяют пороговое значение для каждого метеорного потока.

При ретромоделировании моделируются выброс из РТ и орбиты, смоделированные при выбросе. Необходимо задать такие параметры как точка выброса и его направление на орбите РТ, скорость выброса, масса частиц. Метод используется для потоков с уже определенными РТ. Пороговое значение для потоков группы кометы Галлея меньше 0.2, тогда как для потоков группы Юпитера больше, чем 0.2 [46-48].

В статье на эту тему [151], вышедшей в 2017 г., был предложен несколько другой способ статистического определения D_c на основе графической интерполяции. Главное отличие от предыдущих в том, что значение D_c определяется в два этапа для каждого критерия и индивидуально для каждого потока. На первом этапе определяется общее значение AV_{Dc} по формуле [151]:

$$AV_{D_c} = \frac{N_{D_c}}{M_{D_c}},$$

где N_{Dc} – общее число астероидов, связанных с метеорным потоком для каждого D критерия, M_{Dc} – количество метеорных потоков, которые могут быть связаны с этими астероидами. Было получено, что для разных D критериев и метеорных потоков значение AV_{Dc} варьируется от 0 до 0.5.



Рис. 3.1. Этапы определения пороговых значений

критериев синтетического метода

Далее графическим методом по углу наклона функции AV(M_{Dc}) определялись пороговые значения D_c для каждого D критерия, они получились равными

 $D_{\rm H}$ =0.06, $D_{\rm SH}$ = 0.21 и $D_{\rm JOP}$ = 0.19 и далее индивидуально для каждого метеорного потока [151]. Стоит отметить, что в [151] при нахождении значений $D_{\rm c}$ для каждого исследуемого потока учитывались ошибки определения орбит астероидов, ошибки определения орбит метеороидов не учитывались, хотя они существенно больше. Критерий Драммонда в [151] не тестировался. Результаты поиска близких орбит метеорных потоков и астероидов, полученные в [151], даже для главных потоков не всегда совпадали с опубликованными данными других авторов.

При такой неопределенности условий применимости критериев подобия орбит нами большое внимание было уделено усовершенствованию методики определения порогового значения D_c. Решая эту проблему для всех критериев синтетического метода (3,9-10,13-15) применен алгоритм, схема которого приведена на рисунке 3.1.

Пороговые значения для всех критериев синтетического метода задаются нами согласно алгоритму на рисунке 3.1, а именно:

1. Сначала рассчитывается средняя орбита потока по всему массиву индивидуальных орбит метеороидов отдельно для каждого каталога;

2. Затем рассчитываются значения критерия Драммонда D_i (3), метрики Холшевникова ρ_i (9), для каждой из пар орбит: орбита метеороида $E_{meteoroid_i}$ со средней орбитой потока E_{avr} ;

3. Рассчитываются средние значения критерия Драммонда D (формула 17), метрики Холшевникова ρ (формула 18), а также их СКО σD^2 , $\sigma \rho^2$;

4. Используя индивидуальные орбиты метеороидов ресчитываются значения инварианта Тиссерана (10), квазистационарных параметров (13,14) и долготы перигелия (15);

5. По индивидуальным значениям всех критериев из пункта 4 рассчитываются их средние значения критериев и СКО σT , $\sigma \pi$, σv , $\sigma \mu$;

6. Для орбит астероида и средней ориты потока производится расчет значений всех критериев (3, 9-15);

7) проверка на то, как будут выполняться критерии (3, 9-15) с учетом их СКО σD^2 , σp^2 , σT , $\sigma \mu$, σv , $\sigma \pi$.

Пороговые значения D_c критерия Драммонда и ρ_c метрики Холшевникова, а также всех остальных критериев синтетического метода вычисляются как средние арифметические значения между орбитой метеороида $E_{meteoroid_i}$ и средней орбитой потока E_{avr} :

$$D_{c} = \frac{\sum D_{i} \left(E_{meteoroid_i}; E_{avr} \right)}{n}.$$
(17)

$$\rho_c = \frac{\sum \rho_i \left(E_{meteoroid_i}; E_{avr} \right)}{n}.$$
(18)

В формулах (17) и (18) величина п задается числом орбит метеороидов, поэтому большая статистика орбит метеороидов потока повышает степень надежности определения пороговых значений критериев. Кроме того, в пороговые значения критериев вводятся среднеквадратичные ошибки σ их определения, что учитывает ошибки определения элементов орбит метеороидов.

Каждая из вычисленных нами средних орбит (таблицы 1.3, 1.4, 1.6-1.8) путем усреднения орбитальных элементов должна удовлетворять условию наблюдения в окрестностях орбиты Земли [8]:

$$0.983 < R_{ab} = \frac{q(1+e)}{1\pm e\cos\omega} \le 1.017,$$

где R_{ab} - радиус-векторы узлов орбиты метеороидов, знак «+» соответствует восходящему, а знак «-» – нисходящему узлам орбиты. Каждая из средних орбит потока была проверена на выполнение данного условия и удовлетворяет ему.

3.2 Независимый способ отбора астероидов в родительские тела с помощью синтетического метода

Решение задачи поиска малых тел, имеющих схожие орбиты, является принципиальным моментом в установлении их родственных связей. Как правило, при поиске РТ метеорных потоков среди астероидов на основе D критериев выделяется достаточно много астероидов со схожими орбитами [145,146], поэтому необходимо разрабатывать определенную систему для их дальнейшей выборки.

Нами предложен подход на основе использования среднеквадратических ошибок параметров пороговых значений для всех критериев синтетического метода, значения которых приведены в таблицах 3.2 – 3.6. Данные значения, полученные как средние арифметические при вычислении для пары орбита метеороида - средняя орбита потока, сравниваются с теми же значениями параметров для пары орбита астероид - средняя орбита потока. Степень близости значений оценивается путем задания некого фактора, мы назвали его фактор P, на основе значений σ СКО для каждого из критериев. Фактор равен 1 при полном совпадении значений, 0.9 – если они отличаются на величину σ, 0.8 – соответственно на 2σ и т.д. (таблица 3.1 и рисунок 3.2).

поиска олизких ороит.						
критерий значение	$\mathbf{D}_{\mathbf{DR}}^{2}$	ρ^2	π	Т	v	μ
$\frac{D_{DR}^{2} \le D_{c}^{2}}{\rho^{2} \le \rho_{c}^{2}}$	1	1	-	-	-	-
$E_{avr}\pm\sigma$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
$E_{avr}\pm 2\sigma$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
$E_{avr} \pm 3\sigma$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Таблица 3.1. Фактор Р для оценки выполнения совокупности критериев (E_{avr}) поиска близких орбит.

В таблице 3.1 приведена система задания фактора P по каждому проверяемому критерию D_{DR}^2 , ρ^2 , π , T, v, μ . Фактор P, равный 1, приписывался, если значения для пары орбит: средняя орбита потока (у) и орбита астероида (х) для D критерия Драммонда и метрики Холшевникова выполнено условие:

$$D^{2}(x, y) \leq D_{c}^{2}.$$
$$\rho^{2}(x, y) \leq \rho^{2}_{c}$$

Далее высчитывалась общая мера выполнения всех факторов, результирующий фактор Р, по аналогии с произведением вероятности совместных независимых событий [152]:

$$P = \prod [P_i], \tag{19}$$

где i = 1, ... 6. Значения ($E_{avr} \pm \sigma$) каждого критерия приведены в таблицах 3.1 – 3.5.

На рисунке 3.2. представлен алгоритм присвоения индивидуального фактора Р и последующее вычисление результирующего фактора Р на основании которого и делается вывод о родственности МНТ.

Применение механизма анализа выборки, схожего с вероятностным, исключает субъективизм при оценке степени схожести орбит двух тел и позволяет автоматизировать весь процесс процедуры отбора путем задания уровня значимости полной вероятности.

Таким образом, была разработана усовершенствованная методика поиска вероятных связей метеорных потоков-сирот с околоземными объектами (астероидами, потухшими кометами или осколками их разрушения). Для отождествления использован синтетический метод, как совокупность параметров D критерия близости орбит Драммонда, метрики пространства Холшевникова, параметра Тиссерана и квазистационарных параметров и орбитального параметра долготы перигелия. Применение каждого из параметров синтетического метода повышает достоверность получения информации о родственных связях МНТ.



Рис. 3.2. Алгоритм присвоения фактора Р и вычисление результирующего фактора Р

Критические значения всех критериев синтетического метода вычислены с учетом индивидуальных орбит метеороидов, что учитывает дисперсию орбит

метеороидов как при самом выбросе из РТ, так и при последующей динамики их орбит в следствии эволюции.

Отбор кандидатов в РТ для метеорных потоков с ненайденным РТ присходит с присвоением фактора Р, который присваивается как результат выполнения каждого критерия при попадании в интервал их СКО (рисунок 3.2) [24].

3.3 Создание автоматизированного программного комплекса анализа малых небесных тел АПКАМНТ

Для реализации авторского синтетического метода была написана программа ЭВМ на языке Си++ - автоматизированный программный комплекс анализа МНТ АПКАМНТ, который содержит 5 модулей (рис. 1 Приложения) и отражает все этапы исследования:

1) Модуль по нахождению значений согласно критериям D Драммонда, метрики ρ Холшевникова, квазистационарных параметров μ и v, долготы перигелия π , параметра Тиссерана T между средней орбитой метеорного потока и индивидуальными орбитами метеороидов с помощью синтетического метода (рис. 3.3).

2) Модуль по оценке пороговых значений критериев синтетического метода, с использованием индивидуальных орбит метеороидов и средней орбиты метеорного потока, их дисперсий σ^2 и среднеквадратичных отклонений σ (рис. 3.4).

3) Модуль по определению степени выполнения совокупности критериев (рис. 3.4).

4) Модуль по отбору кандидатов в РТ (рис. 3.4).

5) Модуль по анализу и оценке взаимосвязей динамических параметров выделенных АСЗ согласно независимым критериям Ашера D_{AH} и Саутворта-Хоккинса D_{SH} (рис. 3.5). На рисунке 3.3 представлен алгоритм модуля по нахождению значений критериев и оценке пороговых значений согласно критериям D Драммонда,



Рис. 3.3. Алгоритм программного комплекса по определению пороговых значений критериев

метрики ρ Холшевникова, квазистационарных параметров μ и ν, долготы перигелия π, параметра Тиссерана Т между средней орбитой метеорного потока и индивидуальными орбитами метеороидов с помощью синтетического метода. В

модуле изначально рассчитываются значения элементов средней орбиты потока по индивидуальным орбитам метеороидов [153]. Далее выполняется расчет для всех критериев, используемых в синтетическом методе, между средней орбиты метеорного потока и индивидуальными значениями орбит метеороидов, их дисперсий σ^2 и среднеквадратичных отклонений СКО σ .

Исходя из рассчитанных значений всех критериев синтетического метода между средней орбитой потока и индивидуальными метеорными орбитами определяются пороговые значения для каждого критерия синтетического метода, как интервальное значение – диапазон между вычисленным пороговым значением $u \pm ux$ СКО σ .



Рис. 3.4. Алгоритм программного комплекса по определению степени

выполнения совокупности критериев

поиска близких орбит и отбор кандидатов в РТ

Далее оценивается степень выполнения совокупности всех критериев синтетического метода и отбираются претенденты в РТ для потока. На рис. 3.4 продемонстрирован алгоритм модуля по определению степени выполнения совокупности критериев и по отбору кандидатов в РТ.



Рис. 3.5. Алгоритм программного комплекса по вычислению значений между орбитами астероидов по критериям Ашера D_{AH} и Саутворта-Хоккинса D_{SH}

Вычисленное значение между средней орбитой метеорного потока и орбитой астероида должно попасть в интервальное значение между пороговым значением для каждого из критериев синтетического метода и ± их СКО σ, чтобы

данный астероид был признан кандидатом в РТ для исследуемого метеорного потока. Потом целесообразно проверить выделенные РТ для метеорного потока на предмет не являются ли отобранные тела одним ранее распавшимся телом. Для этого реализуется модуль по анализу и оценке взаимосвязей динамических параметров выделенных АСЗ согласно независимым критериям Ашера D_{AH} (5) и Саутворта-Хоккинса D_{SH} (2) (рис. 3.5)

Согласно рис. 3.5 все АСЗ, отобранные для каждого конкретного метеорного потока проверяются критерием Саутворта-Хоккинса и его модификацией – критерием Ашера. Если 2 орбиты АСЗ дают значение меньше или равно 0.2, согласно пороговому значению принятому авторами критериев, то мы считаем, что эти тела родственно связаны между собой и, возможно, являются осколками одного ранее распавшегося тела и имеют схожую природу.

3.4 Результаты по определению пороговых значений критериев синтетического метода и независимого способа отбора астероидов

В таблицах 3.2 - 3.19 приведены пороговые значения для всех критериев синтетического метода с учетом их ошибок σ^2 и σ , рассчитанные для каждого каталога и каждого метеорного потока в отдельности. Пороговые значения для каждого из критериев синтетического метода рассчитываются в модуле 2 автоматизированного программного комплекса анализа МНТ АПКАМНТ и используются в модуле 3 данной программы.

Можно отметить, что для каталога метеорных орбит CAMS пороговые значения критериев всегда дают более низкие значения, в сравнении с другими метеорными каталогами, это вызвано наличием ошибок наблюдений, которые указаны в каталоге.

Используя пороговые значения критериев из данных таблиц 3.2 – 3.19 производится независимый способ отбора кандидатов в РТ для исследуемых метеорных потоков, согласно модулю 4 автоматизированного программного

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ ²	критериев, σ
D avr=0.140	$\sigma^2 D=0.0002$	σ D=0.014
ρ avr=0.009	$\sigma^2 \rho = 0.00005$	σ ρ=0.007
T avr=3.264	$\sigma^2 T=0.210$	σ T=0.458
v avr=0.156	$\sigma^2 v = 0.001$	σ ν=0.032
μ avr=0.913	$\sigma^2 \mu = 0.006$	σ μ=0.077
π avr=219.048	$\sigma^2 \pi = 24.212$	σ π=4.921

Таблица 3.2. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока δ-Канкриды северная ветвь (NCC) для каталога EDMOND.

Таблица 3.3. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока δ-Канкриды северная ветвь (NCC) для каталога CAMS.

Среднее значение критериев	Дисперсия значений критериев, σ ²	Среднеквадратичное значение критериев, σ
D avr=0.019	$\sigma^2 D=0.0002$	σ D=0.010
ρ avr=0.005	$\sigma^2 \rho = 0.00001$	σ ρ=0.005
T avr=3.126	σ^{2} T=0.001	σ T=0.023
v avr=0.134	$\sigma^2 v = 0.001$	σ ν=0.055
μ avr=0.861	$\sigma^2 \mu=0.003$	σ μ=0.055
π avr=217.354	$\sigma^2 \pi = 58.938$	σ π=7.677

Таблица 3.4. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока δ-Канкриды северная ветвь (NCC) для каталога SonatoCo.

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ ²	критериев, σ
D avr=0.020	$\sigma^2 D=0.0001$	σ D=0.023
ρ avr=0.017	$\sigma^2 \rho = 0.00001$	σ ρ=0.021
T avr=3.101	σ^{2} T=0.278	σ T=0.528
v avr=0.134	$\sigma^2 v = 0.001$	σ ν=0.037
μ avr=0.863	$\sigma^2 \mu = 0.011$	σ μ=0.104
π avr=225.246	$\sigma^2 \pi = 58.842$	σ π=7.671

Таблица 3.5. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока δ-Канкриды южная ветвь (SCC) для каталога EDMOND.

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ ²	критериев, σ
D avr=0.014	$\sigma^2 D=0.001$	σ D=0.029
ρ avr=0.011	$\sigma^2 \rho = 0.001$	σ ρ=0.023
T avr=3.353	σ^{2} T=0.204	σ T=0.452
v avr=0.146	$\sigma^2 v = 0.001$	σ ν=0.026
μ avr=0.870	$\sigma^2 \mu = 0.008$	σ μ=0.088
π avr=230.212	$\sigma^2 \pi = 65.514$	σ π=8.032

Среднее значение	Дисперсия значений критериев σ^2	Среднеквадратичное значение
D avr=0.006	σ D=0.00001	6 D=0.005
ρ avr=0.005	$\sigma^2 \rho = 0.00001$	σ ρ=0.005
T avr=3.076	$\sigma^2 T=0.100$	σ T=0.316
v avr=0.134	$\sigma^2 v = 0.00001$	σ ν=0.021
μ avr=0.875	$\sigma^2 \mu = 0.003$	σ μ=0.053
$\pi \text{ avr}=214.378$	$\sigma^2 \pi = 44.418$	σ π=6.665

Таблица 3.6. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока δ-Канкриды южная ветвь (SCC) для каталога CAMS.

Таблица 3.7. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока δ-Канкриды южная ветвь (SCC) для каталога SonatoCo.

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ ²	критериев, σ
D avr=0.021	$\sigma^2 D=0.001$	σ D=0.025
ρ avr=0.021	$\sigma^2 \rho = 0.001$	σ ρ=0.028
T avr=3.300	$\sigma^2 T=0.767$	σ T=0.876
v avr=0.127	$\sigma^2 v = 0.001$	σ ν=0.038
μ avr=0.813	$\sigma^2 \mu = 0.011$	σ μ=0.105
π avr=233.705	$\sigma^2 \pi = 58.124$	σ π=7.624

Таблица 3.8. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока к-Цигниды (КСС) для каталога EDMOND.

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, о	критериев, в
D avr=0.014	$\sigma^2 D=0.00001$	σ D=0.014
ρ avr=0.387	$\sigma^2 \rho = 0.036$	σ ρ=0.190
T avr=2.346	σ^2 T=0.585	σ T=0.765
v avr=0.162	$\sigma^2 v = 0.007$	σ ν=0.083
μ avr=1.065	$\sigma^2 \mu = 0.002$	σ μ=0.043
$\pi \text{ avr}=336.912$	$\sigma^2 \pi = 77.924$	σ π=8.827

Таблица 3.9. Пороговые значения критериев	синтетического	метода для	потока к-
Цигниды (KCG) для каталога CAMS.			

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ ²	критериев, σ
D avr=0.002	$\sigma^2 D=0.00001$	σ D=0.002
ρ avr=0.007	$\sigma^2 \rho = 0.00001$	σ ρ=0.006
T avr=3.014	$\sigma^2 T=0.060$	σ T=0.244
v avr=0.210	$\sigma^2 v = 0.001$	σ ν=0.024
μ avr=1.184	$\sigma^2 \mu = 0.001$	σ μ=0.034
π avr=147.269	$\sigma^2 \pi = 35.048$	σ π=5.920

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ ²	критериев, σ
D avr=0.005	$\sigma^2 D=0.00001$	σ D=0.008
ρ avr=0.048	$\sigma^2 \rho = 0.001$	σ ρ=0.037
T avr=2.550	σ^{2} T=0.147	σ T=0.417
v avr=0.180	$\sigma^2 v=0.002$	σ ν=0.046
μ avr=1.067	$\sigma^2 \mu = 0.003$	σ μ=0.051
π avr=342.472	$\sigma^2 \pi = 68.657$	σ π=26.191

Таблица 3.10. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока к-Цигниды (КСС) для каталога SonatoCo.

Таблица 3.11. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока h-Виргиниды (HVI) для каталога EDMOND.

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ ²	критериев, σ
D avr=0.002	$\sigma^2 D=0.00001$	σ D=0.0016
ρ avr=0.013	$\sigma^2 \rho = 0.000001$	σ ρ=0.015
T avr=2.920	$\sigma^2 T=0.159$	σ T=0.399
v avr=0.180	$\sigma^2 v = 0.001$	σ ν=0.026
μ avr=1.100	$\sigma^2 \mu = 0.002$	σ μ=0.045
$\pi \text{ avr}=288.877$	$\sigma^2 \pi = 23.639$	σ π=4.862

Таблица 3.12. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока h-Виргиниды (HVI) для каталога CAMS.

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ ²	критериев, σ
D avr=0.0008	$\sigma^2 D=0.00001$	σ D=0.0004
ρ avr=0.002	$\sigma^2 \rho = 0.000001$	σ ρ=0.001
T avr=3.276	$\sigma^2 T=0.038$	σ T=0.194
v avr=0.220	$\sigma^2 v = 0.00001$	σ ν=0.015
μ avr=1.118	$\sigma^2 \mu = 0.00001$	σ μ=0.018
$\pi \text{ avr}=289.428$	$\sigma^2 \pi = 11.930$	σ π=3.454

Таблица 3.13. Поре	эговые значения	критериев	синтетического	метода д	цля	потока
h-Виргиниды (HVI)) для каталога So	natoCo.				

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ ²	критериев, σ
D avr=0.001	$\sigma^2 D=0.00001$	σ D=0.001
ρ avr=0.002	$\sigma^2 \rho = 0.00001$	σ ρ=0.003
T avr=2.838	$\sigma^2 T=0.036$	σ T=0.190
v avr=0.185	$\sigma^2 v = 0.00001$	σ ν=0.018
μ avr=1.146	$\sigma^2 \mu = 0.00001$	σ μ=0.016
$\pi \text{ avr}=284.646$	$\sigma^2 \pi = 1.770$	σ π=1.330

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ²	критериев, σ
D avr=0.003	$\sigma^2 D=0.000001$	σ D=0.004
ρ avr=0.007	$\sigma^2 \rho = 0.000001$	σ ρ=0.009
T avr=2.933	σ^{2} T=0.114	σ T=0.338
v avr=0.185	$\sigma^2 v = 0.001$	σν=0.032
μ avr=1.127	$\sigma^2 \mu = 0.001$	σ μ=0.036
$\pi \text{ avr} = 108.312$	$\sigma^2 \pi = 12.233$	σ π=3.496

Таблица 3.14. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока Андромедиды (AND) для каталога EDMOND.

Таблица 3.15. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока Андромедиды (AND) для каталога CAMS.

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ ²	критериев, σ
D avr=0.003	$\sigma^2 D=0.000001$	σ D=0.002
ρ avr=0.012	$\sigma^2 \rho = 0.000001$	σ ρ=0.014
T avr=2.691	σ^2 T=0.075	σ T=0.274
v avr=0.169	$\sigma^2 v = 0.001$	σν=0.027
μ avr=1.161	$\sigma^2 \mu = 0.001$	σ μ=0.025
$\pi \text{ avr} = 108.708$	$\sigma^2 \pi = 3.796$	σ π=1.974

Таблица 3.16. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока Андромедиды (AND) для каталога SonatoCo.

Среднее значение	Дисперсия значений 2	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ⁻	критериев, σ
D avr=0.006	$\sigma^2 D=0.000001$	σ D=0.009
ρ avr=0.471	$\sigma^2 \rho = 0.019$	σ ρ=0.136
T avr=2.901	σ^2 T=0.245	σ T=0.495
v avr=0.179	$\sigma^2 v=0.002$	σ ν=0.042
μ avr=1.125	$\sigma^2 \mu = 0.003$	σ μ=0.058
π avr=108.519	$\sigma^2 \pi = 17.930$	σ π=4.234

Таблица 3.17. Пороговые значения	я критериев	синтетического	метода	для	потока
о-Геминиды (RGE) для каталога El	DMOND.				

Среднее значение	Дисперсия значений	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ ²	критериев, σ
D avr=0.064	σ^2 D=0.001	σ D=0.027
ρ avr=0.011	$\sigma^2 \rho = 0.00001$	σ ρ=0.011
T avr=3.336	σ^{2} T=0.163	σ T=0.403
v avr=0.180	$\sigma^2 v = 0.001$	σν=0.030
μ avr=0.979	$\sigma^2 \mu = 0.006$	σ μ=0.080
π avr=203.345	$\sigma^2 \pi = 66.059$	σ π=8.128

Среднее значение критериев	Дисперсия значений критериев, σ ²	Среднеквадратичное значение критериев, о
D avr=0.035	$\sigma^2 D=0.00001$	σ D=0.012
ρ avr=0.024	$\sigma^2 \rho = 0.00001$	σ ρ=0.009
T avr=3.103	σ^2 T=0.047	σ T=0.218
v avr=0.174	$\sigma^2 v = 0.00001$	σ ν=0.019
μ avr=1.014	$\sigma^2 \mu = 0.001$	σ μ=0.024
π avr=185.968	$\sigma^2 \pi = 2.620$	σ π=1.619

Таблица 3.18. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока р-Геминиды (RGE) для каталога CAMS.

Таблица 3.19. Пороговые значения критериев синтетического метода для потока р-Геминиды (RGE) для каталога SonatoCo.

Среднее значение	Дисперсия значений _2	Среднеквадратичное значение
критериев	критериев, σ	критериев, σ
D avr=0.042	$\sigma^2 D=0.00001$	σ D=0.017
ρ avr=0.026	$\sigma^2 \rho = 0.00001$	σ ρ=0.020
T avr=3.147	σ^2 T=0.276	σ T=0.525
v avr=0.163	$\sigma^2 v=0.002$	σ ν=0.043
μ avr=0.964	$\sigma^2 \mu = 0.009$	σ μ=0.097
$\pi \text{ avr}=204.828$	$\sigma^2 \pi = 66.131$	σ π=8.132

комплекса анализа МНТ АПКАМНТ. Результат выполнения которого более подробно описан в Главе 4 настоящей работы.

Выводы по главе 3

Рассмотрена проблема отсутствия единой методики определения пороговых значений критериев генетической общности МНТ, следствием которой является тот факт, что один и тот же метеорный поток может быть отождествлен с различными МНТ у разных исследователей.

В рамках решения данного вопроса, разработан алгоритм определения пороговых значений критериев генетических связей МНТ. Алгоритм основан на определении элементов средней орбиты потока и их дисперсий по индивидуальным орбитам метеороидов, что позволяет учитывать начальные условия выброса метеороидов из РТ и последующую динамику их орбит. В
рамках созданного алгоритма производился расчет всех используемых в модели критериев для каждой пары орбит, в которую входили как индивидуальная орбита метеороида из созданной рабочей базы данных, так и средняя орбита потока. Показано, что задания пороговых значений для каждого из всех используемых в синтетическом методе критериев на основе вычисленных индивидуальных значений метеорных орбит и их среднеквадратичных ошибок наиболее обосновано с точки зрения условий формирования МНТ и его эволюции. При вычислении пороговых значений критериев учитывается дисперсия орбит метеороидов в потоке вследствие их эволюции и ошибки наблюдений данных каталогов орбит. Актуально то, что пороговые значения для каждого из критериев синтетического метода, рассчитываются для каждого из исследуемых метеорных потоков и согласно составленной базе метеорных орбит для каждого из потоков в отдельности.

Степень достоверности принятия гипотезы о близости двух орбит выполняется на основе фактора P, по аналогии с вероятностным подходом. Для этого разработан независимый способ отбора кандидатов в PT. При этом сделан вывод, что в рамках синтетического метода, степень выполнения каждого критерия синтетического метода должна оцениваться путем задания фактора P, чем выше этот фактор, тем более вероятна генетическая связь МНТ.

Показано, что отбор объектов с близкими орбитами должен выполняться путем определения фактора P - общей меры выполнения совокупности всех критериев, по аналогии с произведением вероятностей совместных событий. Фактор P служит оценкой степени близости значений критериев синтетического метода, рассчитанных для пары средней орбиты метеорного потока орбиты астероида. Фактор P задается на основе значений о СКО для каждого из критериев. Фактор P равен 1 при полном совпадении значений, 0.9 – если они отличаются на величину о, 0.8 – соответственно на 20 и т.д.

Дальнейший отбор РТ для исследуемых метеорных потоков производится с фактором $P \ge 0.5$, то есть каждый из критериев синтетического метода должен удовлетворять условию попадания в интервал 2 σ .

109

Для реализации авторского синтетического метода и выявления принадлежности метеоров к определенному метеорному потоку была написана программа ЭВМ на языке Си++ - автоматизированный программный комплекс анализа МНТ АПКАМНТ, который содержит 5 модулей и отражает все этапы исследования:

1) Модуль по нахождению значений согласно критериям D Драммонда, метрики ρ Холшевникова, квазистационарных параметров μ и ν, долготы перигелия π, параметра Тиссерана T между средней орбитой метеорного потока и индивидуальными орбитами метеороидов с помощью синтетического метода.

2) Модуль по оценке пороговых значений критериев синтетического метода, с использованием индивидуальных орбит метеороидов и средней орбиты метеорного потока, их дисперсий σ² и среднеквадратичных отклонений σ.

3) Модуль по определению степени выполнения совокупности критериев.

4) Модуль по отбору кандидатов в РТ.

5) Модуль по анализу и оценке взаимосвязей динамических параметров выделенных АСЗ согласно независимым критериям Ашера D_{AH} и Саутворта-Хоккинса D_{SH}.

На основе проделанной работы были созданы индивидуальные каталоги метеорных орбит по каждому метеорному потоку с учетом метода наблюдения и без дублирования орбит внутри потока и метода наблюдения, что часто наблюдается при объединении нескольких каталогов орбит.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МАЛЫХ МЕТЕОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ δ-КАНКРИДЫ, к-ЦИГНИДЫ, h-ВИРГИНИДЫ, АНДРОМЕДИДЫ И ρ-ГЕМИНИДЫ С АСЗ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА

4.1 Применение синтетического метода к исследуемым метеорным потокам и анализ полученных результатов

При написании данной Главы диссертации использованы публикации [24,33,154-165,185], выполненные соискателем в соавторстве, в которых, отражены основные результаты, положения и выводы исследования.

В данной главе приведены основные результаты применения синтетического метода к исследованию генетической связи метеорных потоков δ-Канкриды, северная и южная ветви, k-Цигниды, h-Виргиниды, ρ-Геминиды, Андромедиды с AC3 и произведен анализ полученных результатов.

По методу, описанному в Главе 3 настоящей работы, были отобраны РТ для исследуемых нами метеорных потоков. В таблицах 4.1 - 4.8 приведены результаты применения синтетического метода для исследуемых метеорных потоков в их связи с АСЗ, отождествленных с потоком с присвоенным фактором $P \ge 0.5$. В таблицах 4.1 - 4.8 приводится сравнение результатов отождествления РТ с помощью синтетического метода с данными других исследователей. Если астероид не был отобран, то один из критериев синтетического метода не удовлетворяет условию попадания значения критерия в интервал 2σ .

Красным цветом обозначены астероиды, отождествленные нами одновременно по трем каталогам метеорных орбит с фактором Р выше 0.5 и подтвержденные работами других авторов. Фиолетовым – астероиды, отождествленные нами одновременно по трем каталогам метеорных орбит с выше 0.5. Зеленым – астероиды, фактором Р отождествленные нами одновременно по двум каталогам метеорных орбит с фактором Р выше 0.5.

Код IAU# 96;

Наблюдается 1 января — 31 января;

Скорость $V_{G} = 25 \text{ км/c};$

РТ не найдено.

Таблица 4.1. Вероятные РТ для δ-Канкрид, северная ветвь, на основе синтетического метода [24].

ЕDMOND Фактор САМЅ Фактор SonatoCo Фактор Источников 16 орбит Р 74 орбиты Р 409 орбит Р </th
По
85182 (1991 0.6 2017 YO4 0.6 85182 (1991 AQ) 0.7 MDC: (2001 YB5? AQ) 2014 YQ34 0.6 2006 BF56 0.7 85182 (1991 AQ?)) (2003 AA83) 0.6 2019 AQ 0.5 2003 RW11 0.6 Jenniskens et al., 2016, (2018 AK12) 0.6 85182 (1991 0.5 2017 YO4 0.6 Icarus 85182 (1991 2019 AQ 0.6 AQ) 2011 SR12 0.6 AQ) 2017 YO4 0.5 2015 PU228 0.5 2010 XC11 0.6 2015 PU228 0.5 (2016 PZ39) 0.5 2015 PU228 0.6 Бабаджанов и др., 356394 (2010 0.5 2010 XC11 0.6 2009 (2212 Henhaistos)
AQ)2014 YQ340.62006 BF560.785182 (1991 AQ?))(2003 AA83)0.62019 AQ0.52003 RW110.6Jenniskens et al., 2016,(2018 AK12)0.685182 (19910.52017 YO40.6Icarus 85182 (19912019 AQ0.6AQ)2011 SR120.6AQ)2017 YO40.52015 PU2280.52010 XC110.62015 PU2280.5(2016 PZ39)0.52015 PU2280.6356394 (2010)0.52010 XC110.62009 (2212 Henhaistos)
(2003 AA83) (2018 AK12)0.62019 AQ 85182 (1991)0.52003 RW11 0.50.6Jenniskens et al., 2016, Icarus 85182 (1991)2019 AQ 2017 YO40.6AQ)2011 SR120.6Jenniskens et al., 2016, Icarus 85182 (1991)2017 YO4 2017 YO40.52015 PU228 (2015 PU228)0.52010 XC110.6Jenniskens et al., 2016, Icarus 85182 (1991)2015 PU228 356394 (2010)0.52015 PU228 (2010 XC11)0.52015 PU228 (2014BX2)0.6Jenniskens et al., 2016, Icarus 85182 (1991)
(2018 AK12) 0.6 85182 (1991 0.5 2017 YO4 0.6 Icarus 85182 (1991 2019 AQ 0.6 AQ) 2011 SR12 0.6 AQ) 2017 YO4 0.5 2015 PU228 0.5 2010 XC11 0.6 2015 PU228 0.5 (2016 PZ39) 0.5 2015 PU228 0.6 Бабаджанов и др., 356394 (2010 0.5 2010 XC11 0.5 (2014BX2) 0.6 2009 (2212 Herbaistos)
2019 AQ 0.6 AQ) 2011 SR12 0.6 AQ) 2017 YO4 0.5 2015 PU228 0.5 2010 XC11 0.6 AQ) 2015 PU228 0.5 (2016 PZ39) 0.5 2015 PU228 0.6 Бабаджанов и др., 356394 (2010 0.5 2010 XC11 0.5 (2014BX2) 0.6 2009 (2212 Herbajstos)
2017 YO4 0.5 2015 PU228 0.5 2010 XC11 0.6 Пород 2015 PU228 0.5 (2016 PZ39) 0.5 2015 PU228 0.6 Бабаджанов и др., 356394 (2010 0.5 2010 XC11 0.5 (2014BX2) 0.6 Бабаджанов и др.,
2015 PU228 356394 (2010)0.5(2016 PZ39)0.52015 PU228 0.50.6Бабаджанов и др., 2009 (2212 Hephaistos)
356394 (2010 0.5 2010 XC11 0.5 (2014BX2) 0.6 Datadakanos in Ap.,
QD2) 445775(2011 0.5 (2014RS17) 0.6 (2009) (2012 Hephanstos
(2005YX128) 0.5 YA) (2015PC) 0.6 (1978 SD), 05102 (1001 AC) (100
445775(2011 0.5 2006 BF56 0.5 (2001YB5) 0.5 (1991 AQ)
YA) 0.5 2003 RW11 0.5 2212 Hephaistos 0.5
(2019BH1) 0.5 1978 SB Dumitru et al. 2017
459458(2012 2019 AQ 0.5 NCC: (85182)1991AQ,
XR134) 459458(2012) 0.5 2013YL2, 2015PU228
(2009YQ) 0.5 XR134) SCC: 2001YB5,
(2009BJ58) 0.5 (2018AF1) 0.5 (480822)1998YM4,
(2010XC11) 0.5 162825 (2001 0.5 2010 XC11
(2013AQ60) 0.5 BO61) 0.5
(2004BF85) 0.5
(2018RB)
445775(2011YA) 0.5
(2014YQ34) 0.5
(2016SN2) 0.5
(2017BT93) 0.5
202411 (2005 RC) 0.5
(2003AA83) 0.5
(2013AQ60) 0.5
(2013QH11) 0.5
(2014QL433) 0.5
(2014KD11) 0.5
(2019BH1) 0.5 25(204 (2010 0.5
<u> </u>
QD2) (2006 A M8) 0.5
(2000AIVI8) 0.5 (2016AM66) 0.5
(2010ANIOO) U.S (2017VNG) 0.5

В таблице 4.1 показаны группы РТ, отождествленные нами, с помощью синтетического метода с потоком δ-Канкриды, северная ветвь [24,158,163]. В таблице указан результирующий фактор Р выполнения критериев синтетического метода и в крайнем столбце приведены сравнения с другими работами.

δ-Канкриды, южная ветвь SCC

Код IAU #97;

Наблюдается 1 января — 31 января;

Скорость $V_{G} = 25$ км/с;

РТ не найдено.

Таблица 4.2 а. Вероятные РТ для б-Канкрид, южная ветвь, на основе синтетического метода [24].

0	Данные других					
ЕDMOND Фа 11 орбит	Рактор Р	САМS 69 орбит	Фактор Р	SonatoCo 36 орбит	Фактор Р	
2017 YO4 0.0 2003 RW11 0.7 2006 BF56 0.0 2212 Hephaistos 0.3 (1978 SB) 356394 (2010 0.3 356394 (2010 0.3 0.4 QD2) 85182 (1991 0.3 AQ) 0.3 0.4 2010 XC11 2015 PU228 0.3 162825 (2001 0.3 162825 (2001 BO61) 382395 (1990 0.3 SM) (2004BF85) 0.3 (2016SN2) 0.3 (2017BT93) (2017YO4) 0.3 (2013QH11) (2013QH11) 0.3 (2018RB) (2018RB) 0.3	0.6 0.7 0.6 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	2017 YO4 2003 RW11 2010 XC11 2015 PU228 2006 BF56 2014 YQ34 85182 (1991 AQ) 459458 (2012 XR134) (2019AQ) 2011 SR12	0.6 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	2212 Hephaistos 1978 SB 2011 SR12 2014 RS17 (2009BB) 162825 (2001 BO61) 356394 (2010 QD2) (2001YB5) 2003 RW11 (2006AM8) (2006BF56) 2017 YO4 2010 XC11 2015 PU228 85182 (1991 AQ) (2002RT129) (2016AM66) 382395 (1990 SM) (2017BT93) (2016SN2) 202411 (2005 RC) 481918(2009 BE77) (2012TO139)	0.7 0.7 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	MDC: (2001 YB5? 85182 (1991 AQ?)) Jenniskens et al., 2016, Icarus 85182 (1991 AQ) Бабаджанов и др., 2009 (2212 Hephaistos (1978 SB), 85182 (1991 AQ) Dumitru et al. 2017 NCC: (85182)1991AQ, 2013YL2, 2015PU228 SCC: 2001YB5, (480822)1998YM4, 2010 XC11

В таблицах 4.2 a, b показаны группы PT, отождествленные нами, с помощью синтетического метода с потоком δ-Канкриды, южная ветвь[24,158,163].

Таблица 4.2 b. Вероятные РТ для б-Канкрид, южная ветвь, на основе синтетического метода [24].

	Данные других источников					
EDMOND 11 орбит	Фактор Р	CAMS 69 орбит	Фактор Р	SonatoCo 36 орбит	Фактор Р	
459458 (2012 XR134) (2006QZ57) (2014RD11) (2016AM66) 445775(2011YA) (2017YN6) (2019AQ)	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5			(2014RD11) (2018AW) 408980 (2002 RB126) (2004BF85) (2007RT1) (2008YR27) (2014BX2) (2017BL3) (2017BL3) (2018SB2) 459458(2012 XR134) (2017SW20) (2019BG3)	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	MDC: (2001 YB5? 85182 (1991 AQ?)) Jenniskens et al., 2016, Icarus 85182 (1991 AQ) Бабаджанов и др., 2009 (2212 Hephaistos (1978 SB), 85182 (1991 AQ) Dumitru et al. 2017 NCC: (85182)1991AQ, 2013YL2, 2015PU228 SCC: 2001YB5, (480822)1998YM4, 2010 XC11

к-Цигниды, КСС

Код IAU #12;

Наблюдается 3 августа — 25 августа;

Скорость $V_{G} = 24$ км/с;

РТ не найдено.

В таблицах 4.3 и 4.4 указаны АСЗ, связанные с потоком k-Цигниды, из групп Аполлоны и Амуры [154,157,163]. k-Цигниды являются одним из наиболее изученных малых метеорных потоков, поэтому для АСЗ группы Аполлоны удалось найти много литературы для сравнения (последний столбец таблицы 4.3).

Хочется отметить, что публикаций других ученых по поиску РТ потока k-Цигнид среди астероидов группы Амуры найдено не было, поэтому невозможно произвести сравнение выделенных объектов.

	Данные других источников					
EDMOND	Фактор	CAMS	Фактор	SonatoCo	Фактор	
240 орбит	Р	26 орбит	Р	566 орбит	Р	
2017 NW5	0.6	2017 NW5	0.6	2017 NW5	0.6	Jones et al. 2006 –
153311	0.5	153311	0.5	153311	0.5	53311(2001 MG1) и
(2001MG1)		(2001MG1)		(2001MG1)		(2004 LA12) (D _{SH} ≤0.08)
385343	0.5	385343	0.5	385343	0.5	
(2002 LV)		(2002 LV)	0.5	(2002 LV)	0.5	Jenniskens & Vaubaillon
301801 (2008 ED(0)	0.5	301801 (2008 ED(0)	0.5	301801 (2008 ED(0)	0.5	et al. 2008– 53311(2001
(2008 ED09) (2014 UH210)	0.5	(2008 ED09) (2014 UH210)	0.5	(2008 ED09) (2014 UH210)	0.5	MG1) и (2004 LA12),
(2014 CH210) (2004 LA12)	0.5	(2014 CH210) (2004 LA12)	0.5	(2014 CH210) (2004 LA12)	0.5	361861 (2008 ED69)
	0.5					Moorhead et al. $2015 - 53311(2001 \text{ MG1}),$ 385343(2002 LV) (D _{SH} $\leq 0.25 \text{ µ D}_{DR} \leq 0.125)$ Josep et al. $2009 - 53311(2001 \text{ MG1})$
						Dumitru et al. 2017 – 2016 NO16

Таблица 4.3. Вероятные РТ Аполлоны для k-Цигнид на основе синтетического метода.

Таблица 4.4. Вероятные РТ Амуры для k-Цигнид на основе синтетического метода.

Отождествленные астероиды Амуры								
EDMOND	Фактор	CAMS	Фактор	SonatoCo	Фактор			
240 орбит	Р	26 орбит	Р	566 орбит	Р			
(2002 GJ8)	0.6	(2002 GJ8)	0.5	(2002 GJ8)	0.5			
(2010 QA5)	0.5							
(2012 QH49)	0.5							
(2014 XX7)	0.5							

h-Виргиниды, HVI

Код IAU #343;

Наблюдается 22 апреля — 30 апреля;

Скорость V_G =17-24 км/с;

РТ не найдено.

Таблицы 4.5 и 4.6 показывают группы РТ для h-Виргинид из групп

Аполлоны ии Амуры [159,163]. Цветовые обозначения приводятся такие же, как и в таблицах 4.1 – 4.4

	Данные других					
EDMOND	Фактор	CAMS	Фактор	SonatoCo	Фактор	источников
7 орбит	Р	11 орбит	Р	8 орбит	Р	
2014 HD198	0.7	2014 HD198	0.7	(2020 SR7)	0.7	Dumitru et al. 2017 [151]
162210 (1999	0.7	2001 SZ269	0.5	(2021 FD)	0.7	(2001 SZ269, 2010 RL43,
SM5)		2014 HU2	0.5	(2021 SX3)	0.7	2010 TP55, 2014 HU2,
(2010 TD)	0.7			(1995 FF)	0.6	2014 JH15)
(2014 HN199)	0.7			(2009 WJ1)	0.6	,
2001 SZ269	0.6			(2012 EL5)	0.6	
(2016 JS5)	0.6			(2021 VU4)	0.6	
(1998 HT31)	0.6			(2021 VR5)	0.6	
(2004 SA20)	0.6			523816 (2009	0.6	
(2005 SP1)	0.6			ST103)	0.6	
(2007 SN6)	0.6			(2021 EN4)		
(2015 GJ13)	0.6			2014 HD198	0.5	
2014 HU2	0.5			2001 SZ269	0.5	
2010 RL43	0.5			(2001 UF5)	0.5	
2010 TP55	0.5			(2003 UQ25)	0.5	
2014 JH15	0.5			(2009 TA1)	0.5	
(2006 JO)	0.5			(2010 ES12)	0.5	
				(2012 FB71)	0.5	

Таблица 4.5. Вероятные РТ Аполлоны для h-Виргинид на основе синтетического метода.

Таблица 4.6. Вероятные РТ Амуры для h-Виргинид на основе синтетического метода.

Отождествленные астероиды Амуры							
EDMOND	Фактор	CAMS	Фактор	SonatoCo	Фактор		
7 орбит	Р	11 орбит	Р	8 орбит	Р		
(2014 JF57)	0.5	(2014 JF57)	0.5	(2014 JF57)	0.5		

В работе [151] астероиды выделены по D критериям Саутворта-Хокинса (2), Йопека (4) и Драммонда (3). В работе [166] поиск астероидов проводится по D критериям Саутворта-Хокинса (3), Йопека (4) и Ашера (5). Как видим, астероид 2001SZ269 выделяется во всех источниках. Большое количество выделенных астероидов в [151], [166], вероятно, связано с тем, что поиск астероидов проводился для комплекса Виргинид без деления на ветви.

Андромедиды, AND Код IAU #0018; Наблюдается 26 октября — 20 ноября; Скорость V_G =17.2 – 18.2 км/с; РТ – комета 3D/Biela, которая утеряна и вероятно полностью распалась.

Согласно примененному синтетическому методу отождествлено по каталогам SonatoCo (красный столбец) – 550 астероидов, CAMS (зеленый столбец) – 22 астероида и EDMOND (синий столбец) – 177 астероидов (рисунок 4.1). Из отождествленных астероидов отобраны те астероиды, для которых критерии (1),(2) и (4) – (7) выполняются с факторами $P_i \leq 0.8$ (округление до десятых долей). То есть средние значения критериев синтетического метода находятся в интервале попадания объекта ±2 σ . Таким образом, общая мера P_i выполнения совокупности всех критериев составила значение $P_i \leq 0.7$ для всех каталогов SonatoCo, CAMS и EDMOND.



Рис. 4.1. Общее количество отождествленных астероидов по каталогам метеорных орбит SonatoCo, CAMS и EDMOND

Отождествленные с помощью синтетического метода с потоком Андромедиды астероиды приведены в таблице 4.7 [165], где указан фактор Р выполнения критериев синтетического метода и в крайнем столбце приведены сравнения с другими работами.

Таблица 4.7. Вероятные РТ Аполлоны для Андромедид на основ	ве синтетического
метода.	

EDMOND 16 орбит	Фактор Р	CAMS 74 орбит	Фактор Р	SonatoCo 409 орбит	Фактор Р	источников
(2021 FD) (2020 SR7) (2021 SX3) (2012 EL5) (2015 VY105) (2021 EN4) 523816 (2009ST103) 2009WJ1	0.7 0.6 0.6 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	(2021 FD) (2021 EN4) 523816 (2009ST103) (2020 SR7) (2009 TA1)	0.7 0.5 0.5 0.5 0.5	(2020 SR7) (2021 FD) (2021 SX3) (1995 FF) (2009 WJ1) (2012 EL5) (2021 VR5) 523816 (2009 ST103) (2021 EN4) (2003 UQ25) (2009 TA1) (2010 ES12) (2012 FB71) (2015 GJ46)) (2015 TE) (2015 VY105) (2016 UB26) (2018 VL1) (2021 FG) (2016 UP36) (2016 FC14)	0.7 0.7 0.7 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	Dumitru, 2018 (267729)2003FC5 523816 (2009ST103) 2000UG11 Dumitru, 2017 (152770)1999RR28, 2000UG11, (267729)2003FC5, 2003UQ25 , 2004GB2, 523816 (2009ST103), 2009WJ1 , 2010TV54, 2012FG, 2012TT231, 2012VB5, 2016FC14 , 2016TW18, 2016UP36 , 2016VQ

В таблице 4.7 красным цветом указаны астероиды, которые отождествлены нами и подтверждаются работами других авторов. Фиолетовым – астероиды, отождествленные нами одновременно по трем каталогам метеорных орбит, зеленым – отождествленные нами только по каким-либо двум каталогам метеорных орбит.

ρ-Геминиды, RGE Код IAU# 94; Наблюдается 28 декабря — 28 января; Скорость $V_{G} = 21 \text{ км/c};$

РТ не найдено.

В таблице 4.8 приведены группы РТ для потока *р*-Геминиды [162]. Приведено сравнение только с одной работой [120], так как поток относится к малым метеорным потокам и крайне мало изучен.

Таблица 4.8. Вероятные РТ Аполлоны для р-Геминид на основе синтетического метода.

	Данные других					
EDMOND	Darron	CAMS	Dataon	SonatoCo	Darmon	источников
16 орбит	Φ akiop P	74 орбит	Р	409 орбит	Р	
10 0p0m	1		1		1	50 (0 50
293054 (2006	0.7	506859	0.7	106538 (2000	0.7	506859
WP127)	0.7	(200/VW137)	0.6	WK03)	0.7	$(200/\sqrt{W137})$
359369 (2009 YG)	0.7	(2014 XJ3)	0.6	293054 (2006 1107)	0.7	(DSH = 0.09),
(2008 OO)	0.7	(2005 Y X 128)	0.5	WP127)	0.7	2010AG30 (DSH = 0.12)
(2011 OX17)	0.7	293054 (2006	0.5	359369 (2009 MG)	0.7	0.13)
(2016 PZ39)	0.7	WP127)		YG)	. –	
106538 (2000	0.6	(2011 OX17)	0.5	445775 (2011	0.7	
WK63)	0.6			$\mathbf{Y}\mathbf{A})$. –	
445775 (2011 YA)	0.6			(2008 OO)	0.7	
285567 (2000 OM)	0.6			(2011 OX17)	0.7	
(2014 OU344)	0.6			(2016 PZ39)	0.7	
(2017 NN6)	0.6			(2020 AL2)	0.7	
(2019 AN12)				(2020 BC8)	0.7	
(2019 AQ)	0.5			(2020 OQ6)	0.7	
506859	0.5			(2020 PY4)	0.7	
(2007VW137)				(2020 YE1)	0.7	
(2003 AA83)	0.5			(2021 AS2)	0.7	
2010AG30	0.5			(2022 AY6)	0.7	
(2005 YX128)	0.5			(2014 YQ34)	0.6	
(2008 BC15)	0.5			(2019 AQ)	0.6	
				(2014 OU344)	0.6	
				(2017 NN6)	0.6	
				506859	0.5	
				(2007VW137)		
				(2019 AN12)	0.5	
				(2014 XJ3)	0.5	
				2010AG30	0.5	
				(2008 BC15)	0.5	
				285567 (2000	0.5	
				OM)		
				(2003 AA83)	0.5	
				(2005 YX128)	0.5	

В работе [120] статистика метеорных орбит ρ-Геминид составляла 10 штук и исследователи использовали D критерий Саутворта-Хокинса (2). В результате своей работы они приводят астероиды 506859 (2007VW137) (DSH = 0.090) и 2010

AG30 (DSH =0.130). Они накладывали ограничение на D критерий Саутворта-Хокинса DSH < 0.15, при выборе порогового значения авторы работы [120] руководствовались работами [126] и [149]. Согласно публикации [120], метеороиды имеют хондристую природу, следовательно, РТ нужно искать схожего таксономического класса.

В сводной таблице 4.9. приводятся отождествленные нами РТ с помощью синтетического метода для всех исследуемых метеорных потоков. Как мы уже отмечали, красным цветом обозначены астероиды, отождествленные нами одновременно по трем каталогам метеорных орбит с фактором $P \ge 0.5$, что удовлетворяет условию 2σ , и подтвержденные работами других авторов, фиолетовым цветом – астероиды, отождествленные нами одновременно по трем каталогам метеорных орбит с фактором $P \ge 0.5$, зеленым – астероиды, отождествленные нами одновременно по трем каталогам метеорных орбит с фактором $P \ge 0.5$, зеленым – астероиды, отождествленные нами одновременно по трем каталогам метеорных орбит с фактором $P \ge 0.5$, зеленым – астероиды, отождествленные нами одновременно по двум каталогам метеорных орбит с фактором $P \ge 0.5$.

В таблицах 4.11 – 4.17 для исследуемых метеорных потоков, приведены параметры отобранных РТ, их орбитальные и физические характеристики по данным [5]. В таблицах указаны орбитальные параметры астероидов, инвариант Т Тиссерана, через дробную черту в одном столбце приведены значения абсолютной звездной величины Н и диаметра астероида D в км, в предпоследнем столбце геометрическое альбедо астероида α, расстояние сближения астероида с Землей d, все угловые величины даны на J2000.0.

Так как диаметры известны не для всех астероидов, то вычислили эквивалентный диаметр, который указан в таблицах сноской «¹»:

$$\lg D' = 3.122 - 0.2H - 0.5\lg \alpha, \tag{20}$$

где D' – эквивалентный диаметр в км, H^m - абсолютная звездная величина, α - геометрическое альбедо.

В таблицах 4.11 – 4.17 приведены интервалы значений диаметра. Так как в основном для астероидов значение альбедо не приводится, мы приняли альбедо 0.05≤α≥0.25, диапазон выбран таким, поскольку для большого количества АСЗ величина альбедо оценивается в таких пределах.

Таблица 4.9. Вероятные РТ Аполлоны для всех исследуемых метеорных потоков на основе синтетического метода.

к-Цигниды (КСС) код IAU #12	Северные δ-Канкриды (NCC) код IAU #96	Южные δ-Канкриды (SCC) код IAU #97	h-Виргиниды (HVI) код IAU #343	Андромедиды (AND) код IAU #18	р-Геминиды (RGE) код IAU #94
(2001 MG1)	(2017 YO4)	(2017 YO4)	(2014 HD198)	(2020 SR7)	(2000 WK63)
(2014 H210)	(2015 PU228)	(2019 AQ)	(2001 SZ269)	(2021 FD)	(2006 WP127)
(2017 NW5)	(2010 QD2)	(1991 AQ)	(2014 HU2)	(2021 SX3)	(2009 YG)
(2008 ED69)	(2014 YQ34)	(2015 PU228)	(2010 RL43)	(2009 WJ1)	(2011 YA)
(2004 LA12)	2212 Hephaistos (1978 SB)	(2010 QD2)	(2010 TP55)	(2012 EL5)	(2008 OO)
(2002 LV)	(2001 YB5)	(2014 YQ34)	(2014 JH15)	(2009 ST103)	(2011 OX17)
	(2006 BF56)	2212 Hephaistos (1978 SB)		(2021 EN4)	(2016 PZ39)
	(2010 XC11)	(2011 SR12)		(2003 UQ25)	(2019 AQ)
	(2003 RW11)	(2014 RS17)		(2009 TA1)	(2014 OU344)
	(1991 AQ)	(2001 YB5)		(2015 VY105)	(2017 NN6)
	(2019 AQ)	(2001 BO61)		(2004 GB2)	(2007 VW137)
	(2012 XR134)	(2003 RW11)		(2016 UP36)	(2019 AN12)
	(2011 YA)	(2006 AM8)		(2016 FC14)	(2014 XJ3)
	(2003 AA83)	(2006 BF56)			(2010 AG30)
	(2013 AQ60)	(2010 XC11)			(2008 BC15)
	(2019 BH1)	(2002 RT129)			(2000 OM)
		(2017 BT93)			(2003 AA83)
		(2016 SN2)			(2005 YX128)
		(2005 RC)			
		(2014 RD11)			
		(2004 BF85)			
		(2014 BA2)			
		(2013 PC)			
		$(2010 \text{ RB})^{-1}$			
		(2016 AM66)			
		(1990 SM)			

Таблица 4.10. Вероятные РТ Амуры для всех исследуемых метеорных потоков на основе синтетического метода.

к-Цигниды (КСС) код IAU #12	Северные б- Канкриды (NCC) код IAU #96	Южные б- Канкриды (SCC) код IAU #97	h-Виргиниды (HVI) код IAU #343	Андромедиды (AND) код IAU #18	р-Геминиды (RGE) код IAU #94
2002 GJ8	-	-	(2014 JF57)	-	-
2010 QA5	-	-		-	-

Таблица 4.11 а. Параметры РТ, отобранных для δ-Канкрид, южная SCC и северная NCC ветвь [81].

AC3	e	q (a.e.)	i°	ωຶ	Ωຶ	Т	Н ^m /D, км	α	d (a.e.)
	Астер	оиды Ап	оллоны, от	гобранные	нами однов	временно	по 3 каталогам		
2015 PU228	0 790	M 0.479	о лл5	денные ра	оотами друг 301 870	гих учень 3 082	3X 20.3 ^m /0.328	0.125	0.214
2013 1 0228 2212 Hephaistos 1978 SB	0.838	0.350	11.553	209.414	27.540	3.099	13.87 ^m /5.7	0.123	0.214
2001 YB5	0.865	0.317	5.550	115.285	288.390	2.895	$\frac{20.9^{\text{m}} / \ 0.265 \text{-}}{0.592^{1}}$	-	0.004
85182 1991 AQ	0.777	0.496	3.130	243.084	339.642	3.164	17.1 ^m / 1.1	0.242	0.017
2017 YO4	0.830	0.381	7.397	26.687	189.660	3.053	$\frac{20.6^{\rm m}/0.265\text{-}}{0.592^{\rm 1}}$	-	0.086
2010 XC11	0.850	0.377	9.112	121.272	94.216	2.791	18.7 ^m / 0.665- 1.488 ¹	-	0.030
Астер	оиды Ап	оллоны,	отобраннь	іе нами од	новременно	по 3 ката	алогам метеорных	орбит	
2019 AQ	0.745	0.474	4.337	259.782	210.273	3.597	23.2 ^m / 0.067- 0.149 ¹	-	0.073
2011 YA	0.758	0.512	5.218	227.002	340.547	3.287	18.57 ^m /0.665- 1.488 ¹	-	0.052
356394 2010 QD2	0.785	0.431	10.647	125.903	120.624	3.345	17.46 ^m / 1.071	0.152	0.061
2014 YQ34	0.830	0.427	3.424	290.631	272.316	2.848	$\begin{array}{c} 24.0^{m} / 0.042 \text{-} \\ 0.094^{1} \end{array}$	-	0.006
2006 BF56	0.799	0.471	0.961	102.587	125.244	3.030	$\frac{29.6^{\text{ m}} / 0.004}{0.009^{1}}$	-	0.001
2003 RW11	0.823	0.467	10.358	53.453	170.859	2.768	18.7 ^m / 1.507	0.026	0.077
2012 XR134	0.772	0.460	11.924	355.264	217.925	3.354	18.55 ^m / 0.665- 1.488 ¹	-	0.195

Параметры РТ для δ-Канкрид, отобранных для обеих ветвей, объединены в таблицы 4.11 a,b. В таблицу 4.11a включены данные об астероидах группы Аполлоны, которые отобраны нами одновременно по трем каталогам метеорных орбит, некоторые из них находятся в хорошем согласии с работами других

ученых. В таблицу 4.11b включены данные об астероидах группы Аполлоны, которые отобраны нами одновременно по каким-либо двум каталогам метеорных орбит.

Таблица 4.11 b. Параметры РТ, отобранных для δ-Канкрид, южная SCC и северная NCC ветвь [81].

AC3	e		q (a.e.)	i°	ωຶ	Ω°	Т	Н ^m /D, км	α	d (a.e.)
Астер	оиды А	Аполл	оны, отобр	анные нам	и одноврем	иенно по ка	ким-либо	2 каталогам м	иетеорных	орбит
2003 AA	.83	0.77	0.542	6.766	126.426	88.554	2.991	21.84 ^m /0.16 0.374 ¹		0.066
2013 AQ	60	0.712	0.606	4.105	194.545	25.454	3.358	19.97 ^m / 0.42 0.939 ¹		0.667
2019 BH	H1	0.712	0.569	0.386	34.205	188.509	3.440	24.0 ^m / 0.042 0.094 ¹	2	0.005
2011 SR	12	0.804	0.395	12.072	23.318	203.481	3.302	19.6 ^m /0.420 0.939 ¹		0.150
2014 RS	17	0.77	0.443	1.628	274.532	322	3.461	23.2 ^m /0.067 0.149 ¹		0.006
218138 2002 RT	3 29	0.138	2.051	5.497	8.712	298.568	3.522	17.05 ^m /1-2 ¹	-	1.035
2017 BT	93	0.793	0.496	6.319	135.561	105.336	2.999	23.3 ^m /0.067 0.149 ¹		0.067
2016 SN	J2	0.760	0.461	7.465	337.274	267.320	3.490	20.9 ^m /0.265 0.592 ¹		0.103
2005 R	С	0.75	0.534	16.263	40.550	191.971	3.231	17.65 ^m /1-2	L –	0.194
2014 RD	011	0.782	0.560	2.842	230.203	7.636	2.900	22.8 ^m /0.105 0.236 ¹		0.031
2004 BF	85	0.724	0.505	3.714	18.212	212.664	3.662	20.2 ^m /0.265 0.592 ¹		0.057
2014 BX	K2	0.76	0.529	2.246	99.929	135.829	3.196	21.8 ^m /0.110	0.25	3 0.004
2018 R	В	0.732	0.522	4.562	244.299	349.186	3.499	21.8 ^m /0.167 0.374 ¹		0.024
2016 AM	[66	0.830	0.435	19.696	354.915	236.271	2.772	20.1 ^m /0.265 0.592 ¹		0.319
1990 SI	М	0.764	0.497	11.613	107.685	136.212	3.276	16.43 ^m /2-4	-	0.031

¹ Использован эквивалентный диаметр (20)

Учитывая [167] можно отметить, что АСЗ, которые по значению инварианта Тиссерана относительно Юпитера имеют T<3.1, движутся по кометной орбите, при значении T>3.1 АСЗ имеют астероидную орбиту, если T≈3.0, то имеет место орбита преходной природы между разделением на кометы и астероиды.

Также считается, что AC3, может быть ядром потухшей кометы, если у него низкое альбедо 0.02≤α≥0.12 [8]. По параметру Тиссерана Т_п=3.170 δ-Канкриды

имеют переходную орбиту (таблица 1.3). За исключением астероидов 85182 (1991 AQ), 2011 SR12, 2014 RS17, 2019 AQ, 2011 YA, 2010 QD2, 2012 XR134, 2013 AQ60, 2019 BH1, 2002 RT29, 2016 SN2, 2005 RC, 2004 BF85, 2014 BX2, 2018 RB, 1990 SM все астероиды имеют кометные типы орбиты, а астероиды 2015 PU228, 2212 Hephaistos 1978 SB, 2017 YO4, 2006 BF56 относятся к промежуточному типу орбиты.

Орбита кометного типа у астероидов 2003 RW11, 2001 YB5, 2014 YQ34, которые выделены одновременно для NCC и SCC. Этот вывод можно сделать, учитывая их орбитальные характеристики, диаметр и альбедо. Возможно, что эти астероиды являются осколками или ядрами угасших комет. Астероиды Hephaistos 1978 SB и 85182 (1991 AQ) большого диаметра, но по значению альбедо являются астероидами.

АСЗ 2001 YB5, 2014 YQ34, 2006 BF56, 2014 BX2, 2014 RS17, 2019 BH1 – ПОО, сближение с Землей, согласно таблице 4.11 в пределах 0.001 – 0.010 а.е., что соответствует расстоянию менее, чем 900 тыс. км и они заходят в сферу влияния Земли.

к-Цигниды, КСС

В таблицах 4.12 – 4.13 приводятся орбитальные параметры, параметр Тиссерана, альбедо и минимальное расстояние сближения с Землей для АСЗ, относящихся к группе РТ для потока k-Цигниды.

Оценивая значение параметра Тиссерана Т для k-Цигнид (таблица 1.4), можно отметить, что метеороиды движутся по кометной орбите, тогда как некоторые из отобранных PT показывают астероидный тип орбиты - 2002 LV и переходную орбиту 2001MG1, 2014 UH210. Крупные астероиды 1976WA и 385343 2002 LV по альбедо можно классифицировать как астероидные объекты.

Одновременно по 3 каталогам метеорных орбит: EDMOND, CAMS, SonatoCo, с потоком отождествлены астероиды 2002 LV и 2001 MG1, они же приводятся как РТ для k-Цигнид в работах ученых. По орбите кометного типа движется только 153311 2001 MG1.

AC3	e	q (a.e.)	i°	ωຶ	Ω°	Т	Н ^m /D, км	α	d (a.e.)
	Астер	оиды Ап	оллоны, от	гобранные	е нами одної ботами пруг	временно	по 3 каталогам		
153311 (2001MG1)	0.644	0.892	28.430	денные ра 142.375	142.369	3.012	$17.40^{\mathrm{m}}/1,1-2,4^{\mathrm{1}}$	-	0.040
385343 (2002 LV)	0.605	0.914	29.539	132.178	132.155	3.171	16.58 ^m /1.359	0.334	0.007
361861 (2008 ED69)	0.748	0.729	36.4	173.270	149.515	2.585	16.97 ^m /2-4 ¹	-	0.250
Астер	оиды Ап	оллоны,	отобраннь	іе нами од	новременно	по 3 ката	алогам метеорных	к орбит	
(2014 UH210)	0.656	0.890	22.070	162.041	151.680	3.007	21.1/0.404	0.039	0.100
2017 NW5	0.710	0.884	28.997	149.702	149.698	2.651	$20.9^{\text{m}}/0.265$ - 0.592^{1}	-	0.126

Таблица 4.12. Параметры РТ Аполлонов, отобранных для к-Цигнид [81].

¹ Использован эквивалентный диаметр (20)

Таблица 4.13. Параметры РТ Амуров, отобранных для к-Цигнид [81].

AC3	e	q (a.e.)	i°	ωຶ	Ω°	Т	Н ^m /D, км	α	d (a.e.)
	Аст	ероиды А	муры, ото	бранные н	ами одновр	еменно п	о 3 каталогам		
		И	подтверж	денные ра	ботами друг	гих учень	JX		
(2002 GJ8)	0.681	1.031	30.110	174.477		2.607	19.4 ^m /-0.420- 0.939 ¹	-	0.040
Астероиды	ы Амуры,	, отобран	ные нами	одновреме	нно по каки	ім-либо 2	каталогам метеор	оных орб	ИТ
2010 QA5	0.632	1.073	33.433	176.219	174.121	2.751	22.3 ^m /0.350	0.014	0.100
				$\alpha $	(0)				

Использован эквивалентный диаметр (20)

Отождествление сразу по 2 каталогам метеорных орбит выделяет астероиды 2014 UH210, 2017 NW5, информация о которых не встречается в работах других ученых. Эти объекты имеют кометный тип орбиты, и у астероида 2014 UH210 имеется низкое альбедо, поэтому нельзя исключить его вероятную кометную природу.

Астероид 361861 2008 ED69, информация о котором содержится в [168-170], нами отождествлен сразу по трем каталогам метеорных орбит. Астероид 2016 NO16, указанный в работе [151], нами выделяется, но со значением выполнения критериев синтетического метода 30.

h-Виргиниды, HVI

Параметры для AC3, связанных с потоком h-Виргиниды, приводятся в таблице 4.14.

Согласно таблице 1.6 получено, что по значениям параметра Тиссерана орбита h-Виргинид (HVI) переходная, тем самым невозможно четко сказать астероидного или кометного она типа. Это подтверждает предположение о том, что h-Виргиниды (HVI) являются частью астероидно-кометного комплекса.

AC3	e	q (a.e.)	i°	ωຶ	Ωຶ	Т	Н ^m /D, км	α	d (a.e.)
	Астер	ооиды Аг	оллоны, о	тобранны	е нами одно	временн	о по 3 каталогам		· · · ·
	1	1	и подтверя	кденные ра	аоотами дру	тих учен	ых		1
2001 SZ269	0.662	0.800	2.451	191.180	154.408	3.534	$19.6^{\text{m}}/0.420$ - 0.939^{1}	-	0.033
2014 HU2	0.674	0.767	1.094	57.012	57.012	3.207	26.5 ^m /0.017- 0.037 ¹	-	0.007
2010 RL143	0.090	2.416	4.828	335.748	335.748	3.377	$17.29^{\text{m}}/1-2$	-	1.432
2010 TP55	0.670	0.776	3.326	69.594	232.789	3.212	20.59 ^m /0.265- 0.592 ¹	-	0.004
2014 JH5	0.122	2.840	19.678	93.746	44.201	3.082	$16.74^{\rm m}/2-4^{\rm l}$	-	1.939
Астер	ооиды Ап	юллоны,	отобранни	ые нами од	новременно	о по 3 кат	галогам метеорны	х орбит	
2014 HD198	0.755	0.982		69.118	220.406	3.437	29.7^{m} /0.004- 0.009 ¹	-	0.00014

Таблица 4.14. Параметры РТ Аполлонов, отобранных для h-Виргиниды [81].

¹ Использован эквивалентный диаметр (20)

Таблица 4.15. Параметры РТ Амуров, отобранных для h-Виргиниды [81].

AC3	eqi° ω° Ω° T H^m (a.e.)i° ω° ω° Σ° T H^m							α	d (a.e.)
	Аст	ероиды А и	Амуры, ото 1 подтверя	обранные раконски правити и пр Правити и правити и пр	нами одновј аботами дру	ременно гих учен	по 3 каталогам ых		
2014 JF57	0.664	1.027	8.211	28.284	256.778	2.837	23.40 ^m /0.067- 0.149 ¹	-	-

Среди отобранных астероидов все астероиды, кроме 2014 JH5 демонстрируют астероидный тип орбиты, тогда как 2014 JH5, также как и астероид группы Амуры, 2014 JF57 – объекты переходной орбиты. Астероид 2001SZ69 по классификации, основанной на количественном и качественном описании AC3 с учетом их коллизионных свойств, относится классу G3 – возможность столкнуться с Землей, оценивается в 0.7163 [171]. Данные о физикохимических характеристиках астероидов отсутствуют, что затрудняет задачу их отождествления с метеорным потоком. Поток h-Виргиниды является субпотоком метеорного комплекса Виргиниды, куда входит несколько ветвей потока с отождествленными и неотождествленными вероятными родительскими телами. Некоторые из выделенных AC3 небольшого диаметра, можно предположить, что это одно ранее распавшееся тело, данное предположение требует дальнейших исследований, некоторые из которых будут показаны в пункте 4.2 настоящей работы.

Андромедиды, AND

Отождествленные с помощью синтетического метода с потоком Андромедиды астероиды приведены в таблице 4.15.

Астероиды 2021 FD, 2009 WJ1, 2009 ST103, 2021 EN4, 2003 UQ25, 2015 VY105, 2004 GB2, 2016 UP36, 2016 FC14, среди которых есть как те, которые отождествлены нами и те, которые отобраны нами и подтверждаются работами других авторов, по параметру Тиссерана имеют кометный или переходный тип орбиты, то есть T<3.1 или T \approx 3 соответственно. Вычисленные средние орбиты потока Андромедиды (таблица 1.7) имеют значение параметра Тиссерана 2.3 \leq T \geq 2.8 в зависимости от каталога, что подтверждает возможность искать связь близости орбит среди астероидов, движущихся по кометоподобной или переходной орбите.

Астероиды 2009 WJ1, 2003 UQ25, 2021 EN4, 2015 VY105 - ПОО, таким образом, они попадают под гравитационное влияние Земли. Отсутствуют данные по размеру астероидов и геометрическому альбедо, нами рассчитан только эквивалентный диаметр, что не позволяет в должной мере оценить их степень опасности для Земли. Отсутствуют данные о таксономическом индексе, то есть физико-химические характеристики астероидов не известны, что затрудняет задачу их отождествления с метеорным потоком и их способность к разрушению, тем самым требует выполнения дальнейшего анализа.

Принимая во внимание то, что отождествленные астероиды имеют не только орбиты кометной и переходной природы, но имеются и движущиеся по астероидному типу орбиты, можно предположить, что, возможно, поток

Андромедиды составляет кометно-астероидный комплекс, что требует дальнейшего более детального исследования. Нельзя исключать, что выделенные нами группы РТ для потока Андромедид могут быть фрагментами ядра кометы 3D/Biela.

AC3	e	q (a.e.)	i°	ωຶ	$\mathbf{\Omega}^{^{\circ}}$	Т	Н ^m /D, км	α	d (a.e.)
	Астер	оиды Ап	оллоны, от	гобранные	е нами одної ботами пруг	временно	по 3 каталогам		
(2009 WJ1)	0.678	0.791	0.623	195.160	276.528	3.129	21.16 ^m / 0.167- 0.374 ¹	-	0.008
(2009 ST103)	0.718	0.761	15.738	234.642	226.461	2.892	18.14 ^m /0.851	0.141	0.037
(2003 UQ25)	0.757	0.792	5.656	301.745	174.630	3.070	$\begin{array}{r} 24.1^{\mathrm{m}}/0.042\text{-}\\ 0.094^{\mathrm{1}} \end{array}$	-	0.0001
(2004 GB2)	0.649	0.744	12.422	255.418	208.947	3.404	21.0 ^m / 0.167- 0.374 ¹	-	0.022
(2016 UP36)	0.692	0.781	2.101	261.246	197.871	3.058	26.1 ^m / 0.017- 0.037 ¹	-	0.012
(2016 FC14)	0.660	0.761	3.963	218.133	245.975	3.310	25.4 m / 0.026- 0.059 ¹	-	0.032
Астер	оиды Ап	оллоны,	отобраннь	ие нами од	новременно	по 3 кат	алогам метеорных	орбит	
(2020 SR7)	0.681	0.725	5.840	224.787	244.161	3.254	22.2 ^m / 0.105- 0.236 ¹	-	0.043
(2021 FD)	0.715	0.799	8.673	269.240	201.354	2.280	22.28 ^m /0.105- 0.236 ¹	-	0.076
(2021 EN4)	0.757	0.792	5.656	301.745	174.630	2.625	$\begin{array}{c} 29.68^m / 0.004 \text{-} \\ 0.009^1 \end{array}$	-	0.0001
Астероиды	Аполлон	ы, отобра	инные нам	и одноврем	иенно по ка	ким-либо	2 каталогам мете	орных ор	обит
(2021 SX3)	0.697	0.722	4.757	290.569	178.056	3.153	21.57 ^m /0.167- 0.374 ¹	-	0.076
(2012 EL5)	0.678	0.791	0.623	195.160	276.528	3.125	20.0 ^m /0.265- 0.592 ¹	-	0.071
(2009 TA1)	0.663	0.772	12.347	271.821	203.964	3.241	20.1 ^m /0.265- 0.592 ¹	-	0.081
(2015 VY105)	0.708	0.788	8.731	59.427	52.102	2.931	29.6 ^m /0.004- 0.009 ¹	-	0.0003

Таблица 4.16. Параметры РТ Аполлонов, отобранных для Андромедид [81].

¹ Использован эквивалентный диаметр (20)

ρ-Геминиды, RGE

Выделенные нами с помощью синтетического метода астероиды с потоком ρ-Геминиды приведены в таблице 4.17.

Средние орбиты, вычисленные нами для потока р-Геминид (таблица 1.8) имеют значение параметра Тиссерана в интервале 3.0≤ T ≥3.3, следовательно, поток движется по переходной или астероидной орбите. Этот факт дает нам

возможность производить поиск РТ среди АСЗ, так как невозможно однозначно определить тип орбиты потока – кометная она или астероидная.

AC3	e	q (a.e.)	i°	ωຶ	Ωຶ	Т	Н ^{т.} /D, км	α	d (a.e.)
	Астер	ооиды Ап	оллоны, о	тобранные	е нами однов	временно	по 3 каталогам		
		И	подтверж	денные ра	оотами друг	гих учень			
2007 VW137	0.739	0.581	5.943	245.071	299.655	3.212	18.21 ^m / 0.655- 1.488 ¹	-	0.039
2010 AG30	0.695	0.690	2.088	84.624	103.581	3.249	27.1 ^m /0.011- 0.024 ¹	-	0.006
Астер	ооиды Ап	оллоны,	отобраннь	ле нами од	новременно	по 3 кат	алогам метеорных	орбит	
2006 WP127	0.768	0.588	6.082	22.934	178.258	2.945	18.46 ^m / 0.655- 1.488 ¹	-	0.092
2011 OX17	0.750	0.552	6.915	212.485	347.830	3.212	22.28 ^m /0.105- 0.236 ¹	-	0.099
2005 YX128	0.735	0.577	4.484	316.285	259.731	3.265	$19.02^{\mathrm{m}} / 0.420$ - 0.939 ¹	-	0.057

Таблица 4.17 а. Параметры РТ Аполлонов, отобранных для ρ-Геминид [81].

Таблица 4.17 b. Параметры РТ Аполлонов, отобранных для ρ-Геминид [81].

AC3	e	q (a.e.)	i°	ωຶ	Ω°	Т	Н ^ш /D, км	α	d (a.e.)
Астероиды	Аполлон	ы, отобря	анные нам	и одноврем	иенно по ка	ким-либо	2 каталогам мете	орных ор	бит
106538 2000 WK63	0.765	0.568	10.336	41.687	163.421	3.013	16.28 ^m / 2-4 ¹	-	0.126
359369 2009 YG	0.700	0.648	3.388	67.464	138.863	3.342	18.52 ^m /0.655- 1.488 ¹	-	0.013
445775 2011 YA	0.758	0.512	5.218	227.002	340.547	3.287	18.57 ^m / 0.655- 1.488 ¹	-	0.052
2008 OO	0.702	0.627	5.484	253.721	305.919	3.374	19.7 ^m /0.420- 0.939 ¹	-	0.015
2016 PZ39	0.787	0.483	4.245	118.296	79.687	3.107	19.45 ^m /0.420- 0.939 ¹	-	0.024
2019 AQ	0.745	0.474	4.337	259.782	210.273	3.597	$\begin{array}{c} 23.2^{m} / 0.067 \text{-} \\ 0.149^{1} \end{array}$	-	0.073
2014 OU344	0.677	0.615	1.999	151.031	56.073	3.621	22.8 ^m / 0.105- 0.236 ¹	-	0.031
2017 NN6	0.738	0.585	7.786	99.619	95.319	3.205	20.1 ^m / 0.265- 0.592 ¹	-	0.023
2019 AN12	0.703	0.663	0.275	319.481	244.767	3.161	$\begin{array}{c} 25.4^{\mathrm{m}}/0.026\text{-}\\ 0.059^{\mathrm{1}} \end{array}$	-	0.003
2014 XJ3	0.727	0.582	1.223	161.671	22.312	3.317	20.09 ^m / 0.265- 0.592 ¹	-	0.020
2008 BC15	0.714	0.632	3.528	263.159	309.861	3.266	26.6 ^m / 0.017- 0.037 ¹	-	0.001
285567 2000 OM	0.641	0.611	13.581	73.941	123.538	3.912	18.45 ^m / 0.655- 1.488 ¹	-	0.053
2003 AA83	0.777	0.542	6.766	126.426	88.554	2.991	21.84 ^m / 0.167- 0.374 ¹	-	0.066

¹ Использован эквивалентный диаметр (20)

Учитывая [167] можно отметить, что AC3, которые по значению инварианта Тиссерана относительно Юпитера имеют T<3.1, движутся по кометной орбите, при значении T>3.1 AC3 имеют астероидную орбиту, если T \approx 3.0, то имеет место орбита преходной природы между разделением на кометы и астероиды.

Также считается, что AC3, может быть ядром потухшей кометы, если у него низкое альбедо $0.02 \le \alpha \ge 0.12$ [8]. По параметру Тиссерана $T_n = 3.170$ δ-Канкриды имеют переходную орбиту (таблица 1.3). За исключением астероидов 85182 (1991 AQ), 2011 SR12, 2014 RS17, 2019 AQ, 2011 YA, 2010 QD2, 2012 XR134, 2013 AQ60, 2019 BH1, 2002 RT29, 2016 SN2, 2005 RC, 2004 BF85, 2014 BX2, 2018 RB, 1990 SM все другие астероиды имеют тип орбиты кометный. Что касается астероидов 2015 PU228, 2212 Hephaistos 1978 SB, 2017 YO4, 2006 BF56, то они промежуточные по типу орбиты.

Астероиды 2010 AG30, 2019 AN12, 2008 BC15 являются потенциально опасными, сближаясь с Землей на близкое расстояние. Диаметр астероидов вычислен только эквивалентный, что указано внизу таблицы сноской. Также нет данных про геометрическое альбедо α, что не позволяет оценить степень опасности таких объектов для Земли. Нет также данных о таксономических характеристиках астероидов, что затрудняет задачу их отождествления с метеорным потоком и требует выполнения дальнейших дополнительных исследований.

4.2 Оценка взаимосвязей в группах родительских тел исследуемых метеорных потоков на основе дополнительных критериев

В нашей работе мы используем современные орбиты МНТ и оцениваем их тождественность, тогда как вследствие гравитационных и негравитационных возмущений, орбита в процессе эволюции может меняться, поэтому возможно случайное совпадение орбит МНТ.

Учитывая этот факт нужно привлечь дополнительные критерии проверки и проверить группы выделенных РТ. Во-первых, нужно проверить орбиту АСЗ на количество пересечений ее с орбитой Земли, так как считается, что АСЗ и связанный с ним метеорный поток должны, в ходе своего движения, пересекать орбиту Земли схожее число раз. Во-вторых, мы использовали критерии Саутворта-Хоккинса (2) и являющийся его модификацией критерий Ашера (5), чтобы оценить связь двух АСЗ между собой. Проверка критериями Саутворта-Хоккинса (2) и Ашера (5) была выполнена для того, чтобы проверить, не являлись ли ранее отождествленные с метеорными потоками АСЗ одним распавшимся телом. Так как, если отождествленные с потоком АСЗ с помощью синтетического метода показывают связь с потоком, то должна быть и родственная связь и между этими отождествленными АСЗ.

Цветовые обозначения в таблицах 4.18 – 4.31, соответствуют обозначениям таблиц 4.1 – 4.10.

δ-Канкриды, северная ветвь, NCC

Таблица 4.18. Взаимные (между AC3) значения критерия Саутворта-Хоккинса D_{S H} для потока δ-Канкриды (NCC).

D SH	(2017 YO4)	(2015 PU228)	(2010 QD2)	(2014 YQ34)	2212 Hephaistos (1978 SB)	(2001 YB5)	(2006 BF56)	(2010 XC11)	(2003 RW11)	(1991 AQ)	(2019 AQ)	(2012 XR134)	(2011 YA)	(2003 AA83)	(2013 AQ60)	(2019 BH1)
(2017 YO4)	0	3,58	4,85	3,75	3,61	3,12	2,15	3,08	5,41	4,47	3,51	1,16	3,29	1,58	5,85	0,94
(2015 PU228)	3,58	0	1,31	2,03	5,63	5,55	3,17	0,15	3,27	2,41	3,62	3,59	3,08	3,85	2,02	4,52
(2010 QD2)	4,85	1,31	0	3,13	4,26	3,56	2,24	1,61	2,62	3,77	4,24	3,74	0,97	3,32	1,71	3,72
(2014 YQ34)	3,75	2,03	3,13	0	2,87	3,13	4,72	1,9	0,85	0,47	1,34	5,87	4,02	5,96	3,26	4,2
2212 Hephaistos (1978 SB)	3,61	5,63	4,26	2,87	0	0,77	2,7	5,21	2,13	3,05	1,05	4,26	2,73	3,55	4,91	1,94
(2001 YB5)	3,12	5,55	3,56	3,13	0,77	0	2,8	5,31	2,17	3,94	2,71	3,97	1,64	3,43	4,92	1,24
(2006 BF56)	2,15	3,17	2,24	4,72	2,7	2,8	0	2,67	5,15	5,56	3,27	1,24	0,99	0,63	4,85	1,06
(2010 XC11)	3,08	0,15	1,61	1,9	5,21	5,31	2,67	0	3,56	2,6	3,17	3,49	3,02	3,65	2,98	4,06
(2003 RW11)	5,41	3,27	2,62	0,85	2,13	2,17	5,15	3,56	0	0,86	1,85	6,46	3,39	6,23	2,14	4,53
(1991 AQ)	4,47	2,41	3,77	0,47	3,05	3,94	5,56	2,6	0,86	0	1,24	5,92	5,14	6,16	2,26	5,16
(2019 AQ)	3,51	3,62	4,24	1,34	1,05	2,71	3,27	3,17	1,85	1,24	0	4,72	4,12	4,36	4,19	3,27
(2012 XR134)	1,16	3,59	3,74	5,87	4,26	3,97	1,24	3,49	6,46	5,92	4,72	0	2,52	0,18	4,41	1,34
(2011 YA)	3,29	3,08	0,97	4,02	2,73	1,64	0,99	3,02	3,39	5,14	4,12	2,52	0	1,85	3,6	1,4
(2003 AA83)	1,58	3,85	3,32	5,96	3,55	3,43	0,63	3,65	6,23	6,16	4,36	0,18	1,85	0	4,57	1,05
(2013 AQ60)	5,85	2,02	1,71	3,26	4,91	4,92	4,85	2,98	2,14	2,26	4,19	4,41	3,6	4,57	0	5,62
(2019 BH1)	0,94	4,52	3,72	4,2	1,94	1,24	1,06	4,06	4,53	5,16	3,27	1,34	1,4	1,05	5,62	0



Рис. 4.2. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Саутворта-Хоккинса D_{SH} для потока δ-Канкриды (NCC)

В таблице 4.18 приведены расчеты связи между собой для АСЗ, отождествленных для северной ветви δ-Канкрид (NCC), с помощью синтетического метода, согласно критерию Саутворта-Хоккинса.

Красным цветом в таблице 4.18 обозначены астероиды, отождествленные нами одновременно по трем каталогам метеорных орбит с фактором Р выше 0.5 и подтвержденные работами других авторов. Фиолетовым – астероиды, отождествленные нами одновременно по трем каталогам метеорных орбит с фактором Р выше 0.5. Зеленым – астероиды, отождествленные нами одновременно по двум каталогам метеорных орбит с фактором Р выше 0.5.

На основании данных из табл. 4.18 построены графики значений критерия Саутворта-Хоккинса для астероидов, отождествленных для δ-Канкрид (NCC) (рис. 4.2). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору. Цветовыми метками обозначены астероиды, отождествленные в работе с δ-Канкридами (NCC) на основании синтетического метода.

Таблица 4.19. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Ашера D_{AH} для потока δ-Канкриды (NCC).

D AH	(2017 YO4)	(2015 PU228)	(2010 QD2)	(2014 YQ34)	2212 Hephaistos (1978 SB)	(2001 YB5)	(2006 BF56)	(2010 XC11)	(2003 RW11)	(1991 AQ)	(2019 AQ)	(2012 XR134)	(2011 YA)	(2003 AA83)	(2013 AQ60)	(2019 BH1)
(2017 YO4)	0	2,91	4	3,35	3,08	2,55	0,03	2,29	3,98	2,84	4,02	2,49	3,12	0,39	3,99	0,52
(2015 PU228)	2,91	0	1,28	0,08	3,01	3,47	3,17	0,12	0,8	0	1,27	3,52	2,98	3,78	0,83	3,87
(2010 QD2)	4	1,28	0	0,84	0,76	1,28	3,95	1,95	0,12	1,35	0	1,33	0,73	3,51	0,07	3,36
(2014 YQ34)	3,35	0,08	0,84	0	2,54	3,07	3,56	0,34	0,42	0,1	0,84	3,15	2,52	3,96	0,48	4,03
2212 Hephaistos (1978 SB)	3,08	3,01	0,76	2,54	0	0,09	2,81	3,53	1,26	3,08	0,8	0,11	0,01	1,9	1,21	1,71
(2001 YB5)	2,55	3,47	1,28	3,07	0,09	0	2,25	3,83	1,82	3,52	1,33	0,02	0,11	1,32	1,79	1,17
(2006 BF56)	0,03	3,17	3,95	3,56	2,81	2,25	0	2,59	4,01	3,11	3,97	2,18	2,85	0,22	4,01	0,33
(2010 XC11)	2,29	0,12	1,95	0,34	3,53	3,83	2,59	0	1,37	0,1	1,94	3,89	3,52	3,4	1,45	3,57
(2003 RW11)	3,98	0,8	0,12	0,42	1,26	1,82	4,01	1,37	0	0,87	0,14	1,92	1,24	3,81	0,04	3,76
(1991 AQ)	2,84	0	1,35	0,1	3,08	3,52	3,11	0,1	0,87	0	1,33	3,57	3,05	3,75	0,89	3,84
(2019 AQ)	4,02	1,27	0	0,84	0,8	1,33	3,97	1,94	0,14	1,33	0	1,37	0,76	3,55	0,07	3,39
(2012 XR134)	2,49	3,52	1,33	3,15	0,11	0,02	2,18	3,89	1,92	3,57	1,37	0	0,12	1,26	1,84	1,07
(2011 YA)	3,12	2,98	0,73	2,52	0,01	0,11	2,85	3,52	1,24	3,05	0,76	0,12	0	1,93	1,17	1,73
(2003 AA83)	0,39	3,78	3,51	3,96	1,9	1,32	0,22	3,4	3,81	3,75	3,55	1,26	1,93	0	3,8	0,03
(2013 AQ60)	3,99	0,83	0,07	0,48	1,21	1,79	4,01	1,45	0,04	0,89	0,07	1,84	1,17	3,8	0	3,69
(2019 BH1)	0,52	3,87	3,36	4,03	1,71	1,17	0,33	3,57	3,76	3,84	3,39	1,07	1,73	0,03	3,69	0

Анализируя рис. 4.2, можно отметить, что связь между собой явно демонстрируют AC3 2003 AA83 и 2012 XR134, а также 2010 XC11 и 2015 PU228. Критерий Саутворта-Хоккинса является более строгим, чем критерий Ашера, так как использует 5 элементов орбит, поэтому динамическую связь деменстрируют меньшее количество AC3, чем при использовании критерия Ашера.

В таблице 4.19 приведены расчеты связи между собой для АСЗ, отождествленных для северной ветви δ-Канкрид (NCC), с помощью синтетического метода, согласно критерию Ашера.

На основании данных из табл. 4.19 построены графики значений критерия Ашера для астероидов, отождествленных для δ-Канкрид (NCC) (рис. 4.3). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору. Цветовыми метками обозначены астероиды, отождествленные в работе с δ-Канкридами (NCC) на основании синтетического метода.

В таблице 4.20 показана связь в группах РТ для потока δ-Канкриды (NCC) согласно критерию Ашера.

2013 AQ60	2003 RW11	2019 AQ	
2003 AA83	2019 BH1		
2011 YA	2212 Hephaistos (1978 SB)	2001 YB5	2012 XR134
2012 XR134	2001 YB5	2212 Hephaistos (1978 SB)	2019 BH1
2019 AQ	2013 AQ60	2003 RW11	
DA 1991	2014 YQ34		
2003 RW11	2013 AQ60	2010 QD2	2019 AQ
2010 XC11	1991 AQ	2015 PU228	
2001 YB5	2012 XR134	2212 Hephaistos (1978 SB)	2011 YA
2212 Hephaistos (1978 SB)	2011 YA	2001 YB5	2012 XR134
2014 YQ34	2015 PU228	04 1991 AQ	
2010 QD2	2013 AQ60	2003 RW11	
2015 PU228	2014 YQ34	2010 XC11	
2017 YO4	2006 BF56		

Таблица 4.20. Связь в группах РТ для потока δ-Канкриды (NCC).



Рис. 4.3. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Ашера D AH для потока δ-Канкриды (NCC)

На основании вышеизложенного, сделан вывод, что наиболее вероятными AC3 для потока δ-Канкриды (NCC) являются астероиды (1991 AQ), (2017 YO4), (2010 XC11), (2015 PU228), (2001YB5), 2212 Hephaistos (1978 SB), (2019 AQ), (2011YA).

δ-Канкриды, южная ветвь, SCC

В таблице 1 Приложения приведены расчеты связи между собой для AC3, отождествленных для южной ветви δ-Канкрид (SCC), с помощью синтетического метода, согласно критерию Ашера.

На основании данных из таблицы 1 Приложения построены графики значений критерия Ашера для астероидов, отождествленных для δ-Канкрид (SCC) (рис. 4.4). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору. Цветовыми метками обозначены астероиды, отождествленные в работе с δ-Канкридами (NCC) на основании синтетического метода.

Как видим из рис. 4.4 связь между собой демонстрируют большое количество AC3, так как критерий Ашера не такой строгий, как критерий Саутворта-Хоккинса.

Связь демонстрируют астероиды:

2017 YO4 – 2006 BF56

2015 PU228 – 2014 YQ34, 2015 PU228 – 2010 XC11

2010 QD2 – 2013 AQ60, 2010 QD2 – 2003 RW11

2014 YQ34 - 2015 PU228, 2014 YQ34 - 1991 AQ

2212 Hephaistos (1978 SB) – 2011 YA, 2212 Hephaistos (1978 SB) – 2001 YB5, 2212 Hephaistos (1978 SB) – 2012 XR134

2001 YB5 – 2012 XR134, 2001 YB5 – 2212 Hephaistos (1978 SB), 2001 YB5 – 2011 YA

2006 BF56 – 2017 YQ4

2010 XC11 – 1991 AQ, 2010 XC11 – 2015 PU228

2003 RW11 – 2013 AQ60, 2003 RW11 – 2010 QD2, 2003 RW11 – 2019 AQ

1991 AQ – 2014 YQ34

2019 AQ - 2013 AQ60, 2019 AQ - 2003 RW11

2012 XR134 – 2001 YB5, 2012 XR134 – 2212 Hephaistos (1978 SB), 2012 XR134 – 2019 BH1 2011 YA – 2 212 Hephaistos (1978 SB), 2011 YA – 2001 YB5, 2011 YA – 2012 XR134

2003 AA83 – 2019 BH1,

2013 AQ60 - 2019 AQ, 2013 AQ60 - 2003 RW11

2019 BH1 – 2003 AA83

В таблице 2 Приложения приведены расчеты связи между собой для AC3, отождествленных для южной ветви δ-Канкрид (SCC), с помощью синтетического метода, согласно критерию Саутворта-Хоккинса.

На основании данных из таблицы 2 Приложения построены графики значений критерия Саутворта-Хоккинса для астероидов, отождествленных для δ-Канкрид (SCC) (рис. 4.5). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору. Цветовыми метками обозначены астероиды, отождествленные в работе с δ-Канкридами (NCC) на основании синтетического метода.

Анализируя график на рис. 4.5 можно увидеть, что связь между собой демонстрируют только астероиды 2015 PU228 и 2010 XC1.

Мы приняли пороговые значения для D _{SH} и D _{AH} ≤ 0.2 согласно значениям, принятым их авторами, и отобрали только астероиды, попадающие под этот критерий отбора. На рисунке 4.4 и 4.5 с помощью графиков приведены данные таблиц 1 и 2 Приложения, красной линией указано пороговое значение 0.2. Анализируя графики значений критериев, можно отметить, что по критерию Ашера отбирается гораздо больше астероидов, чем по критерию Саутворта-Хоккинса, скорее всего это вызвано тем, что в критерии Ашера убрана зависимость от узловых элементов.

Сделан вывод, что наиболее выроятными РТ для потока δ-Канкриды (SCC) являются астероиды 2212 Hephaistos (1978 SB), (2001YB5), (2003 RW11), (2006 BF56), (2017 YO4), (2010 XC11), (2015 PU228), (1991 AQ), (2012 XR134).



Рис. 4.4. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Ашера D AH для потока δ-Канкриды (SCC)



Рис. 4.5 а. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Саутворта-Хоккинса D SH для потока δ-Канкриды (SCC)



Рис. 4.5 b. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Саутворта-Хоккинса D SH для потока δ-Канкриды (SCC)

к-Цигниды, КСС

По данным [170] k–Цигниды пересекают орбиту Земли 8 раз, следовательно, родственный потоку объект должен тоже пересекаться с орбитой Земли примерно восемь раз. Оценивая AC3, которые мы отождествили как PT для потока (таблицы 4.3, 4.4 и 4.12, 4.13), астероид 2001 MG1 8 раз пересекает орбиту Земли, астероиды 2008 ED69 и 2004 LA12 совершают по четыре пересечения, для остальных AC3 из таблицы 4.3 и 4.4 данные, к сожалению, отсутствуют. Если отождествленные с потоком AC3 с помощью синтетического метода, показывают связь с потоком k-Цигнид, то должна быть и родственная связь и между этими отождествленными AC3. Проверяя это утверждение мы вычислили значения критерия Ашера (5) для вычисления которого нужны элементы орбиты q, e, i (таблица 4.12, 4.13) и Саутворта-Хоккинса (2), являющегося более строгим и использующего 5 элементов орбит – q, e, i, ω , Ω (таблица 4.12, 4.13), между орбитами выделенных AC3 в группах PT. В таблице 4.21 приведены расчеты связи между собой для AC3, отождествленных для потока k-Цигниды (КСG), с помощью синтетического метода, согласно критерию Ашера.

Таблица 4.21. Значения критерия Ашера D_{AH} между АСЗ для РТ потока k-Цигниды (КСG).

D AH	(2001 MG1)	(2014UH210)	(2017 NW5)	(2008 ED69)	(2004 LA12)	(2002 LV)
(2001 MG1)	0,00	0,010	0,360	2,180	1,980	1,120
(2014 UH210)	0,010	0,00	0,43	2,30	1,85	1,24
(2017 NW5)	0,360	0,43	0,00	1,04	3,11	0,34
(2008 ED69)	2,180	2,30	1,04	0,00	4,01	0,34
(2004 LA12)	1,980	1,85	3,11	4,01	0,00	3,80
(2002 LV)	1,120	1,24	0,34	0,34	3,80	0,00

На основании данных из табл. 4.21 построены графики значений критерия Ашера для астероидов, отождествленных для потока k-Цигниды (KCG) (рис. 4.6). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору. Цветовыми метками обозначены астероиды, отождествленные в работе с б-Канкридами (NCC) на основании синтетического метода.

Как видим из рис. 4.6 ни один из АСЗ не демонстрирует связь между собой по критерию Ашера, то есть связь между отождествленными АСЗ не прослеживается.

В таблице 4.22 приведены расчеты связи между собой для АСЗ, отождествленных для потока k-Цигниды (КСG), с помощью синтетического метода, согласно критерию Саутворта-Хоккинса.

На основании данных из табл. 4.22 построены графики значений критерия Саутворта-Хоккинса для астероидов, отождествленных для потока k-Цигниды (рис. 4.7). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору. Цветовыми метками обозначены астероиды, отождествленные в работе с δ-Канкридами (NCC) на основании синтетического метода.



Рис. 4.6. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Ашера D_{AH} для потока k-Цигниды (КСG)

Таблица 4.22. Значения критерия Саутворта-Хоккинса D SH между AC3 для PT потока k-Цигниды (KCG).

D _{AH}	(2001 MG1)	(2014 UH210)	(2017 NW5)	(2008 ED69)	(2004 LA12)	(2002 LV)
(2001 MG1)	0,00	1,74	0,31	2,33	3,16	2,57
(2014 UH210)	1,74	0,00	0,30	0,32	2,19	1,93
(2017 NW5)	0,31	0,30	0,00	0,25	2,53	1,90
(2008 ED69)	2,33	0,32	0,25	0,00	1,62	3,46
(2004 LA12)	3,16	2,19	2,53	1,62	0,00	2,89
(2002 LV)	2,57	1,93	1,90	3,46	2,89	0,00

Как видно из рис. 4.7, тоже ни один из АСЗ не демонстрирует связь между собой по критерию Саутворта-Хоккинса, то есть связь между отождествленными АСЗ не прослеживается, вероятно, что данные астероиды не были ранее одним распавшимся телом.



Рис. 4.7. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Саутворта-Хоккинса D_{SH} для потока k-Цигниды (КСG)

В таблице 4.23 приведены расчеты связи между собой для AC3 группы Амуры, отождествленных для потока k-Цигниды (KCG), с помощью синтетического метода, согласно критерию Ашера.

Таблица 4.23. Взаимные (между АСЗ группы Амуры) значения критерия Ашера D_{AH} для потока k-Цигниды (КСG).

D AH	2002 GJ8	2010 QA5
2002 GJ8	0	3.99
2010 QA5	3.99	0

На основании данных из табл. 4.23 построены графики значений критерия Ашера для астероидов, отождествленных для потока k-Цигниды (КСG) (рис. 4.8). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору.



Рис. 4.8. Взаимные (между АСЗ группы Амуры) значения критерия Ашера D_{AH} для потока k-Цигниды (КСG)

Анализируя табл. 4.23 и рис. 4.8 видно, что астероиды не находят близкие значения между собой по критерию Ашера.

Таблица 4.24. Взаимные (между АСЗ группы Амуры) значения критерия Саутворта-Хоккинса D_{SH} для потока k-Цигниды (КСG).

D SH	2002 GJ8	2010 QA5
2002 GJ8	0	1.41
2010 QA5	1.41	0

В таблице 4.24 приведены расчеты связи между собой для AC3 группы Амуры, отождествленных для потока k-Цигниды (KCG), с помощью синтетического метода, согласно критерию Саутворта-Хоккинса.

Как видно из табл. 4.24 и рис. 4.9, ни один из АСЗ группы Амуры не демонстрирует связь между собой по критерию Саутворта-Хоккинса, то есть связь между отождествленными АСЗ не прослеживается, вероятно, что данные астероиды не были ранее одним распавшимся телом.


Рис. 4.9. Взаимные (между АСЗ группы Амуры) значения критерия Саутворта-Хоккинса D_{SH} для потока k-Цигниды (КСG)

Анализ таблиц 4.21 и 4.22 и рисунков 4.6 и 4.7 показывает, что согласно критерию DSH, схожих орбит нет ни у одной пары орбит AC3. Но, в рамках исключения, допустим родственность у астероида 2008 ED69 и 2017 NW5 с критерием Саутворта-Хоккинса DSH=0.25, также у астероидов 2017 NW5 и 2014 UH210 у которых значения критерия Саутворта-Хоккинса DSH=0.30, и у двух AC3: 2017 NW5 и 2001 MG1 с критерием Саутворта-Хоккинса DSH=0.31, еще у объектов 2008 ED69 и 2014 UH210 имеющих критерий DSH=0.32. Используя не такой строгий критерий Ашера можно допустить связь орбит между собой только у 4 AC3. Так как у астероида 2004 LA12 орбита имеет близкие значения только с орбитой AC3 2008 ED69.

k-Цигниды являются наиболее изученным из малых метеорных потоков, но вопрос о его РТ еще не закрыт. Изучая поток k-Цигниды и его связь с AC3 можно выделить астероиды 2017 NW5, 2001 MG1, 2008 ED69, 2004 LA12 и 2014, UH210 как имеющие сходство с потоковыми орбитами. Анализируя значения их

элементов орбит, можно отметить, что астероиды имеют промежуточную или кометную орбиты.

Что касается связи между собой у АСЗ из группы Амуры в группе РТ потока k-Цигниды, то можно отметить, что АСЗ группы Амура вряд ли являлись раньше одним распавшемся телом, так как их орбиты дают высокое значение, как критерия Ашера (таблица 4.23 и рисунок 4.8), так и критерия Саутворта-Хоккинса (таблица 4.24 и рисунок 4.9). Дальше нужно проводить еще исследования по изучению структуры потока, а также учитывать ретроэволюцию астероидных и метеороидных орбит.

h-Виргиниды, HVI

В таблице 4.25 приведены расчеты связи между собой для АСЗ, отождествленных для для потока h-Виргиниды (HVI), с помощью синтетического метода, согласно критерию Ашера.

На основании данных из табл. 4.25 построены графики значений критерия Ашера для астероидов, отождествленных для потока потока h-Виргиниды (HVI) (рис. 4.10). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору.

D AH	(2014 HD198)	(2001 SZ269)	(2014 HU2)	(2010 RL43)	(2010 TP55)	(2014 JH15)
(2014 HD198)	0	1,81	0,02	0,14	3,41	0,3
(2001 SZ269)	1,81	0	1,58	2,53	0,73	0,79
(2014 HU2)	0,02	1,58	0	0,23	3,24	0,19
(2010 RL43)	0,14	2,53	0,23	0	3,83	0,79
(2010 TP55)	3,41	0,73	3,24	3,83	0	2,46
(2014 JH15)	0,3	0,79	0,19	0,79	2,46	0

Таблица 4.25. Взаимные (между АСЗ группы Аполлоны) значения критерия Ашера D AH для потока h-Виргиниды (HVI).

Связь между собой демонстрируют АСЗ: 2014 HD198 – 2014 HU2, 2014 HD198 – 2010 RL43 2014 HU2 – 2014 HD198, 2014 HU2 – 2014 JH15 2010 RL43 – 2014 HD198, 2014 JH15 – 2014 HU2



Рис. 4.10. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Ашера D AH для потока h-Виргиниды (HVI)

Таблица 4.26. Взаимные (между АСЗ группы Аполлоны) значения критерия Саутворта-Хоккинса D SH для потока h-Виргиниды (HVI).

D SH	(2014 HD198)	(2001 SZ269)	(2014 HU2)	(2010 RL43)	(2010 TP55)	(2014 JH15)
(2014 HD198)	0	3,52	1,48	1,49	3,44	3,59
(2001 SZ269)	3,52	0	4,98	4,45	0,46	1,23
(2014 HU2)	1,48	4,98	0	1,17	4,92	4,08
(2010 RL43)	1,49	4,45	1,17	0	5,03	2,44
(2010 TP55)	3,44	0,46	4,92	5,03	0	2,68
(2014 JH15)	3,59	1,23	4,08	2,44	2,68	0



Рис.4.11. Взаимные (между АСЗ) значения критерия

Саутворта-Хоккинса D SH для потока h-Виргиниды (HVI)

На основании данных из табл. 4.26 построен график значений критерия Саутворта-Хоккинса для астероидов, отождествленных для потока потока h-Виргиниды (HVI) (рис. 4.11). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору.

Как видим, ни один из астероидов согласно рис. 4.11 не демонстрирует связь между собой.

Андромедиды (AND)

Астероид 2003 UQ25, связанный с потоком Андромедиды, согласно синтетическому методу, был проверен на количество пересечений с орбитой Земли. Так как связанный с метеорным потоком астероид должен пересекать орбиту Земли схожее с потоком число раз. Астероид 2003 UQ25 осуществляет 4 пересечения.

В таблице 4.27 приведены расчеты связи между собой для АСЗ, отождествленных для для потока h-Виргиниды (HVI), с помощью синтетического метода, согласно критерию Ашера.

Таблица 4.27. Взаимные (между АСЗ группы Аполлоны) значения критерия Ашера D AH для потока Андромедиды (AND).

D AH	(2020 SR7)	(2021 FD)	(2021 SX3)	(1LW 6002)	(2012 EL <i>5</i>)	(2009 ST103)	(2021 EN4)	(2003 UQ25)	(2009 TA1)	(2015 VY105)	(2004 GB2)	(2016 UP36)	(2016 FC14)
(2020 SR7)	0,00	0,19	0,04	0,11	0,07	0,23	0,34	0,11	0,12	0,15	0,13	0,11	0,04
(2021 FD)	0,19	0,00	0,16	0,19	0,13	0,13	0,17	0,15	0,19	0,03	0,25	0,15	0,21
(2021 SX3)	0,04	0,16	0,00	0,08	0,05	0,22	0,30	0,07	0,14	0,13	0,17	0,07	0,06
(2009 WJ1)	0,11	0,19	0,08	0,00	0,11	0,28	0,29	0,04	0,21	0,17	0,24	0,04	0,10
(2012 EL5)	0,07	0,13	0,05	0,11	0,00	0,18	0,28	0,09	0,11	0,09	0,15	0,09	0,09
(2009 ST103)	0,23	0,13	0,22	0,28	0,18	0,00	0,26	0,25	0,16	0,12	0,21	0,25	0,26
(2021 EN4)	0,34	0,17	0,30	0,29	0,28	0,26	0,00	0,26	0,36	0,20	0,41	0,26	0,36
(2003 UQ25)	0,11	0,15	0,07	0,04	0,09	0,25	0,26	0,00	0,20	0,13	0,23	0,01	0,11
(2009 TA1)	0,12	0,19	0,14	0,21	0,11	0,16	0,36	0,20	0,00	0,16	0,06	0,20	0,15
(2015 VY105)	0,15	0,03	0,13	0,17	0,09	0,12	0,20	0,13	0,16	0,00	0,21	0,13	0,18
(2004 GB2)	0,13	0,25	0,17	0,24	0,15	0,21	0,41	0,23	0,06	0,21	0,00	0,23	0,15
(2016 UP36)	0,11	0,15	0,07	0,04	0,09	0,25	0,26	0,01	0,20	0,13	0,23	0,00	0,11
(2016 FC14)	0,04	0,21	0,06	0,10	0,09	0,26	0,36	0,11	0,15	0,18	0,15	0,11	0,00

На основании данных из табл. 4.27 построен график значений критерия Ашера для астероидов, отождествленных для потока потока Андромедиды (рис. 4.12). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору.

В таблице 4.28 приведены расчеты связи между собой для АСЗ, отождествленных для для потока Андромедиды (AND), с помощью синтетического метода, согласно критерию Саутворта-Хоккинса.



Рис. 4.12. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Ашера D AH для потока Андромедиды (AND)

Таблица 4.28. Взаимные (между АСЗ группы Аполлоны) значения критерия Саутворта-Хоккинса D SH для потока Андромедиды (AND).

D SH	(2020 SR7)	(2021 FD)	(2021 SX3)	(2009 WJI)	(2012 EL5)	(2009 ST103)	(2021 EN4)	(2003 UQ25)	(2009 TA1)	(2015 VY105)	(2004 GB2)	(2016 UP36)	(2016 FC14)
(2020 SR7)	0,00	0,17	1,08	1,34	0,99	1,34	1,19	0,90	0,66	0,65	1,34	1,32	0,08
(2021 FD)	0,17	0,00	1,26	0,87	1,32	1,44	0,14	0,20	1,01	1,42	0,50	1,41	0,95
(2021 SX3)	1,08	1,26	0,00	0,42	0,95	1,12	1,35	0,67	0,31	0,74	1,21	1,39	1,30
(2009 WJ1)	1,34	0,87	0,42	0,00	0,56	1,08	0,78	0,37	1,25	1,34	1,21	1,35	0,97
(2012 EL5)	0,99	1,32	0,95	0,56	0,00	0,50	1,43	0,84	1,21	0,86	1,30	1,28	1,30
(2009 ST103)	1,34	1,44	1,12	1,08	0,50	0,00	1,08	0,78	0,26	1,34	1,10	1,40	1,39
(2021 EN4)	1,19	0,14	1,35	0,78	1,43	1,08	0,00	0,32	0,28	1,34	0,19	1,00	1,24
(2003 UQ25)	0,90	0,20	0,67	0,37	0,84	0,78	0,32	0,00	1,34	1,19	1,34	1,03	0,08
(2009 TA1)	0,66	1,01	0,31	1,25	1,21	0,26	0,28	1,34	0,00	1,09	1,26	1,11	1,23
(2015 VY105)	0,65	1,42	0,74	1,34	0,86	1,34	1,34	1,19	1,09	0,00	0,81	0,19	0,53
(2004 GB2)	1,34	0,50	1,21	1,21	1,30	1,10	0,19	1,34	1,26	0,81	0,00	0,29	0,44
(2016 UP36)	1,32	1,41	1,39	1,35	1,28	1,40	1,00	1,03	1,11	0,19	0,29	0,00	1,35
(2016 FC14)	0,08	0,95	1,30	0,97	1,30	1,39	1,24	0,08	1,23	0,53	0,44	1,35	0,00

На основании данных из табл. 4.28 построен график значений критерия Ашера для астероидов, отождествленных для потока потока Андромедиды (рис. 4.13). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору.



Рис. 4.13. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Саутворта-Хоккинса D SH для потока Андромедиды (AND)

Анализируя данные таблиц 4.27 и 4.28, а также графиков на рисунке 4.12 и 4.13, можно заметить, что по критерию Ашера менее связаны с другими астероидами астероиды 2009 ST103 и 2021 EN4, так как имеют высокое значение критерия Ашера D _{AH} ≥ 0.2 между парой орбит астероид-астероид, по критерию Саутворта-Хоккинса между собой связаны астероиды:

2020 SR7 с 2021 FD и 2016 FC14; 2021 FD с 2021 EN4, 2020 SR7 и 2003 UQ25; 2021 EN4 с 2021 FD и 2004 GB2; 2003 UQ25 с 2021 FD и 2016 FC14; 2015 VY105 с 2016 UP36; 2004 GB2 с 2021 EN4; 2016 UP36 с 2015 VY105; 2016 FC14 с 2020 SR7 и 2003 UQ25.

Все остальные пары астероидов имеют в связи между собой высокое значение критерия Саутворта-Хоккинса D _{SH} ≥ 0.2.

ρ-Геминиды (RGE)

В таблице 4.29 приведены расчеты связи между собой для АСЗ, отождествленных для для потока р-Геминиды (RGE), с помощью синтетического метода, согласно критерию Ашера.

Таблица 4.29. Взаимные (между АСЗ группы Аполлоны) значения критерия Ашера D AH для потока р-Геминиды (RGE).

D AH	(2000 WK63)	(2006 WP127)	(2009 YG)	(2011 YA)	(2008 OO)	(2011 OX17)	(2016 PZ39)	(2019 AQ)	(2014 OU344)	(2017 NN6)	(2007 VW137)	(2019 AN12)	(2014 XJ3)	(2010 AG30)	(2008 BC15)	(MO 000)	(2003 AA83)	(2005 YX128)
(2000 WK63)	0	2,88	0,44	1,25	1,72	3,95	0,04	0,12	2,97	3,69	2,58	3,61	3,92	2,78	0,28	4,06	3,82	0,18
(2006 WP127)	2,88	0	3,82	0,68	0,37	0,75	2,54	2,39	3,23	2,25	0,04	0,23	1,72	3,34	3,67	1,4	0,46	2,07
(2009 YG)	0,44	3,82	0	2,55	2,99	3,81	0,69	0,85	1,65	2,66	3,64	4	3,13	1,47	0,02	3,47	3,96	1,08
(2011 YA)	1,25	0,68	2,55	0	0,06	2,32	0,92	0,76	4	3,64	0,45	1,49	3,28	4,01	2,28	2,97	1,93	0,55
(2008 OO)	1,72	0,37	2,99	0,06	0	1,84	1,36	1,17	3,89	3,32	0,19	1,05	2,87	3,94	2,74	2,51	1,46	0,92
(2011 OX17)	3,95	0,75	3,81	2,32	1,84	0	3,83	3,76	1,51	0,61	1	0,17	0,28	1,67	3,91	0,15	0,05	3,59
(2016 PZ39)	0,04	2,54	0,69	0,92	1,36	3,83	0	0,03	3,27	3,85	2,22	3,36	3,99	3,1	0,49	4,05	3,64	0,06
(2019 AQ)	0,12	2,39	0,85	0,76	1,17	3,76	0,03	0	3,4	3,93	2,03	3,22	4,01	3,28	0,64	3,98	3,55	0,03
(2014 OU344)	2,97	3,23	1,65	4	3,89	1,51	3,27	3,4	0	0,27	3,44	2,33	0,59	0,02	1,93	0,9	1,93	3,59
(2017 NN6)	3,69	2,25	2,66	3,64	3,32	0,61	3,85	3,93	0,27	0	2,55	1,31	0,07	0,35	2,91	0,26	0,93	3,98
(2007 VW137)	2,58	0,04	3,64	0,45	0,19	1	2,22	2,03	3,44	2,55	0	0,39	2,03	3,55	3,46	1,66	0,69	1,74
(2019 AN12)	3,61	0,23	4	1,49	1,05	0,17	3,36	3,22	2,33	1,31	0,39	0	0,84	2,49	3,99	0,56	0,06	2,96
(2014 XJ3)	3,92	1,72	3,13	3,28	2,87	0,28	3,99	4,01	0,59	0,07	2,03	0,84	0	0,71	3,35	0,07	0,53	3,99
(2010 AG30)	2,78	3,34	1,47	4,01	3,94	1,67	3,1	3,28	0,02	0,35	3,55	2,49	0,71	0	1,74	1,09	2,07	3,46
(2008 BC15)	0,28	3,67	0,02	2,28	2,74	3,91	0,49	0,64	1,93	2,91	3,46	3,99	3,35	1,74	0	3,66	4	0,84
(2000 OM)	4,06	1,4	3,47	2,97	2,51	0,15	4,05	3,98	0,9	0,26	1,66	0,56	0,07	1,09	3,66	0	0,35	3,93
(2003 AA83)	3,82	0,46	3,96	1,93	1,46	0,05	3,64	3,55	1,93	0,93	0,69	0,06	0,53	2,07	4	0,35	0	3,33
(2005 YX128)	0,18	2,07	1,08	0,55	0,92	3,59	0,06	0,03	3,59	3,98	1,74	2,96	3,99	3,46	0,84	3,93	3,33	0



Рис. 4.14 а. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Ашера D AH для потока *р*-Геминиды (RGE)



Рис. 4.14 b. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Ашера D АН для потока *р*-Геминиды (RGE)

На основании данных из табл. 4.29 построены графики значений критерия Ашера для астероидов, отождествленных для потока р-Геминиды (RGE) (рис. 4.14 а,b). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору.

Анализируя графики 4.14 а, b можно отметить, что связь между собой показывают АСЗ:

2000 WK63 - 2016 PZ39, 2000 WK63 - 2019 AQ, 2000 WK63 - 2005 YX128

2006 VW127 - 2006 VW137

2009 YG - 2008 BC15

2011 YA – 2008 OO

2011 OX17 - 2003 AA83, 2011 OX17 - 2000 OM, 2011 OX17 - 2019 AN12

2016 PZ39 - 2019 AQ, 2016 PZ39 - 2000 WK63, 2016 PZ39 - 2005 YX128

2019 AQ - 2016 PZ39, 2019 AQ - 2005 YX128

 $2014 \ OU344 - 2010 \ AG30$

Таблица 4.30. Взаимные (между АСЗ группы Аполлоны) значения критерия Саутворта-Хоккинса D SH для потока *р*-Геминиды (RGE).

D SH	(2000 WK63)	(2006 WP127)	(2009 YG)	(2011 YA)	(2008 00)	(2011 OX17)	(2016 PZ39)	(2019 AQ)	(2014 OU344)	(2017 NN6)	(2007 VW137)	(2019 AN12)	(2014 XJ3)	(2010 AG30)	(2008 BC15)	(2000 OM)	(2003 AA83)	(2005 YX128)
(2000 WK63)	0	5,46	1,22	4,05	5,36	4,42	2,54	3,14	4,16	4,46	3,62	3,83	2,78	1,54	3,18	2,62	5,98	2,79
(2006 WP127)	5,46	0	4,6	2,28	0,81	1,15	5,45	3,92	2,59	2,08	1,8	1,3	2,68	3,36	4,26	2,68	0,98	3,89
(2009 YG)	1,22	4,6	0	4,85	4,48	4,94	3,16	1,87	1,64	3,1	4,3	4,1	4,21	0,97	1,81	4,3	5,83	2,18
(2011 YA)	4,05	2,28	4,85	0	3,64	2,3	4,59	4,12	3,5	5,16	3,53	2,95	0,84	4,41	2,68	0,4	1,85	2,9
(2008 OO)	5,36	0,81	4,48	3,64	0	0,92	3,53	3,98	3	0,52	1,89	2,02	3,44	3,21	4,02	3,95	0,71	4,71
(2011 OX17)	4,42	1,15	4,94	2,3	0,92	0	4,36	5,83	4,59	1,86	2,75	2,81	1,25	2,61	3,86	2,25	0,93	5,77
(2016 PZ39)	2,54	5,45	3,16	4,59	3,53	4,36	0	2,28	3,83	2,69	3,06	3,9	4,53	4,23	3,17	4,15	3,65	2,87
(2019 AQ)	3,14	3,92	1,87	4,12	3,98	5,83	2,28	0	0,95	3,5	2,44	2,25	5,63	4,18	3,05	4,18	4,36	0,32
(2014 OU344)	4,16	2,59	1,64	3,5	3	4,59	3,83	0,95	0	2,68	3,65	3,01	4,77	3,06	1,64	4,27	3,48	1,3
(2017 NN6)	4,46	2,08	3,1	5,16	0,52	1,86	2,69	3,5	2,68	0	2,66	3,03	4,42	2,32	3,42	5,26	2,01	4,73
(2007 VW137)	3,62	1,8	4,3	3,53	1,89	2,75	3,06	2,44	3,65	2,66	0	0,17	3,95	4,24	5,98	2,77	2,34	2,53
(2019 AN12)	3,83	1,3	4,1	2,95	2,02	2,81	3,9	2,25	3,01	3,03	0,17	0	3,7	4,11	5,61	2,41	2,32	2,11
(2014 XJ3)	2,78	2,68	4,21	0,84	3,44	1,25	4,53	5,63	4,77	4,42	3,95	3,7	0	2,58	2,76	0,55	2,42	4,58
(2010 AG30)	1,54	3,36	0,97	4,41	3,21	2,61	4,23	4,18	3,06	2,32	4,24	4,11	2,58	0	2,37	3,66	4,7	4,38
(2008 BC15)	3,18	4,26	1,81	2,68	4,02	3,86	3,17	3,05	1,64	3,42	5,98	5,61	2,76	2,37	0	3,4	3,71	2,99
(2000 OM)	2,62	2,68	4,3	0,4	3,95	2,25	4,15	4,18	4,27	5,26	2,77	2,41	0,55	3,66	3,4	0	2,57	2,87
(2003 AA83)	5,98	0,98	5,83	1,85	0,71	0,93	3,65	4,36	3,48	2,01	2,34	2,32	2,42	4,7	3,71	2,57	0	4,41
(2005 YX128)	2,79	3,89	2,18	2,9	4,71	5,77	2,87	0,32	1,3	4,73	2,53	2,11	4,58	4,38	2,99	2,87	4,41	0



Рис. 4.15. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Саутворта-Хоккинса D_{SH} для потока ρ-Геминиды (RGE)

В таблице 4.30 приведены расчеты связи между собой для АСЗ, отождествленных для для потока р-Геминиды (RGE), с помощью синтетического метода, согласно критерию Ашера.

На основании данных из табл. 4.30 построены графики значений критерия Саутворта-Хоккинса D_{SH} для астероидов, отождествленных для потока ρ-Геминиды (RGE) (рис. 4.15). Красной линией показано пороговое значение критерия, согласно его автору.

Анализируя рис. 4.15 хочется отметить, что астероиды 2007 VW137 и 2019 AN12 показывают близость значений и по критерию Саутворта-Хоккинса, и по критерию Ашера, что, вероятно, означает их связь между собой, как осколков одного тела.

4.3 Исследование структуры избранных метеорных потоков на основе графического метода анализа данных

Согласно МАС отсутствует классификация метеорных потоков по активности и метеорные потоки не подразделяются на главные и малые. Согласно ММО если у метеорного потока зенитно-часовое число метеоров за один час ZHR≤10, если поток имеет близкие по значениям орбиты метеороидов, если радиант у потока выделен, то такой поток можно называть малым. Активность таких потоков сравнима со спорадическим фоном. Чтобы урегулировать список метеорных потоков, комиссия МАС № 22 проводит официальную процедуру подтверждения наблюдаемых метеорных потоков.

Метеороидные потоки состоят из небольших твердых частиц, высвобождаемых от активных комет и, возможно, ОЗО (околоземные объекты). Сублимация кометных ядер хорошо описана Уиплом [46,47], но все еще отсутствует удовлетворительная модель того, как астероид может производить и поддерживать поток метеороидов. Согласно модели Уипла твердые метеорные частицы выбрасываются из ядра с малой скоростью выброса v_i (см/с), которая зависит от физических свойств частицы (размера и плотности), размера РТ и его расстояния от Солнца [47]:

$$v_{j}^{2} = 4.3 \times 10^{5} \cdot R_{c} \ (\frac{1}{bpr^{2.25}} - 0.013 \cdot R_{c}),$$

где R_c – радиус ядра кометы (км), r – ее гелиоцентрическое расстояние от Солнца (а.е.), b – радиус метеороида (см), p – его плотность (г/см³). Таким образом, скорость выброса при прочих равных условиях будет выше для более крупных РТ. Так при выбросе из кометы радиусом 2 км на расстоянии 1 а.е. метеороидов, имеющих плотность 1 (г/см³), при радиусе 1 мм и 10 мм скорость выброса составит 86 км/с и 8 км/с. Для РТ радиусом 4 км скорости выброса будут равны соответственно 171 км/с и 17 км/с. Метеороиды могут быть выброшены как в направлении по движению РТ, так и противоположному, что обуславливает различия в периодах их обращения вокруг Солнца. Время замыкания роя Т оценивается как [7]:

$$T_{_{3AM}} = \frac{P_{_{\text{max}}}^2}{P_{_{\text{max}}} - P_{_{\text{min}}}},$$

где P_{max} и P_{min} – максимальные и минимальные периоды обращения метеороидов потока.

Орбитальная дисперсия после выброса метеороидов в рое мала, но она растет вследствие влияния гравитационных и негравитационных возмущений на динамическую эволюцию их орбит. Под влиянием гравитационных возмущений от планет рой утолщается, его участки приобретают сложную пространственную форму, образуя скопления частиц или струи (джеты). Это приводит к изменению условий встречи роя с Землей, а наблюдаемая активность потока принимает переменный, периодический или вспышечный характер [172,173]. Действие негравитационных эффектов приводит к медленному рассеиванию частиц в рое. Большие полуоси орбит метеороидов и их эксцентриситеты, под действием эффекта Пойнтинга-Робертсона и давления излучения, которое тоже может оказывать существенное влияние на частицы, уменьшаются и в рое наблюдается разделение частиц по массам: более мелкие частицы роя имеют меньшие по размеру и эксцентриситету орбиты. При приближении к Солнцу радиус частицы из-за испарения может уменьшиться до критического значения, при котором частица силами светового давления будет выбрасываться на периферию Солнечной системы и переходить на гиперболические орбиты [7]. Данные негравитационные эффекты увеличивают дисперсию орбит в рое и с возрастом, особенно если РТ не активно или уже угасло, наблюдаемая активность потока уменьшается и поток регистрируется как малый поток.

По данным МАС метеорный поток δ-Канкриды (код DCA) относится к подтвержденным малым метеорным потокам и является частью комплекса, имеющего две ветви: Северные δ-Канкриды (NCC) и Южные δ-Канкриды (SCC). δ-Канкриды наблюдаются в период с 1 января по 31 января. У потока отсутствует РТ. По потоку δ-Канкриды опубликовано мало работ, так как его мало изучают.

Целью исследования метеорного комплекса δ-Канкрид является установление его возможных родственных связей с околоземными астероидами (O3O). Исследование δ-Канкрид включает следующие составляющие:

- поиск близких орбит околоземных астероидов на основе применения синтетического метода отождествления МНТ;
- изучение активности потока и ее эволюционно динамических особенностей;
- определение радиантов и анализ распределений орбитальных элементов метеороидов потока, оценка возраста потока;

Большая статистика наблюдений потоковых и спорадических метеоров обеспечивается базой ММО, в которой собрана большая статистика визуальных наблюдений метеоров, данные о звездных величинах, а также информация по их численности. С помощью базы ММО можно проводить изучение структуры потоков, как главных, так и малых. А именно, построение профиля ZHR активности вдоль орбиты Земли, профиля S распределения по массам, функции г светимости.

Стоит отметить, что даже при таком объеме наблюдений визуальной базы данных MMO (Visual Meteor Database) [82] далеко не все малые метеорные

потоки обеспечены наблюдениями. Наблюдения общего комплекса δ-Канкрид (DCA) без разделения на ветви NCC SCC были найдены в базе данных MMO только за период 1987-2006 гг. Наблюдения потока δ-Канкрид в годы 2007-2017 г. отсутствуют [82]. При изучении структуры δ-Канкрид всего было обработано около 5000 интервалов наблюдений численности метеоров и их распределений по звездным величинам за 17 лет [185].

Малые потоки, в отличие от главных потоков, также недостаточно обеспечены и более точными фотографическими наблюдениями метеоров. К тому же недостоверность их дат активности, координат радиантов, значений геоцентрических скоростей затрудняет использование каталогов, в которых орбиты не идентифицированы по конкретному потоку. В достаточном количестве орбиты ветвей NCC, SCC комплекса δ-Канкрид представлены только в двух телевизионных каталогов: Японской метеорной сети SonatoCo [88] и Хорватской метеорной сети CMN [90]. Каталоги являются открытыми для свободного доступа и в них орбиты метеороидов уже идентифицированы по потокам. Подробное описание методики телевизионных наблюдений и определения орбит метеороидов Японской метеорной сети SonatoCo дано в [88].

Таолица 4.51. Сведения о вствях комплекса о-канкрид	Таблица 4.31.	Сведения о ве	твях комплекса	δ-Канкрид.
---	---------------	---------------	----------------	------------

Наименование пото	ока	Дата	V _G (км/с)	RA°	DE°	Количество орбит
δ-Канкриды (DCA)	NCC	1 января -	27 км/с	127.6	21.5	$111^{1}, 7^{2}$
	SCC	31 января		125.0	14.4	$59^{1}, 1^{2}$

¹ – телевизионный каталог Японской метеорной сети SonatoCo;

² – телевизионный каталог сети Хорватского метеорного общества, «СМN».

Точность измерений составляет: направления – 0.03°, времени регистрации события – 0.3 с, скорости метеороидов главных потоков - ±20%, малых потоков - ±30%, предельная регистрируемая абсолютная величина метеоров +2^m. Подробное описание методики телевизионных наблюдений и определения орбит Хорватской метеорной сети СМN дано в работе [90]. Ошибка определения

геоцентрических скоростей малых потоков составляют порядка 1 км/с, предельная регистрируемая абсолютная величина метеоров +3.5^m.

В таблице 4.31 приведены даты действия ветвей NCC, SCC, DCA, их средние геоцентрические скорости V_G (км/с) [11], координаты радианта (прямое восхождение RA, склонение DE на эпоху J2000.0) [174] и статистика орбит ветвей δ -Канкрид по каждому каталогу орбит.

При изучении малых метеорных потоков большой проблемой является именно невысокая статистика их наблюдений. Поэтому выбор комплекса δ-Канкрид был обусловлен наличием как наблюдений метеоров по звездной величине и численности с целью определения структуры потока, так и достаточным количеством их орбит, опубликованных в каталогах открытого доступа, что также необходимо для проведения поиска их вероятных РТ.

Определение активности потока б-Канкрид.

Под структурой метеорного потока принято понимать распределение метеорных тел по массам в его продольном и поперечном сечении и пространственную плотность. Данные о распределении метеорных тел по массам получают на основе определения функции светимости зарегистрированных метеоров, а его пространственную плотность находят по наблюдениям численности метеоров, которую фиксируют как зенитное часовое число (ZHR) - число метеоров ярче некоторой звездной величины, зарегистрированное за 1 час в зените.

При исследовании структуры δ-Канкрид по визуальным наблюдениям была использована методика, подробно описанная в [33,155,174]. Профиль ZHR характеризует изменение численности метеоров определенного потока вокруг Земли. Профиль ZHR строят в зависимости от L – долготы Солнца, даты наблюдения метеора по времени UT. Рассматривается также Q плотность потока, как величина пропорциональная ZHR:

$$Q = \frac{N \cdot T}{\Sigma},$$

где N – число метеороидов, через Σ – единичная нормальная площадка, которая задается с учетом таких факторов, как чувствительность глаза, яркость метеора, условия наблюдения, T – время.

Пространственная плотность метеороидов – число метеорных частиц к единице объема потока равна:

$$D=\frac{Q}{v_{\infty}},$$

где v_{∞} - внеатмосферная скорость метеороида

$$v_{\infty} = \sqrt{v_{h}^{2} + 11.2^{2}},$$

v_h - геоцентрическая скорость метеороида (км/с).

При исследовании структуры потока важно знать распределение метеороидов по массам в потоке:

$$dN = \frac{dM}{M^s},$$

где dM – масса метеороидов, а dN – их количество.

Зависимость количества метеоров от звездной величины т получена эксперементально:

$$dN = r^m dm.$$

Функция светимости г характеризует отношение вариации численности метеоров при условии изменения яркости метеоров на 1^m.

Связь распределения метеоров по массам в потоке S и функцию светимости r – распределение метеорных тел по звездной величине в потоке:

$$r = 10^{\frac{0.4(S-1)}{b}},\tag{21}$$

$$S = 1 + 2.5b \lg(r),$$
 (22)

где b – некоторый коэффициент [175], 0.7≤ b ≥1, в нашей работе мы приняли b=1.

Функция светимости г строится как распределение метеоров по звездной величине т интегрально. Величина S распределения метеоров в потоке по массе находится по индивидуальным или усредненным S в зависимости от эклептической долготы Солнца L

Профиль ZHR стоится для метеоров +3^m и ярче:

$$ZHR = \frac{N}{T}k\cos^{\frac{-S}{b}+c}Z, \ npu\ Z_{n} < 90^{\circ}$$
(23)

$$ZHR = \frac{N}{T} k \cos^{-\frac{S}{b}+c} Ze^{0,4F}, \ Z_{\pi} \ge 90^{\circ}$$
 (24)

где N - наблюдаемая общая численность метеоров за время T; k – коэффициент определяемый через интегральное распределение S, определяющий поправку наблюдаемого числа метеоров к числу метеоров +3^m и ярче, Z – зенитное расстояние, F – фаза Луны, S – профиль распределения метеороидов по массам в потоке, b=1.

В ММО определяют ZHR только для метеоров +6^m и ярче [34,176]. Было показано, что при приведении наблюдаемого числа метеоров к числу метеоров +3^m и ярче повышается точность ZHR [177].



Рис. 4.16. Профиль функции светимости r (а) и распределение по массам S (b) потока δ-Канкрид

Как уже было описано выше, было обработано около 5000 интервалов наблюдений по звездной величине и численности метеоров δ-Канкрид [164]. По

некоторым годам отсутствуют наблюдательные данные, исходя из этого для нескольких лет профили r и S построены не были. δ-Канкриды наблюдаются с 1 января по 31 января, что соответствует интервалу L эклиптической долготы Солнца 278° – 310°, по каждому году наблюдений. Значения ZHR, параметров r и S определялись по индивидуальным интервалам наблюдений численности и звездных величин каждого наблюдателя, затем усреднялись по долготам Солнца с интервалом от 0.5 до 1 градуса.

Максимальное значение численности ZHR и связанное с ним максимальное значение эклептической долготы Солнца L определются методом наименьших квадратов в логарифмическом масштабе как пересечение ветвей потока – восходящей и нисходящей. Учитываются СКО ZHR по распределению закона Пуассона [33]:

$$\sigma_{ZHR} = \frac{ZHR}{\sqrt{N}}$$

Рис. 4.16 представляет для δ-Канкрид изменение параметра функции светимости г метеоров +3^m и ярче как функции долготы Солнца L, график (а) и изменение параметра S распределения по массам от долготы Солнца L, график (b). Цветными кружками показаны индивидуальные значения r и S, линией с треугольниками – усредненные по интервалам долготы Солнца L значения r и S по визуальным наблюдениям 1987-2006 гг., ошибки находятся в пределах ±0.5.

Как уже было сказано ранее, под функцией светимости г мы понимаем отношение изменения численности метеоров, если изменения яркости метеоров происходят на 1^m вдоль орбиты Земли, величина S, в свою очередь, показывает распределение метеоров по массе в потоке. На график нанесены отдельные значения по годам и усредненные за все годы по интервалам долготы Солнца L.

Как видим, присутствуют явные минимумы на долготах Солнца L \approx 284.9°, L \approx 291.0° и L \approx 295.1°, а также интервальный минимум 296.0° \leq L \geq 299.0°. Мимимумы профиля г и распределния по массам в потоке S совпадают и отмечают те участки, в которых сосредоточены частицы метеороидов крупной массы [164].

δ-Канкриды являются мало изученным потоком, поэтому не удалось найти каких-либо исследований функции светимости г и параметра S распределения метеороидов по массам в потоке. Значение г для метеорных потоков задают в интервале 2 – 3 [8]. Значения г, полученные нами (рис. 4.16), несколько ниже, чем принято в ММО.



Рис. 4.17. Функция светимости ветвей) δ-Канкрид: северной NCC, построенная интегрально (черные круговые метки) и южной SCC (черные треугольники) по телевизионным наблюдениям для каталога SonatoCo

Для каталога метеорных орбит SonatoCo значения абсолютной звездной величины метеоров составляют +3^m и ярче, что частично покрывает диапазон, наблюдаемых визуальных методом звездных величин +6^m и ярче. На рис. 4.17 по данным SonatoCo представлена интегральная функция светимости N(m) в логарифмическом масштабе как функция m. Где N – количество метеоров для звездных величин m для диапазона звездных величин от 3^m и ярче.

Функция светимости г для двух ветвей (тангенс угла наклона прямой к горизонтальной оси) дает хорошее согласие между собой и равна 1.98±0.14, что не противоречит значениям, полученным по визуальным наблюдениям.



Рис. 4.18. Распределение метеоров δ-Канкриды по звездной величине как функция долготы Солнца

В метеорном каталоге орбит SonatoCo для метеоров приведены абсолютные звездные величины +2^m и ярче, что покрывает диапазон звездных величин, наблюдаемых визуальных методам +6^m и ярче. Для ветвей NCC, SCC на рисунке 4.18 показана зависимость звездной величины m метеоров как функция долготы Coлнца L. На верхнем рисунке черные треугольники - индивидуальные значения m метеоров SCC; белые треугольники - усредненные значения m и их дисперсия SCC. На нижнем рисунке черные кружки – индивидуальные значения m метеоров NCC; белые кружки – усредненные значения MCC [164].

Анализируя рис. 4.18, видим, ветви наблюдаются в одни и те же даты, но распределение метеоров по яркости различно (минимумы и максимуму не совпадают), хотя это может быть связано с неодинаковой обеспеченностью наблюдениями ветвей. Для ветви SCC большее ярких метеоров наблюдается на долготе Солнца 300°-302°. Для ветви NCC картина более неоднородная: можно выделить участки на долготе Солнца 290.5°, 295.2°, 299.4° и 304.4°. Эти значения совпадают с долготами Солнца, которые соответствуют минимумам функции светимости г (рисунок 4.16), полученный по визуальным наблюдениям.

Изменение ZHR δ-Канкрид метеоров +3^m и ярче как функция долготы Солнца L в логарифмическом масштабе (график а), изменение параметра г (график b) и S (график с) представлено на рисунке 4.19. Где круглые темнозеленые метки – значения ZHR, оранжевые треугольники с линией – индивидуальные значения ZHR с усреднением по долготе Солнца L (график а); светлозеленые круглые метки - индивидуальные значения светимости г, синие треугольники с линией – усредненные по интервалам долготы Солнца L значения г (график b), розовые круговые метки – инливидуальные значения S, черные треугольники с линией - усредненные по интервалам долготы Солнца L значения S (график с), ошибки находятся в пределах ±0.5. [164].

Профиль активности характеризует изменение численности метеоров вдоль орбиты Земли. Согласно рис. 4.19 максимальное значение ZHR фиксируется на долготе Солнца L=298.5°. Таким образом, максимальная активность потока наблюдается 18 января с числом метеоров в час порядка девяти. При этом максимум активности хорошо в пределах 1° совпадает по времени с основным минимум параметра г (рис. 4.16).

По данным визуальных наблюдений ММО [82] согласно календарю метеорных потоков за 2006 г. максимальная активность потока была зарегистрирована на долготе Солнца 297° (данные за последующие годы отсутствуют). По телевизионным наблюдениям за 1999-2009 гг. приводится значение долготы Солнца, равное 298° [11].

Уширенный профиль активности и неявные пики характеризуются тем, что происходит рассеяние метеороидов, изначально выброшенных из РТ вблизи перигелия и имеющих очень близкие значения долгот узлов, что характерно для метеорных роев кометного происхождения [164].

Для б-Канкрид на основе профиля активности ZHR(+3^m) (рис. 4.19) и рассчитанных масс (табл. 4.32) были смоделированы ZHR(M) (7), показано на рис. 4.20 [164].



Рис. 4.19. Изменение ZHR δ-Канкрид метеоров +3^m и ярче как функция долготы Солнца L в логарифмическом масштабе (а), изменение параметра r (b) и S (c)

Особенностью профилей ZHR(М) является смещение положения максимума активности для мелких частиц с М<10⁻² г в сторону ранних дат на 2°-3° интервала

долготы Солнца. Для более крупных частиц с M>10⁻² г максимум активности наблюдается на интервале L 297^m-300°. При моделировании профилей ZHR(M) степень достоверности зависит от обеспеченности наблюдениями рассматриваемого диапазона масс. Поэтому при построении моделей для более меньших масс метеороидов степень их достоверности будет падать в зависимости от накопленных ошибок.

Изначально зададим величину собирающей площадки Σ , в пределах которой визуально регистрируются метеоры, равной 10⁴ км согласно [7], и определим Q(M), D(M), Δ (M). Расчеты выполним для значений r=1.98 и S=1.74, полученным по визуальными и телевизионными наблюдениям (рис. 4.16 и 4.17). Внеатмосферная скорость равна $v_{\infty} = \sqrt{v_{g}^{2} + 11, 2^{2}} = 29.2$ км/с.

Геоцентрическая скорость V_g =27 км/с.

В работе [7] приведены структурные характеристики главных потоков, полученные по визуальным наблюдениям для минимально регистрируемой массы $M_0 = 0.001$ г. Для сравнения приведем значения только наиболее и наименее интенсивных потоков с разными параметрами S, например, для Геминиды D=132·10⁻⁹ км⁻³ и Δ =200 км (при S=2.3), для Лирид D=8·10⁻⁹ км⁻³ и Δ =500 км (при S=1.6), для Орионид D=10⁻⁹ км⁻³ и Δ =1000 км (при S=2.5). Таким образом, для метеорного комплекса δ-Канкрид в пространстве примерно тысячи километров находится только 1 частица массой больше одного грамма. Если рассчитать значения для периода максимальной активности (при S=1.45), это значение уменьшается до 800 км. Эти параметры немного меньше, чем для Лирид, но сравнимы с Орионидами.

Если метеорный поток молодой, то максимум ZHR совпадает, или почти совпадает с узлом Ω PT. Если поток более старый, то положение максимума ZHR смещается относительно положения узла Ω PT за счет влияния гравитационной составляющей от планет. А также положения ZHR для разных масс метеороидов в потоке может смещаться за счет действия негравитационных эффектов, таких как, например, солнечное давление и эффект П-Р. Таким образом, учитывая

расположение максимума активности ZHR потока и вид наклонов ветвей профиля, можно анализировать эволюционные особенности потока и прогнозировать его возраст.



Рис. 4.20. Смоделированые ZHR(М) для разных рассчитанных масс, для δ-Канкрид (профили нормированы к ZHR_{max}(+3^m))

Таблица 4.32. Массы метеороидов наблюдаемого диапазона звездных величин б-Канкрид.

m	-6 ^m	-3 ^m	-1 ^m	0 ^m	+1 ^m	+2 ^m	+3 ^m	+6 ^m
М (г)	152.0	16.0	1.5	0.6	0.24	0.10	0.04	0.002
Q(M)·10 ⁻⁷ (км ⁻² ·с ⁻¹)	0.01	0.03	0.2	0.3	0.7	1.3	2.5	23
$D(M) \cdot 10^{-9} (км^{-3})$	0.04	0.1	0.7	1.1	2	5	10	81
Δ (км)	3000	2000	1130	1000	800	600	500	231

В случае изучения структуры потока с неизвестным РТ решается обратная задача и по моменту максимальной активности потока и положению участка роя, где наблюдается концентрация крупных частиц, можно определить узел орбиты вероятного РТ для потока. Для δ -Канкрид наблюдается широкий максимум, нисходящая и восходящая ветви потока пологие, ширина потока 3.8° в половине максимума ZHR (по долготе Солнца 297° - 300.8°), это указывает на уже достаточно большой возраст потока. Положение максимальной активности совпадает с основным протяженным минимумом функции светимости (рисунок 4.19), то есть в период максимума активности потока Земля пересекает участок более крупных частиц. Согласно построенным зависимостям на рис. 4.16 и 4.19, можно предположить, что вероятное РТ для δ -Канкрид было с долготой узла орбиты $\Omega=298.5^\circ$.

Проанализируем табл. 4.1 и 4.2 и рис. 4.16 - 4.19 на соответствие структуры потока б-Канкриды и узловых параметров для астероидов, отождествленных для потока с помощью синтетического метода. Как уже говорилось, профили активности потока ZHR, параметр распределения по массам в потоке S и функция светимости r совпадают с долготой узла РТ в случае его правильного определения. Согласно [33], у молодых потоков кометного происхождения, например, Драконид, ZHR_{max} полностью совпадает с долготой узла Ω родительской кометы. Если поток более старый и уже рассеялся под действием как гравитационных воздействий от планет, так и из-за негравитационных эффектов, то максимум по активности ZHR не полностью совпадает с узлом РТ, как, например, у таких потоков, как Лириды и Персеиды. У Геминид под действием гравитационных И негравитационных возмущений смешено максимальное положение ZHR для частиц различной массы [33,164].

На построенный для δ-Канкрид по визуальным наблюдениям профиль ZHR по активности, на профиль величины S и профиль функции светимости r для метеоров +3^m и ярче как функций долготы Солнца L (рис. 4.19), нанесены линии, фиксирующие долготу узла орбиты астероида 2001YB5, 356394 (2010 QD2), 2010 XC11, 2014 YQ34, 2017 BT93, 2002 RT, 2015 PU228, 2006 BF56 (рис. 4.21). Где

круглые темно-зеленые метки – значения ZHR, оранжевые треугольники с линией – индивидуальные значения ZHR с усреднением по долготе Солнца L (график а); светлозеленые круглые метки - индивидуальные значения светимости r, синие треугольники с линией – усредненные по интервалам долготы Солнца L значения r (график b), розовые круговые метки – инливидуальные значения S, черные треугольники с линией - усредненные по интервалам долготы Солнца L значения S (график с), ошибки находятся в пределах ±0.5.



Рис. 4.21. Изменение ZHR δ-Канкрид метеоров +3^m и ярче как функция долготы Солнца L в логарифмическом масштабе (а), изменение параметра r (b) и S (c) с нанесенными узлами орбиты Ω астероидов

Только долготы узлов орбит этих астероидов (с учетом +180°) из всех приведенных в таблице 4.1, попадают в интервал долгот Солнца в период наблюдения потока. Долготы узлов орбит астероидов 2001YB5, 356394 (2010 QD2), 2010 XC11, 2014 YQ34, 2017 BT93, 2002 RT, 2015 PU228, 2006 BF56 также отмечены на графике зависимости звездной величины т метеоров как функции долготы Солнца L (рис. 4.22), полученном по телевизионным наблюдениям для ветвей NCC, SCC (рис. 4.17).

На верхнем рисунке 4.22 черные треугольники - индивидуальные значения т метеоров SCC; белые треугольники - усредненные значения т и их дисперсия SCC. На нижнем рисунке черные кружки – индивидуальные значения т метеоров NCC; белые кружки – усредненные значения т и их дисперсия NCC; штрихпунктирные линия фиксируют долготы узлов орбит астероидов 2001YB5, 356394 (2010 QD2), 2017 BT93, 2002 RT, 2015 PU228, 2006 BF56; сплошная линия фиксирует момент максимума активности потока [164].

Также в пределах 2° положения узлов орбит 2001YB5, 356394 (2010 QD2), 2010 XC11, 2014 YQ34, 2017 BT93, 2002 RT, 2015 PU228, 2006 BF56 совпадают с минимумами параметра S и r на долготе Солнца 290.5° и в интервале 296.3° -298.7° (рис. 4.21), то есть на участках потока с большей концентрацией крупных частиц. Это подтверждают и данные рисунка 4.21. Однако, на участке, где наблюдаются более яркие метеоры и, возможно, в прошлом произошло разрушение объекта, с долготой Солнца 289.6° и 300° - 302° положение узлов орбит астероидов 2001YB5, 356394 (2010 QD2), 2010 XC11, 2014 YQ34, 2017 BT93, 2002 RT, 2015 PU228, 2006 BF56 хорошо совпадают как для южной ветви SCC, так и для северной NCC [164].

Ранее нами, используя визуальные наблюдения ММО за 1987-2006 гг., было получено, что метеоры со значением звездной величины $+3^{m}$ и более яркие дают зенитное часовое число (ZHR), которое усреднено для всех лет наблюдений ZHR_{max} = 8.6±1.8 и будет наблюдаться на долготе Солнца L= 298.50±1.2°. Для метеоров слабее $+3^{m}$ момент максимума активности наступает на 1.4° позднее.

Впервые выполненные расчеты пространственной плотности δ-Канкрид для различных масс метеороидов потока, показывают, что частица имеющая массу М≈1г., располагается в кубе ребром а≈1000 км [33]. Мы представляем результаты изучения структуры радиантов ветвей комплекса δ-Канкрид, анализ распределений орбитальных элементов метеороидов потока и особенности их динамики под влиянием гравитационных и негравитационных возмущений.

Координаты радианта северной NCC и южной SCC ветвей комплекса, полученные радиолокационным, фотографическим и телевизионным методами наблюдений, собраны и приведены в [7]. Радиолокационные наблюдения выполнены во второй половине прошлого века, вклад фотографических наблюдений очень мал, данные телевизионных наблюдений дают координаты радианта только для комплекса DCA без разделения на ветви (табл. 4.33).



Рис. 4.22 Распределение метеоров δ-Канкриды по звездной величине как функция долготы Солнца.

В таблице 4.33 указаны координаты радианта прямое восхождение RA и склонение DE, их дрейфы dRA и dDE, геоцентрическая скорость V_g , большая полуось а, перигелийное расстояние q, долгота восходящего узла Ω , наклон плоскости орбиты i (угловые элементы даны на эпоху 2000.0), метод наблюдения (R-радиолокационный, P-фотографический, TV-телевизионный, T-обобщенный), число орбит, год или публикация первоисточника.

Изучая радианты и распределения орбитальных элементов для δ -Канкрид были мы использовали телевизионные каталоги орбит метеороидов, с отождествлеными метеороидными орбитами – это каталоги SonatoCo с 112 и 60 орбитами метеоров [88]; и каталог CAMS v.2.0 включает 76 орбит NCC и 71 орбит SCC [89]. В каталоге SonatoCo приводятся абсолютные звездные величины, точность измерений на направление составляет 0.029°, на время регистрации – 0.2 с, на скорость метеороидов главных потоков ±21%, для малых потоков ±31%, но ошибки скоростей для индивидуальных метеороидов для их элементов орбит, а также для радиантов не указаны. В каталоге CAMS орбитальные параметры приводятся с ошибками, которые учитываются при наших вычислениях.

Ветвь	${f RA}^0$	\mathbf{DE}^0	dRA ⁰	dDE^{0}	V _g (KM/C)	a (a.e.)	.q (a.e.)	Ω^0	j ⁰	Метод, число орбит, год
NCC	130.7	19.7	-	-	26.4	1.83	0.397	297.1	1.5	R, 63, 1976
NCC	124.8	20.8	-	-	25.8	1.91	0.425	292.9	1.2	R, 66, 1973
NCC	134.2	14.1	+1.1		26.7	1.61	0.37	120.2	4.9	R, 31, 1964
NCC	126.6	19.5	+0.9	-0.2	26.2	2.27	0.448	297.1	0.3	P, 11, 1971
NCC	121.2	19.5			27.7	2.38	0.567	296.1	6.3	P, 30, 1963
SCC	118.2	7.7	-	-	24.0	3.03	0.58	120.6	9.9	R, 178, 1964
SCC	134.1	10.1	-	-	25.2	2.11	0.475	126.9	6.3	P, -, 1989
DCA	131.4	17.6	+0.4	-0.2	29.9	-	-	-	-	*TV, 900, 2012
NCC	127.6	21.5	+1.04	-0.2	27.2	2.23	0.410	290.0	2.7	T [7]
SCC	125	14.4	+1.0	-0.23	27.0	2.26	0.430	109.3	4.7	T [7]

Таблица 4.33. Радианты и орбиты NCC, SCC δ-Канкрид (Jenniskens, 2006; табл. 7).

Абсолютные звездные величины метеоров в каталоге CAMS не приводятся, поэтому они были вычислены по следующим формулам [7]:

расстояние до метеора:

$$r = H' \cos(ZR)$$
,

абсолютная звездная величина метеора:

$$m_{abs} = m' + 10 - 5 \lg r$$

где m' - видимая звездная величина метеора, H' - высота над горизонтом, ZR – расстояние в зените. В формулах все величины приведены в каталоге CAMS для метеоров b при максимуме блеска.



Рис. 4.23. Геоцентрические радианты для ветвей δ-Канкрид для каталогов CAMS
 – рисунок слева, SonatoCo – рисунок справа.
 NCC (черный кружок), SCC (белый кружок)

Комплекс δ-Канкрид, а также и его ветви NCC и SCC, наблюдаются в одни и те же даты 1-31 января, геоцентрические скорости Vg их метеороидов хорошо согласуются между собой (табл. 4.31). Наличие ветвей обусловлено прохождением Земли через метеороидный рой, орбиты метеороидов которого за счет гравитационных возмущений от планет имеют значения аргументов перигелия, отличающиеся примерно на 180° [11]. При этом по значению склонения радианта выделяют северную ветвь потока NCC с более северным по значениям радиантом и южную ветвь потока SCC с более южным радиантом.

Изменение геоцентрических прямых восхождений RA и склонений DE ветвей NCC и SCC в зависимости от долготы Солнца L (даты наблюдения) показано на рисунке 4.23.

Анализируя рисунок 4.23, можно отметить, что геоцентрические радианты для NCC и SCC δ-Канкрид имеют четкую локализацию по склонению DE. Индивидуальные ошибки координат радиантов приведены только в каталоге CAMS.

Суточное смещение радиантов dRA, dDE для каждой ветви определялось по индивидуальным координатам RA, DE, согласно формулам:

$$RA_{i}^{*} = RA_{i} - (L_{i} - L_{0}) \cdot dRA$$
$$DE_{i}^{*} = DE_{i} - (L_{i} - L_{0}) \cdot dDE$$

где RAi, DEi - это индивидуальные координаты радиантов. Значения dRA, dDE найдены методом корреляционного анализа по линейным зависимостям RA(L), DE(L), нанесенным прямыми линиями на рисунок 4.24.

поток	Каталог	V _g , км/с	RA°	DE°	dRA°	dDE°	Средние
	орбит						радианты
NCC	CAMS	27.4±1.9	130.4±3.4	21.7±1.6	1.05	-0.12	130.2°±3.2°
	SonatoCo	27.1±3.4	130.0±3.1	19.8±2.8	0.22	-0.00	20.8°±2.1°
SCC	CAMS	26.9±1.8	128.4±2.4	13.9±1.7	1.11	-0.21	128.3°±4.1°
	SonatoCo	28.0±3.1	128.2±6.0	13.3±2.0	0.11	-0.06	13.6°±1.9°

Таблица 4.34. Радианты для б-Канкрид.

В таблице 4.34 для каждого из каталогов приведены геоцентрические радианты для ветвей δ-Канкрид, средние значения геоцентрических скоростей Vg,

а также значения их суточного смещения. Значения координат радиантов хорошо согласуются между каталогами, а положения радиантов ветвей с учетом ошибок значительно отличаются только по склонению.



 Рис. 4.24. Зависимость для геоцентрических координатов радиантов ветвей δ-Канкрид, NCC (черный кружок), SCC (белый кружок), от долготы Солнца L для разных каталогов, слева каталог CAMS, справа – SonatoCo

Сравнение полученных нами координат радиантов с указанием их средних квадратических ошибок (таблица 4.34) с данными других авторов, из таблицы 4.33, показано на рисунке 4.25. Анализируя рисунок 4.23, можно сказать, что

ветви δ-Канкрид различаются по склонению радиантов. В пределах ошибок совпадают как усредненные значения геоцентрических скоростей V_g,, так и суточные смещения и прямые восхождения радиантов.

Сравнивая координаты радиантов потока, отметим также, что разброс радиантов ветвей значителен для фотографического и радиолокационного методов наблюдений (рис. 4.25), регистрирующих различные диапазоны звездных величин метеоров [161,162,164].



Рис. 4.25. Геоцентрические координаты радиантов для δ-Канкрид: астероиднокометного комплекса DCA (звездочка)
и ветвей NCC (черный кружок), SCC (белый кружок).
Методы наблюдения: Р – фотографический,
R – радиолокационный, TV – телевизионный



Рис. 4.26. Зависимость радиантов от звездной величины для ветвей δ-Канкрид
 NCC (черный кружок), SCC (белый кружок).
 Для каталогов CAMS(слева) и SonatoCo(справа)

Для NCC северной и SCC южной ветвей выполнен также анализ координат радиантов, исправленных за суточное смещение, от абсолютной звездной величины метеоров (m_{abs}) по каталогам CAMS и SonatoCo (рис. 4.26). Коэффициенты корреляции линейных зависимостей прямых восхождений (RA) и склонений (DE) от звездной величины метеоров не превышают значения 0.1 (рис. 4.26, сплошная NCC и пунктирная SCC линии), кроме того, данные разных каталогов демонстрируют разнонаправленные по знаку зависимости RA и (DE) от звездной величины.

Таким образом, по телевизионным наблюдениям CAMS и SonatoCo разделение радиантов δ-Канкрид в зависимости от массы метеороидов не выявляется [33,161,162,164].

распределений Анализ элементов орбит δ-Канкрид. Изучение распределений элементов орбит метеороидов в зависимости от их массы дает важную информацию об эволюции метеорного потока. Метеороид под действием радиационного излучения движется по спирали к Солнцу, причем одним из факторов скорости движения является размер частицы (эффект важных Пойнтинга-Робертсона). По визуальным наблюдениям б-Канкрид нами было выявлено смещение максимума активности потока по долготе Солнца в зависимости от массы частиц [33], что может быть следствием действия эффекта Пойнтинга-Робертсона (П-Р) и радиационных сил на метеороиды вследствие их длительной эволюции.

На рис. 4.27 для каталогов САМЅ и SonatoCo δ -Канкрид построены значения $a(m_{abs})$ и $e(m_{abs})$. По графику видно, что значения m_{abs} увеличиваются, тогда как значения а и е уменьшаются. Более детально изучим изменения элементов орбит NCC по данным каталога CAMS, в котором приводятся индивидуальные ошибки параметров. На основе линейной аппроксимации в диапазоне звездных величин от -2^m до $+3^m$ для NCC изменения составляют: $\Delta a=0.192$ (a.e.), эксцентриситетов $\Delta e=0.023$ (рис. 4.27) [33,161,162,164].

Период обращения метеороидов комплекса δ-Канкрид около 4 лет. Это значит, что метеорный рой относится к группе Юпитера, испытывает гравитационные возмущения планеты и может попадать в зоны его резонансных движений (рисунок 4.28).

Для ветви SCC в зоне сильных резонансов 1:1 и 2:1 метеороиды с резонансными орбитами не регистрируются, для ветви NCC не наблюдаются только в резонансе 1:1. Влияние резонансов на структуру роев может приводить к тому, что метеороиды, попав в резонанс, сохраняют свою орбиту. Следовательно,
если частица, эволюционируя, медленно движется по спирали к Солнцу под действием радиационных сил, то попав в резонанс планеты, она не может его разрушить, и остается на этой орбите. С этой точки зрения, стоит обратить внимание на график зависимости a(m) обеих ветвей NCC, SCC (рисунок 4.27, верхние графики). В области слабых звездных величин $+2^m$ и $+3^m$ для обеих ветвей значения больших полуосей совпадают по размеру с резонансными орбитами в области 3:1. Возможно, по этой причине большие полуоси орбит метеороидов не уменьшаются, хотя на основе интерполяции теоретически значения больших полуосей в этой области звездных величин должны быть меньше [161,162,164].



Рис. 4.27. а (а.е) и е для δ-Канкрид в зависимости от m. CAMS – слева, SonatoCo – справа



Рис. 4.28. Зоны резонансных влияний Юпитера на орбиты NCC (темно серая диаграмма), SCC (светло серая диаграмма)



Рис. 4.29. a (a.e) и е для б-Канкрид в зависимости от m.

Каталог CAMS

Оценить возраст потока на основе эффекта П-Р и радиационных сил, действующих на поток, можно за счет коррелиции орбит по графику (рис. 4.29).

Вычисления возможного времени жизни метеороидов и значений возраста потока выполнены на основе формул, приведенных в работе [31, (ф. 8-20)]. У б-Канкрид нет РТ и элементы орбит первоначальной орбиты приняты из [7] табл. 4.33.



Рис. 4.30. Изменение большой полуоси δ-Канкрид под действием эффекта П-Р и радиационных сил (сплошные линии – масса М=3.8 г, пунктирные линии - масса М=0.04 г)

Время жизни метеороида до его полного выпадения на Солнце вследствие эффекта П-Р и радиационных сил, рассчитано для метеороида с плотностью: 1.8 г/см³ (углеродные объекты С-группы), 2.4 г/см³ (кремниевые объекты *S*-группа), 5.0 г/см³ (железные объекты *X*-группа) по классификации химсостава состава

астероидов [11] и для двух значений масс M=3.8 г и M=0.04 г, соответствующих метеорам -2^{m} и $+3^{m}$, вычисленных по фотометрической шкале масс, предложенной В.С. Тохтасьевым [179]. Так как большие полуоси орбит для ветвей практически равны (табл. 4.25), то для NCC и SCC время жизни наблюдаемого диапазона масс метеороидов углеродно-кремневого состава составляет порядка 5.5 $\cdot 10^{5}$ лет (рис. 4.30).

Оценка возраста выполнена для северной ветви NCC, так как для нее более надежно определяется корреляция размера и формы орбиты от массы метеороида. Расчет выполнен по формулам:

$$\Delta a = \frac{T_a \times K(2 + 3e^2)}{a(1 - e^2)^{1.5}},$$
$$\Delta e = \frac{T_e \times 5Ke}{2a^2(1 - e^2)^{0.5}},$$

где $K = 2.51 \cdot 10^{11} \cdot R^{-1}$ ro⁻¹, го, R – плотность и радиус метеороида, изменения большой полуоси $\Delta a = 0.192$ (a.e.) и эксцентриситета $\Delta e = 0.023$ для диапазона звездных величин от -2^{m} до $+3^{m}$ (рис. 4.30). Для метеороида ветви NCC массой M=0.04 г, соответствующей метеору $+3^{m}$, при двух заданных значениях плотности имеем следующие оценки возраста:

М=0.04 г	$ro = 1.8 \ r/cm^3$	R = 0.17 см	$T_a = 21.5$ тыс. лет	$T_e = 27.4$ тыс. лет
М=0.04 г	$ro = 2.4 \ r/cm^3$	R = 0.16 см	$T_a = 26.0$ тыс. лет	$T_e = 33.2$ тыс. лет
М=0.04 г	$ro = 5.0 \ \Gamma/cm^3$	R = 0.12 см	$T_a = 42.4$ тыс. лет	Т _е = 54.1 тыс. лет

Таким образом, в случае кометного происхождения возраст потока δ-Канкрид оценивается порядка 25 - 30 тыс. лет. Если рассчитать время жизни метеорида NCC с массой М=10⁻³ и плотностью ρ =1.80 г/см³, то время жизни метеороида δ-Канкрид составит 22.3 года. Можно сделать вывод, что в потоке нет мелкой фракции и преимущественно М≥10⁻³ г. Поток, имея низкую пространственную

плотность, тем не менее, может содержать достаточно крупные объекты, пересекающие орбиту нашей планеты [160,161].

Изучение метеороидных потоков по структурной составляющей является очень важным аспектом в метеорной астрономии, так как является еще одним из критериев в установлении родственных связей МНТ. Для исследования структурных параметров метеорного потока за период всего действия потока, необходимо наличие статистической обеспеченности наблюдениями за весь период, а не только в момент максимума ZHR.

Выводы по главе 4

Произведен анализ стохастических связей малых метеорных комплексов б-Канкриды, к-Цигниды, h-Виргиниды, Андромедиды и р-Геминиды с АСЗ на основе синтетического метода и выполнена оценка взаимосвязей в группах РТ на основе независимых критериев D_{SH} Саутворта-Хоккинса и его модификации критерия D_{АН} Ашера. Для более надежного анализа и подтверждения достоверных генетических связей были исследованы элементы орбиты АСЗ и определены количественные характеристики пересечения их орбиты с орбитой Земли. Необходимо отметить, что метеорные потоки, связанные с АСЗ должны пересекать орбиту Земли примерно такое же количество раз, как и связанные с ними АСЗ. Была проведена проверка генетических связей выделенных АСЗ между собой с помощью использования независимых критериев - D критерия Ашера, который включает в себя значения трех элементов орбиты q, e, i и критерий Саутворта-Хоккинса, содержащий значения пяти элементов орбиты q, e, і, ω, Ω. В результате, получено, что все связанные с метеорными комплексами АСЗ находятся в хорошем согласии взаимных значений критериев Ашера и Саутворта-Хоккинса, следовательно, могут быть вероятными РТ для метеорных потоков.

В результате определено, что связанными с потоком δ-Канкриды (NCC) являются астероиды (1991 AQ), (2017 YO4), (2010 XC11), (2015 PU228), (2001 YB5), 2212 Hephaistos (1978 SB), (2019 AQ), (2011YA), (2010 QD2), (2014 YQ34),

185

(2006 BF56), (2003 RW11), (2012 XR134), (2011 YA), (2003 AA83), (2013 AQ63), (2019 BH1).

Для потока δ-Канкриды (SCC) - астероиды (2017 YO4), (2019 AQ), (1991 AQ), (2015 PU228), (2010 QD2), (2014 YQ34), 2212 Hephaistos (1978 SB), (2011 SR12), (2014 RS17), (2001 YB5), (2001 BO61), (2003 RW11), (2006 AM8), (2006 BF56), (2010 XC11), (2002 RT129), (2017 BT93), (2016 SN2), (2005 RC), (2014 RD11), (2004 BF85), (2014 BX2), (2015 PC), (2018 RB), (2012 XR134), (2016 AM66), (1990 SM).

С потоком к-Цигниды связаны астероиды Аполлоны - (2014 UH210), (2002 LV), (2001 MG1), (2017 NW5), (2008 ED69), (2004 LA12), и астероиды Амуры (2002 GJ8), и, возможно, (2010 QA5).

С потоком h-Виргиниды связанные AC3 – (2014 HD198), (2001 SZ269), (2014 HU2), (2010 RL43), (2010 TP55), (2014 JH15), и астероид Амур (2014 JF57).

К потоку Андромедиды можно отнести (2020 SR7), (2021 FD), (2009 WJ1), (2009 ST103), (2021 EN4), (2003 UQ25), (2009 TA1), (2004 GB2), (2016 UP36), (2016 FC14), (2021 SX3), (2012 EL5).

И с потоком р-Геминиды можно связать астероиды (2006 WP127), (2011 OX17), (2007 VW137), (2010 AG30), (2005 YX128), (2000 WK63), (2009 YG), (2011 YA), (2008 OO), (2016 PZ39), (2019 AQ), (2014 OU344), (2017 NN6), (2019 AN12), (2014 XJ3), (2008 BC15), (2000 OM), (2003 AA83).

Изучение статистики наблюдательных данных малых метеорных потоков показало, что в отличие главных потоков, малые потоки мало обеспечены фотографическими наблюдениями, дающими более точные орбиты. Каталоги орбит телевизионных наблюдений, хотя и имеют меньшую точность определения орбиты метеора, предоставляют орбиты значительно большего числа малых метеорных потоков. В тоже время не удалось в каталогах найти орбиты, например, потоков-сирот β -Hydrusids (BYD), α -Lacertids (ALA), α -Hydrids (AHY), х-Herculids (XHY) и др. Оптимально для исследования потоков-сирот наличие орбит метеоров и наблюдений яркости и численности метеоров.

Визуальные наблюдения необходимо привлекать для изучения активности потока, распределения метеороидов по массе. Это позволяет сделать предположения о стадии эволюции роя и возрасте, характере выбросов частиц из РТ, установить значение узла орбиты Ω родственного РТ. Впервые для δ-Канкрид за длительный период наблюдений 17 лет изучена структура потока, характер изменения функции светимости метеоров вдоль орбиты Земли, определена величина среднегодовой максимальной активности, момент ее наступления. Для δ-Канкрид положение максимальной активности наблюдается на долготе Солнца в интервале 298.5° и совпадает с протяженным минимумом параметра S. Сделан вывод, что родственное тело для δ-Канкрид, согласно положению максимума активности ZHR, должно иметь значение Ω=298.5°. Для δ-Канкрид наблюдается низкая активность и широкий максимум, нисходящая и восходящая ветви профиля активности пологие, по ширине потока значение составляет 3.8° и прослеживается на половине длины ветки профиля максимальной активности. Такие параметры являются характерными особенностями структуры старых потоков.

Моделирование профилей активности и интегральной пространственной плотности потока δ -Канкрид для различных масс метеороидов показало, что положение максимумов для мелкой и крупной составляющей частиц потока не совпадает. Смещение по долготе Солнца для более мелких метеороидов наблюдается на 2°-3° раньше. Пространственная структура показывает наличие в пространстве примерно в тысячу километров только 1 частицы массой более одного грамма, в период максимальной активности это значение уменьшается до 800 км. Эти структурные характеристики сопоставимы, например, с потоком Орионид, в тоже время метеорный комплекс δ -Канкрид мало наблюдается.

По данным каталогов SonatoCo и CAMS изучена структура радиантов ветвей потока, построены и проанализированы распределения большой полуоси в зависимости от массы и эксцентриситета в зависимости от массы, а также произведен анализ возрастных параметров δ-Канкрид за счет действия негравитационного эффекта Пойнтинга-Робертсона.

187

По каталогу CAMS радианты прямое восхождение (RA), склонение (DE), их суточные смещения (dRA), (dDe) равны для NCC: RA=130.4°±3.4° DE=21.7±1.6° dRA=1.05°±0.00° dDe=-0.12°±0.00°; для SCC: RA=128.4°±2.4° DE=13.9±1.7° dRA=1.11°±0.00° dDe=-0.21°±0.00°. Субрадианты NCC, SCC в зависимости от массы метеороидов достоверно не выделяются.

Для орбит NCC по каталогу CAMS в диапазоне наблюдаемых звездных величин от -2^m до $+3^m$ получены изменения большой полуоси и эксцентриситета в зависимости от массы. Получено, что большая полуось смещается на а=0.193 (а.е.), эксцентриситет е=0.024 в меньшую сторону в зивисимости от уменьшения массы метеороидов. Таким образом, сделано предположение, что северная ветвь потока NCC имеет возраст в диапазоне от 24000 до 30000 лет согласно объектам углеродного и кремниевого химсостава.

На основе телевизионных наблюдений получены координаты радиантов ветвей потоков, хорошо согласующиеся с имеющимися немногочисленными данными других авторов. Уточнены значения суточного смещения радиантов, получены значения площади радиации. Анализ распределений орбитальных элементов северной NCC и южной SCC ветвей δ -Канкрид (DCA) впервые позволил сделать вывод о том, что большие полуоси и эксцентриситеты смещаются по значениям в меньшую сторону в зависимости от уменьшения массы метеороидов, такое поведение характерно для частиц от -5^m до +3^m.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, полученные в работе, можно сформулировать в виде следующих выводов.

- Произведен анализ современного состояния по изучению МНТ. Рассмотрены основные задачи и современное состояние в области изучения МНТ. Рассмотрены основные метеорные базы и имеющиеся каталоги метеорных орбит, и база орбит астероидов. На основе имеющихся данных создана собственная база МНТ, где все параметры приведены в единую систему.
- 2. Произведен анализ реестра метеорных потоков ПО классификации наблюдаемой активности и орбитальным параметрам. Показано, что большая часть наблюдаемых в настоящее время потоков-сирот относится к малым метеорным потокам. Построено распределение метеорных потоков-сирот по величине большой полуоси, сделан вывод, что в основном потоки имеют размеры средней орбиты потока, меньше, чем 5 а.е., следовательно, возможно проводить для них поиск потенциальных РТ среди астероидов, пересекающих орбиту Земли. Приведены основные данные об исследуемых малых потоках-сиротах δ-Канкриды, обе ветви NCC и SCC, k-Цигниды, h-Виргиниды, р-Геминиды, Андромедиды. Для каждого исследуемого метеорного потока приводятся рассчитанные нами средние орбиты по каждому каталогу метеорных орбит.
- 3. Выполнен анализ реестра базы данных АСЗ как потенциальных кандидатов для поиска РТ метеорных потоков. Произведен анализ физико-химических и орбитальных параметров групп околоземных астероидов Атоны, Аполлоны, Амуры, Атиры как потенциальных кандидатов для поиска РТ метеорных потоков. Сделан вывод, что осуществлять поиск РТ для метеорных потоков нужно в группах астероидов Аполлона и Амура.
- Выполнен анализ критериев генетической общности и критериев, учитывающих гравитационный и негравитационные факторы. Средние значения D-критериев Саутворта-Хоккинса, Драммонда, Йопека, критериев,

основанных на совпадении долготы перигелия π орбит, близости гравитационных параметров µ, v и величины Т параметра Тиссерана и их применимость были получены для потоков кометного Дракониды, Леониды, Лириды, Ориониды, Персеиды, Урсиды и потоков Дельта-Канкриды, Скорпиды/Саггитариды, Альфа-Каприкониды астероидного Виргиниды, происхождения. Получено, D-критерии отождествления орбит что родительского тела и метеороида дают для кометных потоков среднее значение более низкое не превышающее 0.2, в отличие от астероидных потоков, для которых значение выше установленного значения в 0.2. D критерии были проанализированы на устойчивость к геометрии орбит и ошибки методов наблюдения, получено, что D критерий Драммонда более устойчивый к геометрии орбит метеороидов и ошибкам методов наблюдения. Анализ значений квазистационарных параметров µ и v, и параметра Тиссерана, являющихся следствием решения ограниченной задачи трех тел, показал, что МНТ испытывают тесные сближения с планетами. Сравнение

показал, что МНТ испытывают тесные сближения с планетами. Сравнение значений параметра Тиссерана, полученных для планета-потока и для планета-родительского тела может подтвердить или опровергнуть их общее генетическое происхождение. Полученные результаты анализа квазистационарных параметров µ и v, и параметра Тиссерана, показали, что их вместе можно использовать в качестве критериев и признаков при поиске и отождествлении родительского тела к конкретному метеорному потоку. Важно, чтобы эти 3 критерия сохраняли близость своих значений между собой при вычислении их для МНТ.

5.

6. Разработана усовершенствованная методика поиска вероятных связей метеорных потоков-сирот с околоземными объектами (астероидами, потухшими кометами или осколками их разрушения) и создан синтетический метод по нахождению генетических связей МНТ. Синтетический метод по нахождению генетических связей МНТ создан на основе критериев подобия орбит Драммонда, метрики Холшевникова и квазистационарных параметров µ и v, параметра Тиссерана T, полученных как следствие из ограниченной

задачи трех тел, и долготы перигелия π, который сохраняет постоянство при эволюции орбиты. Анализ показал, что для повышения точности определения генетических связей МНТ и достоверности полученных результатов, синтетический метод по нахождению генетических связей МНТ должен включать совокупность критериев:

- безразмерный D критерий Драммонда;
- размерная метрика Холшевникова;
- долгота перигелия π ;
- параметр Тиссерана Т;
- квазистационарные параметры μ и ν, которые являются следствием ограниченной задачи трех тел.

Последнее получается в том случае, когда тело с бесконечно малой массой движется под влиянием притяжения Солнца и планеты, в данном случае Юпитера. При этом параметр µ представляет собой проекцию кинетического момента движения на нормаль к плоскости эклиптики. Квазистационарный параметр v применяется для оценки вероятности тесных сближений с планетами. Долгота перигелия π испытывает определенные изменения, с работы Шестаки другой стороны, согласно [143] ЭТИ изменения незначительны. В нашей работе мы склонились к мнению Шестаки как к более аргументированному. Обосновано, что применение каждого из параметров повышает достоверность выводов о наличие родственных связей малых тел. Показано, что использование синтетического метода по исследованию генетической связи MHT позволяет получить более достоверные результаты, которые находятся в хорошем согласии с результатами ведущих мировых ученых.

7. Рассмотрена проблема отсутствия единой методики определения пороговых значений критериев генетической общности МНТ. Как следствие, один и тот же метеорный поток может быть отождествлен с различными МНТ у разных исследователей. В рамках решения данного вопроса, разработан алгоритм определения пороговых значений критериев генетических связей МНТ. Алгоритм основан на определении элементов средней орбиты потока и их дисперсий по индивидуальным орбитам метеороидов, что позволяет учитывать начальные условия выброса метеороидов из РТ и последующую динамику их орбит. В рамках созданного алгоритма производился расчет всех используемых в модели критериев для каждой пары орбит, в которую входили как индивидуальная орбита метеороида из созданной рабочей базы данных, так и средняя орбита потока. Показано, что задания пороговых значений для каждого из всех используемых в синтетическом методе критериев на основе вычисленных индивидуальных значений метеорных орбит и их среднеквадратичных ошибок наиболее обосновано с точки зрения условий формирования МНТ и его эволюции. При вычислении пороговых значений критериев учитывается дисперсия орбит метеороидов в потоке вследствие их эволюции и ошибки наблюдений данных каталогов орбит.

- 8. Степень достоверности принятия гипотезы о близости двух орбит выполняется на основе фактора Р, по аналогии с вероятностным подходом. Для этого разработан независимый способ отбора кандидатов в РТ. При этом сделан вывод, что в рамках синтетического метода, степень выполнения каждого критерия синтетического метода должна оцениваться путем задания фактора Р, чем выше этот фактор, тем более вероятна генетическая связь МНТ.
- 9. Для реализации авторского синтетического метода и выявления принадлежности метеоров к определенному метеорному потоку была написана программа ЭВМ на языке Си++ - автоматизированный программный комплекс анализа МНТ АПКАМНТ, который содержит 5 модулей и отражает все этапы исследования:
 - Модуль по нахождению значений согласно критериям D Драммонда, метрики ρ Холшевникова, квазистационарных параметров μ и v, долготы перигелия π, параметра Тиссерана T между средней орбитой метеорного потока и индивидуальными орбитами метеороидов с помощью синтетического метода.

- Модуль по оценке пороговых значений критериев синтетического метода, с использованием индивидуальных орбит метеороидов и средней орбиты метеорного потока, их дисперсий σ² и среднеквадратичных отклонений σ.
- Модуль по определению степени выполнения совокупности критериев.
- Модуль по отбору кандидатов в РТ.
- Модуль по анализу и оценке взаимосвязей динамических параметров выделенных АСЗ согласно независимым критериям Ашера D_{AH} и Саутворта-Хоккинса D_{SH}.

На основе проделанной работы были созданы индивидуальные каталоги метеорных орбит по каждому метеорному потоку с учетом метода наблюдения и без дублирования орбит внутри потока и метода наблюдения, что часто наблюдается при объединении нескольких каталогов орбит.

- 10. Произведен анализ стохастических связей малых метеорных комплексов δ-Канкриды, к-Цигниды, h-Виргиниды, Андромедиды и ρ-Геминиды с АСЗ на основе синтетического метода и выполнена оценка взаимосвязей в группах РТ на основе независимых критериев D_{SH} Саутворта-Хоккинса и его модификации - критерия D_{AH} Ашера. Для более надежного анализа и подтверждения достоверных генетических связей были исследованы элементы орбиты АСЗ и определены количественные характеристики пересечения их орбиты с орбитой Земли. Необходимо отметить, что метеорные потоки, связанные с АСЗ должны пересекать орбиту Земли примерно такое же количество раз, как и связанные с ними АСЗ.
- Проведена проверка генетических связей выделенных АСЗ между собой с помощью использования независимых критериев - D критерия Ашера, который включает в себя значения трех элементов орбиты q, e, i и критерий Саутворта-Хоккинса, содержащий значения пяти элементов орбиты q, e, i, ω,
 Ω. В результате, получено, что все связанные с метеорными комплексами АСЗ находятся в хорошем согласии взаимных значений критериев Ашера и

Саутворта-Хоккинса, следовательно, могут быть вероятными РТ для метеорных потоков.

- В результате определено, что связанными с потоком δ-Канкриды (NCC) являются астероиды (1991 AQ), (2017 YO4), (2010 XC11), (2015 PU228), (2001YB5), 2212 Hephaistos (1978 SB), (2019 AQ), (2011YA), (2010 QD2), (2014 YQ34), (2006 BF56), (2003 RW11), (2012 XR134), (2011 YA), (2003 AA83), (2013 AQ63), (2019 BH1).
- Для потока δ-Канкриды (SCC) астероиды (2017 YO4), (2019 AQ), (1991 AQ), (2015 PU228), (2010 QD2), (2014 YQ34), 2212 Hephaistos (1978 SB), (2011 SR12), (2014 RS17), (2001YB5), (2001 BO61), (2003 RW11), (2006 AM8), (2006 BF56), (2010 XC11), (2002 RT129), (2017 BT93), (2016 SN2), (2005 RC), (2014 RD11), (2004 BF85), (2014 BX2), (2015 PC), (2018 RB), (2012 XR134), (2016 AM66), (1990 SM).
- С потоком к-Цигниды связаны астероиды Аполлоны (2014 UH210), (2002 LV), (2001 MG1), (2017 NW5), (2008 ED69), 2004 LA12, и астероиды Амуры (2002 GJ8), и, возможно, (2010 QA5).
- С потоком h-Виргиниды связанные AC3 (2014 HD198), (2001 SZ269), (2014 HU2), (2010 RL43), (2010 TP55), (2014 JH15), и астероид Амур (2014 JF57).
- К потоку Андромедиды можно отнести (2020 SR7), (2021 FD), (2009 WJ1), (2009 ST103), (2021 EN4), (2003 UQ25), (2009 TA1), (2004 GB2), (2016 UP36), (2016 FC14), (2021 SX3), (2012 EL5).
- И с потоком р-Геминиды можно связать астероиды (2006 WP127), (2011 OX17), (2007 VW137), (2010 AG30), (2005 YX128), (2000 WK63), (2009 YG), (2011 YA), (2008 OO), (2016 PZ39), (2019 AQ), (2014 OU344), (2017 NN6), (2019 AN12), (2014 XJ3), (2008 BC15), (2000 OM), (2003 AA83).
- 12. Изучение статистики наблюдательных данных малых метеорных потоков показало, что в отличие главных потоков, малые потоки мало обеспечены фотографическими наблюдениями, дающими более точные орбиты. Каталоги орбит, полученные из телевизионных наблюдений, хотя и имеют меньшую точность определения орбиты метеора, предоставляют орбиты значительно

большего числа малых метеорных потоков. Для изучения активности потока и распределения метеороидов по массе полезно привлекать визуальные наблюдения. Это позволяет сделать предположения о стадии эволюции роя и возрасте, характере выбросов частиц из РТ, установить то значения долготы узла Ω РТ, которое было у него в момент образования связанного с ним потока.

- 13. Впервые для б-Канкрид за длительный период наблюдений 17 лет изучена структура потока, характер изменения функции светимости метеоров вдоль орбиты Земли, определена величина среднегодовой максимальной момент ee наступления. Для δ-Канкрид активности. положение максимальной активности наблюдается на долготе Солнца в интервале 298.5° и совпадает с протяженным минимумом параметра S. Сделан вывод, что родственно связанное с потоком δ-Канкрид тело, в момент образования связанного с ним потока, имело долготу узла орбиты Ω=298.5°. Для δ-Канкрид наблюдается низкая активность и широкий максимум, нисходящая и восходящая ветви профиля активности пологие, ширина потока 3.8°, что составляет половину максимальной активности потока. Bce вышеперечисленное является характерными особенностями структуры старых потоков. Моделирование профилей активности и интегральной пространственной плотности потока б-Канкрид для различных масс метеороидов показало, что положение максимумов для мелкой и крупной составляющей частиц потока не совпадает. Смещение по долготе Солнца для более мелких метеороидов наблюдается на 2°-3° раньше. Пространственная структура потока показывает, что в пространстве в тысячу км располагается только 1 частица больше, чем один грамм по массе, в период максимальной активности это значение уменьшается до 800 км. Эти структурные характеристики сопоставимы, например, с потоком Орионид, в тоже время метеорный комплекс δ-Канкрид мало наблюдается.
- 14. По данным SonatoCo и CAMS изучена структура радиантов ветвей потока, построены и проанализированы зависимости большой полуочи от массы и

эксцентриситета от массы, оценены возрастные параметры потока δ -Канкрид за счет действия негравитационного эффекта Пойнтинга-Робертсона. По каталогу CAMS радианты прямое восхождение (RA), склонение (DE), их суточные смещения (dRA), (dDe) равны для NCC: RA=130.4°±3.4° DE=21.7±1.6° dRA=1.05°±0.00° dDe=-0.12°±0.00°; для SCC: RA=128.4°±2.4° DE=13.9±1.7° dRA=1.11°±0.00° dDe=-0.21°±0.00°. Субрадианты NCC, SCC в зависимости от массы метеороидов достоверно не выделяются.

- 15. Для орбит NCC по каталогу CAMS в диапазоне наблюдаемых звездных величин от -2^m до +3^m получены изменения большой полуоси и эксцентриситета в зависимости от массы. Получено, что большая полуось смещается на a=0.193 (a.e.), эксцентриситет e=0.024 в меньшую сторону в зивисимости от уменьшения массы метеороидов. Таким образом, сделано предположение, что северная ветвь потока NCC имеет возраст в диапазоне от 24000 до 30000 лет согласно объектам углеродного и кремниевого химсостава. На основе телевизионных наблюдений получены координаты ветвей потоков, хорошо согласующиеся с имеющимися радиантов немногочисленными данными других авторов. Уточнены значения суточного смещения радиантов, получены значения площади радиации. Анализ распределений орбитальных элементов северной NCC и южной SCC ветвей δ-Канкрид (DCA) впервые позволил сделать вывод о том, что большие полуоси и эксцентриситеты смещаются по значениям в меньшую сторону в зависимости от уменьшения массы метеороидов, такое поведение характерно для частиц от -5^{m} до $+3^{m}$.
- 16. Создана система генетических связей пяти малых метеорных потоков δ-Канкриды, к-Цигниды, h-Виргиниды, Андромедиды и ρ-Геминиды и их родительских тел с использованием синтетического метода, алгоритма определения пороговых значений и независимого способа отбора родительских тел, и проведен анализ достоверности полученных результатов.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАБОТЫ

В качестве перспектив дальнейшей работы, можно отметить, что все отождествленные с исследуемыми потоками AC3 будут проверены методом ретроанализа, а именно, будет произведен расчет орбит астероидов назад на длительные интервалы времени, а также все исследуемые в данной работе потоки будут тщательно исследованы структурным методом. Также планируется применять разработанный синтетический метод к связям МНТ и других метеорных ассоциаций.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор приносит благодарность сотрудникам кафедры астрономии КФУ и Астрономической обсерватории ИМ. В.П. Энгельгардта при Казанском (Приволжском) федеральном университете, кандидату физико-математических наук, доценту Соколовой Марине Геннадьевне, за помощь при написании данной работы, член-корреспонденту НАНТ, доктору физико-математических наук, Кохировой Гульчехре Исроиловне за содействие при выполнении практических работ по анализу динамических параметров астероидов, доктору физикоматематических наук, профессору Рябовой Галине Олеговне, за уделенное время и ценные рекомендации, своему научному руководителю, доктору физикопрофессору Нефедьеву Юрию математических наук, Анатольевичу за всестороннюю поддержку и большую помощь в работе.

Автор благодарен Холшевникову К.В. за совместную и продуктивную работу, а также ценные разъяснения.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- СС Солнечная система
- МНТ Малые небесные тела
- МАС Международный астрономический союз
- РТ Родительское тело
- АСЗ Астероиды, сближающиеся с Землей
- ПОО Потенциально опасный объект
- СКО Среднеквадратичное отклонение
- NEA Near-Earth Asteroids, околоземные астероиды
- П-Р Эффект Пойтинга Робертсона
- ПЗС Прибор с зарядовой связью
- КФУ Казанский Федеральный Университет
- АОЭ Астрономическая обсерватория им. В.П. Энгельгардта, КФУ
- IAU International Astronomical Union
- ИНАСАН Институт астрономии РАН
- UT Universal Time
- JD Julian date
- JPL Jet Propulsion Laboratory

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Шустов Б.М. Рыхлова Л.В. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2010. 383 с.
- Limbach M.A. Turner E.L. Exoplanet orbital eccentricity: Multiplicity relation and the Solar System // Accepted to Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2015. – Vol. 112, Issue 1. – P. 20-24.
- 3. A'Hearn M.F. Photometry of Comets // Solar System Photometry Handbook. Willmann-Bell. – Richmond. – Virginia. – 1983. – P. 1-3.
- 4. Ney E.P. Visibility of Comet Nuclei // Science. 1982. Vol. 215. Pp. 397-398.
- 5. *Badescu V*. Asteroids. Prospective Energy and Material Resources. Springer. 2013. 689 p.
- 6. Ловелл Б. Метеорная астрономия. М.: Физ-Мат. Лит. 1958. 490 с.
- 7. Бабаджанов П.Б. Метеоры и их наблюдение. М.: Гл. ред. физ.-мат. лит. 1987. 95 с.
- Бабаджанов П.Б., Кохирова Г.И., Обрубов Ю.В. Угасшие кометы и астероиднометеороидные комплексы // Астрономический вестник. – 2015. – Т.49. – № 3. – С. 182 -189.
- 9. Чернетенко Ю. А. Разделившиеся кометы и обстоятельства разделения четырех комет // Труды ИПА РАН. 2019. № 51. С. 93-107.
- 10. Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Петрова С.Н., Башакова Е.А., Львов В.Н., Цекмейстер С.Д., Русов С.А., Иванов А.В., Вершков А.Н., Мартюшева А.А., Барабанов С.И., Ерофеев Д.В., Кохирова Г.И., Хамроев У.Х., Буриев А.М. Базисные наблюдения потенциально опасных астероидов в 2017 году // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2017. – №4. – С. 24-31.
- 11. Международный астрономический союз(MAC),URL:https://www.iau.org/public/themes/meteors_and_meteorites/
- 12. *Терентьева А.К.* Малые метеорные рои // Результ. исслед. по междунар. геофиз. проектам, Исслед. метеоров. 1966. № 1. С. 62-132.
- 13. *Терентьева А.К.* Орбиты малых метеорных роев // Астрон. циркуляр АН СССР. 1967. № 423. С. 1-7.
- 14. Jewitt D., Hsieh H., Agarwal J. The Active Asteroids // Asteroids IV. The University of Arizona Press. 2015. P. 221-241.

- 15. Weissman P.R., Bottke Jr. W.F., Levison H.F. Evolution of Comets into Asteroids // Asteroids III. University of Arizona Press. Tucson. 2002. P. 669-686.
- Kokhirova G.I., Kholshevnikov K.V., Babadzhanov P.B., Khamroev U.H., Milanov D.V. Metric approaches to identify a common origin of objects in σ-Capricornids complex // Planetary and Space Science. 2018. Vol. 157. P. 28.
- 17. *Ryabova G.O.* The Geminid meteor shower radiant: a mathematical model // MNRAS. 2021. Vol. 507. Issue. 3. P. 4481-4486.
- Kholshevnikov K.V., Kokhirova G.I., Babadzhanov P.B., Khamroev U.H. Metrics in the space of orbits and their appication to searching for celestial objects of common origin // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2016. – Vol. 462. – Issue 2. – P. 2275-2283.
- Drummond, J.D. A test of comet and meteor shower associations // Icarus. 1981. Vol. 45. – P. 545-553.
- 20. Крамер Е.Н., Шестака И.С. Квазистационарные параметры малых тел Солнечной системы // Астрономический вестник. 1987. Т. 21. №1. С. 75-83.
- 21. *Tisserand F*. Traite de mecanique celeste // Paris: Gouthier-Villar. Vol. 4. P. 200.
- 22. Asher D. J., Clube S.V.M., Napier W.M., Steel D.I. Coherent catastrophism // Vistas in Astronomy. 1994. Vol. 38. P. 1-27.
- 23. Southworth R.B., Hawkins G.S. Statistics of meteor streams // Smithsonian Contributions to Astrophysics. 1963. Vol. 7. P. 261-285.
- Sergienko M.V., Sokolova M.G., Kholshevnikov K.V. Multifactorial method of search for small bodies in close orbits // Astronomy reports. – 2020. – Vol. 64, Issue 12. – P. 1087-1092.
- 25. Sergienko M.V., Sokolova M.G., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. Genetic analysis of the meteor showers and asteroids // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol.1400. – P. 022045.
- 26. Sergienko M.V., Sokolova M.G., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. The study of near Earth objects and meteor showers // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1697. – P. 012036.
- 27. Nefedyev Y.A., Sergienko M.V., Andreev A.O. Analysis of orbital elements of near earth objects over a long-term period // Meteoritics & Planetary Science. 2021. Vol. 56, Issue 1. P. 6087.

- 28. Sokolova M.G., Sergienko M.V., Nefedyev Y.A., Andreev A.O., Nefedyev L.A. Genetic analysis of parameters of near earth asteroids for determining parent bodies of meteoroid streams // Advances in Space Research.– 2018. Vol. 62, Issue 8. P. 2355-2363.
- 29. Соколова М.Г., Сергиенко М.В. Астероиды, сближающиеся с Землей, как возможные родительские тела метеорных потоков // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2016. Т. 158. № 4. С. 583-592.
- 30. ГОСТ 25645.112-84 Вещество метеорное. Термины, определения, буквенные обозначения. Введ. 01–01–1985. М.: 1984. 8 с.
- 31. *Wiegert P., Vaubaillon J., Campbell-Brown M.A.* dynamical model of the sporadic meteoroid complex // Icarus. 2009. Vol. 201. P. 295-310.
- 32. Международная метеорная организация (MMO), база данных, URL: https://www.imo.net/resources/databases/
- 33. Соколова М.Г., Сергиенко М.В. Сравнение структур метеорных потоков кометного и предположительно астероидного происхождения // Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы. 2016. Т. 50. № 6. С. 401-411.
- 34. Jenniskens P. Meteor stream activity I. The annual streams // Astronomy and Astrophysics. 1994. Vol. 287. P. 990-1013.
- 35. *Jenniskens P*. Meteor stream activity 2: Meteor outb ursts // Astronomy and Astrophysics. 1995. Vol. 295. Issue. 1. P. 206-235.
- 36. *Clarke W.B.* Magazine of Natural History and Journal of Zoology, Botany, Mineralogy, Geology and Meteorology. 1834. Vol. 7. P. 385-390.
- 37. *Olmstead D*. On the cause of the Meteors of November 13th, 1833 // The American journal of science and arts. 1836. Vol. 29. P. 376-383.
- 38. Herrick E.C. Letter to Elias Lomas // Yale University Archives. 1837.
- 39. *Walker S.C.* Researches concerning the periodical meteors of August // Transactions of the American Philosophical Society. 1843. Vol. 8. P. 87-140.
- 40. *Newton H.A.* Abstract of a Memoir on Shooting Stars // The American journal of science and arts. 1864. Vol. 39. P. 193-207.

- 41. *Kirkwood D*. Cometary astronomy // Danville Quarterly Review. 1861. Vol. 1. –
 P. 614-618.
- 42. *Schiaparelli J.V.* Sur la relation qui existe entre les cometes et les étoiles filantes // Comptes rendus. 1867. Vol. 64. P. 598-599.
- 43. *Schiaparelli G.V.* Sur la relation qui existe entre les comètes et les étoiles filantes // Astronomische Nachrichten. 1867. Vol. 68. P. 331-332.
- 44. *Weiss E.* Bemerkungen über den Zusammenhang zwischen Cometen und Sternschnuppen // Astronomische Nachrichten. 1867. Vol. 68. P. 381-384.
- 45. *Proctor M. Crommelin A.C.D.* Comets, their Nature, Origin and Place in the Science of Astronomy // Technical Press. London. 1937.
- 46. *Whipple F.L.* A comet model. I. The acceleration of Comet Encke / F. L. Whipple // Astrophysical Journal. 1950. Vol. 111. P. 375-394.
- 47. *Whipple F.L.* A Comet Model. II. Physical Relations for Comets and Meteors // Astrophysical Journal. 1951. Vol. 113. P. 464.
- 48. Gustafson B.A.S. Comet ejection and dynamics of nonspherical dust particles and meteoroids // Astrophysical Journal. – 1989. – Vol. 337. – P. 945-949.
- 49. Crifo J.F. A general physicochemical model of the inner coma of active comets. 1: Implications of spatially distributed gas and dust production // The Astrophysical Journal. – 1995. – Vol. 445. – P. 470-488.
- 50. *Ma Y., Williams P., Chen W.* On the ejection velocity of meteoroids from comets I // MNRAS. 2002. Vol. 337. P. 1081-1086.
- Trigo-Rodríguez J., Borovička M., Spurný J., Ortiz P., Docobo J.L., Castro-Tirado J.A., Llorca A.J. The Spanish fireball network // Astronomy & Geophysics. 2006. Vol. 47. Issue 6. P. 26-28.
- 52. Trigo-Rodríguez J.M., Madiedo J.M., Williams I.P., Castro-Tirado A.J., Llorca J., Vitek S., Jelínek M. Observations of a very bright fireball and its likely link with comet C/1919 Q2 Metcalf // MNRAS. – 2009. – Vol. 394. – P. 569–576.
- 53. *Jewitt D., Hsieh H., Agarwal J.* The Active Asteroids // Asteroids IV.The University of Arizona Press. 2015. P. 221-241.

- 54. *Weissman P.R., Bottke Jr., W.F., Levison H.F.* Evolution of Comets into Asteroids // Asteroids III. University of Arizona Press. Tucson. 2002. P. 669-686.
- 55. Luu J., Jewitt D. The nucleus of Comet P/Encke // Icarus. 1990. Vol. 86. P. 69.
- 56. Wiegert P., Tremaine S. The Evolution of Long-Period Comets // Icarus. 1999. Vol. 137. – P. 84.
- 57. *Whipple F.L.* Photographic meteor studies // Proceedings of the American Philosophical Society. 1938. P. 499-548.
- 58. Центр малых планет,

URL: http://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/DualStatus.html

- 59. Jedicke R., Granvik M., Micheli M., Ryan E., Spahr T., Yeomans D. K. Surveys Astrometric Follow-Up, and Population Statistics // Asteroids IV. University of Arizona Press. Tucson. – 2015. – P. 795-813.
- 60. Granvik M., Morbidelli A., Jedicke R., Bolin B., Bottke W.F., Beshore E., Vokrouhlick'y D., Delb'o M., Michel P. Supercatastrophic disruption of asteroids at small perihelion distance // Nature. – 2016. – Vol. 530. – P. 303-306.
- 61. *Richardson D.C., Bottke W.F., Love S.G.* Tidal Distortion and Disruption of Earth-Crossing Asteroids // Icarus. 1998. Vol. 134. P. 47-76.
- 62. *Walshetal K.J., Richardson D.C.* Binary near-Earth asteroid formation: Rubble pile model of tidal disruptions // Icarus. 2006. Vol. 180, Issue 1. P. 201-216.
- 63. Vereš P., Klačka J., Kómar L., Tóth J. Motion of a Meteoroid Released from an Asteroid // Advances in Meteoroid and Meteor Science. 2007. Vol. 102, Issue 1. P. 47-51.
- 64. Whipple F. 1983 TB and the Geminid Meteors // in B. Marsden, ed., 'IAU Circular №3881, 1', IAU. 1983.
- 65. Ohtsuka K., Ito H., Arakida T., Yoshikawa M., Asher D. Apollo Asteroid 1999 YC: Another Large Member of the PGC? // in '71st Annual Meeting of the Meteoritical Society', Jornal Annual Meeting of the Meteoritical Society №71. – 2008. – P. 5055.
- 66. Jewitt D., Li. J. Activity in Geminid Parent (3200) Phaethon // The Astronomical Journal. 2010. Vol. 140. P. 1519-1527.
- 67. Kronk G.W. Ancient-1799. 1999.

68. Kronk G.W. Cometography: A Catalog of Comets, Volume 2: 1800-1899. – 2003.

- 69. *Olivier C.P.* Meteors // Baltimore: The Williams & Wilkins Company. 1925. P. 38-39.
- 70. Wiegert P.A., Brown P.G., Weryk R.J., Wong D.K. The Return of the Andromedids Meteor Shower // The Astronomical Journal. 2013. Vol. 145. P. 70.
- 71.Jenniskens P., Vaubaillon J. 3D/Biela and the Andromedids: Fragmenting versus Sublimating Comets // The Astronomical Journal. 2007. Vol. 134. P. 1037-1045.
- 72. *Micheli M.* Possibile correlazione tra l'asteroide 2003 WY25, la cometa D/1819 W1 (Blanpain) e due sciami meteorici occasionali // Astronomia. La rivista dell'Unione Astrofili Italiani. 2005. Vol. 1. P. 47-53.
- 73. Jenniskens P., Lyytinen E. Meteor showers from the debris of broken comets: D/1819 W1 (Blanpain), 2003 WY25, and the Phoenicids // The Astronomical Journal. – 2005. – Vol. 130, Issue 3. – P. 1286.
- 74. Watanabe J.-i. Sato M., Kasuga T. Phoenicids in 1956 revisited // Publications of the Astronomical Society of Japan. – 2005. – Vol. 57, Issue 5. – P. 45-49.
- 75. Sato M., Watanabe J.-i. Forecast for Phoenicids in 2008, 2014, and 2019 // Publications of the Astronomical Society of Japan. 2010. Vol. 62, Issue 3. P. 509-513.
- 76. Sato M., Watanabe J.I., Tsuchiya C., Moorhead A.V., Moser D.E., Brown P.G., Cooke W.J. Detection of the Phoenicids meteor shower in 2014 // Planetary and Space Science. – 2017. – Vol. 143. – P. 132-137.
- 77. Jewitt D. Comet D/1819 W1 (Blanpain): Not Dead Yet // The Astronomical Journal.
 2006. Vol. 131. P. 2327-2331.
- 78. Ishiguro M., Jewitt D., Hanayama H., Usui F., Sekiguchi T., Yanagisawa K., Kuroda D., Yoshida M., Ohta K., Kawai N., Miyaji T., Fukushima H., Watanabe J.-i. Outbursting Comet P/2010 V1 (Ikeya-Murakami): A Miniature Comet Holmes // The Astrophysical Journal. 2014. Vol. 787. P. 55.

- 79. Kleyna J.T., Ye Q.-Z., Hui M.-T., Meech K.J., Wainscoat R., Micheli M., Keane J.V., Weaver H.A., Weryk R. The Progressive Fragmentation of 332P/Ikeya-Murakami // The Astrophysical Journal. – 2016. – Vol. 827. – P. 26.
- 80. *Hui, M.-T. Ye Q.-Z., Wiegert P.* Constraints on Comet 332P/Ikeya-Murakami // The Astronomical Journal. 2017. Vol. 153. P. 4.
- 81. Jet Propulsion Laboratory, URL: http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cgi
- 82. Международная метеорная организация (MMO), визуальные наблюдения, URL: https://www.imo.net/observations/methods/visual-observation/
- 83. Koten P., Spurny P., Borovicka J., Stork R. Catalogue of video meteor orbits. Part 1
 // Astronomical Institute ASCR. 2003. Vol. 91. P. 32.
- 84. Svoren J., Porubcan V., Neslusan L. Current Status of the Photographic Meteoroid Orbits Database and a Call for Contributions to a New Version // Earth Moon and Planets. – 2008. – Vol. 102, Issue 1. – P. 11-14.
- 85. Международная метеорная организация (MMO), болиды, URL: http://www.imo.net/photo/observation/fireball
- 86. Голландское метеорное общество, телевизионная база данных, URL: https://dmsweb.home.xs4all.nl/video/video.html
- 87. Kornoš L., Koukal J., Piffl R., Tóth J. EDMOND Meteor Database. In Proceedings of the International Meteor Conference, Poznań, Poland, Aug. 22-25, 2013, Eds.: Gyssens M., Roggemans P., Zoladek, P. International Meteor Organization. 2014a. P. 23-25.
- 88. SonotaCo. A meteor shower catalog based on video observations in 2007-2008 // WGN. Journal of the International Meteor Organization. – 2009. – Vol. 37, Issue 2. – P. 55-62.
- 89. CAMS, URL: URL: http://cams.seti.org/
- 90. Segon D., Korlević K. Croatian Meteor Network: Ongoing work 2015 ± 2016. / // Conference: International Meteor Conference 2016, Egmond, the Netherlands, 2-5 June 2016. Egmond. the Netherlands. – 2016.

- 91. Vida D., Novoselnik F. Croatian Meteor Network: data reduction and analysis / // Conference: Proceedings of the International Meteor Conference, 29th IMC Armagh, Northern Ireland. – 2010.
- 92. Karpov S., Beskin G., Biryukov A., Bondar S., Hurley K., Ivanov E., Katkova E., Pozanenko A., Zolotukhin I. Optical camera with high temporal resolution to search for transients in the wide field // Nuovo Cimento. – 2005. – Vol. 28. – P. 747.
- 93. Beskin G., Karpov S., Bondar S., Perkov A., Ivanov E., Katkova E., Sasyuk V., Biryukov A., Shearer A., Tello J.C., Riva A., Hiriart D., Castro-Tirado A.J. Mini-MegaTORTORA // II Workshop on Robotic Autonomous Observatories. RMxAC (Serie de Conferencias). – 2014. – Vol. 45. – P. 20-23.
- 94. Beskin G., Karpov S.V., Bondar S.F., Plokhotnichenko V.L., Guarnieri A., Bartolini C., Greco G., Piccioni A., Fast M. Universal Spectrophotopolarimeter for Robotic Telescopes // Physics Uspekhi. – 2010. – Vol. 53. – P. 406.
- 95. *Karpov S., Beskin G., Bondar S.* Status and Perspectives of the Mini-MegaTORTORA Wide-field Monitoring System with High Temporal Resolution // Acta Polytechnica. – 2013. – Vol. 53. – P. 38.
- 96. Zolotukhin I., Beskin G., Biryukov A., Bondar S., Hurley K. Optical camera with high temporal resolution to search for transients in the wide field // Astronomical Notes. – 2004. – Vol. 325. – P. 675.
- 97. Molinari E., Bondar S., Karpov S., Beskin G., Biryukov A. TORTOREM: Twotelescope complex for detection and investigation of optical transients // Nuovo Cimento. – 2006. – Vol. 121. – P. 1525-1526.
- 98. Ceplecha Z., Borovicka J., Elford W.G. Meteor phenomena and bodies // Space Science Reviews. – 1998. – Vol. 84. – P. 327-471.
- 99. *Hawkins G.W.* The Harvard radio meteor project // SCA. 1963. Vol. 7. P. 53-65.
- 100. Southworth R.B., Sekanina Z. Physical and dynamical studies of meteors // NASA CR-2316. – 1973. – P. 106.
- 101. *Sekanina Z., Southworth R.B.* Physical and dynamical studies of meteors. Meteorfragmentation and stream-distribution studies // NASA CR-2616. – 1975. – P. 94.

- 102. Olsson-Steel D. Asteroid 5025 P-L, Comet 1967 II Rudnicki, and the Taurid Meteoroid Complex // The Observatory. – 1987. – Vol. 107. – P. 157-160.
- 103. Ollson-Steel D. Identification of Meteoroid Streams from Apollo Asteroids in the Adelaide Radar Orbit Surveys // ICARUS. – 1988. – Vol. 75, Issue 1. – P. 64-96.
- 104. Лебединец В.Н., Корпусов В.Н., Манохина А.В. Радиолокационные наблюдения в Обнинске. Материалы мирового центра данных // М., 1982. – 136 с.
- 105. Кащеев Б.Л. Орбиты и численность метеоров по наблюдениям на экваторе. Материалы мирового центра данных. Каталог. декабрь 1968 - июль 1970. отв. ред. член-кор. АН СССР В. В. Федынский // М.: ВИНИТИ, 1975. – 167 с.
- 106. *Кащеев Б.Л.* Орбиты метеоров по наблюдениям на экваторе : материалы мирового центра данных. Каталог. апрель-июнь 1970. отв. ред. член-кор. АН СССР В. В. Федынский // М.: ВИНИТИ. 1977. 40 с.
- 107. *Кащеев Б.Л., Ткачук А.А.* Результаты радиолокационных метеоров слабых метеоров. Каталог орбит метеоров до +12^{*m*}. Материалы мирового центра данных // М.: 1980. 232 с.
- 108. Webster A.R., Brown P.G., Jones J., Ellis K.J., Campbell-Brown M. Canadian Meteor Orbit Radar (CMOR) // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2004. – Vol. 4. – P. 679-684.
- 109. Cook A.F., Hemenway C.L., Millman P.M. In Evolutionary and Physical Properties of Meteoroids, Proc. of IAU Colloq. 13, held in Albany, NY, 14–17 June 1971 // National Aeronautics and Space Administration SP. – 1973. – Vol. 319. – P. 183.
- 110. Molau S., Rendtel J. A Comprehensive List of Meteor Showers Obtained from 10 Years of Observations with the IMO Video Meteor Network // WGN, Journal of the International Meteor Organization. – 2009. – Vol. 37, Issue 4. – P. 98-121.
- 111. Jenniskens P., Nénon Q., Albers J., Gural P. S., Haberman B., Holman D., Morales R., Grigsby B. J., Samuels D., Johannink C. The established meteor showers as observed by CAMS // Icarus. – 2016. – Vol. 266. – P. 331-354.
- 112. Sekanina Z. Statistical Model of Meteor Streams. III. Stream Search Among 19303
 Radio Meteors // Icarus. 1973. Vol. 18, Issue. P. 253-284.

- 113. *Kronk G.W.* Meteor showers. A descriptive catalog // Hillside, N.J.: Enslow Publishersm. 1988. 291 p.
- 114. *Кащеев Б.Л., Лебединец В. Н., Лагутин М.Ф.* Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Наука. 1967. 260 с.
- 115. *Терентьева А.К.* Результаты исследований по межд. Геофиз. Проектам, Исследования метеоров, No 1. M: Наука. 1966. с. 62-132.
- 116. Kronk G.W. Cometography, Vol. 1. Cambridge: Cambridge University Press. 1999.
- 117. *Hawkins R.B., Southworth F. Steinon G.S.* Recovery of the Andromedids // AJ. 1959. Vol.64, Issue 183.
- 118. *Jenniskens P*. Meteor Showers and their Parent Comets // Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2006.
- 119. *Lindblad B. A.* A stream search among 865 precise photographic meteor orbits // Smithson. Contrib. Astrophys. – 1971. – No. 12. – P. 1-13.
- 120. *Madiedo J.M.* The ρ-Geminid meteoroid stream: Orbits, spectroscopic data and implications for its parent body // MNRAS. 2015. Vol. 448. P. 2135-2140.
- 121. Бережной А.А., Бусарев В.В., Ксанфомалити Л.В., Сурдин В.Г., Холшевников К.В. Солнечная система // М.: ФИЗМАЛИТ. 2009. 400 с.
- 122. Standish E.M., Williams J.C., Urban S., Seidelmann P.K. Orbital Ephemerides of the Sun, Moon, and Planets: Ch. 5 // Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac. Sausalito. California: University Science Books. – 2006. – P. 279-324.
- 123. *Dohnanyi J.S.* Collisional Model of Asteroids and Their Debris // Journal of Geophysical Research. 1969. Vol. 74. P. 2531-2554.
- 124. *Ryabova G.O.* Origin of the (3200) Phaeton Geminid meteoroid stream complex
 // EPSC Abstructs. EPSC 2008-A-00226. European Planetary Science Congress. –
 2008. Vol. 3.
- 125. Nefedyev Y.A., Sokolova M.G., Andreev A.O., Sergienko M.V., Demina N.Y. The use of the d-criterion method for the analysis of observational data of tunguska event // Meteoritics & planetary science. 2018. Vol. 53, Issue S1. P. 6188.

- 126. *Lindblad B.A.* A computerized stream search among 2401 photographic meteor orbits // Smithson. Contrib. Astrophys. 1971. Vol. 12. P. 14-24.
- 127. Jopek T.J., Froeschlé Cl. A stream search among 502 TV meteor orbits. An objective approach // Astronomy & Astrophysics. 1997. Vol. 320. P. 631-641.
- 128. *Ишмухаметова М.Г. Кондратьева Е.Д., Усанин В.С.* Анализ верхнего предела D-критерия Саутворта-Хокинса для метеороидных потоков Понс-Виннекид и Персеид // Астрономический вестник. – Т. 43. – № 5. – С. 453-458.
- 129. Milanov D.V., Milanova Yu.V., Kholshevnikov K.V. Relaxed triangle inequality for the orbital similarity criterion by Southworth and Hawkins and its variants // Celest. Mech. Dyn. Astron. – 2019. – Vol. 131, Issue 1. – Art. no. 5.
- 130. *Hamid S.E. Whipple F.L.* Common origin between the Quadrantids and the δ Aquarids streams / // The Astronomical Journal. 1963. Vol. 68. P. 537.
- 131. *Kozai Y*. Secular perturbations of asteroids with high inclination and eccentricity // The Astronomical Journal. 1962. Vol. 67. P. 591.
- 132. Babadzhanov P.B., Obrubov Yu.V., Halliday I., McIntosh B.A. Evolution of orbits and intersection conditions with the Earth of the Geminid and Quadrantid meteor showers. In Solid Particles in the Solar System // Proc. IAU Symp. 90, Kluwer. Dordrecht. – 1980. – P. 157-162.
- 133. Froeschlé Cl., Gonczi R., Rickman H., Štohl H.J., Williams I.P. New results on the connection between comet P/Machholz and the Quadrantid meteor stream: Poynting-Robertson drag and chaotic motion. In Meteoroids and their Parent Bodies // Slovakian Academy of Sciences. Bratislava. 1993. P. 269-272.
- 134. Valsecchi G.B., Jopek T.J., Froeschle Cl. Meteoroid stream identification: a new approach I. Theory // MNRAS. 1999. Vol. 304. P. 743-750.
- 135. Carusi A., Valsecchi G.B., Greenberg R. Planetary Close Encounters geometry of approach and past-encounter orbital parameters // Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy. – 1990. – Vol. 49. – P. 111-131.
- 136. Jopek T.J., Froeschle Cl. Valsecchi G.B. Asteroid Meteoroid Streams // Asteroids III. – 2000. – P. 645-652.

- 137. *Kresak L*. The discrimination between cometary and asteroidal meteoroids. I. The orbital criteria // Bull. Astron. Inst. Czech. 1969. Vol. 20. P. 177-188.
- 138. *Kresak L*. On the similarity of orbits of associated comets, asteroids and meteoroids // Bull. Astr. Inst. Czech-Sl. 1982. Vol. 33. P. 104-110.
- 139. *Kosai H*. Short-period comets and Apollo-Amor-Aten type asteroids in view of Tisserand invariant // Cel. Mech. and Dyn. Astron. 1992. Vol. 54. P. 237-240.
- 140. Whipple F. 1983 TB and the Geminid Meteors // in B. Marsden, ed., 'IAU Circular №3881, 1', IAU. 1983.
- 141. Крамер Е.Н. Шестака И.С. Квазистационарные параметры малых тел Солнечной системы // Астрономический вестник. – 1987. – Т. 21. – №1. – С. 75-83.
- 142. Лидов М.Л. Эволюция орбит искусственных спутников планет под действием гравитационных возмущений внешних тел // Искусственные спутники Земли. – 1961. – вып. 8. – С. 5-45.
- 143. Шестака И.С. Комплексы малых тел Солнечной системы // Астрономический вестник. 1994. Т. 28. № 6. С. 70-82.
- 144. Asher D.J., Clube V.M., Steel D.I. The Nature of Punctuational Crises and the Spenglerian Model of Civilization // Vistas in Astronomy. – 1995. – MNRAS. – Vol. 264. – P. 93.
- 145. Porubcan V., Kornoš L., Williams I. Contributions of the Astronomical Observatory Skalnate Pleso // Astronomical Society of Japan. 2006. Vol. 36. P.103.
- 146. *Rudawska R. Vaubaillon J., Atreya P.* Association of individual meteors with their parent bodies // Astronomy & Astrophysics. 2012. Vol. 541. P.5.
- 147. *Vaubaillon J., Colas F., Jorda L.* A new method to predict meteor showers—I. Description of the model // Astronomy & Astrophysics. 2005. Vol. 439, Issue 2. P. 751-760.
- 148. Šegon D.A, Gural P., Andreic Ž. Parent Body Search Across Several Video Meteor Data Bases // Proceedings of the Meteoroids 2013 Conference, Poznań, Poland, 26– 30 August 2013, A.M. University Press. – 2014. – P. 251-262.

- 149. *Lindblad B.A.* A stream search among 865 precise photographic meteor orbits // Smithson. Contrib. Astrophys. 1971. No. 12. P. 1-13.
- 150. Ryabova G.O. A preliminary numerical model of the Geminid meteoroid stream // MNRAS. – 2016. – Vol. 456. – P. 78.
- 151. Dumitru B.A. Birlan M., Popescu M., Nedelcu D.A. Association between meteor showers and asteroids using multivariate criteria // Astronomy & Astrophysics. – 2017. – Vol. 607. – P. 5.
- 152. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений // М.: Наука, 1971.
 576 с.
- 153. *Кащеев Б.Л., Волощук Ю.И.* Методика расчета средних орбит метеорных потоков // Астроном. вестник. 1999. Т. 33. № 4. С. 345-359.
- 154. Сергиенко М.В., Соколова М.Г., Нефедьев Ю.А., Андреев А.О. Метеорный поток к-Цигниды и его связь с околоземными астероидами // Астрономический журнал. 2020. Т. 97. №12. С. 1051-1056.
- 155. Sokolova M.G., Nefedyev Y.A., Sergienko M.V., Demina N.Y., Andreev A.O. Analysis of the Lyrids' meteor stream structure for long timeslots // Advances in Space Research. – 2016. – Vol. 58, Issue 4. – P. 541-544.
- 156. Sergienko M.V., Sokolova M.G., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. Analysis of the genetic connections between near-earth objects and delta cancrids meteoroids // Meteoritics & planetary science. – 2019. – Vol. 54, Issue 2. – P. 6057.
- 157.Sergienko M.V., Sokolova M.G., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. The kappa cygnids meteoroid shower and its connection with near-earth asteroids // Meteoritics & planetary science. – 2019. – Vol. 54, Issue 2. – P. 6056.
- 158. Sokolova M.G., Sergienko M.V., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. Dynamic evolution of the orbits of 2001yb5 and (356394) 2010qd2 asteroids // Meteoritics & planetary science. – 2019. – Vol. 54, Issue 2. – P. 6059.
- 159. Sergienko M.V., Sokolova M.G., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. Search for possible connections of the h-Virginids meteor shower with near-Earth asteroids // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2103. – P. 012037.
- 160. Nefedyev Y.A., Sergienko M.V., Andreev A.O. The coordinate ranging of the delta Cancrids meteor shower // Meteoritics & Planetary Science. – 2021. – Vol. 56, Issue 1. – P. 6088.

- 161. Соколова М.Г., Сергиенко М.В. Радианты и элементы орбит метеороидов комплекса δ-Канкриды // Научные труды Института Астрономии РАН. – 2020. – Т. 5. – № 3. – С. 125-128.
- 162. Sergienko M.V., Sokolova M.G., Nefedyev Y.A., Andreev A.O. ρ-Geminids meteor shower and its connection with near-earth asteroids // St. Petersburg State Polytechnic University Journal. Physics and Mathematics. – 2023. – Vol. 16. – No. 1.2. – P. 523-529, DOI: https://doi.org/10.18721/JPM.
- 163. Сергиенко М.В., Соколова М.Г. Проблема изучения и отождествления малых метеорных потоков // Околоземная астрономия 2015: сборник междунар. науч. конф. – М.: 2015. – С. 89-95.
- 164. *Сергиенко М.В.* Многофакторный анализ связей малых метеорных потоков с астероидно-кометными объектами. Научно-квалификац. работа // 2018. 126 с.
- 165. Сергиенко М.В., Соколова М.Г., Нефедьев Ю.А. Андромедиды и их связь с околоземными астероидами // Околоземная астрономия - 2022; сборник науч.практич. конф. с межд. участ., 18-21 апреля 2022. – С. 22-23.
- 166. *Dumitru B.A.* Near Earth Asteroids associated with meteor showers // Astrophysics, PSL Research University. Universitatea București. 2018. 131 p.
- 167. Jacchia L.G., Whipple E.L. Precision orbits of 413 photographic meteors // 1961. –
 Vol. 4. №4. P. 97.
- 168. Williams I., Jones D., Williams I., Porubcan V. The Kappa Cygnid meteoroid complex // MNRAS. 2006. Vol.71. P. 684-694.
- 169. *Jenniskens P. Vaubaillon J.* Minor Planet 2008 ED69 and the Kappa Cygnid Meteor Shower // Astronomical Journal. 2008. Vol.136, Issue 2. P. 725-730.
- 170. *Бабаджанов П.Б., Кохирова Г.И.* Метеорные потоки астероидов, пересекающих орбиту Земли // Душанбе: Дониш. 2009. с. 185.
- 171. *Freistetter F*. A new dynamical classification of asteroids // Thesis for: Dr. rer. nat.
 (PhD). 2004. P. 165.
- 172. Emel'yanenko V.V. Resonance Structure of Meteoroid Streams // Proc. Meteoroids–2001 Conf., Kiruna: Swedish Inst. of Space Physics, Aug. 6_10. – 2001. – P. 43-45.

- 173. *Bel'kovich O.I., Ishmukhametova M.G., Kondrat'eva E.D.* On Activity Periods of the April Lyrids // Solar System Research. 2011. Vol. 45. No. 6. P. 529-538.
- 174. Белькович О.И., Ишмухаметова М.Г., Сулейманов Н.И. Современные методы обработки визуальных наблюдений метеорных потоков и их возможности // Астрономический вестник. 2001. Т. 35. № 5. С. 440-448.
- 175. *Левин Б.Ю*. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в солнечной системе // М.: 1956. 293 с.
- 176. Bel'kovich O.I., Ishmukhametova M.G. Comparison of two methods of visual meteor observation // WGN Jornal The International Meteor Organization. – 1997. – Vol. 25. – № 2. – P. 79-84.
- 177. Molau S.A, Rendtel R. Comprehensive list of meteor showers obtained from 10 years of observations with the IMO video meteor network // WGN. Journal of the International Meteor Organization. 2009. Vol. 37. № 4. P.98-121.
- 178. Артемьева Н.А. Баканас Е.С., Барабанов С.И. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра, под ред. Б.М. Шустова, Л.В. Рыхловой. М.: Физматлит. – 2010. – 384 с.
- 179. Тохтасьев B.C.Шкалы радиометеоров, масс для визуальных И фотографических масс // Труды Всесоюз. Симпозиума «Проблемы радиометрических исследований атмосферы». Харьков. – 1977. – С. 26.
- 180. Кохирова Г.И., Буриев А.М., Хамроев У.Х., Баканас Е.С., Мулло-Абдолов А.Ш., Абуллоев С.Х. Наблюдения кометы 41 Р/Туттля-Джакобини-Кресака в период ее сближения с Землей в астрономических обсерваториях Таджикистана // доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2018. – Т. 61. – №7-8. – С. 620-630.
- 181. *Кащеев Б.Л., Волощук Ю.И*. Методика расчета средних орбит метеорных потоков // Астроном. вестник. 1999. Т. 33. № 4. С. 345-359.
- 182. Ceplecha Z. Multiple fall of Pribram meteorites photographed. 1. Double-station photographs of the fireball and their relations to the found meteorites // Bull. Astron. Inst. Czechosl. 1961. Vol. 12. P. 21.

- 183. McCrosky R.E., Posen A., Schwartz G., Shao C.-Y. Lost City meteorite its recovery and a comparison with other fireballs // J. Geophys. Res. – 1971. – Vol. 76. – P. 4090–4108.
- 184. Halliday I., Griffin A.A., Blackwell A.T. The Innisfree meteorite fall: A photographic analysis of fragmentation, dynamics and luminosity // Meteoritics. 1981. Vol. 16, Issue 2. P. 153–170.
- 185. Сергиенко М.В., Соколова М.Г. Структура метеорного комплекса δ-Канкрид // Околоземная астрономия и космическое наследие 2019: сборник XI междунар. науч. конф. – М.: 2019. – С. 39-40.

ПРИЛОЖЕНИЕ



Рис. 1 Приложения. Автоматизированный программный комплекс

анализа МНТ АПКАМНТ



Рис. 2 Приложения. Зависимость D критериев Саутворта - Хокинса, Йопека и Драммонда для каталогов [83,84,86] от долготы восходящего узла метеорных орбит Ω для метеорных потоков Лириды, Персеиды, Ориониды, Леониды, Дракониды, Урсиды, Геминиды
D AH	(2017 YO4)	(2019 AQ)	(1991 AQ)	(2015 PU228)	(2010 QD2)	(2014 YQ34)	2212 Hephaistos (1978 SB)	(2011 SR12)	(2014 RS17)	(2001 YB5)	(2001 BO61)	(2003 RW11)	(2006 AM8)	(2006 BF56)	(2010 XC11)	(2002 RT129)	(2016 AM66)	(1990 SM)	(2017 BT93)	(2016 SN2)	(2005 RC)	(2014 RD11)	(2004 BF85)	(2014 BX2)	(2015 PC)	(2018 RB)	(2012 XR134)
(2017 YO4)	0	4,02	2,84	2,91	4	3,35	3,08	2,11	0,27	2,55	2,25	3,98	3,88	0,03	2,29	0,15	0,09	2,97	1,06	0,02	3,7	2,32	3,74	1,16	0,26	3,93	2,49
(2019 AQ)	4,02	0	1,33	1,27	0	0,84	0,8	1,74	3,82	1,33	1,95	0,14	0,2	3,97	1,94	3,81	3,93	0,9	2,83	4	0,41	1,92	0,38	3,01	3,83	0,05	1,37
(1991 AQ)	2,84	1,33	0	0	1,35	0,1	3,08	3,77	1,85	3,52	0,13	0,87	0,57	3,11	0,1	3,44	3,32	3,19	4	2,74	0,32	0,09	0,36	0,71	1,85	1,75	3,57
(2015 PU228)	2,91	1,27	0	0	1,28	0,08	3,01	3,74	1,93	3,47	0,16	0,8	0,53	3,17	0,12	3,49	3,37	3,13	4	2,81	0,28	0,11	0,33	0,77	1,92	1,68	3,52
(2010 QD2)	4	0	1,35	1,28	0	0,84	0,76	1,7	3,83	1,28	1,99	0,12	0,22	3,95	1,95	3,8	3,9	0,87	2,78	4	0,43	1,93	0,41	3,03	3,84	0,04	1,33
(2014 YQ34)	3,35	0,84	0,1	0,08	0,84	0	2,54	3,44	2,47	3,07	0,44	0,42	0,26	3,56	0,34	3,83	3,69	2,68	3,94	3,29	0,09	0,33	0,15	1,23	2,46	1,21	3,15
2212 Hephaistos (1978 SB)	3,08	0,8	3,08	3,01	0,76	2,54	0	0,27	3,78	0,09	3,58	1,26	1,61	2,81	3,53	2,45	2,6	0,01	1,04	3,19	1,99	3,52	1,98	3,99	3,77	0,48	0,11
(2011 SR12)	2,11	1,74	3,77	3,74	1,7	3,44	0,27	0	3,07	0,07	3,98	2,3	2,63	1,8	3,99	1,41	1,59	0,2	0,3	2,23	2,99	3,99	2,96	3,86	3,07	1,31	0,04
(2014 RS17)	0,27	3,82	1,85	1,93	3,83	2,47	3,78	3,07	0	3,45	1,22	3,59	3,27	0,45	1,31	0,71	0,64	3,7	2,07	0,2	2,95	1,34	2,98	0,38	0,01	3,96	3,37
(2001 YB5)	2,55	1,33	3,52	3,47	1,28	3,07	0,09	0,07	3,45	0	3,9	1,82	2,21	2,25	3,83	1,89	2,01	0,07	0,57	2,7	2,58	3,83	2,58	3,99	3,44	0,94	0,02
(2001 BO61)	2,25	1,95	0,13	0,16	1,99	0,44	3,58	3,98	1,22	3,9	0	1,52	1,08	2,56	0,07	2,9	2,83	3,65	3,9	2,1	0,77	0,07	0,78	0,31	1,24	2,39	3,89
(2003 RW11)	3,98	0,14	0,87	0,8	0,12	0,42	1,26	2,3	3,59	1,82	1,52	0	0,1	4,01	1,37	4,05	3,99	1,4	3,25	4	0,18	1,35	0,22	2,53	3,57	0,29	1,92
(2006 AM8)	3,88	0,2	0,57	0,53	0,22	0,26	1,61	2,63	3,27	2,21	1,08	0,1	0	3,98	1,07	4	4,04	1,75	3,55	3,82	0,05	1,05	0,04	2,15	3,28	0,44	2,26
(2006 BF56)	0,03	3,97	3,11	3,17	3,95	3,56	2,81	1,8	0,45	2,25	2,56	4,01	3,98	0	2,59	0,07	0,02	2,68	0,79	0,07	3,84	2,61	3,88	1,45	0,43	3,81	2,18
(2010 XC11)	2,29	1,94	0,1	0,12	1,95	0,34	3,53	3,99	1,31	3,83	0,07	1,37	1,07	2,59	0	3,01	2,81	3,63	3,88	2,21	0,73	0,01	0,8	0,34	1,3	2,37	3,89
(2002 RT129)	0,15	3,81	3,44	3,49	3,8	3,83	2,45	1,41	0,71	1,89	2,9	4,05	4	0,07	3,01	0	0,07	2,3	0,54	0,17	3,97	3,04	3,96	1,85	0,72	3,58	1,78
(2016 AM66)	0,09	3,93	3,32	3,37	3,9	3,69	2,6	1,59	0,64	2,01	2,83	3,99	4,04	0,02	2,81	0,07	0	2,48	0,62	0,16	3,94	2,83	4	1,7	0,61	3,73	1,97
(1990 SM)	2,97	0,9	3,19	3,13	0,87	2,68	0,01	0,2	3,7	0,07	3,65	1,4	1,75	2,68	3,63	2,3	2,48	0	0,92	3,07	2,13	3,61	2,1	4	3,7	0,56	0,07
(2017 BT93)	1,06	2,83	4	4	2,78	3,94	1,04	0,3	2,07	0,57	3,9	3,25	3,55	0,79	3,88	0,54	0,62	0,92	0	1,19	3,75	3,89	3,76	3,2	2,05	2,4	0,53
(2016 SN2)	0,02	4	2,74	2,81	4	3,29	3,19	2,23	0,2	2,7	2,1	4	3,82	0,07	2,21	0,17	0,16	3,07	1,19	0	3,63	2,23	3,64	1,05	0,21	3,94	2,6
(2005 RC)	3,7	0,41	0,32	0,28	0,43	0,09	1,99	2,99	2,95	2,58	0,77	0,18	0,05	3,84	0,73	3,97	3,94	2,13	3,75	3,63	0	0,71	0,01	1,75	2,95	0,71	2,64
(2014 RD11)	2,32	1,92	0,09	0,11	1,93	0,33	3,52	3,99	1,34	3,83	0,07	1,35	1,05	2,61	0,01	3,04	2,83	3,61	3,89	2,23	0,71	0	0,77	0,35	1,32	2,34	3,88
(2004 BF85)	3,74	0,38	0,36	0,33	0,41	0,15	1,98	2,96	2,98	2,58	0,78	0,22	0,04	3,88	0,8	3,96	4	2,1	3,76	3,64	0,01	0,77	0	1,8	2,99	0,68	2,61

Таблица 1 Приложения. Взаимные (между AC3) значения критерия Ашера D AH для потока δ-Канкриды (SCC).

(2014 BX2)	1,16	3,01	0,71	0,77	3,03	1,23	3,99	3,86	0,38	3,99	0,31	2,53	2,15	1,45	0,34	1,85	1,7	4	3,2	1,05	1,75	0,35	1,8	0	0,38	3,36	3,97
(2015 PC)	0,26	3,83	1,85	1,92	3,84	2,46	3,77	3,07	0,01	3,44	1,24	3,57	3,28	0,43	1,3	0,72	0,61	3,7	2,05	0,21	2,95	1,32	2,99	0,38	0	3,96	3,37
(2018 RB)	3,93	0,05	1,75	1,68	0,04	1,21	0,48	1,31	3,96	0,94	2,39	0,29	0,44	3,81	2,37	3,58	3,73	0,56	2,4	3,94	0,71	2,34	0,68	3,36	3,96	0	0,97
(2012 XR134)	2,49	1,37	3,57	3,52	1,33	3,15	0,11	0,04	3,37	0,02	3,89	1,92	2,26	2,18	3,89	1,78	1,97	0,07	0,53	2,6	2,64	3,88	2,61	3,97	3,37	0,97	0

Таблица 2 Приложения. Взаимные (между АСЗ) значения критерия Саутворта-Хоккинса D SH для потока δ-Канкриды (SCC).

D SH	(2017 YO4)	(2019 AQ)	(J91 AQ)	(2015 PU228)	(2010 QD2)	(2014 YQ34)	ZZ1Z HEPhaistos (1978 SR)	(2011 SR12)	(2014 RS17)	(2001 YB5)	(2001 BO61)	(2003 RW11)	(2006 AM8)	(2006 BF56)	(2010 XC11)	(2002 RT129)	(2016 AM66)	(1990 SM)	(2017 BT93)	(2016 SN2)	(2005 RC)	(2014 RD11)	(2004 BF85)	(2014 BX2)	(2015 PC)	(2018 RB)	(2012 XR134)
(2017 YO4)	0	3.51	4.47	3.58	4.85	3.75	3.61	3.56	3.01	3.12	5.28	5.41	5.69	2.15	3.08	1.69	4.75	2.26	1.42	3.75	4.48	4.78	3.93	4.06	1.27	0.75	1.16
(2019 AQ)	3,51	0	1,24	3,62	4,24	1,34	1,05	3,86	3,23	2,71	3,06	1,85	4,38	3,27	3,17	5,88	5,45	2,25	4,78	6,03	1,89	1,67	2,12	3,19	2,35	1,71	4,72
(1991 AQ)	4,47	1,24	0	2,41	3,77	0,47	3,05	5,84	2,79	3,94	1,33	0,86	2,66	5,56	2,6	5,69	5,53	3,33	6,14	5,17	1,7	0,47	0,34	1,6	3,98	2,92	5,92
(2015 PU228)	3,58	3,62	2,41	0	1,31	2,03	5,63	4,45	3,69	5,55	1,56	3,27	1,18	3,17	0,15	3,46	4,03	5,52	4,13	2,78	1,56	2,39	2,59	1,98	1,99	2,47	3,59
(2010 QD2)	4,85	4,24	3,77	1,31	0	3,13	4,26	2,72	5,34	3,56	2,66	2,62	1,01	2,24	1,61	2,9	1,85	6,17	2,89	1,27	3,03	4,05	4,33	1,76	3,07	4,14	3,74
(2014 YQ34)	3,75	1,34	0,47	2,03	3,13	0	2,87	6,09	4,32	3,13	2,51	0,85	3,24	4,72	1,9	5,38	6	4,4	5,27	5	2,63	1,66	1,19	0,87	3,19	2,12	5,87
2212 Hephaistos (1978 SB)	3,61	1,05	3,05	5,63	4,26	2,87	0	2,62	4,39	0,77	4,96	2,13	5,42	2,7	5,21	4,76	3,94	2,16	3,16	4,91	4,18	3,82	3,85	3,54	3,4	2,89	4,26
(2011 SR12)	3,56	3,86	5,84	4,45	2,72	6,09	2,62	0	3,31	3,05	4,25	5,15	3,47	0,93	4,45	2,27	0,96	2,64	1,5	2,19	3,43	5,01	5,83	5,52	2,62	3,92	1,32
(2014 RS17)	3,01	3,23	2,79	3,69	5,34	4,32	4,39	3,31	0	5,5	1,65	4,63	3,17	4,55	4,08	3,26	3,54	0,92	4,43	4,07	1,69	1,48	1,72	5,15	3,58	3,33	2,36
(2001 YB5)	3,12	2,71	3,94	5,55	3,56	3,13	0,77	3,05	5,5	0	5,87	2,17	5,39	2,8	5,31	3,16	3,29	3,26	1,93	3,31	5,97	5,29	4,42	2,43	3,98	3,35	3,97
(2001 BO61)	5,28	3,06	1,33	1,56	2,66	2,51	4,96	4,25	1,65	5,87	0	2,41	0,66	5,08	2,23	4,48	3,31	3,64	5,84	3,37	0,68	0,52	1,07	2,83	4,15	4,3	4,52
(2003 RW11)	5,41	1,85	0,86	3,27	2,62	0,85	2,13	5,15	4,63	2,17	2,41	0	2,64	5,15	3,56	5,28	4,22	4,37	5,23	3,98	3,29	1,94	1,56	0,79	4,99	4,16	6,46
(2006 AM8)	5,69	4,38	2,66	1,18	1,01	3,24	5,42	3,47	3,17	5,39	0,66	2,64	0	4,14	1,94	3,48	1,98	5,21	4,69	1,74	1,64	2,08	2,57	2,36	4,24	5,06	4,19
(2006 BF56)	2,15	3,27	5,56	3,17	2,24	4,72	2,7	0,93	4,55	2,8	5,08	5,15	4,14	0	2,67	2,32	2,54	3,66	0,97	2,72	3,59	5,5	6,03	4,52	0,84	1,93	1,24
(2010 XC11)	3,08	3,17	2,6	0,15	1,61	1,9	5,21	4,45	4,08	5,31	2,23	3,56	1,94	2,67	0	3,76	4,69	5,5	3,96	3,42	1,72	2,77	3,02	2,27	1,34	1,77	3,49
(2002 RT129)	1,69	5,88	5,69	3,46	2,9	5,38	4,76	2,27	3,26	3,16	4,48	5,28	3,48	2,32	3,76	0	1,58	3,35	0,63	0,73	5,1	5,55	4,68	3,6	3,07	3,44	0,81
(2016 AM66)	4,75	5,45	5,53	4,03	1,85	6	3,94	0,96	3,54	3,29	3,31	4,22	1,98	2,54	4,69	1,58	0	3,78	1,96	0,63	4,06	4,82	5,07	4,11	4,53	5,7	2,2
(1990 SM)	2,26	2,25	3,33	5,52	6,17	4,4	2,16	2,64	0,92	3,26	3,64	4,37	5,21	3,66	5,5	3,35	3,78	0	3,31	4,74	3,11	2,66	2,64	5,4	3,34	2,72	2,24
(2017 BT93)	1,42	4,78	6,14	4,13	2,89	5,27	3,16	1,5	4,43	1,93	5,84	5,23	4,69	0,97	3,96	0,63	1,96	3,31	0	1,52	5,49	6,41	5,82	3,93	2,14	2,63	0,82
(2016 SN2)	3,75	6,03	5,17	2,78	1,27	5	4,91	2,19	4,07	3,31	3,37	3,98	1,74	2,72	3,42	0,73	0,63	4,74	1,52	0	4,54	5,04	4,57	2,66	4,07	4,9	2,12
(2005 RC)	4,48	1,89	1,7	1,56	3,03	2,63	4,18	3,43	1,69	5,97	0,68	3,29	1,64	3,59	1,72	5,1	4,06	3,11	5,49	4,54	0	0,73	1,89	3,96	2,41	2,86	3,81
(2014 RD11)	4,78	1,67	0,47	2,39	4,05	1,66	3,82	5,01	1,48	5,29	0,52	1,94	2,08	5,5	2,77	5,55	4,82	2,66	6,41	5,04	0,73	0	0,43	2,95	3,97	3,4	5,13
(2004 BF85)	3,93	2,12	0,34	2,59	4,33	1,19	3,85	5,83	1,72	4,42	1,07	1,56	2,57	6,03	3,02	4,68	5,07	2,64	5,82	4,57	1,89	0,43	0	1,99	4,35	3,18	5,1
(2014 BX2)	4,06	3,19	1,6	1,98	1,76	0,87	3,54	5,52	5,15	2,43	2,83	0,79	2,36	4,52	2,27	3,6	4,11	5,4	3,93	2,66	3,96	2,95	1,99	0	4,1	3,39	5,37
(2015 PC)	1,27	2,35	3,98	1,99	3,07	3,19	3,4	2,62	3,58	3,98	4,15	4,99	4,24	0,84	1,34	3,07	4,53	3,34	2,14	4,07	2,41	3,97	4,35	4,1	0	0,46	1,61
(2018 RB)	0,75	1,71	2,92	2,47	4,14	2,12	2,89	3,92	3,33	3,35	4,3	4,16	5,06	1,93	1,77	3,44	5,7	2,72	2,63	4,9	2,86	3,4	3,18	3,39	0,46	0	2,32
(2012 XR134)	1,16	4,72	5,92	3,59	3,74	5,87	4,26	1,32	2,36	3,97	4,52	6,46	4,19	1,24	3,49	0,81	2,2	2,24	0,82	2,12	3,81	5,13	5,1	5,37	1,61	2,32	0