

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого

Президента России Б.Н. Ельцина»

«»
А.В. Германенко
2023 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» на диссертационную работу Сергиенко Марии Викторовны «Создание системы генетических связей метеорных потоков и их родительских тел с использованием синтетического метода», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Диссертационная работа Сергиенко Марии Викторовны посвящена актуальной проблеме исследования связи малых метеорных потоков, для которых не найдено родительское тело, с околоземными астероидами. В диссертации выполнено построение системы генетически связанных малых небесных тел с помощью созданного синтетического метода.

Полученные в диссертационной работе результаты, несомненно, обладают высокой научной ценностью и новизной. Автор диссертации усовершенствовала методику поиска вероятных связей метеорных потоков-сирот с околоземными объектами (астероидами, потухшими кометами или осколками их разрушения) и создала синтетический метод для нахождения генетических связей малых небесных тел, разработала алгоритм определения пороговых значений критериев их генетических связей, а также разработала независимый способ отбора кандидатов в родительские тела. В диссертации

определена связь между пятью метеорными потоками: δ -Канкриды, обе ветви – северные NCC и южные SCC, и связанными с ними 17 и 27 астероидами Аполлонами соответственно; κ -Цигниды и связанными с ними 6 астероидами Аполлонами и 2 астероидами Амурами; метеорным потоком h-Виргинид и связанными с ним 6 астероидами группы Аполлоны и 1 астероидом группы Амуры; с потоком Андромедида и связанными с ним 12 астероидами Аполлонами; потоком ρ -Геминид и связанными с ним 18 астероидами группы Аполлоны. Для всех отождествленных с метеорными потоками родительских тел автор произвел проверку генетических связей выделенных АСЗ между собой с помощью независимых критериев: *D* критерия Ашера и критерия Саутворта–Хоккинса. Также автор изучил структурные особенности метеорного потока δ -Канкриды, а именно, характер изменения функции светимости метеоров вдоль орбиты Земли, определил величину среднегодовой максимальной активности потока и момент ее наступления, смоделировал профиль активности потока и распределение пространственной плотности в потоке по массам. М.В. Сергиенко по данным каталогов метеорных орбит SonatoCo и CAMS построила зависимости большой полуоси от массы и эксцентриситета и оценила возрастные параметры потока δ -Канкрид от влияния негравитационного эффекта Пойнтинга–Робертсона. Также для орбит NCC по каталогу CAMS в диапазоне наблюдаемых звездных величин от -2^m до $+3^m$ автором диссертации получены изменения большой полуоси и эксцентриситета в зависимости от массы в потоке.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 218 страницах, содержит 55 рисунков и 72 таблицы. Список источников включает 185 наименований, изложенных на 16 страницах. В приложении на 4 страницах даны дополнительные материалы по диссертации.

Во введении представлен краткий обзор предмета исследования и содержания диссертационной работы. Определены ее актуальность, цели, задачи, научная новизна полученных результатов, их научная значимость. Представлена информация об апробации результатов на всероссийских и международных конференциях и о публикации полученных данных в рецензируемых изданиях, а также о вкладе автора в диссертационную работу.

В Главе 1 содержится обзор современных тенденций и проблем в области изучения малых тел Солнечной системы. Проанализированы и обобщены работы по теме исследования. Рассматривается проблема недостаточного изучения малых метеорных потоков с низким зенитно-часовым числом и проблема неполного изучения их родственных связей с астероидами, сближающимися с Землей. Приводятся результаты анализа орбитальных и спектральных параметров в группах околоземных астероидов. Согласно результатам анализа параметров, сделан вывод, что астероиды групп Амуры и Аполлоны по всем параметрам подходят для того, чтобы осуществлять в них поиск родственных тел для потоков.

В Главе 2 рассматривается создание синтетического метода для изучения родственных связей между малыми телами. Показано, что синтетический метод включает объединение критериев схожести орбит, а именно, критерия D Драммонда, метрики ρ Холшевникова, параметров μ и ν , параметра Тиссерана T , и долготы перигелия π . Приводится результат тестирования характера изменения D критериев, в зависимости от геометрии орбит и ошибок методов наблюдений. Показано, что D критерий Драммонда имеет более высокую внешнюю и внутреннюю сходимость относительно геометрии орбит малых небесных тел и селекционных ошибок наблюдений метеоров разными методами и наиболее подходит для включения в синтетический метод по изучению связей малых небесных тел. Рассмотрены существующие способы определения верхних пороговых значений критериев и проблемы неоднозначности их определения. Сделан вывод, что не существует общего принципа установления пороговых значений критериев.

Данный факт приводит к тому, что в научных публикациях в качестве родительского тела для конкретного метеорного потока выявляются разные небесные тела.

В Главе 3 описывается созданный алгоритм для определения критических значений критериев синтетического метода. Показано, что для каждого критерия, приведенного в синтетическом методе, необходимо определять свои пороговые значения и их среднеквадратичные ошибки индивидуально для каждого исследуемого метеорного потока. Разработана методика независимого отбора кандидатов в родительские тела. Вводится общий фактор, как мера выполнения всех критериев, который применяется для отбора объектов с близкими орбитами, чем выше этот фактор, тем более вероятна генетическая связь малых небесных тел. Приведены основные результаты применения синтетического метода к исследованию генетической связи метеорных потоков с околоземными астероидами групп Аполлоны и Амуры.

В главе 4 приведен анализ вероятных связей малых метеорных потоков с АСЗ на основе синтетического метода и анализируются полученные результаты. Сделаны основные выводы по достоверности и надежности найденных параметров генетически связанных малых небесных тел. Была проведена проверка генетических связей внутри групп родительских тел, среди выделенных АСЗ между собой. Определена связь между пятью метеорными потоками и связанными с ними астероидами: δ -Канкриды, обе ветви – северные NCC и южные SCC, и их связь с 17 и 27 астероидами Аполлонами соответственно, κ -Цигниды и их связь с 6 астероидами Аполлонами и 2 астероидами Амурами, для h-Виргинид – 6 астероидов группы Аполлоны и 1 астероид группы Амуры, с потоком Андромедиды – 12 астероидов Аполлонов, для ρ -Геминид – 18 астероидов группы Аполлоны. Для δ -Канкрид за 17 лет изучена структура потока и характер изменения функции светимости метеоров вдоль орбиты Земли, а также определена величина среднегодовой максимальной активности и момент ее наступления,

построены профили активности потока по его зенитно-часовому числу, и распределения по массам в потоке. На основе телевизионных наблюдений изучена структура радиантов ветвей потока, построены зависимости большой полуоси от массы и эксцентриситета от массы, а также выполнен их анализ. Анализируя влияния негравитационного эффекта Пойнтинга–Робертсона на метеороидные частицы оценен возраст потока δ -Канкриды.

В Заключение перечислены основные результаты диссертационной работы, а также направления дальнейшего развития темы диссертации.

В Приложении приведен поясняющий материал по главам диссертации. Представлен алгоритм автоматизированного программного комплекса анализа малых небесных тел. Приведены графики зависимости D критериев Саутворта–Хокинса, Йопека и Драммонда от долготы восходящего узла метеорных орбит Ω для метеорных потоков Лириды, Персеиды, Ориониды, Леониды, Драконида, Урсиды, Геминиды, как пояснения при анализе устойчивости D критериев. Даны таблицы с данными взаимных значений между АСЗ по критериям Ашера и Саутворта–Хоккинса для потоков.

Научная новизна заключается в том, что впервые разработан, создан и применен на практике синтетический метод генетических связей околоземных объектов по нахождению генетических связей малых небесных тел на основе совокупности критериев; впервые разработан алгоритм нахождения пороговых значений для всех критериев генетических связей малых тел, используемых в синтетическом методе; впервые создан и применен в работе независимый способ отбора кандидатов в родительские тела; впервые произведен анализ вероятных связей малых метеорных комплексов δ -Канкриды, κ -Цигниды, h -Виргиниды, Андромедиды и p -Геминиды с АСЗ на основе синтетического метода; впервые за период 17 лет построены и проанализированы структурные параметры метеорного потока δ -Канкриды.

Научная и практическая значимость подтверждается тем, что с помощью созданного синтетического метода по определению генетических связей малых тел получены более достоверные родственные связи; подтверждено предположение о возможности поиска родительских тел в группах Аполлона и Амура; разработанный алгоритм нахождения пороговых значений критериев генетических связей малых тел может в дальнейшем использоваться для нахождения их генетических связей; примененный способ отождествления кандидатов в родительские тела на основе интервальной оценки при помощи среднеквадратичного отклонения позволил получить более достоверные результаты.

Достоверность результатов, публикации и апробация работы

Достоверность полученных результатов, положений и выводов обоснована выбором объектов исследования, использованием современных данных наблюдений, применением совокупности критериев генетической общности, оценкой взаимосвязей динамических параметров для групп определенных родительских тел для метеорных потоков. А также согласованностью с опубликованными результатами других авторов. Также достоверность подтверждается опубликованием полученных результатов в 9 статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, и еще в 10 публикациях по теме исследования.

Результаты проведенных исследований были представлены на различных всероссийских и международных конференциях, в том числе на конференциях «Всероссийская астрономическая конференция» в 2017 и 2019 годах, «Всероссийская астрометрическая конференция, Пулково» в 2018 году, «Третья астрометрическая конференция-школа «Астрометрия вчера, сегодня, завтра»» в 2019 году, а также на международных конференциях «Околоземная астрономия» в 2015, 2017, 2019 и 2022 годах, «PhysicA.SPb» в 2019, 2020, 2021 и 2022 году, «Annual Meeting of the Meteoritical Society» в 2018 и 2021 годах и на ряде других конференций.

Все результаты, выносимые на защиту, получены автором в ходе совместных исследований и опубликованы с соавторами в научных статьях. При этом личный вклад автора в эти работы значителен. М.В. Сергиенко принимала активное участие в анализе данных, расчетах и последующей интерпретации результатов, а также непосредственно участвовала во всех этапах публикации вышеперечисленных статей.

Замечания по диссертационной работе

Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, она логично построена и хорошо структурирована. Тем не менее есть ряд замечаний по содержанию проведенного исследования.

1. На странице 65 анализируется распределение астероидов-Аполлонов по эксцентриситетам орбит. Большие эксцентриситеты орбит не обязательно указывают на связь АСЗ с кометами. Например, при выбросе астероидов главного пояса из области резонанса 3:1 с Юпитером, могут формироваться орбиты с эксцентриситетами более 0.6.
2. На странице 84 дана фраза: «Было выявлено, что значение квазистационарного параметра μ для потоков не вычисляется для большинства числа метеорных орбит». Желательно пояснить, в каком смысле параметр μ , зависящий от большой полуоси, эксцентриситета и наклона, оказывается невычислимым.
3. Во второй главе обсуждается использование долготы перигелия в качестве составляющей критериев для синтетического метода. Желательно было бы привести качественное и количественное описание характера эволюции долготы перицентра: циркуляция или либрация, характерная скорость изменения.
4. В таблицах 3.2–3.19 приведены пороговые значения критериев. В каких единицах указаны значения для метрики Холшевникова и ее среднеквадратического отклонения?

5. В главе 4 анализируются возможные родительские тела метеорных потоков. При этом также ведется поиск родительских тел, которые в прошлом могли составлять единый объект. При поиске применяются варианты *D*-критерия Ашера и Саусворта–Хоккинса. Известно, и об этом в диссертации упоминается, что *D*-критерий не является метрикой в пространстве кеплеровых орбит. Почему при решении данной задачи не применялись естественные для пространства кеплеровых орбит метрики Холшевникова?
6. Надо пояснить, что понимается под пересечением астероидом орбиты Земли. Наклон орбиты астероида (153311) 2001 MG1 составляет 28.430° . На странице 140 утверждается, что «астероид 2001 MG1 8 раз пересекает орбиту Земли».

Имеются замечания по представлению результатов работы.

1. Оформление формул и математических символов не всегда соответствует общепринятым правилам: применение курсива для математических переменных, прямой шрифт для набора имен функций и т. д., что затрудняет чтение текста диссертации.
2. Список сокращений не полный, например, в списке отсутствует аббревиатура ОЗО (околоземные объекты). Для удобства пользования список следовало бы упорядочить по алфавиту.
3. Страница 24, последний абзац, для обозначения массы частиц потока одновременно используются m и M . Эти массы имеют разный смысл?
4. Можно предположить, что список литературы планировалось построить в порядке цитирования источников. Однако это правило нарушается уже в первой главе. После ссылки на источник [30], следующая по порядку следования ссылка на источник [180], а после нее идет ссылка на источник [31]. Ссылка на источник [52] появляется раньше ссылки на источник [51]. И подобных случаев несколько.
5. Присутствует разнобой в форматах указания единиц измерения величин (см., например, таблицы 1.1, 1.2a, 1.2b).

6. На рисунке 1.3 приведены данные о количестве АСЗ. Для таких данных следует указывать дату, которой эти сведения соответствуют, т.к. открытие новых объектов и изменение статуса уже открытых происходят регулярно.
7. На рисунке 1.3. помещены комментарии на английском языке. Для потенциально опасных астероидов на английском языке используется термин «Potentially hazardous asteroids», а не «Potentially dangerous asteroids».
8. На странице 42 в предложении: «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.» желательно уточнить, что речь идет о базе данных.
9. На странице 43 в предложении: «Сеть MSSWG Meteoroid Orbits [103] ...» вызывает сомнение правильность ссылки на источник: «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», в котором идет речь о радарных наблюдениях в Аделаиде.
10. На странице 44 из предложения: «Точность составляет $<2^\circ$ (медианное значение 0.24°) при определении направления радианта и $<10\%$ определения скорости (медианные значения 0.31 и 0.51 км/с, примерно 2%).» не ясно к чему относится «медианное значение 0.31».
11. Для ряда величин используются разные обозначения. Для геоцентрической скорости: V_{geo} , V_g и V_G (см. например, страницы 32 и 47), для параметра Тиссерана: T и T_j .
12. Страница 48, строки 1–2 снизу: фраза «h-Виргиниды наблюдаются с 20 по 10 мая» требует корректировки.
13. Страница 51 требуется корректировка ссылки на источники литературы: «В публикациях [119-112]».

14. Указание размерностей величин у обозначений элементов орбиты, например, на странице 52: «В орбитальном движении астероидов используются следующие параметры: размер орбиты – эксцентриситет e , перигелийное расстояние q (а.е.), долгота восходящего узла Ω° , большая полуось a (а.е.), наклон орбиты i° , аргумент перигелия ω° » или на странице 54: «Если у АСЗ $i^\circ \leq 30^\circ$ », представляется излишним.
15. Страница 54, строки 2–3 снизу: фраза «не случайные ли это экспериментальные ошибки, основанными на количестве наблюдений?» требует согласования.
16. На рисунках 1.4с и 1.4d надо указать единицы измерения диаметров астероидов.
17. Таблица 1.10, неудачное название столбцов: «Количество определенных астероидов» в смысле количества астероидов, у которых определены те или иные параметры.
18. На рисунке 1.6b числовые значения на оси абсцисс перекрываются, что существенно затрудняет чтение рисунка.
19. В формуле (2) используется обозначение L_{12} , а в пояснении к формуле — L . Кроме того, тригонометрические функции записаны в двух вариантах — прямым шрифтом и курсивом.
20. У источника [128] не указан год издания.
21. Страница 74: формулу « $D_c = 0.8 N^{1/4}$ » следует заменить на « $D_c = 0.8 N^{-1/4}$ ».
22. Страница 74: фамилия соавтора работы [127] Froeschlé на русский язык переводится как Фрошле.
23. Страница 79: пояснение «знак минус отвечает случаю $|\Delta| > \pi$ при обычном соглашении $0 \leq \Omega \leq 2\pi$ » к формуле (7), задающей метрику Холшевникова, не относится.
24. В формуле (13) вместо l должна быть 1.
25. Страница 89, пункт 3: фраза «полученных для планета- потока и для планета-родительского тела» требует корректировки. Например, ее можно

сформулировать следующим образом: «полученных для пар «планета — поток» и «планета — родительское тело».

26. Ссылки на формулы (17) и (18) даны раньше (страница 94), чем формулы появляются в тексте (страница 95).
27. В таблицах 4.1–4.8 изменен формат ссылок на источники литературы: вместо номера источника указываются авторы и год. Это сильно затрудняет поиск источников в списке литературы, который изначально строился по порядку цитирования источников, хотя этот порядок впоследствии неоднократно нарушался. Также см. таблицу 4.33.
28. Страница 123, строка 1 снизу: неравенство « $0.02 \leq \alpha \geq 0.12$ » следует заменить на « $0.02 \leq \alpha \leq 0.12$ ». Подобная ошибка в неравенствах появляется неоднократно, см., например, страницы 127, 128, 130, 161.
29. Страница 148, неудачная фраза: «Как видим, ни один из астероидов согласно рис. 4.11 не демонстрирует связь между собой.»
30. Страница 157, строка 3 сверху, избыточное определение: «гелиоцентрическое расстояние от Солнца».
31. Страница 161, при описании формулы $dN = dM / M^S$ не описаны величины M и S . Позже, при описании формул (21) и (22) S появляется.
32. Формулы (23) и (24): присутствует величина $Z_{\text{л}}$, которая не описана. Но в пояснении к формулам дается описание величины « F – фаза Луны», которой в формулах нет.
33. Неоднократно встречаются ситуации, когда рисунок располагается до его описания в тексте, например, на предыдущей странице, как в случае рисунка 4.16, что затрудняет чтение диссертации.
34. На странице 184 плотность метеороида обозначается и как « ρ_0 », и как « ρ ».
35. На странице 184, строка 3 снизу: пропущена единица измерения массы.

В работе имеется ряд опечаток. Приведены некоторые из них.

1. Страница 4, строка 7 сверху: «метероидных» следует заменить на «метеороидных».

2. Страница 11, строки 8–9 сверху: «программный комплекса» следует заменить на «программный комплекс».
3. Страница 12, строка 7 сверху: «стохастических связи» следует заменить на «стохастические связи».
4. Страница 24, строка 15 сверху: «298.5» следует заменить на «298.5°».
5. Страница 31, строка 11 сверху: «Малая активности» следует заменить на «Малая активность».
6. Страница 39, строки 13–14 сверху: «с образованием большое количества» следует заменить на «с образованием большого количества».
7. Страница 42, строки 8–9 снизу: «в с орбитами» следует заменить на «с орбитами».
8. На странице 45, 6 строка сверху пропущена ссылка на источник [95]. Должно быть: «Мини-МегаТортора [93–95]».
9. Страница 47, строки 7–8 сверху: «относится малоизученным» следует заменить на «относится к малоизученным».
10. Страница 54, строка 3 снизу: «эксперементальные ошибки» следует заменить на «экспериментальные ошибки».
11. Страница 58, строки 2–3 сверху: «в не зависимости» следует заменить на «вне зависимости».
12. Страница 76, строка 1 снизу: «значетельно» следует заменить на «значительно».
13. Страница 86, строка 7 сверху: «сохранили близость значения» следует заменить на «сохранили близость значений».
14. Страница 87, строка 2 снизу: «приминимости» следует заменить на «применимости».
15. Страница 134, строка 4 сверху: «деменстрируют» следует заменить на «демонстрируют».
16. Страница 137, строка 4 снизу: «узловых элементов» следует заменить на «угловых элементов».

- 17.Страница 148, строка 11 снизу: «потока потока» следует заменить на «потока».
- 18.Страница 159, строки 5–6 снизу: «в двух телевизионных каталогов» следует заменить на «в двух телевизионных каталогах».
- 19.Страница 162, строка 4 сверху: «эклептической» следует заменить на «эклиптической», см. также с. 163.
- 20.Страница 166, строка 2 сверху: «минимумы и максимуму» следует заменить на «минимумы и максимумы».
- 21.Страница 166, строка 14 снизу: «инливидуальные» следует заменить на «индивидуальные».
- 22.Страница 174, строки 7–8 сверху: «для δ -Канкрид были мы использовали» следует заменить на «для δ -Канкрид мы использовали».
- 23.Страница 183, строка 2 сверху: «коррелиции» следует заменить на «корреляции».

Указанные выше замечания являются важными, но не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Сергиенко Марии Викторовны «Создание системы генетических связей метеорных потоков и их родительских тел с использованием синтетического метода» является законченной работой и полностью удовлетворяет требованиям ВАК. Результаты, полученные в диссертационной работе, вносят заметный вклад в исследования генетических связей метеорных потоков с малыми небесными телами. Автореферат диссертации в полном объеме отражает основные результаты, полученные в работе. Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертационной работы заслуживает присуждения ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Заведующий кафедрой астрономии,
геодезии, экологии и мониторинга
окружающей среды УрФУ,
доктор физико-математических наук
тел. +7 (343) 389 95 89
e-mail: eduard.kuznetsov@urfu.ru



Э.Д. Кузнецов

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

Тел. +7 (343) 375 44 44, e-mail: contact@urfu.ru