

УТВЕРЖДАЮ

**Первый проректор-проректор по научной деятельности
федерального государственного автономного
образовательного учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»**

Д.А. Таюрский

2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Диссертация "Создание системы генетических связей метеорных потоков и их родительских тел с использованием синтетического метода" выполнена на кафедре астрономии и космической геодезии Института физики.

В период подготовки диссертации (с 01.10.2014 по 30.09.2018) соискатель Сергиенко Мария Викторовна обучалась в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" по специальности 01.03.01 – «Астрономия и небесная механика» на кафедре астрономии и космической геодезии Института физики.

В период подготовки диссертации соискатель Сергиенко Мария Викторовна работала в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" в научно-исследовательской лаборатории «Космическая навигации и планетные исследования» в должности «младший научный сотрудник».

В 2012 г. окончила обучение в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" на кафедре астрономии и космической геодезии, Института физики, по специальности «Астрономия».

В 2014 г. окончила обучение в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" на кафедре технической физики, Института физики, по программе магистратуры по направлению подготовки «Техническая физика».

Диплом об окончании аспирантуры 101604 0031774, регистрационный номер 24-03-1/18. Дата выдачи 01 октября 2018 года. Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" г. Казань.

Документ, подтверждающий сдачу кандидатского экзамена по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия, выдан в 2023 году Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Нефедьев Юрий Анатольевич, профессор Института физики в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», директор Астрономической обсерватории им. В. П. Энгельгардта КФУ.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа посвящена построению системы генетически связанных малых небесных тел с помощью созданного синтетического метода, включающего в себя совокупность критерия Драммонда, метрики Холшевникова, квазистационарных параметров μ и v , постоянной Тиссерана и долготы перигелия π .

Актуальность темы. Исследование малых тел Солнечной системы является фундаментальной задачей современной астрономии. Согласно современным представлениям, кометы и астероиды являются протовеществом, из которого 4.5 млрд лет назад образовались планеты Солнечной системы. В настоящее время большое внимание уделяется вопросам образования Солнечной системы. Исследования малых небесных тел Солнечной системы и, в первую очередь, астероидов и комет играет первостепенную роль в развитии эволюционной теории. Таким образом, изучение всего комплекса малых тел является актуальной задачей.

Комплекс малых небесных тел как астероидов, так и комет представляет потенциальную опасность для Земли вследствие возможных столкновений. Комплекс малых небесных тел 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. Из них 78 потоков – это потоки-сироты с неустановленными родительскими телами астероидами и кометами, практически все они относятся к малым метеорным потокам с невысокой активностью.

При изучении связей комплекса малых тел и идентификации метеорных потоков с их вероятными родительскими телами широко используют критерии подобия орбит как функций их расстояния. При исследовании генетических взаимосвязей малых небесных тел существует общая проблема в виде неоднозначности подходов нахождения пороговых значений критериев, относительно которых принимается или отклоняется гипотеза о связи двух малых

небесных тел. Принимается, что два тела будут иметь общее происхождение, если расстояние между их орбитами в заданном фазовом пространстве меньше, чем некоторое заданное пороговое значение. Однако в настоящее время не существует единой методики для решения данной задачи, применяются разные подходы и, как результат, один и тот же метеорный поток отождествляется с разными малыми небесными телами, что приводит к неоднозначности в установлении его родительского тела. Поэтому разработка алгоритмов определения пороговых значений критериев является актуальной и востребованной задачей.

Личное участие соискателя в получении результатов. Проведение тестирования критериев подобия орбит 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 (личный вклад автора 75 %). Создание синтетического метода по определению генетических связей МНТ (личный вклад автора 85%). Выполнение анализа физико-химических и орбитальных параметров астероидов (личный вклад автора 85%). Разработка алгоритма нахождения пороговых значений критериев генетических связей МНТ (личный вклад автора 85%). Разработка независимого способа отбора кандидатов в РТ (личный вклад автора 85%). Анализ стохастических связей малых метеорных комплексов δ-Канкриды, κ-Цигниды, h-Виргиниды, Андромедиды и ρ-Геминиды с АСЗ на основе синтетического метода (личный вклад автора 90%). Оценка взаимосвязей динамических параметров АСЗ, входящих в группу Аполлонов и Амуров (личный вклад автора 90%). Разработка и написана программы ЭВМ автоматизированного программного комплекса анализа МНТ АПКАМНТ (личный вклад автора 90%). Изучение структуры потоков, распределения орбитальных параметров, определение координат радиантов (личный вклад автора 80%).

Степень достоверности результатов проведенных соискателем исследований.

Достоверность полученных результатов подтверждается: 1) согласованностью полученных нами результатов с результатами, опубликованными ведущими мировыми учеными; 2) совокупность использования сразу нескольких критериев генетической общности; 3) большим объемом используемого наблюдательного материала; 4) приведением всех данных в единую систему методом регрессионного анализа; 5) 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 малых небесных тел и селекционных ошибок наблюдений метеоров разными методами; 6) оценкой взаимосвязей динамических параметров выделенных АСЗ, входящих в группу Аполлонов и Амуров, с помощью критерия D_{AH} Ашера и критерия D_{SH} Саутворта-Хоккинса.

Новизна исследования. Впервые разработан, создан и применен в работе синтетический метод генетических связей околоземных объектов по нахождению генетических связей малых небесных тел на основе совокупности критериев подобия орбит Драммонда, метрики Холшевникова и квазистационарных параметров μ и v , постоянной Тиссерана T , полученных как следствие из ограниченной задачи трех тел, и долготы перигелия π . Впервые разработан алгоритм нахождения пороговых значений для всех критериев генетических связей малых небесных тел, используемых в синтетическом методе. Впервые создан и применен в работе независимый способ отбора кандидатов в родительские тела. Впервые произведен анализ стохастических связей малых метеорных комплексов δ -Канкриды, κ -Цигниды, η -Виргиниды, Андромедиды и ρ -Геминиды с АСЗ на основе синтетического метода. Впервые произведена проверка генетических взаимосвязей АСЗ между собой в группах родительских тел исследуемых метеорных потоков. 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 родительского тела, 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 δ -Канкрид. Впервые уточнены значения суточного смещения радиантов и получены значения площади радиации.

Научная значимость работы.

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.
3. 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 позволил получить более вероятные РТ для метеорных потоков.
5. На основе разработанного синтетического метода выявлены стохастические связи малых метеорных комплексов с околоземными астероидами.
6. 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 использованы в ГАИШ МГУ, ИНАСАН, ИКИ РАН, КФУ, УрФУ и других научных организациях.

Полнота изложения материалов диссертации в научных работах, опубликованных соискателем. Результаты, представленные в диссертации, изложены в 19 научных работах, 9 из которых опубликованы в рецензируемых изданиях, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций.

1. **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.
2. **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.
3. **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.
4. **Сергиенко М.В.**, Соколова М.Г., Холшевников К.В. Многофакторная методика поиска малых тел на близких орbitах // Астрономический журнал. – 2020. – Т. 97. – № 5. – С. 432-440.
5. **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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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

1. 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.
2. Nefedyev Y.A., **Sergienko M.V.**, Andreev A.O. The coordinate ranging of the delta Cancriids meteor shower // Meteoritics & Planetary Science. – 2021. – Vol. 56, Issue 1. – P. 6088.
3. 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.
5. **Сергиенко М.В.**, Соколова М.Г., Нефедьев Ю.А., Андреев А.О. Исследование генетических связей метеорного потока κ-цигниды // Минералы: строение, свойства, методы исследования. – 2020. – № 11. – С. 268-269.
6. 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.
7. **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.
8. **Sergienko M.V.**, Sokolova M.G., Andreev A.O., Nefedyev Y.A. Analysis of the genetic connections between near-earth objects and delta cancriids meteoroids // Meteoritics & planetary science. – 2019. – Vol. 54, Issue 2. – P. 6057.
9. 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.

Результаты работы докладывались на научных семинарах и итоговых конференциях КФУ, а также автором были сделаны доклады на Международных и Всероссийских 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.
2. 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.
7. 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 положения, выносимые на защиту

1. 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 околоземных астероидов. 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.

Соответствие содержания диссертации специальности, по которой рекомендуется к защите. Оценивая диссертацию в целом, кафедра считает, что в ней выполнены исследования, дающие новые значимые результаты в теории установления генетических связей между малыми небесными телами, разработанный алгоритм нахождения пороговых значений критериев потенциально позволяет использовать его для объектов, относительно которых принимается или отклоняется гипотеза о связи двух малых тел. Все это будет способствовать дальнейшему прогрессу отечественной науки.

Представленная Сергиенко М.В. диссертация «Создание системы генетических связей метеорных потоков и их родительских тел с использованием синтетического метода» соответствует специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия», полностью

удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, и рекомендуется к защите по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия».

Заключение принято на заседании кафедры астрономии и космической геодезии Института физики федерального государственного автономного образовательного учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет".

Присутствовало на заседании 24 чел. Результаты голосования: "за" – 24 чел., "против" – нет, "воздержалось" – нет протокол № 10 от " 10 " июль 2023 г.

Список участников заседания

кафедры астрономии и космической геодезии КФУ

(протокол № 10 от « 10 » июль 2023 г.)

1. Сахибуллин Наиль Абдулович – д.ф.-м.н., профессор-консультант., каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
2. Бикмаев Ильфан Фяритович – д.ф.-м.н., профессор каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
3. Нефедьев Юрий Анатольевич – д.ф.-м.н., профессор каф. вычислительной физики и моделирования физических процессов КФУ;
4. Безменов Владимир Михайлович – к.т.н., доцент, зав. каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
5. Шпекин Михаил Иванович – к.ф.-м.н., доцент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
6. Загретдинов Ренат Вагизович – к.ф.-м.н., доцент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
7. Жучков Роман Яковлевич – к.ф.-м.н., доцент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
8. Соколова Марина Геннадьевна – к.ф.-м.н., доцент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
9. Шиманская Нелли Николаевна – к.ф.-м.н., доцент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
10. Шиманский Владислав Владимирович – к.ф.-м.н., доцент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
11. Колбин Александр Иванович – к.ф.-м.н., доцент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
12. Склянов Александр Сергеевич – мл. научн. сотр. КФУ, ассистент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
13. Новлянская Инна Олеговна – ассистент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
14. Сапронов Алексей Евгеньевич – ассистент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
15. Сафин Камиль Ирекович – ассистент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
16. Иртуганов Эльдар Наилевич – научн. сотр. КФУ, ассистент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
17. Диканева Алена Александровна – аспирант, ассистент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
18. Андреев Алексей Олегович – мл. научн. сотр. КФУ, ассистент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
19. Сергиенко Мария Викторовна – мл. научн. сотр. КФУ;

20. Загидуллин Артур Александрович – мл. научн. сотр. КФУ, ассистент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
21. Загретдинов Айдар Анисович – мл. научн. сотр. КФУ, ассистент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
22. Галиуллин Ильхам Ирекович – лаб.-исследователь, ассистент каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
23. Тутышкина Зоя Константиновна – ст.лаб., тьютор каф. астрономии и космической геодезии КФУ;
24. Бухарова Аида Ильясовна – ст.лаб., каф. астрономии и космической геодезии КФУ.

Зав. кафедрой астрономии
и космической геодезии
к.т.н., доцент

Секретарь

Заместитель директора по
научной деятельности
Института физики

Безменов В.М.

Тутышкина З.К.

Романова И.В.