

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. М.В.ЛОМОНОСОВА

Государственный астрономический институт

им. П.К.Штернберга

На правах рукописи

УДК 523.3

Юрий Анатольевич Нефедьев

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ НЕЗАВИСИМЫХ СЕЛЕНОДЕЗИЧЕСКИХ
СЕТЕЙ, МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЗВЕЗДНЫХ КООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ И
ФИГУР НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

Специальность:

01.03.01- Астрометрия и небесная механика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора физико - математических наук

МОСКВА – 2007

Работа выполнена в Астрономической обсерватории им.В.П.Энгельгардта
Казанского государственного университета

Официальные оппоненты

Доктор физико – математических наук

ШЕВЧЕНКО
Владислав Владимирович
(ГАИШ МГУ)

Доктор физико – математических наук
профессор

ШИНГАРЕВА
Кира Борисовна
(Московский государственный
университет геодезии и
картографии - МИИГАиК)

Доктор физико – математических наук

РУСКОЛ
Евгения Леонидовна
(Институт Физики Земли РАН)

Ведущая организация

Институт астрономии Российской Академии Наук

Защита состоится 2 июля 2007 г. в 11⁰⁰ часов на заседании Диссертационного
совета Д.051.000.86 при Московском государственном университете им.
М.В.Ломоносова по адресу: 119992, Москва, Университетский пр., д. 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного
астрономического института им. П.К.Штернберга МГУ (Москва,
Университетский пр., д.13)

Автореферат разослан 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета
кандидат физ.-мат. наук

Алексеев С.О.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время Луна является объектом исследований многих космических экспериментов и центром пристального внимания ученых, как в области астрономии, так и планетологии. Запуск американских научных спутников "CLEMENTINE" и "Lunar Prospector" стремительно и качественно изменил ситуацию в исследовании Луны. Мощный поток высокоточной и многопараметрической информации, полученной с бортов современных космических аппаратов, породил сильный всплеск всестороннего интереса и исследовательского энтузиазма по промышленному, робототехническому освоению Луны к 2018 г и полету человека на Марс в 2025-30 гг, после создания долговременных обитаемых лунных баз.

Развитие космических технологий предъявляет особые требования к результатам координатно - временного обеспечения, включающего реализацию систем отсчета, установление взаимной ориентации звездной и динамической систем координат, исследованию динамики и геометрии небесных тел. Это в полной мере касается динамических и геометрических параметров Луны, отнесенных к центру ее масс.

Таким образом, одной из приоритетных задач в данном направлении является создание абсолютной опорной сети на поверхности Луны. Опорные сети точек на лунной поверхности, построенные по наблюдениям с космических кораблей "Аполлон" и отнесенные к центру масс Луны располагаются в поясе по широте от -20 до +40 градусов, а распространение данных сетей на поверхности Луны приносит не лучшие результаты. В настоящее время только крупномасштабные снимки Луны со звездами позволяют исследовать рельеф видимой стороны лунной поверхности в диапазоне широт от -70 до +70 градусов, причем, в отличие от опорных сетей миссии «Аполлон», оси координат в каталоге «Казань - 1162» ориентированы вдоль главных осей инерции Луны с учетом постоянных членов в разложениях физической либрации Луны. Иначе говоря, каталог «Казань - 1162», построенный в настоящей работе, реализует "динамическую" селеноцентрическую систему координат, а каталог «Аполлон» реализует "квазидинамическую" систему координат.

После опубликования каталога Hipparcos было определено, что его внутренняя точность очень высока, значение же внешней точности каталога требовало уточнения. Также был интересен вопрос о систематических ошибках. Анализ ориентации космической системы координат относительно динамической производился по результатам наблюдений 48 малых планет с астрометрического спутника HIPPARCOS, представленным в виде двух каталогов - NDAS и FAST. Крупным недостатком данного метода является плохая обусловленность получаемой по этим данным системы уравнений поправок, включение же в обработку наземных наблюдений заметно

увеличивает точность решения. Положение начала отсчета прямых восхождений в каталоге HIPPARCOS требует дальнейшего уточнения, которого можно добиться применением альтернативного метода, основанного на данных многолетних наблюдений покрытий звезд Луной (с 1960 г. до настоящего времени), что позволяет получить результаты, свободные от недостатков метода, основанного на наблюдениях малых планет. Применение же более совершенных карт краевой зоны Луны при редукации покрытий звезд Луной дает возможность достичь более надежных результатов сравнительно с зарубежными аналогами при прочих равных условиях. Важным преимуществом наблюдений покрытий звезд Луной является их массовость и продолжительность во времени. Эти качества наблюдательных рядов позволяют сглаживать случайные ошибки как самих наблюдений, так и неточности значений параметров, используемых при редуцировании. Особенно ценными эти наблюдения становятся при определении начала отсчетов прямых восхождений звезд того фундаментального каталога, из которого были взяты координаты покрываемых звезд.

Современной и актуальной является задача по построению точных карт краевой зоны Луны. Неточности карт краевой зоны, используемых при обработке, например, покрытий звезд Луной, смажут все результаты редуцируемых наблюдений. В настоящей работе были созданы карты краевой зоны с высокой степенью подробности представленных на них данных по гелиометрическим наблюдениям с учетом второй модели фигуры Луны Яковкина и карты краевой зоны Луны в цифровом виде по крупномасштабным снимкам Луны в небесной системе координат. Следует отметить, что при анализе фрактальных структур должны использоваться и фрактальные методы исследования, что в полной мере касается карт краевой зоны Луны, физических поверхностей планет и Луны, гипсометрических данных гравитационных полей и т.д. Поэтому были использованы соответствующие подходы и разработаны методы для решения таких задач.

Важнейшая задача астрометрии - построение инерциальной системы координат, приближением которой является небесная фундаментальная система координат, которая задается фундаментальным каталогом звездных положений. Оценить точность фундаментального звездного каталога можно двумя способами. Во-первых, путем сравнения с высокоточными каталогами, принятыми в качестве эталонов точности. В настоящее время это космические каталоги «Hipparcos» и «Tycho-2». В этом актуальность оценки точности астрометрических каталогов путем сравнения каталогов. Во-вторых, путем редукации позиционных наблюдений небесных тел с целью определения их положений. При этом актуальной задачей является разработка новых точных методов. В настоящей работе для этих целей использовался разработанный нами графический метод.

Создание и применение современных точных звездных каталогов неразрывно связано с учетом аномалий астрономической рефракции. При использовании космических каталогов это важно при редукации наземных

наблюдений с использованием положений звезд из этих каталогов, а в наземных каталогах данные аномалии входят непосредственно в координаты объектов, представленных в них. Поэтому без разработки моделей влияния аномалий рефракции использование современных каталогов не может быть вполне точным.

Несомненно, что в настоящее время оптимальным путем астрометрических исследований является разумное сочетание космических и наземных методов наблюдений небесных тел и это позволяет осуществлять комплексный анализ динамических и геометрических параметров современных астрометрических систем.

Цели и задачи работы

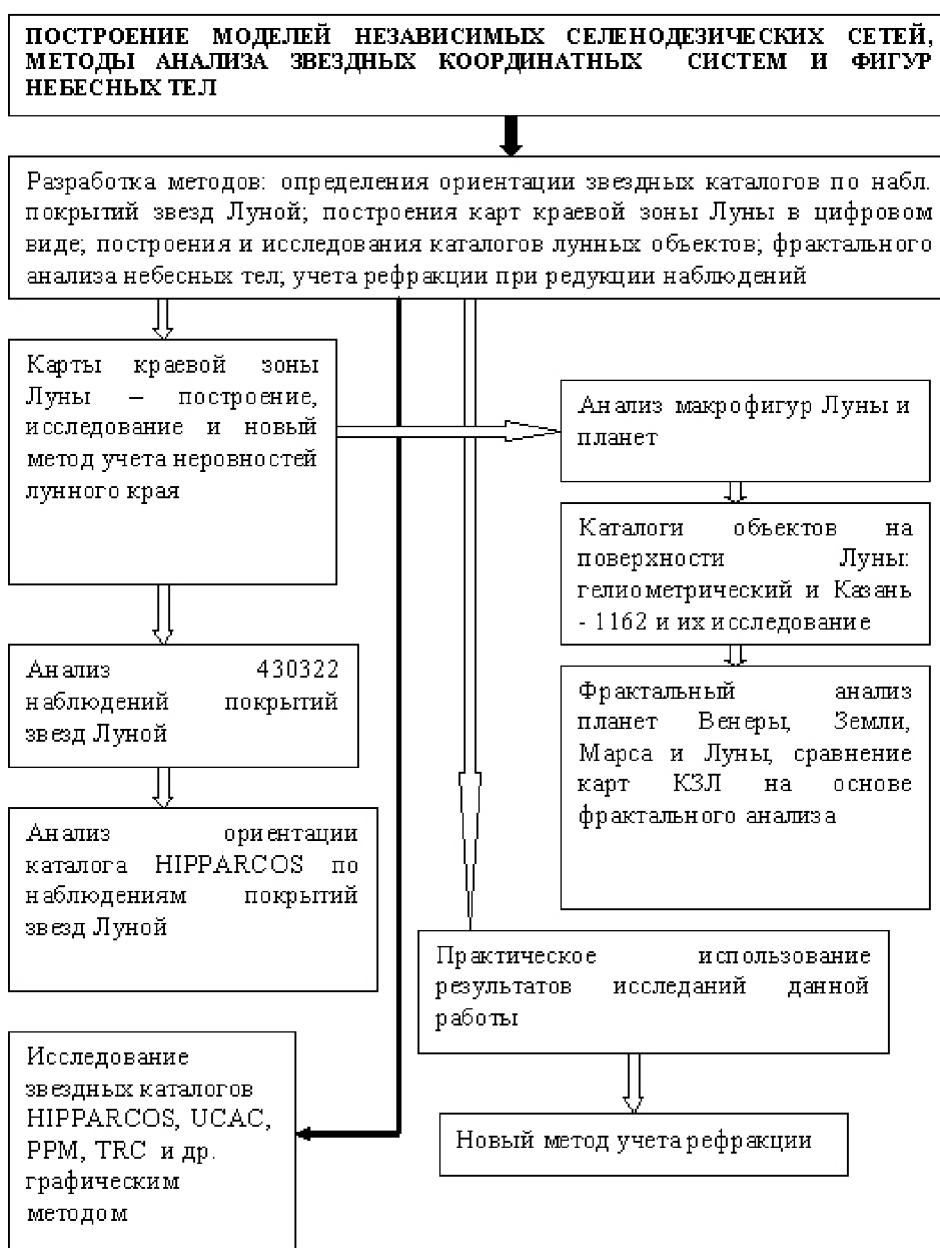


Рисунок 1 - Схема основных задач и целей диссертационной работы

Основными целями диссертационной работы являются тесно связанные между собой селенодезические задачи:

1. Разработка новых методов создания и построение независимых опорных селенодезических сетей, имеющих в настоящее время самые высокие показатели точности и достоверности представленных в них результатов.
2. Создание базы наблюдений 430322 покрытий звезд Луной, разработка современного метода ее редуцирования и на основе полученных данных анализ динамической системы координат.
3. Построение точных карт краевой зоны Луны на основе гелиометрических наблюдений и широкомасштабных снимков Луны в системе звезд в цифровом виде.

А также задачи, включающие в себя:

1. Выполнение теоретических и практических работ по исследованию современных каталогов звездных положений.
2. Моделирование структуры атмосферы для точного учета аномалий астрономической рефракции.
3. Создание метода фрактального анализа и его практическое применение для анализа фрактальных структур тел солнечной системы.

На Рисунке 1 представлено схематическое изображение всех задач и целей, запланированных для решения в настоящей работе, в последовательности их логических связей друг относительно друга.

Работа носит как экспериментальный, так и теоретический характер: создание длительных рядов наблюдений и их редукция, разработка новых методов анализа и обработки экспериментальных данных с целью решения комплексных задач астрометрии.

Научная новизна

Данная диссертационная работа является законченным научным исследованием.

Все результаты, которые приводятся в 10 пунктах результатов, вынесенных на защиту, являются оригинальными и впервые опубликованы в работах автора.

1. Впервые в мире построена селенодезическая сеть по гелиометрическим наблюдениям лунных кратеров в системе звезд, выполненных автором данной диссертации, с оценкой положений лунных объектов с использованием помехоустойчивого робастного анализа.
2. Впервые в мировой практике построен каталог «Казань - 1162» абсолютных положений селенографических объектов, наиболее полно удовлетворяющий современным требованиям, предъявляемым к опорным селенодезическим сетям.
3. Впервые в мировой практике осуществлено создание полной базы данных 430322 наблюдений покрытий звезд Луной и приведение ее в цифровую форму в виде, необходимом для выполнения поставленных в настоящей работе целей.

4. Впервые разработан метод редукции базы 430322 наблюдений с целью анализа современных каталогов звездных положений и произведено исследование ориентации и положения нуля - пункта космического каталога Hipparcos.
5. Впервые в мировой практике построены и исследованы новым методом карты краевой зоны Луны на основе классических гелиометрических наблюдений с учетом второй модели фигуры Луны Яковкина и по крупномасштабным снимкам Луны со звездами в цифровом виде.
6. Произведено исследование фрактальных структур краевой зоны Луны, гравитационных и топографических поверхностей Марса, Венеры и Земли с использованием метода фрактального анализа и оценки фрактальных размерностей данных систем и их коэффициентов подобия.
7. Впервые в мировой практике разработан и применен новый графический метод исследования современных звездных каталогов HIPPARCOS, UCAC, PRM и др..
8. Впервые в мировой практике создан метод учета аномалий астрономической рефракции на основе влияния наклонов слоев земной атмосферы на рефракционные параметры.

Научная и практическая значимость работы

Результаты, полученные в настоящей работе, могут быть использованы при решении широкого круга задач селенодезии, динамики Луны и ряда проблем астрометрии.

Базу наблюдений покрытий звезд Луной можно использовать в обсерваториях, где ведутся работы по исследованию динамических селенодезических параметров, а методы ее редукции с успехом можно применять при анализе современных космических каталогов. Важность решения этих задач особенно становится актуальной в настоящее время, когда мировая тенденция снова направлена на расширение и углубление лунных исследований. Эти положения отчетливо прослеживаются в работе Галимова Е.М., Полищука Н.Н. и Севастьянова Н.Н. (2006).

Аналогичное заключение можно сделать и относительно точных карт краевой зоны Луны и каталогов селенодезических объектов, построенных в системе центра масс Луны. Последние могут использоваться в качестве опорных сетей для определения координат объектов обратной стороны Луны полученным из миссий «Аполлон», «Зонд» и будущих космических экспериментов, а также могут использоваться для оценки параметров и точности других селенодезических систем.

Карты краевой зоны Луны с успехом могут быть используемы не только для редукции наблюдений за неровности края, но также для решения задачи перевода систем опорных селенодезических сетей с видимой полусферы Луны на обратную сторону.

Новый графический метод исследования звездных каталогов может быть с успехом применен в дальнейших работах по анализу современных и будущих каталогов звездных положений.

Новые подходы к моделированию аномалий рефракции позволят производить более точный учет возможных отклонений и неточностей как в самих звездных каталогах, так и в наблюдательных данных.

Данные, полученные при анализе фрактальных структур Луны, Земли, Марса и Венеры могут в дальнейшем использоваться при построении теорий описания процессов образования и эволюции этих систем.

Несомненно, в настоящее время прогресс в астрометрических исследованиях может быть достигнут путем разумного сочетания данных космических и наземных наблюдений. Попытка осуществления такого подхода и была осуществлена в данной работе.

Каталог 1162 объектов на поверхности Луны был передан в ГОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет (справка об использовании № 2693/17-09 от 28.09.2006). За цикл работ по селенодезии автор настоящей диссертационной работы был удостоен в 1988 году дипломом 1-ой степени на конкурсе работ молодых ученых КГУ.

Разработка и внедрение новых методов исследования в области селенодезии, анализа динамической и инерциальной систем координат, позволило получить принципиально новую научную информацию. Таким образом, можно полагать, что данная работа открывает новое направление в исследовании Луны и дает ценные результаты в теории и практике определения ориентации динамической системы координат, что будет способствовать дальнейшему прогрессу отечественной астрономии в области астрометрии. Результаты могут быть использованы в ГАИШ, ИНАСАН, ГАО РАН, ИКИ РАН, УГТУ, КГУ, ТГГПУ.

Результаты, выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Опорная селенодезическая сеть, построенная по выполненным автором гелиометрическим наблюдениям лунных кратеров в системе звезд, оценка положений лунных объектов к которой произведена с использованием помехоустойчивого робастного анализа.
2. Каталог Казань - 1162 абсолютных положений селенографических объектов, построенный по крупномасштабным снимкам Луны в системе звезд с использованием метода раздельных лунной и звездных пластинок и метод его создания.
3. Метод и результаты исследования селенодезического каталога Казань - 1162 с использованием разложений по сферическим функциям и сравнения с данными наблюдений миссии «Клементина».
4. Построение и анализ базы данных 430322 наблюдений покрытий звезд Луной.

5. Метод редукции базы 430322 наблюдений покрытий звезд Луной и параметры, полученные на основе анализа результатов данной обработки ориентации и положения нуля - пункта космического каталога Hipparcos.
6. Методы построения и модели краевой зоны Луны на основе классических гелиометрических наблюдений с учетом второй модели фигуры Луны Яковкина и карты в цифровом виде на основе крупномасштабных снимков Луны со звездами.
7. Метод и результаты исследования карт краевой зоны Луны на основе обработки фотоэлектрических наблюдений покрытий звезд Луной.
8. Метод фрактального анализа и результаты, полученные с его помощью, фрактальных структур краевой зоны Луны, гравитационных и топографических поверхностей Марса, Венеры и Земли.
9. Графический метод исследования современных звездных каталогов HIPPARCOS, UCAC, PRM и TRC и др., и параметры оценки их точности.
10. Метод учета аномалий астрономической рефракции на основе моделирования влияния наклонов слоев земной атмосферы на рефракционные параметры.

Апробация работы.

Результаты, полученные в диссертации, опубликованы в работах, приведенных в списке публикаций, неоднократно докладывались на научных семинарах и итоговых конференциях АОЭ, КГПУ и КГУ, также было сделано более 60 докладов на Всероссийских и Международных конференциях:

- [1]. Международная 23 - я астрометрическая конференция «Современная астрометрия», Ленинград, 19-23 марта 1985.
- [2]. Международная конференция «Селенодезия и динамика Луны», Киев, 13-15 октября 1987.
- [3]. Всесоюзная конференция «Гравитационное поле и фигура Луны и планет», С.Петербург, 17 ноября 1988.
- [4]. Международная конференция, посвященная памяти М.И.Симонова «Общепланетарные проблемы исследования Земли», Казань, 15-17 ноября 1994.
- [5]. Всероссийская конференция «Метрология времени и пространства», Москва, 1994.
- [6]. Международная конференция “Modern Problems Astronomy”, С.Петербург, 20 - 24 июня 1994.
- [7]. Международная конференция «Problem of space, time, gravitation», С.Петербург, 16-21 сентября 1995.
- [8]. Всероссийская конференция «Результаты и перспективы исследования планет», Ульяновск, 10 - 14 ноября 1997.
- [9]. Всероссийская конференция «Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики», С. Петербург, 23-27 сентября 1996.
- [10]. Всероссийская конференция «Астрономия и история науки» С. Петербург, 22 - 26 июня 1998.

- [11]. Всероссийская конференция, посвященная 90 - летию Д.Я.Мартынова, Москва 1999.
- [12]. Всероссийская астрономическая конференция «ВАК - 2001», С.Петербург, 6-12 августа 2001.
- [13]. Международная конференция «AstroKazan -2001: Astronomy and geodesy in new millennium», Казань, 24-29 сентября 2001.
- [14]. Всероссийская конференция «Современная астрономия и методика ее преподавания», С. Петербург, 27-29 марта 2002.
- [15]. Международная конференция «New Geometry of Nature, Astronomy, Philosophy, Education», Казань, 25.08 - 5.09 2003.
- [16]. Всероссийская конференция «Юбилейная научная конференция физического факультета, 2004» Казань, 2004.
- [17]. Международная конференция «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.
- [18]. Всероссийская астрономическая конференция «Горизонты Вселенной», Москва, 3-10 июня 2004.
- [19]. Международная конференция N.35th COSPAR Scientific Assembly. Held 18 - 25 July 2004, Paris, France.
- [20]. Международный симпозиум «Астрономия 2005 – современное состояние и перспективы», Москва, 30.05 - 6.06 2005
- [21]. Международная конференция «Околоземная Астрономия 2005», Казань, 19-24 сентября 2005.

Различные этапы работы прошли предварительную экспертизу и были поддержаны следующими грантами: РФФИ №00-02-17815; Федеральная НТП АСТРОНОМИЯ №1.9.1.3; АН РТ: № 06-6.5-190_/ 2003Ф(06), № 06-6.5-186_/ 2003 (06), № _06-6.5-213_/ 2003, № 06-6.5-266/ 2004 Ф(06); РНП 2.2.3.1.3424.

Материалы и методы исследования

Работа основана как на теоретических, так и на экспериментальных методах и расчетах. Использовались современные методы анализа планетарных структур. При построении опорных селенодезических сетей и карт краевой зоны Луны были использованы уникальные наблюдения на модифицированном горизонтальном телескопе и гелиометре. При создании базы данных покрытий звезд Луной был включен весь мировой массив таких наблюдений, а для их редукции были разработаны новые точные методы. Исследования опорных селенодезических сетей были выполнены как классическими, так и основанными на новых методах. Для анализа каталогов звездных положений были применены два новых метода: 1) На основе обработки данных покрытий звезд Луной. 2) Новый графический метод оценки. Был также разработан новый метод исследования точности карт краевой зоны Луны с использованием фотоэлектрических наблюдений лунных покрытий. Построение моделей учета аномалий рефракции было произведено с учетом самых современных теорий рефракции. При анализе фрактальных

структур Луны, Марса, Венеры и Земли были использованы как признанные в мировой практике, так и разработанные новые фрактальные методы исследования.

Публикации и личный вклад автора

Основные результаты, представленные в диссертации, получены автором самостоятельно.

Основные результаты диссертации опубликованы в 98 работах общим объемом 1454 страниц, 17 публикаций написаны без соавторов, 81 работа написана совместно с другими авторами. Материал всех 98 работ соответственно изложен в 5 монографиях, 30 публикациях в ведущих отечественных и зарубежных изданиях, 7 статьях депонированных в ВИНТИ, 46 статьях в Трудах международных и всероссийских конференций. Среди всех публикаций автора 57 работ, содержащие основные научные результаты диссертации, опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссии и, согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 20 апреля 2006 г. N 227, приравненным к ним: депонированным в организациях государственной системы научно-технической информации рукописи работ и опубликованными в материалах всесоюзных, всероссийских и международных конференций и симпозиумов

Сделано более 60 докладов на Всесоюзных, Российских и Международных конференциях.

Список работ автора приведен в конце Автореферата. Часть научных результатов, представленных в диссертации, получена совместно с другими авторами. Статьи [3, 15, 18, 24, 28, 32, 34, 36, 40, 42, 64, 72, 77, 80, 81, 95, 97] написаны без соавторов, работы [6, 7, 8, 10, 13, 16, 17, 19, 26, 43, 52, 55, 56, 59, 63, 65, 67, 69, 70, 71, 74, 75, 76, 78, 83, 84, 91, 92, 96, 98] выполнены под непосредственным руководством автора и при непосредственном участии: от постановки задачи и выбора метода исследования до получения и интерпретации результатов и технического исполнения и написания самой статьи, в статьях [1, 2, 4, 5, 9, 11, 12, 14, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 29, 30, 31, 33, 35, 37, 38, 39, 41, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 57, 58, 60, 61, 62, 66, 68, 73, 79, 82, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 93, 94] автор принимал непосредственное участие в обработке и интерпретации результатов.

Достоверность научных результатов определяется совокупностью используемых в работе точных методов обработки и анализа наблюдаемых данных, большим объемом самого наблюдательного материала и хорошим согласием полученных автором результатов с соответствующими данными из мировой базы научных работ. Достоверность результатов работы также подтверждается:

1. Исследованием опорной селенодезической системы Казань - 1162 в ГОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет.

2. Анализом карт краевой зоны Луны на основе редукции фотоэлектрических покрытий звезд Луной.
3. Контролем точности принятых в обработку наблюдений.
4. Сравнением представленных в диссертации результатов с выводами ведущих зарубежных научных центров.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Главы делятся на параграфы. Список литературы включает 297 наименований. Общий объем диссертации 305 страниц текста и 88 страниц приложения. В диссертации имеется 19 таблиц, 128 рисунков.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Данная работа тематически состоит из трех частей. В первой и третьей главах рассматриваются методы построения, основные подходы и анализ независимых селенодезических сетей, моделей краевой зоны Луны и анализ фрактальных структур Луны, Марса, Венеры и Земли; Во второй главе изложены принципы и методы построения базы данных и редукции наблюдений покрытий звезд Луной, а также их практическое использование для исследования космического каталога Hipparcos; Четвертая глава посвящена новым методам исследования современных звездных каталогов и точному учету аномалий астрономической рефракции. Во всех трех частях делаются обзоры, тесно связанные тематически с поставленными в данной диссертации задачами и целями. Критически рассмотрены преимущества и недостатки всех используемых в настоящей работе методов редукций наблюдений, построения селенодезических систем и астрометрического анализа звездных каталогов. Особое внимание уделялось определению точности наблюдательного материала и достоверности получаемых из обработки результатов.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации и дается краткий обзор состояния данной области исследований. Сформулированы цели диссертационной работы, указаны научная новизна, научная и практическая значимость полученных результатов работы, приведены структура и содержание диссертации, дан список печатных работ, в которых отражено основное содержание результатов и определена доля участия автора в совместных публикациях, перечислены результаты, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы.

Первая глава посвящена разработке методов построения и созданию каталогов объектов на поверхности Луны по гелиометрическим наблюдениям и крупномасштабным снимкам Луны со звездами «Казань – 1162» и исследованию построенных каталогов.

В параграфе **первом** дается анализ современных селенодезических сетей и методов их построения. Каталоги лунных объектов рассматриваются

в зависимости от эволюционного и исторического развития селенодезических исследований. Можно выделить четыре основных этапа: 1) Все построения осуществлялись на основе наземных наблюдений в системе геометрического центра Луны; 2) Попытки привязать наземные наблюдения к осям инерции Луны и ее центру масс; 3) Создание независимых опорных селенодезических сетей на основе наземных наблюдений в небесной системе координат; 4) Опорные лунные каталоги на основе наблюдений с бортов космических аппаратов. Делается вывод, что несмотря на достаточное количество лунных опорных сетей, построенных по наземным наблюдениям, в настоящее время отсутствуют каталоги, в полной мере удовлетворяющие нашим требованиям: независимость от других селенодезических систем, оси координат каталога совпадают с осями инерции, а начало с центром масс Луны и в опорной сети присутствует достаточное количество объектов. Относительно космических каталогов установлено, что согласно работе Е. Мертона и др., прогресс, достигнутый в области создания опорной сети, привязанной к данным миссий «Аполлонов», ограничился созданием на видимой полусфере Луны довольно неточной системы, особенно в плановых координатах, с ошибками до 1 км. Поэтому делается вывод, что комбинирование данных, полученных по наземным наблюдениям Луны с данными, полученными космическими аппаратами в настоящее время есть наиболее эффективный путь, так как полноценные космические наблюдения, покрывающие достаточную по размеру поверхность Луны, попросту отсутствуют. Поэтому создание селенодезических опорных сетей по наземным наблюдениям в настоящее время не потеряло своей актуальности.

В параграфе **втором** описаны основные системы координат на Луне и их взаимосвязь с селенодезическими параметрами, используемые в настоящей работе. Рассмотрены системы селеноцентрических, селенографических, динамических и квазидинамических координат, методы их преобразований из одной системы в другую, определение основных фундаментальных аргументов и учет физической либрации. Все подходы и фундаментальные уравнения, описанные в данном параграфе, использовались при выполнении вычислений во второй и третьей главах.

В параграфе **третьем** произведен вывод абсолютных координат лунных кратеров с использованием помехоустойчивого робастного анализа по гелиометрическим наблюдениям лунных кратеров и привязки их к звездам. Суть примененного при вычислениях метода максимального правдоподобия или, по другому, метода М - оценок, состоит в оценке достоверности отдельных измерений и отбраковки некорректных наблюдений. Нами были определены динамические координаты десяти кратеров на лунной поверхности с использованием двух альтернативных подходов к задаче оценивания параметров - обычного классического метода наименьших квадратов (МНК), и помехоустойчивого анализа (метод М-оценок). Всего в обработку включено более 1500 измерений угловых расстояний и позиционных углов дуг между кратерами и звездами, выполненных на гелиометре Репсоляда АОЭ автором настоящей работы в

1976 - 1986 гг. Необходимо отметить, что в процессе наблюдений по привязке кратеров к звездам постоянно проводилось тщательное исследование точности отсчетно - измерительных систем угловых расстояний и позиционных углов на гелиометре. При обработке гелиометрических наблюдений использовалась теория движения Луны *DE200/LE200* и теория физической либрации Луны А.Мигуса.

Постановка задачи имеет следующий вид:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{A} \Delta \mathbf{q} + \boldsymbol{\varepsilon},$$

где $\mathbf{Z}(s, q)$ - вектор - столбец наблюдений, \mathbf{A} - матрица коэффициентов при неизвестных, $\boldsymbol{\varepsilon}$ - вектор ошибок.

В нашем случае можно записать:

$$\Delta \mathbf{q} = [\Delta \xi, \Delta \eta, \Delta \zeta]$$

где $\Delta \xi, \Delta \eta, \Delta \zeta$ - искомые поправки к прямоугольным селенодезическим координатам кратеров.

Решение будет иметь вид:

$$\overline{\Delta \mathbf{q}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \overline{\mathbf{Z}},$$

где весовая матрица \mathbf{P} находится с помощью функции Хьюбера

$$\text{diag } \mathbf{P} = \psi(\xi) / \xi,$$

$$\psi(\xi) = \begin{cases} \xi, & |\xi| \leq b, \\ b \text{ sign}(\xi), & |\xi| \geq b, \end{cases}$$

$$\xi = (\mathbf{Z}_i - \mathbf{A}_i \Delta \mathbf{q}_0) / M.$$

В свою очередь медиана среди ненулевых значений $|\mathbf{Z}_i - \mathbf{A}_i \Delta \mathbf{q}_0| / 0.6745$,

$$M = \text{med} \{ |\overline{\mathbf{Z}}_i - \mathbf{A}_i \overline{\Delta \mathbf{q}}| / 0.6745 \neq 0 \},$$

$\overline{\Delta \mathbf{q}_0}$ - предварительная оценка вектора $\overline{\Delta \mathbf{q}}$, b - параметр настройки.

Оценка точности окончательного результата $\overline{\Delta \mathbf{q}}$ описывается ковариационной матрицей вида:

$$\text{Cov} = k (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1},$$

где

$$k = (Mn)^2 \sum_1^n \psi^2(\xi) / (n - m) \left[\sum_1^n \psi^2(\xi) \right]^2.$$

При этом в качестве $\overline{\Delta \mathbf{q}_0}$ берется окончательное значение вектора $\overline{\Delta \mathbf{q}}$.

Помехоустойчивые оценки динамических координат находились для двух значений параметра настройки: $b = 1.50$ и $b = 1.3457$. Первое значение соответствует точному нормальному закону распределения ошибок измерений. Второе значение b позволяет получать оценки с 95 % эффективностью (в асимптотике) в случае нормального распределения помех. Отмечается, что потеря 5 % эффективности - это плата за достижение устойчивости.

В результате было получено, что в целом принятые к обработке наблюдения нельзя считать равноточными. Наиболее достоверными

значениями координат кратеров, полученных с использованием метода М-оценок, следует считать решение с параметром настройки 1.345. Следует отметить, что описанные выше результаты были получены авторами в то время, когда подобные работы были пионерскими в направлении использования на практике методов максимального правдоподобия.

Параграф **четвертый** посвящен построению опорной сети 1162 объектов на поверхности Луны «Казань - 1162». Данный каталог был создан на основе крупномасштабных снимков Луны со звездами, полученных не имеющим аналогов в мировой практике уникальным методом отдельных пластинок. Нами разработан метод построения каталога «Казань - 1162», основанный на наиболее полном учете распределения по либрациям наблюдений, что обеспечивает получение наиболее достоверной и точной координаты ζ . В отличие от методов обработки снимков Луны без звезд в случае привязки к звездам мы имеем абсолютное определение ориентации, нуля - пункта системы координат и ее масштаба. При выборе лунных кратеров, входящих в опорную сеть «Казань - 1162» использовались следующие критерии. Во первых, брались кратеры по возможности правильной округлой формы; во вторых, эти кратеры должны были иметь небольшие размеры; в третьих, выбранные объекты должны быть хорошо наблюдаемыми и в четвертых кратеры сети в основном должны были входить в списки объектов других известных селенодезических каталогов и удовлетворять рекомендациям МАС. На Рисунке 2 приведено распределение кратеров по поверхности Луны.

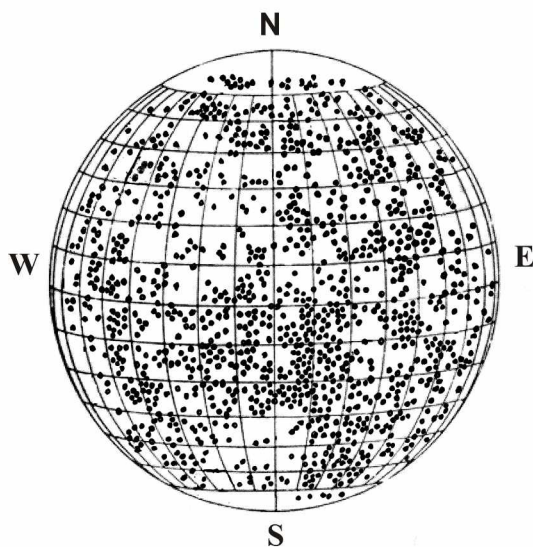


Рисунок 2 - Распределение объектов каталога «Казань - 1162» по поверхности Луны

Искомые параметры находились из $2m$ уравнений поправок вида:

$$A \times \theta + \varepsilon = Z,$$

где $\mathbf{A}(A_{ij})$ - структурированная матрица, $\boldsymbol{\theta}(\Delta\xi, \Delta\eta, \Delta\zeta)$ - вектор-столбец искомых параметров, $\mathbf{Z}(\Delta X, \Delta Y)$ - вектор - столбец наблюдений, $\boldsymbol{\varepsilon}$ - вектор - столбец случайных ошибок наблюдений.

Решение относительно искомых параметров $\dot{\boldsymbol{\theta}}(\Delta\dot{\xi}, \Delta\dot{\eta}, \Delta\dot{\zeta})$ будет:

$$\dot{\boldsymbol{\theta}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{Z}),$$

а их ошибки определяются ковариационной матрицей

$$\mathbf{D}(\dot{\boldsymbol{\theta}}) = \frac{\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V}}{2m-3} (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1},$$

где \mathbf{V} - вектор остаточных уклонений.

В результате была получен каталог 1162 лунных объектов, фрагмент которого приведен в Таблице 1

Таблица 1 - Фрагмент каталога «Казань - 1162»

1	0.00543	0.02071	0.99922	0.3114	1.1873	1737.1
	17	17	172			
2	0.01873	0.06981	0.99608	1.0772	4.0083	1735.8
	13	14	138			
3	0.02506	0.02166	0.99787	1.4386	1.2431	1735.4
	18	18	184			
4	0.04203	0.05661	0.99725	2.4133	3.2461	1737.6
	12	11	109			
5	0.06282	0.07236	0.99508	3.6123	4.1509	1737.5
	10	16	145			

Каждый кратер занимает в Таблице две строки. Первая строка содержит порядковый номер кратера; прямоугольные селеноцентрические координаты ξ_k, η_k, ζ_k в единицах 1738.1 км, селенографические долготу λ_k и широту β_k , радиус - вектор кратера, отсчитываемый от центра масс Луны. Во второй строке приведены ошибки прямоугольных координат в долях 10^{-5} радиуса Луны.

Созданный каталог «Казань - 1162» был сравнен с каталогами "Казань 264", «Голосеево» и «Туксоновский», которые мы обозначили как *KAZ2, GOL, T, KAZ1*, методом сравнительного анализа, предложенного В.С.Кислюком. Установлено, что по координатам ξ и η масштаб у всех сравниваемых каталогов близок. Нуль - пункт системы *KAZ2* по оси ξ в пределах ошибок совпадает с нуль - пунктами сравниваемых каталогов, но по оси η имеется хорошее согласие с каталогом *KAZ1*. Оси каталога «Казань 1162» ближе всего расположены относительно осей каталога *KAZ1* и их ориентация близка к ориентации осей каталогов *GOL* и *T*. В итоге можно сделать вывод, что каталог «Казань - 1162» наиболее полно удовлетворяет требованиям, обозначенным нами выше.

В параграфе **пятом** выполнено исследование современных каталогов лунных объектов с использованием гармонического анализа. Метод исследования заключался в следующем. Геометрические сечения видимой полусферы Луны можно построить, используя разложения функции высоты h в ряд по сферическим функциям:

$$h(\varphi, \lambda) = \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\cos \varphi) + \varepsilon,$$

где φ, λ - известные координаты лунных объектов; $\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ - нормированные коэффициенты сферических гармоник; \bar{P}_{nm} - нормированные присоединенные функции Лежандра. Были получены сечения по пяти меридианам лунной сферы ($\lambda = -40^\circ, -20^\circ, 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ$) по обе стороны от экватора с шагом 1° по широте, задаваемых данными, полученными миссией «Клементина» и каталогами *GOL, KAZ1* и «Казань - 1162». Пример сечений для $\lambda = 40^\circ$ представлен на Рисунке 3.

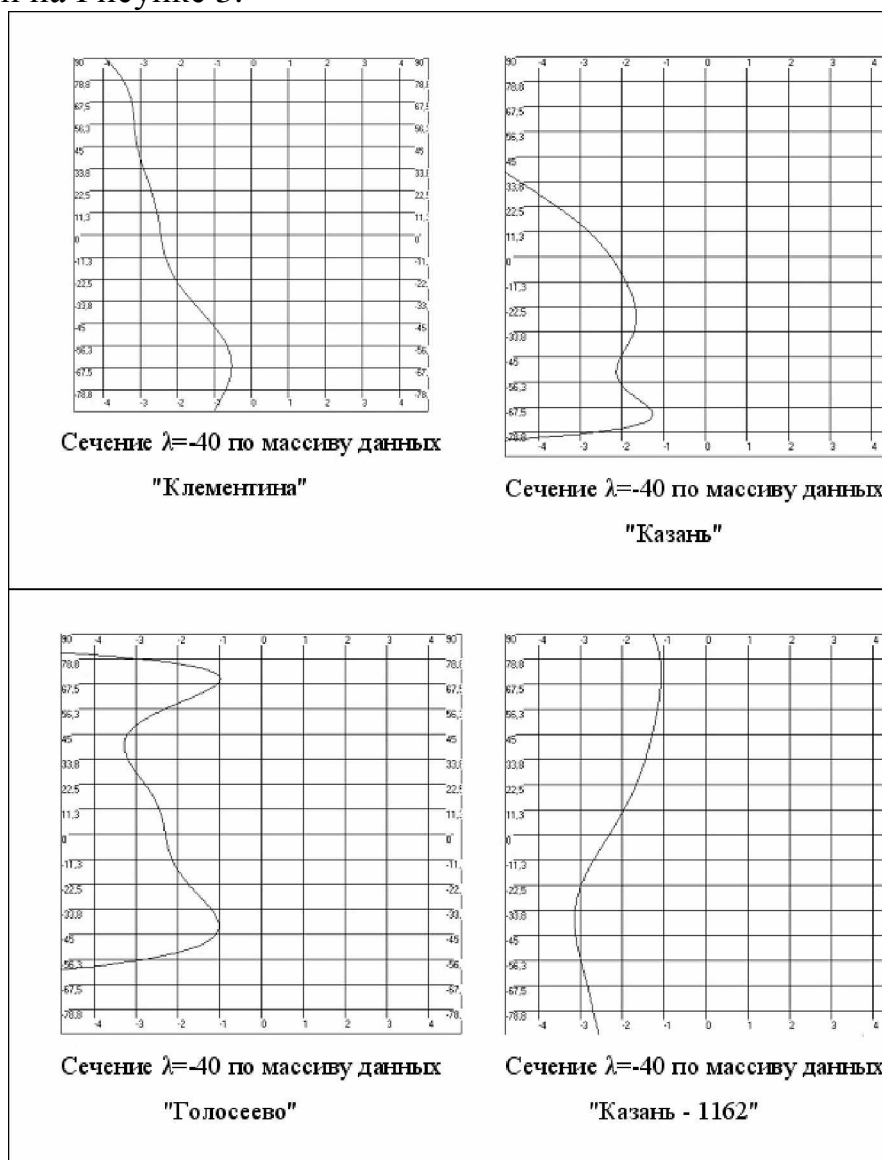


Рисунок 3 - Сечения для $\lambda = 40^\circ$

Анализ полученных данных позволяет сделать определенные суждения о степени близости гипсометрической информации:

1. Понижение рельефа для северных широт в диапазоне 30° - 45° по данным каталога "Голосеево" такого же порядка, как и для данных программы "Клементина". Однако далее высоты из каталога "Голосеево" возрастают до широт 70° - 80° . Это приводит к заметному различию форм гипсометрических кривых.

2. Сравнение пяти гипсометрических кривых для каталогов "Казань", "Голосеево" подтверждает ранее сделанные выводы о понижении среднего уровня рельефа по данным "Казань" по сравнению с данными каталога "Голосеево" в северном полушарии Луны. Общее понижение складывается из понижения в северной части гипсометрического сечения "Казань" относительно сечения "Клементина" и повышения части сечения "Голосеево".

3. Сравнение пяти гипсометрических кривых сечений моделей поверхности, определяемых данными «Клементина» и каталога «Казань - 1162», показывает их очень хорошее согласие. Рельеф модели макрофигуры каталога «Казань - 1162» не дает ни заметных понижений, ни заметных повышений относительно данных космического эксперимента «Клементина».

4. Сравнение гипсометрических кривых данных «Клементины» и каталогов "Казань", "Голосеево" с «Казань - 1162» подтверждает ранее сделанные выводы о понижении среднего уровня рельефа по данным "Казань" по сравнению с данными "Голосеево" в северном полушарии Луны. Однако, понижение среднего уровня, задаваемого каталогом «Казань - 1162», имеет гораздо менее выраженную форму, чем в каталоге «Казань» и наиболее близко к величине понижения данных наблюдений космического эксперимента "Клементина".

Судя по Рисунку 4, по каталогу «Казань - 1162» фигура видимой полусферы Луны представляет собой полусферу со средним радиусом $1736.34 \text{ км} \pm 1.20 \text{ км}$ с выступом в центральной части высотой порядка 0.9 км . К северу от параллели 10° рельеф поверхности постепенно понижается в зоне широт 30° - 70° радиус-векторы в среднем на 0.9 км меньше полученного нами среднего радиуса.

Вторая глава посвящена описанию структуры и анализу Базы данных 430322 наблюдений покрытий звезд Луной. Приводится теории и практике определения ориентации небесной системы координат из наблюдений покрытий звезд Луной.

В параграфе **первом** описаны методы наблюдений покрытий звезд Луной, вошедших в базу 430322 покрытий. Как уже говорилось, наблюдения, вошедшие в основную базу, выполнены как визуальным, так и фотоэлектрическим методами наблюдений. В данном параграфе приводится анализ методов наблюдений.

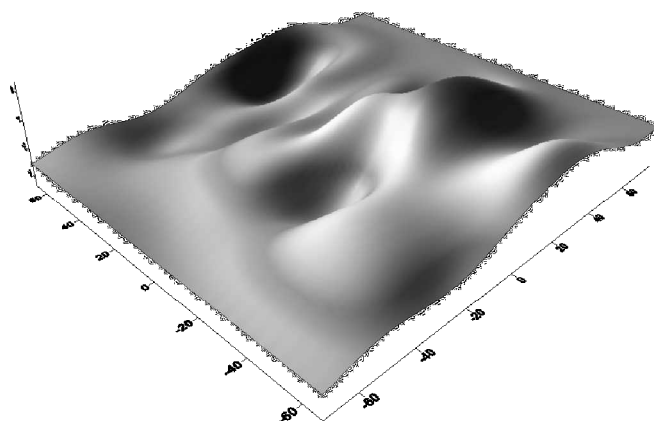


Рисунок 4 - Пространственная карта рельефа видимой полусферы Луны на основе данных каталога «Казань-1162»

В параграфе **втором** дается анализ точности наблюдений покрытий звезд Луной, входящих в основную базу 430322 покрытий. Установлено, что несмотря на зависимость точности наблюдений от самого феномена (открытия или покрытия), имеется зависимость точности от яркости покрываемых звезд. Очень яркие звезды и звезды слабее 7.5 звездной величины дают большую ошибку, чем звезды средней яркости. Также делается вывод о влиянии на точность личной ошибки наблюдателя, метода наблюдения, условий наблюдений, точности эфемерид и особенно точности карт краевой зоны Луны.

В параграфе **третьем** описывается построение и анализ базы 430322 наблюдений покрытий звезд Луной. Создание базы данных наблюдений покрытий звезд Луной предполагает не пассивный сбор наблюдательных данных, а активное их исследование, приведение в единую систему и использование для уточнения фундаментальных постоянных. Таким образом, всю проделанную работу можно разделить на несколько этапов, неразрывно связанных друг с другом.

Во-первых, это действительно создание базы самих наблюдений, выполненных как визуальным, так и фотоэлектрическим методами наблюдений. Всего было проанализировано 430322 покрытий, из которых часть уже была использована в работах Моррисона Л.В. и Сома М., но в их исследования не вошли наблюдения, выполненные в России, и сам наблюдательный ряд ограничивался восьмидесятым годом, а также использовались не всегда корректные подходы к учету редуций поправок за неровности лунного края, кроме того теория движения Луны и координаты покрываемых звезд брались из недостаточно точных, по современным данным, звездных каталогов. На Рисунке 5 показано распределение базы наблюдений покрытий звезд Луной по годам.

Следующим этапом можно считать сортировку наблюдений в зависимости от характеристик звезд, покрываемых диском Луны. В основном,

от значений их яркости. Дело в том, что в зависимости от звездной величины номера звезд давались в системах разных каталогов: Робертсона, SAOC и других. Нами все звезды были отождествлены с каталогом HIPPARCOS. Далее, по нашим исследованиям установлено, что слишком яркие и слабые звезды, вообще-то, при редукции наблюдений покрытий могут дать неуверенные результаты из-за неточных значений собственных движений. Поэтому такие наблюдения были выделены в особый ряд, чтобы можно было включить их в обработку только в качестве дополнительных.

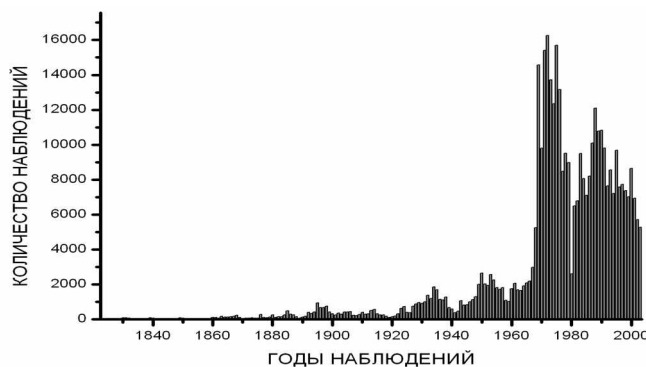


Рисунок 5 - Распределение базы наблюдений покрытий по годам

Был также установлен факт зависимости точности редукции покрытий от точности карт краевой зоны в большей степени, чем от того, каким методом наблюдалось покрытие: визуальным или фотоэлектрическим. В итоге, база данных наблюдений покрытий звезд Луной была подготовлена для анализа ориентации систем координат звездных каталогов.

В параграфе **четвертом** произведен анализ систем счета времени, используемых при редукции базы данных наблюдений покрытий звезд Луной. Все наблюдения необходимо было привести к единой временной шкале, так как интервал времени, в котором располагается наблюдательный ряд, простирается на шестьдесят лет и, разумеется, отсчеты моментов покрытий выполнялись из разных систем счета времени. В итоге наблюдения были приведены к земной динамической шкале.

В параграфе **пятом** описаны методы обработки покрытий звезд Луной. Рассмотрены основные принципы редукции таких наблюдений. Особое внимание уделено учету поправок за неровности лунного края. Классический подход предполагает, что покрытие происходит конкретно в плоскости, перпендикулярной лучу зрения и не рассматривается возможное наложение на плоскость лимба возвышенностей, находящихся перед или за этой плоскости, то есть не принимали во внимание неровности лунного края, которые могут оказаться на пути луча зрения и исказить реальное соприкосновение звезды и Луны. Это означает, что по вычисленной эфемериде звезда покрывается конкретной точкой лунного лимба и соответственно вносится поправка за неровности лунного края взятая для

координат именно этой точки. Однако в реальности при выполнении наблюдения звезда может покрыться, например, стоящей по лучу зрения перед данной точкой лимба горой. И это происходит в 30% случаях. Ясно, что не принятие во внимание данного факта вносит значительные искажения в конечные результаты исследований покрытий звезд Луной. Наш метод основан на моделировании с помощью компьютера процесса реального покрытия звезды, используя карты краевой зоны Луны в цифровом виде, что позволяет выполнять более точное определение поправки за неровности лунного края, которые при редукции наблюдений покрытий имеют первостепенное значение.

Далее дано описание редукций за рефракцию и за личные уравнения, которые зависят от фазы Луны и ее яркости. Также рассмотрен вопрос зависимости наблюдений от элонгаций. Для покрытий не установлена зависимость от элонгации, для открытий явно прослеживается параболическая зависимость.

Параграф **шестой** посвящен современному состоянию в области обработки наблюдений покрытий звезд Луной. Рассмотрены основные работы по редуцированию рядов наблюдений покрытий. Дается анализ определенных из наблюдений покрытий значений: приливного члена в средней долготе Луны, возникающего по той причине, что Луна не абсолютно твердое тело; сидерического среднего движения Луны на момент J2000.0; постоянного члена в долготе центра уровенной поверхности карт Уоттса; сидерического среднего движения Солнца; значений движений средних долгот перигея и узла Луны; поправок равенства каталога FK5 и наклона эклиптики к экватору; макрофигуры карт краевой лунной зоны Уоттса и поправок к среднему радиусу Луны; поправок в личные уравнения.

В параграфе **седьмом** приводятся основные этапы вывода параметров ориентации системы координат и положения нуля - пункта каталога Hipparcos на основе наблюдений покрытий звезд Луной. Особое внимание уделено выборке и весам наблюдений, идентификации покрываемых звезд, составлению условных уравнений и введению в наблюдения соответствующих поправок, новому методу учета поправки за неровности лунного края. Описан разработанный нами метод для нахождения на основе наблюдений покрытий углов поворота осей координат исследуемого каталога относительно динамической системы координат, поправок к нулю-пункту каталога по прямому восхождению и склонению, поправки к долготе Солнца и направления на нуль - пункт каталога.

Если записать для невязок наблюдений по α и δ , приведенных на среднее расстояние Луна - Земля:

$$(\Delta\alpha_{o-c})'_v = (R_o - R_c) \sin\theta'_* \times (932.58'') / R',$$

$$(\Delta\delta_{o-c})'_v = (R_o - R_c) \cos\theta'_* \times (932.58'') / R',$$

где θ'_* - позиционный угол звезды относительно проекции полюса земного экватора и ввести обозначения: v_x, v_y, v_z - углы поворота системы координат

исследуемого каталога относительно динамической системы координат, w_x, w_y, w_z - скорости изменения углов v_x, v_y, v_z , и в углах Эйлера $\Delta A, \Delta D$ - поправки к нулю - пункту каталога по α и δ , $\Delta L, \Delta \varepsilon$ - поправки к долготе Луны и к наклону эклиптики к экватору, тогда можно записать:

$$\begin{aligned} v_x &= -\Delta \varepsilon, v_y = \Delta L \sin \varepsilon, v_z = \Delta A - \Delta L \cos \varepsilon, \\ w_x &= -\Delta \vartheta, w_y = \Delta \bar{L} \sin \varepsilon, w_z = \Delta \bar{A} - \Delta \bar{L} \cos \varepsilon. \end{aligned}$$

В результате получается система $2n$ уравнений поправок вида:

$$\begin{aligned} \Delta \alpha_{o-c} &= -(\Delta A + \Delta \bar{A}(t - t_0)) \\ &+ (\Delta L + \Delta \bar{L}(t - t_0)) \cos \varepsilon (1 + \tan \varepsilon \tan \delta \sin \alpha) - (\Delta \varepsilon + \Delta \vartheta(t - t_0)) \tan \delta \cos \alpha, \\ \Delta \delta_{o-c} &= -\Delta D + (\Delta L + \Delta \bar{L}(t - t_0)) \sin \varepsilon \cos \alpha \\ &+ (\Delta \varepsilon + \Delta \vartheta(t - t_0)) \sin \alpha. \end{aligned}$$

Произведена оценка искомых поправок методом наименьших квадратов.

Параграф **восемью** посвящен анализу полученных параметров ориентации космического звездного каталога HIPPARCOS. Вычисления произведены в двух вариантах: с учетом поправок за неровности лунного края по картам Уоттса с поправками Моррисона и с карт "Казань":

$$v_x = 30'' * 10^{-4} \pm 24'' * 10^{-4}, v_y = -11'' * 10^{-3} \pm 12'' * 10^{-4}, v_z = 16'' * 10^{-4} \pm 27'' * 10^{-4}$$

$$w_x = 7 * 10^{-4} \pm 10 * 10^{-4} ("/cy), w_y = -14 * 10^{-4} \pm 19 * 10^{-4} ("/cy),$$

$$w_z = -12 * 10^{-4} \pm 26 * 10^{-4} ("/cy)$$

$$\Delta A = 74'' * 10^{-3} \pm 48'' * 10^{-3}, \Delta D = 45'' * 10^{-3} \pm 19'' * 10^{-3},$$

$$\Delta L = 41'' * 10^{-3} \pm 38'' * 10^{-3}, \Delta \varepsilon = 50'' * 10^{-4} \pm 41'' * 10^{-4}.$$

При использовании карт «Казань» в цифровом виде:

$$v_x = 41'' * 10^{-4} \pm 20'' * 10^{-4}, v_y = -2'' * 10^{-3} \pm 15'' * 10^{-4}, v_z = 23'' * 10^{-4} \pm 19'' * 10^{-4}$$

$$w_x = 14 * 10^{-4} \pm 18 * 10^{-4} ("/cy), w_y = -27 * 10^{-4} \pm 10 * 10^{-4} ("/cy),$$

$$w_z = -21 * 10^{-4} \pm 31 * 10^{-4} ("/cy)$$

$$\Delta A = 81'' * 10^{-3} \pm 54'' * 10^{-3}, \Delta D = 34'' * 10^{-3} \pm 25'' * 10^{-3},$$

$$\Delta L = 56'' * 10^{-3} \pm 31'' * 10^{-3}, \Delta \varepsilon = 62'' * 10^{-4} \pm 32'' * 10^{-4}.$$

Сравнивая значения поправок ориентации каталожной системы HIPPARCOS относительно динамической системы, задаваемой эфемеридой DE403/LE403, полученных для карт Уоттса и карт Казань, можно обнаружить хорошее согласие поправок. Ошибки полученных значений в случае использования карт Казань в некоторых случаях даже меньше, чем при редукциях наблюдений с использованием карт Уоттса с поправками, полученными Л.Моррисоном. Сравнение наших результатов с поправками, полученными в работе Батракова Ю.В. и др. показывают не только хорошее согласие параметров, но во многих случаях ошибки определения поправок у нас оказываются меньше, особенно в значениях скоростей изменения углов ориентации каталога. Это, видимо, следствие большого наблюдательного массива покрытий и его протяженности по временной шкале.

Третья глава посвящена построению моделей краевой зоны Луны (КЗЛ) и методам фрактального анализа моделей Луны, Венеры, Марса и Земли.

В параграфе **первом** приведен анализ современных моделей краевой зоны Луны и методов их построения. Установлено, что все построенные до настоящего времени карты лунной краевой зоны имеют те или иные недостатки. Во первых, это касается нуля - пункта отсчета макроповерхности карт. Действительно, если карты Нефедьева А.А. отнесены к центру фигуры, то карты Уотса С.Б. и Чугунова И.Г. имеют или искусственно, или естественно сдвинутые центры отсчета высот. Для исправления сдвига карт и приведения их к центру масс Луны приходится вводить поправки, полученных Моррисоном Л.В. Во вторых, необходимо приведение в соответствие самой макроструктуры карт краевой зоны Луны, так как поверхности отсчета карт могут иметь несогласующуюся с реальной физической поверхностью структуру. Сделан основной вывод о том, что актуальным является дальнейшее усовершенствование моделей краевой зоны Луны и тщательный анализ точности и достоверности представленных в них данных.

Параграф **второй** посвящен построению модели краевой зоны Луны по гелиометрическим наблюдениям с учетом второй модели фигуры Луны Яковкина. При создании карт использовались данные 10484 высот. Взаимоположение центра лунного лимба и центра масс Луны определялось на основе второй модели фигуры Луны А.А.Яковкина. Отсчеты высот брались от общего нулевого уровня. В результате были построены карты краевой зоны луны по подробности не уступающие картам Уотса и наиболее точно соответствующие равноуровенной поверхности отсчета неровностей лунного края. На Рисунке 6 приведен фрагмент построенных карт, изогипсы проведены через 0.2" по высоте, сами цифровые значения высот умножены на 10.

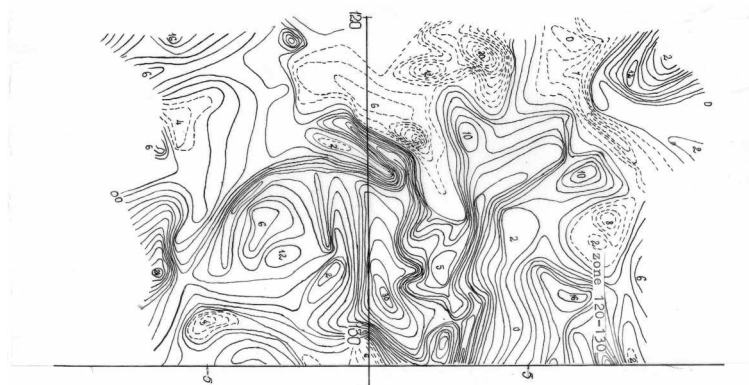


Рисунок 6 - Фрагмент карты краевой зоны Луны.

В параграфе **третьем** описано построение модели краевой зоны, отнесенной к центру масс Луны, в цифровом виде «Казань». Данные карты созданы на основе крупномасштабных снимках Луны со звездами. В отличие от всех остальных карт измеренные точки лимба Луны на каждом снимке были отнесены к фундаментальной небесной системе координат,

эфемеридному центру масс Луны и ее главным осям инерции. Таким образом, масштаб фотографических изображений Луны, их ориентация и нуль – пункт определялись «абсолютным» методом, а не относительным используемым при построении других карт краевой зоны Луны. Всего для построения карт краевой зоны использовалось более 40000 измерений. При интерполяции данных с карт Уоттса в цифровом виде, построенных Моррисоном, необходимо исправлять позиционный угол и следить за наклоном лунного экватора. В нашем случае никаких дополнительных поправок вводить не требуется. Метод "взвешивания" позволяет вычислить высотные данные у исследуемой точки в пределах точности 0.1". При определении высот с карт «Казань» в цифровой форме в поиске участвуют все данные карт в пределах задаваемого интерполяционного круга. Метод прост и требует самого минимального числа исходных точек. Также нет необходимости в проведении каких-то специальных действий по дополнительным вычислениям и построениям в самих картах.

В параграфе **четвертом** произведено исследование моделей краевой зоны Луны по наблюдениям фотоэлектрических покрытий звезд Луной и с использованием 16569 наблюдений покрытий, полученных в других регионах России на основе теории DE200/LE200. Нами были исследованы современные карты рельефа ее краевой зоны: карты Уоттса (W), карты Чугунова (Ch), карты Нефедьева А. (N), Нефедьева А., Нефедьева Ю., Боровских В. (NB), карты «Казань» в цифровом виде, карты Уоттса с поправками Моррисона (WM).

Таблица 2 - Результаты анализа шести карт

Название карт	ΔR_m	σ_{CKO}	ΔL
N	-0.281"	0.604"	0.70"
W	-0.001	0.557	0.61
Ch	-0.177	0.785	0.61
Казань	-0.004	0.593	0.10
NB	-0.208	0.501	0.62
WM	-0.017	0.436	0.00

Анализ показал, что наиболее точные результаты дают карты Уоттса с поправками Моррисона и карты «Казань» в цифровом виде. Отклонения от положения центра масс Луны имеют наименьшие значения для карт «Казань» и карт Уоттса с поправками Моррисона. Причем у последних имеется практически полное совпадение нуль - пункта отсчета высот в пределах точности теории DE200/LE200 с центром масс Луны. Центр карт «Казань» смещен относительно эфемеридного центра масс Луны только на 0.1". Если говорить о нуль - пункте координат карт как о центре фигуры Луны, то карты NB дают более точный результат по сравнению с картами N, в частности по параметрам сдвига по долготе центров данных карт относительно центра масс Луны и по средней квадратичной ошибке средних значений разностей

топоцентрических радиус - векторов звезды минус неровности края. А в случайном отношении лучше и карт Чугунова и Уоттса.

Параграф **пятый** посвящен фрактальным методам исследования физических систем. Показано, что фрактальный анализ позволяет изучить не только структурные особенности, но и связь между структурой и процессами ее образования. Можно сделать вывод, что при фрактальном подходе хаос обретает тонкую структуру, перестает быть синонимом беспорядка и чем больше отличается фрактальная размерность структуры от ее топологической составляющей, тем сложнее организована сама структура.

Приведены результаты фрактального анализа карт краевой зоны Луны, гравитационных моделей Венеры и Марса и топографической поверхности Земли. Проведен анализ средних фрактальных размерностей у карт краевой зоны Луны N и NB; карт Уоттса с поправками Моррисона и карт «Казань» в цифровом виде. Также исследованы коэффициенты подобия между картами Уоттса с поправками Моррисона и карт «Казань» в цифровом виде. Выполнено определение средних фрактальных размерностей для аномалий силы тяжести и геоидов Марса, Венеры, Земли и селеноида. Сделан анализ полной топографической карты Марса по данным миссии Марс Глобал Сервер. Сравнение коэффициентов подобия для южного и северного марсианских полушарий показало значительный «провал» от среднего значения по полушарию в районе долготы -100° , который свидетельствует о близости макро - рельефов северного и южного полушарий в данной области. Проведен анализ средних фрактальных размерностей для каждого из марсианских полушарий.

Четвертая глава представляет результаты исследования современных звездных каталогов HIPPARCOS, UCAC 2, PPM и TRC на основе графического метода анализа и методике точного учета рефракции при наземных наблюдениях.

В параграфе **первом** приводится краткий обзор современных каталогов звездных положений. Рассмотрены долгосрочные и краткосрочные перспективы создания опорных каталогов, первые связаны с космическими астрометрическими проектами, обещающие реализовать опорную систему в оптическом диапазоне с милли- и микросекундными точностями и плотностью свыше 1000 звезд на квадратный градус, вторые с высокоточными систематическими редукциями Шмидтовских обзоров (ГАИШ МГУ) и Twin Astrogaph Catalogue (UCAC), позволяющих решать астрометрические задачи с систематической ошибкой $10\div 50$ mas, Можно сделать вывод, что создание инерциальной системы координат можно осуществлять в два этапа: создание фундаментальной системы координат и определение вращательного движения созданной системы координат.

В параграфе **втором** предлагается новый метод оценки точности положений и собственных движений звезд в астрометрических каталогах путем сравнения положений звезд в исследуемом каталоге и каталоге Hipparcos в разные эпохи, но при стандартном равноденствии. Метод

опробован на оценке точности каталога UCAC2 путем сравнения с каталогами Hipparcos и Tycho-2. и количественной оценки точности каталогов Tycho, АСТ, TRC, Tycho-2, FON.

Из сравнения кривых графическим методом для каталогов Tycho-2 / Tycho установлено, что наиболее точные положения звезд у каталога Tycho-2 (0.4%), наименее точные у Tycho (48.8%). У каталогов АСТ и TRC точность почти одинаковая - (1.48%) и (1.87%). У каталога FON она хуже, чем у АСТ и TRC, но выше, чем у каталога Tycho - (31.7%). Наиболее точные собственные движения у звезд каталога Tycho-2. У каталогов АСТ и TRC они приблизительно одинаковы. У каталога FON точность собственных движений близка к точности собственных движений звезд каталога Tycho-2. Наименее точны они у каталога Tycho. Положения звезд в каталоге АСRS немного точнее, чем в PPM, и наименее точны они в каталоге FON: 22.4%, 26.1% и 30.5% соответственно. У каталогов UCAC2 и Tycho-2 точность положений и собственных движений звезд каталогах приблизительно равны. Полученные результаты хорошо согласуются с данными предшествующих исследований, выполненных другими авторами.

В параграфе **третьем** рассмотрен метод моделирования структуры атмосферы с целью учета аномалий рефракции при наземных наблюдениях звезд точных звездных каталогов. Исследуются глобальные наклоны воздушных слоев атмосферы и анализируется их влияние и взаимокompенсация на рефракционные параметры. Были вычислены значения астрономической рефракции для зенитных расстояний +10, 20, 30, 40, 50, 70, 80 градусов и для различных моделей атмосферы (при различных наклонах воздушных слоев одинаковой плотности). В результате построены восемь моделей:

1. Model B1. Стандартная атмосфера ГОСТ 4401 – 81.

2. Model B2. Стандартная атмосфера, но границы атмосферных слоев вблизи Земли имели наклон $2'$ от севера к югу, который медленно уменьшается до высоты 8 км, затем с высоты 15 км воздушные слои одинаковой плотности опять получают наклон с направлением от юга на север, этот наклон медленно увеличивается от $2'$ до высоты 28 км и затем медленно уменьшается до 0 на высоте 40 км.

3. Model B3 - с наклоном только нижних воздушных слоев, как и в модели B2. Границы верхних воздушных слоев параллельны геоиду.

4. Model B4 - наклон границ атмосферных слоев вблизи Земли с севера на юг равен $1'$, он медленно уменьшается до 0 на высоте 6 км. С высоты 8 км направление наклонов изменяется на обратное, он медленно увеличивается до $-1'$ на высоте 15 км, затем он медленно уменьшается до 0 на высоте 27 км.

5. Model B5 – стандартная атмосфера, но с высоты 8 км до 27 км имеются наклоны границ воздушных слоев как в модели B4.

6. Model B6 – эта модель противоположна модели B2, то есть перед наклонами атмосферных слоев изменяются знаки.

7. Model B2' – нижние граничные слои атмосферы имеют наклон как в модели B2. Но с высоты 10 км наклон границ атмосферных слоев появляется от юга на север и медленно увеличивается до $-2'$ на высоте 20 км и затем медленно уменьшается до 0 на высоте 27 км.

8. Model B6' – эта модель обратная модели B2'.

Полученные значения аномалий рефракции приведены в Таблице 3.

Таблица 3 - Аномалии астрономической рефракции обуславливаемые различным наклонам границ атмосферных слоев (в секундах дуги $\times 10^{-3}$)

Z	МОДЕЛЬ						
	B2	B3	B4	B5	B6	B2'	B6'
20 ⁰	1	0	0	0	0		
30	12	14	0	0	-13		
40	16	26	10	0	-16	15	-15
50	23	28	10	0	-23		
60	38	46	10	0	-39		
70	82	102	2	-2	-73	50	-50
80	315	381	20	-4	-326		

Установлено, что если наклоны верхних границ атмосферных слоев находятся на довольно большой высоте как в моделях B2-B6, то они компенсируют только 10% - 20%. Если наклон более верхних слоев воздуха начинается с небольшой высоты (Модель B2'– B6'), тогда воздействие на рефракцию наклонов более низких границ атмосферных слоев компенсирует, видимо, порядка 50% воздействия на рефракцию наклонов более верхних границ атмосферных слоев. Следовательно, необходимо вводить соответствующие поправки в наблюдаемые аномалии рефракции, обуславливаемые влиянию наклонов воздушных слоев одинаковой плотности, особенно такие поправки необходимо вводить в наблюдения современных высокоточных телескопов.

В заключение дана краткая характеристика работы, сформулированы основные результаты, полученные в диссертации, перечислены основные выводы по выполненной работе. Кратко изложены перспективы исследований в области селенодезических и астрометрических исследований в сфере задач, поставленных в настоящей работе.

В приложении приводятся Рисунки и Таблицы с данными, полученными при решении основных задач диссертационной работы. Даны карты краевой зоны Луны, напечатан каталог «Казань - 1162».

Цитируемая литература:

1. Батраков Ю.В. Об ориентации каталога HIPPARCOS относительно динамической системы координат по наблюдениям малых планет/ Ю.В. Батраков, Г.К. Горель, Л.А. Гудкова, Ю.А. Чернетенко// Труды ИПА.- 1998.- вып. 3.- С. 69 - 86.

2. Гаврилов И.В. Сводная система селенодезических координат 4900 точек лунной поверхности/ И.В.Гаврилов, В.С. Кислюк, А.С. Дума// Монография.- Киев, 1977.- С. 1- 172.
3. Кислюк В.С. Сравнительный анализ современных селенодезических опорных сетей// Астрометрия и Астрофизика.- 1971, № 13.- С.19-30.
4. Кислюк В.С. Эллипсоид инерции Луны// Кинематика и физика небесных тел.- 1985.- т.1, № 1.- С.41-48.
5. Кислюк В.С. Геометрические и динамические характеристики Луны// Монография.- Киев.- 1988.- С. 1-184.
6. Нефедьев А.А. Карты рельефа краевой зоны Луны на общем нулевом уровне// Изв. АОЭ.- 1958, № 30.- С. 1-149.
7. Рахимов Л.И. Карты рельефа краевой зоны Луны в системе фундаментального каталога звезд// Известия АОЭ.- 1992, № 57.- С. 89-113.
8. Рыхлова Л.В. Космический астрометрический эксперимент ОЗИРИС/ Л.В. Рыхлова, К.В. Куимов, А.А. Боярчук и др.//Монография.- Москва.- 2005.- С. 1-346.
9. Стандартные параметры атмосферы ГОСТ 4401-81// Гос. комитет СССР по стандартизации.- 1981.- С. 1-12.
10. Хьюбер П.Д. Робастность в статистике// М.: Мир.- 1984. - С. 1 - 304.
11. Чугунов И.Г. Карты краевой зоны Луны, по наблюдениям покрытий звезд// Письма в АЖ.- 1977.- т.3, № 4.- С. 182 - 183.
12. Юнер Р.Л. Устойчивые статистические методы оценки данных // М.- 1984.- С. 12 - 26.
13. Яцкив Я.С. О состоянии и тенденциях развития астрометрических исследований П.- Опорные системы// Астрометрия и Астрофизика.- 1983.- № 50.- С. 56-59.
14. Arthur D.W.G. Consolidated catalog of selenographic positions// Comm. of the LPL.- 1962.- vol. 1, N. 11. - P. 1-238.
15. Batrakov Yu.V. Hipparcos catalogue orientation as obtained from observations of minor planets/ Yu.V. Batrakov, Yu.A. Chernetenko, G.K. Gorel, L.A. Gudkova// A&A.- 1999, N. 352.- P. 703-711.
16. Batrakov Yu.V. On determination of zero-points of FK5 using observations of minor planets in Nikolaev/ Batrakov Yu.V., Chernetenko Yu.A., Gorel G.K., Gudkova L.A.// In: J.Vondrak. N.Capitaine (eds.). Journees 97. Systemes de reference Spatio-Temporels. Prague, 22-24 September 1997.- 1997.- P. 23.
17. Batrakov Yu.V. On the programme of ground-based observations of bright selected minor planets for 1991 2000/ Yu. A. Batrakov, V.A. Shor// In: J.H.Lieske, V.K.Abalakin (eds.), Inertial Coordinate System on the Sky.- 1989.- P. 69-71.
18. Galimov E.M. Objectives and Facilities of Lunar Exploration by Russia/ E.M. Galimov, G.M. Polishchuk, N.N. Sevastianov// 8th ILEWG Conference on Exploration and Utilization of the Moon, 23-27 July 2006, Beijing, China.- 2006.- P. 15 - 16.
19. Habibullin Sh.T. Independent selenocentric system coordinates / Sh.T. Habibullin, N.G. Rizvanov// Earth, Moon and Planets.- 1984.- Vol. 30, №1.- P. 1-19.
20. Hog F. Tycho Reference Catalogue/ F. Hog, A. Kuzmin, U. Bastian, C. Fabricius, K. Kuimov, L. Lindgren, V. Makarov, S. Roser// A&A.- 1998, N. 335.- P. L65.
21. Huber P.J. Robust Statistical Procedures// CBMS-NSF Regional Conference Series in Appl. Math.. SIAM, Philadelphia.- 1977.
22. Huber, P.J. Robust Statistics// Wiley, New York.- 1981.- P. 1-300.
23. Huber, P.J. Statistical Methods for Investigating Phase Relations in Stationary Stochastic Processes/ P.J. Huber, B.Kleiner, T. Gasser, G. Dumermuth// Tr. Audio Electroacoustics.- 1971, N. 19.- P. 78-86.
24. Kislyuk V The FON astrographic catalogue (FONAC): Version 1.0 / V. Kislyuk, A. Yatsenko, G. Ivanov, et al.// Proceeding of Journees 1999 &IX. Lohrman-Kolloquium"

- Motion of Celestial Bodies, Astrometry and Astronomical. Reference Frame", September 13-15, 1999.-Dresden: Lohrman bservatory.- 2000.- P. 61.
25. Merton E.D. A Unified Lunar Control Network: The Near Side/ E.D. Merton, T.R. Colvin// J. Geof. Reseach.- 1987.- vol. 92, N. B13.- P. 14,177 - 14,184.
 26. Morrison L.V. Catalogue of observations of occultations of stars by the Moon 1943-1971// Roy. Greenwich Obs. Bull.- 1978, N. 183, P. 1-14.
 27. Morrison L.V. An analysis of lunar occultations in the years 1943 - 1974 for corrections to the constants in Brown's theory, the right ascension system of the FK4, and Watts' lunar - profile datum// Monthly Notices.- 1979, N. 187.- P. 41 -82.
 28. Morrison L.V. Analysis of lunar occultations - II. Personal equation/ L.V. Morrison, G.M. Appleby// Monthly Notices.- 1981, N. 196.- P. 1005-1012.
 29. Morrison L.V. Analysis of lunar occultations - III. Systematic corrections to Watts' limb - profiles for the Moon / L.V. Morrison, G.M. Appleby// Monthly Notices.- 1981, N. 196.- P. 1013-1020.
 30. Morrison L.V. Analysis of lunar occultations - IV. Personal Rotation of the FK4 reference frame// Monthly Notices.- 1982, N. 198.- P. 1119-1127.
 31. Sinzi A.M. A note on personal equation for visual observation of occultation/ A.M. Sinzi, H. Suzuki// Report of Hydrographic Researches (Japan).- 1967, N. 2.- P.75.
 32. Smith D.E. Topography of the Moon from the Clementine lidar/ D.E. Smith, M.T. Zuber, G.A. Neumann, F.G. Lemoine// J. Geophys. Res.- 1997.- Vol. 102.- P.1591-1611.
 33. Soma M. Analysis of lunar occultations in the years 1955 - 1980 using the new lunar ephemeris ELP2000// Celestial Mechanics.- 1985.- vol. 45, N. 88.- P. 45 - 88.
 34. The Tycho-2 catalogue, position, proper motion, and two color photometry of the 2.5 million stars// Copengagen, 2000.
 35. Urban S.E. The ACT Reference Catalog/ S.E. Urban, T.E. Corbin, G.L. Wycoff// AJ.- 1998.- vol. 115.- P. 2161-2166.
 36. Watts C.B. The marginal zone of the Moon// Astron. Pap. Americ. Ephem.- 1963.- vol.1.- P. 1- 951.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Нефедьев, Ю.А. Вопросы современного естествознания [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, В.П.Мережин, Н.А.Емельянова, А.И.Галеев //Монография, Казань.- 2006.- С.1 - 150.
2. Нефедьев, Ю.А. Основные концепции фотографической и ПЗС астрометрии [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Н.Г.Ризванов, И.Ф.Бикмаев //Монография, Казань.- 2005.- С. 1 - 200.
3. Нефедьев, Ю.А. Теория и практика покрытий звезд Луной [Текст]/Монография Казань.- 2003.- С. 1 - 110.
4. Нефедьев, Ю.А. Космический эксперимент HIPPARCOS [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, АИ.Нефедьева, В.С.Боровских //Монография, Казань.- 2002.- С. 1 - 290.
5. Нефедьев, Ю.А. Служба вращения Земли [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, А.И.Нефедьева //Монография, Издательство КГУ, Казань.- 1994.- С. 1 - 140.
6. Нефедьев, Ю.А. Метод сравнения Hipparcos с астрометрическими каталогами и оценка точности каталога UCAC 2 [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Ризванов Н.Г., Рахимов Л.И., Шаймухаметов Р.Р. //Кинематика и физика небесных тел.- 2006, Т.22, № 3.- С.219 - 224.
7. Нефедьев, Ю.А. Фрактальный анализ поверхности планет [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Н.А.Долматова //Вестник КГПУ.- 2005, №4.- С. 103 – 105.

8. Нефедьев, Ю.А. Методика фрактального исследования гравитационного поля планет [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Г.К.Самигуллина //Вестник КГПУ.- 2005, №4.- С. 101 – 103.
9. Nefedjev, Yu.A The Study of the Local Fluctuations of the Earth's Crust Using Data of Latitude Observations [Text]/ Yu.A. Nefedjev, V.V.Lapaeva, V.P.Meregin //Geophysical Research Letters, 2005, 32, L24304, doi:10.1029/2005GL024316.
10. Nefedjev, Yu.A Photographic observations of Solar System bodies at the Engelhardt astronomical observatory [Text]/ Yu.A. Nefedjev, N.G.Rizvanov //Astronomy and Astrophysics.-2005, N 444, DOI 10.1051/0004-6361:20042458 .- P.625 – 627.
11. Nefedjev, Yu.A Determination of refraction anomalies made by classical method taking into account global inclinations of airstratas of identical density [Text]/ Yu.A. Nefedjev, A.I.Nefedjeva //Astronomische Nachrichten.- 2005, AN 326.- P.773-776.
12. Нефедьев, Ю.А. Изучение локальных колебаний земной коры нетрадиционными методами исследования [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, В.В.Лапаева, А.И.Нефедьева, Ш.С.Каратай, В.П.Мережин //Научный Татарстан.- 2004,№3.- С. 68-77
13. Нефедьев, Ю.А. Исследование точности современных звездных каталогов [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Н.Г.Ризванов, Р.П.Шаймухаметов //Кинематика и физика тел солнечной системы.- 2003, т.19, №4.- С. 1-6.
14. Нефедьев Ю.А. Рельеф видимой стороны Луны по данным независимой селеноцентрической системы координат [Текст]/ Ю.А.Нефедьев, С.Г. Валеев, Н.Г.Ризванов //Известия ВУЗ-ов: Геодезия и Аэрофотосъемка.- 2003, № 4.- С.83 – 90.
15. Nefedjev, Yu.A Research of a lunar surface with use the fractal analysis [Text]//Astronomical and Astrophysical Transactions.- 2003,№22(4-5).- P.631 – 632
16. Nefedjev, Yu.A Method of determination of the orientation of a space system of coordinates on the basis lunar occultations [Text]/ Yu.A. Nefedjev, A.I.Nefedjeva, N.G.Rizvanov //Astronomical and Astrophysical Transactions.- 2003,№22(4-5).- P.633-637.
17. Nefedjev, Yu.A The results of an accurate analysis of EAO charts of the Moon marginal zone constructed on the basis of lunar occultations [Text]/ Yu.A. Nefedjev, N.G.Rizvanov //Astronomische Nachrichten.- 2002, AN 323.- P.135-138.
18. Нефедьев, Ю.А. Работа Д.Я.Мартынова в Казанском университете [Текст]//Труды ГАИШ, LXVII, Часть I.- 1999.- С.67-69.
19. Нефедьев, Ю.А. К вопросу о фигуре Луны [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Л.И.Рахимов //Известия АОЭ.- 1992,№57.- С.114-118
20. Нефедьев, Ю.А. К вопросу о динамических координатах кратера Местинг А [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, В.М.Безменов //Известия АОЭ.- 1992, №57.- С.118-121
21. Нефедьев, Ю.А. Фотографические наблюдения спутников Марса в Великое противостояние 1988 года [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Н.Г.Ризванов, В.Н.Киткин, М.И.Кибардина //Известия АОЭ.-1991, №56.- С.57-66
22. Нефедьев, Ю.А. Обработка классических гелиометрических рядов с использованием помехоустойчивого статистического анализа [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, В.М.Безменов //Известия АОЭ.- №55, 1990.- С.112-120
23. Нефедьев, Ю.А. Карты краевой зоны Луны, построенные с учетом макрорельефа Луны [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, А.А.Нефедьев, В.С.Боровских //Известия АОЭ.- 1990, №55.- С.69-112
24. Нефедьев, Ю.А. Экваториальный диаметр Сатурна по измерениям в АОЭ [Текст]//Бюро Астрономических сообщений АН СССР.- 1985, №1388.-С.8.
25. Нефедьев, Ю.А. Поиск оптимальной структуры условных уравнений при обработке гелиометрического ряда наблюдений Луны [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, С.Г.Валеев //Бюро Астрономических сообщений АН СССР.- 1985, №1420.-С.5-7.

26. Нефедьев, Ю.А. Параметр I по наблюдениям Луны в системе звезд на гелиометре [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Р.Р.Шаймухаметов //Бюро Астрономических сообщений АН СССР.- 1985, №1391.-С.7-8.
27. Нефедьев, Ю.А. Наклонность лунного экватора к эклиптике по крупномасштабным снимкам Луны со звездами [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Л.И.Рахимов //Бюро Астрономических сообщений АН СССР.- 1985, №1396.-С.6.
28. Нефедьев, Ю.А. Вывод параметра I из второго ряда И.В.Бельковича [Текст]/Бюро Астрономических сообщений АН СССР.- 1985, №1396.-С.5.
29. Нефедьев, Ю.А. Постоянные ФЛЛ, полученные с использованием поправок Моррисона [Текст]/Ю.А. Нефедьев, Г.М.Столяров //Бюро Астрономических сообщений АН СССР.-1983, №1293.-С.7-8.
30. Нефедьев, Ю.А. Наблюдения спутников Юпитера в АОЭ в 1977-1978 гг. [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, И.Г.Чугунов //Известия АОЭ.-1981, №47.- С.116-118.
31. Нефедьев, Ю.А. Фотографические наблюдения спутников Сатурна [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, И.Г.Чугунов //Бюро Астрономических сообщений АН СССР.- 1980, №1114.-С.7-8.
32. Нефедьев, Ю.А. Измерение диаметров Юпитера на гелиометре АОЭ [Текст]/Известия АОЭ.- 1979, №46.- С.99-101
33. Нефедьев, Ю.А. Измерение диаметров Сатурна и его кольца на гелиометре АОЭ [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, И.Г.Чугунов //Бюро Астрономических сообщений АН СССР.- 1979, №1085.-С.8.
34. Нефедьев, Ю.А. Измерение диаметров Луны на гелиометре АОЭ [Текст] //Бюро Астрономических сообщений АН СССР.- 1978, №1016.- С.7-8.
35. Нефедьев, Ю.А. Фотографические наблюдения больших планет в АОЭ в 1975-1978 гг [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, И.Г.Чугунов, А.С.Мамаков //Депонировано в ВИНТИ.- 1979, №4262-79.- С. 1 - 14.
36. Нефедьев, Ю.А. Абсолютные координаты кратеров по гелиометрическим измерениям в АОЭ [Текст]/Депонировано в ВИНТИ .-1985, №1074-85.- С. 1 - 21.
37. Нефедьев, Ю.А. Исследование второго ряда А.А.Нефедьева с использованием поправок Моррисона [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Г.М.Столяров //Депонировано в ВИНТИ.-1985, №701-85.- С 1 - 6.
38. Нефедьев, Ю.А. Каталог 120 кратеров на поверхности Луны [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Е.М.Щукин //Депонировано в ВИНТИ.-1985, №4697-85.- С. 1 - 21.
39. Нефедьев, Ю.А. Основные редукции гелиометрических наблюдений / Ю.А. Нефедьев, В.С.Боровских [Текст]/Депонировано в ВИНТИ.-1985, №1419-85.- С 1 - 11.
40. Нефедьев, Ю.А. Параметры ФЛЛ, полученные из второго ряда И.В.Бельковича [Текст]/Депонировано в ВИНТИ.-1985, №700-85.-С.1 - 12.
41. Нефедьев, Ю.А. Каталог 10484 высот в краевой зоне Луны с учетом второй модели фигуры Луны А.А.Яковкина [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, А.А.Нефедьев, В.С.Боровских //Депонировано в ВИНТИ.- 1987, №7086-В87.- С. 1 - 138.
42. Нефедьев, Ю.А. Абсолютные координаты кратеров по гелиометрическим измерениям в АОЭ [Текст]/Труды Международной 23 - ей астрометрической конференции «Современная астрометрия», Ленинград, 19-23 марта 1985 г.- 1987.- С.339-343.
43. Нефедьев, Ю.А. Использование моделей фигуры Луны А.А.Яковкина в селенодезии [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, В.С.Боровских //Труды Международной конференции «Селенодезия и динамика Луны», Киев 13-15 октября 1987.- 1990.- С.141-145.
44. Нефедьев, Ю.А. О методе построения каталога динамических координат 1400 точек лунной поверхности [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Ш.Т.Хабибуллин, Н.Г.Ризванов, Л.И.Рахимов, М.И.Кибардина //Труды Международной конференции «Селенодезия и динамика Луны», Киев 13-15 октября 1987.- 1990.- С.133-137.

45. Nefedjev, Yu.A. On the Problem of Uniform Time [Text]/ Yu.A. Nefedjev, V.I.Vlasov, V.V.Kozarenko, L.I.Rahimov, N.G.Rizvanov // Труды Международной конференции "Modern Problems Astronomy", С.Петербург, 20 - 24 июня 1994.- 1994.- P. 28-29.
46. Нефедьев, Ю.А. К вопросу о динамическом времени [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Л.И.Рахимов, Н.Г.Ризванов, Р.Р.Шаймухаметов //Труды Всероссийской конференции «Метрология времени и пространства», Москва, 1994.- 1994.- С.41-42.
47. Нефедьев, Ю.А. Шкала равномерного времени [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Л.И.Рахимов, Н.Г.Ризванов, Р.Р.Шаймухаметов // Труды Международной конференции, посвященной памяти М.И.Симонова «Общепланетарные проблемы исследования Земли», Казань, 15-17 ноября 1994.- 1994.- С.29-30.
48. Nefedjev, Yu.A Lunar Ephemerides and Homogeneous Time scale in Astronomy [Text]/ Yu.A. Nefedjev , L.I.Rahimov, N.G.Rizvanov, R.R.Shajmukhametov // Труды Международной конференции «Problem of space, time, gravitation», С.Петербург, 16-21 сентября 1995.- 1995.- P.234-237.
49. Нефедьев, Ю.А. Определение аномалий астрономической рефракции классическим методом для случая глобальных наклонов слоев воздуха одинаковой плотности (оптических поверхностей) [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, А.И.Нефедьева //Труды Всероссийской конференции «Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики», С. Петербург, 23-27 сентября 1996.- 1996.- С.65-67.
50. Нефедьев, Ю.А. Теория аномалий астрономической рефракции, вызванных глобальным наклоном слоев воздуха одинаковой плотности (оптических поверхностей) [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, А.И.Нефедьева // Труды Всероссийской конференции «Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики», С. Петербург, 23-27 сентября 1996.- 1996.- С.67-69
51. Нефедьев, Ю.А. Шкала равномерного времени в астрономии [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Л.И.Рахимов, Н.Г.Ризванов, Р.Р.Шаймухаметов // Труды Всероссийской конференции «Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики», С. Петербург, 23-27 сентября 1996.-1996.- С.61-62
52. Нефедьев, Ю.А. Карты краевой зоны Луны в цифровом виде [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Л.И.Рахимов // Труды Всероссийской конференции «Результаты и перспективы исследования планет», Ульяновск, 10 - 14 ноября 1997.- 1997.- С.62-63.
53. Нефедьев, Ю.А. Соотношение между каталогами FK5 и ICRS (HIPPARCOS) [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, А.И.Нефедьева // Труды Всероссийской конференции «Астрономия и история науки» С. Петербург, 22 - 26 июня 1998.- 1999.- С.84-86.
54. Nefedjev, Yu.A Application of statistical methods for reduction heliometrical observations [Text]/ Yu.A. Nefedjev V.M.Bezmenov, N.G.Rizvanov // Труды Международной конференции «AstroKazan -2001: Astronomy and geodesy in new millennium», Казань, 24-29 сентября 2001.- 2001.- P.226-229.
55. Nefedjev, Yu.A The computer-readable version of charts of the marginal zone of the Moon of Engelhardt Astronomical Observatory [Text]/ Yu.A. Nefedjev, L.I.Rahimov, N.G.Rizvanov // Труды Международной конференции «AstroKazan -2001: Astronomy and geodesy in new millennium», Казань, 24-29 сентября 2001.- 2001.- P.221-223.
56. Nefedjev, Yu.A To question about accuracy maps of the lunar marginal zone [Text]/ Yu.A. Nefedjev, N.G.Rizvanov, R.R.Shajmukhametov // Труды Международной конференции «AstroKazan -2001: Astronomy and geodesy in new millennium», Казань, 24-29 сентября 2001.- 2001.- P.218-220.
57. Nefedjev, Yu.A To question about determination of anomalies refraction of airstratas identical density [Text]/ Yu.A. Nefedjev, A.I.Nefedjeva // Труды Международной конференции «AstroKazan -2001: Astronomy and geodesy in new millennium», Казань, 24-29 сентября 2001.- 2001.- P.230-232.

58. Nefedjev, Yu.A Using hindrance proof statistical analysis for applied the coordinates of Moon's crater [Text]/ Yu.A. Nefedjev, V.M.Bezmenov, N.G.Rizvanov // Труды Международной конференции «AstroKazan -2001: Astronomy and geodesy in new millennium», Казань, 24-29 сентября 2001.- 2001.- P.224-225.
59. Нефедьев, Ю.А. Ориентация каталога Hipparcos по наблюдениям покрытий звезд Луной: 1.Карты краевой зоны Луны [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Н.Г.Ризванов // Труды Всероссийской астрономической конференции «ВАК - 2001», С.Петербург, 6-12 августа 2001.- 2001.- С.132.
60. Нефедьев, Ю.А. История преподавания астрономии в Казани [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, И.А.Дубяго // Труды Всероссийской конференции «Современная астрономия и методика ее преподавания», С. Петербург, 27-29 марта 2002.- 2002.- С.176-179.
61. Нефедьев, Ю.А. Методика преподавания темы «Современные космические исследования» на основании учебного пособия «Космический эксперимент Hipparcos» [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, А.И.Нефедьева // Труды Всероссийской конференции «Современная астрономия и методика ее преподавания», С. Петербург, 27-29 марта 2002.- 2002.- С.44-46.
62. Нефедьев, Ю.А. Методика преподавания фундаментальной астрономии на основании учебных пособий «Служба вращения Земли» и «Фундаментальная астрометрия» [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, А.И.Нефедьева // Труды Всероссийской конференции «Современная астрономия и методика ее преподавания», С. Петербург, 27-29 марта 2002.- 2002.- С.73-76.
63. Нефедьев, Ю.А. Наблюдательный комплекс для учебных астрономических наблюдений в Казани [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Н.Г. Ризванов // Труды Всероссийской конференции «Современная астрономия и методика ее преподавания», С. Петербург, 27-29 марта 2002.- 2002.- С.54-56.
64. Нефедьев, Ю.А. Организация любительских наблюдений покрытий звезд Луной [Текст]// Труды Всероссийской конференции «Современная астрономия и методика ее преподавания», С. Петербург, 27-29 марта 2002.- 2002.- С.56-58.
65. Нефедьев, Ю.А. Современные технологии преподавания астрономии [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, З.М.Андреева // Труды Всероссийской конференции «Современная астрономия и методика ее преподавания», С. Петербург, 27-29 марта 2002.- 2002.- С.19-20.
66. Nefedjev, Yu.A Comparative accuracy of the modern astrometric catalogues [Text]/ Yu.A. Nefedjev, N.G.Rizvanov, R.R. Shaimukhametov //Труды Международной конференции «New Geometry of Nature, Astronomy, Philosophy, Education», Казань, 25.08 - 5.09 2003.- 2003.- P.159-165.
67. Нефедьев, Ю.А. Вторичная селенодезическая сеть в системе динамических координат лунных кратеров [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Н.Г.Ризванов // Труды Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.233 – 235.
68. Нефедьев, Ю.А. Исследование макрофигуры Луны по космическим и наземным наблюдениям [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, С.Г.Валеев, Н.Г.Ризванов // Труды Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.255 – 256.
69. Нефедьев, Ю.А. История развития фотографической астрометрии в Казани [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Ризванов Н.Г. // Труды Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.43 – 51.
70. Нефедьев, Ю.А. История развития селенодезии, динамики Луны и фотографической астрометрии в Казани. Часть 1 [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Ризванов Н.Г. // Труды

- Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.29 – 35.
71. Нефедьев, Ю.А. История развития селенодезии, динамики Луны и фотографической астрометрии в Казани. Часть 2 [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Ризванов Н.Г. // Труды Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.36 – 42.
 72. Нефедьев, Ю.А. К вопросу о наблюдениях покрытий звезд Луной [Текст]// Труды Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.246 – 249.
 73. Нефедьев, Ю.А. Новый подход в вопросе учета рефракции при редукции астрометрических наблюдений [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, А.И.Нефедьева // Труды Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.250 – 254.
 74. Нефедьев, Ю.А. Основные характеристики наблюдательного комплекса в Казани для учебных астрономических наблюдений [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Н.Г.Ризванов // Труды Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.236 – 239.
 75. Нефедьев, Ю.А. Предварительные результаты определения ориентации небесной системы координат на основе наблюдений покрытий звезд Луной [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Н.Г.Ризванов // Труды Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.240 – 245.
 76. Нефедьев, Ю.А. Современные астрометрические каталоги [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, И.А.Даутов, М.И.Кибардина, Н.Г.Ризванов // Труды Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.311 – 319.
 77. Нефедьев, Ю.А. Создание базы данных наблюдений покрытий звезд Луной [Текст]// Труды Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.228 – 230.
 78. Нефедьев, Ю.А. Фотографические положения Нептуна в системе каталога TICNO – 2 [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, И.А.Даутов, Л.И.Рахимов, Н.Г.Ризванов // Труды Международной конференции «Основные направления развития астрономии в России», 21 - 25 сентября 2004, Казань.- 2004.- С.327 – 331.
 79. Нефедьев Ю.А. Каталог 1000 селеноцентрических объектов по крупномасштабным снимкам Луны со звездами [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Н.Г.Ризванов, С.Г.Валеев//Труды международной конференции «Околоземная Астрономия 2005» .- 2006 .- С. 315 - 320.
 80. Нефедьев Ю.А. Параметры ориентации каталога Hipparcos на основе анализа 400000 покрытий звезд Луной [Текст]//Труды международной конференции «Околоземная Астрономия 2005» - 2006.- С. 320 - 324.
 81. Нефедьев Ю.А. Применение фрактального анализа при исследовании карт краевой зоны Луны [Текст]//Тезисы международной конференции «Околоземная Астрономия 2005» .- 2006.- С. 28.
 82. Нефедьев Ю.А. Программа «Селена», проекты «Райс», «Айлом» и комплексное исследование Луны [Текст]/ Ю.А.Нефедьев, А.В. Гусев, Ю.В. Баркин, Н. Кавано и др. //Труды международной конференции «Околоземная Астрономия 2005» .-2006.- С. 366-373.
 83. Нефедьев, Ю.А. Этапы развития селенодезических исследований в Казани [Текст]/ Ю.А.Нефедьев, Н.Г.Ризванов, Л.И.Рахимов //Труды международной конференции «Околоземная Астрономия 2005» .- 2006.- С. 308 - 315.
 84. Нефедьев, Ю.А. К вопросу о картографированию лунной поверхности [Текст]/ Нефедьев Ю.А., Л.И.Рахимов //Тезисы Международной конференции, посвященной

- памяти М.И.Симонова «Общепланетарные проблемы исследования Земли», Казань, 15-17 ноября 1994.- 1994.- С.39-40.
85. Nefedjev, Yu.A Study of spin-orbit, inner dynamics and topography of the moon: lunar missions applications [Text]/ Yu.A. Nefedjev, Yu. Barkin, A. Gusev, N. Petrova, N. Rizvanov// N.35th COSPAR Scientific Assembly. Held 18 - 25 July 2004, in Paris, France.-2004.- P.3305.
 86. Нефедьев, Ю.А. Определение аномалий рефракции классическим методом с учетом оптических поверхностей (слоев одинаковой плотности) [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, А.И.Нефедьева //Труды ГАИШ.- 2004, Т.LXXV.- С. 236
 87. Нефедьев, Ю.А. Спин – орбитальная эволюция, космическая селенодезия и физика Луны: прошлое, настоящее, будущее [Текст]/ Нефедьев Ю.А., Ю.В.Баркин, А.В.Гусев, Н.Кавано, Р.А.Кашеев, Н.К.Петрова, Н.Г.Ризванов, М.И.Шпекин //Тезисы Всероссийской конференции : «Юбилейная научная конференция физического факультета, 2004», Казань, 2004.- 2004.- С.108.
 88. Нефедьев, Ю.А. Сравнительная точность современных астрометрических каталогов [Текст]/ Ю.А. Нефедьев Н.Г.Ризванов, Р.Р.Шаймухаметов //Труды ГАИШ.- 2004, Т.LXXV.- С. 239
 89. Нефедьев, Ю.А. Топография лунной поверхности по космическим и наземным наблюдениям [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, С.Г.Валеев, Н.Г.Ризванов// Труды ГАИШ.- 2004, Т.LXXV.- С. 236
 90. Nefedjev, Yu.A. Spin – orbit evolution, multi – phase core dynamics, gravitational and topography anomalies of far – side on the Moon: what we know, what we wait from SELENE [Text]/ Yu.A. Nefedjev ,H. Araki, Yu.Barkin, A.Gusev, at all //Труды ГАИШ.- 2005,Т. LXXVIII.- С. 83.
 91. Нефедьев, Ю.А. Каталог опорных звезд для позиционных наблюдений внегалактических радиоисточников [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, Л.И.Рахимов, Н.Г.Ризванов //Труды ГАИШ.-2005,Т. LXXVIII.- С. 21.
 92. Нефедьев, Ю.А. Координаты больших планет в системе каталога TYCHO – 2 [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, И.А.Даутов, Н.Г.Ризванов //Труды ГАИШ.-2005,Т. LXXVIII.- С. 21.
 93. Нефедьев, Ю.А. Макрофигура Луны по космическим и наземным наблюдениям [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, С.Г.Валеев, Н.Г.Ризванов //Труды ГАИШ.-2005,Т. LXXVIII.- С. 87.
 94. Нефедьев, Ю.А. Новый метод учета рефракции при редукции астрономических наблюдений [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, А.И.Нефедьева //Труды ГАИШ.-2005,Т. LXXVIII.- С. 21.
 95. Нефедьев, Ю.А. Ориентация системы координат каталога HIPPARCOS на основе наблюдений покрытий звезд Луной [Текст]/Труды ГАИШ.- 2005,Т. LXXVIII.- С. 14.
 96. Нефедьев, Ю.А. Развитие селенодезических исследований в Казани [Текст]/ Ю.А. Нефедьев, М.И.Кибардина, Н.Г.Ризванов //Труды ГАИШ.-2005,Т. LXXVIII.- С. 97.
 97. Нефедьев, Ю.А. Фрактальный анализ поверхностей и гравитационных полей Венеры, Земли, Марса и Луны [Текст]/Труды ГАИШ.-2005,Т. LXXVIII.- С. 87.
 98. Ризванов, Н.Г. Исследования по селенодезии и динамике Луны в Казани/ Н.Г. Ризванов, Ю.А.Нефедьев, М.И. Кибардина// Астрономический вестник.- 2007.- т. 41, № 2.- С. 1-10.