

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.02/20.12.2019.FM.15.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ПРИ АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**  

---

**АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АН РУЗ**

**ЙУЛДОШЕВ КУДРАТИЛЛО ХАБИБУЛЛАЕВИЧ**

**СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО КАТАЛОГА ФОН-КИТАБ И  
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗБРАННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ  
ФОТОГРАФИЧЕСКОГО АРХИВА  
АСТРОНОМИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА АН РУЗ**

**01.03.01 – Астрономия**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ФИЗИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент - 2023**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером B2023.2.PhD/FM886.**

Диссертация выполнена в Астрономическом институте АН РУз.

Автореферат диссертации на трех языках (русском, узбекском и короткая аннотация на английском) размещён на веб-странице Научного совета ([www.astrin.uz](http://www.astrin.uz)) и Информационно-образовательном портале “Ziyonet” ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный руководитель:** **Эгамбердиев Шухрат Абдуманнапович,**  
доктор физико-математических наук, академик

**Официальные оппоненты:** **Андреевский Сергей Михайлович,**  
доктор физико-математических наук

**Гайнуллина Эвелина Рабиновна,**  
кандидат физико-математических наук

**Ведущая организации:** **Харьковский национальный университет  
имени В.Н. Каразина**

Защита диссертации состоится “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании Научного совета PhD.02/20.12.2019.FM.15.01 при Астрономическом институте (Адрес: Астрономическая, 33, 100052, г. Ташкент. Тел.: (+99871) 235-81-02; факс: (+99871) 234-48-67; e-mail: [info@astrin.uz](mailto:info@astrin.uz))

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Астрономическом институте (регистрационный номер \_\_) по адресу: 100052, г. Ташкент. Астрономическая, 33, Астрономический институт, тел.: (+99871) 235-81-02).

Автореферат диссертации разослан “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 г.  
(Реестр протокола рассылки № \_\_\_\_\_ от “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 г.)

**Д.Ш. Фазылова**  
Заместитель председателя Научного совета  
по присуждению ученой степени, д.ф.-м.н.,  
старший научный сотрудник

**И.А. Ибрагимов**  
ученый секретарь Научного совета по  
присуждению ученой степени, к.ф.-м.н.,  
старший научный сотрудник

**А.Б. Абдикамалов**  
председатель научного семинара при Научном  
совете по присуждению ученой степени, д.ф.-м.н.,  
ведущий научный сотрудник

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В настоящее время реализация инерциальной системы отсчета для исследования кинематики звезд, скоплений и Галактики, являющейся индикатором динамических процессов в космических объектах, является наиболее важной физической проблемой, решаемой методами наземной и космической астрометрии. Учитывая, что «большой объем изображений на астронегативов имеет ценное значение для повторного определения точных орбит околоземных орбит объектов, долгопериодических комет, объектов пояса Койпера и других»<sup>1</sup> Международным астрономическим союзом (IAU) отмечена важность проведения международных работ по сохранению данных астрономических наблюдений. Для этого актуальное значение приобретает задача по созданию фоторафических каталогов звезд и интеграция их в существующие, таких как Position and Proper Motions (PPM), на разные опорные эпохи для исследования их собственных движений.

В настоящее время в мире совершенствуется технология составления и обработки астрономических каталогов на основе тщательного сбора и обработки больших объемов данных с помощью передовых технологий телескопических наблюдений и космических обсерваторий таких как Hubble Space Telescope. В этом направлении проводятся целенаправленные научные исследования, в том числе: улучшение технологии обработки данных для точных измерений координат, звездных величин, собственных движений и других параметров объектов на небе, создание доступных интерактивных каталогов объектов, развитие компьютерных методов обработки данных и статистического анализа огромных объемов информации для создания точных и надежных астрономических каталогов.

В Республике большое внимание уделяется фундаментальным исследованиям созданию астрономических каталогов, основанных на наблюдениях и данных из земных и космических телескопов. В рамках международного проекта Фотографический обзор неба (ФОН) создан каталог звезд по данным 1963 астронегативов долгопериодических наблюдений двойном астрографе фирмы Цейса Китабской международной широтной станции. Для реализации задач, обозначенных в «Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»<sup>2</sup> необходимо повышение эффективности использования создаваемых астрономических каталогов и точности определения собственных движений звезд на основе усовершенствования методов их создания, интеграции с данными европейского проекта Gaia и внедрения новых, высокоточных измерительных технологий, таких как сканер Digitizer Китая для оцифровки астрономических фотопластинок.

Данная научно-исследовательская работа в определенной степени соответствует задачам, обозначенным в Постановлении Президента

---

<sup>1</sup> [https://www.iau.org/static/science/scientific\\_bodies/working\\_groups/313/wg-313-triennial-report-2018-2021.pdf](https://www.iau.org/static/science/scientific_bodies/working_groups/313/wg-313-triennial-report-2018-2021.pdf)

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы» от 28 января 2022 г.

Республики Узбекистан № УП-60 от 29 января 2022 года “О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы”, № УП-5806 от 30 августа 2019 года “О развитии космической деятельности в Республике Узбекистан” и постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-5032 от 19 марта 2021 года “О мерах по повышению качества образования и совершенствованию научных исследований в области физики”, а также в других нормативно-правовых документах, имеющих отношение к данной области деятельности.

**Соответствие исследования с приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан: IV. “Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий”.

**Степень изученности проблемы.** В 1976 г. сотрудниками ГАО НАН Украины И.Г. Колчинским и А.Б. Онегиной был предложен проект Фотографического обзора неба (ФОН). Проект был реализован в обсерваториях бывшего Советского Союза, таких как Голосеево, Звенигород, Гиссар (Душанбе), Абастумани, Зеленчук и Китаб. Для этого были использованы однотипные астрографы производства Карл Цейс Йена с диаметром объектива 400 мм и фокусным расстоянием 2000 мм или 3000 мм. Фотографирование неба началось с 1981 и продолжалось по 1996 г.

Важным шагом в составлении каталогов стало появление возможности оцифровки астронегативов на “стандартных” коммерческих сканерах и дальнейшей обработки и анализа данных на компьютерах.

В 2016 г. после обработки было обработано 2260 фотопластинок программы ФОН-Киев, снятых в Голосеевской обсерватории был опубликован каталог экваториальных координат и звездных  $B$ -величин, содержащий 19,4 миллионов звезд и галактик. Для определения ошибок каталога было использовано программное обеспечение разработанное сотрудником ГАО НАН Украины В.Н. Андруком.

Созданию фотографических каталогов звезд и их интеграции в существующие каталоги частично отражены в научных работах украинских ученых (В.С. Кислюк, А.И. Яценко, Г.А. Иванов, Л.К. Пакуляк, Т.П. Сергеева, В.М. Андрук, В.В. Головня, С.В. Шатохина). При этом были изучены фотопластинки и составлен каталог звезд и галактик только для северной части неба. Тогда как исследования, проводимые в данной диссертационной работе сосредоточены на изучении небесных объектов южной части неба, и эта часть (ФОН-Китаб) проекта ФОН к настоящему времени не была изучена.

Кроме этого, в Харьковском национальном университете имени В.Н. Каразина, астрометрический отдел под руководством П.Н. Федорова также занимается созданием астрометрических каталогов. Сотрудниками отдела П.Н. Федоровым, А.А. Мызниковым, В.С. Ахметовым и А.Б. Величко было создано ряд каталогов таких как “Каталог положений и собственных движений слабых звезд CX1 вокруг источников ICRF”, “Каталог XPM: Абсолютные

собственные движения 280 миллионов звезд”, “The PMA Catalogue: 420 million positions and absolute proper motions”.

Из современных фотографических каталогов следует отметить Боннское обозрение, Каталог ярких звёзд, Каталог Генри Дрейпера, Общий каталог переменных звёзд, Паломарский обзор, ФОН-Киев и др.

Важный шаг в каталогизации небесных объектов связан с появлением фотографии. В конце XIX века фотография прочно вошла в практику астрономических исследований. Первый фотографический каталог Carte du Ciel (“Карта неба”) был создан по инициативе директора Парижской обсерватории Амедей Муше. В широкой международной программе были задействованы 20 обсерваторий, оснащенных однотипными астрографами. К середине 20 столетия было получено 22000 фотопластинок, на основе анализа которых был составлен каталог положений звезд до 11-й звездной величины. В 1980-х годах сотрудниками ГАИШ МГУ была выполнена оцифровка данных и создан каталог 4 млн. звезд на эпоху 1950.0.

Однако из-за неточности определения собственных движений, построенные в прошлом системы координат не отвечали требованиям задач астрометрии, астрономии и космологии, поскольку не могли реализовать квази-инерциальную систему координат. Возникла необходимость создания более однородной системы координат.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационная работа выполнена в рамках научных проектов Астрономического института: ВА-ФА-Ф-2-006 - “Создание многоцветного цифрового обзора неба на Майданакской обсерватории и исследование уникальных астрофизических объектов из архивных данных”, А-ФА-2021-36 - “Оцифровка астронегативов АИ АН РУз с использованием оцифровывающей машины Шанхайской Астрономической обсерватории АН КНР и изучение долговременного движения выбранных астрономических объектов”.

**Целью исследования** является оцифровка фотопластинок, отснятых в 80-х и 90-х годах прошлого века на Двойном астрографе Цейса в Китабе, составление на их основе фотографического каталога южного участка неба проекта ФОН, оцифровка всего фотоархива АИ АН РУз с помощью высокоточного сканера Шанхайской астрономической обсерватории КНР и анализ избранных объектов.

**Задачи исследования:**

создание и организация цифровой базы астрономических данных, включая картотеку фотопластинок с учетом стандартов Wide-Field Plate Data Base (WFPDB) Международного астрономического союза (МАС);

разработка и оптимизация методики оцифровки астрономических негативов, учитывая особенности оцифровывающего оборудования;

создание каталога положений и звездных величин источников звезд и галактик на основе обработки изображений фотопластинок проекта ФОН-Китаб, оцифрованных в АИ;

разработка программа, написанная в программном среде Munich Image

Data Analysis System (MIDAS) для обработки и анализа оцифрованных изображений и данных фотопластинок;

исследование отдельных астрономических объектов с использованием данных фотографического архива для определения и анализа экваториальных координат и фотографических звездных величин.

**Объектом исследования** является цифровая база астрономических данных и архив, включая картотеку фотопластинок, составленных в соответствии с стандартами Wide-Field Plate Data Base (WFPDB) Международного астрономического союза (МАС)

**Предметом исследования** является создание и организация цифровой базы астрономических данных, оптимизация методики оцифровки фотопластинок, составление каталога звезд и галактик, обработка данных в MIDAS, анализ астрономических объектов.

**Методы исследования.** Анализ и обработка фотопластинок с применением цифровых технологий, разработка программного комплекса в MIDAS, создание цифровой базы данных, статистический анализ объектов.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

выполнена полная оцифровка астронегативов архива Астрономического института АН РУз с использованием современных сканеров ШАО;

создан астрографический каталог положений и звездных величин 13,4 миллионов звезд и галактик, основанный на наблюдениях южного участка проекта ФОН;

разработаны методы двух экспозиционного разделения звезд, что позволило улучшить точность обработки астронегативов с помощью пакета программ MIDAS;

проведено исследование систематических ошибок сканера и разработаны методы их исправления;

выполнена редукция измеренных координат изображений источников в систему каталога Tycho-2, а также инструментальных звездных величин в систему каталогов с фотоэлектрическими измерениями звезд;

фотопластинки были оцифрованы на сканере ШАО и было обнаружено, что результаты обработки согласуются с результатами данных Центра малых планет, полученными в последние годы.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

Это первая диссертация, подготовленная к защите по материалам проекта ФОН;

составлена картотека фотопластинок из архива Астрономического института АН РУз в соответствии со стандартами Международного астрономического союза (WFPDB);

создана и проанализирована цифровая база данных астронегативов ФОН, полученных с 1981 до 1996 года, с использованием программного комплекса MIDAS на языке Fortran;

создан фотографический каталог, содержащий экваториальные координаты, звездные В-величины и другие астрометрические и фотометрические параметры для более 13,4 миллионов звезд и галактик;

созданы каталоги экваториальных координат и В-звездных величин для снимков первой (1935,0 г.) и второй (1976,9 г.) эпох в области неба со скоплением  $\chi$  и  $h$  Персея, а также каталоги положений и В-звездных величин 2728 астероидов и комет на основе обработки данных проекта ФОН.

**Достоверность результатов исследования** обеспечивается использованием современных численных методов и алгоритмов для обработки данных и для расчета астрометрических и фотометрических характеристик небесных объектов, а также сравнительным анализом полученных выводов с результатами других авторов.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость полученного каталога заключается в том, что он может содержать характеристики различных транзитных объектов, таких как оптические компоненты космических гамма-всплесков и компонентов гравитационно-волновых событий, сверхновые звезды, астероиды, кометы, а также объекты Солнечной системы и другое. Это имеет важное значение для более глубокого исследования данных небесных тел.

Практическая значимость каталога заключается в возможности использования его астрометрического и фотометрического материала для детального изучения характеристик отдельных небесных объектов, а также для анализа групп небесных тел со схожими характеристиками. Это позволяет исследователям получать более точные данные и сделать более значимые выводы о природе и свойствах изучаемых объектов.

**Внедрение результатов исследования.** По результатам исследовательской работы в электронной базе данных Центра астрономических данных в Страсбурге опубликован каталог астрометрических и фотометрических данных 13,4 млн звезд и галактик, составленный на базе фотоархива АИ АН РУз.

Также, результаты исследований были использованы в ряде работ зарубежных авторов при выборе астрометрических и фотометрических характеристик оцифрованных астронегативов Балдонской обсерватории (Eglitis, I., Eglite, M. *Science and Innovation*, 2017), при составлении каталога небесных тел архива Украинской виртуальной обсерватории (Protsyuk Y.I. et al. *Communications of the Byurakan Astrophysical Observatory*, 2020), при изучении астрометрической редукции некоторых фотографических пластинок в систему опорного каталога Gaia DR2, которые были получены телескопом Шмидта на Англо-Австралийской обсерватории (Andruk V.N. et al. *Odessa Astronomical Publications*, 2021); при составлении каталога ФОН-Душанбе, выведенного в системе каталога Tycho-2 с помощью обработки 1529 фотопластинок проекта ФОН Душанбе из коллекции института Астрофизики АН Республики Таджикистан (Kokhirova G. et al. *Odessa Astronomical Publications*, 2021); при составлении каталога 300 астероидов и комет (Shatokhina S.V. et al. *Odessa Astronomical Publications*, 2020).

Методы анализа, разработанные в диссертации, были использованы другими авторами при исследовании аналогичных объектов. Об этом свидетельствуют ссылки на наши публикации в следующих международных

журналах, включенных в базу данных SCOPUS и приведенные в Google scholar:

On the concept of the enhanced FON catalog compilation // Odessa Astronomical Publications. 2017. 30. 159-162. – 17 цитирование;

Star photometry on digitized astronegatives // Science and Innovation. 2017, 13(1): 15-23. – 16 цитирование;

Catalog of Equatorial Coordinates and B- Magnitudes of Stars of the Kitab Part of the FON Project // Kinematics Phys. Celest. Bodies. - New York: Allerton Press, Inc. V33, N5, с.250-253. – 15 цитирование;

The equatorial coordinates and B- magnitudes of the stars in the Southern hemisphere zones based on the digitized astronegatives of FON project at the Ulugh Beg Astronomical Institute // Odessa Astronomical Publications. 2016. Vol.29, p.160-162. – 13 цитирование;

Comparison of zero zone catalogues of the FON program based on the Kyiv and Kitab observations // Odessa Astronomical Publications. 2015. V.28, Is 2, p.188-191. – 13 цитирование;

Method for evaluating the astrometric and photometric characteristics of commercial scanners in their application for the scientific purpose // Odessa Astronomical Publications. 2014. V.27, Is.1, p.61-62. – 13 цитирование;

Catalogue of coordinates and B- magnitudes in  $-20^{\circ}$  -  $+2^{\circ}$  zone based on the Ulugh Beg Astronomical Institute part of the FON project // Odessa Astronomical Publications. 2017. Vol.30, p.205-208. – 10 цитирование;

Astrometry of  $\chi$  and h Persei based on processing of digitized plates of archive of the Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan // Odessa Astronomical Publications. 2014. V.27, Is.1, p.57-58. – 10 цитирование;

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 21 международных и Республиканских научно-практических конференциях.

**Публикации результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, 10 из них в международных научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикаций основных научных результатов диссертации.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 123 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы, сформулированы цель и задачи, объекты и предмет исследования, указано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыты теоретическая и практическая значимость

работы, представлены сведения по внедрению результатов исследования в практику, опубликованным научным работам и структуре диссертации.

Первая глава диссертации **“Фотографический архив Астрономического института АН РУз”** посвящена обзору фотографических каталогов и базы данных фототеки Астрономического института АН РУз, а также описанию состояния используемого для наблюдений телескопа — Двойного астрографа Цейса (ДАЦ) и работ по составлению каталога астронегативов с использованием международных стандартов.

Далее в работе рассмотрен обзор различных фотографических архивов мира. Более 50 фотоархивов хранят миллионы фотопластинок, включая такие архивы, как Институт Карнеги (США), Обсерватория Верхнего Прованса (Франция), Обсерватория Спроуля (США), Королевская Гринвичская обсерватория и другие. Отдельно обсуждаются работы по оцифровке фотопластинок в различных фотоархивах, включая Гарвардский университет (США), Зоннебергская обсерватория (Германия), Одесская астрономическая обсерватория (Украина), Шанхайская астрономическая обсерватория (Китай), Главная астрономическая обсерватория (Украина), Бюраканская астрофизическая обсерватория (Армения). Фотографический архив Астрономического института также является одним из этих архивов. В рамках диссертации основное внимание уделено переводу этого архива в полноценный цифровой формат, исследованию выбранных объектов и составлению каталога звезд на основе обработки фотопластинок, полученных в рамках проекта **“Фотографический Обзор Неба” (ФОН)**.

Данная глава также предоставляет описание фотографического архива Астрономического института, который включает данные наблюдений из Ташкента и Китабской международной широтной станции. В настоящее время в фотографическом архиве Астрономического института хранятся более 15 000 фотопластинок. Были проанализированы также стандарты Международного астрономического союза (МАС) — Wide Field Plate Data Base (WFPDB), применяемые для каталогизации фотопластинок.

Во второй главе **“Создание цифрового фотографического каталога ФОН-Китаб”** рассмотрены этапы создания цифровой базы данных астронегативов, полученных в рамках проекта ФОН. В этой главе также проводился анализ вопросов, связанных с использованием сканера Epson Expression 10000XL для оцифровки фотопластинок, процессами оцифровки и обработки, оценкой точности обработки астронегативов с помощью программы MIDAS, а также учетом и исправлением систематических ошибок сканера и уравнения блеска.

Первый параграф данной главы представляет информацию об идее проекта ФОН, его создании и реализации. Проект ФОН был предложен украинскими учеными в 1976 году с целью составления каталога звезд в диапазоне от  $20^\circ$  до  $+90^\circ$ . В проекте участвовали 6 обсерваторий: Голосеево, Зеленчук, Звенигород, Душанбе, Абастумани и Китаб. Наблюдения проводились в период с 1981 по 1996 год, преимущественно в первые 10 лет. В результате были созданы каталоги ФОН-Киев и ФОН-Китаб для северной и

южной частей неба соответственно.

Во втором параграфе главы описываются задачи тестирования сканера в разных режимах и поиска оптимального решения для оцифровки астронегативов. Известно, что каждый прибор имеет свои систематические погрешности. В данном параграфе была изучена классификация сканера Epson Expression 10000XL, который широко используется в обсерваториях мира для оцифровки фотопластинок, его возможности и использование для расчета астрометрических и фотометрических параметров. Для этого проводилось повторное сканирование и обработка оцифрованных изображений в различных режимах сканера. На рисунке 1 показаны результаты тестирования сканера в режимах 1200 dpi. При сканировании направление X соответствует оси прямого восхождения ( $\alpha$ ), а направление Y соответствует оси склонения ( $\delta$ ). Таким образом, при движении сканера в направлении Y обнаружены значительные ошибки.

Были проведены тесты для оценки точности сканера Epson Expression 10000XL при оцифровке фотопластинок. Результаты тестов показали, что для разрешения 1200 dpi ошибки для прямоугольных координат составили в диапазоне от 0,014 до 0,0028 пиксела ( $\sigma_{xy}=0,014\div 0,0028$  px), а для инструментальных звездных величин - от  $0,006^m$  до  $0,009^m$  ( $\sigma_m=0,006^m\div 0,009^m$ ). Также были выполнены аналогичные работы для разрешения 2400 dpi, и результаты показали, что ошибки для прямоугольных координат в этом режиме составили в диапазоне от 0,016 до 0,056 пиксела ( $\sigma_{xy}=0,016\div 0,056$  px), а для инструментальных звездных величин - от  $0,006^m$  до  $0,008^m$  ( $\sigma_m=0,006^m\div 0,008^m$ ). Исследования также включали тестирование в режимах 600, 900, 1500, 1800, 2100 и 2540 dpi.

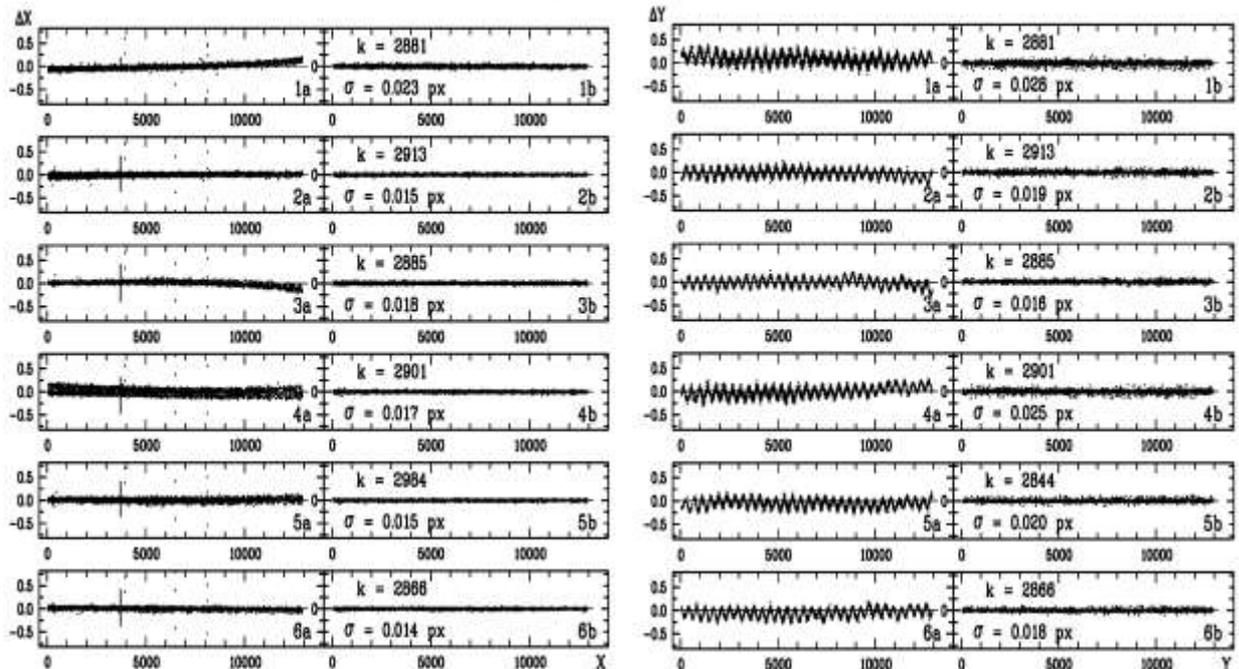


Рис. 1. Ход разностей измеренных координат шести 6 последовательных сканов относительно значения среднего скана для координат X для режима 1200 dpi.

Таким образом, на основании проведенных тестов и анализа результатов, был сделан вывод, что режим сканирования с разрешением 1200 dpi является оптимальным для оцифровки фотопластинок и использования их в астрометрических и фотометрических исследованиях. Было определено, что режим 1200 dpi обеспечивает наилучшую точность и соответствует требованиям оцифровки фотопластинок для данного проекта.

В следующих параграфах рассмотрены этапы обработки фотопластинок, т.е. оцифровка астронегатива, перевод в формат fits для обработки изображения, определение прямоугольных и инструментальных звездных величин, разделение звезд на экспозицией, которые снятых с двух экспозиций, учет систематических погрешностей сканера и яркости уравнения блеска на фотопластинке, перевод прямоугольных координат в экваториальные координаты в системе каталога Tycho-2, перевод инструментальных звездных величин в *B*-фотографических звездных величин в системе каталога фотоэлектрических стандартов, создание каталога ФОН-Китаб. В табл. 1 приведены ошибки каталога ФОН-Китаб для различных звездных величин. На рис. 2 показано распределение ошибок каталога по склонению и звездной величине.

Таблица 1. Ошибки каталога звездных величин.

	$B_{ph}$	$\sigma_\alpha$	$\sigma_\delta$	$\sigma_{B_{ph}}$	$f_l$	cInt	k
1	5.7	0.180	0.195	0.097	83.4	113.7	226
2	6.5	0.231	0.224	0.143	79.2	109.2	1276
3	7.5	0.287	0.283	0.186	69.4	105.6	3828
4	8.5	0.214	0.199	0.140	54.1	100.4	9250
5	9.5	0.109	0.107	0.092	34.6	100.2	20863
6	10.5	0.065	0.068	0.059	21.4	95.3	48313
7	11.5	0.050	0.053	0.045	13.7	87.2	110290
8	12.5	0.061	0.066	0.046	9.7	74.0	259387
9	13.5	0.093	0.103	0.056	7.7	57.8	591427
10	14.5	0.112	0.123	0.074	6.8	40.1	1197019
11	15.5	0.156	0.165	0.108	6.3	23.9	2208206
12	16.5	0.236	0.244	0.172	5.9	13.1	3562269
13	17.5	0.317	0.325	0.218	5.6	7.8	3726545
14	18.2	0.363	0.368	0.138	5.3	5.6	416800
	<b>16.2</b>	<b>0.225</b>	<b>0.234</b>	<b>0.154</b>	<b>6.4</b>	<b>20.6</b>	<b>12155699</b>

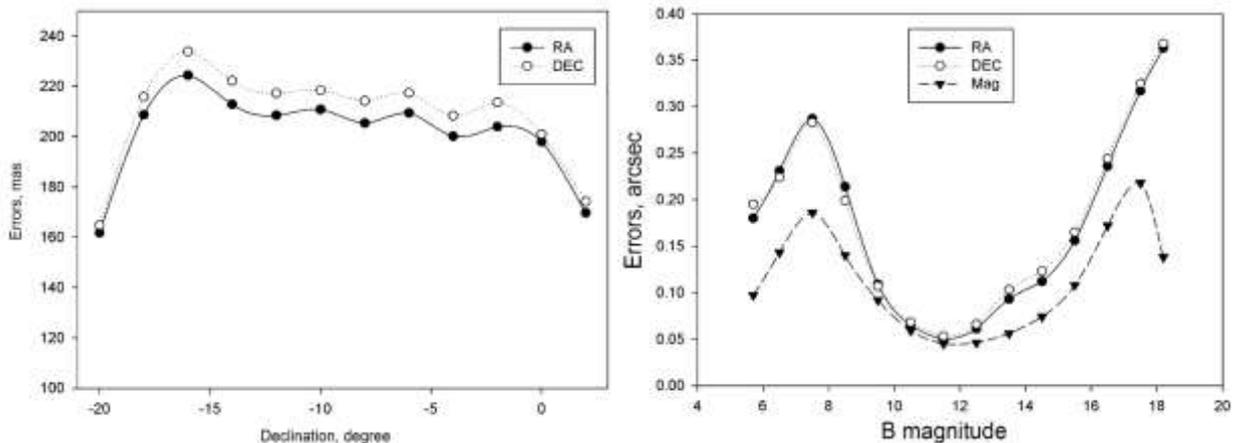


Рис. 2. Распределение ошибок каталога по склонению и звездным величинам.

В результате был составлен каталог более 13,4 млн звезд и галактик ярче чем 18 звездных величин, на эпоху 1985.0. Внутренняя точность каталога для всех объектов составляет  $\sigma_{\alpha\delta}=0,23''$  и  $\sigma_B=0,15^m$ , для звезд в интервале  $B=5^m \div 14^m$  ошибки равны  $\sigma_{\alpha\delta}=0.085''$  и  $\sigma_B=0.054^m$  для экваториальных координат и звездной  $B$ -величины, соответственно. Сходимость звездных величин с фотоэлектрическими звездными  $B$ -величинами -  $\sigma_B=0,16^m$  (для 6 719 звезд). Ошибки относительно каталога UCAC4 составляют  $\sigma_{\alpha\delta}=0,26''$  (для 9 892 697 или 73,75% звезд и галактик).

Третья глава под названием **“Создание цифровой базы астронегативов АИ АН РУЗ”** состоит из четырех параграфов, в которых описан процесс каталогизации фотопластинок на основе международных стандартов, отправка и полная оцифровка фотопластинок в Шанхайской астрономической обсерватории (ШАО), а также освещены вопросы сотрудничества с ШАО и создания цифровой базы данных всего архива Астрономического института.

В результате этой работы была успешно создана цифровая база данных всего архива Астрономического института. Следует отметить, что в ШАО имеется высокоточная оцифровывающая машина, которая является мировым лидером в данной области.

В четвертом параграфе данной главы представлен краткий анализ этого сканера (Рис. 3, 4). Специальная пластинка, предназначенная для калибровки, была сканирована 10 раз подряд, и результаты этого эксперимента были представлены. Результаты показали, что данный сканер способен измерять с точностью до 0,1 мкм.

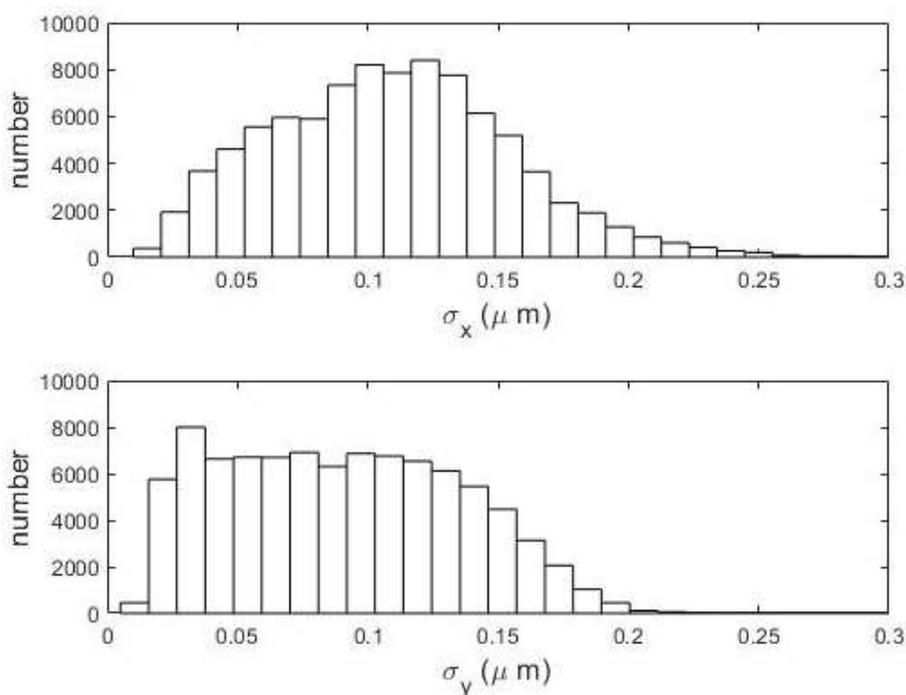


Рис. 3. Гистограмма стандартных отклонений остатков измеряемых координат для всех стандартных точек на калибровочной фотопластинке, многократно оцифрованных (10 раз).

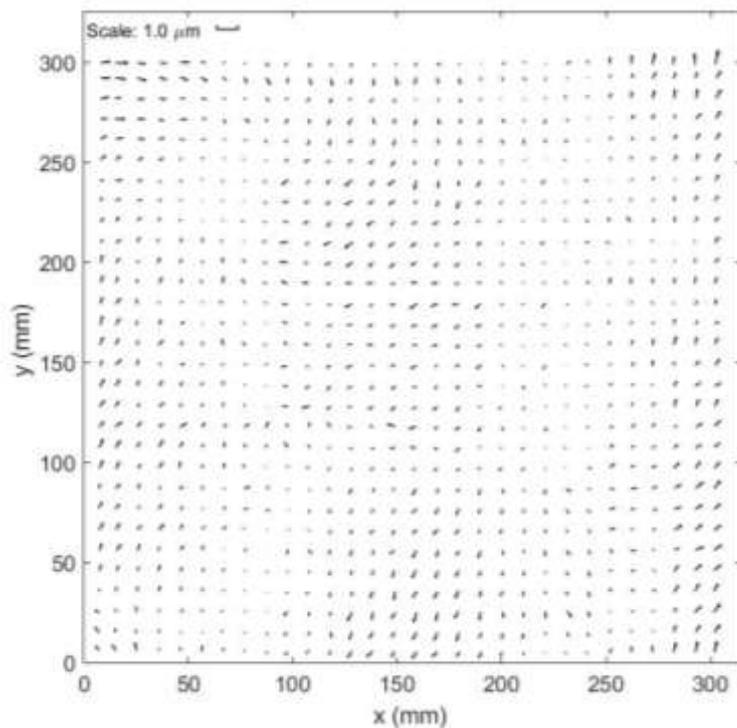


Рис. 4. Остаточное распределение в оцифрованной области двух оцифрованных изображений до и после вращения, где фотопластинка равномерно делится на 30x30 блоков, и каждая стрелка представляет среднее значение остатков внутри блока.

В четвертой главе диссертации **“Исследование избранных объектов на основе фотографического архива Астрономического института АН РУЗ”** представлены результаты астрометрической обработки фотопластинок в области рассеянного звездного скопления  $\chi$  и  $h$  Персея, а также проведен поиск астероидов на ФОН астронегативах. Кроме того, в главе представлена новая редукция астероидов Весты и Паллады, оцифрованных на сканере Шанхайской астрономической обсерватории. Эти результаты позволяют расширить наше понимание изучаемых объектов и внести вклад в астрономические исследования.

Первый параграф главы посвящен астрометрическим исследованиям рассеянного звездного скопления  $\chi$  и  $h$  Персея ( $\alpha \approx 2^{\text{h}}20,7^{\text{m}}$ ,  $\delta \approx 57^{\circ}08'$ ). В данном случае мы выбрали для обработки фотопластинки, наблюдаемые в 1935 г. (№76) и 1976 г. (№4209). На рисунках 5, 6 показаны ход систематических разностей экваториальных координат, рассчитанных и полученных по каталогу Tycho-2, по сравнению с прямоугольными координатами и инструментальными звёздными величинами. На рис. 5 показаны результаты до учета систематических ошибок сканера, а на рис. 6 показаны связи после учета систематических ошибок.

Исследованы внутренние ошибки каталогов Tycho-2 и UCAC-4 для звезд в области скоплений  $\chi$  и  $h$  Персея. Ошибки для 1680 звезд каталога Tycho-2 составили:  $\sigma_{\alpha}=0,060''$ ,  $\sigma_{\delta}=0,067''$ ,  $\sigma_{\mu\alpha}=0,0031''/\text{год}$ ,  $\sigma_{\mu\delta}=0,0032''/\text{год}$ ,  $\sigma_{\text{B}}=0,137^{\text{m}}$ . Для 41 726 звезд каталога UCAC-4 эти ошибки были равны:  $\sigma_{\alpha}=0,053''$ ,  $\sigma_{\delta}=0,051''$ ,  $\sigma_{\mu\alpha}=0,0051''/\text{год}$ ,  $\sigma_{\mu\delta}=0,0049''/\text{год}$ ,  $\sigma_{\text{mu}}=0,157^{\text{m}}$ . Сравнение каталогов

Tycho-2 и UCAC-4 для 1496 звезд выявило ошибки  $\sigma_\alpha=0,072''$ ,  $\sigma_\delta=0,068''$ ,  $\sigma_{\mu\alpha}=0,0027''/\text{год}$ ,  $\sigma_{\mu\delta}=0,0031''/\text{год}$ .

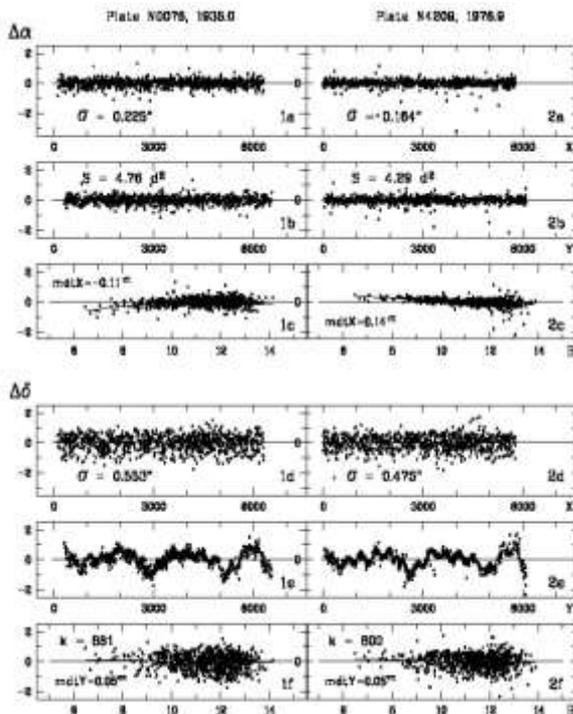


Рис. 5. Ход разностей экваториальных координат и звездных величин до коррекции.

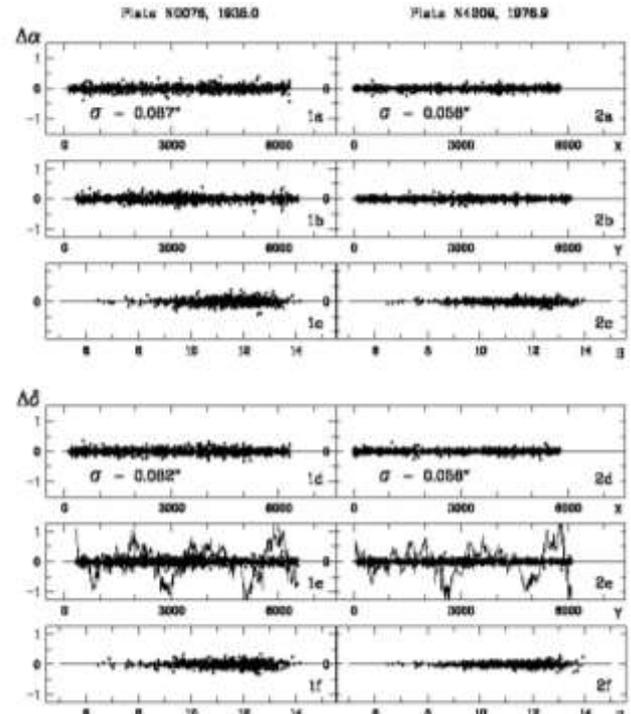


Рис. 6. Ход разностей экваториальных координат и звездных величин после коррекции.

Рассчитанные нами значения экваториальных координат сравнивались с каталогами Tycho-2 и UCAC-4. По сравнению с каталогом Tycho-2 астрометрические ошибки составили  $\sigma_{\alpha\delta}=0,074''$ ,  $\sigma_{\mu\alpha\delta}=0,0018''/\text{год}$ , а внутренние и внешние фотометрические ошибки  $\sigma_m=0,065^m$  и  $\sigma_B=0,208^m$ . Результаты сравнения с каталогом UCAC-4 следующие:  $\sigma_{\alpha\delta}=0,28''$ ,  $\sigma_{\mu\alpha\delta}=0,0075''/\text{год}$  и  $\sigma_m=0,139^m$ .

Кроме того, ошибки по экваториальным координатам для каждого изображения оказались  $\sigma_{\alpha\delta}=0,085''$  и  $\sigma_{\alpha\delta}=0,056''$ , а ошибки сравнения –  $\sigma_{\alpha\delta}=0,074''$  и  $\sigma_{\mu\alpha\delta}=0,0018''/\text{год}$ .

Во втором параграфе четвертой главы рассмотрены вопросы поиска астероидов и комет, отраженных на фотопластинках, сделанных в рамках проекта ФОН, составления каталога, состоящего из их положений для их эпохи и  $B$ -фотографических звездных величин.

По оцифрованным 1963 фотопластинкам ФОН-Китаб было идентифицировано 4529 астероидов (включая пары фотопластинок) и 4 кометы (Рис. 7). Кроме того, по фотопластинкам ФОН-Киев было идентифицировано 2293 астероидов. Их звездные величины находятся в диапазоне  $8 \div 17,5$  (рис. 8). Были рассчитаны экваториальные координаты и звездные величины  $B$  идентифицированных астероидов и комет.

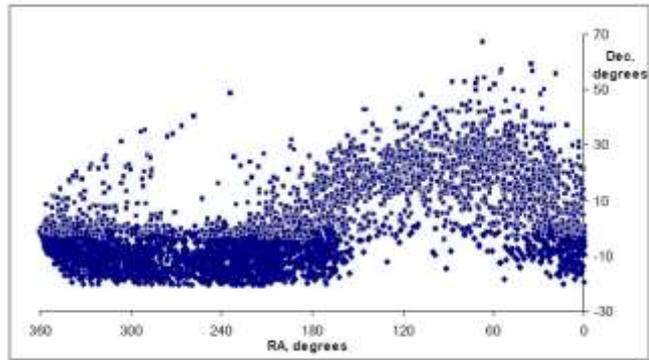


Рис. 7. Распределение экваториальных координат астероидов, обнаруженных на фотопластинках ФОН-Китаб (темные) и ФОН-Киев (светлые).

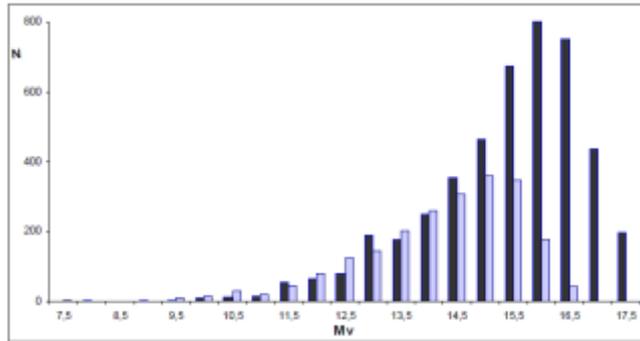


Рис. 8. Распределение идентифицированных астероидов по звездным величинам (ФОН-Китаб – темные, ФОН-Киев – светлые).

Расчитанные значения сравнивались с эфемеридами из базы JPL. Распределение значений JPL и расчитанных разностей координат по звездным величинам представлено на рис. 9.

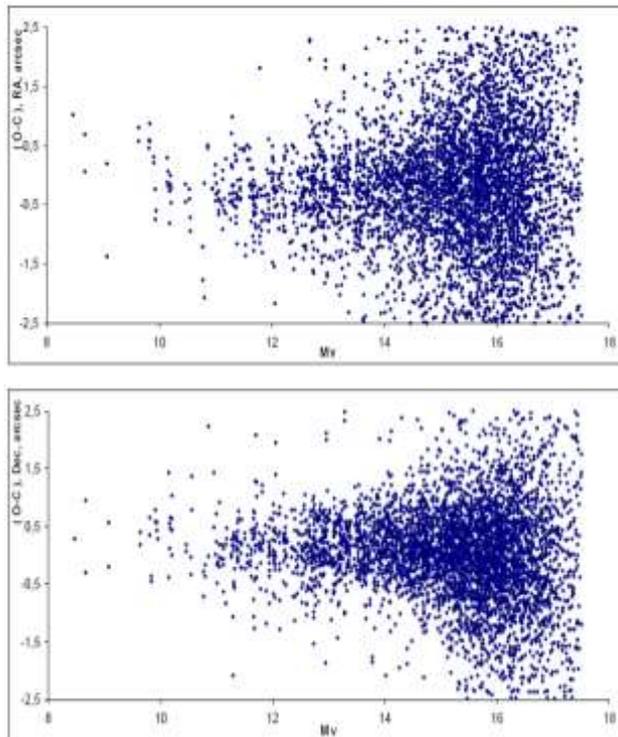


Рис. 9. Зависимость JPL (O) и расчетных (C) разностей координат астероидов от звездных величин.

Из рис. 9 видно, что разница  $O-C$  относительно большая для слабых звезд. Причиной этого может быть отсутствие опорных звезд для слабых объектов в каталоге Tycho-2, либо снижение точности определения координат слабого объекта из-за малой экспозиции.

Кроме того, изучались соединения  $B-M_V$  и  $M_V$ ,  $\sigma_{\delta\delta}$ ,  $\sigma_B$  и  $M_V$ . Эти результаты также показали увеличение ошибок для слабых объектов.

Предварительные исследования показали, что 915 положений астероидов имеют наблюдения, предшествующие их открытию. Кроме того, наблюдения ФОН-Китаб являются одними из лидеров среди известных в мире наблюдений за изучаемыми астероидами. Потому что относительно слабые астероиды были обнаружены с помощью наблюдений ПЗС, и эти наблюдения соответствуют 1990-2005 годам.

В результате был составлен каталог положений и  $B$  - звездных величин 2728 астероидов и комет с учетом пар фотопластинок. Такие каталоги могут служить решением ряда вопросов, таких как определение эфемерид астероидов, изменение их орбит, то есть изучение негравитационных эффектов в эволюции орбит астероидов, построение кривых блеска и изучение фазовых соотношений.

Последний - третий параграф главы посвящен расчету экваториальных координат астероидов Паллада и Веста и их сравнению с результатами современных наблюдений. Эти астероиды показаны на фотопластинках, наблюдавшихся между 1956 и 1994 годами в фотоархиве Астрономического института, и фотопластинки были оцифрованы высокоточным сканером Шанхайской астрономической обсерватории.

С 1950-х годов эти астероиды регулярно наблюдались в Астрономическом институте. Из них были отобраны и оцифрованы 36 фотопластинки астероида Паллады и 28 фотопластинки астероида Весты с полными наблюдательными данными. По этим фотопластинкам, состоящим из нескольких экспозиций, было получено 105 координат Паллады и 83 координаты Весты (табл. 2). Первым использовался каталог Gaia DR3 в качестве опорного каталога для этих астероидов.

Таблица 2. Информация о наблюдениях астероидов Паллады и Весты.

<b>Астероид</b>	<b>Наблюдательная эпоха</b>	<b>Время экспозиции (с)</b>	<b>Экспозиция × количество фотопластинок</b>
Паллада	1971/09/18-1994/09/10	180-300	2 × 3; 3 × 33
Веста	1956/03/07-1992/04/29	120-240	2 × 1; 3 × 27

При расчете экваториальных координат изучались среднеквадратические отклонения для моделей 1-го, 2-го, 3-го и 4-го порядка (табл. 3). Результаты

Модель редукции 2-го порядка была выбрана как наиболее подходящее уравнение.

Таблица 3. Ошибки для моделей редукции 1-го, 2-го, 3-го и 4-го порядка.

Модель	Паллады		Веста	
	$\sigma_\alpha$ (")	$\sigma_\delta$ (")	$\sigma_\alpha$ (")	$\sigma_\delta$ (")
1	0.202	0.211	0.205	0.203
2	0.188	0.181	0.182	0.184
3	0.187	0.181	0.182	0.185
4	0.186	0.178	0.181	0.183

Данные JPL использовались для сравнения астрометрических значений. Соотношения между значениями O-C экваториальных координат показаны на рисунке 10 (Паллада слева, Веста справа).

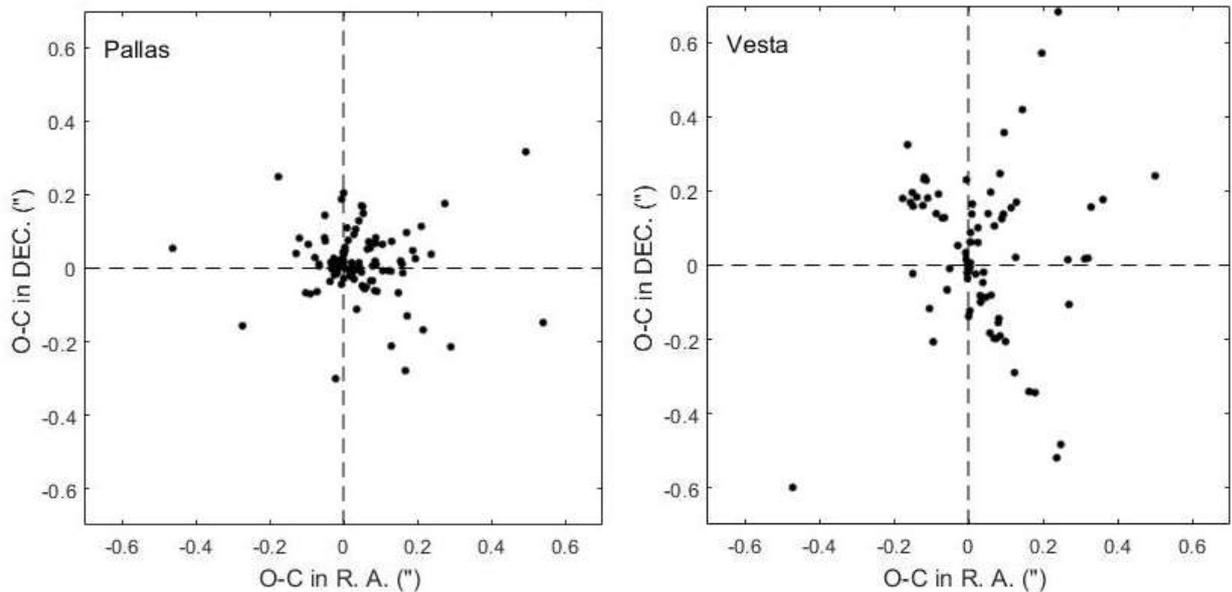


Рис. 10. Разность расчетных и теоретических координат астероидов Паллады и Весты.

Исследования показали, что точность значений астрометрических координат для обоих астероидов составляет менее 0,2". В частности,  $\sigma_{\alpha\delta}=0,12''$  для Паллады,  $\sigma_{\alpha\delta}=0,21''$  для Весты. Это очень близко к точности современных измерений.

Проведенная работа доказала, что использование современных оцифровывающих сканеров и новых методов, а также использование исторических фотопластинок позволяет надежные и долгосрочные астрометрические положения для соответствующих исследований по улучшению орбиты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По проведенной диссертационной работе “Создание цифрового каталога ФОН-Китаб и исследование избранных объектов на основе фотографического архива Астрономического института АН РУз” получены следующие основные результаты:

1. Составлен каталожный список всех (100%) фотопластинок фотоархива АИ АН РУз согласно международному стандарту (WFPDB).
2. Создана цифровая база данных астронегативов Астрономического института, объемом около 10 ТБ. Проведена оцифровка с точностью менее 1  $\mu\text{m}$ .
3. Создан цифровой каталог ФОН-Китаб, содержащий данные о 13 413 268 звездах и галактиках ярче 17,5 звездных величин на эпоху 1985,0 г. Сходимость звездных величин с фотоэлектрическими звездными В-величинами -  $\sigma_B=0,16^m$  (для 6719 звезд). Ошибки из сравнения с каталогом UCAC-4 составляют  $\sigma_{\alpha\delta}=0,26''$  (для 9 892 697 или 73,75% звезд и галактик).
4. В ходе исследования проведена астрометрическая обработка фотопластинок рассеянного звездного скопления  $\chi$  и  $h$  Персея для эпох 1935 и 1976. Сравнение общих 8123 звезд до  $B \leq 17,5^m$  с звездами каталога UCAC4 показало ошибки  $\sigma_{\alpha\delta}=0,28''$ ,  $\sigma_{\mu\alpha\delta}=0,0075''/\text{год}$  и  $\sigma_m=0,139^m$  для экваториальных координат, собственных движений и звездных величин соответственно.
5. Создан каталог положений и В-звездных величин 2728 астероидов и комет на основе обработки данных проекта ФОН.
6. Оцифрованные фотопластины Паллады и Весты были обработаны с использованием опорного каталога Gaia DR3. Сравнение с теоретическими значениями по эфемеридам из базы JPL показало высокую точность результатов с дисперсиями положений около 0,1"-0,2", что сопоставимо с дисперсиями наблюдений других астероидов за последние годы.