

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени П.К. ШТЕРНБЕРГА

На правах рукописи

Ашимбаева Нурия Туткабаевна



**КООРДИНАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ
ЗВЕЗД В АСТРОФИЗИЧЕСКИХ КАТАЛОГАХ**

Специальности – 01.03.02 - астрофизика и радиоастрономия,
– 01.03.01 - астрометрия и небесная механика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук

Москва – 2008

Работа выполнена в отделе астрометрии и службы времени Государственного астрономического института имени П.К.Штернберга МГУ имени М.В. Ломоносова

Научные руководители:

доктор физико-математических наук Жаров Владимир Евгеньевич
кафедра небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ

кандидат физико-математических наук Семенцов Валериан Никитич
отдел астрометрии и службы времени ГАИШ МГУ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Хруцкая
Евгения Владимировна,
Главная (Пулковская) Астрономическая
Обсерватория РАН

кандидат физико-математических наук Антипин Сергей Витальевич
отдел изучения Галактики и переменных
звезд ГАИШ МГУ

Ведущая организация Институт астрономии РАН

Защита состоится 13 ноября 2008 года в 14⁰⁰ ч. на заседании диссертационного совета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, шифр Д501.001.86.

Адрес: 119992, Москва, Университетский проспект, дом 13, ГАИШ МГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного астрономического института им. П.К.Штернберга МГУ
(119992, Москва, Университетский проспект, дом 13, ГАИШ МГУ)

Автореферат разослан «10» октября 2008 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат физико-математических наук  **Алексеев С.О.**

Общая характеристика работы.

Актуальность темы.

Создание высокоточных каталогов положений звездных объектов всегда было актуальной проблемой астрономии. Каждый год появляются новые данные, мы имеем огромные массивы данных из разных областей как астрофизики, так и звездной астрономии, содержащие весьма важную информацию по изучаемым объектам. И объем таких данных возрастает ежегодно. К сожалению, очень часто такая важная информация, как точные координаты звезды, является слабым местом того или иного банка рассматриваемых данных. С другой стороны, к настоящему времени появилась астрометрические каталоги, содержащие точные координаты для миллионов звезд, такие как HIPPARCOS, TYCHO, USNO, UCAC, 2MASS.

Как естественное продолжение этого процесса — желание и необходимость иметь идентификацию изучаемых объектов астрофизики в соответствующих каталогах точных положений, и таким образом снабдить каждый исследуемый объект самыми точными координатами на современном уровне, т.е. создание компилятивных каталогов той или иной направленности. Эта проблема была поставлена перед мировым сообществом еще в начале 1990-х годов, что выразилось в принятии Резолюции XXI-ой Генеральной Ассамблеи Международного Астрономического Союза 1991 года № А8 о создании компилятивных каталогов (Catalogue Compilation).

Говоря о требованиях к точности приписываемых координат, следует различать требования к точности координат, получаемых в ходе астрометрических наблюдений, и точности координат в каталогах астрофизической направленности, служащих для надежной идентификации объектов. Во втором случае надежность и однозначность астрометрических данных — основное требование к создаваемым каталогам. И с каждым годом из-за роста объема каталогов, критерии становятся все более жесткими.

Если во второй половине XX века, когда в астрофизических (фотометрических и спектральных) каталогах координаты объектов приводились с точностью до минуты дуги, а иногда — до десятых долей градуса, то с ростом объема каталогов такие ошибки в координатах стали неприемлемы. Общепринятая сейчас точность (1" и лучше) также иногда недостаточна, так как не может гарантировать однозначного отождествления

объекта, например, в случае тесной оптически двойной звезды или звездного скопления.

Значение точных координат для объектов исследования в самых различных областях астрономии нельзя переоценить. Если говорить об астрофизических приложениях, то это обеспечение точности отождествления, например, в каталогах фотометрической или спектральной направленности. Для поиска и отождествления коричневых карликов — которые идентифицируются в первую очередь по спектру — точность координат объектов каталога HD, содержащего в качестве основной информации спектральную классификацию звезд, должна быть достаточной, чтобы наблюдать нужный объект. Для поиска планет необходима полнота данных по опорным объектам в диапазоне звездных величин $\Delta m=12$. Чтобы выделить искомый слабый объект на фоне других объектов сравнимой звездной величины, последние должны быть снабжены точными координатами. При изучении двойных звезд и особенно тесных систем точное знание координат каждого компонента дает возможность судить о динамике и эволюции объекта.

Если касаться задач звездной астрономии, то многочисленные задачи по статистике различных изучаемых объектов невозможны без правильного знания их координат. Сюда же входят задачи звездной кинематики, такие как определение собственных движений звезд и скоплений, поля пространственных скоростей, изучение вращения Галактики, изучение распределения масс и другие.

Любой массив данных сам по себе не может быть использован без привлечения алгоритмов работы с данными. Поэтому немаловажной задачей является разработка методики надежной идентификации и однозначного отождествления объекта, позволяющей разрешить спорные случаи и тем самым избежать ошибочного привлечения ненужных (ложных) объектов в исходную выборку.

Ограничения, которые неизбежно накладываются при автоматической выборке, часто не годятся, и часть информации теряется. Алгоритм при автоматическом подходе достаточно однообразен и включает в себя последовательные итерации, каждая из которых делает выборку по отдельно взятому параметру. В этом процессе отсутствует транзитивность, а именно: результат зависит от порядка применения используемых ограничений. Например, если при отождествлении нестационарных источников изначально задать ограничения по допускаемому диапазону звездных величин, то сильно переменный объект как возможный кандидат будет из

дальнейшего рассмотрения исключен. Обычно автоматический подход более или менее работает при анализе однородной информации. К сожалению, чаще приходится иметь дело со сложными массивами данных, когда единообразие невозможно, например, из-за формы представления исходного материала. Поэтому в исследованиях неизбежным оказывается ручное отождествление каждого объекта.

Цель работы.

Целью работы была однозначная идентификация объектов выбранных астрофизических каталогов в обзорных каталогах. В процессе работы появилась необходимая промежуточная цель — разработка объективной методики ручного отождествления звезд.

Предполагалось впервые приписать точные координаты всем звездам Второго расширения каталога HD. Также впервые была поставлена задача по созданию астрометрического каталога переменных звезд, содержащего уточненные координаты объектов на основе современных каталогов положений и с привлечением астрофизической информации.

На защиту выносятся следующие основные положения диссертации:

1. Второе расширение каталога HD, которое до этого момента существовало только в виде поисковых карт, впервые в мире полностью преобразовано в звездный каталог. Для 86 933 звезд HDЕC получены высокоточные (0.5") положения; более 96% звезд снабжены собственными движениями с точностью порядка 5 мсек. дуги/год.
2. Получены уточненные координаты 21 971 переменных звезд каталога ОКПЗ с точностью координат и собственных движений, соответствующей использованным астрометрическим каталогам.
3. Методика разрешения сложных и неоднозначных случаев отождествления двойных и кратных звезд в астрофизических каталогах, состоящая в одновременном учете сведений из разных астрономических источников и адаптивной оценки их значимости.
4. Авторская методика отождествления звезд, впервые примененная для верификации данных о кратных звездных системах в каталоге HDЕ с использованием общедоступных программ визуализации и инструментальных программ отдела астрометрии ГАИШ, показала, что количество ошибок отождествления уменьшается примерно в три раза.

Научная новизна результатов исследований, приведенных в диссертации, определяется тем, что:

- Впервые получены точные координаты и собственные движения 86 933 звезд каталога Второго расширения HD ранее опубликованного только в форме карт.
- Уточнены координаты и определены собственные движения для 21 971 звезд каталога ОКПЗ.
- После принятия решения о том, что идентификация объектов будет проводиться не автоматическим, а ручным способом, впервые предприняты усилия по формулировке критериев работы с астрономическим материалом. Формальные критерии, как правило, будут внутренне противоречивы, поэтому предъявляемые требования могут оцениваться только одновременно, тогда как при программировании соответствующих условий, эти критерии применяются последовательно. Такой алгоритм неизбежно приведет к потерям информации, что исключает автоматический способ обработки из рассмотрения.

Научная и практическая ценность работы.

Данная работа впервые ввела в научный оборот данные Второго расширения каталога HD в качестве полноценного каталога, который интенсивно используется в астрофизических задачах.

Разрешен ряд коллизий и случаев ошибочной идентификации в ПЗ.

Получение больших массивов астрономических данных однородных по признаку личной ошибки, т.е. сделанных одним человеком, которые могут быть использованы в качестве обучающих выборок при работе на ЭВМ.

Апробация. Результаты работы докладывались на заседаниях отдела астрометрии, Ученого Совета ГАИШ, на Всероссийской астрономической конференции ВАК-2004 «Горизонты Вселенной».

Структура диссертации

Настоящая работа состоит из введения, четырех глав, заключения, Приложения и списка цитируемой литературы (66 наименований). Суммарный объем диссертации составляет 83 страницы, включая 19 рисунков и 13 таблиц.

Содержание работы.

Во **Введении** дается краткое описание современного состояния проблемы, обосновывается актуальность создания высокоточных каталогов положений для того или иного массива данных из разных областей исследования астрофизики и звездной астрономии. Освещены современные требования к точности координат в астрофизических каталогах. Обосновывается использование специальной методики идентификации объектов. Перечислены положения, выносимые на защиту, освещена новизна работы. Также указано, где представлялись результаты исследований и приведены основные публикации по теме диссертации.

В **Главе 1** дается описание процесса идентификации звезд Второго расширения каталога HD и приписывания им координат из опорных каталогов. Приводятся результаты исследований.

Как известно, каталог Генри Дрепера HD состоит из трех частей: основного каталога и двух расширений. Основной каталог (Cannon A.J., Pickering E.M., 1918-1924) и первое расширение (Cannon A.J., 1934) представлены в виде таблиц, где содержится информация о звездах всего неба с указанием спектра, звездных величин и приближенных экваториальных координат (точность – 0.1 мин по прямому восхождению и 1 минута дуги по склонению). Второе расширение каталога HD (Cannon A.J., Mayall M. W., 1949) было опубликовано в виде карт, представляющих из себя фотокопии оригинальных Гарвардских пластинок некоторых выбранных участков неба с отмеченными на них 86 933 слабыми звездами (9-13^m). Всего карт 275, около каждой отмеченной звезды есть указание номера и определенного спектрального класса.

Из-за формы представления этот огромный массив данных оказался практически не востребован астрономическим сообществом. Попытки привести в удобную для использования форму Второе расширение HD предпринимались, в частности, работа Бонне (Bonnet H., 1978), в которой было предпринята попытка отождествить звезды HDEC со звездами Обзрений (Durchmusterungen). Н.Роман (Roman N.C., 1992) был подготовлен машинно-читаемый список спектральных классов звезд HDEC (каждому номеру звезды каталога приписан свой спектр, взятый с карт расширения).

В работе Розера, Бастиана, Вайса (Röser S., Bastian U., Wiese K., 1991) были измерены прямоугольные координаты для 10 639 звезд из общего списка

НДЕС, которые затем были редуцированы в систему каталога PPM и идентифицированы в системе Астрографического каталога. Средняя ошибка положений составила $0''.3$. Таким образом, была доказана принципиальная возможность привести данные НДЕС в машинно-читаемую форму.

С самого начала работ было очевидно, что автоматическая обработка имеющегося материала невозможна. Карты Второго расширения имели весьма неоднородный вид: в основном это непосредственные фотокопии оригинальных фотопластинок, тогда как другие были предварительно ретушированы. В этом случае отсутствует строгая зависимость диаметра изображения звезды от ее звездной величины, что весьма осложняет отождествление звезд по конфигурации. Более того, изображение в виде одной звезды на карте на самом деле могло представлять из себя группу звезд.

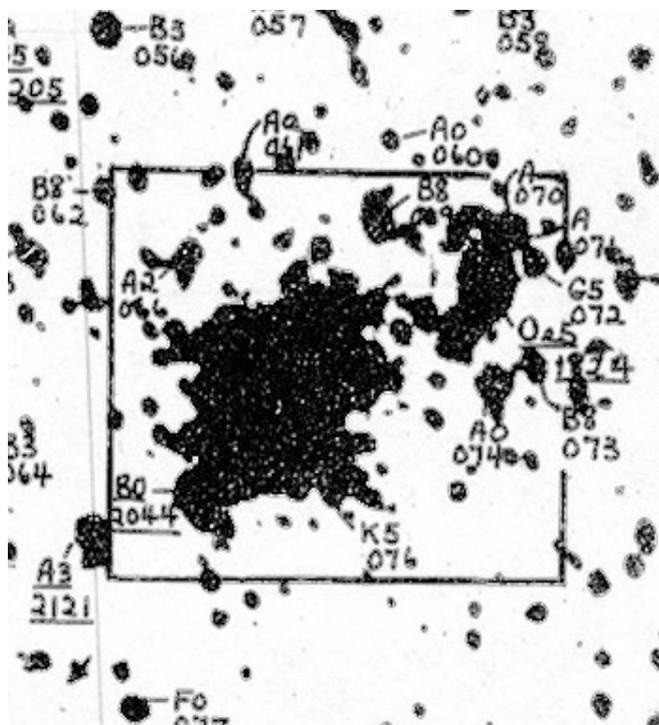


Рис.1. Воспроизведение части карты № 127 из Второго расширения HD.

В качестве примера сложности идентификации приведем изображение части карты № 127 (рис.1). Что на самом деле находится на этом месте, можно рассмотреть на изображении, полученном с помощью программы визуализации Aladin Центра астрономических данных в Страсбурге (рис.2). Таким образом, трудности работы с картами Второго расширения HD очевидны.

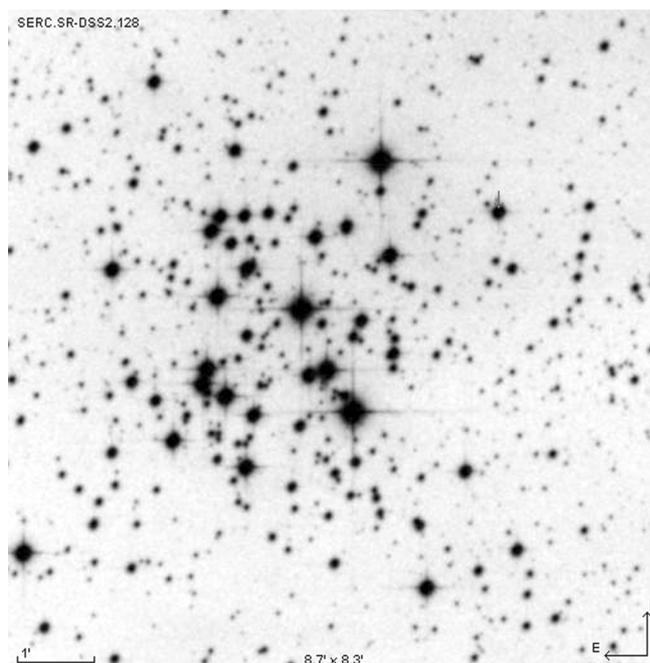


Рис.2. Воспроизведение выделенного участка неба карты № 127 с помощью программы визуализации Aladin <http://aladin.u-strasbg.fr/>.

Отождествление проводилось путем сравнения карты и изображения, полученного с помощью использования программы SimFOV (А.А.Волчков, О.А.Волчков), воспроизводящей на мониторе компьютера положения звезд используемого опорного каталога. В качестве последнего была использована версия каталога GSC-AC (Röser, S., Bastian, U., and Kuzmin, A. V., 1995; Хестеров В.В., Гуляев А.П., 1992.). Он содержит высокоточные положения, собственные движения и звездные величины для 4.5 миллионов звезд (до $m_{pg} = 12.5^m$) по всему небу. Каталогное положение имеет точность (на современную эпоху) порядка $0.45''$; собственные движения, выведенные по двум эпохам – «Астрографическому каталогу» и астрометрически улучшенному «Каталогу гидировочных звезд Космического телескопа им. Хаббла» (Guide Star Catalogue, GSC) – имеют среднюю точность 5.5 мсек. дуги/год. Звездные величины взяты из «Астрографического каталога» (фотографические) и из GSC (в этом случае это – V или J-величина в зависимости от полушария); в обоих случаях точность составляет примерно 0.3^m .

Каждой звезде с порядковым номером HDE приписывался наиболее подходящий при визуальном сравнении номер из каталога GSC-AC. Для звезд, которые не удалось отождествить в GSC, а только в AC, указывалось только точное положение.

В результате ручного отождествления звезд HDEC был получен массив предварительных данных – положений, собственных движений (или эпох наблюдения в AC) и звездных величин – для всех звезд HDEC, отождествленных

на этом этапе. Чтобы избежать ошибочных отождествлений, эти данные были подвергнуты ряду проверок.

Положения, полученные в результате нашего ручного отождествления, были сравнены с положениями, выведенными с помощью редукции измерений прямоугольных координат звезд HDEC, выполненных в Астрономическом вычислительном институте (Гейдельберг, Германия). Несмотря на то, что качество этих редуцированных измерений было невелико, это сравнение позволило выделить неверные отождествления, которые были затем изучены и исправлены. Кроме этого, проводились дополнительные ручные и автоматизированные проверки полученного массива данных. В результате всех таких сравнений и проверок был получен набор данных весьма высокого качества.

Кратные системы. Обычное разрешение карт HDE – порядка одной минуты дуги. При плотности используемого для отождествления каталога (100 звезд на квадратный градус) такое разрешение должно было неминуемо привести к сравнительно большому (3–4%) числу случаев, где однозначное отождествление звезды HDEC невозможно.

Таких случаев оказалось 1783. Для кратных звезд HDEC в нашем каталоге перечислены все звезды-кандидаты под одним номером HDE с добавлением буквы A, B, C и т.д. (обнаруженный максимум – 6 кандидатов). На момент создания каталога дальнейшее отождествление компонентов кратных систем в специальных каталогах по кратным системам было решено не проводить.

Переменные звезды. Мемориальный том А. Каннон (Cannon A.J., Mayall M. W., 1949) содержит список известных переменных среди звезд HDEC, состоящий из 419 звезд. Опираясь на данные каталога ОКПЗ (П.Н.Холопов и др., 1985-1988), мы в своем отождествлении расширили его до 503 звезд. Специального изучения переменных звезд в нашем исследовании на этом этапе не проводилось.

Результат. Каталог звезд HDEC доступен в Центре Астрономических данных в Страсбурге под номером III/182. Каталог содержит 88 883 записи; отличие этого числа от исходного числа звезд HDEC объясняется наличием упомянутых выше звезд-кандидатов в кратных системах.

Результат проведенной по каталогу HDEC работы можно обобщить в следующей форме:

1. Второе расширение каталога HD, которое до этого момента существовало только в виде поисковых карт, преобразовано в звездный каталог.

2. Для 86 933 звезд HDEC получены высокоточные (0.5") положения; более 96% звезд снабжены собственными движениями с точностью порядка 5 мсек. дуги/год.

Во второй Главе диссертации сообщается о работе по определению уточненных координат переменных звезд из Общего каталог переменных звезд (ОКПЗ) (Холопов П.Н., и др., 1985-1988). Работа проводилась уже с учетом разработанной методики идентификации, которая была отработана при отождествлении звезд Второго расширения HD.

Начиная с 1994 года, в отделе астрометрии ГАИШ под руководством А.П. Гуляева начались работы по построению каталога положений и собственных движений переменных звезд.

На момент начала работ ситуация с координатами этих объектов была достаточно сложная. Астрометрических наблюдений переменных звезд было очень мало — из-за существования уравнения блеска служить опорными звездами в астрометрических каталогах они не могут.

Однако расширение опорной системы на слабые звезды с привлечением многомиллионных каталогов положений неизбежно приводит к появлению среди объектов переменных звезд, т.к. исключение их без знания точных положений невозможно. Значит, актуальной задачей стало определение координат переменных звезд в современной фундаментальной системе координат с целью навсегда исключить их из рассмотрения в качестве объектов наблюдения в задачах фундаментальной астрометрии, с одной стороны, и вместе с тем — снабдить их достаточно точными координатами для всех возможных прикладных задач в других областях астрономии.

Точные положения переменных звезд также имеют и важное методологическое значение — они могут стать реальной основой для систематизации и унификации многочисленных разнородных наблюдений. Что не менее важно, наличие высокоточных собственных движений позволяет изучать кинематику переменных звезд разных типов и кинематику Галактики в целом.

На момент начала работ основной источник данных о переменных звездах Общий каталог переменных звезд 4-го переиздания (Холопов П.Н. и др., 1985-1988) содержал сведения о 28 435 объектах; в «Каталог звезд, заподозренных в переменности» (Кукаркин Б.В., Холопов П.Н., Артюхина Н.М., 1982) были занесены сведения о возможной переменности 14 810 звезд. По мере того, как открывались новые переменные, данные об этих

звездах вносились в Списки обозначений переменных звезд; мы пользовались номерами списков № 67–72 (Kholopov P.N. et al, 1985, 1987, 1989, Kazarovets E.V., et al, 1990, 1993, 1995). В общей сложности в них содержались сведения о 2735 звездах.

Представление координат объектов в ОКПЗ осуществлялось с формальной точностью — до 1^s по прямому восхождению и 0.1^m по склонению. При этом приводимые координаты были очень разнородны по точности — в силу того, что, как правило, сами наблюдатели переменных звезд их точными положениями практически не интересуются, считая это внешней проблемой, не входящей в круг их интересов.

Отождествление по поисковым картам.

С самого начала работ было ясно, что автоматическое отождествление звезд каталога ОКПЗ невозможно в силу не только очень грубых значений координат. Большое значение имеет тот факт, что мы имеем дело с нестационарными объектами (звездная величина переменной звезды может меняться в весьма существенных пределах значений, в зависимости от типа переменности), когда нет никакой возможности ориентироваться и на фотометрический параметр — значение звездной величины.

Отождествление звезд проводилось по уже отработанной методике. Производилось сопоставление поисковых карт (карт окрестностей), которые были указаны в каталоге переменных звезд, с соответствующим полем, которое строилось на экране монитора по данным имеющихся в наличии опорных каталогов. Если отождествление производилось по нескольким каталогам, и мы имели данные по разным эпохам, то появлялась возможность определить и собственное движение изучаемой звезды.

Карты окрестностей, которые были приведены авторами наблюдений переменных звезд в качестве карт отождествления, были весьма разнообразными как по качеству, так и по масштабу, размеру поля и числу приведенных звезд. Это весьма осложняло процесс и увеличивало продолжительность работы, хотя бы в силу отсутствия унификации. Нередко это бывали не фотографии, а рисунки окрестностей, с нанесенными от руки звездами. Последнее обстоятельство не могло не повлечь за собой неизбежные ошибки в изображении конфигураций звезд и их величин. Кроме этого, бывали нередки случаи неправильной ориентации N-S или зеркальные изображения поля.

Для отождествления переменных звезд нами было использовано несколько астрометрических каталогов. Для наиболее ярких и известных

звезд (в частности, для большинства звезд DM) удалось найти отождествления в каталоге PPM (Röser S., Bastian U., 1991, Bastian U. et al, 1993). Для основной массы переменных звезд мы использовали первую версию каталога GSC/AC (Нестеров В.В., Гуляев А.П., 1992). Некоторое сравнительно небольшое число звезд AC.1 не удалось отождествить со звездами GSC и, следовательно, для них не удалось вывести собственные движения. Эти звезды имели лишь данные о положении с указанием средней (в случае вывода положений осреднением нескольких наблюдений) эпохи.

Результаты.

Были просмотрены все карты, цитированные в ОКПЗ. Звезды «Каталога звезд заподозренных в переменности» (NSV) рассматривались нами только тогда, когда они попадались среди звезд ОКПЗ в сериях карт. Всего в работе над составлением каталога было просмотрено 42789 карт. Количественные итоги отождествления для представляемого каталога приведены в таблице 1.

Таблица 1. Итоги отождествления.

Общее число звезд в ОКПЗ, включая 67-72-й списки обозначений	31 081
- в т.ч. звезд, имеющих карты	26 797
Число звезд NSV, карты которых были отождествлены	7 991
Общее число просмотренных карт	42 789
Число отождествленных звезд	21 789
Число не найденных звезд, карты которых были отождествлены	12 257
Число звезд ОКПЗ, карты которых не удалось отождествить.	742

Созданный каталог к 1997 году представлял собой массив данных отождествления в системе каталогов PPM, GSC, и AC, который хранился в виде отдельных файлов и по существу не был пригоден для широкого использования. Поэтому предполагалось продолжить работу и довести ее до современного уровня доступности баз данных.

К сожалению, кончина А.П.Гуляева в 1998 году не позволила довести эту работу до создания электронной версии каталога, доступной широ-

кому круг пользователей. Поэтому решено было воссоздать каталог по сохранившимся рабочим файлам отождествления, а также по многочисленным архивным записям.

Данные из всех найденных файлов были собраны воедино и приведены к одному стандарту записи. Все положения были переведены на равноденствие и эпоху J2000.0, а затем полученный материал был подвергнут всестороннему анализу. Прежде всего, были исключены (после подробного сопоставления) повторные отождествления одной и той же переменной звезды. Кроме того, были выделены все случаи, когда отождествление было проведено неоднозначно, т.е. для одной переменной было предложено несколько возможных кандидатов. Каждый такой случай был снова тщательно проанализирован и оставлены только варианты, которые не вызывали сомнений.

Кроме используемых ранее каталогов GSC и AC=4M, было проведено отождествление в каталогах HIPPARCOS (The Hipparcos and Tycho Catalogues, 1997), TYCHO2 (Hog E. et al, 2000), NPM (Klemola A. R., Hanson R. B., and Jones B. F., 1987) A2.0 (D. Monet, A. Bird, B. Canzian, et al., 1998), что позволило существенно улучшить точность и качество полученных данных.

Большую помощь в консультациях и разрешении неоднозначных вариантов на всех этапах подготовки работы оказали сотрудники отдела переменных звезд ГАИШ, и особенно Самусь Н.Н., за что хочется выразить искреннюю благодарность.

Окончательный вариант каталога доступен по адресу – http://astrometric.sai.msu.ru/lib_projects_01.html.

Замечания к информации, приведенной в каталоге.

1. В каталоге звезды упорядочены по именам, в традиционном виде, так же как это принято в ОКПЗ. Звезды из NSV упорядочены по номерам и расположены в каталоге после звезд ОКПЗ.

2. Точность координат зависит от использованного каталога и варьируется (на эпоху каталога) от 0.5" у GSC, до 0.0006" в каталоге HIPPARCOS. В нашем каталоге экваториальные координаты J2000.0 даны с точностью: прямые восхождения — до 0^s.001, склонения — до 0".01, что обеспечивает в большинстве случаев сохранение значащих цифр.

3. Собственные движения даются в каталоге с той же точностью, как в каталоге-источнике, т.е. от 0".00001/год в каталоге HIPPARCOS, до 0".001/год в Астрографическом каталоге.

4. Приводится номер звезды в каталогах HIPPARCOS, NPM, Tycho2 или GSC – для удобства идентификации.

5. В случае, если отсутствуют данные по собственным движениям, указывается эпоха координат.

6. Фотометрические данные (звездная величина, диапазон звездных величин) приводятся по данным каталогов отождествления (HIPPARCOS, NPM, Tycho2, GSC, AC, PPM, A2.0).

В Отделе переменных звезд ГАИШ МГУ также проводилась работа по уточнению координат переменных звезд. Результаты опубликованы в виде электронной версии Общего каталога переменных звезд (ОКПЗ) (Samus' N. N. *et al*, 2002, Samus' N. N. *et al*, 2003, Samus' N. N. *et al*, 2006). Надо учитывать тот факт, что эти исследования проводились в более поздние годы, с привлечением большего количества точных каталогов отождествления и уточненного списка переменных звезд.

Было проведено выборочное сравнение отождествлений в обоих каталогах, которое представлено в таблице 2.

Таблица 2. Пример сопоставления результатов отождествления в каталогах АКПЗ и ОКПЗ.

	АКПЗ	ОКПЗ
Y And	01 39 36.723 39 20 39.19 (PPM)	01 39 36.91 +39 20 34.7 (GSC)
UZ And	01 16 11.162 41 44 57.91 (GSC)	01 16 11.16 +41 44 58.3 (GSC)
EK And	01 16 13.458 41 44 21.87 (TYC 2)	01 16 13.50 +41 44 22.1 (AC)
TT Aps	14 39 32.162 -71 34 02.76 (GSC)	14 39 32.36 -71 34 02.2 (GSC)

Расхождение полученных данных происходит в пределах десятых долей секунды по прямому восхождению и в секундах по склонению. Видимо, это связано, например, с использованием разных версий GSC каталога (которых было не менее 4-х).

Итог работы:

Получены уточненные координаты 21 971 переменных звезд каталога ОКПЗ с точностью координат и собственных движений, соответствующей использованным астрометрическим каталогам.

В **Главе 3** диссертации рассказывается о выработанной методике идентификации звезд в обоих каталогах (HDEC и переменных звезд), кото-

рая неизбежно появляется при обработке большого массива однотипных данных.

В каждом из рассматриваемых каталогов была своя специфика отождествления по картам. Для переменных звезд в каждом случае это были карты окрестностей, как правило, для каждой звезды своя, опубликованная в оригинальной статье, сообщающей об открытии переменной. Для звезд каталога HDEC материал был более унифицирован (мы имели 275 карт размером примерно $9^\circ \times 11^\circ$), но при этом на карте было до 3 000 звезд, из которых в среднем у 700 были измеренные спектры (на каждой карте около каждой измеряемой звезды была надпись — номер по HDEC и приписываемый спектр). В зависимости от качества оттиска и количества звезд были и сложности в идентификации. Например, в большинстве случаев изображение кратной звезды представляет собой бленду, которую невозможно было разделить не только во времена А.Каннон, но и на последних по времени данных каталогов (таких как 2MASS или USNO).

В главе дается описание работы с программным отображением (программа SimFOV (Волчков А.А., Волчков О.А.)). Программа визуализации позволяла достаточно быстро и эффективно определять координаты звездного объекта на заданную эпоху. Описывается последовательность действий при отождествлении карты и выбор оптимального поля зрения. Практика отождествления переменных звезд показывает, что, как правило, карты с размерами меньше $5' \times 5'$ для отождествления не годятся: из-за неточного задания координат, а также невозможности лучше увидеть конфигурацию звезд.

Указывается на ряд сложностей, с которыми пришлось столкнуться при отождествлении.

В качестве **итога** приводятся **основные правила методики идентификации**. Автоматические отождествления не всегда годятся в силу того, что в этом случае используются априори формальные правила, накладываются слишком жесткие ограничения, и нужная информация не будет учтена выбранным алгоритмом. В обратном случае, при ослаблении допусков, велик риск получить лишнюю информацию, как следствие — происходит неправильная идентификация. Если же в данных присутствуют неправильные координаты (или вообще отсутствуют), то механизм вообще не работает.

Отсюда неизбежно следует необходимость ручного отождествления.

Обычно необходимо сочетание одновременно нескольких показателей:

- Координатные допуски (минимальный «бнок», в котором, можно отождествить звезды без потери информации; максимальное поле, выводимое на экран, больше которого задавать не имеет смысла, т.к. будет потеряна конфигурация для отождествления).

- Фотометрические допуски (в процессе отождествления задаются допустимые значения, которые может принимать звездная величина отождествляемого объекта). При этом надо одновременно учитывать: возможную переменность объекта; то, что размер изображения часто не отражает реальной звездной величины; и неизбежную возможность фотометрических ошибок опорных каталогов.

- Учет собственных движений звезд: если звезда обладает большим собственным движением, то задаваемый интервал допустимых ошибок координат при выборе того или иного кандидата на отождествления может оказаться неприемлемым.

- Привязка к звездным конфигурациям (жесткое требование соответствия предложенной в первоисточнике картинке).

Задаваемые ограничения должны быть оптимизированы. Т.е., даже если мы имеем на входе очень приблизительную информацию (задаются координаты с точностью до 1 минуты или даже еще хуже), то все равно конечная идентификация должна быть однозначной.

Предложенная методика отождествления призвана осуществить решение этой задачи, а именно — надежной и однозначной идентификации объекта.

В **четвертой главе** проводится специальное исследование кратных систем в каталоге HDEC с учетом новых возможностей (более современные астрометрические каталоги и новые программы визуализации).

С момента создания электронной версии каталога HDEC прошло достаточное количество лет, и возможностей более точного отождествления с использованием более современных астрометрических каталогов и астрономического компьютерного обеспечения стало существенно больше. В связи с этим стало интересно попробовать устранить те неопределенности, которые возникли ранее с отождествлением кратных систем.

В каталоге HDEC 1783 кратных систем, без учета компонентов. Первоначально ставилась задача определить (там, где это возможно, т.е. если звезды возможно разрешить и это не бленда), который из компонентов системы является главным, и именно ему приписывать тот

спектр, который определен А.Каннон и фигурирует в HDEC.

Для решения этой задачи была использована программа визуализации Aladin Центра астрономических данных в Страсбурге (<http://aladin.u-strasbg.fr/>), позволяющая работать сразу в нескольких режимах: выбирать те каталоги, которые нам интересны в данный момент; выбирать изображения, имеющиеся в наличии, и которые нам лучше подходят.

Простая задача приписывания спектра только одному компоненту вылилась в более обширное исследование. Во-первых, появилась возможность уточнения координат каждого компонента – опираясь на данные опорных каталогов или, если положение компонентов звезды очень сильно отличалось от каталожных, то измерить координаты на изображении (конечно, давая допуск на ошибки съятия координат).

Во-вторых, индивидуальный подход к каждому объекту давал возможность выявить все ложные измерения. Например, если звезда оказывалась одиночной (а таких случаев оказалось к удивлению немало) или координаты одного компонента были измерены ошибочно.

Далее, проанализировав обнаруженные ошибки и сравнив изображения по разным эпохам для многих звезд, удалось обнаружить собственные движения.

Сопоставляя карты разных эпох, полученных в разных длинах волн, иногда удавалось обнаружить новые компоненты — обычно более слабые, но иногда и яркие, особенно это касается красных объектов (когда рассматривались карты по измерениям 2MASS), которые в видимой части спектра не проявляются.

В результате обработки всего материала количество рассматриваемых компонентов превысило 4000.

Кроме ошибок в идентификации компонентов были выявлены более грубые ошибки каталога HDEC, которые неизбежно возникают при создании и обработке большого массива данных. Это: ошибки в нумерации HDE (отсутствует компонент А или В), приписывание одного номера разным звездам, ошибки в приписывании спектра, ошибки каталога AC 2000.0 (когда звезда из этого каталога попадала в рассматриваемое поле, при этом не соответствовала ни одному реальному изображению).

Было проведено сравнение с каталогами CDS с целью поиска имеющихся отождествлений кратных звезд каталога HDEC. Результаты сравнения показали, что есть совпадения примерно в половине случаев.

Результаты исследования кратных звезд можно изложить в следующем виде:

- Выявлено 319 одиночных звезд (почти 18% от общего числа); из них 11 звезд показали собственное движение.
- Всем компонентам приписаны координаты — точность 0."1.
- Приписаны спектры отдельным компонентам в 1166 случаях.
- Выявлено бленд: двойных — 611, тройных и более — 8.
- Обнаружены ошибки записи данных каталога HDEC.
- Обнаружены ошибки неправильного отождествления в системе астрографического каталога.
- Проведено сравнение наших данных с данными других каталогов кратных систем.
- Результаты измерений представлены в файле, который выложен по адресу http://astrometric.sai.msu.ru/lib_projects_01.html.
- Выработанная методика отождествления показала, что количество ошибок отождествления уменьшается примерно в три раза.

В **Заключении** диссертации приведены основные результаты и выводы работы, делается особый упор на важность надежной и однозначной идентификации объектов астрофизических каталогов, сделан ряд обобщающих выводов.

В **Приложении** дается описание формата и содержимого каталога по кратным звездам HDEC.

Список литературы содержит 66 наименований.

Основные результаты опубликованы в следующих работах:

1. В.В. Нестеров, А.В. Кузьмин, Н.Т. Ашимбаева, А.А. Волчков, З. Рёзер, У. Бастиан. Второе расширение HD: каталог положений, собственных движений, звездных величин и спектральных классов 86933 звезд. // *Астрономический Журнал*. 1996. том 73. № 2. с. 189–193.
2. Гуляев А.П., Ашимбаева Н.Т. Астрометрический каталог переменных звезд // *Астрон.журн.*, 1997, т.74, № 2, с.249-253.
3. Nesterov V.V., Kuzmin A.V., Ashimbaeva N.T., Volchkov A.A., Röser S., Bastian U. The Henry Draper Extension Charts: A catalogue of accurate positions, proper motions, magnitudes and spectral types of 86933 stars. // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1995. V.110. P.367.
4. Nesterov, V.V.; Kuzmin, A.V.; Ashimbaeva, N.T.; Volchkov, A.A.; Roeser, S.; Bastian, U. HDE Charts: positions, proper motions (Nesterov+ 1995).

- VizieR On-line Data Catalog: III/182. // Centre de Données astronomiques de Strasbourg.
5. Н.Т.Ашимбаева, А.А.Волчков, Г.В.Романова. Об Астрометрическом каталоге переменных звёзд.// Труды ГАИШ. 2002. Т.70. С.287. (Файлы данных с результатами работы доступны по адресу http://astrometric.sai.msu.ru/lib_projects_01.html).
 6. Н.Т.Ашимбаева, Г.В.Романова, Семенцов В.Н. Астрометрический каталог HD. // Тезисы докладов на Всероссийской астрономической конференции ВАК-2004 «Горизонты Вселенной». Труды ГАИШ. 2004. Т.75. С.14.
 7. Ashimbaeva N.T. Coordinate Data and Identification of Stars in Astrophysical Catalogs. 2008 // arXiv:0809.5215.

Личный вклад соискателя.

Статьи 1-3. Автором проведена работа по ручному отождествлению и определению координат звезд Второго расширения HD совместно с Нестеровым В.В. в равных долях.

4. Автором проведена работа по уточнению координат переменных звезд совместно с Гуляевым А.П. в равных долях.

5. Обеспечение массивом данных и проведение работ по уточнению данных.

6. Предоставление данных по исследованию кратных систем в HDEC.

Список цитируемой литературы:

Волчков А.А., Волчков О.А. SimFOV // <http://www.simfov.ru/description/>.

Кукаркин Б.В., Холопов П.Н., Артюхина Н.М. // Каталог звезд, заподозренных в переменности. М.: Наука. 1982.

Нестеров В.В., Гуляев А.П. // О четырехмиллионном каталоге звезд. М.: МГУ, 1992.

Холопов П.Н., Самусь Н.Н., Горанский В.П. и др. // Общий каталог переменных звезд, 4-е издание. М.: Наука. 1985-1988. Т. I-III.

Bastian U., Röser S., Yagudin L., Nesterov V. PPM Star Catalogue: Positions and Proper Motions of 197,179 stars south of -2.5° declination for equinox and epoch J2000.0. Vol.III-IV. Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum, Acad. Verl., 1993.

- Cannon A.J., Pickering E.M. // *Ann. Astron. Obs. Harv. Coll.* 1918-1924. V. 91-99.
- Cannon A.J. // *Ann. Astron. Obs. Harv. Coll.* 1934. V. 100. №1-6.
- Cannon A.J., Mayall M. W. // *Annie J. Cannon Memorial Volume of the Henry Draper Extension. Ann. Astron. Obs. Harv. Coll.* 1949. V. 112.
- Hog E., Fabricius C., Makarov V.V., Urban S., Corbin T., Wycoff G., Bastian U., Schwekendiek P., Wicenc A. *The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 Million Brightest Stars.* // *Astron. Astrophys.* 2000. V. 355, L27.
- Kazarovets E.V., Samus N.N.// *IAU Inform. Bull. Var. Stars.* 1990. V.3530. P.1.
- Kazarovets E.V., Samus N.N., Goranskij V.P. // *IAU Inform. Bull. Var. Stars.* 1993. V. 3840. P.1.
- Kazarovets E.V., Samus N.N.// *IAU Inform. Bull. Var. Stars.* 1995. V.4140, P.1.
- Kholopov P.N., Samus N.N., Kazarovets E.V., Perova N.B. // *IAU Inform. Bull. Var. Stars.* 1985.V. 2681, P.1-32.
- Kholopov P.N., Samus N.N., Kazarovets E.V., Kireeva N.N. // *IAU Inform. Bull. Var. Stars.* 1987. V. 3058. P.1.
- Kholopov P.N., Samus N.N., Kazarovets B.V., Frolov M.S., Kireeva N.N.// *IAU Inform. Bull. Var. Stars.* 1989. V.3323. P.1.
- Klemola A. R., Hanson R. B., and Jones B. F., *The Lick Northern Proper Motion Program // Centre de Données Astronomiques de Strasbourg,* 1987. I/199.
- Monet D., Bird A., Canzian B., et al., *USNO-A V2.0. A Catalog of Astrometric Standards.* 1998. US Naval Observatory, Washington.
- Röser S., Bastian U. *PPM Star Catalogue: Positions and Proper Motions of 181,731 stars north of -2.5° declination for equinox and epoch J2000.0.* Vol. I-II. Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum, Acad. Verl., 1991.
- Röser, S., Bastian, U., and Kuzmin, A. V. *I.A.U. Colloquium 148, ASP Conf. Series,* 1995, Vol 84, ed. J. M. Chapman et al.
- Röser S., Bastian U., Wiese K. *The Second Henry Draper Extension: Spectral Types and Precise Positions for 10639 Stars.* // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1991. V.88. P. 277.
- Samus' N. N., Goranskii V. P., Durlevich O. V., Zharova A. V., Kazarovets E. V., Pastukhova E. N., Hazen M. L., and Tsvetkova T. M. *An Electronic Version of Volume I of the General Catalogue of Variable Stars with Improved Coordinates.*// *Astronomy Letters.* 2002. Vol. 28. P.174.

Samus' N.N., Goranskii V.P., Durlevich O.V., Zharova A.V., Kazarovets E.V., Kireeva N.N., Pastukhova E.N., Williams D.B., and Hazen M.L. An Electronic Version of the Second Volume of the General Catalogue of Variable Stars with Improved Coordinates. // *Astronomy Letters*. 2003. Vol. 29. No. 7. P. 468.

Samus' N.N., Durlevich O.V., Zharova A.V., Kazarovets E.V., Kireeva N.N., Pastukhova E.N., Williams D.B., and Hazen M.L. Electronic Version of the Third Volume of the General Catalogue of Variable Stars with Improved Coordinates. // *Astronomy Letters*. 2006. Vol. 32. No. 4. P. 263.

The Hipparcos and Tycho Catalogues (European Space Agency, 1997), ESA SP-1200.