ИСТОРИЯ СОЛНЕЧНЫХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИМ. В. П. ЭНГЕЛЬГАРДТА (АОЭ)

Ю. А. Нефедьев, И. А. Дубяго, Н. Ю. Вараксина

Астрономическая обсерватория им. В. П. Энгельгардта
422526 Россия, Татарстан, Зеленодольский р-он, ст. Обсерватория, АОЭ
e-mail: star1955@mail.ru

Рассматривается история солнечных и спектральных исследований, проводимых в Астрономической обсерватории им. В. П. Энгельгардта в XIX–XXI вв. Обсуждается современное состояние солнечных и спектральных научных направлений в Казани.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всей своей истории Астрономическая обсерватория им. В. П. Энгельгардта (АОЭ) являлась одним из крупнейших научно-исследовательских центров, широко известным как в России, так и за рубежом [1]. С самого начала открытия Энгельгардтовской обсерватории в 1901 году ее первый директор Д. И. Дубяго предполагал постановку астрофизических задач [3].

Необходимо отметить, что история спектральных наблюдений в Казани неразрывно связана с экспедициями казанских астрономов на солнечные затмения. Началом таких исследований можно считать экспедицию на Новую землю в 1896 году с целью наблюдения полного солнечного затмения. Следующими были экспедиции 1912, 1914, 1932, 1936, 1941, 1954, 1961, 1981 гг. В 1918 году А. А. Яковкин провел спектральные наблюдения Новой Орла на созданным им спектрографе и начиная с этого момента во время всех солнечных экспедиций казанских астрономов проводились спектральные наблюдения Солнца. В описанной в последующих разделах краткой истории спектральных исследований в АОЭ показано, что Казань была в прошлом и является в настоящее время одним из центров в России по решению современных астрономических задач на основе спектральных наблюдений.

СОЛНЕЧНЫЕ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯ В КАЗАНИ В XIX–XX вв.

В дореволюционный период в России астрофизика делала только первые шаги, но уже в то время Д. И. Дубяго понимал значение астрофизических исследований. Ещё работая в Петербурге, Дубяго живо интересуется новейшими исследованиями в области астрофотографии. Дмитрий Иванович ещё в студенческие годы (1878 г.) занимался приложением спектрального анализа к астрономическим исследованиям. Позднее он предусмотрел фотографирование короны Солнца в программах экспедиций для наблюдения полных солнечных затмений 1887 и 1896 гг. и в Казани лично наблюдал минимум Алголя. Бывая за границей, он знакомится с европейскими обсерваториями и работами учёных-астрономов. Так, во время первой заграничной командировки в 1877 году, он работал с братьями Генри (известными пионерами астрофотографии) в Парижской обсерватории.

Благодаря посредничеству сотрудника Пулковской обсерватории С. К. Костинского Дмитрию Ивановичу Дубяго удалось "получить во временное пользование малый измерительный прибор Репсольда, принадлежавший графине Бобринской", для чего Дмитрий Иванович лично встречался в Петрограде с владелицей прибора и, получив её согласие, самолично доставил его в Казань. В том же году прибор был использован Г. А. Банахевичем для измерения лунного серпа и протуберанцев на пластинке, полученной во время солнечного затмения. Позднее Костинский выполнил ещё одну просьбу Дмитрия Ивановича, прислав копии используемых им при обработке пластинок сеток Готье.

Астрограф фирмы Гейде был приобретён Энгельгардтовской обсерваторией в 1914 году в связи с организацией экспедиции по наблюдению полного солнечного затмения. На этом телескопе были получены первые фотографии солнечной короны.

Следующие попытки ввести астрофизическую тематику в работу АОЭ были предприняты Авениром Александровичем Яковкиным, который в 1918–1925 годах выполнил ряд интересных методических работ на астрографе Гейде и провёл большую серию спектральных наблюдений Новой Орла (1918 г.). Времена

Рис. 1. Экспедиция на Новую землю в 1896 году

были трудные, финансирование работ почти отсутствовало, не было наблюдателей. Основной задачей А. А. Яковкина оставались наблюдения на гелиометре.

Регулярные астрофизические работы в Казани начались в 1924 г., когда ассистент А. Д. Дубяго и студент Д. Я. Мартынов приступили к систематическим наблюдениям переменных звёзд. Будучи аспирантом А. Д. Дубяго [2], Мартынов выполняет диссертационную работу "Связь между периодом и спектром у затменных переменных" (1937 г.), которая положила начало новому подходу к изучению компонентов в тесных двойных системах.

Ситуация несколько улучшилась с приходом в обсерваторию молодых сотрудников, только что окончивших Казанский университет: Н. А. Ляс (Чудовичева) и Л. Д. Смагина (Агафонова), затем Г. Б. Агафонов, И. В. Белькович, С. В. Некрасова, Н. И. Чудовичев. Из них двое – Некрасова и Чудовичев – вплотную занялись астрофизическими исследованиями.

С 1932 года астрофизическая тематика прочно вошла в состав планов обсерватории. Этому в значительной степени способствовало важное поручение, возложенное на Энгельгардтовскую обсерваторию Астрофизической конференцией 1932 года – планирование и организация исследований затменных переменных звезд в советских астрономических учреждениях. Имевшееся в обсерватории оборудование позволяло с успехом проводить такие работы. В АОЭ появился самостоятельный "сектор переменных звёзд", позднее он стал именоваться "отделом переменных звёзд". Затменные двойные звёзды, как частный случай более широкого класса спектральных двойных систем, являются богатейшим источником самой разнообразной информации о физической природе звёзд и их эволюции. Их комплексные фотометрические и спектральные наблюдения оказываются единственной возможностью получения сведений сразу обо всех основных характеристиках звёзд – массах, радиусах, средних плотностях. Кроме того, у компонентов таких систем можно определить эффективные температуры, распределение яркости по дискам, скорости осевых вращений, концентрацию масс к центрам, которые имеют первостепенное значение для исследования физических свойств звёзд. Систематизация и объяснение этих явлений позволяет приблизиться к лучшему пониманию разных стадий эволюции двойных систем.

Необходимость получения высококачественного наблюдательного материала требовала более совершенного инструмента. Идея постройки для АОЭ анаберрраціонного телескопа системы Шмидта появилась ещё в 1935 году, но в строй он вступил только в феврале 1940 года. Оптические части телескопа были изготовлены в лаборатории астрономической оптики ГОИ под руководством Д. Д. Максутова. Механические детали инструмента – в мастерских Казанского авиационного института, Казанского университета и в механической мастерской АОЭ. Телескоп Шмидта обладал превосходными оптическими

Рис. 2. А. А. Яковкин на солнечном затмении 1912 года

качествами. На нём были поставлены программы наблюдения звёздных полей в различных областях небесной сферы с целью исследования переменных звёзд. Оптическая сила телескопа позволяла применять его как для изучения слабых переменных звёзд, так и для наблюдения слабых комет и малых планет. Во время Великой отечественной войны это был единственный работающий инструмент такого размера в России, успешно справлявшийся с наблюдательными программами.

Большие спектрофотометрические исследования были проведены с объективной призмой на 5-дюймовой камере (Новая Геркулеса 1934 г. – Н. И. Чудовичев в 1936 г., Тельца, Весов и Геркулеса – В. А. Крат в 1935–1938 гг., YZ Кассиопеи – С. В. Некрасова в 1937 г.).

В 1936 году С. В. Некрасова представила в качестве диссертации дополнения к каталогу спектрально-двойных звёзд Мура, в которые вошла 161 звезда. Наряду с многочисленными наблюдениями в обсерватории проводились глубокие теоретические исследования затменных переменных звёзд. В. А. Крат в своих трудах разработал вопросы методики определения орбит переменных звёзд и использование фотометрических кривых блеска для определения "тонких эффектов", вытекающих из физических особенностей тесных двойных звёзд. Этот метод стал известен как "метод Крата".

В 1946 году в обсерватории был установлен электрофотометр, смонтированный на 12-дюймовом рефракторе, ставший тогда основным инструментом для наблюдения переменных звёзд. В 50-х годах АОЭ пополнилась новыми кадрами (Р. А. Боцула, М. И. Лавров, позднее – Н. В. Лаврова, Ю. Ф. Шабалов), которые с успехом продолжили эти важные исследования. В 1966 году обсерватория приобрела новый инструмент – АЗТ-14А, на который были поставлены новые хорошие ФЭУ. На обоих электрофотометрах было сделано более 17 000 наблюдений 25 затменных переменных звёзд и других объектов.

Для получения собственных спектральных данных АОЭ в послевоенные годы поставила перед Министерством высшего и среднего образования СССР вопрос о постройке для обсерватории 125-см рефлектора, так как только достаточно крупный инструмент позволяет вести спектральное изучение обычно слабых затменных переменных звезд. К сожалению, обсерватории удалось провести, и то не до конца, только проектирование этого инструмента, который должен был явиться первенцем крупного отечественного приборостроения. Этот телескоп обсерватории не удалось получить к 50-летнему юбилею обсерватории. К 150-летнему юбилею Казанского университета он тоже не появился. К этому времени Д. Я. Мартынов перешел работать директором Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (Москва) и забрал с собой проектирование 125-см телескопа. Вскоре телескоп был изготовлен и установлен на Южной станции ГАИШ (Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга) в Крыму под именем "Энгельгардтовский".

Рис. 3. Д. Я. Мартынов и А. А. Нефедьев у целостата. Полное солнечное затмение 21 сентября 1941 г. вблизи г. Алма-Ата. Д. Я. Мартынов и А. А. Нефедьев получили хорошие спектрограммы хромосферы

В Энгельгардтовской обсерватории с самого ее основания проводились работы по исследованию Солнца. В 1931 году Н. И. Чудовичев начал наблюдения высоты хромосферы с протуберанц-спектроскопом и возобновил их в 1937–1939 годах. С началом ВОВ, когда обсерватория оказалась одной из немногих, незатронутых военными действиями, для усиления ослабленной службы Солнца она начала в 1942 году как спектроскопические наблюдения протуберанцев, так и систематические наблюдения солнечной фотосферы.

АОЭ принимала непременное участие в наблюдениях полных солнечных затмений. Экспедиции 1936 г. и дальнейшие имели чисто астрофизическую тематику. В экспедиции 1941 г. в Казахстане удалось получить хорошие спектрограммы хромосферы (Д. Я. Мартынов, А. А. Нефедьев) и измерить с электрофотометром яркость короны (Н. И. Чудовичев, К. В. Костылёв). Во время экспедиции 1954 года на корональном электрофотометре К. В. Костылёв и Р. А. Боцула измерили освещённость от всей солнечной короны и кольцевых зон. А. А. Нефедьев и Ф. К. Усманова выполнили поляризационные наблюдения короны, Ш. Т. Хабибуллин и А. К. Чуркина фотографировали частные фазы и корону.

В экспедиции 1961 года Н. Д. Калиненковым, А. Л. Столовым и А. И. Урматским была произведена спектрофотометрия хромосферы Солнца.

В 60-х годах XX века заведующий кафедрой астрономии КГУ проф. Ш. Т. Хабибуллин прекрасно представлял, что без преподавания теоретической астрофизики в университете и без её дальнейшего развития у казанской астрономической научной школы нет большого будущего. Поэтому он предложил молодым выпускникам университета Е. Е. Беляевой (выпуск 1962 г.) и Н. А. Сахибуллину (выпуск 1963 г.) начать заниматься вопросами теоретической астрофизики. Ими было самостоятельно избрано новое направление в астрофизике – интерпретация звездных спектров с помощью моделирования атмосфер звезд. Однако выбор объектов для моделирования был определен не сразу. По истечении нескольких лет Н. А. Сахибуллиным были выбраны ядра планетарных туманностей, а Е. Е. Беляевой – звезды спектральных классов A–F. Это был трудный период вхождения в новую для Казани тематику научных исследований. Позднее по теме моделирования были защищены диссертации С. Петрусевич, В. Стебневым и В. Мережиным.

После годичной стажировки Н. А. Сахибуллина в 1970 году в Астрономическом институте Утрехтского университета (Нидерланды) в Казани стал применяться новый метод моделирования звездных спектров (так называемый неЛТР-метод). Его суть заключалась в отказе от традиционного предположения о выполнении в атмосферах звезд состояния локального термодинамического равновесия. В бывшем СССР такой подход был реализован впервые. Использование этого метода позволило Н. А. Сахибуллину дать объяснения многим астрофизическим явлениям, не поддающимся интерпретации в рамках традиционного подхода. В частности, им было дано объяснение появлению эмиссии некоторых спектральных линий в

Рис. 4. Астрофизики АОЭ 70-е годы

спектрах горячих звезд, предложен метод зондирования температурного распределения в атмосферах горячих и холодных звезд. Докторская диссертация по этой теме была защищена Н. А. Сахибуллиным в Ленинградском университете в 1987 году.

ЗВЕЗДНО-АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ГРУППА АОЭ

В 1965 году под руководством Ш. Т. Хабибуллина была создана звездно-астрономическая группа. Одной из основных задач научных исследований, проводимых этой группой, стали спектрофотометрические исследования звездных полей на большом расстоянии от Солнца с целью изучения тонкой структуры Галактики. Для этих целей одними из первых в СССР казанскими астрономами были использованы регистрограммы нерасширенных спектров звезд для разработки двумерной спектральной классификации, что позволило на 1.5–2^m увеличить проницающую силу телескопа. Группой были составлены каталоги звездных величин и показателей цвета более 30 000 звезд до 15.5^m, а также каталоги спектральных классов и классов светимости более 3000 звезд до 13.5^m. На их основе проведено исследование звезд и межзвездной материи, выявлены детали в спиральной структуре Галактики в направлениях перпендикулярных к плоскости и вблизи плоскости Галактики.

В АОЭ в 1963 году был установлен новый 35-см менисковый телескоп системы Максутова с увиолевой оптикой – АСТ 452. Это позволило ускорить получение фотометрического материала. Телескоп снабжён тремя объективными призмами с преломляющими углами 35, 15 и 02 градуса, необходимыми для получения спектрального наблюдательного материала. Кроме этого сотрудники астрофизического отдела ездили в командировки для получения спектров звёздных полей на более сильных телескопах Абастуманской астрофизической обсерватории (70-см менисковый телескоп) и Крымской южной станции ГАИШ (50-см менисковый телескоп).

Теоретические исследования по разработке трёхцветных фотометрических систем менискового телескопа и телескопа Шмидта позволили переводить наблюдённые величины в международную систему *UBV*. Для обработки наблюдательного материала были изготовлены оригинальные ирисовые микрофотометры с автоматическим учётом фона пластинки. Они были представлены на выставке ВДНХ, где получили серебряные и бронзовые медали.

Для целей спектрофотометрии были разработаны двумерные количественные спектральные классификации звёзд, полученных с объективной призмой. Это позволило определять спектральные классы звёзд с точностью 1–2 спектральных подклассов, а абсолютные звёздные величины – с точностью до 1.5^m. На основе всего массива наблюдательного материала, полученного в астрофизическом отделе АОЭ, были составлены каталоги звёздных величин и показателей цвета в системе *UBV* более 45 000 звёзд, а также составлены каталоги спектральных классов и классов светимости более 3000 звёзд до 13.5^m на больших расстояниях от Солнца. Проведено исследование распределения звёзд и межзвёздной поглощающей материи в этих областях. Были выявлены детали спиральной структуры Галактики в данных направлениях.

В результате исследований было обнаружено впервые в оптическом диапазоне существование внешней ветви Галактики, расположенной за пределами ветви Персея на расстоянии 1.5–2 кпк от неё в направлении галактической долготы 162 градуса. Кроме того, в направлении долгот 80 и 91 градусов было локализовано и положение ветви Персея на расстоянии более 5 кпк. Проводились теоретические работы по исследованию "закона межзвёздного поглощения света" в Галактике, была предложена модель двухрукавной структуры Галактики.

Наряду с работами по строению Галактики проводились наблюдения компактных внегалактических объектов (квазаров, ядер сейфертовских галактик и N-галактик) с целью исследования переменности их блеска. У ряда объектов обнаружены короткопериодические изменения блеска за время менее суток и с амплитудой до одной звёздной величины (3C 371, 3C 390). У квазаров 3C 345 и PKS 2135-14 обнаружена вспышка. Исследовались и отдельные галактические объекты, новые и сверхновые звёзды, проводилась служба наблюдения малых тел Солнечной системы (кометы, астероиды).

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАЗАНИ

Основными вопросами на современном этапе развития астрофизических исследований в Казани являются задача острой необходимости технического переоснащения и модернизации существующих инструментов для решения учебно-прикладных наблюдательных задач и активное использование для наблюдений 1.5-метрового казанского телескопа, установленного в Турции, а также привлечение для обработки наблюдений, выполненных на больших телескопах других обсерваторий мира. Была произведена модернизация телескопов АЗТ-14А и АСТ-425. Эти телескопы были оснащены современными приёмниками – ПЗС-матрицами и универсальными оптическими корректорами, были построены современные кабельные сети волоконно-оптической связи, инсталлировано соответствующее сетевое активное оборудование, установлены производительные рабочие станции и программное обеспечение, серверное оборудование и цифровые измерительные системы.

Для решения учебно-практических задач в области ПЗС-фотометрии изготовлен ПЗС-фотометр, оснащенный набором универсальных переходников, с применением которого стало возможным проводить изучение как непосредственно технических характеристик самих ПЗС-приемников (чипов) различных мировых производителей, так и фотометрических свойств системы в целом с применением различных ПЗС-матриц, таких как S1C и CSDU285 отечественных производителей, Alta U9000 фирмы "Apogee instruments inc.", ST-10 фирмы "SBIG inc." и др., а также непосредственно проведение работ в области звездной ПЗС-фотометрии, в частности, отработки процессов получения кривых блеска, приведения к стандартной фотометрической системе Джонсона, обработки оптических данных с помощью специализированного программного обеспечения типа MIDAS, Maxim DL и т. д.

Для удобства выполнения астрофизических наблюдательных задач, а также для отработки методов оперативного поиска и наблюдений ИСЗ, малых планет Солнечной системы, комет, астероидов в 2008 году телескоп АЗТ-14А оснащен системой быстрого перевода по осям и точного корректирования при сканировании участков неба. Для оперативного дистанционного управления инструментами установлен спутниковый канал, с помощью которого осуществляется также и обмен данными, удаленная обработка (в случае необходимости) данных, контроль и управление ресурсами технических систем климат-контроля, обзора и навигации, выделенной электрораспределительной сети и т. д. В основе автоматического привода купола АЗТ-14, смонтированного и прошедшего испытания в 2007–2008 годах, лежит принцип частотно-фазового управления. Разработанный автомат состоит из трёх основных блоков: стационарного блока управления с индукционной передающей петлёй, автономного купольного блока с петлёй связи и двумя передающими антеннами вдоль забрала, телескопного усилительного блока с приёмной антенной, расположенной на блоке фокусировки АЗТ-14. Таким образом, данная система управления позволила полностью автоматизировать процесс движения купола и снять с наблюдателя задачу позиционирования забрала относительно телескопа.

Управление перечисленным комплексом информационно-технических систем осуществляется из специализированного центра, расположенного в отдельном помещении, оснащенном системами климат-контроля и стабилизированного питания исполнительных устройств телескопов, отдельными выделенными электрораспределительными сетями и контурами заземления для измерительных, обрабатывающих вычислительных комплексов, серверов, а также средствами связи, передачи данных, средствами GPS- и ГЛОНАСС-навигации и временной синхронизации всего комплекса информационно-технических систем (специальный сервер для синхронизации). Процессы автоматической терморегуляции помещений, вентиляции, контроля точки росы в подкупольном пространстве, создания избыточного давления, очистки, просушки воздуха, подающегося на зеркала и приемники телескопа, отображаются на

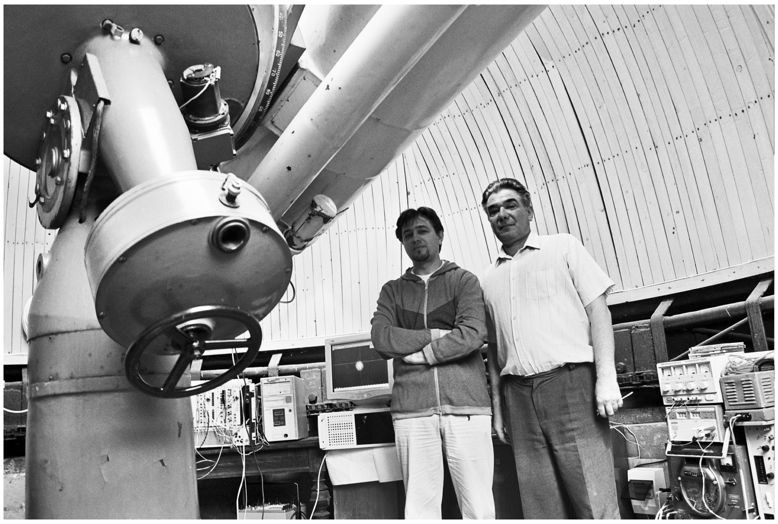

Рис. 5. В. В. Сасюк и Ю. А. Нефедьев на телескопе АЗТ-14 АОЭ

мониторе рабочей станции в соответствующем графическом виде и архивируются по мере необходимости с момента запуска системы. Особое внимание было уделено оснащению АЗТ-14А системой GO TO, разработке и внедрению соответствующего программного обеспечения, проработке привязки к каталогам типа USNO-2 и др. Созданная автоматизированная система функционирует в реальном режиме времени, а привязка к каталогам осуществляется по положениям звёзд до 19 звездной величины включительно. В целом, комплекс проделанных по модернизации парка наблюдательных инструментов работ позволил начать фотометрические наблюдения переменных звезд, вести обработку наблюдений, получать кривые блеска и проводить анализ процессов, происходящих в тесных двойных звездных системах, системах спутников планет Юпитера и Сатурна и т. д., что в свою очередь позволило включиться АОЭ в соответствующие совместные исследовательские проекты, в том числе и международные. В частности, для решения задач пространственной ориентации изготовленного НПО им. С. А. Лавочкина комплекса международной орбитальной астрофизической обсерватории "Спектр-УФ", совместно со специалистами-разработчиками научной аппаратуры из Института астрономии РАН на телескопе АЗТ-14А были проведены тестовые наблюдения областей неба с целью отработки алгоритмов привязки и ориентации телескопа во время его предстоящей работы непосредственно на орбите.

В середине семидесятых годов казанские астрофизики подключились к выполнению международных научных программ: ANS – Astronomical Netherland Satellite, "Copernicus", BUSS – Ballone Ultraviolet Stellar Spectrograph и др. Это позволило применить разработанный в Казани метод к спектрам высокого разрешения. Например, в кандидатской диссертации И. Н. Портновой (1985 г.) были исследованы звездные ветры горячих звезд с использованием данных IUE – International Ultraviolet Explorer. В кандидатской диссертации Л. И. Машонкиной было уточнено содержание азота у горячих звезд класса O (1985 г.).

В 90-х годах на кафедре появилась плеяда молодых сотрудников (В. Ф. Сулейманов, Н. Н. Шиманская, В. В. Шиманский и др.), которые распространили метод моделирования на другие объекты.

С 1994 г. по инициативе В. Ф. Сулейманова начаты наблюдения и исследования катаклизмических переменных, которые продолжаются по настоящее время совместно с В. В. Шиманским.

В начале 90-х годов по предложению И. Ф. Бикмаева (в то время ещё сотрудника САО) Н. А. Сахибуллиным было начато исследование эффекта сверхионизации железа в атмосферах звёзд поздних классов с учётом неЛТР-эффектов. С этих пор внимание казанских астрофизиков переключилось на изучение звезд поздних классов. У. Ш. Баязитов использовал метод моделирования для изучения линий Ca II в спектре Солнца. Н. Н. Шиманская изучила содержание магния в атмосферах поздних карликов. В работах Е. В. Беляковой проблема содержания для этих звезд была решена для элемента стронция. Доц. И. Ф. Бикмаев и м. н. с. А. И. Галеев проводят исследования по установлению фундаментальных параметров звезд солнечного типа.

Доцентом В. Ф. Сулеймановым была разработана методика расчетов и создана компьютерная программа для моделирования аккреционных дисков вокруг компактных релятивистских объектов с учетом эффектов общей теории относительности (ОТО) и спектров их излучения, также с учетом

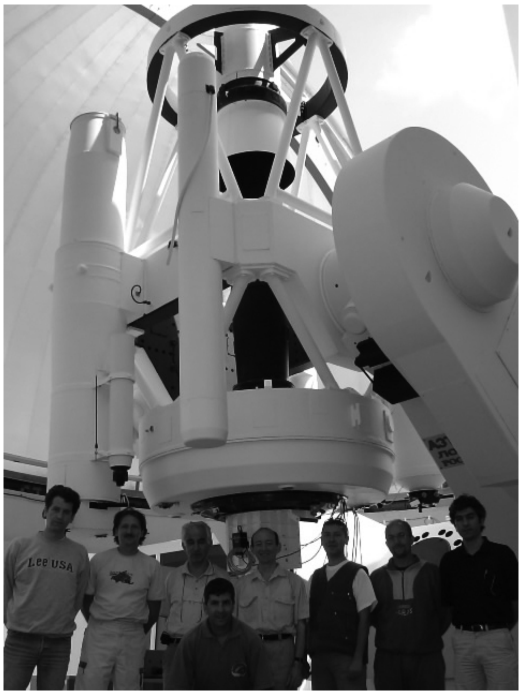

Рис. 6. Казанский 1.5-метровый телескоп РТТ-22

влияния эффектов ОТО на распространение излучения из окрестности компактного объекта к удаленному наблюдателю. Этот метод был применен к интерпретации наблюдаемых спектров объектов с аккреционными дисками (катаклизмические переменные звезды, активные ядра галактик). Метод моделирования был также применен В. Ф. Сулеймановым, А. А. Ибрагимовым и Н. А. Сахибуллиным для моделирования и интерпретации спектров ряда сверхмягких рентгеновских источников, что позволило определить их фундаментальные физические параметры.

В. В. Шиманский вместе с Н. А. Сахибуллиным применили метод моделирования к освещаемым внешним источником звездным атмосферам. Ими было показано, что внешнее излучение, не изменяя структуры всей звезды, кардинально перестраивает физические условия в тех поверхностных областях атмосферы, в которых формируется выходящий поток излучения этой освещаемой звезды. Разработанная методика расчета моделей таких атмосфер была применена к анализу спектров тесных двойных систем разных типов, что позволило получить их фундаментальные параметры с наилучшей точностью.

В докторской диссертации Л. И. Машонкиной, благодаря использованию неЛТР-метода применительно к холодным звездам, удалось выявить важные особенности химической эволюции Галактики и получить наблюдательные ограничения на теоретические модели эволюции из анализа содержаний тяжелых элементов европия и бария. Обнаружены свидетельства различной химической истории звездных населений гало, толстого диска и тонкого диска Галактики: доминирование r-процесса (т. н. быстрого захвата нейтронов) в синтезе тяжелых элементов в эпоху формирования гало; начало нуклеосинтеза в s-процессе (медленного захвата нейтронов) в эпоху толстого диска и возрастанием роли этого процесса от 30% до 50%; задержка звездообразования перед формированием тонкого диска. Получены оценки продолжительности формирования гало (примерно 1.5 млрд лет) и формирования толстого диска (между 1.1 и 1.6 млрд лет от начала протогалактического коллапса).

По результатам исследований этой группы казанских астрофизиков был опубликован первый том монографии “Методы моделирования в астрофизике. I. Звездные атмосферы” (1997 г.) и подготовлен второй том “II. Определение фундаментальных параметров звезд” (автор Н. А. Сахибуллин). За цикл работ по неЛТР-анализу Н. А. Сахибуллин получил премию РАН имени А. А. Белопольского (1998 г.). Работы Н. А. Сахибуллина и В. В. Шиманского были награждены премией Международной академической издательской компании (МАИК) как “лучшие работы по астрофизике, опубликованные в “Астрономическом журнале” (1999 г.). Признанием достижений казанских астрофизиков было избрание Н. А. Сахибуллина председателем Рабочей группы РАН “Звездные атмосферы”. Несколько заседаний этой группы были организованы в Казани.

Астрофизические исследования в Казани в последние десятилетия проводились совместно с зарубежными коллегами из Объединенного института лабораторной астрофизики (Колорадо, США), Астрономического института Утрехтского университета (Голландия), Астрономического института Мюнхенского университета, Института аэрономии им. Макса Планка (Германия), Космического центра им. Маршалла (США) и др. Основные результаты исследований печатались, в основном, в зарубежных или центральных отечественных журналах, а также докладывались на многих международных конференциях (Австрия, Швеция, Голландия, Болгария, Германия, Италия, Румыния, Турция, США, Франция и др.).

В 1972 году директор АОЭ А. А. Нефедьев поставил перед Казанским университетом вопрос о строительстве 1.5-метрового рефлектора. Придавая большое значение наблюдениям, в 1979 году руководство университета приняло решение о строительстве нового телескопа АЗТ-22 диаметром в 1.5 метра. Создание телескопа было завершено в 1991 году на Ленинградском оптико-механическом объединении. Был найден партнер – Комитет по науке и технике Турции (ТЮБИТАК), который имел в своих планах создание Национальной турецкой обсерватории на горе Бакирлетепе в окрестности города Анталья [4]. В результате совместных усилий Казанского университета, Академии наук Татарстана, ТЮБИТАКа и Института космических исследований (Москва) телескоп был установлен, и в 2000 году были начаты научные наблюдения. Фактически этот телескоп стал вторым в России телескопом по диаметру. В настоящее время телескоп проводит наблюдения по нескольким программам: гравитационные линзы, тесные двойные системы, оптическое послесвечение гамма-вспышек, оптическое сопровождение европейского космического проекта INTEGRAL (совместно с ИКИ РАН, Москва), уточнение систем координат. Дальнейшее оснащение телескопа современной приемной аппаратурой выведет его на уровень лучших телескопов мира с подобным диаметром.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткую хронологию солнечно-спектральных исследований в АОЭ можно представить в следующем виде:

1918 год – А. А. Яковкин провел спектральные наблюдения Новой Орла;
1925 год – был приобретен цейсовский объектив Астро-триплет, что позволило получать спектры звезд в исследуемых площадках звездного неба;
1929 год – С. В. Некрасова представила в качестве диссертации дополнения к каталогу спектрально-двойных звезд;
1934 год – Н. И. Чудовичев провел спектрофотометрические исследования с объективной призмой. Он же с протуберанц-спектроскопом наблюдал хромосферу Солнца в 1937–1939 гг.;
1936 год – А. А. Яковкин наблюдал спектр хромосферы на спектрографе его собственной конструкции;
1941 год – Д. Я. Мартынов и А. А. Нефедьев получили хорошие спектрограммы хромосферы;
1942 год – в АОЭ велись спектроскопические наблюдения протуберанцев;
1961 год – Калиненков и Столов в экспедиции в Джанкое провели спектрофотометрию Солнца;
1965 г. по настоящее время – звездно-астрономическая группа, созданная Ш. Т. Хабибуллиным, проведение спектрофотометрических исследований звездных полей на большом расстоянии от Солнца;
1970 г. по настоящее время – группа астрофизиков под руководством Н. А. Сахибуллина, проведение комплекса спектральных исследований для решения современных астрофизических задач.

Все выше сказанное позволяет надеяться, что астрофизические исследования в Казанском университете получат дальнейшее развитие.

[1] *Нефедьев Ю. А., Дубяго И. А.* Василий Павлович Энгельгардт. – Казань: Изд. Казанского гос. унив., 2008. – 104 с.

[2] *Нефедьев Ю. А., Дубяго И. А., Вараксина Н. Ю.* История АОЭ и связи с КрАО // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. – 2009. – **104**, № 6. – С. 199–205.

[3] *Нефедьев Ю. А., Ризванов Н. Г., Кащеев Р. А. и др.* История астрономии в Казани. – Казань: Изд. Казанского гос. унив., 2009. – 600 с.

[4] *Ризванов Н. Г., Бикмаев И. Ф., Нефедьев Ю. А.* Основные концепции фотографической и ПЗС астрометрии. – Казань: Изд. Казанского гос. унив., 2005. – 200 с.