

**СПЕЦИАЛЬНАЯ
АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ
ОБСЕРВАТОРИЯ**

**РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК**



**40
л е т**

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ
ОБСЕРВАТОРИЯ**



**RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
SPECIAL ASTROPHYSICAL OBSERVATORY**

**SPECIAL
ASTROPHYSICAL
OBSERVATORY**

40 years

Jubilee Collection



Nizhnij Arkhyz
2006

**СПЕЦИАЛЬНАЯ
АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ
ОБСЕРВАТОРИЯ**

40 лет

Юбилейный сборник



Нижний Архыз
2006

УДК 520.1(09);520.2

Ответственный редактор
член-корреспондент РАН Ю.Ю. Балега

РЕДКОЛЛЕГИЯ:

доктор физико-математических наук И.И. Романюк – зам.
ответственного редактора,
доктор физико-математических наук И.В. Госачинский,
В.П. Романенко (фотоальбом),
кандидат физико-математических наук И.П. Костюк – отв. секретарь

Редакционная группа: О.М. Неизвестная, Г.Н. Коледа

Специальная астрофизическая обсерватория РАН: 40 лет: Юбилейный сб./Отв. ред. Ю.Ю. Балега - Нижний Архыз, 2006, 464 стр.

В сборнике отражены основные научные достижения коллектива Специальной астрофизической обсерватории за юбилейный период. Вступительная статья написана директором, членом-корреспондентом РАН Ю.Ю. Балегой, основные научные достижения изложены заведующими лабораториями и ведущими специалистами обсерватории.

В книге много теплых воспоминаний посвящено ушедшим из жизни коллегам, без которых обсерватория не состоялась бы в таком виде, какова она есть сейчас. Сборник прекрасно иллюстрирован: приведено более 200 фотографий, отражающих разные этапы становления и развития обсерватории.

Для сотрудников и ветеранов САО РАН и читателей, интересующихся историей российской астрономии.

40 ЛЕТ СПЕЦИАЛЬНОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Ю. Ю. Балега

В 2006 году исполняется 40 лет крупнейшему научному учреждению страны, выполняющему наземные исследования объектов космоса в видимом и радиодиапазонах спектра – Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН). Обсерватории, которая создавалась предыдущим поколением астрономов, инженеров и конструкторов Советского Союза для того, чтобы вывести отечественную астрономическую науку на передовые рубежи в мире. Обсерватории, у истоков которой стояли выдающиеся ученые и организаторы науки президент Академии наук СССР академик М.В.Келдыш, вице-президент АН СССР академик Б.П.Константинов, академик-секретарь Отделения общей физики и астрономии АН СССР академик Л.А.Арцимович, Министр оборонной промышленности СССР Д.Ф.Устинов, Председатель Совмина СССР А.Н.Косыгин. Обсерватории, расходы на создание которой, порядка 150 млн. долларов в нынешних ценах, стали рекордными за всю историю отечественной астрономии. Обсерватории, при создании которой ведущими специалистами страны высказывались и продолжают высказываться сейчас противоположные мнения относительно структуры, научных задач, и вообще о целесообразности ее существования в системе нашей науки. Оглядываясь на десятилетия назад, сразу отметим, что астрономическая общественность страны отнюдь не была единой в том, что надо создавать новую гигантскую обсерваторию на Северном Кавказе; многими высказывались мнения, что лучше потратить деньги на довооружение уже имеющихся обсерваторий. Сегодня, когда подводятся итоги работы САО за 40-летний период, надо помнить и о критической точке зрения на существование обсерватории, которая вкратце сводится к следующему: в САО плохая погода, в САО нет техники мирового уровня, в САО, конечно же, работают неплохие специалисты, но они изолированы в горах и не отслеживают новых тенденций в науке. Как бы там ни было, сегодня САО остается единственным научным центром в стране, в котором по широкому кругу задач на мировом уровне с помощью крупнейших наземных телескопов ведутся плановые наблюдения.

САО изначально создавалась как центр коллективного пользования всего астрономического сообщества, а БТА и РАТАН-600, как и другие крупнейшие телескопы мира, всегда имели статус общих инструментов. Спектр задач, которые ставились для решения на телескопах, охватывает весь мыслимый диапазон – от объектов на космологических расстояниях и микроволнового фона Вселенной до близких тел Солнечной системы. Наблюдательное время на телескопах распределяется Комитетом по тематике больших телескопов (КТБТ), который последовательно возглавляли выдающиеся отечественные астрономы: академик В.В.Соболев (с 1976 по 1981 гг.), академик А.А.Боярчук (с 1981 по 1988 гг.), доктор физ.-мат. наук В.Ю.Теребиж (с 1988 по 1993 гг.), доктор физ.-

мат. наук Ю.Н.Гнедин (с 1993 по настоящее время). В самом начале работа на телескопе БТА велась под контролем академика В.А.Амбарцумяна. Для обсуждения результатов и новых планов комитет собирался более 60 раз, в результате чего к выполнению на БТА было рекомендовано 2100, а на телескопе РАТАН-600 – около 650 программ заявителей. Именно КТБТ всегда определял научную проблематику для наших инструментов. В состав КТБТ и ныне входят представители других государств, а около 30% наблюдательного времени выделяется зарубежным астрономам.

Техническое состояние двух инструментов всегда имело важнейшее значение для жизни обсерватории. 31 год в постоянной эксплуатации находятся телескопы БТА и РАТАН-600. Телескоп БТА, например, за все годы работы практически не простаивал по техническим причинам, если не считать остановок на плановое мытье и алюминирование главного зеркала. Ежегодные потери наблюдательного времени из-за неполадок в системе БТА не превышают в среднем 1-1,5%. Создатели телескопа – конструкторы и инженеры Ленинградского оптико-механического объединения под руководством выдающегося человека, главного конструктора Б.К.Иоаннисиани – не только разработали принципиально новый астрономический телескоп (азимутальная монтировка с двумя платформами Нэсмита, охлаждаемый купол и др.), но и оставили нам очень надежный инструмент. А главным ограничивающим фактором при выполнении научных программ остается погода – в среднем мы работаем на БТА 1700-1800 часов в году (около половины возможного наблюдательного времени).

За годы эксплуатации система управления телескопа, его оптика и силовые агрегаты, крупные узлы купола и башни постоянно совершенствовались. Крупнейшими вехами в истории технической модернизации БТА являются:

- замена главного зеркала в 1979 году;
- плановая замена и модернизация системы управления БТА – от ЭЦУМ, начиная с 1974 г., через СМ-2М в 1984 году к персональным компьютерам в начале 90-х;
- замена системы маслопитания телескопа в 1995 г., которая кардинально снизила вибрации телескопа;
- замена в середине 90-х приводов и отказ от электромашинных усилителей (ЭМУ), что напрямую связано с повышением надежности работы;
- создание заново автоматизированной системы управления телескопа, использующей стандартную операционную систему LINUX.

В 2002 году в CAO начат поиск путей улучшения качества основного элемента телескопа – 6-метрового зеркала. После обсуждения состояния отражающего слоя зеркала на выездном заседании бюро Отделения общей физики и астрономии РАН с участием академиков А.А.Боярчука, А.Ф.Андреева, Н.С.Кардашева, О.Н.Крохина и других было принято решение о его замене или восстановлении. Лыткаринский завод оптического стекла, на котором в 70-е гг. и были изготовлены первое и второе зеркала БТА, сегодня готовится к приемке 42-тонного стеклянного диска для обработки в цеховых условиях его рабочей поверхности. Ожидается, что к 2009 году CAO получит новое улучшенное зеркало с 85% концентрацией световой энергии от звезды в пятне 0.6 угл. секунды и шероховатостью поверхности не хуже 15 нм. Одновременно нами начаты ра-

боты по улучшению термического режима купола и башни телескопа, которые включают вывод из башни избыточных источников тепла, охлаждение воздуха и пола в подкупольном пространстве, охлаждение зеркала в оправе. Эти работы позволят на 15% увеличить число наблюдательных ночей на телескопе и повысить качество изображений.

По сравнению с первыми годами работы аппаратное оснащение БТА практически полностью заменено. У нас работает 5 штатных методов наблюдений, доступных всем пользователям: многорежимный редуктор светосилы в первичном фокусе SCORPIO, светосильный спектрограф UAGS, эшелле-спектрометр PFES, основной звездный спектрограф ОЗСП в фокусе H2 и светосильный эшелле-спектрометр РЫСЬ. Кстати, спектрограф ОЗСП является единственным сохранившимся на БТА инструментом, разработанным нашей промышленностью параллельно с самим телескопом. Сегодня он оснащен ПЗС-приемником нового поколения, но сам спектрограф конструктивно не менялся. Кроме перечисленных, на БТА используются приборы в методическом сопровождении наших астрономов-разработчиков: кварцевый эшелле-спектрометр высокого разрешения НЭС в фокусе H2, мультизрчковый спектрограф первичного фокуса MPFS, мультиобъектный волоконный спектрограф первичного фокуса MOFS, спекл-интерферометр видимого и ИК-диапазона, комплекс для изучения быстрой переменности объектов МАНИЯ.

Основная часть действующего на БТА спектроскопического оборудования разрабатывалась и доводилась до наблюдений главными научными сотрудниками В.Л.Афанасьевым и В.Е.Панчуком, которые рассказывают об этом в настоящем сборнике. Основы магнитометрии звезд на БТА были заложены главным научным сотрудником Ю.В.Глаголевским. Все перечисленные выше инструменты используют современные ПЗС-матрицы для регистрации изображений и спектров. Начало созданию цифровых систем регистрации астрономических изображений с использованием телевизионных и ПЗС-приемников было заложено четверть века назад А.Ф.Фоменко и его Группой оптико-электронных цифровых систем. Большинство же приемников, работающих на телескопе БТА сегодня, создано трудом наших ведущих инженеров в Лаборатории перспективных разработок САО под руководством канд. технических наук С.В.Маркелова. Уникальное для российской действительности явление – приборостроительная лаборатория на периферии страны, создающая лучшие в стране приборы широкого диапазона назначения для оптических наблюдений, – свидетельство правильности выбранной в прошлом стратегии технического развития САО. История этой работы также нашла краткое отражение в сборнике.

Техническая модернизация радиотелескопа РАТАН-600 велась все эти годы в двух направлениях: улучшение состояния самой антенны и создание новых приемно-измерительных комплексов. Телескоп изначально проектировался с полуавтоматическим управлением главным зеркалом. В 1980 г. был завершен первый этап создания АСУ антенны с использованием КАМАК-оборудования и ЭВМ «Электроника-100И» (аналог тогдашней PDP-8). Пятнадцать лет спустя периферийное оборудование антенны было заменено, а управление переведено на более современную машину СМ-1420. А с 2005 года эксплуатация антенны выполняется под контролем персональных ЭВМ, использующих в качестве

операционной системы LINUX. Как и на БТА, эта система является более надежной и защищенной и позволяет астрономам дистанционно работать на телескопе.

Под воздействием механических и тепловых нагрузок за годы работы точность поверхности антенны радиотелескопа к началу 90-х годов значительно ухудшилась: среднеквадратичное отклонение по поверхности отдельного щита достигало 1.2 мм. Вследствие снижения качества отражающей поверхности заметно сократилась и эффективная площадь главного зеркала на коротких длинах волн. В 1999 году коллектив РАТАН-600 самостоятельно начал работы по переобшивке поверхности антенны. Через 3 года исходная точность (около 0.2 мм) была восстановлена и закреплена. Параллельно выполнялись объемные по вложенным средствам и масштабу работы по реконструкции рельсовых путей телескопа: деревянные шпалы были заменены на бетонные на Северном, Южном и Западном секторах, заменены также рельсы системы «Юг+Плоский отражатель».

Модернизация имеющихся и создание новых радиометров для РАТАН-600 ведутся канд. физ.-мат. наук А.Б.Берлиным и Н.А.Нижельским и их коллегами с момента первых наблюдений. Сегодня чувствительность радиометров сантиметрового диапазона в 20-40 раз выше той, которую имели наши приборы в середине 70-х. Новый спектрально-поляризационный комплекс высокого разрешения для исследования радиоизлучения Солнца, созданный под руководством В.М. Богода, по сочетанию основных параметров – частотного перекрытия, разрешения, чувствительности и точности поляризационных измерений (0.02-0.03%) – является уникальным прибором в практике солнечной радиоастрономии.

Однако основным богатством САО являются отнюдь не технические средства наблюдений, а сформировавшийся вокруг этих средств уникальный коллектив ученых, инженеров и рабочих высшей квалификации. Коллектив удивительно разносторонний, одинаково хорошо владеющий и современной методикой и техникой наблюдений, и знанием актуальных задач астрофизики. Из 420 сотрудников нынешнего состава САО 85 являются научными работниками, включая 47 кандидатов наук, 21 доктора наук, 2 члена РАН. Этот отряд специалистов в области современной наблюдательной астрофизики составляет своеобразную «астрофизическую школу САО». Среди них – ряд специалистов мирового уровня: Ю.Н.Парийский, И.Д.Караченцев, В.Л.Афанасьев, В.Е.Панчук, В.Г.Клочкова, Ю.В.Глаголевский, И.В.Госачинский, В.М.Богод, А.Б.Берлин, С.Н.Фабрика, С.А.Трушкин, С.В.Маркелов, Г.М.Бескин и многие, многие другие. Многие из наших коллег, уже ушедшие из жизни, внесли определяющий вклад в создание этой школы: С.В.Рублев, Д.В.Корольков, В.Ф.Шварцман, Н.Ф.Рыжков, В.С.Рылов, В.А.Липовецкий. Благодаря их труду и работе коллег из научной сферы и эксплуатационных служб обсерватории удалось не только выстоять в самые тяжелые годы становления и борьбы за выживание, но и сохранить преемственность и лучшие традиции ведущего в своей области академического учреждения страны.

Наиболее значительная роль в становлении творческого потенциала САО принадлежит первому директору обсерватории И.М.Копылову, который

сформировал научный коллектив и создал организационную структуру, сохраняющуюся в основном и в нынешних условиях. Эту работу он выполнял параллельно со строительством двух телескопов-гигантов и созданием инфраструктуры САО. И.М.Копылов – основатель школы спектроскопии САО, один из самых известных астрономов-звездников в нашей стране. Он и сегодня остается в десятке самых цитируемых российских астрономов. Вплоть до последнего года своей жизни, уже будучи сотрудником Главной астрономической обсерватории РАН, И.М.Копылов оставался членом программного комитета телескопов САО и активно участвовал в обсуждении всех наших проблем. Научная и организационная деятельность И.М.Копылова в течение 19 лет на посту директора САО отражена в изданных после его смерти двух сборниках («Иван Михеевич Копылов. Избранные труды», 2002, Н.Архыз; «И.М.Копылов – полвека в астрофизике», 2003, Н.Архыз).

С 1985 по 1993 годы руководство коллективом САО было возложено на В.Л.Афанасьева, который своей энергичной работой в перестроечный для страны период существенно развил материальную базу учреждения, привлек к работе новых талантливых людей. Созданный в этот период в сотрудничестве с учеными ВНИИ телевидения комплекс оборудования КВАНТ был удостоен в 1991 году государственной премии СССР в области науки и техники. В эти же годы в САО начинает внедряться практика образования временных научных коллективов для решения актуальных проблем астрофизических исследований. В дальнейшем некоторые из них превратились в полноценные постоянно действующие научные лаборатории. В конце 80-х в САО создается институт стажеров и визитеров – способ привлечения для временной работы в САО наиболее перспективных астрономов и физиков из СССР и из-за рубежа. Среди прошедших через этот институт – известные сегодня ученые М.Ю.Хлопов, О.К.Сильченко, В.В.Цымбал, В.П.Решетников, А.Г.Губанов, Г.Б.Гельфрейх, Б.И.Рябов, Н.Р.Ихсанов, В.О.Чавушян, И.Илиев и Ц.Георгиев из Болгарии, Х.Лоренц из ГДР, М.Альвардат из Иордании и многие другие.

Благодаря наличию коллектива единомышленников обсерватории удалось практически без потерь пережить период тяжелых кризисов и падений 90-х годов. Более того, была продолжена начатая работа по модернизации инструментов, а в целом ряде направлений выполнены исключительно важные работы, связанные с созданием спектральной, радиометрической аппаратуры, развитием средств коммуникаций. За 40 лет в обсерватории работало несколько тысяч сотрудников, но костяк коллектива, порядка 200 человек, сохранился неизменным. Перечислить всех, кому обсерватория обязана своими успехами, во вводной статье невозможно. Хочу только отметить, что достижения САО определяющим образом связаны с трудом не только научного коллектива, но и работой обеспечивающих подразделений. Среди людей, которые полностью посвятили себя самоотверженной работе в САО, выделяются: первая заведующая отделом кадров Т.В.Леонова, первый главный бухгалтер М.Т.Удовицкий, референт директора Е.И.Рыжикова, заместитель директора по общим вопросам А.Ч.Узденов, первая заведующая библиотекой Г.С.Шведова, старший инспектор А.Д.Бардакова, начальник транспортного отдела А.Ф.Канахин, переводчик В.М.Шаповал, начальник цеха тепловодоснабжения В.И.Станкевич, замести-

тель директора по строительству и ремонту А.В.Захаров, начальники комплексов телескопов П.В.Призов и Ю.М.Маметьев, начальник механического участка БТА А.М.Притыченко, главный энергетик П.И.Туполов, инженер АСУ В.Г.Данилов, регулировщик аппаратуры С.С.Куранов, электромонтеры СЭК РАТАН-600 Мостовой Ф.Д. и Синченко М.И., ведущий инженер СЭК РАТАН-600 Капранов В.А., инженеры Группы геодезии Голосова С.Я и Миленко В.Ф.

Как и для всех научных институтов страны, серьезной проблемой для обсерватории является отток сотрудников в лучшем творческом возрасте. В период с 1993 по 2005 годы из САО в поисках новых перспектив ушел 31 молодой специалист. Большинство из них получили образование в лучших вузах страны, защитили диссертации в САО, прошли серьезную практическую подготовку на телескопах под руководством наших лучших специалистов. Обсерватория, стремясь восполнить эти неизбежные потери, активно участвует в федеральных программах интеграции науки и образования. Ежегодно у нас проходят практику совместной работы с нашими астрономами около 100-120 студентов крупнейших вузов. Часть из них поступает в аспирантуру САО и остается работать на наших телескопах. Среди таких наших молодых сегодняшних коллег А.В.Моисеев, Д.И.Макаров, Л.Н.Макарова, Т.А.Фатхуллин, М.В.Юшкин, Д.О.Кудрявцев, Е.В.Малоголовец и др.

Огромное значение для САО имеет сотрудничество с отечественными и зарубежными институтами своего профиля. В сегодняшней российской науке – это Государственный астрономический институт МГУ, Институт астрономии РАН, Астрономический институт Санкт-Петербургского университета, Институт прикладной астрономии РАН, Институт космических исследований РАН, Физико-технический институт РАН им. Иоффе, Главная астрономическая обсерватория РАН, Нижегородский институт прикладной физики РАН и др. Из зарубежных связей следует, прежде всего, выделить наши давно сложившиеся дружеские отношения с Марсельской обсерваторией во Франции, Боннским институтом радиоастрономии, Астрономическим институтом Словакии, Обсерваториями Метсахови и Туорла в Финляндии, Национальным институтом астрофизики в Италии. Совместные работы с первыми двумя учреждениями из этого списка практически определили пути развития инструментальной базы телескопа БТА в области спектроскопии внегалактических объектов и интерферометрии звезд. Особое значение в жизни САО всегда играли тесные связи с Бюраканской астрофизической обсерваторией, начиная с тех времен, когда академик В.А.Амбарцумян непосредственно решал вопрос о создании крупнейшей обсерватории, и до сегодняшнего дня, когда САО создает совместную с бюраканскими астрономами лабораторию для исследования галактик. Сегодня в интересах астрономии САО оказывает Бюракану серьезную поддержку в подготовке кадров и аппаратурном оснащении их телескопа. Важное место в жизни САО продолжают играть совместные работы с университетами – Московским, Санкт-Петербургским, Казанским, Киевским, Ростовским, Волгоградским, Уральским, а в последнее время – и со Ставропольским.

САО обладает хорошо развитой инфраструктурой для обеспечения жизни коллектива, проведения конференций, приема студентов и аспирантов, вспомогательной деятельности в области научного и экологического туризма,

развития производств. Последнее становится особенно важным в условиях реформирования академической науки, когда лозунг «половина денег – из бюджета, половину заработайте сами» стал определяющим для жизни институтов, занятых даже самыми фундаментальными научными проблемами. Непрерывный рост цен на энергоносители заставляет нас постоянно искать пути экономии ресурсов и внедрения новых технологий. Почти 10 лет длится эпопея строительства газопровода длиной 25 км от станции Зеленчукской до нашего академгородка (руководитель работ – заместитель директора А.В.Захаров). С его вводом в строй в 2007 году САО сможет значительно сократить расходы на теплоснабжение поселка и даже начать собственное производство электроэнергии после включения когенерационной установки на базе котельной.

Несколько лет длится сотрудничество САО с Институтом высоких температур РАН в области развития энергосберегающих технологий и создания возобновляемых источников энергии. С нашей стороны эти исследования возглавляют А.Ч.Узденов, В.В.Власюк и П.И.Туполов. При поддержке Министерства образования и науки РФ нам удалось установить серию солнечных водонагревательных установок на телескопах БТА и РАТАН, отвести тепло от маслостанции БТА для обогрева помещений мастерских, приступить к модернизации котельной. На очереди – установка ветровых генераторов в районе БТА и солнечных батарей для выработки электроэнергии. Доля вырабатываемой альтернативной энергии в нашем общем энергетическом бюджете (5 млн. квт-ч/год) пока что невелика, однако САО может послужить полигоном на Юге России по внедрению новых технологий ее сбережения и производства.

Много и по разным поводам говорилось о том, что создание поселка астрономов САО в удаленном месте – стратегическая ошибка академии. Действительно, отсутствие общения ученых с коллегами из институтов и университетов больших городов, проблемы содержания оторванного от большого мира населенного пункта сделали жизнь коллектива САО весьма непростой. Никто не знает все трудности такой жизни лучше самих сотрудников обсерватории. Однако, с другой стороны, присутствие большого коллектива рядом с инструментами сыграло, на наш взгляд, важнейшую роль при формировании обсерватории, а в дальнейшем для ее сохранения и развития. Нетрудно представить, какой была бы судьба БТА и РАТАН-600 в кризисные 90-е годы, если бы рядом не жили и не трудились сотни научных работников, инженеров, техников и рабочих САО. Да и кто знает, не окажется ли лет через 5-10 жизнь в таких полностью обеспеченных поселках посреди дикой природы более престижной, чем в перенаселенных мегаполисах?

Удаленность коллектива от других научных центров стимулировала развитие поиска в области телекоммуникаций, цифровых сетей и Интернета. Обсерватория одной из первых в стране обеспечила себе выход в мировые сети через спутниковые каналы, организовала внутреннюю сеть, проложила волоконные линии связи на десятки километров для подключения телескопов. Без этих работ, которые с большой самоотдачей вел в течение многих лет коллектив Отдела информатики САО, возглавляемый канд. физ.-мат. наук В.В.Витковским, существование обсерватории было бы невозможным. В ближайшие год-два процедуры наблюдений на телескопах будут полностью автоматизиро-

ваны, а сами наблюдения будут проводиться дистанционно из обычных кабинетов и лабораторий. Еще одной важнейшей задачей подразделения является создание современной базы данных наблюдений, которая обеспечит надежное хранение и свободный доступ к материалам всем заинтересованным специалистам.

Последние 10 лет сотрудниками САО ежегодно публикуется около 80 статей в реферируемых журналах и делается примерно 80 докладов на конференциях разного уровня. В первые десятилетия работ было меньше. Если это учесть, то получится, что за весь период существования САО нами опубликовано около 2000 статей и сделано примерно 1000 докладов. Ежегодно работы сотрудников САО включаются в перечень важнейших достижений Российской академии наук. Часть работ сотрудников печатается в обсерваторском журнале, который издается с 1970 года. Несмотря на трудности издания, журнал продолжает существовать, а со следующего года под названием “Astrophysical Bulletin” он будет переводиться и распространяться за рубежом издательством “Springer-Pleiades”. В журнал будут включаться, наряду с регулярными научными статьями, свежие материалы наблюдений на телескопах, описания инструментов и методики наблюдений, обзоры по разным направлениям астрофизических исследований.

В короткой вводной статье невозможно перечислить все результаты, полученные нашими астрономами на телескопах за прошедшие десятилетия. Приведу только то, что, по мнению самих сотрудников САО, признается наиболее важным – в последовательности от самых далеких объектов Вселенной до Солнца.

Радиоастрономия САО была первой (1968), приступившей к исследованию анизотропии ЗК-фона на миллиградусном уровне, предсказанном теорией тех лет. Теория оказалась неверной, и это привело к полному пересмотру взглядов на формирование галактик и к поиску вариантов, не противоречащих наблюдательным данным САО (скалярная, векторная, тензорная природа первичных возмущений; нейтринная Вселенная и др.). Только к 1990 г. удалось найти вариант теории, не противоречащий наблюдениям на РАТАН-600 – инфляционная модель, являющаяся основной сегодня и получившая подтверждение в космических экспериментах уже в XXI веке.

Под руководством академика Ю.Н.Парийского САО ведет крупный проект «Генетический Код Вселенной», целью которого является накопление данных с пиксельной чувствительностью выше достигнутой в эксперименте WMAP и планируемой в PLANCK Surveyor Mission (2008). Пространственное разрешение на РАТАН-600 в ограниченной области неба на порядок выше, чем в эксперименте PLANCK.

Программа «Северный Конус» выполнялась на БТА в 80-е годы под эгидой академика Я.Б.Зельдовича с поставленной В.Ф.Шварцманом задачей: проверить, Евклидова ли топология нашей Вселенной? А.И.Копыловым впервые была построена пространственная корреляционная функция по самой большой в то время, а также статистически полной благодаря целенаправленным наблюдениям на БТА, выборке скоплений галактик с измеренными красными смещениями (158 объектов в объеме радиусом 340 Мпк, при $H_0=70$ км/с/Мпк, из которых 40% наблюдались на БТА). Работа привела к обна-

ружению неоднородностей на масштабах более 70 Мпк: выделенного масштаба скучивания богатых скоплений галактик (180 Мпк) и незаполненного скоплениями гигантского объема («пустоты» или «войда») размером около 300 Мпк. Указаний на «нетривиальную» топологию Вселенной найдено не было. В результате выполнения данной программы впервые было показано, что теоретические представления об исчезающе малых неоднородностях на больших масштабах должны быть пересмотрены и нуждаются в тщательной наблюдательной проверке. В дальнейшем многими исследователями было подтверждено наличие заметных неоднородностей на масштабах сверхскоплений (150-180 Мпк). В настоящее время эти неоднородности связывают с акустическими (Сахаровскими) осцилляциями в Ранней Вселенной.

В 90-е гг. исследование гигантской «пустоты», обнаруженной в ходе программы «Северный Конус», было продолжено А.И.Копыловым, теперь с целью определения характера движения скоплений в ее окрестности. В результате измерения фотометрических расстояний 17 скоплений и их красных смещений был сделан вывод о незначительной средней скорости «истечения» из войда наружу, что указывает на низкую, по сравнению с критической, среднюю плотность материи во Вселенной и, возможно, на то, что механизм образования столь больших неоднородностей в распределении скоплений галактик не является чисто гравитационным.

Большое значение для исследований на БТА всегда имело сотрудничество с Бюраканской астрофизической обсерваторией в Армении. Большинство наших сотрудников, работающих в области внегалактической астрономии – В.Л.Афанасьев, А.И.Шаповалова, И.Д.Караченцев, В.Е.Караченцева, А.И.Буренков, И.П.Костюк и другие, прошли в свое время астрофизическую школу Бюракана, результатом чего в дальнейшем стали многие совместные программы на большом телескопе. Одной из первых таких программ на БТА стал спектральный обзор более 1000 галактик с УФ-избытком из списков Маркаряна. Результатом обзора стало увеличение в десятки раз числа известных сейфертовских галактик. Структура и кинематика ряда квазаров и галактик с уникальными свойствами ядер была подробно исследована на БТА с помощью прямых снимков и спектроскопии низкого разрешения (В.А.Липовецкий, В.Л.Афанасьев, Д.А.Степанян, А.И.Шаповалова, А.Ю.Князев). Этим же коллективом в сотрудничестве с Бюраканской обсерваторией по результатам спектроскопии на БТА и других телескопах создан каталог ярких галактик с УФ-избытком, покрывающий всю Северную полусферу до 15.5 зв. величины. Этот каталог (FBS) широко используется астрофизиками всего мира при изучении ядер активных галактик и галактик с активным звездообразованием и считается классикой внегалактической астрофизики второй половины XX столетия.

В середине 80-х В.А.Липовецким на БТА с применением щелевой спектроскопии были начаты поиски галактик с активным звездообразованием. В результате многолетних наблюдений было найдено более двух тысяч таких галактик, что составляет большинство известных объектов этого типа в ближней Вселенной. Изучение металличности газа в НII-областях этих галактик показывает, что она в среднем в 3-10 раз ниже металличности Солнца, характерной для массивных спиральных галактик. Оказалось, что объекты с очень низкой метал-

личностью (1/30 - 1/10 от солнечной) составляют среди голубых компактных галактик лишь около 2 %.

Дальнейший целенаправленный поиск на протяжении 15 лет редких галактик с очень низкой металличностью межзвездной среды привел к открытию в САО более 20-ти таких необычных объектов – аналогов молодых галактик в ранней Вселенной.

Эти галактики использовались как наилучшие зонды важного космологического параметра – содержания первичного гелия, для проверки моделей эволюции массивных звезд при очень низком содержании металлов, для выяснения причин вспышек звездообразования в них. В ходе этой работы нашими астрономами С.А.Пустильником, А.Ю.Князевым, В.А.Липовецким, А.Г.Прамским показана большая роль взаимодействий с другими галактиками для процессов звездообразования.

В.Л.Афанасьевым в ходе многолетних наблюдений на БТА (1978-1985гг.) были изучены кривые вращения и распределения яркости выборки (более 65 объектов) нормальных и активных галактик. Показано, что активные галактики отличаются от нормальных положением на диаграмме «скорость вращения – степень концентрации яркости», что обусловлено особенностями механизма накачки газа на активную околоядерную область. Впервые обращено внимание на важность изучения галактик с локальным максимумом вблизи центра на кривой вращения, свидетельствующим о наличии гидродинамических неустойчивостей в околоядерном диске.

В.Л.Афанасьевым, С.Н.Додоновым и А.В.Моисеевым в сотрудничестве с астрономами Института астрономии РАН (Фридман А.М.) и Государственного астрономического института МГУ (Засов А.В. и Сильченко О.К.) в 1985-2001 гг. проведена обширная наблюдательная программа изучения поля скоростей газа в дисках галактик и динамики их звездного населения в околоядерных областях методами двухмерной спектроскопии. В результате были открыты новые гигантские вихревые структуры в дисках в области радиуса коротации, предсказанные теоретически Фридманом А.М. с соавторами, химически и кинематически выделенные звездные диски в околоядерных областях, некруговые движения в околоядерных областях, свидетельствующие о процессах натекания газа на центральную массивную область галактик. За эти работы в коллективе авторов Афанасьеву В.Л. и Додонову С.Н. присуждена Государственная премия РФ в области науки и техники за 2003 г.

В период с 1976 по 1985 год И.Д.Караченцевым на телескопе БТА измерены красные смещения, впервые определены массы и угловые моменты вращения у более 1000 двойных галактик, выявлен характер их орбитальных движений и найдены свидетельства активного звездообразования под влиянием приливного взаимодействия. Наблюдательный материал накапливался на фотопластинках, начиная с самых первых ночей работы телескопа. Результаты опубликованы в монографии И.Д.Караченцева «Двойные галактики» (1987 г.). Им же совместно с В.Е. Караченцевой проведен поиск новых близких карликовых галактик на материале снимков Паломарского и Таутенбургского широкоугольных телескопов, в результате которого было обнаружено около 500 новых галактик экстремально низкой поверхностной яркости. В 90-е годы И.Д.Кара-

ченцевым и его коллективом на БТА и Космическом телескопе Хаббла были впервые измерены расстояния до 400 самых близких галактик. Обнаружено явление анизотропного расширения Местного объема. Установлено, что Хаббловский поток в окрестностях Местной группы является исключительно холодным с характерной тепловой скоростью менее 30 км/с. Этот факт стал первым наблюдательным свидетельством существования в близкой Вселенной особой среды – «темной энергии» или космического вакуума, плотность которой преобладает над другими формами материи, начиная с окраин Местной группы.

В.Г. Клочковой и В.Е. Панчуком проводилось обширное исследование звезд в группировках разного возраста для изучения особенностей химического состава диска Галактики. Итогом исследований является вывод о химической однородности диска и об отсутствии возрастных изменений содержания железа, элементов альфа-процесса и тяжелых ядер в галактическом диске в течение последних 4 млрд. лет, что свидетельствует о низкой эффективности процессов обогащения вещества диска элементами группы железа и ядрами, синтезируемыми в альфа- и s-процессах.

С 1994 г. В.Г.Клочковой выполняется спектроскопия кандидатов в протопланетарные туманности (PPN) и родственных объектов с целью исследования ядерного содержания химических элементов в недрах звезд малых и средних масс, а также анализ поля скоростей в атмосферах этих звезд с протяженными и истекающими атмосферами. На основании изученной на БТА выборки кандидатов в PPN и опубликованных данных можно говорить о неоднородности их химического состава. Избыток элементов s-процесса, как следствие предшествующей эволюции звезды, к настоящему времени обнаружен для 7-ми объектов по наблюдениям на БТА и примерно для такого же числа звезд в наблюдениях на других инструментах. Сделан вывод о взаимосвязи эмиссии вблизи 21 мкм в ИК-спектре звезд на стадии PPN и избытком тяжелых металлов в их атмосферах. Этот результат – один из наиболее цитируемых в картине проявлений звездного нуклеосинтеза на стадиях AGB и post-AGB.

В ходе выполнения программы стала очевидной проблема «спектроскопической мимикрии» звезд. Из-за неопределенности в оценках расстояний для галактических объектов по спектру за гипергигант может быть принята звезда более низкой светимости с мощным ветром. Наиболее известным примером двоякого определения стадии эволюции является случай пекулярного объекта IRC+10420. Наблюдения на БТА показывают, что с большой вероятностью IRC+10420 – это очень массивная звезда (до 40 масс Солнца), предшественник звезды Вольфа-Райе. Необходимо подчеркнуть, что эти программы служили стимулом для развития и совершенствования спектрального комплекса БТА, систем обработки двумерных и одномерных спектральных данных и методов их анализа. Результаты, полученные по научным программам и в ходе модернизации спектральной аппаратуры, послужили основой для 4-х докторских и нескольких кандидатских диссертаций.

Другая важнейшая научная программа, выполняемая на БТА по звездной тематике, – исследования звездного магнетизма. Под руководством Ю.В.Глаголевского в САО был разработан и изготовлен комплекс аппаратуры для измерения магнитных полей, включающий классические анализаторы кру-

говой поляризации для фотографических наблюдений и фотоэлектрические приборы с электрооптическими кристаллами. В составе комплекса – магнитометр с интерферометром Фабри-Перо и водородный магнитометр-спектрополяриметр, а также анализаторы с поворачивающейся фазовой пластинкой и резателями изображения – для наблюдений с ПЗС-матрицами. Была осуществлена калибровка и стандартизация аппаратуры, показавшая, что система магнитных измерений в САО соответствует международной. На 6-м телескопе при помощи указанных приборов сделано более 10 тысяч магнитных измерений, что составляет примерно 1/3 всей мировой коллекции. Отбор кандидатов для наблюдений магнетизма осуществляется по наличию депрессии в континууме. В результате выполненных на БГА наблюдений обнаружено около 100 новых магнитных звезд. У звезды HD 37776 И.И.Романюком обнаружено зеемановское расщепление линий величиной 1.5 А, указывающее на магнитное поле на поверхности этого объекта величиной около 70 кГс – рекордное значение для звезд Главной последовательности.

Ю.В. Глаголевский, анализируя все доступные наблюдательные данные, показал, что среднеквадратическая величина магнитного поля химически пекулярных звезд уменьшается с возрастом обратно пропорционально кубу радиуса, точно так, как это имеет место для дипольного поля. Таким образом, было показано, что наблюдаемое уменьшение величины поля с возрастом связано, в основном, с эволюционным увеличением радиуса во время жизни звезды на Главной последовательности.

В 80-е годы И.М.Копыловым, Ю.В.Глаголевским и В.Г.Ключковой были выполнены спектральные наблюдения химически пекулярных (СР) звезд в составе галактических группировок для выявления вероятной зависимости от возраста степени пекулярности их спектров, скоростей вращения и величины поверхностных магнитных полей. Для изучения эволюционных эффектов, с применением всех доступных критериев принадлежности звезд к группам, были отобраны 120 пекулярных звезд Главной последовательности в составе 10 галактических группировок в диапазоне возрастов от нескольких миллионов лет до 0.5 млрд. лет. Статистическая обработка массивов данных наблюдений привела к выводу о независимости степени пекулярности, величины магнитного поля от возраста звезды, об отсутствии потерь углового момента на этапе эволюции в пределах ГП. Был сделан важный вывод о генерации магнитного поля СР-звезд до их выхода на ГП, что свидетельствует в пользу гипотезы реликтового магнитного поля. Кроме того, выявлена тенденция систематического роста величины поля с увеличением массы звезды.

С.Н.Фабрика и Г.Г.Валявин открыли магнитные поля на нормальных белых карликах и обнаружили эффект эволюции магнитных полей белых карликов. Ими также впервые было сообщено об открытии магнитного поля у звезды – красного карлика типа Т Тельца.

Огромное количество материала было получено на БГА в области исследований двойных звезд и рентгеновских источников. В ряду интереснейших результатов: открытие двойственности и измерение орбитального периода рентгеновского Ве-транзиента A0535+26 (О.Э.Ааб, И.М.Копылов); спектральное измерение массы черной дыры в системе Лебедь X-1 (О.Э. Ааб, И.М. Копылов);

спектральное измерение функции масс SS433 и параметров релятивистских струй: угла раствора, темпа потери массы, физических условий в газе, определение структуры и профиля скорости ветра сверхкритического диска, измерение размера канала в диске, физических условий в газе (С.Н.Фабрика, Л.В.Бычкова, Н.В.Борисов, А.А.Панферов, П.Аболмасов и др.); выяснение природы красных пекулярных новых звезд, обнаружение двойственности этих звезд, спектральное измерение орбитального периода быстрого рентгеновского транзиента CI Cam (Е.А.Барсукова, В.П.Горанский); открытие эффектов струйной активности в ультраярких рентгеновских источниках (С.Н.Фабрика, О.Н.Шолухова).

С возникновением интереса к природе гамма-всплесков астрономы САО присоединились к всемирной программе их наблюдений. В.В.Соколов впервые получил самую подробную кривую блеска в 4-х фотометрических полосах оптического источника, соответствующего гамма-всплеску 8 мая 1997 г. (ВерроSAX GRB 970508).

Изменения цветов объекта прослежены до 200-го дня, и затем была исследована родительская галактика – объект ~ 25 зв. величины – и другие галактики в поле всплеска. GRB 970508 был в то время только вторым из отождествленных в оптическом диапазоне. В дальнейшем с помощью БТА на месте оптических транзиентов GRB 970508 и GRB 980703 обнаружены слабые (родительские) галактики. Самая слабая родительская галактика для GRB 980519 ($R \sim 26.5$) была также найдена при наблюдениях на нашем телескопе. По полученным распределениям энергии в спектрах родительских галактик был сделан фундаментальный для понимания природы GRB вывод: эти галактики не отличаются от нормальных галактик «поля» с такими же величинами и красными смещениями. Полученные спектры оптического источника, связанного с GRB 030329, позволили установить, что в первые часы они представляют собой смесь спектров послесвечения GRB и раннего УФ-спектра «массивной» сверхновой звезды типа Ib/c.

По материалам спекл-интерферометрических наблюдений на БТА Ю.Ю.Балега и германские астрономы Г.Вайгельт и М.Шольц впервые измерили в разных фильтрах угловые диаметры некоторых ближайших мирид – α Cen, R Leo, R Cas, установили зависимости видимых диаметров от длины волны, провели сопоставление наблюдаемых размеров их атмосфер с теоретическими моделями. Как метод спекл-интерферометрии начала развиваться на БТА во второй половине 70-х годов, однако ее применение в наблюдениях долгое время сдерживалось низким качеством астрономических детекторов и отсутствием мощных компьютеров для обработки изображений. Метод позволял достигать в наблюдениях звезд и протяженных объектов дифракционного предела разрешающей способности телескопа – 0.02 угловой секунды в видимом диапазоне спектра. Решающее значение для успешного применения новой техники на БТА сыграло сотрудничество с французскими (А.Лабейри, Р.Фуа) и немецкими (Г.Вайгельт) астрономами.

Спекл-интерферометрия в видимом диапазоне спектра позволила определить параметры орбит для 40 двойных и кратных систем, находящихся на небольших расстояниях от Солнца. На этой основе, с привлечением дополнитель-

ных данных о лучевых скоростях звезд и параллаксах со спутника Гиппарх, удалось найти точные (ошибки от 2 до 10%) массы и светимости маломассивных компонент систем. В результате существенно уточнена эмпирическая зависимость «масса-светимость» для карликов спектральных классов от ранних G до поздних M (И.И.Балега, Ю.Ю.Балега, Е.А.Плужник, Е.В.Малоголовец). Среди маломассивных объектов программы – системы с компонентами – коричневыми карликами. Динамические массы коричневых карликов в системе GJ 569B впервые были определены на БТА (Ю.Ю.Балега, К.Кенворти).

Важнейшие данные были получены на телескопе с помощью этого метода по строению молодых массивных звезд в Трапедии Ориона. Было обнаружено, что все компоненты Трапедии являются кратными звездными системами, а для трех из них оценены орбитальные параметры, позволяющие непосредственно определить массы компонентов (Ю.Ю.Балега, Т.Прайбиш).

Большое количество материала было получено на телескопе совместно с Боннским институтом радиоастрономии по программе инфракрасной интерферометрии звезд с протяженными оболочками, среди которых как очень молодые объекты в стадии формирования звезды, так и звезды на последних стадиях эволюции. Среди них – протозвездный объект S140 IRS и очень старые объекты с большой потерей вещества IRC 10216 и Красный Прямоугольник. Для этих, как и для других объектов этих типов, построены согласующиеся с наблюдениями модели их протяженных оболочек (Ю.Ю.Балега, Г.Вайгельт, А.Меньшиков и др.).

В обсерватории создан аппаратно-методический комплекс МАНИЯ для поиска и исследования переменности излучения астрономических объектов с наносекундным временным разрешением (В.Ф.Шварцман, Г.М.Бескин, В.А.Плохотниченко, В.Г.Дебур). Для регистрации отдельных фотонов используется панорамный детектор с микроканальным усилением и многоэлементным коллектором, который является основой нескольких видов приборов – панорамного фотометра, многополосного фотометра-поляриметра и спектрополяриметра. Моменты прихода квантов определяются с помощью преобразователя «время-код» «Квантохрон» с точностью 20 нс и в сопровождении информации о координатах, частоте, поляризации накапливаются на жестком диске компьютера. Комплекс МАНИЯ позволяет изучать нестационарные процессы в астрономических объектах на временах 10^{-6} - 100 секунд, одновременно определяя их спектральные и поляризационные характеристики. Поиск сверхбыстрой переменности у 40 объектов – кандидатов в одиночные черные дыры, DC-карликов и радиообъектов с непрерывными оптическими спектрами, дал отрицательный результат – исследовавшиеся объекты не являются черными дырами. Впервые получена верхняя оценка их плотности в окрестности Солнца – $5 \cdot 10^{-4}$ от числа обычных звезд. Эта величина на порядок ниже кинематических ограничений для барионной скрытой массы. Впервые обнаружены оптические вспышки длительностью 0.1 - 10 мс в трех тесных рентгеновских двойных системах A0620-00 (Nov Mon 1975), MXB1735-33 и GRO J0422+32 (Nov Per 1992). Яркостные температуры в зонах генерации этих событий превышают 10^{12} К, что однозначно свидетельствует об их нетепловой природе. Таким образом, Г.М.Бескиным и др. были обнаружены (хоть и весьма редкие) отклонения от

стандартной газодинамической модели аккреции в рентгеновских двойных системах.

Кроме того, с помощью фотометрического комплекса МАНИЯ были открыты два (из пяти известных) слабейших оптических пульсара, GEMINGA (26^m) и PSR 0656+14 (25^m). Сходство структуры их оптических импульсов с кривыми блеска в гамма-диапазоне является сильным аргументом в пользу единой нетепловой природы оптического и гамма-излучения этих объектов.

На радиотелескопе РАТАН-600 пространственное строение излучения межзвездного нейтрального водорода на волне 21 см исследовалось И.В.Госачинским, Г.Н.Ильиным и В.А.Прозоровым на десяти склонениях в северной и южной полярных шапках Галактики.

В области $11^h < \alpha < 13^h$, $27^\circ < \delta < 39^\circ$ содержание газа на луче зрения оказалось ниже уровня чувствительности обзора, из чего был сделан вывод, что в этой области галактический газ очень прозрачен. Спектры мощности угловых флуктуаций в исследованной области в диапазоне угловых периодов от $10'$ до $6''$ выглядят степенными, однако показатели спектра сильно меняются по небу. И.В.Госачинский и В.В.Морозова в ходе обзора определили диаметры, массы и дисперсии скоростей внутренних движений 7600 облаков нейтрального водорода. Ими было обнаружено, что в среднем линейные диаметры облаков вдоль плоскости Галактики в 2.5 раза больше, чем поперек, и подтверждено наличие зависимости между концентрацией HI в облаках и их диаметрами. Удалось также показать, что важная зависимость дисперсии скоростей внутренних движений газа в облаках от их диаметров, обнаруженная у популяции молекулярных облаков, в случае облаков нейтрального водорода отсутствует, что, вероятно, свидетельствует о незначительной роли внутренней турбулентности в облаках нейтрального газа.

Вокруг 17-ти из 32-х исследованных областей НИ И.В.Госачинским и В.К.Херсонским были обнаружены клочковатые оболочки HI с радиальными движениями. На основании данных наблюдений была разработана модель образования оболочки HI в результате действия суммарного звездного ветра звезд, возбуждающих область НИ. Модель позволила рассчитать с учетом данных по радиоконтинууму и ИК-излучению спектры масс возбуждающих звезд. Оказалось, что спектры очень крутые, что свидетельствует о значительном избытке звезд классов V0-V3 по сравнению с более массивными звездами. Если указанная модель справедлива, то это могло бы быть следствием того, что звезды малых масс рождаются на несколько миллионов лет раньше звезд O, или того, что в гигантских газо-пылевых комплексах, к которым принадлежат эти объекты, нет условий для образования массивных звезд.

В двухчастотном Галактическом обзоре, используя данные обзора NVSS, С.А.Трушкин нашел около 20-ти новых, ранее неизвестных оболочечных остатков сверхновых. В 90-е гг. им был создан общедоступный электронный атлас 1500 изображений всех 235 остатков сверхновых в разных диапазонах, включающий и 350 измерений на РАТАН-600 плотности потоков в диапазоне от 1.4 до 31 см. С 1980 года С.А.Трушкиным проведено несколько длительных мониторинговых программ измерений переменности радиоизлучения выборки микрокварзаров. Снято более 1200 радиоспектров объекта SS433, по 200-500

спектров микрокварзаров Cyg X-3, GRS1915+105, LSI6+61d303, V4641 Sgr, CygX-1 и др. На основе этого материала по кривым блеска и радиоспектрам определены, часто впервые, параметры вспышечной переменности микрокварзаров, обнаружена корреляция рентгеновского и радиоизлучения. РАТАН-600 занимает место одного из ведущих мировых инструментов в многочастотных исследованиях микрокварзаров и включен во многие международные кооперации, например с коллективами из Японии (TokyoTech), США (NRAO), Франции (MINE-group) и Голландии (Pannekoek Ins.).

В начале 90-х годов в САО была создана первая в России общедоступная база данных радиоастрономических каталогов CATS. По объему включенных радиоданных, числу каталогов, предоставленным поисковым и иным процедурам база CATS до сих пор не имеет равных среди астрономических баз данных.

Все результаты наблюдений на РАТАН-600 в радиоконтинууме получены на комплексе криорадиометров, разработанных в лаборатории Н.А. Нижельского вместе с СПб-филиалом САО (А.Б. Берлин и др.). Создание такой высокочувствительной аппаратуры относится к одному из основных достижений радиоастрономического сектора САО. Начиная с самого первого радиометра на волну 7.6 см и до нового радиометра MAPC на 30 ГГц, радиометрический комплекс РАТАН-600 всегда имел параметры на уровне лучших мировых образцов.

А.В.Ипатовым и Н.М.Липовкой была обнаружена сферическая составляющая радиоизлучения Галактики на широтах $b > \pm 4^\circ$, тянущаяся вдоль галактического экватора. Анализ всех наблюдательных данных показал, что существует дефицит излучения сферической составляющей вдоль Галактического экватора в широком диапазоне волн от 1 мкм до 100 м. Авторы этих работ предложили и просчитали модель радиоизлучения короны Галактики в рамках механизма синхротронного радиоизлучения релятивистских электронов в магнитном поле.

Спектрально-поляризационные наблюдения Солнца проводятся на радиотелескопе в широком диапазоне радиоволн – от 30 ГГц до 1 ГГц. На их основе сделан глубокий и всесторонний анализ свойств активной солнечной плазмы в интервале высот солнечной атмосферы от уровня фотосферы до нескольких сот тысяч км. Нашими специалистами реализована рекордная в солнечных наблюдениях чувствительность – 0.001 с.е.п. Благодаря этому В.М.Богод и Д.В.Корольков обнаружили и подробно изучили такие малоcontrastные явления на Солнце, как радиогрануляция на сантиметровых волнах и микровсплески в дециметровом диапазоне. И.М.Богод, А.С.Гребинский и Г.Б.Гельфрейх (ГАО РАН) развили методы измерения корональных магнитных полей в активных областях. Создан метод эмиссионной корональной радиотомографии, с помощью которого было показано, что основная масса вещества сосредоточена в сверхплотных петлях, занимающих менее 10% всего коронального объема. Впоследствии этот вывод был подтвержден данными спутника SOHO.

Высокая чувствительность радионаблюдений в дециметровых волнах позволила обнаружить на Солнце импульсные источники нового типа, свиде-

тельствующие о длительном выделении нетепловой энергии в активных областях. Была также установлена связь дециметровых микровсплесков с метровым излучением шумовых бурь и предвспышечной и послевспышечной активностью на малых уровнях излучения. В.М.Богодом, С.Х.Тохчуковой и Т.И.Кальтман был выделен класс вспышечно-продуктивных активных областей на поверхности нашего светила, которые характеризуются резкими инверсиями круговой поляризации по частоте и по времени на интервале от нескольких часов до трех суток перед генерацией мощных вспышек. Это указывает на существование длительной подготовительной фазы в предвспышечном излучении Солнца.

Благодаря высокой чувствительности и высокому угловому разрешению РАТАН-600 получены новые результаты в исследованиях планет и спутников Солнечной системы. Было исследовано радиоизлучение всех Галилеевских спутников Юпитера, а для самого малого по размерам (Европы) и самого близкого к Юпитеру (Ио) впервые было зарегистрировано радиоизлучение. По этим исследованиям были выявлены особые свойства спутника Ио, что подтверждено прямыми наблюдениями через 10 лет. Впервые обнаружено проникновение Солнечного ветра до орбиты Юпитера по деформации дециметровых поясов радиации, в исследованиях Юпитера с угловым разрешением 6" на длине волны 1 см выявлены высокоэнергичные электроны в поясах радиации. Впервые обнаружена Френелевская поляризация Луны в сантиметровом диапазоне, и это дало возможность оценить свойства ее поверхности. Предложен новый дифференциальный метод исследования тепловых и электрических свойств поверхности на глубинах до 10 метров. Впервые в сантиметровом диапазоне с помощью нового матричного радиометра (волна 1см) обнаружена мелкомасштабная рябь (<радиогрануляция>), изменяющаяся с фазой Луны.

Особое значение для успешной работы радиотелескопа имеют внедренные нашими сотрудниками (Н.С.Соболева, Ю.К.Зверев и др.) технологии и приборы для его геодезической юстировки, формирования отражающей поверхности вторичных зеркал, определения ошибок в положении основных осей щитов.

Настоящий сборник содержит подготовленные сотрудниками обсерватории воспоминания о годах работы, оценки сегодняшнего положения дел в САО, просто краткие заметки об отдельных наших коллегах или эпизодах из жизни САО. Он не претендует на полное изложение истории или детальный анализ нынешнего состояния обсерватории. Тем не менее, из отдельных лоскутков воспоминаний понемногу складывается картина жизни крупнейшей обсерватории страны. Никто не готовил заранее планы подачи того или иного материала, никого не приходилось уговаривать высказаться по конкретному вопросу. Всем, кто нашел возможность описать несколько страниц из истории САО, мы выражаем свою искреннюю благодарность. Фотографии из жизни САО взяты из коллекций Ю.В.Сухарева и В.П.Романенко, часть снимков любезно предоставлена из личных архивов другими нашими коллегами. В нашей книге об истории создания БТА отдельная статья написана профессором МГУ Ю.Н.Ефремовым, которая, хоть и не полностью, освещает первые годы существования обсерватории.

Материалы юбилейного сборника разделены на три группы и изложены в следующей последовательности:

- 1) научные статьи, которые подытоживают исследования в отдельных направлениях;
- 2) воспоминания об ушедших из жизни сотрудниках, сыгравших ключевую роль в истории САО;
- 3) воспоминания очевидцев отдельных событий.

Мы надеемся, что книга будет полезна всем, кто интересуется историей и нынешним состоянием отечественной астрономии, а также для самих сотрудников САО РАН.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В САО РАН

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ СПЕКТРОСКОПИИ СЛАБЫХ ОБЪЕКТОВ НА 6-М ТЕЛЕСКОПЕ

В. Л. Афанасьев

В первоначальном проекте БТА, принятом к исполнению промышленностью, были предусмотрены лишь проекты спектрографов, отражавшие уровень спектроскопии 60-х годов прошлого века и ориентированные на непосредственную регистрацию на фотографических эмульсиях. В то же время астрономы понимали, что основным направлением исследований на создаваемом крупнейшем в мире телескопе будет спектроскопия слабых звезд и галактик. Это требовало создания светосильных спектрографов с использованием усилителей яркости изображения. Для этой цели в обсерватории еще в конце 60-х годов было создано одно из первых подразделений – Лаборатория астросветоприемников (ЛАСП) под руководством канд. техн. наук Рылова Валерия Степановича. Основной задачей лаборатории было курирование работ по созданию штатных светосильных спектрографов БТА в Ленинграде – в Государственном оптическом институте (ГОИ) и в Ленинградском оптико-механическом объединении (ЛОМО) и усилителей яркости в Москве во Всесоюзном научно-исследовательском институте оптико-физических измерений (ВНИИОФИ).

Следует отметить, что к концу 60-х годов прошлого века советские астрономы имели определенный опыт спектроскопии слабых объектов, под которыми мы в дальнейшем будем понимать объекты, имеющие яркость, сравнимую с яркостью ночного неба. В то время астрономам были доступны только два прибора, пригодные для наблюдений, – экспериментальный однокаскадный усилитель яркости ФКТ с контактной регистрацией на фотопленке производства Московского электролампового завода и трехкаскадный усилитель яркости УМ-92 с оптическим переносом изображения на фотопленку, производимый нашей промышленностью по заказу Минобороны. В силу того, что штатные спектрографы доступных тогда телескопов не были пригодны для наблюдений слабых объектов, усилиями астрономов были созданы светосильные спектрографы с использованием коммерческой оптики и упомянутых усилителей яркости. На подобных приборах с начала 70-х годов успешно проводились исследования спектров слабых активных галактик: на 125-см рефлекторе Южной станции ГАИШ – спектрограф с ФКТ (Есипов), на 2.6-м телескопе КраО – спектрограф с УМ-92 (Чуваев) и на 70-см на Каменском плато (Алма-Ата) – спектро-

граф с УМ-92 (Денисюк). Сейчас ясно, что кооперация астрономов и инженеров САО с создателями этих приборов могла значительно ускорить работы по оснащению БТА светосильными спектрографами и усилителями яркости. Однако, несмотря на предпринятые первым директором САО – Иваном Михеевичем Копыловым – усилия по созданию такой кооперации, о чем свидетельствует переписка 1971-1973 гг. (Архив САО) такое взаимодействие не удалось организовать по целому ряду причин. Их анализ вряд ли имеет смысл сейчас, важен результат – обсерватория в начале работ по оснащению БТА современным светоприемным оборудованием оказалась в одиночестве, астрономическое сообщество страны в этих работах не участвовало.

Успех дальнейшей работы по созданию методов наблюдений слабых объектов для 6-м телескопа определился эффективной кадровой политикой, проводимой директором САО И.М.Копыловым в 1970-1976 гг. На работу в САО в этот период была принята плеяда молодых астрономов-наблюдателей и инженеров-разработчиков, подготовленных в ведущих вузах – из Москвы, Ленинграда, Киева и Казани. В начале 1973 г. был образован отдел научно-технических проблем БТА (ОНТП БТА), куда вошли лаборатории и группы, создающие новое светоприемное оборудование для БТА. И.М.Копылов, будучи известным и опытным спектроскопистом, хорошо понимал, что, несмотря на наличие в обсерватории такого специализированного подразделения, любой спектральный прибор должен создаваться при непосредственном участии и инициативе астрономов обсерватории и быть ориентирован на конкретные астрофизические проблемы. В научных отделах обсерватории (отдел физики и эволюции звезд и туманностей (ОФЭЗТ) и отдел внегалактических исследований и релятивистской астрофизики (ОВИРА)) были образованы технические группы для создания аппаратуры, направленной на решение научных задач этих подразделений. При таком подходе к разработке новой аппаратуры возникла атмосфера конкуренции и взаимной (между научными сотрудниками и инженерами) требовательности. Конечно, это иногда приводило к конфликтным ситуациям, однако, оглядываясь назад, как непосредственный участник этих событий могу свидетельствовать, что администрация обсерватории всегда принимала решения в пользу дела, а не в угоду амбициям отдельных сотрудников.

К середине 1973 г. в обсерваторию поступили первые экземпляры изготовленного во ВНИИОФИ однокаскадного электронно-оптического преобразователя (ЭОП) М9-ЩВ с контактной регистрацией на фотопленку, которые были испытаны в лабораторных условиях Рыловым В.С. и его сотрудниками. В конце года с этим прибором сотрудниками ОВИРА Афанасьевым В.Л. и Липовецким В.А. были проведены первые пробные наблюдения активных галактик на установленном к этому времени 60-см рефлекторе фирмы Karl-Zeiss, оснащенном универсальным спектрографом UAGS. В результате этих испытаний стало ясно, что однокаскадные ЭОПы более пригодны для детальных исследований относительно ярких объектов. Тем не менее, в 1974 г. Караченцев И.Д. провел с этим прибором успешные наблюдения пар галактик на 2-м телескопе обсерватории Таутенбург (ГДР).

Со светосильным спектрографом СП-160 первичного фокуса, который к концу 1973 г. был практически создан, сложилась достаточно драматичная си-

туация – имеющийся комплект камер не удовлетворял требованиям астрономов (малое поле зрения, короткий рабочий отрезок и отсутствие механизма фокусировки). Однако к концу 1975 г., после сложных обсуждений с ЛОМО по реконструкции уже почти изготовленного спектрографа, удалось модернизировать его узлы. В то же время большинству астрономов-наблюдателей обсерватории стала ясна перспективность использования для наблюдений на БТА универсального дифракционного спектрографа UAGS производства Karl-Zeiss. К концу 1974 г. обсерватория приобрела 2 камеры с внешним фокусом и большим линейным полем зрения, что позволяло применять на этом спектрографе усилители яркости различных типов. Одновременно с изготовлением светосильного спектрографа СП-160 на ЛОМО создавался светосильный эшелле-спектрограф СП-161 фокуса Нэсмита, ориентированный на исследование слабых звезд.

Когда стало ясно, что однокаскадные ЭОПы малоприспособны для массовой спектроскопии слабых галактик (а в 70-х годах основные усилия астрономов были направлены на определение красных смещений и классификацию различных выборок слабых галактик), наблюдатели САО обратились к возможности использования в своих задачах многокаскадных усилителей яркости. Наиболее подходящим оказался трехкаскадный ЭОП УМ-92, серийно выпускаемый отечественной промышленностью. Следует заметить, что основной проблемой использования таких ЭОПов на телескопе, кроме создания фокусирующей системы, являлось отсутствие промышленных источников питания необходимой стабильности, надежно работающих в “полевых” условиях на телескопе. К началу 1975 г. в ОВИРА Афанасьевым В.Л. был создан первый вариант оснастки УМ-92, рассчитанный на установку на камере с внешним фокусом спектрографа UAGS. С тех пор в течение нескольких лет она несколько раз модернизировалась и улучшалась. К концу 1976 г. был изготовлен окончательный комплект оснастки УМ-92 для использования на БТА. Успех этой работы в большой степени был обусловлен созданием руководителем технической группы ОВИРА Пимоновым А.А. источников питания ЭОП с чрезвычайно высокой стабильностью, не имеющих в то время аналогов в промышленности. В период 1975-1976 гг. ЭОП УМ-92 активно использовался для наблюдений галактик Маркаряна на 60-см телескопе САО. Усилиями астрономов была разработана методика наблюдений и экспрессной обработки данных.

Развитие методов наблюдений в САО происходило с учетом новаций, которые активно развивались на зарубежных телескопах. Имеется в виду в первую очередь непосредственная цифровая регистрация спектров и изображений слабых объектов. Еще в начале 1973 г., когда в обсерватории проходили бурные обсуждения путей развития техники регистрации спектров и изображений, для развития этого направления в составе ОНТП БТА была образована группа оптико-электронных многоканальных систем (ОЭМС) под руководством канд.техн.наук Фоменко А.Ф. Основной задачей группы было внедрение методов телевизионной регистрации изображений и спектров и их последующей оцифровки. К концу 1976 г. сотрудниками ОЭМС (Маркелов С.В., Небелицкий В. Б., Сомов Н.Н., Сомова Т.А. и др.) были проведены первые испытания макета 1000-канального телевизионного спектрофотометра со счетом фотонов на специально построенном для этих целей 60-см телескопе ТТ-600. В первом вариан-

те телевизионного спектрофотометра использовался трехкаскадный усилитель яркости УМ-92 в комбинации с телевизионной трубкой типа суперкремникон, а для регистрации и анализа спектров – мини-ЭВМ со специально разработанным контроллером. Параллельно в ЛАСП сотрудниками во главе с Рыловым В.С. была начата разработка системы цифровой регистрации спектров на основе 40-канальной диодной линейки, встроенной в ЭОП (диокон). Для целей быстрой спектроскопии в отделе физики звезд Алексеевым Г.Н. разрабатывалась цифровая система регистрации спектров на основе ЭОП с волоконными шайбами, состыкованными с диссектором изображения.

Таким образом, к началу программных наблюдений на 6-м телескопе, после его ввода в штатную эксплуатацию с 1 января 1977 г., астрономы САО имели в своем распоряжении по крайней мере три системы для спектральных наблюдений слабых объектов – спектрограф UAGS с трехкаскадным ЭОП и фотографической регистрацией, телевизионный спектрофотометр и спектрограф СП-160, оснащенный однокаскадным ЭОП. С первой системой в первые пять лет работы БТА были выполнены обширные наблюдательные программы – определение красных смещений и классификация галактик Маркаряна (Липовецкий В.А.), определение лучевых скоростей пар галактик (Караченцев И.Д.), исследование полей скоростей сейфертовских и взаимодействующих галактик (Афанасьев В.Л.). Спектрограф СП-160 с ЭОП М9-ЩВ использовался преимущественно для задач спектрофотометрии галактик Маркаряна (Буренков А.Н.) и наблюдений слабых переменных звезд (Войханская Н.Ф.). В первые годы наблюдений на БТА с указанной аппаратурой было открыто более 50 новых квазаров и 200 сейфертовских галактик. Безусловно, здесь нет возможности перечислить все наблюдательные программы, выполненные на БТА с ЭОП с фотографической регистрацией, мы упомянули лишь те, выполнение которых способствовало дальнейшему совершенствованию аппаратуры и было (с точки зрения публикаций) результативно.

Первые годы использования телевизионного спектрофотометра на БТА были не столь результативны, что, в первую очередь, было связано с новизной прибора, его сложностью и недостатками технических решений. Немаловажным фактором была также отстраненность опытных астрономов-наблюдателей от этих работ. Фактически, первые пять лет работы БТА шло непрерывное усовершенствование телевизионной техники и методики работы с ней на телескопе. И только к концу 80-х годов под руководством Копылова И.М. Драбеком С.Н. и Сомовым Н.Н. и другими на основе разработки, выполненной в ОЭМС, было завершено создание окончательного варианта телевизионного счетчика фотонов (сканера БТА) для регистрации слабых спектров. Сканер БТА по параметрам был аналогичен популярной тогда на зарубежных обсерваториях системе счета фотонов от изображения Боксенберга. Он был установлен стационарно на модернизированном спектрографе СП-124 фокуса Нэсмита и в нем в качестве усилителя яркости использовался четырехкаскадный ЭОП фирмы ЕМІ. В этом варианте прибора были выполнены исследования по спектральной переменности уникального объекта SS443 (Копылов И.М. с сотрудниками), спектроскопии карликовых голубых галактик с аномально низким содержанием металлов (Липовецкий В.А. и др.), спектроскопия AGN Второго бюраканского

обзора (Степанян Дж.А. и др.) и многие другие программы наблюдений. Следует отметить, что успех этой работы в большой степени был связан с созданием Балегой Ю.Ю. и другими сотрудниками цифрового спекл-интерферометра БТА, где была решена техническая задача двухмерного счета фотонов в телевизионной системе с использованием кадровой памяти. В последующие годы в задачах наблюдений спектров слабых объектов сканер БТА начал вытеснять ЭОПы с фотографической регистрацией.

Наряду с развитием телевизионной техники в начале 80-х годов в группе ОЭМС (Маркелов С.В. и др.) были начаты работы по исследованию первых отечественных ПЗС и разработке систем регистрации изображений на их основе.

Безусловно, история развития методов регистрации в первые годы работы БТА более разнообразна. Перечислены лишь ключевые моменты, повлиявшие, по моему мнению, на последующее развитие техники наблюдений слабых объектов. Не все разработки, сделанные в эти годы, выдерживали испытания реальными наблюдениями или соответствовали требованиям астрономов и довольно жестким требованиям эксплуатации на телескопе.

Несмотря на усилия САО по оснащению БТА светоприемным оборудованием, в первые годы работы телескопа не удалось достигнуть уровня большинства зарубежных крупных телескопов. Это, в первую очередь, сдерживалось недостатком финансирования (работы велись в рамках бюджета САО) и отсутствием разработок в отечественной промышленности, адекватных требованиям астрономов. Недостатком являлось также то, что многие приборы, созданные в этот период в обсерватории, изготавливались зачастую кустарным способом и имели невысокие эксплуатационные характеристики. В начале 80-х годов по предложению администрации обсерватории была разработана программа повышения эффективности комплекса БТА и РАТАН-600, которая была поддержана Президиумом АН и было принято решение о целевом финансировании этих работ. Эта программа предусматривала выполнение заказов на создание оборудования по техническим заданиям САО в электронной и оптико-механической промышленности. Для более эффективного взаимодействия с промышленностью было подготовлено и в 1982 г. выпущено Постановление Совета министров СССР, предусматривающее комплекс мер по обеспечению этой программы. Со стороны САО в “оптической” части этой программы большая работа по обеспечению взаимодействия с промышленностью была проведена Николаевым Е.И., Фоменко А.Ф., Маркеловым С.В. и другими сотрудниками обсерватории. В рамках этой программы, с учетом опыта разработки и эксплуатации на телескопе систем регистрации изображений, были подготовлены технические задания на разработку и изготовление телевизионно-вычислительного комплекса КВАНТ во Всесоюзном институте телевидения (Ленинград). В состав комплекса, наряду с измерительными системами – двухмерными счетчиками фотонов с использованием различных усилителей яркости, ПЗС-камерами, вошли телевизионные подсмотры изображений в фокусах БТА для осуществления дистанционных наблюдений. Особое внимание при создании комплекса КВАНТ было уделено разработке средств цифровой обработки изображений. К началу 1985 г. работы по созданию комплекса КВАНТ

были в целом завершены, и после проведения в САО обширной программы испытаний и тестирования началось внедрение разработанной аппаратуры на телескопе БТА. К началу 1986 г., благодаря внедрению комплекса КВАНТ на БТА, в методах наблюдений слабых объектов цифровые телевизионные системы окончательно вытеснили ЭОПы с фотографической регистрацией. Оснащение спектрографов телевизионными подсмотрами возволило проводить наблюдения дистанционно из аппаратной БТА. Разработчики светоприемной аппаратуры в образованной к этому времени лаборатории перспективных разработок (ЛПР) под руководством Маркелова С.В. практически полностью сосредоточились на внедрении в практику наблюдений на БТА ПЗС-матриц. Первые ПЗС-системы, разработанные для БТА, имели довольно высокий шум считывания и были малопригодны для спектроскопии слабых объектов. Это, в первую очередь, было связано с недостатками выпускаемых в то время отечественной промышленностью матриц. Однако в задачах фотометрии слабых радиоисточников и галактик они оказались достаточно эффективны. Здесь следует отметить долготлетнюю программу оптического отождествления радиоисточников, обнаруженных с помощью РАТАН-600, выполненную в 1986-1990 гг. на БТА Парийским Ю.Н. и его сотрудниками при помощи ПЗС-системы с использованием прибора 530×580 элементов производства НПО “Электрон”.

“Одномерность” используемых на БТА спектрографов не позволяла эффективно проводить исследования больших выборок предельно слабых галактик и детальные исследования протяженных объектов. К концу 80-х годов в зарубежных обсерваториях с целью повышения эффективности крупных телескопов активно внедрялись методы мультиобъектной и двухмерной спектроскопии. Это увлечение не обошло и САО.

В 1982 г. на основе редуктора светосилы из обсерватории Верхний Прованс, предоставленного во временное пользование САО французскими коллегами, Афанасьев В.Л. и Додонов С.Н. изготовили первую версию многощелевого спектрографа БТА. В редукторе использовалась камера с внешним фокусом, а изображения спектров в поле зрения БТА сначала регистрировались при помощи однокаскадного ЭОПа с волоконной шайбой на фотоэмульсию. Спектральная маска изготавливалась методом фотолитографии. С этим прибором была проведена обширная программа исследования слабых (до 21 зв.вел.) галактик в полях SA68 и SA57. В дальнейшем прибор многократно модифицировался – для одновременного получения спектров многих объектов использовались оптико-волоконные световоды, а регистрация велась на двухмерном счетчике фотонов. В настоящее время на БТА используется последняя версия мультиобъектного волоконного спектрографа с регистрацией изображения на ПЗС матрице большого формата, позволяющая получать одновременно спектры 75 объектов до 22 звездной величины.

С 1985 г. по инициативе Додонова С.Н. и в тесном сотрудничестве с коллегами из Марсельской обсерватории (Буллестекс и др.) на БТА для исследования полей скоростей ионизированного газа в галактиках стал применяться интерферометр Фабри-Перо (ИФП) в комбинации с редуктором светосилы. Сканирующий ИФП был приобретен для БТА в рамках совместного проекта с CNRS (фонд фундаментальных исследований) Франции, а оптико-механическая

часть редуктора светосилы изготовлена в САО. В качестве регистрации использовался двухмерный счетчик фотонов в составе комплекса КВАНТ. По существу, созданная система представляла собой 2-мерный спектрофотометр, который позволял на поле форматом 512×512 элементов изучать профили эмиссионных линий протяженных объектов.

Исследования движения газа и звезд, а также условий ионизации газа в окооядерных областях галактик на пределе углового и спектрального разрешений не позволяет различать между собой спектральные и морфологические особенности. Наблюдения со щелевым спектрографом и сравнение их с прямыми изображениями в таких задачах не только малоэффективны, но и неоднократно приводили к наблюдательным курьезам. Применение двухмерных интегральных полевых спектрографов, на что впервые было указано профессором Куртесом из обсерватории Марселя, позволяет решать такие задачи. Первый спектрограф такого типа, предназначенный для исследования окооядерных областей активных галактик, был создан в конце 80-х годов на БТА Афанасьевым В.Л. и его коллегами. Этот спектрограф позволял получать в поле зрения 8×12 элементов одновременно 96 спектров в широком спектральном диапазоне и различными спектральными разрешениями. В первом варианте в качестве системы регистрации использовался счетчик фотонов, в дальнейшем, по мере появления на БТА высококачественных ПЗС-систем большого формата, наблюдения велись при их помощи. Конструкция мультизрачкового волоконного спектрографа (MPFS), как был назван интегральный полевой спектрограф БТА, в последние годы претерпела существенные изменения, что диктовалось требованиями наблюдательных задач астрономов, и в настоящее время он имеет поле зрения 16×16 элементов и позволяет получать одновременно 273 спектра (как от объекта, так и от фона неба).

Система КВАНТ, введенная в эксплуатацию на БТА в 1986 г., в комбинации с модернизированными штатными спектрографами БТА (СП-160, СП-161, СП-124, UAGS) и разработанными для решения задач исследования слабых объектов мультизрачковым (MPFS) и мультиобъектным (MOFS), в течение последующих 10-ти лет позволила решить на БТА широкий круг задач спектрального исследования слабых галактик и звезд. Однако к середине 90-х годов стало ясно, что имеющиеся в распоряжении астрономов САО спектрографы и системы регистрации значительно уступают по качеству аналогичным приборам на крупных зарубежных телескопах – проигрыш по полной квантовой эффективности составлял 3-5 раз, а по числу регистрируемых спектральных элементов – 2-3 раза. Это, наряду с плохим астроклиматом места установки БТА, значительно снижало конкурентную способность БТА в задачах исследования слабых объектов. В обсерватории была начата обширная (как по усилиям различных подразделений, так и по финансированию) программа повышения эффективности спектральных наблюдений. В первую очередь это касалось разработки систем регистрации на основе матриц ПЗС большого формата с низкими шумами. На первых порах использовались отечественные ПЗС формата 1040×1070 элементов с квантовой эффективностью около 40%. В дальнейшем, благодаря помощи немецких коллег из института астрофизики (Потсдам), удалось получить матрицы ТК-1024 с форматом 1024×1024 элементов с квантовой эффективностью

стью 80% в максимуме чувствительности. Остро встала задача разработки контроллера, обеспечивающего регистрацию изображения на ПЗС с высокой фотометрической стабильностью и малыми шумами. Такая задача была успешно решена в лаборатории перспективных разработок под руководством С.В.Маркелова. Было создано несколько поколений контроллеров ПЗС и систем криостатирования. После приобретения обсерваторией в начале 2000 г. нескольких превосходных матриц формата 2048×2048 элементов фирмы EEV, астрономы обсерватории получили в свое распоряжение и стали активно использовать на БТА системы регистрации с ПЗС, не уступающие по качеству зарубежным аналогам.

В то же время, ввод в эксплуатацию высокочувствительных систем ПЗС с высокой (до 85%) квантовой эффективностью и малым шумом считывания ($<3\epsilon$) не решал полностью задачу повышения эффективности спектральных наблюдений слабых объектов. Используемые в этих задачах спектрографы, созданные по идеологии 70-х годов прошлого века, имели относительно низкое пропускание (не более 30%) и высокий уровень рассеянного света из-за наличия зеркально-линзовой оптики. Встал вопрос о создании нового поколения спектральной аппаратуры ПФ БТА, с учетом появившихся к этому времени возможностей – новых типов стекол, высокоэффективных просветляющих покрытий и пр., а также необходимости автоматизации процесса наблюдений слабых объектов (конструкция имеющихся спектрографов была мало приспособлена для автоматизации процесса наблюдений). К началу 2000 г. группой сотрудников CAO (Моисеев А.В., Гажур Э.Б., Желенков С.Р., Перепелицын Е.И.) под руководством Афанасьева В.Л. был создан многорежимный спектрограф SCORPIO. Этот спектрограф, наряду с высоким пропусканием и низким уровнем рассеянного света, позволяет проводить наблюдения во многих режимах: получение прямых изображений в широких и узких фильтрах, двухмерная спектрофотометрия со сканирующим эталоном Фабри-Перо, щелевая и многощелевая спектроскопия, спектрополяриметрия. К настоящему времени спектрограф укомплектован широким набором интерференционных фильтров с высоким пропусканием различной ширины в видимом диапазоне и дифракционных решеток. В этом приборе впервые в России применены объемные фазовые голографические решетки, имеющие значительно большее, чем дифракционное, пропускание и чрезвычайно малый уровень рассеянного света. В настоящее время SCORPIO является одним из наиболее востребованных наблюдателями приборов на БТА – время его использования составляет более чем 45% календарного времени. С этим прибором уже выполнен ряд интереснейших научных программ – изучение спектров новых радиогалактик и квазаров, обнаруженных на радиотелескопе РАТАН-600 (Мингалиев М.Г., Парийский Ю.Н.), исследования родительских галактик гамма-всплесков (Соколов В.В. и др.), анализ полей скоростей ионизированного газа в нормальных (Фридман А.М. с коллегами из CAO) и активных галактиках (Моисеев А.В. и Афанасьев В.Л. совместно с итальянскими и немецкими астрономами), поиск предельно далеких галактик (Додонов С.Н.), изучение распределения ионизированного газа в карликовых галактиках (Караченцев И.Д.) и т.д.

Итогом более чем 30-летних усилий астрономов-наблюдателей и инженеров САО стало создание методов и средств наблюдений на 6-м телескопе слабых объектов, по возможностям не уступающим аналогичным на крупных зарубежных телескопах. Наиболее успешными, в конечном итоге, оказались приборы, создаваемые под конкретные задачи астрономов, в процессе создания которых инженеры обсерватории не занимались слепым копированием западных аналогов, а учитывали как реальные возможности отечественной промышленности и финансовые возможности обсерватории, тенденции развития астроприборостроения в мире, так и меняющиеся требования астрономов. Фактически, ни один из приборов обсерватории не был сделан “под ключ”, а постоянно совершенствовался. По моему глубокому убеждению, именно такой подход позволил САО за короткое время, в условиях ограниченных финансовых ресурсов, оснастить БГА первоклассными приборами для наблюдений слабых объектов.

30 ЛЕТ РАБОТЫ БТА: СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

В. Е. Панчук, В. Г. Ключкова

*История мидян темна и
неизвестна, ученые делят ее,
тем не менее, на три периода.*
А.Аверченко

В обзоре рассматриваются три этапа работ по созданию и эксплуатации аппаратуры высокого спектрального разрешения 6-м телескопа БТА с тремя типами светоприемников. Перечислены основные наблюдательные программы, выполненные авторами за 30 лет наблюдений. Предпринята попытка оценки перспектив методов спектроскопии высокого разрешения на БТА.

1. Спектроскопия звезд и задачи, поставленные перед САО АН СССР

Послевоенное развитие физики звездных атмосфер обязано стечению ряда обстоятельств. Во-первых, был радикально пересмотрен вопрос о непрерывных спектрах Солнца и звезд. Здесь следует упомянуть как новые наблюдения в наземном УФ-диапазоне (Барбье, Шалонж), так и выводы о роли поглощения на отрицательных ионах водорода (Вильдт). Во-вторых, в дополнение к спектрографу фокуса кудэ 2.5-м телескопа, вступил в строй универсальный спектрограф фокуса кудэ 5-м рефлектора (Боуэн). На этих спектрографах выполнялся основной объем наблюдений звездных спектров с высоким спектральным разрешением (Гринстейн и др.). В-третьих, развитие атомной физики привело, в частности, к составлению обширных списков спектральных линий (Мур) и развитию экспериментальных методов определения сил осцилляторов. В состав нескольких современных обсерваторий входили лаборатории экспериментальной астрофизики. В-четвертых, метод кривых роста (Унзольд) оказался достаточным для выявления основных количественных закономерностей физики атмосфер и обнаружения аномалий химического состава (звезды двух типов населения, химически-пекулярные звезды и т.д.). Наряду с методами космохимии, спектроскопия звезд начала поставлять информацию о синтезе ядер и эволюции химического состава Галактики.

В целом, уже в конце 50-х начала формироваться точка зрения, что исследование плазмы в астрофизических условиях существенно дополняет усилия, предпринимаемые по развитию наземных аналитических и диагностических методов оптической спектроскопии. В ряде случаев это обеспечивало астрономические проекты поддержкой со стороны физиков. Проекты строительства новых телескопов в качестве аргументирующего фактора обязательно включали необходимость расширения работ по фотографической спектроскопии высокого разрешения. Это был «золотой век»

звездной спектроскопии, доля соответствующих публикаций была высока, например, по результатам спектроскопии звезд в *Astrophysical Journal* публиковалось от 50% статей в 1935 г. до 14% в 1975 г. В нашей стране традиции, основанные Белопольским и затем Шайном, были развиты поколением крымских спектроскопистов (Боярчук, Копылов, Стешенко, Гершберг и др.), поэтому спектроскопия звезд естественным образом стала одним из основных направлений деятельности Специальной астрофизической обсерватории. Задачи в этом направлении не были конкретизированы и, как показала жизнь, их уточнение целиком зависело от того, какие научные интересы будут у тех, кто пришел на работу в САО в числе первых.

2. Спектроскопическая аппаратура первого поколения

Первые проектные разработки комплекса Специальной астрофизической обсерватории АН СССР были начаты в 1959 г. в отделе астрономического приборостроения Главной астрономической обсерватории в Пулково (ГАО АН СССР), возглавлявшемся в те годы Д.Д.Максутовым. Краткая история САО за период 1960-1984 гг. недавно опубликована [Копылов, 2003]. 6-метровый телескоп БТА оснащался спектроскопической аппаратурой в соответствии с общепризнанными идеями первой половины 60-х годов (широкощельность, универсализация за счет сменных камер и дифракционных решеток, возможность применения электронно-оптических преобразователей – ЭОПов). Учитывались и другие прогрессивные решения: скрещивание дисперсий, интерферометрия, корреляционные методы. Большую роль сыграл опыт астрономов Крымской астрофизической обсерватории АН СССР (А.А.Боярчук, И.М.Копылов и др.), выполнявших спектроскопические исследования звезд на 2.6-м и 1.5-м телескопах. Первое техническое задание на спектральную аппаратуру телескопа составили О.А.Мельников и Н.А.Козырев (ГАО АН СССР). Для фокусов Нэсмита предполагалось построить: а) Основной звездный спектрограф с тремя камерами ($F=300$, 60 и 20 см) при фокусном расстоянии коллиматора $F=840$ см; б) планетный спектрограф; в) дифракционный спектрограф с интерферометром Фабри-Перо (ИФП); г) бесщелевой спектрограф Линника с интерференционными реперами. В соответствии с этим предусматривалось 4 варианта оптической системы БТА в фокусах Нэсмита: с линзовой укорачивающей системой, $F:14.6$; без корректора, $F:30.7$; с линзовой удлиняющей системой, $F:58.2$; с линзовой системой для ИФП, $F:31.4$. Для главного фокуса предполагалось построить: а) автоколлимационный спектрометр для измерения лучевых скоростей звезд; б) спектрограф с ЭОП, оснащенный тремя сменными камерами. Спектральные приборы были ориентированы на фотографическую регистрацию спектров (непосредственно или через ЭОП), либо на одноканальную фотоэлектрическую регистрацию. По этому признаку их можно выделить как первое поколение спектроскопической аппаратуры БТА.

Вскоре после образования САО АН СССР роль заказчика по спектральной аппаратуре БТА была поручена Лаборатории астро-светоприемников САО (ЛАСП, зав. лаб. В. С. Рылов), с привлечением сотрудников Отдела физики звезд и туманностей (ОФЗиТ, зав. отд. С.В.Рублев) и Отдела внегалактических исследований и релятивистской астрофизики

(ОВИРА, зав. отд. И.Д.Караченцев). Сотрудники САО АН СССР (И.М.Копылов, В.С.Рылов, С.В.Рублев, Ю.В.Глаголевский, Е.Л.Ченцов, Н.Ф.Войханская, Ю.В.Сухарев, А.Н.Буренков и др.), принимали участие в корректировке технических заданий, контролировали разработку приборов, участвовали в заводской приемке и проводили испытания на телескопе. Три спектрографа из итогового списка спектральной аппаратуры предназначались для спектроскопии звезд и туманностей: ОЗСП – Основной звездный спектрограф [Васильев и др., 1977], СП-161 – звездный спектрограф со скрещенной дисперсией [Зандин и др., 1977a], СП-160 – светосильный спектрограф главного фокуса [Зандин и др., 1977b], последний использовался также и для исследования внегалактических объектов. Спектрографы СП-161 и СП-160 предназначались для работы с ЭОП. Уже после ввода БТА в опытную эксплуатацию было завершено изготовление планетного спектрографа СП-124 [Гусев и др., 1976], но отдел планетных исследований САО к тому времени уже был расформирован. В фокусах Нэсмита был реализован только один вариант оптической схемы БТА – без корректора, $F:30.74$. Это обстоятельство изначально оставило спектроскопию высокого разрешения без прогрессивных схем, предусматривающих фотоэлектрические методы регистрации.

Вся спектральная аппаратура была разработана и создана в Государственном оптическом институте (ГОИ) и Ленинградском оптико-механическом объединении (ЛОМО). Оптическая промышленность уже имела опыт оснащения спектральной аппаратурой высокого разрешения 2.6-м телескопа Крымской АО (см., например, [Васильев, 1976]).

Испытания аппаратуры высокого и умеренного разрешения, предназначенной для спектроскопии звезд, выполнили на БТА, в основном, сотрудники САО: Е.А.Барсукова, А.Н.Буренков, Н.Ф. Войханская, Ю.В.Глаголевский, В.С.Рылов, Ю.В.Сухарев, Е.Л.Ченцов, Н.М.Чунакова.

Пример создания и эксплуатации первого поколения спектральной аппаратуры БТА иллюстрирует ситуацию, возникшую вокруг принципа широкощельности, реализованного последовательно на 2.5-м [Данхэм, 1956] и 5-м [Боуэн, 1952] телескопах. Спектрографы, обладающие низкой широкощельностью, обеспечивали хорошее качество спектра на большом поле камеры, т.е. являлись более удобными для позиционных измерений (лучевые скорости, дифференциальные сдвиги линий). Спектрографы с высокой широкощельностью обеспечивали более высокую скорость накопления информации, но требовали более кропотливой обработки (учет ошибок поля). Первоначально планировалось построить ОЗСП с одной камерой, фокусное расстояние около $F=160$ см, при размерах дифракционной решетки 20×30 см. Позже, с учетом опыта работы на спектрографе фокуса кудэ 2.6-м телескопа Крымской АО, было решено оснастить ОЗСП двумя камерами, $F=310$ см (мениск, скрещенная дисперсия в низких порядках) и $F=60$ см (камера Шмидта). Длиннофокусная камера в первый же год эксплуатации показала позиционные нестабильности, тогда как вторая камера оказалась «рабочей лошадкой», и в последующее десятилетие на ней был выполнен основной объем фотографической спектроскопии звезд. Затем «широкощельность победила окончательно», и ОЗСП был дооснащен сверхсветосильной камерой (асферическое зеркало $F=30$ см и 4 сменные пластины Шмидта для 4-х диапазонов спектра), но этот вариант в силу сложной эксплуатации оказался

непопулярен, и публикации по результатам наблюдений на этой камере отсутствуют.

Практически уже на этапе испытаний аппаратуры назначался астроном, ответственный за данный метод наблюдений (спектральный прибор). Эта практика выдержала все испытания временем и сохранилась до сих пор. Ответственными за ОЗСП являлись Ю.В.Сухарев (до 1979 г.) и В.Е.Панчук, ответственным за СП-124 (фотографический период) – Е.Л.Ченцов. Кроме поддержания характеристик прибора и его готовности к наблюдениям, в обязанности ответственного входили и контакты с разработчиками аппаратуры (ГОИ, ЛОМО), что позволяло приобрести дополнительные знания, выходящие за рамки классической университетской подготовки астронома.

Планетный спектрограф, характеризующийся высоким качеством спектра по большому полю и относительно низкой широкощельностью, служил вначале только для фотографической регистрации спектров ярких звезд в ближнем ИК-диапазоне, затем на нем использовался ЭОП с диссектором [Алексеев и др., 1983]. В начале 80-х вместо диссектора на СП-124 был установлен телевизионный счетчик фотонов [Драбек и др., 1986], разработанный ранее для спектроскопии в главном фокусе БТА [Балега и др., 1979]. Звездный спектрограф со скрещенной дисперсией (СП-161) вплоть до второй половины 80-х не удалось оснастить адекватным светоприемником, и вклад этого прибора в наблюдения первого десятилетия был минимален. Таким образом, основным поставщиком спектров высокого разрешения долгое время оставался ОЗСП.

3. Формирование коллектива наблюдателей и первые программы фотографической спектроскопии звезд

Для многих молодых астрономов, пришедших на работу в САО, БТА являлся «первым в жизни телескопом», это обстоятельство вызывало нескрываемые опасения у создателей телескопа и спектральной аппаратуры. Был еще один фактор, специфичный для САО: соотношение численности научных работников и инженерных служб (включая инфраструктуру) было рекордно низким среди учреждений АН СССР (менее 10%), что в эпоху «мнения большинства» приводило к ряду издержек в развитии научного учреждения. Мы, молодой коллектив астрономов, были окрылены сознанием того, что работаем на самом большом телескопе, следовательно, «мы самые-самые», поэтому преодолеем все проблемы. Основной объем фотографических наблюдений с высоким и умеренным разрешением был выполнен на ОЗСП БТА в период 1976-1985 гг. В 1976 г. выполнялась опытная эксплуатация БТА и спектральной аппаратуры, а с 1977 г. телескоп стал работать по расписанию, составляемому на каждые полгода. Доля научных программ САО не должна была превышать одной трети всех распределяемых ночей. Отдел физики звезд и туманностей (ОФЗиТ), преобразованный в 1979г в Отдел физики и эволюции звезд (ОФЗЭ), возглавил директор САО И.М.Копылов. ОФЗЭ состоял из 4-х групп (эволюции звезд, зав. группой И.М.Копылов; горячих звезд – Л.И.Снежко, магнитных звезд – Ю.В.Глаголевский, нестационарных звезд – Н.Ф.Войханская). Первые три группы основную свою деятельность сосредоточили вокруг наблюдений на ОЗСП.

С 1977 г. на ОЗСП выполнялись следующие крупные наблюдательные программы (в скобках указаны основные наблюдатели): спектроскопия магнитных звезд в скоплениях (Ю.В.Глаголевский, В.Г.Клочкова, И.И.Романюк, В.Д.Бычков), спектроскопия химически пекулярных звезд в рассеянных скоплениях и ассоциациях (В.Г.Клочкова, И.М.Копылов), спектроскопия сверхгигантов и звезд ГП в рассеянных скоплениях (В.Г.Клочкова, В.Е.Панчук), спектроскопия звезд высокой светимости (Е.Л.Ченцов, Е.А.Барсукова), спектроскопия тесных двойных систем (О.Э.Ааб, И.М.Копылов, Е.Л.Ченцов). Из-за большого объема наблюдений и разнообразия выполняемых наблюдательных программ внешних заявителей, квалификация и кругозор молодых наблюдателей БТА росли достаточно быстрыми темпами.

Основной период фотографической спектроскопии на ОЗСП занял около 13 лет. Всего под фотографические наблюдения на ОЗСП было выделено 1013 ночей (статистику см. в работе [Панчук, 1998]). Кроме работ по расписанию, практиковалась схема «дублирования основной программы». Это означало, что в случае выхода из строя основного варианта наблюдений, либо вследствие неподходящих погодных условий для выполнения основной программы на телескоп приглашался наблюдатель для фотографической спектроскопии на ОЗСП. Во время наблюдений на ОЗСП астроном находился непосредственно на телескопе, сопровождение объекта дополнялось ручной коррекцией, т.к. эффективность автоматического гидирующего устройства оказалась низкой. Возможности отдохнуть после наблюдений были скромные: башня БТА заполнялась большим количеством работающих днем (вычислительный центр, механические мастерские, службы эксплуатации БТА в полном составе, лаборатории научных подразделений), а также экскурсантами. Небольшая гостиница, предназначенная для отдыха наблюдателей, была переполнена. Не все астрономы выдержали испытания трудом и бытом наблюдателя (в конце периода фотографической спектроскопии уже около половины астрономов оптического сектора не имели обязанностей по выполнению регулярных наблюдений на БТА).

4. Методы обработки и анализа фотографических спектров

Методы предварительной обработки фотоэмульсий с целью повышения чувствительности стали применяться на БТА только в начале 80-х [Панчук, 1984]. При наличии участка оптико-фотографического обеспечения (численностью до 5 человек!), подготовку и обработку фотоматериалов выполняли, как правило, астрономы-наблюдатели. Недостатками фотографического способа регистрации являются низкая квантовая эффективность и небольшой динамический диапазон, к числу преимуществ относятся непревзойденные размеры светоприемника и возможность длительного хранения информации в исходном виде (в виде т.н. фотографических архивов). Последнее обстоятельство не привязывало задачу оцифровки спектра непосредственно к задаче его регистрации. Процессом регистрации и обработки спектров занимались астрономы, а процессом оцифровки фотопластинок на автоматическом микроденситометре – преимущественно сотрудники вычислительного центра [Назаренко, 1981; Буренкова и др., 1982; Буренкова и др., 1984; Назаренко и Шергин, 1985].

Кроме организационных трудностей, существовали объективные, определяемые уровнем вычислительных и оптико-механических технологий: 1) проблема цифровых носителей, 2) проблема буферизации промежуточной информации, 3) проблема интерактивного взаимодействия в процессе первичной обработки, 4) проблема поддержания высоких позиционных и фотометрических характеристик системы считывания информации. Например, информация с первых цифровых устройств выводилась на перфоленту, параметры первых интерактивных дисплеев позволяли работать с небольшими фрагментами спектров (что снижало точность проведения уровня непрерывного спектра), повторяемость режима пошагового сканирования на автоматическом микроденситометре АМД-1 имела недостаточную точность (1-2 шага, или 5-10 мкм, при внутренней точности сканирования 5мкм [Додонов, 1985]). Работы по оцифровке спектрограмм с БТА, выполненные на других микроденситометрах, вне САО, составляли исключение (см., например, [Киппер и Клочкова, 1987]). Большинство астрономов предпочитало более доступную, лишь частично механизированную обработку, где все этапы записи и измерений спектрограммы контролировались автором наблюдения (спектрограммы). С этой целью использовались измеритель лучевых скоростей [Антропов, 1972] и микрофотометр интенсивности, созданные на базе серийного микрофотометра МФ-2. Обработка регистрограмм выполнялась вручную. Именно на этой методической основе были обработаны спектры, полученные, например, в результате многолетних обзоров химически пекулярных и магнитных звезд [Клочкова и Копылов, 1986; Глаголевский и др., 1987]. Переход в середине 80-х на цифровые методы регистрации спектров (счет фотонов), привел к окончательной потере интереса астрономов-наблюдателей к проблеме оцифровки фотографических спектрограмм, хотя фотографические наблюдения продолжались до 1992 г. Не детализируя причины, можно утверждать, что задача, поставленная перед САО по сохранению коллекций фотопластинок и созданию цифрового фотографического архива БТА, не решена до сих пор.

К 70-м годам в спектроскопии звездных атмосфер сложилась ситуация, когда основные феноменологические результаты (например, обнаружение резко выраженных аномалий в спектрах), были уже получены (т.е. все «лежащие на поверхности» феномены выявлены в «эпоху Гринстейна»). Новые результаты могли быть получены или в результате выполнения обширных спектроскопических обзоров, или при длительном спектроскопическом мониторинге избранных объектов, или в сочетании с применением методов численного моделирования звездных спектров. В первое десятилетие работы БТА развивались все три подхода, но если первые два зависели от количества выделенных ночей, то третий – еще и от адекватного уровня моделирования атмосфер, что в 70-е годы было явлением нечастым. В САО моделированием звездных атмосфер занимались Л.И.Снежко и В.В.Соколов (горячие звезды, см., например, [Снежко, 1971; Соколов и Ченцов, 1984]) и В.Е.Панчук (холодные звезды, см., например, [Панчук, 1978]). Вычислительная техника тех лет была весьма разнородной, скорость вычислений низкой, исследователи работали в одиночку, и этот вид деятельности культивировался далеко не в каждом астрономическом учреждении. В 1976 г. по инициативе А.А.Сапара (Тырaverse) и Н.С.Комарова (Одесса) была создана рабочая группа «Физика звездных атмосфер», основной задачей которой был регулярный обмен опытом

разработки методов анализа звездных атмосфер. Предполагалось, что к моменту широкого распространения ЭВМ серии ЕС будут выработаны общие подходы и методы моделирования звездных атмосфер, и в целом задача была решена. География ежегодных совещаний группы была разнообразной (Одесса, Казань, Киев, Нижний Архыз, Рига, Научный, Тыравере, Душанбе, Ростов-на-Дону, Молетай), это обстоятельство расширило состав участников и способствовало более эффективному использованию спектрального материала, в том числе и получаемого на ОЗСП БТА.

5. Первые фотоэлектрические методы

Еще до ввода БТА в эксплуатацию астрономы САО обнаружили, что решать проблему оснащения спектрографов новой светоприемной аппаратурой придется самостоятельно, без каких-либо директивных решений в адрес промышленности. Кроме лаборатории астросветоприемников, которой разработка и внедрение светоприемников были предписаны по определению, в рамках крупных подразделений оптического сектора (Отдел научно-технических проблем БТА, Отдел внегалактических исследований и релятивистской астрофизики, Отдел физики и эволюции звезд) были созданы группы (руководимые А.Ф.Фоменко, В.Л.Афанасьевым, Г.Н.Алексеевым, соответственно), в задачи которых входило оснащение спектрографов современными светоприемниками. Остановимся только на тех работах, которые повлияли (или могли повлиять) на развитие спектроскопии высокого разрешения.

Из методов с использованием небольшого числа каналов (1-2) прежде всего выделим магнитометр с перестраиваемым интерферометром Фабри-Перо [Глаголевский и др., 1979] и магнитометр, работающий по линиям водорода («водородный») [Штоль и др., 1985]. Первый прибор использовался на длиннофокусной камере ОЗСП, второй – на универсальном спектрографе UAGS (производства НП «Карл-Цейсс, Йена) в главном фокусе БТА. Под наблюдения на этих приборах в 1980-1996 гг. было выделено свыше 400 ночей. Эти приборы могли быть использованы и для фотоэлектрических измерений профилей линий без анализаторов поляризации, но такой способ наблюдений не входил в круг научных задач разработчиков аппаратуры. Упомянем еще одноканальный метод быстрой регистрации фрагмента спектра с диссектором [Алексеев и др., 1983], под этот вид наблюдений на планетном спектрографе было выделено 26 ночей. Следует вспомнить и о неудачной попытке создания фотоэлектрического кросс-корреляционного измерителя лучевых скоростей, предпринятой совместно с учеными Ростовского университета. Было известно, что этот метод, завоевавший место на телескопах 1-м класса, успешно использовался и на 5-м телескопе [Гриффин и Ганн, 1974]. Научные интересы разработчиков многоканального телевизионного счетчика фотонов [Балега и др., 1979] были сосредоточены в области спектроскопии квазаров, т.е. были ориентированы на спектроскопию с низким разрешением. В целом можно констатировать, что первый этап внедрения фотоэлектрических методов спектроскопии на БТА повлиял на методы наблюдений с высоким спектральным разрешением только в задаче измерений круговой поляризации в профилях избранных линий [Глаголевский и др., 1979].

6. Результаты избранных программ, выполненных на ОЗСП с фотографической регистрацией

В этом разделе кратко остановимся только на тех программах, при выполнении которых мы являлись как заявителями, так и основными исполнителями. Не имея возможности перечислять все результаты, укажем только основные публикации по избранным программам.

Исследование химически пекулярных звезд в рассеянных скоплениях и звездных группировках

Спектроскопия (600 спектрограмм) 120 химически пекулярных (СР) звезд, входящих в состав 10 группировок разного возраста [Клочкова, 1983, 1985, 1991ж, Клочкова и Копылов, 1984а,б, 1985, 1986]. Вывод о независимости степени пекулярности звезд от возраста на стадии эволюции в пределах главной последовательности (ГП). Вывод об отсутствии потери углового момента пекулярными звездами в процессе эволюции от линии нулевого возраста в пределах ГП.

Исследование эффективных магнитных полей у химически пекулярных звезд в рассеянных скоплениях и звездных группировках

Наблюдения (120 зеемановских спектрограмм) и измерения эффективных магнитных полей химически пекулярных звезд в группировках разного возраста [Глаголевский и др., 1987]. Вывод о том, что средние значения эффективного магнитного поля неизменны в интервале возрастов группировок, различающихся на три порядка. Вывод о зависимости средних значений магнитного поля от массы звезды [Клочкова, 1991ж].

Исследование звезд различной светимости в рассеянных скоплениях

Спектроскопия звезд спектральных классов В, А, F, G, К (включая сверхгиганты) в составе 12 группировок [Клочкова, 1991а, Клочкова и Панчук, 1985а, 1986а,б, 1987а, 1988а, 1990а, Клочкова и др., 1989, Мишенина и Панчук, 1986, Мишенина и др., 1986, Комаров и др., 1988]. Исследование вариаций содержания гелия и элементов железного пика в кольцевой зоне галактического диска. Вывод об отсутствии изменений металличности, α и s-элементов, в течение последних 4 млрд. лет. Оценка дисперсии содержания различных химических элементов в галактическом диске. Спектроскопическое исследование наблюдаемой ширины ГП.

Исследование звезд гало

Спектроскопия звезд горизонтальной ветви в галактическом поле [Клочкова, 1991б, Клочкова и Панчук, 1985б,в, 1987б, 1988б, Клочкова и Таутвайшене, 1989]. Обнаружение статистически значимого избытка α -элементов и дефицита s-элементов. Обнаружение аналогов феномена CP-звезд на стадии ВНВ. Исследование химического состава звезд с возрастом 10 млрд. лет.

Проблема спектроскопического определения параметров звездных атмосфер

Исследование соотношения фотометрических и спектроскопических методов определения фундаментальных параметров звездных атмосфер, объяснение фотометрического парадокса Гиад, спектроскопическая калибровка индексов металличности [Клочкова, 1991в, Клочкова и Панчук, 1989а,б,в, 1990б, Клочкова и др., 1983, 1991а]. Поиск новых критериев определения фундаментальных параметров атмосфер [Гуляев и др., 1986, 1987, Клочкова и Панчук, 1989б].

Спектроскопия пульсирующих звезд

Исследование структуры атмосферы пульсирующей звезды по линиям разной интенсивности [Борисов и Панчук, 1986а,б,в]. Исследование химического состава выборки классических цефеид [Клочкова, 1991г,д, Клочкова и Панчук, 1991а]. Вывод об отсутствии градиента металличности в галактическом диске в интервале галактоцентрических расстояний 8-14 килопарсек.

Спектроскопия холодных сверхгигантов

Дифференциальное исследование химического состава F-сверхгигантов в составе рассеянных скоплений диска и F-сверхгигантов на высоких галактических широтах [Клочкова и Панчук, 1988в,г, 1989г].

Групповой метод моделей атмосфер

Принципиальная возможность выполнить на БТА массовое спектроскопическое исследование звезд различной температуры и светимости, входящих в рассеянные звездные скопления и ассоциации, позволила нам сформулировать новый подход к проблеме, реализованный затем в групповом методе моделей атмосфер. Остановимся на этом результате подробнее.

Хорошо известно, что основные параметры модели атмосферы (эффективная температура T_{eff} и ускорение силы тяжести g_{eff}), можно определить чисто спектроскопически, не прибегая к данным фотометрии. Более того, т.к. деталей, измеряемых в спектре (эквивалентные ширины линий, полуширины линий на различных уровнях остаточной интенсивности, и т.п.), всегда намного больше, чем искомым параметров модели атмосферы, результат всегда будет зависеть от выбора из всех наблюдаемых характеристик тех из них, для которых имеется сетка теоретических расчетов. Отсюда естественный

вывод: при выборе параметров модели атмосферы необходимо использовать как можно больше наблюдаемых характеристик. Это обстоятельство давно и надолго провело границу между определениями фундаментальных характеристик атмосфер фотометрическими методами (что в большинстве случаев выполняется автоматически для сотен звезд), и спектроскопическими определениями (еще полтора-два десятка лет назад большинство публикаций, где спектроскопически определялись параметры модели атмосферы, содержали результаты для одной-двух звезд). Приверженцы фотометрии всегда были убеждены, что фотометрические определения параметров более точны и однозначны по сравнению с результатами фотографической спектроскопии, но эти утверждения базировались скорее на массовости и проникающей способности фотометрического метода, чем на массовых сравнениях результатов фотометрических и спектроскопических определений. Ошибки метода фотографической спектроскопии интуитивно связывались с точностью измерения параметров линий. Типичными примерами являются полемика (конец 70-х – начало 80-х) о соотношении результатов спектроскопических и фотометрических определений металличности звезд в шаровых скоплениях, или обсуждение фотометрического парадокса Гиад.

Совокупности измеренных спектральных деталей в плоскости « $T_{\text{eff}} - g_{\text{eff}}$ » соответствует множество кривых, вдоль которых соблюдается равенство измеренных и вычисленных значений. Каждую из этих кривых легко снабдить полосой допустимых значений параметров атмосферы, соответствующей ошибкам измерения, но сложнее – полосой значений, соответствующей неточностям моделирования спектра. Если модель имеет систематические ошибки, то при анализе спектра одной звезды часть таких ошибок выявить невозможно: ошибки определения g_{eff} «перекачиваются» в ошибки T_{eff} и т.д. Если анализировать статистически представительную группу звезд близкой температуры и светимости в составе одной группировки, относительно которой можно предположить общность происхождения начального химического состава, то появляется возможность отделить реальную дисперсию химического состава от ошибок методического происхождения. Более того, если привлечь к анализу в составе данного скопления звезды существенно иной температуры и светимости, то появляется возможность выявить систематические ошибки моделирования звездных атмосфер. При всей простоте такого подхода у него есть принципиальный недостаток – большая трудоемкость: необходимо получить спектры и выполнить анализ методом моделей атмосфер для одного-двух десятков звезд. Сущность и возможности метода были впервые продемонстрированы нами еще на ЭВМ типа ЕС, когда по наблюдениям на ОЗСП в 1983 г. была обнаружена дисперсия химического состава внутри ближайших рассеянных скоплений. Через несколько лет, оперируя спектроскопическими данными уже для сотен звезд, мы получили оценки дисперсии химического состава в диске Галактики, находящиеся в хорошем согласии с результатами УФ-спектроскопии межзвездной среды [Клочкова, 1991в; Клочкова и др., 1991].

Эти и подобные результаты позволяли нам утверждать, что в эпоху фотографической спектроскопии уровень моделирования спектров все-таки отставал от уровня наблюдательного материала (хотя доминировала противоположная точка зрения).

В целом, можно сделать выводы, что за период фотографических наблюдений на ОЗСП БТА нам удалось: а) усовершенствовать методы наблюдений, обработки и анализа звездных спектров, б) в течение сотен ночей выполнить наблюдения по десяткам научных программ исследователей из Москвы, Урала, Прибалтики, Украины, Закавказья, Средней Азии, Европы и США, в) сформировать свои научные интересы и выполнить несколько крупных спектральных обзоров, г) сохранить как спектры [Клочкова и Таволжанская, 1997], так и результаты обработки спектров по своим научным программам [Клочкова, 1991е; Клочкова и Панчук, 1987в; Клочкова и др., 1990], д) разработать базу для применения метода моделей атмосфер к спектрам звезд различных типов, и применить этот метод, е) подготовить несколько спектроскопистов до уровня кандидата наук. Основные научные результаты этого периода приведены в обзоре [Клочкова, 1991б].

7. Спектроскопическая аппаратура второго поколения

Анализ степени использования спектральной аппаратуры, изготовленной для БТА промышленностью по вышеупомянутым техническим заданиям, вызвал определенное разочарование. За первые 10 лет работы БТА по расписанию (1977-1986 гг.) эта аппаратура использовалась в режимах, предусмотренных проектными заданиями (т.е. с фотопластинкой или ЭОПом с фотографической регистрацией), 798 ночей из 1257 ночей, выделенных для спектроскопии звезд (спектрографы ОЗСП и СП-161 использовались 783 и 15 ночей соответственно); и всего 115 ночей из 1059 ночей, выделенных для спектроскопии галактик и звезд со средним разрешением (спектрографы СП-160 и СП-161 использовались 108 и 7 ночей соответственно). Таким образом, 60% спектроскопических наблюдений были выполнены в новых режимах, не предусмотренных проектными заданиями (данные получены по составленным в результате анализа расписаний работы БТА таблицам 1 и 2 из [Панчук, 1998]). Остановимся на некоторых деталях процесса появления новых методов и приборов.

В самом конце 70-х были приняты директивные решения, обязывающие промышленность выполнить ряд работ по повышению эффективности БТА. К этому времени уже было ясно, что создание промышленностью новых образцов астрономической спектральной аппаратуры практически невозможно. Поэтому было решено улучшать существующую аппаратуру, адаптируя ее под новые светоприемники. Спектроскопии высокого разрешения это касалось в области переоснащения ОЗСП дифракционными решетками, перехватывающими весь коллимированный пучок (диаметром 260мм), и создания дополнительной камеры с внешним фокусом (F:1.1), ориентированной на использование ЭОПа с большим (до 40мм) полем. Конструкция камеры предполагала наличие сменных корректоров поля, устанавливаемых перед фокальной плоскостью в зависимости от используемого диапазона длин волн. Исходя из опыта работы на камере ОЗСП с внутренним фокусом (F:1.1), нам удалось убедить коллег, что камера подобной светосилы с внешним фокусом окажется неэффективной и следует строить камеру (F:2.3). Перечисленные работы были завершены только в начале 90-х, а до этого развитие спектроскопии высокого разрешения проводилось за счет внутренних ресурсов САО.

С 1985 г. в рамках организованной Группы спектроскопии звезд (ГСЗ), наряду с выполнением научных программ, авторам было поручено внедрение многоканальных фотоэлектрических методов в спектроскопию высокого разрешения. Работа базировалась на использовании одного из серии светоприемников комплекса КВАНТ [Афанасьев и др., 1987]. Этот приемник, состоящий из трехкаскадного ЭОПа с электромагнитной фокусировкой, оптического переброса и телевизионной трубки, весил почти центнер и не мог использоваться в главном фокусе БТА или в фокусе Нэсмит-1, где к тому времени на базе спектрографа СП-124 устойчиво работал сканер БТА [Драбек и др., 1986; Балегга и др., 1979]. Мы решили реконструировать спектрограф СП-161, который изначально предполагалось устанавливать в фокусе Нэсмит-1, поочередно со спектрографом СП-124. Реконструкция заключалась в адаптации нового светоприемника, создании адекватных средств калибровки, и стационарной установке спектрографа в фокусе Нэсмит-2, предназначенном ранее только для ОЗСП. В 1987 г. метод «Двумерный счетчик фотонов на эшелле-спектрографе» уже использовался в наших наблюдениях (т.н. период опытной эксплуатации), а с 1988 г. был предоставлен для плановых наблюдений [Клочкова и Панчук, 1991б]. Таким образом на БТА был стационарно установлен и введен в эксплуатацию реконструированный спектрограф, уровень использования которого ранее, за первые 10 лет работы БТА, составил всего 22 ночи (см. [Панчук, 1998]). Формат изображений, накапливаемых на новом приборе, составлял 512×512 элементов, накопление и первичная обработка выполнялись на специализированном процессоре и ЭВМ типа СМ-4. Были созданы методы первичной обработки эшелле-спектров [Клочкова и Галазутдинов, 1991; Галазутдинов, 1992]. «Заложниками» этих методов наблюдатели САО стали на долгие годы (т.к. вся обработка выполнялась в САО, вплоть до тех пор, пока часть заявителей не освоила эти или аналогичные методы и перенесла часть процедур обработки спектров в свои организации).

Успех внедрения цифровых методов регистрации в спектроскопию высокого разрешения позволил нам выступить в 1989 г. с инициативой о реконструкции ОЗСП для применения новых светоприемников (в кудэ-спектрографе 2.6-м телескопа Крымской АО матрицы ПЗС уже использовались с 1985 года [Березин и др., 1991]). Инициатива реконструкции ОЗСП не была поддержана коллегами (заявки и соответствующее распределение времени под фотографические наблюдения на ОЗСП как из САО, так и извне, продолжались до 1992г включительно), поэтому мы обратились к задаче создания эшелле-спектрографа со спектральным разрешением, не уступающим достигнутому на ОЗСП. В начале 1989 г. в ГОИ (лаборатория дифракционных решеток, Э.А.Яковлев) была изготовлена первая крупноформатная эшелле (R2), и затем в течение трех месяцев в САО был изготовлен автоколлимационный эшелле-спектрограф ЭСПАК [Клочкова и др., 1991б] (с диаметром коллимированного пучка 100 мм), который использовался на этапе перехода от двумерных счетчиков фотонов к первым матрицам ПЗС (конструкция прибора позволяла устанавливать на нем поочередно оба типа светоприемников).

Упомянем еще два примера применения двумерного счетчика фотонов на аппаратуре высокого спектрального разрешения. В 1990 и 1991 гг. мы провели реконструкцию камер ОЗСП, $F=310$ см и $F=60$ см соответственно, с

целью использования счетчика фотонов в режиме регистрации одного спектрального порядка одновременно с регистрацией фона ночного неба [Клочкова и Панчук, 1991в], но при этом была сохранена возможность периодического возвращения к режиму фотографической регистрации. В результате такой реконструкции на ОЗСП в режиме двумерного счета фотонов были впервые получены фрагменты абсорбционных спектров ярких квазаров.

Практически все спектральные векторы, полученные в результате первичной обработки изображений эшелле-спектров, зарегистрированных на двумерных счетчиках фотонов, были сохранены в виде цифрового архива [Кононов и др., 1996].

Здесь уместно упомянуть и об одной проблеме организационного характера. Специфика выполнения наблюдений на больших телескопах США привела к появлению (в конце 50-х) новой популяции наблюдателей – т.н. ночных ассистентов (night assistance). Как правило, это были высококвалифицированные техники, в совершенстве знающие повадки телескопа и его навесной аппаратуры, умеющие безропотно (работа хорошо оплачивалась) выполнять наблюдения несколько ночей кряду и не озабоченные научным результатом. Астроном, получивший время на телескопе, имел право присутствовать при выполнении наблюдений и вносить уточнения в детали процесса. Эта система работ и взаимоотношений оказалась устойчивой в течение полувека, принята в международных астрономических учреждениях с теми изменениями, которые внесены автоматизацией приборов и компьютеризацией всего процесса. С момента начала наблюдений на БТА вопрос о замене профессиональных астрономов – ночными ассистентами неоднократно поднимался как извне, так и изнутри САО. Но если в фотографическую эпоху такой вид деятельности на БТА еще теоретически допускался и были отдельные практические попытки (правда, полученные при этом спектры и фотопластинки затем выбрасывались из-за их низкого качества), то уже при эксплуатации счетчиков фотонов вопрос перешел в область схоластики. С появлением новой, высокотехнологичной, но неавтоматизированной спектральной аппаратуры число умеющих наблюдать на БТА сократилось почти вдвое. При общем недостатке наблюдателей стало не до того, кого как называть. После перехода на матрицы ПЗС острота проблемы снизилась, но у нее сохранился психологический оттенок: заявителям при самостоятельном написании статьи не всегда удается признать, что собственно наблюдения выполнены другими астрономами. В этом вопросе, не стоящем, казалось бы, упоминания сегодня, высвечивается важное отличие отечественной практической астрофизики. У нас, в САО, ставят задачи, готовят аппаратуру, выполняют наблюдения, устраняют возникающие при этом мелкие неполадки, проводят первичную обработку и т.д. – одни и те же лица или группы лиц. Часть из них выдвигает при этом новые требования по совершенствованию аппаратуры или по созданию новой (иногда удается эти требования реализовать). Если бы мы своевременно перешли на БТА к системе ночных ассистентов, то, как уверены авторы, данные заметки содержали бы только описание той аппаратуры, которой телескоп был оснащен изначально.

8. Некоторые программы, выполненные на двумерных счетчиках фотонов

В 1987-1990 гг. нами выполнена программа исследования звезд, принадлежащих голубой части горизонтальной ветви (ВНВ) шаровых скоплений М13, М15, и М71 [Клочкова и Галазутдинов, 1991, Клочкова и др., 1991в]. Использовался эшелле-спектрограф среднего разрешения ($R=3000$) с двумерным счетчиком фотонов [Клочкова и Панчук, 1991б], что позволяло регистрировать спектр в диапазоне 320-700 нм звезд до 18-й величины включительно. Важно было получить спектры наиболее горячих звезд горизонтальной ветви (ЕНВ), где масса звезды приближается к массе гелиевого ядра. Спектры 23-х звезд шаровых скоплений исследовались относительно спектров 20 горячих звезд рассеянных скоплений. Были обнаружены вариации интенсивностей линий ионов легких элементов и дисперсия других характеристик атмосфер, что интерпретируется как наличие звезд, практически полностью или частично потерявших водородную атмосферу на этапе гелиевой вспышки.

На спектрографе ЭСПАК с двумерным счетчиком фотонов была начата программа исследования химического состава пульсирующих звезд гало, которая была затем продолжена на эшелле-спектрографе с матрицей ПЗС [Галазутдинов и Клочкова, 1995].

В целом период работы с двумерными счетчиками фотонов (1986-1991) для спектроскопии высокого разрешения оказался менее продуктивным в научном выходе (по отношению к предыдущему и последующему периодам), и причин здесь несколько. Во-первых, небольшой динамический диапазон (скорость счета не должна была превосходить 0.5 события на канал в секунду) ограничивал величину сигнал/шум ($S/N < 50$ на канал), которую можно было достичь за время накопления, сравнимое с характерным временем проявления нестабильностей светоприемника (1 час). А в этот период в звездной спектроскопии уже преобладали задачи, требующие более высоких значений S/N . Во-вторых, метод оказался трудоемким, коллективным и сильно зависящим от уровня инженерного обеспечения, что было непривлекательным для большинства астрономов, привыкших к определенной стабильности и самостоятельности на телескопе. В-третьих, отдельную проблему составляли хранение и обработка материала, например, двумерные изображения просто было негде хранить в большом количестве. Это обстоятельство исключало и режим быстрой спектроскопии, реализованный позже, да и то только в случае счета фотонов на двух линейках сканера [Сомов и др., 1998]. В-четвертых, ощущался некомплект аппаратуры, например, фокус Нэсмита-2 не имел ни одного стационарно установленного телевизионного подсмотра. В-пятых, на этот период пришлась и эпоха изучения особенностей поведения новой (реализованной на ЭВМ типа СМ) системы управления БТА и безуспешных попыток решения проблемы колебаний телескопа. Но главным, по нашему убеждению, было то, что для спектроскопии высокого разрешения период 1987-1992 гг. был переходным: одни астрономы продолжали фотографическую регистрацию, тогда как другие освоили полные технологические циклы (спектрограф, светоприемник, вычислительная техника, цифровая обработка), связанные с внедрением новых светоприемников. Таким образом, в течение 5 лет аппаратура высокого разрешения использовалась с двумерными счетчиками фотонов лишь часть времени, чего, в сочетании с погодным фактором,

оказалось недостаточно для выполнения ряда программ. Обеспечивать столь различающиеся виды наблюдений (фотографию и многоэлементные счетчики фотонов), на одном телескопе (и даже на одном спектрографе, например, на ОЗСП, см. табл.1 в [Панчук, 2001]), было затруднительно. Затраты труда небольшой группы (от 2-х до 4-х человек в разные годы) на развитие аппаратуры, подготовку к наблюдениям и их выполнение, на обработку всего наблюдательного материала были столь велики, что иногда приходилось жертвовать научным выходом. Такая ситуация не объединяла людей, и продвижение цифровых методов в спектроскопии высокого разрешения было медленным.

9. Спектроскопическая аппаратура третьего поколения

Аппаратурой третьего поколения называем спектрографы, разработанные с применением матриц ПЗС. Этот период нашей деятельности практически совпал с преобразованием Группы спектроскопии звезд (ГСЗ) в лабораторию (ЛСЗ, 1991 г., зав.лаб. В.Е.Панчук, с 1996 г. зав.лаб. В.Г.Клочкова). Круг задач остался прежним: а) личные научные программы по результатам наблюдений на БТА, б) развитие спектроскопических методов, в) обеспечение значительной доли наблюдательных программ на БТА (подготовка аппаратуры, выполнение наблюдений и первичная обработка всех спектров).

В 1990 г. Лаборатория перспективных разработок САО (ЛПР, зав. лаб. С.В.Маркелов), предоставила в ГСЗ для решения задач спектроскопии высокого разрешения светоприемник на основе матрицы ПЗС с объемным каналом (фоточувствительная область 580×520 элементов, размер пикселя 24×18 мкм, неоднородность чувствительности 2%, шум считывания $18 e^-$). Сбор осуществлялся на ПЭВМ АТ286. Светоприемник был испытан на спектрографе ЭСПАК, а в 1991 г. была начата его эксплуатация на новом эшелле-спектрографе РЫСЬ (с диаметром коллимированного пучка 100 мм), также разработанном в Группе спектроскопии звезд и установленном в фокусе Нэсмит-2 [Панчук и др., 1993]. К этому времени в фокусе Нэсмит-2 «набралось» 4 стационарно установленных спектрографа, пригодных для применения матрицы ПЗС: ОЗСП, с камерой $F=60$ см [Панчук, 2001], эшелле-спектрограф среднего разрешения СП-161 [Клочкова и Панчук, 1991б], автоколлимационный спектрограф ЭСПАК [Клочкова и др., 1991б] и эшелле-спектрограф РЫСЬ. Комплекс спектрографов был скомпонован так, что вход на любой из них обеспечивался при одном положении вторичного зеркала БТА, это открывало путь к созданию двухплечевых спектральных систем – одного из элементов предложенной нами концепции спектроскопии звезд на БТА [Клочкова и Панчук, 1991в]. Комплекс обеспечивался общим телевизионным подсмотром с ЭОП, единой системой калибровки, общими каналами связи и управления. Это обстоятельство также являлось важным элементом концепции – стационарная установка спектрографов облегчала их эксплуатацию, что, в условиях постоянной недоукомплектованности спектральной аппаратуры обслуживающим персоналом, принципиально облегчало труд астрономов. Инженеры привлекались только для коммутации каналов связи и настройки телевизионного подмотра. В те времена нам удавалось в экстренных случаях (например, вспышка Сверхновой 1993J) быстро переносить светоприемник с

одного спектрального прибора на другой, затрачивая на это время, сравнимое с перенаведением телескопа с объекта на объект. Комплекс светоприемной аппаратуры, разработанный в ЛППР, отличался высокой надежностью (в среднем один ремонт или профилактика за два года). Наличие указанного ассортимента спектральной аппаратуры позволяло нам выполнять ее поочередное усовершенствование без риска «провалить» наблюдения – в расписании наблюдений удавалось организовывать чередование использования различных спектрографов. Таким образом обеспечивался важнейший элемент концепции – развивать спектральную аппаратуру, постоянно имея в готовности как минимум один метод наблюдений с высоким разрешением. А необходимость непрерывного продвижения небольшими шагами объяснялась прозаически – отсутствие достаточных финансовых средств (методическая революция на БТА происходила в самый неординарный период финансирования научных исследований в стране) оставляло два варианта развития: или строить постепенно, от сета к сету наращивая возможности прибора; или вообще ничего не строить, дожидаясь лучших времен.

Важным элементом данного этапа развития спектральной аппаратуры явилось решение о принципах построения новой аппаратной БТА – совокупности помещений, где находятся наблюдатели, средства управления аппаратурой и средства сбора информации со светоприемников. В 1993-1994 гг. обсуждались две точки зрения: а) аппаратная содержит одну мощную ЭВМ, которая поочередно, на период выполнения наблюдений, обслуживает разные методы (спектрографы) и б) аппаратная содержит несколько ПЭВМ среднего уровня, каждая из которых закреплена за отдельным методом наблюдений или группой близких методов. Второй, сегодня очевидный для всех вариантов, вызывал тогда много возражений, но был реализован, что позволило далее развивать отдельные методы так, как считали нужным их авторы. Более того, схема «разветвленной аппаратной» существенно облегчает подготовку и тестирование (заранее, до дня смены вида наблюдений), спектрографов БТА. В развитие вычислительных и коммуникационных средств аппаратной БТА определяющий вклад внесли сотрудники отдела информатики САО (зав.отд. В.В.Витковский) и астрономы, ответственные за методы наблюдений. В середине 90-х был выполнен основной объем работ по новой АСУ БТА. Успех этих работ определился, по нашему мнению, тем, что основные разработчики (В.С.Шергин и др.) были из САО, учитывали опыт как служб эксплуатации, так и астрономов. Новая АСУ БТА допускала развитие, что впоследствии привело к ощутимому повышению эффективности спектроскопических наблюдений в фокусе «Нэсмит-2».

В различные периоды наше взаимодействие с астрономами – заявителями программ наблюдений на БТА – осуществлялось по-разному. В «фотографический» период заявитель после завершения наблюдений получал фотопластинки со спектрограммами, спектры калибровок, говорил «спасибо» и дальнейшую обработку проводил, как правило, в своем (или другом) учреждении. Эта схема работы была удобной для астрономов-наблюдателей САО, но привела к тому, что практически ни одна из спектрограмм не была возвращена в САО и для повторного использования результаты наблюдений оказались утерянными. В период «счетчиков фотонов» практически вся обработка (а следовательно, и архивирование) выполнялась в САО, что

приводило к дополнительной загруженности астрономов-наблюдателей САО, но зато архивы в большинстве случаев сохранены. В начале периода «матрицы ПЗС» были предприняты меры, способствующие распространению поставленной в ЛСЗ технологии обработки и анализа эшелльных спектров в другие исследовательские группы. Эта технология содержала три компонента: обработку двумерных изображений эшелле-спектра, обработку отдельных спектральных порядков, анализ результатов методом моделей атмосфер. Техника работы с двумерными изображениями, основы которой были заложены еще в эпоху двумерных счетчиков фотонов, была развита в работах ГСЗ [Клочкова и Галазутдинов, 1991], техника работы со спектральными векторами – также в ГСЗ [Галазутдинов, 1992], а математический аппарат метода моделей атмосфер был перенесен с ЭВМ серии ЕС на ПЭВМ типа IBM AT ученым-визитером САО (1989-90 гг.) В.В.Цымбалом [Цымбал, 1995]. Все соответствующие алгоритмы были распространены прежде всего среди реальных и потенциальных заявителей наблюдательного времени для спектроскопии высокого разрешения на БТА. Важно подчеркнуть, что средства обработки и количественной интерпретации спектров были ориентированы на уже доступные отечественным астрономам ПЭВМ (IBM AT386), на которых было весьма затруднительно развернуть «неусеченные» версии общепризнанных систем обработки (MIDAS и IRAF). Эта политика, проводимая лабораторией в течение нескольких лет (до появления мощных ПЭВМ и рабочих станций), привела к увеличению количества астрономов, способных самостоятельно работать с ПЗС-эшелле-спектрами. К сожалению, часть подготовленных таким образом заявителей получала время на БТА эпизодически и вскоре переключилась на работу со спектрами, получаемыми на других телескопах, в основном, на инструментах Европы и США.

В 1993 г. на заседании Ученого совета и семинаре САО мы предложили программу перевода спектроскопии высокого разрешения с матрицами ПЗС на использование приборов с большим диаметром коллимированного пучка. Предлагалось создать три спектральные системы с диаметрами коллимированного пучка не менее 25 см: а) на базе ОЗСП, б) эшелле-спектрограф БТА (впоследствии НЭС), в) эшелле-спектрограф фокуса кудэ 1-м телескопа. Забегая вперед, отметим, что в части, касающейся БТА, эта программа была выполнена.

В 1995 г. сотрудники ЛПР завершили работу по созданию трех комплектов светоприемника на основе матрицы ПЗС 1060×1040 элементов, (размер пикселя 13×13 мкм, более компактная электроника, сбор на ПЭВМ AT386). Один из этих комплектов был предназначен для развития методов спектроскопии высокого разрешения. Нам следовало либо адаптировать существующие спектрографы под новый формат приемника, либо построить новые оптические схемы. Продвигались по обоим направлениям: а) спектрограф РЫСЬ был существенно реконструирован (появился набор сменных решеток скрещенной дисперсии, был заменен объектив камеры [Панчук и др., 1999а]), б) был построен эшелле-спектрограф первичного фокуса PFES (с диаметром коллимированного пучка 50 мм [Панчук и др., 1998а]). А светоприемник на основе матрицы ПЗС 580×520 элементов получил при этом статус резервного, с ним готовился дополнительный вариант наблюдений (в основном на ОЗСП).

Осенью 1996 г. наши предложения по созданию эшелле-спектрографа с большим диаметром коллимированного пучка были приняты, в течение 1997 года нэсмитовский эшелле-спектрограф (НЭС) был построен [Панчук и др., 1999б], а в январе 1998 г. были выполнены первые наблюдения с матрицей ПЗС 1060×1040 элементов. Большие габариты НЭС (диаметр коллимированного пучка от 240 до 270 мм, фокусное расстояние коллиматора 7200 мм), привели к тому, что достройка прибора выполнялась непосредственно на платформе фокуса «Нэсмит-2», поэтому спектрографы СП-161, ЭСПАК пришлось заранее демонтировать, а спектрограф РЫСЬ – полностью реконструировать, объединив его конструктивно со схемой НЭС. На период выполнения этих работ единственным работающим эшелле-спектрографом БТА являлся заблаговременно построенный спектрограф первичного фокуса PFES. Кроме того, не прекращались наблюдения на ОЗСП.

Дальнейшее развитие аппаратуры высокого спектрального разрешения состояло в дооснащении существующего набора спектрографов (НЭС, РЫСЬ, PFES и ОЗСП) анализаторами поляризации [Найденов, 1998], резателями изображения [Панчук и др., 2003], абсорбционными ячейками с парами йода [Панчук и др., 1998б], интерферометром Фабри-Перо [Панчук, 2000]. Были усовершенствованы методы калибровки и обработки спектров, созданы новые алгоритмы для работы со спектрами, полученными в сложных режимах (например, с анализатором круговой и линейной поляризации, скомбинированным с резателем изображения) [Юшкин и Клочкова, 2004]. Была также разработана оптическая схема, развивающая демонтированный из фокуса «Нэсмит-2» спектрограф СП-161 и в результате новый эшелле-спектрограф среднего разрешения ($R=4000$) с матрицей ПЗС был установлен в фокусе «Нэсмит-1» и испытан в наблюдениях [Монин и Панчук, 2002]. Результаты создания и исследования спектрографов высокого разрешения БТА опубликованы [Панчук и др., 1998а, 2001, Клочкова и др., 1999а, 2000, Панчук, 2001]. К сожалению, по независящим от нас обстоятельствам, процессы автоматизации этих спектрографов затянулись, и сегодня на БТА все еще нет ни одной системы высокого спектрального разрешения, полностью управляемой дистанционно.

В 2001 г. на спектрограф НЭС был установлен светоприемник на основе матрицы ПЗС 2048×2048 элементов, созданный в Копенгагенском университете под научную программу Н.Е.Пискунова (Университет Уппсала). В сочетании с кварцевой оптикой камеры спектрографа этот светоприемник открыл новые возможности работы в коротковолновом диапазоне [Панчук и др., 2002а]. С 2000 года приборы фокуса «Нэсмит-2» оснащены локальным корректором положения звезды [Иванов и др., 2001], работа которого позволила исключить колебания телескопа, связанные с режимом ручной коррекции, принципиально изменила характер наблюдений и снизила нагрузки на механическую часть системы управления БТА.

Итак, с матрицами ПЗС различных форматов на БТА использовались 4 системы высокого спектрального разрешения (R): а) основной звездный спектрограф (ОЗСП), $15000 > R > 5000$; б) эшелле-спектрограф первичного фокуса (PFES), $R=15000$; в) эшелле-спектрограф красного диапазона (РЫСЬ), $R=34000$; г) кварцевый эшелле-спектрограф (НЭС), $80000 > R > 50000$. По расписаниям

наблюдений на БТА мы подсчитали, что с 1992 по 2006 г. включительно для наблюдений на этих приборах было выделено 366, 81, 336 и 365 ночей соответственно. (Под наблюдения на ОЗСП для исследований звездного магнетизма было дополнительно выделено еще несколько десятков ночей, в основном из резерва и технического времени). В последние 5 лет наиболее популярными приборами являются ОЗСП и НЭС, отношение выделяемого времени составляет 1:2. Следовательно, программа перевода спектроскопии высокого разрешения на БТА на системы с коллимированными пучками большого диаметра выполнена.

10. Спектроскопия с применением ПЗС: избранные программы

Исследованиям звезд высокой светимости, находящихся на кратковременных стадиях эволюции, посвящен отдельный обзор в данном сборнике [Клочкова, 2006]. Ниже перечислим другие программы, выполненные нами с применением спектрографов, оснащенных матрицами ПЗС. Свои научные интересы мы обеспечивали путем наблюдений на созданных эшелле-спектрографах.

Абсорбционные спектры ярких квазаров

В 1994 году на ОЗСП с матрицей ПЗС были выполнены наблюдения абсорбционных спектров квазаров [Варшалович и др., 1996]; эта работа была отмечена в 1997 году – за исследования изменений фундаментальных постоянных на космологических временах ей была присуждена Главная премия МАИК по физико-математическим наукам.

Атласы спектров

Опыт, накопленный при выполнении различных наблюдательных программ, позволил приступить к составлению (по оригинальным спектрограммам, полученным на БТА) цифровых атласов спектров избранных объектов [Ченцов и др., 1997, 2003, Клочкова и др., 2003а, 2004б, Панчук и др., 2002б].

Химический состав звезд гало

Переход на новые системы регистрации серьезно расширил наши возможности в исследованиях химического состава звезд гало, находящихся как в поле [Клочкова и др., 1999б, Мишенина и др., 1992, 1995, 1997, 1999, 2000, Клочкова и Панчук, 1996, Киппер и др., 1996, Ермаков и др., 2002, Бэй и др., 2004], так и в составе шаровых скоплений [Клочкова и др., 1994, Клочкова и Мишенина, 1998, Клочкова и Самусь, 2001, Клочкова и др., 2003б].

Проблема лития

Содержание лития исследовалось как в атмосферах субкарликов, в связи с проблемой космологического синтеза легких элементов [Клочкова и Панчук,

1994, 1995а,б], так и в атмосферах звезд высокой светимости, в связи с проблемой синтеза и разрушения в оболочках звезд, см., например, [Андриевский и др., 1999].

Пульсирующие звезды

Еще в эпоху фотографической спектроскопии стало ясно, что регулярный спектроскопический мониторинг переменных звезд на БТА проводить практически невозможно. Поэтому в исследованиях переменных звезд был в первую очередь принят подход изучения химического состава, для большинства объектов такие исследования выполнены впервые [Андриевский и др., 1994, 1995, 1998, 2002, Галазутдинов и Ключкова, 1995, Усенко и др., 1995, 2000, 2001а,б,в, 2005, Ковтюх и др., 1996, Паунцен и др., 1999]. Вторым приемлемым направлением исследований пульсирующих звезд на БТА является спектроскопия на коротких временах (минуты, часы), т.е. изучение нерадиальных пульсаций [Мкртчян и др., 1999, Рзаев и Панчук, 2004].

Звезды высокой светимости

Большое число сверхгигантов, исследованных методом моделей атмосфер, позволило построить систему спектроскопической калибровки параметров [Ковтюх и др., 1998]. Интенсивно исследовались LBV – ярчайшие звезды Галактики, уверенная идентификация которых возможна только по спектрам высокого разрешения [Мирошниченко и др., 1998, 1999, 2000а,б, 2003, 2004, Ключкова и Ченцов, 2004].

Двойные звезды

Исследования двойных звезд проводились эпизодически, т.к. получение спектрограмм в заранее избранные моменты времени затруднено [Витриченко и Ключкова, 2000, 2001, 2004. Витриченко и др., 1998, 2004, Мирошниченко и др., 2002а,б].

Измерения круговой и линейной поляризации

Традиционно в САО для измерения магнитных полей развивались как фотографические методы, так и модуляционные фотоэлектрические. Модуляция была основой тех фотоэлектрических методов, где отсутствовала возможность столь длительного накопления сигнала в обоих поляриметрических каналах, когда особенности приема (колебания положения звезды на щели/диафрагме, изменения прозрачности и качества изображений, флуктуации работы светоприемного и электронного трактов – осреднялись во времени. Попытки реализовать идею применения модуляционных методов к «медленному светоприемнику» – матрице ПЗС, состоящую в попеременном переносе спектров разной поляризации в различные области хранения заряда [МакГроу и др., 1982], вызвали разочарование: в матрице с модулированным распределением накапливаемого заряда «размножились» дефекты кристаллической структуры и накапливались последствия неустойчивой работы

электроники (т.н. «Ликский эффект»), кроме того, возростал темновой сигнал [Миллер и др., 1988]. Первые попытки измерения эффективных магнитных полей при помощи матриц ПЗС были выполнены далеко не сразу после того, как ОЗСП был переоборудован нами (1992 г.) для применения матрицы ПЗС 580×520 элементов. В 1994 г. на ОЗСП с матрицей ПЗС были начаты наблюдения круговой и линейной поляризации в спектрах магнитных звезд (И.И.Романюк), а в 1996 – поиск магнитных полей в атмосферах белых карликов (С.Н.Фабрика). С 1997 г. измерения поляризации выполняются на ОЗСП при помощи светоприемника на основе матрицы ПЗС 1040×1160 элементов, специально адаптированного в ЛПР для этих исследований. Существенное повышение эффективности таких наблюдений произошло после реконструкции ОЗСП с целью использования новых дифракционных решеток (размер заштрихованной области 320×360 мм), полностью перехватывающих коллимированный пучок [Панчук, 2001]. С 2004 г. на ОЗСП используется матрица ПЗС 2048×2048 элементов, комплект светоприемной аппаратуры также изготовлен в ЛПР.

Поляриметрические наблюдения с более высоким разрешением, необходимым для задач исследования неоднородностей звездной поверхности, на спектрографе НЭС были начаты нами в 1999 г. по программе В.Л.Хохловой, а в 2000 г. – и по программе Н.Е.Пискунова (Уппсала, Швеция), с 2004 г. выполнение наблюдений по этой программе самостоятельно продолжено сотрудниками Группы исследований звездного магнетизма. Кроме восстановления картины концентрации разных химических элементов по поверхности звезды, авторы заявок (Н.Пискунов, О.Кочухов) создали также уникальные алгоритмы, позволяющие восстановить картину распределения полного вектора магнитного поля по поверхности звезды. С этой целью необходимо получать спектры высокого разрешения с высоким отношением сигнал/шум на спектрографе, оснащенный анализатором линейной и круговой поляризации.

Измерения линейной поляризации после плоского зеркала фокуса Нэсмита требуют учета или компенсации инструментальной поляризации. Поэтому мы переоборудовали эшелле-спектрограф первичного фокуса PFES в спектрополяриметр, на котором исследовано несколько объектов [см., например, Панчук и др., 2001; Ключкова и др., 2004a].

Рейтинг исследований

Появление первых публикаций по результатам спектроскопии на БТА с матрицами ПЗС совпало с началом наукометрических исследований в нашей стране (вычисление индексов цитирования и т.п.). Не склоняясь к такому способу оценки научного творчества, все же отметим, что рейтинг работ по спектроскопии высокого разрешения, выполненных на БТА, превышает все другие отечественные работы по физике звезд [см., например, <http://www.scientific.ru/whoiswho/whoiswho.html>]. Отметим также, что часть программ, начатых нами с коллегами на БТА, продолжена на других оптических телескопах. В период спектроскопии с матрицами ПЗС нам также удалось подготовить несколько спектроскопистов до уровня кандидата наук.

11. Перспективы (техника)

При фиксированных возможностях телескопа повышение эффективности спектроскопии идет только за счет создания систем с более высоким потенциальным качеством (произведение спектрального разрешения, светосилы по потоку и числа одновременно передаваемых элементов спектра), т.е. почти полностью определяется форматом и квантовой эффективностью светоприемника.

Наши наблюдения с высоким спектральным разрешением были начаты в 1990 г. на матрице 520×580 элементов, в 1995 – на матрице 1040×1060 элементов, в 2001 – на матрице 2048×2048 элементов, в нынешнем году ожидается завершение изготовления в ЛПР САО первого приемника форматом 2048×4096 элементов. Это означает, что раз в пять лет необходимо было существенно корректировать возможности спектральных приборов БТА. В августе 2001 г. Научный Совет РАН по астрономии включил в план развития инструментальной базы российской астрономии пункт о создании оптоволоконного эшелле-спектрографа БТА с разрешением до $R=100000$, для широкого диапазона длин волн, с возможностью измерения поляризации. В 2004 г. обсерватория выделила деньги на разработку и изготовление первых оптических элементов. Поэтому по указанной проблеме уже можно сделать некоторые утверждения.

Современная астрономическая спектроскопия высокого разрешения является достаточно консервативным направлением, где качественные скачки (внедрение оптоволоконной схемы белого зрачка, переход к линзовым камерам, применение мозаичных эшелле с увеличенным углом блеска R_4 , распределение спектрального диапазона на две независимые оптические схемы) уже состоялись. В ближайшие десять лет прогресс может быть обеспечен только в результате оптимального комбинирования достижений из различных технологических областей. Это: а) внедрение новых сортов стекол, б) переход от оптических расчетов к построению полной численной модели спектрографа, в) внедрение технологий микрооптики и адаптивной оптики, г) разработка систем прецизионного удержания объекта на входе в спектрограф, д) совершенствование оптоволоконной техники, е) развитие технологии высокоэффективных покрытий оптических поверхностей, ж) внедрение новых технологий производства диспергирующих элементов (голографические решетки с объемным фазированием), з) привлечение интерферометрических методов, и) удвоение числа элементов светоприемника (относительно формата 2048×4096 элементов), к) применение более мощных вычислительных процессоров, л) совершенствование методов обработки сигнала, м) заимствование некоторых технологий космического приборостроения (например, в области обеспечения надежности), н) поиск новых решений в организации спектроскопических наблюдений (например, непрерывное использование дорогостоящего спектрографа с питающей оптикой разного диаметра, или возможность оперативной смены наблюдательного варианта по условиям астроклимата).

Мы специально останавливались подробно на истории техники спектроскопии высокого разрешения на БТА, чтобы аргументировать наш вывод: неоптимальное развитие обязано или неудачному прогнозу, или несогласованности действий разных групп сотрудников. Например, из 9 камерных объективов, которыми были оснащены 4 спектрографа первого поколения, основную научную продукцию БТА в течение первого десятилетия обеспечивали

только два объектива (подробнее см. в [Клочкова и Панчук, 1991в, и Панчук, 1998]), т.е. или ассортимент аппаратуры был predetermined ошибочно, либо астрономы уже при внедрении спектральной аппаратуры первого поколения «сработали не полностью». Не исключено, что при выборе пути дальнейшего развития можно допустить аналогичные просчеты. Так, например, в нашей стране традиционно считается, что наилучшей гарантией успеха является повторение схем, проверенных на телескопах Запада. При этом сознательно (или нет) упускаются три обстоятельства. Во-первых, у нас нет таких денег. Во-вторых, копирование того, что уже работает, означает запрограммированное отставание лет на 15. Например, если в качестве прототипа нового спектрографа для БТА возьмем UVES VLT (трудозатраты на создание прибора стоимостью 6.7 млн. марок составили 40 человеко-лет), то следует учесть, что проектирование UVES было завершено в 1992 г., а спектрограф вступил в строй в 2000г. В-третьих, сегодня у нас нет работающих схем промышленного создания спектроскопической аппаратуры для наземных телескопов.

Выполненный нами анализ расписаний БТА и телескопов Европейской Южной Обсерватории показал, что отставание CAO во внедрении спектральных систем, оснащенных матрицами ПЗС, на протяжении 15 лет составляло в среднем 7 лет (если сравнивать по основному параметру, определяющему информативность – по формату светоприемника). Далее это отставание в спектроскопии высокого разрешения будет только нарастать, т.к. сегодня на БТА нет спектральной системы с полем, соответствующим формату ПЗС 2048×4096 элементов, а создание таких систем требует не менее 5-7 лет.

Отметим еще одно важное обстоятельство. Для фотографической спектроскопии на ОЗСП БТА с 1977 г. было выделено 1013 ночей за 13 лет, в среднем по 78 ночей в год. Для наблюдений с высоким разрешением на ПЗС, с 1992 г. на все спектрографы было выделено 1148 ночей за 15 лет, в среднем по 76 ночей в год. Следовательно, любой, самый совершенный спектрограф высокого разрешения, способный заменить несколько аналогичных приборов-«самоделок», получит на БТА около 20% календарного времени. Поэтому, начиная с определенной стоимости спектрографа высокого разрешения, экономичным решением является дооснащение прибора вспомогательной оптикой (небольшим телескопом), питающей спектрограф тогда, когда большой телескоп используется с другой аппаратурой. Примеры такого решения нам известны.

Опыт создания спектральной аппаратуры БТА и выполнения разнообразных наблюдений, который мы приобрели вместе с коллегами, высокий уровень разработки светоприемной аппаратуры, достигнутый в ЛПР CAO, адекватная оценка ситуации, в которой находится отечественная наземная астрономия – все это позволяет надеяться, что развитие методов спектроскопии высокого разрешения для БТА продолжится.

12. Возможные перспективы (наука)

Ограничимся упоминанием избранных научных программ, не претендуя на правильность выбора. (В ангажированной части научного сообщества роль звездной спектроскопии высокого разрешения уже незначительна, так что тут позволительно ошибаться, без больших последствий для картины мира,

которую сотни специалистов, работающих вне оптического диапазона, обещают нам вскоре нарисовать).

Современное состояние техники спектроскопических наблюдений звезд на крупнейших телескопах позволяет сформулировать относительно новые типы задач, значительную часть которых можно классифицировать по следующим направлениям: «астроархеология», «астросейсмология», «астрокартография», исследование экзопланет, исследование эволюции на критических стадиях. Перечисленные ниже задачи либо решаются на 6-метровом телескопе БГА, либо для их решения нами только создана методическая база, а систематические исследования не выполняются. Можно также сказать, что задачи такого уровня являются обоснованием для дальнейшего развития техники спектроскопии высокого разрешения как на БГА, так и на других крупных инструментах.

I. «Астроархеология». Под этим понятием объединены исследования далекого прошлого Галактики. В качестве примера кратко упомянем две задачи.

1). *Оценка первичного содержания лития, бериллия и бора.* Известно, что эти элементы образуются преимущественно в реакциях скалывания в космических лучах, на ядрах CNO-группы. Небольшое количество этих элементов успевает синтезироваться в течение нескольких минут в эпоху Большого Взрыва, когда ядра CNO еще отсутствовали. Соотношение концентраций изотопов Li, Be и B космологического происхождения служит хорошим критерием выбора параметров модели Большого Взрыва. Наблюдения показали, что при переходе от населения галактического диска к населению гало содержание лития уменьшается на порядок, но в пределах населения гало уже не понижается при дальнейшем понижении металличности – т.н. «литиевое плато». Этот факт долгое время интерпретировался как указание на космологическое происхождение ядер лития, наблюдаемых в атмосферах самых старых, крайне медленно эволюционирующих звезд. Что касается бериллия и бора, то у тех групп старых звезд, где содержание лития уже постоянно с увеличением возраста, содержание Be и B продолжает снижаться. Это интерпретируется как указание на синтез ядер Be и B в первичных космических лучах. Лишь у самых старых звезд намечается выход на постоянные значения концентраций Be и B с возрастом, т.е. выход на «космологические значения». Таким образом, исследуя содержание ядер Li, Be и B в атмосферах самых старых звезд Галактики, мы получаем эмпирические ограничения если не на параметры моделей Большого Взрыва, то, по крайней мере, на характеристики спектра первичных космических лучей. На БГА мы выполнили обширные исследования содержания лития (линия 670.7 нм) у звезд гало. Подготовлена аппаратура для изучения содержания бериллия по линии 313нм (спектрограф НЭС). Содержание бора может быть изучено только по ультрафиолетовым спектрам, получаемым на орбитальном телескопе.

2). *Ториевый космохронометр.* Обычно возраст Галактики оценивается по возрасту наиболее старых звезд – малометаллических субкарликов, т. е. на основании теории эволюции маломассивных звезд. С применением таких оценок к населению шаровых скоплений получены оценки возраста, противоречащие теории Большого Взрыва. Положение

эволюционных треков (и изохрон) определяется не только содержанием гелия и тяжелых элементов, но зависит и от других модельных приближений (главным образом, от разновидностей теории перемешивания). Поэтому интересно было бы оценить возраст самых старых звезд Галактики независимым методом – на основе эффективно применяющегося при исследовании вещества Солнечной системы метода радиоактивного распада. С этой целью следует выполнить поиск и исследование линий долгоживущих радиоактивных изотопов в спектрах звезд разного возраста. Мы приступили к спектроскопическим измерениям содержания долгоживущего изотопа тория в атмосферах наиболее старых звезд Галактики. Наиболее близкий к торью ($Z=90$) элемент, имеющий стабильные изотопы – висмут ($Z=83$) – расположен далеко по шкале атомных номеров. Шесть элементов, расположенных между висмутом и торием, распадаются так быстро, что посредством медленной нейтронизации вещества (s-процесс) не удается «перепрыгнуть» через такой провал в шкале атомных номеров. Поэтому торий, как и уран ($Z=92$), синтезируется только в r-процессе. Период полураспада тория сравним с возрастом Галактики, что увеличивает вероятность наблюдения линий этого элемента в спектрах старых звезд. Торий в звездных спектрах представлен, в основном, линиями долгоживущего изотопа торий-232, одна из наиболее сильных линий которого ThII 401.91нм находится рядом с линией NdII 401.88нм. Эти линии имеют близкие потенциалы возбуждения и представляют стадию ионизации, доминирующую в атмосферах G-карликов. Ионизационные потенциалы также близки. Поэтому анализ спектров методом моделей атмосфер практически не вносит ошибок в определение отношения «торий/неодим». Главным фактором, определяющим успех в решении задачи, является сочетание высокого спектрального разрешения с высоким отношением сигнал/шум в регистрируемых спектрах субкарликов. В отличие от уран-ториевого хронометра, используемого при исследовании вещества Солнечной системы, ядра пары торий-неодим существенно разнесены по атомному весу, поэтому основная трудность рассматриваемого метода состоит в необходимости знать историю синтеза неодима. (Если торий синтезируется в r-процессе, то неодим – частично в r- и частично в s-процессе). Мы не знаем точно, как на протяжении жизни Галактики соотносились вклады этих процессов в наблюдаемый химический состав. Поэтому наблюдения пары линий тория и неодима следует дополнить наблюдениями линий других элементов. Например, барий и стронций синтезируются преимущественно в s-процессе, тогда как европий – в r-процессе. Кварцевый эшелле-спектрограф (НЭС) БТА позволяет выполнять наблюдения в широком диапазоне длин волн, т.е. мы имеем возможность определять содержание около 30-ти химических элементов и задействовать таким образом большое число параметров, ограничивающих выбор модели нуклеосинтеза в Галактике.

II. «Астросейсмология». Этот термин объединяет попытки «заглянуть внутрь звезды» путем исследования свойств ее поверхности. Укажем две задачи, позволяющие изучать распределение массы и температуры в недрах звезд.

1). *Исследование спектра нерадиальных пульсаций.* Радиальные пульсации звездных оболочек известны с начала XX века. Установлена

зависимость «период пульсаций – светимость звезды», позволяющая определять расстояния до звездных систем (скопления звезд, ближайшие галактики и скопления галактик) по наблюдениям пульсирующих звезд (цефеид), находящихся в этих системах. Звезды могут иметь спектр нерадиальных пульсаций, выявить которые намного сложнее, но и не менее важно. Дело в том, что характеристики спектра нерадиальных пульсаций отражают распределение массы вдоль радиуса звезды. Таким образом, существует принципиальная возможность исследования внутреннего строения звезд. Например, по спектру пульсаций можно определить, на какой глубине начинается гелиевое ядро. Эта задача имеет хорошую теоретическую проработку (современные ЭВМ позволяют построить сетку численных моделей внутреннего строения), и недостаточную экспериментальную основу (необходимо измерять лучевую скорость звезды с точностью до 10 м/сек и с частотой до одного спектра в минуту. Более того, ряды наблюдений должны быть непрерывными и длительными. Например, наблюдая одну из быстроосциллирующих пекулярных звезд на БГА в течение ночи, мы затем «передавали» ее коллегам из обсерватории МакДональд (Техас), чтобы они продолжили наблюдения тогда, когда у нас ночь уже закончилась [Мкртчян и др., 1999]. В таких исследованиях требуется использование однотипной аппаратуры, распределенной по долготе (третий телескоп должен находиться в Китае или на Гавайях), и высокий уровень координации работ.

2). *Легкие ядра в качестве термометров звездной оболочки.* В теоретических моделях звездной эволюции наиболее слабым местом, обеспечивающим, например, известную неопределенность вычисления возраста звезды, является теория конвективного переноса энергии в звездных оболочках. Если мы не знаем, как глубоко простираются конвективные оболочки звезд, то мы не можем учитывать, как поступает в зону термоядерного синтеза свежее ядерное горючее из внешних зон оболочки. Известно, что ядра лития, бериллия и бора легко разрушаются, попадая в зону термоядерных реакций. Разрушение это идет в разной степени, наиболее легко разрушаются ядра лития, бериллий разрушается при более высокой температуре, эффективное разрушение ядер бора идет тогда, когда конвективное перемешивание «цепляет» за самые высокотемпературные слои оболочки. Экспериментально задача выглядит следующим образом. Наблюдаются спектры звезд в составе звездного скопления, для членов которого можно постулировать общность происхождения дозвездного химического состава (т.е. исходное количество Li, Be и В одинаково для каждой звезды). У звезд разной температуры (массы) глубина проникновения нижней границы конвективной оболочки различна. Есть звезды, демонстрирующие пониженное (относительно дозвездного) содержание лития, и нормальное (дозвездное) содержание бериллия и бора. Есть звезды с пониженным содержанием лития и бериллия – конвективная оболочка у этих звезд простирается до более горячих слоев.

III. «Астрокартография». Конвективное перемешивание приповерхностных слоев хорошо работает у звезд солнечного типа (давно известна грануляция солнечной фотосферы). У самых горячих звезд топология атмосфер определяется истечением вещества вследствие давления излучения. У звезд промежуточной температуры (преимущественно спектрального класса А) нестабильность атмосфер определяется только осевым вращением звезд

(точнее, возникающими при этом дифференциальными движениями). У медленно вращающихся А-звезд роль макроскопических движений в атмосфере понижена, и на первый план выходят магнитные свойства звездной атмосферы. Как показали массовые спектроскопические исследования В и А-звезд в скоплениях разного возраста, выполненные одним из авторов (К.В.Г.) на БТА более 20 лет назад, магнитные свойства звездных атмосфер не играют определяющей роли в характере звездной эволюции вблизи главной последовательности. Однако магнитные свойства могут регулировать миграцию ионов различных химических элементов по поверхности звезды. Известно, что различные химические элементы концентрируются в избранных зонах разной формы (пятна, кольца). Эффекты концентрации (или дефицита содержания элемента) проявляются в форме и интенсивности спектральных линий. Форму и расположение таких зон можно установить, регистрируя спектр при различной ориентации (изменяющейся вследствие осевого вращения звезды) зоны относительно наблюдателя. Спектры высокого разрешения, полученные с высоким отношением сигнал/шум для разных фаз осевого вращения звезды, содержат информацию, позволяющую восстановить карту звездной поверхности.

IV. Обнаружение и изучение экзопланет. Открытие планетных систем у относительно близких звезд сыграло в мировоззрении не меньшую роль, чем тезис Н.Коперника о множественности миров. Доказательством является бум, разразившийся со времени открытия первой экзопланеты (с 1995 года по настоящее время на нескольких телескопах, оснащенных специализированными спектрографами, уверенно открыто более сотни экзопланет).

1). *Обнаружение периодических изменений лучевой скорости центральной звезды.* Экзопланеты обнаруживаются по небольшим (с амплитудой порядка десятков м/сек) колебаниям лучевой скорости звезды, вокруг которой обращается менее массивный невидимый спутник. Например, наличие Юпитера в Солнечной системе наблюдатель, находящийся в планетной системе другой звезды, может обнаружить путем наблюдений спектра Солнца с последующими измерениями лучевой скорости. Точность таких измерений должна позволять обнаружить амплитуду изменений лучевой скорости в 12 м/сек за 11 лет (орбитальный период Юпитера). При этом гипотетический наблюдатель должен учесть все движения той точки, с которой он выполняет наблюдения. Требования к экспериментам по обнаружению экзопланет чрезвычайно высоки (необходимо выявлять сдвиги спектральных линий, составляющие всего тысячную долю ширины элемента светоприемника, имеющего характерные размеры 15-20 микрон). На БТА с 1995 года нами отработана технология, позволяющая проводить такие исследования [Панчук и др., 1998б]. Свет, собранный телескопом, подается на вход спектрографа через абсорбционную ячейку, содержащую пары йода. Узкие линии молекул йода, накладывающиеся на спектр исследуемой звезды, являются идеальным репером для кросс-корреляционных измерений лучевой скорости с указанной точностью. Рассмотрены также возможности интерферометрических методов измерения доплеровских смещений [Панчук, 2000, Панчук и Алиев, 2004].

2). *Значительное число обнаруженных экзопланет позволяет исследовать статистику их свойств (масса и параметры орбитального*

движения). Оказывается, что ни в одном случае не реализуется та картина, которую мы привыкли наблюдать в Солнечной системе. Наша планетная система является скорее исключением из правил. В остальных случаях планеты-гиганты находятся очень близко к центральной звезде (ближе, чем Меркурий к Солнцу). Это обстоятельство является тяжелым ударом для теории происхождения и эволюции Солнечной системы. (Мы перестали понимать, как был построен дом, в котором живем. Уникальность устройства этого дома невольно ассоциируется с уникальностью жизни во Вселенной). В нашей системе планеты-гиганты имеют более низкую удельную плотность, чем планеты земной группы. Это свидетельствует о фракционировании химических элементов в протопланетном облаке. Планеты-гиганты в других системах находятся так близко к центральной звезде, что о наличии газообразных оболочек говорить не приходится (поверхностные температуры экзопланет превосходят тысячу градусов). Вопрос о сепарации химических элементов в системах с экзопланетами можно изучать путем исследования химического состава звезд с экзопланетами, и звезд, вокруг которых экзопланеты не обнаружены. Первые исследования показали, что статистически значимые различия химического состава двух указанных выборок намечаются.

V. Спектроскопический мониторинг объектов на критических стадиях звездной эволюции. Под критическими стадиями здесь подразумеваем такие, когда в спектрах проявляются (или могут быть выявлены) дополнительные характеристики, исключающие неоднозначную трактовку или, по крайней мере, снижающие набор вариантов интерпретации проявлений звездной эволюции. В качестве примера приведем спектроскопию звезд на стадии «после асимптотической ветви гигантов». Программа начата сразу после создания адекватных средств наблюдения на БТА и с небольшими перерывами продолжается второй десяток лет. Столь продолжительная программа может вызывать вопрос: «Когда планируется завершение?». Мы считаем, что нынешнее положение БТА, когда появилось много новых крупных телескопов, является выигранным только по одному признаку – наличию результативных программ, причем уже более длительных, чем те, которые начаты позже на новых телескопах.

Поставить на БТА перспективную программу наблюдений – еще не значит выполнить эту программу. Особенно это касается программ, в основу которых положен продолжительный спектроскопический мониторинг (особенности астроклимата и многопрограммный статус телескопа приводят к растягиванию выполнения таких программ на годы). Кроме того, ряд программ требует гарантированного сохранения характеристик спектральной аппаратуры также в течение нескольких лет. Поэтому в каждой из новых длительных научных программ многопрограммный БТА в соревновании на тему «Кто раньше получит результат?» будет начинать из менее выгодной позиции, чем любой специализированный телескоп, имеющий, по крайней мере, такое же количество ясных ночей.

Это рассуждение поддержим некоторыми цифрами из работы Панчука [1998]. По данным расписаний работы БТА в 1977-1996 гг., для спектроскопических исследований звезд (подчеркнем, с любым спектральным разрешением) было выделено 37% календарного времени, или 2726 ночей. Распределение суммарной продолжительности времени, полученного каждым

из 120 заявителей, показывает, что на 47 заявителей, каждый из которых получил не более 5 ночей за рассматриваемый период, пришлось всего 157 ночей, или 6% времени, выделенного для спектроскопии звезд. Опираясь на данные по астроклимату [Ерохин и Пляскин, 1983] и на результаты анализа архива эшелле-спектрографов БТА, мы считаем, что выполнимость программы общей продолжительностью 5 ночей маловероятна (это 2 ясные ночи за 20 лет). Если предположить, что за 20 лет каждый заявитель мог запрашивать время для последовательного выполнения (в среднем) двух программ (что ближе к реальности), то распределение «число заявителей – число ночей» следует обрезать уже на уровне 10 ночей (по 5 на программу). В этом случае ожидаемые потери времени вследствие дробления возрастают до 12% (или 69 заявителей, получивших 318 ночей). Результаты библиографического поиска (на момент 1998 г.) показали, что из этих 69 заявителей только 8 имеют одну или более публикаций по данным, полученным на БТА. Приходим к выводу, что за первые 20 лет работы БТА из 120 заявителей, получивших время на спектроскопические исследования звезд, половина не имеет опубликованных результатов. Статистика по спектроскопическим исследованиям внегалактических объектов дает близкую оценку, см. [Панчук, 1998]. Если учесть, что, кроме спектроскопии, на БТА были и другие виды наблюдений, то оценка «неэффективности вследствие дробления» достаточно оптимистична: «мелкой монетой» потеряно 2 года из 20 лет, такова плата за «демократичность БТА», когда, при наличии определенной настойчивости, время на телескопе (рано или поздно) получал практически каждый заявитель.

Предстоит признать, что из статуса самого большого телескопа в мире (каковым БТА являлся более 15 лет) не следовала автоматически его высокая научная эффективность по нескольким направлениям одновременно (из-за запаздывания в оснащении современной аппаратурой; несовместимой с особенностями астроклимата средней доле выделяемого на программу времени; значительной доле программ, не завершившихся публикациями; или даже из-за наличия ошибочно поставленных наблюдательных программ). Предстоит также согласиться с тем, что новая роль БТА как единственного крупного оптического телескопа России, прежде всего, состоит в сохранении и поддержании небольшой популяции астрономов-спектроскопистов, связавших свою судьбу с судьбой отечественной науки.

13. Благодарности

Развитие методов высокого спектрального разрешения трудно себе представить без влияния старших коллег, в первую очередь И.М.Копылова, Б.К.Иоаннисиани, А.А.Боярчука, Р.Е.Гершберга. Мы признательны также всем сотрудникам САО, поддержавшим наши идеи своим мнением и своим трудом. Мы благодарны нашим молодым коллегам С.В.Ермакову и М.В.Юшкину, разделившим с нами трудности работы и наблюдений на БТА в последнее десятилетие. Мы благодарны всем своим соавторам.

Работа по развитию средств спектроскопии высокого разрешения на БТА была постоянно в поле внимания астрономической общественности и администрации САО. Финансовая поддержка научной и научно-технической

работы в данном направлении была оказана ГНТП «Астрономия», Программой Президиума РАН «Наблюдаемые проявления эволюции химического состава звезд и Галактики» и Программой Отделения физических наук РАН «Протяженные объекты во Вселенной», Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 04-02-17564а и 05-07-90087в). Работа поддержана также Американским Фондом Гражданских исследований и Развития (CRDF, проекты RP1-2264 и RUP1-2687-NA-05), Международным научным фондом ISF (проекты NUO000/300 и J86100), Шведским исследовательским комитетом по естественным наукам (проект 405018412-8).

Авторы благодарят Н.С.Таволжанскую за помощь в подготовке рукописи.

Литература

- Алексеев Г.Н., Драбек С.В., Саморуков Г.С. 1983, Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв., т.67, с.177.
- Андриевский и др. (Andrievsky S.M., Kovtyukh V.V., Usenko I.A., Klochkova V.G., Galazutdinov G.A.) 1994, *Astron. & Astrophys. Suppl.* v.108, p.433-440.
- Андриевский и др. (Andrievsky S.M., Chernyshova I.V., Usenko I.A., Kovtyukh V.V., Panchuk V.E., Galasutdinov G.A.) 1995, *PASP*, v.107, p.219-224.
- Андриевский и др. (Andrievsky S.M., Chernyshova I.V., Klochkova V.G., Panchuk V.E.) 1998, *Contr. Astron. Observ. Scalnate Pleso*, p.446-448.
- Андриевский и др. (Andrievsky S.M., Gorlova N.L., Klochkova V.G., Kovtyukh V.V., Panchuk V.E.) 1999, *Astron. Nachr.* v.320, p.35.
- Андриевский и др. (Andrievsky S.M., Kovtyukh V.V., Luck R.E., Lepine J.R.D., Bersier D., Maciel W.J., Barbuy B., Klochkova V.G., Panchuk V.E., Karpishech R.U.) 2002, *Astron. Astrophys.*, 381, p.32.
- Антропов Ю.Ф. 1972, В кн. «Новая техника в астрономии», вып.4, с.75-77.
- Афанасьев В.Л., Балегга Ю.Ю., Грудзинский М.А., Кац Б.М., Маркелов С.В., Нощенко В.С., Цуккерман И.И., 1987, *Техн. средств связи, сер. Техника телевидения*, вып.5, с.13.
- Балегга И.И., Верещагина Р.Г., Маркелов С.В., Небелицкий В.Б., Сомов Н.Н., Сомова Т.А., Спиридонова О.И., Фоменко А.Ф., Фоменко Л.П., Чепурных Г.С., 1979, *Астрофизические исслед. (Изв. САО АН СССР)*, т.11, с.248.
- Березин В.Ю., Зуев А.Г., Кирьян Г.В., Рыбаков М.И., Хвиливицкий А.Т., Ильин И.В., Петров П.П., Саванов И.С., Щербаков А.Г., 1991, *Письма в АЖ*, т.17, с.953-960.
- Борисов и Панчук (Borisov Yu.V., Panchuk V.E.) 1986а, *Astrofiz. Issled. (Izvestija SAO)*, 22, p.17-24.
- Борисов и Панчук (Borisov Yu.V., Panchuk V.E.) 1986б, *Soobsch. SAO*, iss.49, p.5-29.
- Борисов и Панчук (Borisov Yu.V., Panchuk V.E.) 1986в, *Soobsch. SAO*, iss.49, p.30-39.
- Боуэн (I.S.Bowen), 1952, *Astrophys. Journ.*, v.116, p.1.

- Буренкова О.С., Коровяковская А.А., Назаренко И.И. 1982, *Астрофизические исследования* (Изв. САО АН СССР), т.16, с.108-115.
- Буренкова О.С., В.П.Горошков, В.М.Гурин, А.А.Коровяковская, Ю.П.Коровяковский, А.Ф.Назаренко, И.И.Назаренко, В.С.Шергин. 1984, *Астрофизические исследования* (Изв. САО АН СССР), т.18, с.105-110.
- Бэй и др., (Bai G.S., Zhao G., Chen Y.Q., Shi J.R., V.G. Klochkova, V.E. Panchuk, Qiu H.M., Zhang H.W.) 2004, *Astron. & Astrophys.*, v.425, p.671-682.
- Васильев А.С., 1976, *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.*, т.55, с.224.
- Васильев А.С., Евзеров А.М., Лобачев М.В., Пейсахсон И.В., 1977, *Оптико-механич. промышл.*, вып.2, с.31.
- Варшалович Д.А., Панчук В.Е., Иванчик А.В., 1996, *Письма в Астрономический журнал*, т.22, с.8-16.
- Витриченко Э.А., Ключкова В.Г. 2000, *Письма Астрон. ж.*, т.26, с.133-145.
- Витриченко Э.А., Ключкова В.Г. 2001, *Письма Астрон. ж.*, т.27, с.381-392.
- Витриченко Э.А., Ключкова В.Г. 2004, *Астрофизика*, т.47, с.169-174.
- Витриченко Э.А., Ключкова В.Г., Плачинда С.И. 1998, *Письма Астрон. ж.*, т.24, с.352-358.
- Витриченко Э.А., Ключкова В.Г., Цымбал В.В. 2004, *Астрофизика*, т.47, с.494.
- Галазутдинов Г.А., 1992, *Препринт САО*, No.92.
- Галазутдинов и Ключкова, (Galazutdinov G.A., Klochkova V.G.) 1995, *Astron. & Astrophys. Transactions*, v.8, p.227-237.
- Глаголевский Ю.В., Чунтонов Г.А., Найденов И.Д., Романюк И.И., Рядченко В.П., Борисенко А.Н., Драбек С.В. 1979, *Сообщения САО*, вып.25, с.5-16.
- Глаголевский Ю.В., Ключкова В.Г., Копылов И.М. 1987, *Астрон.ж.*, 64, с.360-366.
- Гриффин и Ганн (Griffin R., Gunn J.E.), 1974, *Astrophys.J.*, v.191, p.545.
- Гуляев и др. (Gulyaev S.A., Panchuk V.E., Pleshakov V.V., Pyatkes S.G.) 1986, *Astrofiz. Issled. (Izvestija SAO)*, v.22, p.3-12.
- Гуляев и др. (Gulyaev S.A., Panchuk V.E., Pyatkes S.G.) 1987, *Astrofiz. Issled. (Izvestija SAO)*, v.25, p.60-67.
- Гусев О.Н., Зандин Н.Г., Лобачев М.В., 1976, *Оптико-механич. промышл.*, вып.12, с.63.
- Данхэм (Dunham T.Jr.), 1956, *Vistas in Astronomy*, v.2, p.1223.
- Додонов С.Н. 1985, *Астрофизические исследования* (Изв. САО АН СССР), т.20, с.157-161.
- Драбек С.В., Копылов И.М., Сомов Н.Н., Сомова Т.А. 1986, *Астрофизические исслед.* (Изв. САО АН СССР), т.22, с.64.
- Ермаков С.В., Ключкова В.Г., Панчук В.Е., Жао Г. 2002, *Астрон.ж.*, т.80, No.12, с.874-886.
- Ерохин В.Н., Пляскин С.П., 1983, *Астрофиз. Исслед.* (Изв. САО), т.17, с.40.
- Зандин Н.Г., Гусев О.Н., Пейсахсон И.В., 1977а, *Оптико-механич. промышл.*, вып.6, с.20.
- Зандин Н.Г., Колесников А.Е., Пейсахсон И.В., Лобачев М.В., 1977б, *Оптико-механич. промышл.*, вып.2, с.34.
- Иванов и др. (Ivanov A.A., Panchuk V.E., Shergin V.S.) 2001, *Preprint SAO*, N155.
- Киппер и Ключкова (Kipper T.A., Klochkova V.G.), 1987, *An atlas of the spectrum of Aldebaran 4000-6720*. Tallinn, Valgus, p.1-50.

- Киппер и др. (Kipper T., Jorgensen U.G., Klochkova V.G., Panchuk V.E.) 1996, *Astron. & Astrophys.* v.306, p.489-500.
- Клочкова В.Г. 1983, *Сообщения САО*, No.37, с73-80.
- Клочкова В.Г. 1985, *Письма Астрон. ж.*, 11, с.502-510.
- Клочкова В.Г. 1991а, *Астрофиз. исслед.*, (Изв. Спец. Астрофиз. Обсерв.), v.34, p.48-54.
- Клочкова В.Г. 1991б, *Астрофиз. исслед.*, (Изв. Спец. Астрофиз. Обсерв.), т.34, с.5-30.
- Клочкова В.Г. 1991в, *Астрофиз. исслед.*, (Изв. Спец. Астрофиз. Обсерв.), v.34, p.31-35.
- Клочкова В.Г. 1991г, *Астрофиз. исслед.*, (Изв. Спец. Астрофиз. Обсерв.), v.34, p.36-47.
- Клочкова В.Г. 1991д, *Письма в Астрон. ж.*, т.17, с.732-740.
- Клочкова В.Г. 1991е, *Сообщ. Спец. Астрофиз. Обсерв.*, вып. 66, с.5-36.
- Клочкова В.Г. 1991ж, *Спектроскопические проявления эволюции звездных атмосфер*. Докт. дисс. в форме научн. доклада. Н.Архыз, с.1-115.
- Клочкова В.Г. 2006 (в данном сборнике).
- Клочкова В.Г., Копылов И.М. 1984а, *Астрон. ж.*, 61, с.136-142.
- Клочкова В.Г., Копылов И.М. 1984б, *Письма Астрон. ж.*, 10, с.508-515.
- Клочкова В.Г., Копылов И.М. 1985, *Астрон. ж.*, 62, с.947-955.
- Клочкова В.Г., Копылов И.М. 1986, *Астрон. ж.*, 63, с.240-245.
- Клочкова В.Г., Мишенина Т.В. 1998, *Астрон. ж.*, т.75, с.349-354.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1985а, *Письма Астрон. ж.*, 11, с.692-695.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1985б, *Астрон. ж.*, 62, с.552-557.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1985в, *Известия САО*, 20, с.16-21.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1986а, *Письма Астрон. ж.*, 12, с.446-451.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1986б, *Письма Астрон.ж.*, 12, с.928-935.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1987а, *ПАЖ*, 13, с.56-62.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1987б, *Астрон. ж.*, 64, с.74-78.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1987в, *Сообщ. САО*, вып.54, с.5-72.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1988а, *Известия САО*, 26, с.14-26.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1988б, *Известия САО*, 26, с.27-37.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1988в, *ПАЖ*, 14, с.77-84.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1988г, *ПАЖ*, 14, с.933-939.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1989а, *ПАЖ*, 15, с.236-242.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1989б, *Известия САО* т.27, с.25-33.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1989в, *Препринт САО*, No.31, с.2-22.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1989г, *ПАЖ*, 15, с.617-624.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1990а, *ПАЖ*, т.16, с.619-624.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1990б, *ПАЖ*, т.16, с.435-443.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., 1991а, *Письма в Астрон. ж.*, т.17, с.536-543.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., 1991б, *Препринт САО*, No.70.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., 1991в, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), т.33, с.3.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е. 1994, *УФН*, т.164, с.657-660.
- Клочкова и Панчук, (Klochkova V.G., Panchuk V.E.) 1995а, In: *The light elements abundances, ESO/EIPC Workshop, Elba, May 1994, P.Crane. (Ed.) Springer Verlag*, p.328-334.

- Клочкова и Панчук, (Klochkova V.G., Panchuk V.E.) 1995б, In: IAU Joint Discussion 11. Stellar and Interstellar Lithium and Primordial nucleosynthesis. The Hague, 22 August 1994. Mem. Soc. Astr. Ital., v.66, No.2, p.333-336.
- Клочкова и Панчук, (Klochkova V.G., Panchuk V.E.) 1996, Sov. Astron.J., v.73, No.6, p.912-929.
- Клочкова и Самусь (Klochkova V.G., Samus N.N.) 2001, Astron. & Astrophys. 378, 455.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., Рядченко В.П., 1991б, Письма в Астрон.ж., т.33, с.3.
- Клочкова и Таволжанская, (V.G.Klochkova, N.S.Tavolgenskaya), 1997. Preprint SAO RAS, No.117, p.1-17.
- Клочкова В.Г., Таутвайшене Г.Ю. 1989, Известия САО, 28, с.103-106.
- Клочкова В.Г., Ченцов Е.Л. 2004, Астрон. ж., т.81, 1104-1118.
- Клочкова и Галазутдинов, (Klochkova V.G., Galazutdinov G.A.), 1991, Preprint SAO, No.71, p.2-20.
- Клочкова В.Г., Копылов И.М., Панчук В.Е. 1983, Астрон. ж., 60, с.1114-1119.
- Клочкова В.Г., Мишенина Т.В., Панчук В.Е. 1989, ПАЖ, 15, с.315-323.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., Федорова О.В. 1990, Известия САО v.29, p.84-99.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., Цымбал В.В. 1991а, Астрофиз. исслед. (Изв. Спец. Астрофиз. Обсерв.), т.33, с.41-52.
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., Рядченко В.П., 1991б, Письма в Астрон.ж., т.17, с.645.
- Клочкова и др. (Klochkova V.G., Panchuk V.E., Galasutdinov G.A.) 1991в, In: The atmospheres of early-type stars, U.Heber and C.S.Jeffery (Eds.) Lecture Notes in Physics. v.401, Springer-Verlag, p.247-250.
- Клочкова и др. (Klochkova V.G., Mishenina T.V., Panchuk V.E.) 1994, Astron. & Astrophys. v.287, p.881-884.
- В.Г. Клочкова, С.В. Ермаков, В.Е. Панчук, Н.С. Таволжанская, М.В. Юшкин. 1999а Препринт САО, No.137.
- Клочкова и др. (Klochkova V.G., Ermakov S.V., Panchuk V.E.) 1999б, Astrophys. & Space Sci., v.265, p.185.
- Клочкова В.Г. Ермаков С.В., Панчук В.Е., Таволжанская Н.С. 2000. Препринт САО, No.152.
- Клочкова В.Г. Ченцов Е.Л., Таволжанская Н.С., Проскурова Г.А. 2003а. Препринт САО, No.183.
- Клочкова В.Г. Панчук В.Е., Таволжанская Н.С., Ковтюх В.В. 2003б, Письма в АЖ, 29, 748
- Клочкова В.Г. Панчук В.Е., Юшкин М.В., Мирошниченко А.С. 2004а, Астрон. ж., 81, с.319-332
- Клочкова и др. (Klochkova V.G., Zhao G., Panchuk V.E., Ermakov S.V.), 2004б, Chin. J. Astron. Astrophys. V.4, No.3, P.279-283.
- Ковтюх и др. (Kovtjukh V.V., Andrievsky S.M., Usenko I.A. Klochkova ,V.G.) 1996. Astron. & Astrophys. v.316, p.155.
- Ковтюх и др. (Kovtjukh V.V., Gorlova N.I., Klochkova V.G.) 1998, Pis'ma Astron. Zhurn, v.24, p.438-442.
- Комаров и др. (Komarov N.S., Mishenina T.V., Panchuk V.E.) 1988, Astrofiz. Issled. (Izvestija SAO), v.26, p.38-41.

- Кононов В.К., Ключкова В.Г., Панчук В.Е. 1996. Препринт Спец. Астрофиз. Обсерв., No.15Т, с.1-19.
- Копылов И.М., 2003, В сб. «И.М.Копылов – полвека в астрофизике», М., ООО «Шанс». С.8-100.
- МакГроу и др. (McGraw J.T., Stockman H.S., Angel J.R.P., Epps H.), 1982, S.P.I.E., v.331, p.137.
- Миллер и др. (Miller J.S., Robinson L.B., Goodrich R.W.) 1988, Instrumentation for Ground-Based Astronomy. NY: Springer Verlag. p.157-171.
- Мирошниченко и др. (Miroshnichenko A.S., Fremat Y., Houziaux L., Andrillat Y., Chentsov E.L., Klochkova V.G.) 1998, Astron. Astrophys. Suppl., v.131, p.469.
- Мирошниченко и др. (Miroshnichenko A.S., Chentsov E.L., Klochkova V.G.) Lectures in Physics. 1999, v.523, p.272.
- Мирошниченко и др. (Miroshnichenko A.S., Chentsov E.L., Klochkova V.G.) 2000a, Astron. Astrophys. Suppl. v.144, p.379.
- Мирошниченко и др. (Miroshnichenko A.S., Chentsov E.L., Klochkova V.G., Kuratov K.S., Sheikina T.A., Mukanov D.B., Bjorkman K.S., Gray R.O., Rudy R.J., Lynch D.K., Mazuk S., Puetter R., Garcia-Lario P., Perea J.V., Bergner Yu.K.) 2000б, Astron. & Astrophys. Suppl., v.147, p.5.
- Мирошниченко и др. (Miroshnichenko A.S., Bjorkman K.S., Chentsov E.L., Klochkova V.G., Ezhkova O.V., Gray R.O. et al.) 2002a, Astron. & Astrophys., 383, p.171.
- Мирошниченко и др. (A. S. Miroshnichenko, K. S. Bjorkman, E. L. Chentsov, V.G. Klochkova, E. Manset, P. Garcia-Lario., J. V. Perea Calderon, R.J. Rudy, R. K. Lynch, J. C. Wilson and T. L. Gandet). 2002б. Astron. & Astrophys., 388, p.563.
- Мирошниченко А.С., Ключкова В.Г., Бьеркман К.С. 2003, Письма Астрон. ж., 29, с.384-392.
- Мирошниченко и др. (Miroshnichenko A.S., Gray R.O., Klochkova V.G., Bjorkman K.S., Kuratov K.S.) 2004, Astron. & Astrophys., v.427, p.937-944.
- Мишенина и Панчук (Mishenina T.V., Panchuk V.E.) 1986, Astrofiz. Issled. (Izvestija SAO), 21, p.12-15.
- Мишенина и др. (Mishenina T.V., Panchuk V.E., Komarov N.S.) 1986, Astrofiz. Issled. (Izvestija SAO), 22, p.13-16.
- Мишенина и др. (Mishenina T.V., Klochkova V.G., Ryadchenko V.P.) 1992, Astron. Astrophys. Transactions, v.3, p.183.
- Мишенина и др. (Mishenina T.V., Klochkova V.G., Panchuk V.E.) 1995, Astron. Astrophys. Suppl. v.109, p.471-477.
- Мишенина и др. (Mishenina T.V., Klochkova V.G., Panchuk V.E.) 1997. Bull. Spec. Astrophys. Observ., v.43, p.72-74.
- Мишенина и др. (T.V.Mishenina, V.G.Klochkova, V.E.Panchuk, S.V.Ermakov). Proceeding of the 35th Liege Int. Astroph. Coll. July 5-8, 1999. "The galactic halo: from globular clusters to field stars", Eds. A.Noels, P.Magainne, D.Caro, E.Jehin, G.Parmentier, A.Thoul. p.261-264.
- Мишенина и др. (Mishenina T.V., Korotin S.A., Klochkova V.G., Panchuk V.E.) 2000, Astrophys. & Astrophys., v.353, p.978.
- Мкртчян и др. (Mkrтчian D.E., Hatzes A.P. and Panchuk V.E.) 1999, Proc. NATO-ASI Conf. "Variable Stars As Essential Astrophysical Tools". Cesme, Turkey, ed. C.Ibanoglu. P.405

- Монин и Панчук, (Monin D.N., Panchuk V.E.) 2002, *Pis'ma Astron. Zhurn.*, v.28, p.940-946.
- Назаренко А.Ф. 1981, *Астрофизические исследования (Изв. САО АН СССР)*, т.13, с.98-101.
- Назаренко И.И., В.С.Шергин. 1985, *Астрофизические исследования (Изв. САО АН СССР)*, т.19, с.109-114.
- Найденов (Najdenov I.D.) 1998, *Bull. SAO*, v.45, p.117-119.
- Панчук В.Е. 1978, *Сообщения САО*, вып.22, с.3-25.
- Панчук В.Е. 1984, *Сообщения САО АН СССР*, вып.40, с.13-19.
- Панчук (Panchuk V.E.) 1998, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* v.44, p.65-70.
- Панчук В.Е. 2000, *Препринт САО*, No.144
- Панчук В.Е., 2001, *Препринт САО*, No.154.
- В.Е. Панчук, А.Н. Алиев. 2004, *Препринт Специальной астрофизической обсерватории РАН*. No.204, с.1-12.
- Панчук В.Е., Ключкова В.Г., Галазутдинов Г.А., Рядченко В.П., Ченцов Е.Л. 1993, *Письма в Астрон. журн.*, т.19, с. 1061.
- Панчук и др., (Panchuk V.E., Najdenov J.D., Klochkova V.G., et al.) 1998a. *Bull. Spec. Astrophys. Observ.*, v.44, p.127-131.
- Панчук и др., (Panchuk V.E., Yermakov S.V., Bondarenko Yu.) 1998b, *Bull. SAO*. v.44, p.132.
- Панчук В.Е., Ключкова В.Г., И.Д. Найденов, Э.А. Витриченко, Н.А. Викульев, В.П. Романенко. 1999a *Препринт САО*, No.139.
- Панчук В.Е., Ключкова В.Г., И.Д. Найденов. 1999b *Препринт САО*, No.135.
- Панчук В.Е., Ключкова В.Г., Юшкин М.В., Романенко В.П., Найденов И.Д., Ермаков С.В., 2001, *Препринт САО*, No.159.
- Панчук В.Е., Пискунов Н.Е., Ключкова В.Г., Юшкин М.В., Ермаков С.В. 2002a. *Препринт САО*, No.169.
- Панчук В.Е., Ермаков С.В., Ключкова В.Г. 2002b *Препринт САО*, No.172.
- Панчук В.Е., Юшкин М.В., Найденов И.Д. 2003. *Препринт САО*, No.179.
- Паунцен и др. (Paunzen E., Andrievsky S.M., Chernyshova, I.V., Klochkova V.G., Panchuk V.E., Handler G.) 1999, *Astron. Astrophys.* v.351, p.981.
- Рзаев А.Х., Панчук В.Е. 2004, *Письма Астрон. ж.*, 30, N3, с.376-386.
- Снежко Л.И. 1971, *Сообщения САО*, вып.3, с.3-16.
- Соколов В.В., Ченцов Е.Л. 1984, *Известия САО*, т.18, с.8.
- Сомов и др. (Somov N.N., Somova T.A., Najdenov I.D.) 1998, *Astron. & Astrophys.* v.335, p.583-586.
- Усенко и др. (Usenko I.A., Kovtyukh V.V., Andrievsky S.M., Klochkova V.G., Galazutdinov G.A.) 1995, In: *Astrophysical Applications of Stellar pulsation*, R.S.Stobie and P.A.Whitelock (Eds.) *ASP Conf. Ser.*, v.83, p.353-354.
- Усенко и др. (Usenko I.A., Kovtyukh V.V., Andrievsky S.M., Klochkova V.G., Panchuk V.E.), 2000, *SPIE*, v.4005, p.162.
- Усенко и др. (Usenko I.A., Kovtyukh V.V., Klochkova V.G., Panchuk V.E., Yermakov S.V.) 2001a. *Astron. Astrophys.* v.367, p.831.
- Усенко и др. (I.A. Usenko, V.V. Kovtyukh and V.G. Klochkova). 2001b, *Astron. & Astrophys.* v.377, p.156.
- Усенко и др. (Usenko I.A., Kovtyukh V.V., Klochkova V.G. and Panchuk V.E.) 2001в, *Astron. & Astrophys.* v.376, p. 885.

- Усенко и др. (Usenko I.A., Miroshnichenko A.S., Klochkova V.G., Yushkin M.V.) 2005, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 362, 1219
- Цымбал В.В. (Tsymbal V.V.) 1995, *ASP Conf. Ser.* V.108, p.198-199.
- Ченцов и др. (Chentsov E.L., Klochkova V.G., Mal'kova G.A.) 1997, *Bull. Spec. Astrophys. Observ.*, v.43, p.18-29.
- Ченцов и др. (Chentsov E.L., Ermakov S.V., Klochkova V.G., Panchuk V.E., Bjorkman K.S., Miroshnichenko A.S.) 2003, *Astron. & Astrophys.*, 397, p.1035-1042.
- Штоль В.Г., Бычков В.Д., Викульев Н.А., Георгиев О.Ю., Глаголевский Ю.В., Драбек С.В., Найденов И.Д., Романюк И.И., 1985, *Известия САО*, т.19, с.66.
- М.В. Юшкин, В.Г. Клочкова. Препринт Специальной астрофизической обсерватории РАН, 2004, No.206, с.1-21.

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ БТА

Ю.Ю. Балегга, С.В. Маркелов

До момента ввода 6-м телескопа в эксплуатацию созрели все предпосылки развития телевизионных методов наблюдений в нашей обсерватории собственными силами.

Во-первых, к тому времени уже имелся интересный опыт использования телевизионных систем для наблюдений Луны и планет. Пионером в этой области стала обсерватория Кембриджского университета (Великобритания, 1952 г.). В нашей стране телевизионные наблюдения начались в 1956 г. Н.Ф. Купревичем в ГАО АН СССР. В последующем телевизионная техника стала применяться в ГАИШе (Липский Ю.Н. и др., 1962) и КРАО (Прокофьева В.В. и др., 1969). В приведенных примерах использовались стандартные промышленные телевизионные системы на суперорбитонах, которые были наиболее высокочувствительными в то время. Регистрация изображений выполнялась фотографированием с экрана телевизионного монитора.

Во-вторых, с начала 50-х годов отечественная прикладная телевизионная аппаратура развивалась очень высокими темпами как стратегическая область техники. Качество электровакуумных телевизионных преобразователей свет-сигнал и систем на их основе обеспечивалось на самом высоком уровне. В многочисленных лабораториях Министерства электронной промышленности велись разработки новых типов высокочувствительных телевизионных передающих трубок, а также поисковые исследования по созданию твердотельных приемников излучения.

В-третьих, интенсивное развитие микроэлектроники и вычислительной техники уже наметило возможности цифровой регистрации изображений, что позволило бы значительно повысить эффективность процесса наблюдений на телескопе. Впервые в 1972 г. это было продемонстрировано Мак Кордом и Вестфалем в виде двумерного фотометра на основе кремникона, телевизионной трубки класса видикон.

В 1973 г. по инициативе канд.техн.наук А.Фоменко и при активном содействии директора И.М. Копылова была создана группа оптико-электронных многоканальных систем (ОЭМС), в задачу которой входило развитие спектроскопических, фотометрических и других телевизионных методов наблюдений на 6-м телескопе. В качестве научной задачи группа ставила перед собой поиск и изучение спектров далеких квазаров на $z > 1$. В последующие 3-4 года был укомплектован состав группы, в которую вошли преимущественно физики и астрономы, выпускники ведущих ВУЗов страны. Наличие физиков с традиционно хорошей практической подготовкой оказалось впоследствии очень удачным выбором А.Ф. Фоменко и И.М. Копылова, поскольку в САО формировалось новое направление работ, где наиболее важным является понимание физических процессов, происходящих в приемнике изображения при преобразовании света в электрический сигнал, для поиска путей минимизации фотометри-

ческих искажений и создания точных фотоэлектронных систем. В задачи астрономов ОЭМС входили методологическое обеспечение опытных наблюдений, исследование характеристик новых наблюдательных систем, разработка наблюдательных программ. Следует отметить, что опыт использования промышленных телевизионных систем в начале 70-х годов в САО уже имелся. Он был связан с разработкой и применением методов исследований оптики Большого телескопа.

В 1975 г. в обсерватории был введен в строй телевизионный телескоп ТТ-600, спроектированный и построенный на основе узлов модели 6-метрового телескопа (Э.Б. Гажур, М.М. Кононов, В.Б. Небелицкий, А.Ф. Фоменко). Телескоп был оборудован спектрографом SPM-2, телевизионным подсмотром щелевой части спектрографа, а также системой телевизионного искателя. Были применены промышленные телевизионные системы на суперортиконах ЛИ-217, которые обеспечили предел проникающей силы 15^m .

ТТ-600 был необходим в качестве экспериментальной базы для испытаний новой телевизионной техники. На ТТ-600 под руководством А.Ф. Фоменко на протяжении нескольких лет проводились экспериментальные и наблюдательные работы с телевизионной аппаратурой, которые дали много полезных практических результатов в части выработки требований к будущей аппаратуре 6-м телескопа.

Опыт исследований и эксплуатации суперортиконов, накопленный в группе ОЭМС, а также другими разработчиками, показал, что такие телевизионные трубки не могут быть применены для измерительных целей. Это было обусловлено нелинейными эффектами преобразования слабых изображений в видеосигнал, трудностями обеспечения стабильности телевизионного раstra и т.д. В связи с этим выполнялись экспериментальные исследования разнообразных передающих трубок классов видикон и супервидикон зарубежного и отечественного производства, на которых создавались лабораторные образцы телевизионных систем. Можно сказать, что наша обсерватория прошла такой же путь поиска и применения наилучших приемников изображения для спектрофотометрии и фотометрии, включая различные типы электронно-оптических преобразователей (ЭОП), как и вся экспериментальная астрономия, что было характерно для 70-х годов.

Наибольший интерес представляли трубки с кремниевой мишенью – кремникон и суперкремникон, как наиболее чувствительные в своих классах. Данные трубки обладали большим динамическим диапазоном, линейностью световой характеристики, простотой в эксплуатации. На кремниконе была построена единственная лабораторная спектрофотометрическая система, которая, впрочем, не нашла практического применения из-за невысокой проникающей силы при испытаниях на 60-см телескопе. Суперкремниконы, как приборы с электронно-оптическим усилением, имели на 2-3 порядка более высокую чувствительность и успешно использовались на протяжении многих лет в разных системах. В их конструкции впервые были применены волоконно-оптические диски на входе с нанесенным фотокатодом и электростатическая фокусировка электронного изображения, что существенно повышало геометрическую стабильность.

В 1975-1977 гг. по инициативе А.Ф. Фоменко группа ОЭМС выполняла разработку первого в отечественной астрономии телевизионного спектрофотометра, в основу которого были положены принципы телевизионного счета фотонов, предложенные А. Боксенбергом в 1971 г. В 1977 г. спектрофотометр уже был испытан в наблюдениях на 6-м телескопе со спектрографом UAGS в первичном фокусе. В качестве приемника изображения были использованы трехкаскадный усилитель яркости УМ-92 и суперкремникон, совместно обеспечивающие квантовопредельную чувствительность с хорошим отношением сигнал/шум. Спектр проектировался на фотокатод УМ-92, на выходном люминесцентном экране которого возникали вспышки от отдельных фотоэлектронных событий. Вспышки регистрировались телевизионной системой на суперкремниконе с числом строк 512 и кадровой частотой 30 Гц. Видеосигнал обрабатывался с целью выделения геометрических центров вспышек. Получаемые отсчеты вводились в мини-компьютер и накапливались в двух одномерных массивах из 500 цифровых каналов для спектра объекта и спектра сравнения соответственно. При изображениях звезд 3", дисперсии 100 Å/мм и средней прозрачности уверенно регистрировались спектры до 19^m за 20-30 мин.

На протяжении последующих нескольких лет спектрофотометр подвергался значительному совершенствованию. Были разработаны высокостабильные источники питания для УМ-92, обеспечивающие высокую геометрическую стабильность электронно-оптического преобразования. Применялись варианты охлаждения сухим льдом и газообразным холодным азотом входного фотокатода для минимизации темнового тока. Была разработана новая телевизионная система с высокой стабильностью управления суперкремниконом. В окончательном варианте спектрофотометра были применены четырехкаскадный усилитель яркости фирмы ЕМІ (Великобритания) и отечественный суперкремникон ЛИ-702.

К началу 80-х сотрудниками группы ОЭМС был накоплен уже значительный опыт в создании и развитии метода телевизионных наблюдений на 6-м телескопе. В.Б. Небелицкий и О.И. Спиридонова совершенствовали методику наблюдений, А.Ф. Фоменко и С.В. Маркелов модернизировали телевизионную технику, Н.Н. Сомов, Т.А. Сомова и И.И. Балегга развивали методы и аппаратуру обработки телевизионного сигнала и спектров, Г.С. Чепурных и Р.Г. Верещагина разрабатывали новые конструкции телевизионных камер. Важное направление работ по созданию двумерной цифровой памяти для ввода изображений в реальном времени начали Н.Н. Сомов и Ю.Ю. Балегга.

Существенную роль в этот период сыграло становление научно-технического сотрудничества с ведущими институтами страны. Совместно с ИАЭ СО АН СССР решались проблемы ввода изображений в компьютер. Было начато сотрудничество с ЦНИИ «Электрон» по внедрению новых типов телевизионных датчиков изображения, которое успешно осуществлялось многие годы. В дальнейшем совместные работы проводились с ВНИИ Телевидения, НИИПФ (Москва), МЭЛЗ и другими разработчиками и производителями приемников изображения и систем на их основе.

В 1979 г. группа ОЭМС была преобразована в Лабораторию перспективных разработок (зав. лабораторией А.Ф. Фоменко), которая и поныне зани-

мается разработкой и внедрением наблюдательной аппаратуры на 6-м телескопе. В лаборатории открылись новые направления исследований по развитию телевизионной спекл-интерферометрии, а также созданию систем на ПЗС-матрицах.

В начале 80-х была создана первая телевизионная цифровая система накопления и обработки панорамных астрономических изображений (Ю.Ю. Балега, Н.Н. Сомов и А.Ф. Фоменко) в тесном сотрудничестве с ИАЭ СО АН СССР и на ее основе – телевизионный спекл-интерферометр БТА. Работа по созданию быстродействующей двумерной системы накопления изображений с общим объемом памяти 256 Кбайт длилась несколько лет и была исключительно трудоемкой, так как требовала объединения в единое устройство под общим управлением многих блоков памяти от ЭВМ «Электроника-100И». Соединение контактов системы методом накрутки длилось месяцами, а настройка требовала огромной концентрации внимания и большого напряжения сил. Стойка с памятью занимала половину павильона телескопа ТТ-600 (сегодня в тысячи раз большие объемы памяти размещаются в одном чипе). Занятые этой работой Н.Н.Сомов и Ю.Ю.Балега практически не покидали павильон. Вспоминается, что спали по очереди прямо возле сооружаемой стойки цифровой памяти на полке под монтажным столом – таким было желание поскорее закончить систему накопления и приступить к наблюдениям на телескопе.

В этот период стало очевидным, что требуется значительное увеличение финансирования для целевой поставки новых приемников изображения нашей обсерватории и создания систем на промышленном уровне. По инициативе А.Ф. Фоменко главный инженер Е.И. Николаев провел большую работу по согласованию с различными министерствами перспективных программ выполнения НИР, ОКР и обеспечения поставок новой техники для САО. На основе этих программ было выпущено правительственное постановление, по которому объемы финансирования САО на многие последующие годы существенно возросли, и усилилось взаимодействие с отраслевыми НИИ. В обсерваторию поставлялись новейшие телевизионные трубки, различные типы усилителей яркости, твердотельные приемники изображения. Центральным явилось сотрудничество с ВНИИ Телевидения по разработке комплекса «Квант». В основе создания этого комплекса лежал опыт САО в области телевизионного метода счета фотонов и опыт ВНИИТ по проблеме цифровой регистрации изображений в реальном времени. «Квант» включал в себя набор телевизионных систем на УМ-92 с суперкремниконом, усилителем яркости с МКП в сочетании с суперкремниконом, высокочувствительный телегид, а также комплекс цифровой регистрации изображения с кадровой памятью $512 \times 512 \times 16$ бит в составе с разнообразным компьютерным оборудованием. В 1985 г. были начаты испытания комплекса на 6-м телескопе при активном участии В.Л. Афанасьева. «Квант» находился в эксплуатации около 10 лет. В 1991 г. сотрудники САО В.Л. Афанасьев, Ю.Ю. Балега, С.В. Маркелов, а также проф. И.И.Цукерман и канд.техн.наук В.С.Нощенко (ВНИИТ) за создание и внедрение комплекса были удостоены Государственной премии в области науки и техники.

Телевизионный спекл-интерферометр для исследований звезд с дифракционным разрешением был создан на основе первых отечественных ЭОПов с микроканальным усилением, сочлененных через оптоволоконную плоскую

шайбу с ТВ-трубкой суперкремникон. В начале 80-х годов было сделано много попыток создания для астрономических целей специальных микроканальных ЭОПов (Г.Алексеев, Ю.Ю.Балега). Однако все полученные по договорам в результате разработок на закрытых предприятиях приборы оказались мало пригодными для практического применения в астрономии: поле изобиловало горячими и темными точками, приборы не выдерживали прилагаемых напряжений и часто выходили из строя. И только после создания промышленностью серийного ЭОПа марки ЭП-10 стало возможным построить первые быстродействующие детекторы для интерферометрических исследований. В спекл-интерферометре обработка изображений форматом 256×256 элементов выполнялась в реальном времени с помощью специально разработанного коррелятора. Схемотехническое решение коррелятора и системы накопления и визуализации автокорреляционных функций принадлежало нашим инженерам Н.Н.Сомову и В.П.Рядченко – уникальным специалистам для того времени в масштабах всей страны. Первые технические наблюдения выполнялись на телескопе ТТ-600 в 1981 г., а реальные астрономические результаты получены два года спустя на телескопе БТА. Они сразу показали, что на телескопе может быть реализовано дифракционное угловое разрешение для достаточно слабых объектов – тогда это были звезды 10-12-й величины. Вместе с тем стало ясным, что главными проблемами для дальнейшего применения телевизионных систем в спекл-интерферометрии являются нестабильность телевизионной развертки и низкая квантовая эффективность фотокатода ЭОПа. Тем не менее, интерферометрические наблюдения звезд с использованием телевизионных трубок типа суперкремникон велись на БТА около 10 лет. С их помощью получены данные о геометрии сотен двойных и кратных звезд, угловых диаметрах многих холодных звезд-гигантов, строения ядерных областей ближайших сейфертовских галактик.

Следует отметить, что спекл-интерферометрические исследования на БТА с помощью телевизионной цифровой техники в течение ряда лет велись параллельно с аналоговой регистрацией изображений на высокочувствительные фотопленки. Эти работы выполнялись харьковскими астрономами (В.Н.Дудинов, В.С.Цветкова и др.) совместно с руководителем Лаборатории астросветоприемников В.С.Рыловым. Обработка накопленных на пленке серий спекл-интерферограмм проводилась в обсерватории Харьковского госуниверситета на когерентной оптической установке. Точность этого метода была выше, чем при телевизионной регистрации, однако сложность обработки изображений, нелинейность фотографических процессов, а также очень низкая проникающая способность (около 4-5 звездной величины) привели к тому, что к 1988 году метод перестал применяться в наблюдениях.

С 1991 г. спекл-интерферометрическое направление разработок и исследований сосредоточено в отдельной лаборатории методов астрономии высокого разрешения (МАВР) под руководством Ю.Ю. Балеги. С этого же времени в лаборатории начинается работа по модернизации в части замены телевизионных трубок на ПЗС-матрицы. Проблемы, связанные с нестабильностью разверток, были устранены, но возникли новые трудности, связанные с соединением ПЗС и ЭОП. Тем не менее, такие «гибридные» приборы способствовали существенному продвижению ПЗС-систем в астрономическое приборостроение.

В середине 90-х телевизионные трубки были вытеснены в интерферометрии быстродействующими ПЗС-системами, которые на порядок улучшили точность измерений структуры объектов и позволили выполнять фотометрические измерения. В настоящее время на БТА в спекл-интерферометрических наблюдениях в качестве приемника все так же используется трехкамерный ЭОП с электростатической фокусировкой, с экрана которого усиленное по яркости изображение переносится на быстродействующую ПЗС-матрицу форматом 1024×1024 элементов. Благодаря применению в спекл-интерферометре высококачественной оптики стала возможной регистрация звезд до $13-14^m$, а динамические характеристики приемника позволили обнаруживать пары с разностью блеска в 3.7^m . Был достигнут дифракционный предел для 6-метрового телескопа $0.02''$. Автоматическая система управления оптическими элементами интерферометра позволила вести работу во время наблюдений с высокой производительностью. Вместе с тем проблемы, связанные с малой квантовой эффективностью и неоднородностью фотокатода ЭОП, по-прежнему существуют.

В последнее время появились матрицы с уникальными структурами, в которых осуществляется лавинное умножение электронов в каждом элементе изображения непосредственно в кремнии ПЗС-структуры. Благодаря этому в таких приборах удалось снизить эквивалентный шум считывания до 0.002 электронов при усилении в несколько тысяч. При быстродействии, сравнимом с обычными ПЗС, приборы с электронным усилением обладают существенно большей квантовой эффективностью, достигающей 95% . Немаловажным преимуществом является также отсутствие высоких напряжений характерных для систем с ЭОПами. Кроме того, наличие больших уровней освещенности на входе не приводят к деградации и выходу приборов из строя. Данные приборы получили название EMCCD. Некоторые зарубежные фирмы уже освоили выпуск на базе этих матриц высококачественных камер с однофотонной чувствительностью для астрономических приложений. В настоящий момент в лаборатории МАВР канд.техн.наук А.Ф.Максимов завершает разработку системы регистрации на базе одного из таких приборов. Ожидается, что после его внедрения ЭОПы с их низким квантовым выходом и проблемами геометрии поля уйдут в прошлое, а используемые в интерферометрии приемники достигнут теоретического предела по чувствительности и стабильности.

Лаборатория наладила тесную научно-техническую кооперацию с ведущими научными коллективами мира в области спекл-интерферометрии, что позволило разрабатывать и внедрять на БТА уникальные аппаратуру и методики.

Совместно с немецкими специалистами Боннского института радиоастрономии им. Макса Планка (Г.Вайгельт и др.) на 6-метровом телескопе проводятся регулярные наблюдения в инфракрасном диапазоне. При использовании в качестве детектора камеры HAWAII форматом 512×512 на телескопе в К-полосе достигнут дифракционный предел разрешения, равный $0.076''$.

Телескопы умеренных размеров могут быть полезными источниками данных об орбитальном движении большинства двойных звезд. В рамках совместного проекта был изготовлен спекл-интерферометр для 1.52-м телескопа обсерватории Калар Альто в Испании. Работа выполнялась в тесном сотрудничестве со специалистами университета г. Сантьяго де Компостелла (Х.Докобо и др.).

Для 1.5-метровой апертуры был достигнут дифракционный предел в видимом диапазоне 0.07".

В координации с миссией Гиппарх и по другим, близким по направленности программам, лабораторией было выполнено порядка тысячи измерений кратных систем звезд. Большинство объектов программы – звезды низкой светимости в окрестностях Солнца. Данные этих измерений используются в настоящее время для определения параметров орбит и вычисления масс компонентов двойных систем. Они включены в международные каталоги и базы данных и широко используются астрономами различных обсерваторий.

В рамках кооперации в лаборатории стажировались и защитили диссертации молодые астрономы из России, Франции, США, Иордании.

История создания ПЗС-систем в обсерватории – многолетнего этапа деятельности коллектива инженеров и астрономов, со всеми неудачами и успехами, – требует отдельного изложения.

Принцип переноса заряда был предложен В. Бойлом и Д. Смитом из Bell Laboratories в 1970 г. и в последующее десятилетие был значительно развит другими исследователями. В конце 70-х первые зарубежные ПЗС-матрицы имели еще малый формат, поверхностный канал переноса заряда и шум считывания 40-100 электронов. Но в экспериментальной астрономии они были встречены с большим интересом благодаря потенциально возможной высокой пороговой чувствительности, жесткому растру (в отличие от электровакуумных приборов), низкой инерционности и относительной простоте эксплуатации. В 1980 г. Ганн и др. показали первые астрономические результаты, полученные с матрицей 500×500 Тl с объемным каналом переноса и шумом 15 е⁻. А в 1981 г. Texas Instruments объявила о создании тонкого прибора 800 × 800 с шумом 8 е⁻ и квантовой эффективностью до 70%. Эти события определили дальнейшее бурное развитие ПЗС-астрономии в мире.

В САО первые работы с отечественными ПЗС-матрицами 64×64 пиксела для видимого и ИК-диапазонов (НИИ ФП) были начаты в 1977 г. Г.А. Чунтоновым, В.П. Рядченко, А.Н. Борисенко сначала в Группе инфракрасной астрономии, затем продолжены в ЛПР. В 1981 г. Г.С. Чепурных разработал ПЗС-камеру с азотным охлаждением с матрицей 288×256 пикселей (ЦНИИ «Электрон»). Указанные приборы испытывались на телескопах, однако практического выхода не имели, поскольку это были экспериментальные несерийные образцы матриц с большим шумом считывания и с наличием дефектов.

С 1982 г. в ЛПР началась систематическая работа по созданию ПЗС-систем с разнообразными опытными образцами отечественных ПЗС-матриц. К сожалению, они разрабатывались в промышленных НИИ преимущественно для телевизионных целей с быстрым считыванием кадра и, соответственно, повышенным шумом выходного узла преобразования заряда в электрический сигнал. САО не имело финансовой возможности для заказа разработки матриц астрономического назначения в отечественных НИИ. В 1985 г. на 6-м телескопе прошла испытания система с матрицей 512 × 576 пикселей с поверхностным каналом, квантовой эффективностью около 40% и шумом считывания 38 е⁻ (А.Н. Борисенко, С.В. Маркелов, В.П. Рядченко). В это же время проводились лабораторные испытания матриц с объемным каналом, имеющих шум 20 е⁻. В

1988 г. была разработана система с ПЗС-матрицей 520×580 пикселей с виртуальной фазой, объемным каналом, квантовой эффективностью около 60% и шумом $18 e^-$. Таких систем ЛПР изготовила четыре экземпляра для оснащения БТА и ЦЕЙСС-1000, а также несколько экземпляров для других обсерваторий. В начале 90-х годов была разработана новая ПЗС-система с матрицей 1040×1160 пикселей с виртуальной фазой и шумом $6-9 e^-$ (И.В. Афанасьева, А.Н. Борисенко, Н.Г. Иващенко, В.А. Мурзин, С.В. Маркелов). ЛПР выпустила серию этих систем с целью модернизации наблюдательной базы БТА и для других обсерваторий.

Активное содействие оснащению БТА ПЗС-матрицами оказывал отдел ЦНИИ «Электрон», руководимый канд.техн.наук Г.И. Вишневым. С этим отделом поддерживалось тесное научно-техническое сотрудничество. В САО поставлялись специально отобранные по качеству ПЗС-матрицы, а также первые опытные образцы приборов, еще не запущенных в серийное производство. Результаты экспериментальных исследований матриц в САО учитывались при разработке новых приборов в ЦНИИ «Электрон». Очень плодотворное сотрудничество установилось с группой канд.физ.-мат.наук В.Ф. Вдовина (НИИ ПФ, Нижний Новгород) в области разработки заливных азотных оптических криостатов для ПЗС-камер. Совместно были разработаны различные варианты криостатов с эффективным расходом хладагента, которым оснащался БТА на протяжении многих лет. Разработки новых образцов выполняются и в настоящее время.

В мировой ПЗС-астрономии в процессе развития и смены поколений приемников изображения совершенствовались также ПЗС-контроллеры, которые выполняют функции управления матрицами, обработки видеосигнала, формирования цифровых изображений и передачу их в компьютер. Создание ПЗС-контроллеров выделилось в отдельное направление, в котором лидировали группы из ESO, NOAO, SDSU, IJAF. Усилиями этих коллективов контроллерами оснащены почти все крупнейшие телескопы. Техническая сложность в разработке такого вида аппаратуры заключается в необходимости достижения очень низкого шума считывания в несколько электронов, высокой точности и стабильности получения изображений в длительных наблюдениях, а также возможности управления любыми типами матричных приемников.

С 1985 г. в ЛПР было создано несколько поколений ПЗС-контроллеров на основе новых технических решений и с применением все более совершенных средств микроэлектроники. В 1995 г. была начата разработка ПЗС-контроллеров нового типа, которые позволили бы достичь на практике предельных значений чувствительности, фотометрической точности и стабильности. В это время применяемые в астрономии матрицы имели уже близкую к 100% квантовую эффективность, типичный шум считывания составлял $4-6 e^-$. Снижение шума считывания производителям научных ПЗС-матриц давалось с большим трудом. С развитием технологий шум снижался примерно в два раза за каждые 10 лет. Определенные трудности наблюдателям и сейчас доставляет нелинейность световой характеристики матриц, которая может быть от нескольких десятых долей процента до нескольких единиц процентов, что свойственно именно малошумящим приборам.

Разработанный ПЗС-контроллер DINACON (DSP based Intelligent Array Controller) был впервые в мире построен на принципах цифровой обработки видеосигнала в реальном времени считывания матрицы. Обработка включала оптимальную фильтрацию сигнала из его смеси с шумом, стабилизацию передаточной характеристики заряд-цифровой отсчет и ее линеаризацию. Помимо этого, контроллер обеспечивал стабильность режимов ПЗС-матрицы и, впервые, компенсацию дифференциальной проводимости сток-исток выходного МОП-транзистора. Последнее значительно повышает стабильность преобразования заряда в электрический сигнал. Контроллер имел многопроцессорную архитектуру с применением 32-разрядных цифровых сигнальных процессоров ADSP-21060, которые выполняли функции управления матрицей, обработки видеосигнала и связи с компьютером на платформе Intel x86.

Две ПЗС-системы с тонкими матрицами CCD42-40 (Marconi Applied Technologies) и контроллерами DINACON были изготовлены и внедрены в наблюдения на БТА. Указанные матрицы имеют формат 2048×2048 пикселей и квантовую эффективность около 90%. Испытания показали эффективность цифровых способов фильтрации и коррекции видеосигнала. Так, в одной из систем получен шум $1.7 \epsilon^{-}$ при частоте считывания 18 кпикселей/с, что на 40 % ниже шума, достигаемого с применением общепринятого метода аналоговой двойной коррелированной выборки. Нестабильность фотометрического отклика системы не превышала 0.03% за 12 часов. Остаточная нелинейность передаточной характеристики составила 0.03%, в то время как исходная (паспортная) была равна 1%. Что касается нелинейности, то известно, что для самых точных фотометрических методов ее достаточной величиной является 0.1%. Анализ долговременной нестабильности смещения нуля (bias) за 2.5 года, выполненный В.Л. Афанасьевым, показал, что она не превышает $1 \epsilon^{-}$. Таким образом, достигнутые фотометрические характеристики позволяют использовать ПЗС-системы для решения любых фото- и спектрофотометрических наблюдательных задач с разными требованиями по чувствительности и повторяемости, а также уменьшить частоту получения калибровочных изображений («плоских полей», темновых кадров и т.д.).

К настоящему времени разработано три варианта контроллеров DINACON, с применением которых изготовлено несколько систем для БТА и прикладных научных целей (И.В. Афанасьева, В.И. Ардиланов, А.Н. Борисенко, А.А. Борисенко, Н.Г. Иващенко, В.А. Мурзин, С.В. Маркелов). В 2006 г. готовятся к наблюдениям две системы с матрицами CCD42-90 2048×4608 пикселей (E2V Technologies), одна из которых имеет тонкую, другая высокорезистивную подложку. Завершается разработка системы с ПЗС-матрицей CCD97 512×512 пикселей (E2V Technologies) с внутренним усилением, обеспечиваемым посредством ударной ионизации.

Всего за истекшие годы ЛПР изготовила 25 ПЗС-систем для БТА и телескопов других обсерваторий. Сегодня эта лаборатория является единственным в стране коллективом, способным создавать уникальные астрономические системы регистрации изображений, а многие выполняемые здесь разработки являются одними из лучших в мире.

ИНФОРМАТИКА В САО

В. В. Витковский

Предыстория

Строго говоря, история информатики в САО началась раньше создания самой обсерватории – после принятия кардинального решения об азимутальном типе установки 6-м телескопа. Для управления телескопом необходим был компьютер, и такой, в то время совершенно уникальный, отечественный компьютер – ЭЦУМ (Электронно-Цифровая Управляющая Машина) был создан. Наблюдения на антенне переменного профиля РАТАН-600 тоже были невозможны без предварительного расчёта координат для каждого элемента антенны. Сложность расчётов требовала применения больших по тем временам универсальных вычислительных машин. Кроме решения задач управления телескопом складывающемуся научному коллективу САО для обработки наблюдательных данных и решения научных задач был необходим переход от механических и электронных калькуляторов к современным средствам вычислительной техники.



Первой универсальной ЭВМ в САО была «МИР-1», затем в башне БТА была установлена одна из лучших отечественных ЭВМ М-222. Надо отметить, что в эти годы даже вычислительные центры крупных университетов МГУ и ЛГУ имели в своём составе не более двух таких ЭВМ. Понятно, что для работы на вычислительных машинах требовалось разрабатывать и внедрять математическое и программное обеспечение, в большинстве случаев уникальное для каждой научной задачи. Чтобы поддерживать и развивать аппаратные и программные средства в составе обсерватории был создан Вычислительный центр под руководством



Ю. Коровяковского. Небольшой коллектив инженеров, программистов и операторов во взаимодействии с научными сотрудниками и инженерами других подразделений создавал новые программы и алгоритмы для решения различных

научных и научно-технических задач, таких как исследование оптики БТА, цифровая обработка результатов фотометрических и спектральных наблюдений, моделирование процессов эволюции звёзд и звездных систем, изучение физических и статистических свойств небесных объектов. Много времени и сил отдавали программированию и решению задач на ЭВМ молодые тогда астрономы – В. Панчук, Г. Алексеев, А. Щербановский, В. Лебедев и другие. Трудно переоценить значение для ввода в действие и научной эксплуатации БТА комплексов программ исследования оптики и механики БТА, разработанных Л. Снежко. Группой системных разработок РАТАН-600 на М-222 была внедрена разработанная В. Витковским система расчета установки антенны РАТАН-600, которая с первого наблюдения обеспечивала работу радиотелескопа.

На М-222 впервые в отечественной астрономии была установлена и широко использовалась для организации работы программ и программных комплексов операционная система пакетной обработки ОСПО – прообраз будущих универсальных операционных систем, без которых немислима сейчас работа компьютеров – от ноутбуков до суперкомпьютеров.

Однако специализация цифровых методов и техники на задачах научных вычислений и управления приборами определяла и область их применения. Основными средствами регистрации и носителями данных оставались: в оптике – фотопластинка, в радиоастрономии – самописец и диаграммная лента. Но если в радиоастрономии переход от аналогового сигнала к цифровому признавался естественной эволюцией систем регистрации, то в оптике разработка цифровых приборов и методов регистрации многими классическими астрономами принимались в штыки. Так, разработка группой А. Фоменко 1000-канального сканера, впоследствии ставшего одним из основных спектральных приборов БТА, расценивалась некоторыми как пустая трата государственных средств.

Пионерские проекты цифровой регистрации наблюдений РАТАН-600 базировались на отечественной мини-ЭВМ – «Электроника К200». Выходным носителем вначале была перфокарта, замененная в дальнейшем на ленту магнитную. Какое-то время параллельная запись на самописцах сохранялась, но удобства переноса данных для обработки на универсальные ЭВМ и хранения на машиночитаемом носителе окончательно решили судьбу аналоговой формы регистрации. Принципиально новым аспектом, в информатическом смысле, была необходимость вмешиваться в работу программы в ходе её исполнения, что можно считать предвосхищением будущего интерактивного режима работы с компьютером. Использование ЭВМ позволяло, кроме того, проводить в реальном времени регистрации некоторую первичную обработку данных, улучшая качество и уменьшая объем выходной информации.

В оптической астрономии переход к цифровым методам происходил более опосредованно через оцифровку фотопластинок с помощью автоматических



микроденситометров. В САО для этой цели был приобретён отечественный АМД1, с помощью которого сканировались отснятые на БТА фотопластинки. Кроме этого, сотрудниками ВЦ САО была реализована цифровая регистрация данных на машинных носителях для некоторых измерительных приборов. Полученная в результате цифровая информация обрабатывалась на ЭВМ.

Однако не только удобный ввод и быстрая обработка информации определяли успешную экспансию ЭВМ в науку. Немаловажным фактором являлась возможность адекватного представления выходной информации – результатов обработки и расчётов. В обсерватории уже в конце 70-х годов было выполнено несколько пионерских работ по использованию графопостроителей и алфавитно-цифровых печатающих устройств для визуального представления астрономической информации – сложных графиков, карт и изображений.

К сожалению, произошедшее в те же годы изменение в СССР технической политики привело к прекращению развития хорошо зарекомендовавших себя отечественных ЭВМ и других средств вычислительной техники и ориентации промышленности на копирование линии ЭВМ IBM360. Первой из таких машин была М4030, установленная на РАТАН-600, второй – ЕС1035, ставшая на несколько лет основным компьютером обсерватории. Уже к моменту установки эти ЭВМ идеологически и технически отставали от компьютеров и суперкомпьютеров, используемых западной наукой. Тем не менее, с их помощью удалось решить ряд научных и методических задач, разработать некоторые алгоритмы и программы обработки астрономических данных. В частности, была разработана пакетная система обработки данных радиометров континуума РАТАН-600, а в части системных работ была впервые инсталлирована и испытана на ЕС1035 операционная система ДЕМОС – отечественная версия многопользовательской ОС Unix.

Более удачным оказалось освоение промышленностью серий PDP8 – «Электроника-100» и, в особенности, PDP11 – СМ4. Внедрение этих ЭВМ и измерительно-вычислительных комплексов на их основе привело к качественным изменениям.

Цифровой век



САО РАН в известном смысле сыграла роль начального запала в цифровом взрыве, изменившем лицо отечественной экспериментальной фундаментальной науки. Необычайная технологическая сложность уникальных телескопов БТА и РАТАН-600, дополненная вниманием к ним как объектам национального престижа власть предержащих, привела к технологическому прорыву в производстве средств автоматизации для не при-

кладных (не оборонных) направлений науки. Прежде всего это относится к началу массового производства модульной аппаратуры КАМАК, предложенной СКБ НП СОАН в качестве базы для создания систем управления и сбора РАТАН-600. В силу изотропной многоэлементности РАТАН речь шла не о штучных изделиях, а о серийном производстве. Применение в системах сбора и управления мини-ЭВМ «Электроника-100» и, в особенности, внедрение в эксперимент многочисленных микро-ЭВМ «Электроника-60» (аналог LSI-11) подтолкнули рост предложения и спроса на технику автоматизации научных исследований. Обсерватория явилась активным участником общесоюзных целевых программ 0.80.16 (1976-80 гг.) и 0.Ц.027 (1981-85 гг.), обеспечивших создание аппаратно-программной базы советской науки и существенный прогресс в автоматизации научных исследований. В 1983 году информатика в СССР была признана самостоятельной наукой, в АН СССР было создано Отделение информатики, вычислительной техники и автоматизации (ОИВТА), созданы институты информатики в Москве (ИПИАН) и Ленинграде (ЛИИАН). При Президиуме Академии наук был создан совет по автоматизации научных исследований, в деятельности которого обсерватория активно участвовала.

В 1981 году система пакетной обработки данных РАТАН-600 была внедрена на мощной ЭВМ САЙБЕР (CYBER) 172-6 ЛИИАН и успешно инсталлирована на VAX-11 в Радиоастрономическом институте Макса Планка в Бонне (ФРГ). Институтом теоретической астрономии во взаимодействии с САО был разработан и внедрен в обсерватории комплекс программ универсальных эфемеридных расчетов. Совместно с Институтом автоматики и электрометрии СО АН была создана и введена в рабочую эксплуатацию автоматизированная система управления РАТАН-600. Выполненная группой системных разработок в сотрудничестве с Университетом дружбы народов разработка структурно-алгоритмической модели системы коллективного пользования РАТАН-600 стала пионерской работой в области создания территориально-распределенных систем автоматизации эксперимента. В те же годы были начаты работы по созданию архивов наблюдательных данных БТА и РАТАН-600 на машинных носителях.

Внедрение в эксперимент мини-ЭВМ «Электроника-100» и, в особенности, микро-ЭВМ «Электроника-60» – аналога LSI-11 – произвело революцию в создании цифровых систем сбора наблюдательных данных. Быстродействие и память в сочетании с компактностью и расширенными аппаратурой КАМАК возможностями управления, преобразования сигналов и интерфейсами позволили оснастить БТА и РАТАН высокопроизводительными системами сбора, вытеснившими фотографические и аналоговые методы регистрации астрофизической информации.





Однако основной прогресс в автоматизации астрофизических исследований в обсерватории был связан с внедрением измерительно-вычислительных комплексов на базе ЭВМ СМ3 и СМ4. Обладающие высокими, по тому времени, быстродействием и памятью ИВК, снабженные контроллерами КАМАК, позволяющими подключать аппаратуру и нестандартную периферию, они позволили создать много-

функциональные системы сбора данных и управления экспериментом, такие как отмеченный Государственной премией СССР комплекс КВАНТ, разработанный САО совместно с Всесоюзным институтом телевидения (ВНИИТ). Универсальные операционные системы RT-11 и NTS, поддерживающие языки программирования высокого уровня, дали возможность разработки специализированных программ и программных систем обработки данных для БТА и РАТАН-600. Особенно перспективной оказалась возможность интерактивной графической обработки.

Необходимо отметить, что, в отличие от более чем 10-летнего отставания обсерватории в получении эквивалентных западным технических средств, первый персональный компьютер IBM PC XT появился в САО всего спустя год после его появления в мире. В дальнейшем временной разрыв с Западом по уровню аппаратно-программных средств, в немалой степени усилиями Лаборатории, а затем Отдела информатики, неуклонно сокращался. Что же касается идеологической, программной и системной областей, то САО РАН была и остается одним из лидеров разработки и внедрения информационных технологий в отечественной астрофизике.

Лаборатория информатики

Всё возрастающее значение автоматизации научных исследований и необходимость объединения усилий разрозненных небольших подразделений привели в 1986 году к организации в САО Лаборатории информатики под руководством В. Витковского. Перед лабораторией были поставлены технические задачи эксплуатации, поддержки и развития аппаратно-программных средств обсерватории, научно-технические задачи автоматизации научных исследований и научные задачи информатики в приложении к астрофизическим исследованиям. Объединение в одном коллективе инженеров, программистов и научных сотрудников позволило решить значительное число насущных для развития обсерватории проблем.

Лаборатория участвовала в освоении и внедрении в практику астрономических наблюдений телевизионного цифрового вычислительного комплекса «Квант» в части освоения программного обеспечения и методики работы с ком-

плексом. На основе разработанного А. Назаренко комплекса управляющих программ было создано несколько прикладных систем обработки данных, включая систему обработки спектров «Спектр», системы регистрации и обработки данных магнитометра и полевого фотометра БТА. В. Плохотниченко были выполнены разработка и реализация алгоритмов поиска и анализа переменности для программы МАНИЯ, а также создан универсальный многоканальный прибор «Квантохрон-3». Совместно с Лабораторией перспективных разработок был создан первый отечественный комплекс регистрации изображений с матрицей ПЗС. Большая работа была проделана по модернизации комплекса БТА в части подготовки предложений по аппаратно-программной архитектуре и составу комплекса технических средств АСУ БТА. Разработана архитектура, программное обеспечение и аппаратура АСУ РАТАН-600 нового поколения (Г. Жеканис). Т. Пляскиной был разработан и внедрен комплекс программ расчета установки РАТАН-600 в ОС UNIX. Для расширения наблюдательных возможностей проводилась разработка и реализация алгоритмов расчета установки антенны РАТАН-600 для наблюдений в различных режимах.

Значительных успехов лаборатория добилась в создании новых алгоритмов и программ обработки наблюдательных данных. В. Шергиным были разработаны алгоритмы оптимальной цифровой фильтрации для спектров и радиосканов. Алгоритмы оптимального гаусс-анализа (Л. Иванов) и статистической обработки и анализа данных (В. Горохов) реализованы в нескольких программных комплексах и эффективно применяются по сей день для обработки наблюдательных данных. Разработаны алгоритмы и программы обработки наблюдений в континууме для облучателя N 1 РАТАН-600, а также программы моделирования радиоастрономических сигналов и комплекс программ отождествления радиоисточников. Программные и системные разработки используются астрономами САО и сторонними пользователями БТА и РАТАН-600. Некоторые из этих разработок внедрены в других научных институтах страны (ГАО, СибИЗМИР, ПГУ) и за рубежом (ФРГ, Аргентина). В то же время лабораторией информатики проводилось тестирование и внедрение зарубежных астрономических программ и систем. В частности, была выполнена постанковка и освоение последовательных новых версий стандартной европейской системы обработки астрономических данных MIDAS, включая перенесение и адаптирование на ППЭВМ AT/386 системы MIDAS/portable.

Поскольку астрономические данные не теряют своей ценности со временем, одной из важнейших задач работы с данными является задача архивизации, хранения и обеспечения удобного доступа к ним. Для решения этой задачи были разработаны идеология и основные принципы построения банка астрономических данных (БАД) САО и концепция унифицированного формата данных систем сбора, обработки и архивизации. На их основе были созданы и введены в эксплуатацию локальные архивы наблюдательных данных РАТАН – ODA/E, ODA/P, ODA/R, ODA/S и ODA/U (В. Кононов). Кроме того, для автоматизации работы с уже опубликованными данными был разработан автоматизированный справочник астрономических каталогов САО. Был разработан комплекс программ для решения задачи оптического отождествления радиоисточников глобального обзора «Холод» по картам PSS и наблюдениям на БТА.

В ходе модернизации аппаратуры системы регистрации данных радиометров сплошного спектра РАТАН-600 была разработана и внедрена на облучателе №1 иерархическая система автоматизации и сбора данных радиометрического комплекса (Б. Ерухимов), на основе которой реализованы на базе различных программно-аппаратных средств последовательные модели иерархических многопользовательских систем. Следующим шагом был переход к разработке и внедрению иерархической многопользовательской системы централизованного сбора данных и разработка концепции и архитектуры локальных сетей для автоматизации научных исследований САО. Особое внимание уделялось созданию программных средств интерактивного управления наблюдательным экспериментом из центра сбора. Была выполнена существенная модернизация системы подготовки наблюдений облучателя № 1.

Одновременно с прикладными и системными разработками лаборатория информатики отслеживала мировые тенденции развития компьютерной техники, операционных систем и прикладного математического обеспечения. Были сделаны успешные попытки установки Unix-подобных систем на ЭВМ серии СМ и QNX – операционной системы реального времени на РС. В 1988 году в САО было проведено всесоюзное совещание-семинар по открытым системам с участием ведущих специалистов и разработчиков из академических и прикладных институтов. В качестве аппаратной платформы, на основе опыта применения ППЭВМ IBM PC и их аналогов – Правец-16 и ЕС1841, были выбраны персональные компьютеры PC AT 286/386 с операционной системой MS DOS/Windows и рабочие станции SUN SPARCstation с операционной системой UNIX System 5.

Определенная лабораторией стратегия дальнейшего развития информатики в САО предусматривала для обеспечения научных исследований скорейшее развитие локальных вычислительных сетей.

Раскинутые сети

Первая, условно говоря, локальная сеть в САО была реализована в 1984 году, на двадцать лет позже первой локальной сети, разработанной в Ливерморской лаборатории (США), но раньше всех других в советской астрономии. Исторически в САО строились и успешно эксплуатировались разнородные локальные сети или отдельные сегменты, специализированные под довольно узкий перечень задач, таких как передача наблюдательных данных в многоуровневых системах сбора БТА и РАТАН-600 или обслуживание юстировочных работ. На РАТАН 600 и в настоящее время ведутся разработки по созданию распределенной системы управления антенной на базе специализированной локальной сети.

В 1991 году лабораторией информатики был предложен проект базовой архитектуры вычислительных средств на основе локальной вычислительной сети (ЛВС). До этого времени основными вычислительными средствами САО были ЭВМ СМ-4 и ЕС1035, которые не только безнадежно устарели, но и в основном выработали свой технический ресурс. Интенсивное приобретение пер-

сональных компьютеров PC AT 286/386 частично позволило решить проблему быстрой редукции данных, однако по-прежнему оставалось много других проблем. На БТА использовались более десяти штатных методов наблюдений, основная часть которых использовала цифровую регистрацию. Резко возросли потоки информации.

Второе поколение АСУ БТА на базе СМ-2 перестало удовлетворять требованиям точности и надежности. Предложенный новый вариант комплекса технических средств АСУ БТА строился на двух профессионально-персональных ЭВМ (ППЭВМ), соединенных между собой средствами локальной вычислительной сети и с нижним уровнем системы управления коммутаторами последовательных каналов. Bus-топология локальной сети и связь каждой ППЭВМ с каналами нижнего уровня обеспечивали симметрию и равноправие ППЭВМ, позволяя работать каждой в режиме «горячего» резервирования и перераспределения вычислительных нагрузок. Средства локальной сети допускали естественное подключение ППЭВМ к компьютерам и локальным сетям систем сбора и телекоммуникации.

В следующем году практически было завершено создание полноценной локальной информационной сети с включением в нее в качестве узлов имеющих на ННП персональных компьютеров типа IBM PC/AT-286/386 общим числом до 25 абонентов, обеспечен информационный обмен между ними и доступ к серверам САО. Сеть превратила практически все имеющиеся персональные компьютеры САО в рабочие станции и обеспечила доступ к наблюдательным данным и системам их обработки. Создание локальной сети САО было выполнено на основе протокола TCP/IP поверх ArcNet. Базовая операционная система SCO Xenix (Unix для IBM PC). К 1994 году ИВС САО в общей сложности объединяет 64 ЭВМ, в основном типа PC AT-386/486, с помощью сетевых средств EtherNet/ArcNet. В 1993 году выполнено объединение сегментов ННП – РАТАН-600 модемной связью, переход с протоколов UUCP на SLIP по мере создания выделенных каналов. Создание первых систем сбора на базе свободно распространяемой версии Unix-Linux. Соединение сервера БТА (ОС Linux) с сетью ННП через кабельную пару модемами на скорости 9600 бит/с.

В соответствии с решением научно-технического совета в 1995 году, после обсуждения идеологии развития, архитектуры и состава программно-аппаратных средств комплекса аппаратной БТА на ближайшую перспективу совещание согласилось с общей концепцией развития комплекса аппаратной и утвердило архитектуру комплекса и состав базовых аппаратно-программных средств АРМ наблюдателей. Все компьютеры

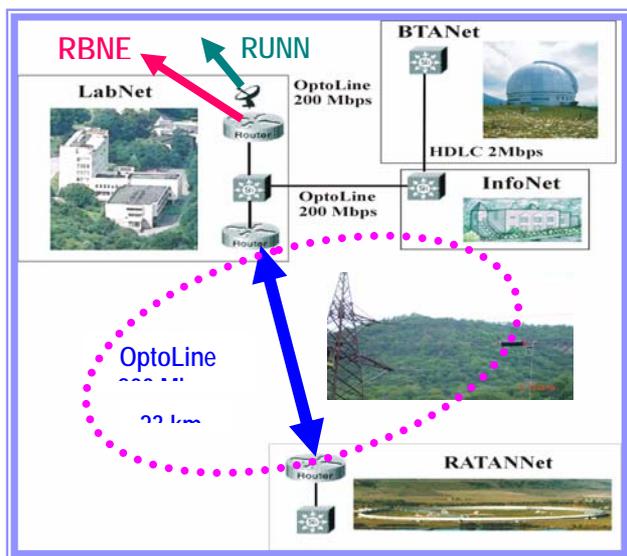


аппаратной включаются в локальную сеть ВНП и для любой операционной системы обеспечивается доступ к ресурсам сервера ВНП (HDD, стример, DAT и

проч.) и ИВС САО. Постепенное переоснащение локальных сетей САО. Резкое увеличение числа персональных компьютеров и постепенный переход на Ethernet. Появление выделенных серверов на базе IBM PC 486, выполняющих функции маршрутизаторов и серверов удаленного доступа. Разработка сетевого интерфейса наблюдателя под ОС Linux/X11 для аппаратной БТА. Внедрение комплекса радиорелейной связи ННП-БТА с производительностью 2 Мб/с, и организация запасного проводного канала 160 Кб/с. Модемный канал Буково-РАТАН переведен с аналоговой аппаратуры уплотнения на цифровую с организацией некоммутируемого соединения по SLIP. Были разработаны средства для подключения PPP, SLIP и dial-up, расположенных в регионе наблюдательных станций других астрономических учреждений России. Система управления телескопа БТА была дополнена средствами сетевого доступа для обеспечения возможности удаленного управления. Были разработаны и внедрены Web (<http://www.sao.ru/>) и FTP (<ftp://ftp.sao.ru/>) серверы САО.

Дальнейшее развитие ЛВС продолжалось в направлении разработки и внедрения новой архитектуры компьютерной сети САО с использованием маршрутизаторов и коммутаторов фирмы Cisco.

При этом максимальная производительность межсерверного соединения увеличилась до 100 Мбит/с. Новая архитектура сети позволила интегрировать разрозненные участки локальных сетей САО в единое многосвязное адресное пространство.



Были введены в эксплуатацию два параллельных IP-канала – проводной (160 Кбит/с) и радио (2 Мбит/с) между верхней и нижней научной площадкой, проложены каналы (10 Мбит/с) между телескопами БТА и Цейсс-1000, БТА и Цейсс-600 и внедрен радиоканал (820 Кбит/с) между БТА и 60-см телескопом наблюдательной станции Казанского университета, внедрены два синхронных проводных (2×16.8 Кбит/с)

канала между ННП и РАТАН-600, подключена к сети САО станция Института прикладной астрономии РАН. Введен в строй канал цифровой радиосвязи в ISM (2.4ГГц) диапазоне между пунктами Цейсс-1000 и радиоцентром в п. Сарытюз (52км). Оборудованы и введены в строй узлы сети SAO-EDU с размещением телекоммуникационного оборудования в п. Сарытюз и Городском узле связи (ГУС) г. Черкесска. Организовано подсоединение сети SAO-EDU и маршрутизация в Интернет через РГУ по арендованному каналу Ростов-на-Дону – Черкесск производительностью 2Мбит/с. Отлажено и сдано в эксплуатацию про-

граммное обеспечение маршрутизаторов и средств мониторинга состояния каналов связи и качества сигнала оборудования радиосвязи.

Опробован с успешными результатами совместный способ передачи телефонии и данных Интернет по организованному каналу связи САО – Черкесск с использованием комбинирования средств ISDN и IP-Phone.

В 2002 году разработана и введена в эксплуатацию высокоскоростная оптоволоконная линия связи между п.Нижний Архыз и ПАТАН-600 протяженностью 22 км. Обеспечено полнодуплексное Ethernet 2*100Мбит подключение ПАТАН-600 к общей сети САО. В дальнейшем был создан кластер из основных серверов САО на базе объединения их через высокоскоростной (2,5 Гб/с) коммутатор, созданы и внедрены мультимедийные средства маршрутизации в основные информационные каналы сети SAONET (MBONE). А в 2005 году основная магистраль SAONet переведена на 1G Ethernet.

Путь в Интернет

Однако создание первых полноценных локальных сетей требовало подключения к системе электронной почты и глобальным компьютерным сетям, организации телекоммуникационного доступа к данным БТА и ПАТАН-600.

1969 г.

Под эгидой Агентства по перспективным исследованиям МО США (ARPA) началась разработка и внедрение глобальной военной компьютерной сети ARPAnet, связывающей исследовательские лаборатории на территории США.

1991 г.

Оснащение всех компьютеров научных подразделений средствами электронной почты или удаленного доступа к почтовому серверу, были выполнены работы по внедрению системы электронной почты на ННП, ПАТАН-600 и в СПбФ САО.

1993 г.

Перспектива развития сети EuNet/RelCom – это TCP/IP-сеть. С улучшением состояния дел с российскими каналами связи в САО планируется в будущем переход на эту технологию для глобальной телекоммуникации.

Началась опытная эксплуатация компьютерной сети «Радио-МГУ». Сеть включает: спутниковый канал DESY (Гамбург) – НИИ ядерной физики МГУ. Пропускная способность канала – 256 Кбит/с (основной выход в Internet). Введен в эксплуатацию 14 декабря 1993г. Сеть является научной и некоммерческой, трафик для конечных пользователей бесплатный. Сеть ориентирована на

обеспечения интерактивного доступа к мировым компьютерным и информационным ресурсам.

Первоначально сеть предоставляла лишь возможность обмена электронной почтой, при этом использовался шлюз с компьютерной сетью EARN/BITNET, международный узел которой функционировал на базе ИОХ РАН, а уже с 1993 года сеть стала обеспечивать полноценный IP доступ в Интернет. На сегодняшний день сеть FREEnet обслуживает более 500 научных учреждений, университетов, вузов и других организаций, преимущественно из сферы науки, образования, культуры и здравоохранения.

1994 г.

RSSI

Проект создания сети был осуществлен специалистами Института космических исследований РАН при поддержке [Национального Агенства по Аэронавтике и Космическим Исследованиям \(NASA\)](#) США.

В начале 1994 года был завершен первый этап создания сети RSSI, а именно, проведено подключение первых организаций и осуществлен выход в Интернет, по спутниковому каналу 256 Кбит/с между ИКИ РАН и [Goddard Space Flight Center](#) (NASA, USA).

В 1996 году главные усилия отдела информатики были сконцентрированы на создании надежного канала Internet и интеграции трех существующих локальных сетей в общую информационно-вычислительную сеть – SAOnet. Дополнительно уделялось внимание разработке локальных информационных служб. Был разработан и введен в эксплуатацию спутниковый канал связи (64Kbps), соединяющий SAOnet с Internet через DESY (Германию) и MSU (Россию). Были модернизированы линии связи по радиорелейному и выделенному телефонному каналам между главным зданием института и основными телескопами БТА и РАТАН-600 (5 км и 25 км соответственно) для локальных сетей SAOnet. Базовый TCP/IP сервис, включающий передачу файлов (FTP), электронную почту, Internet и терминальный доступ (Telnet и X-Windows) был сделан доступным для всей сети. Астрономы CAO и приезжающие ученые получили возможность непосредственной работы с мировыми астрономическими центрами данных.

В 1994 году ЛВС CAO обеспечивают доступ по коммутируемым телефонным линиям как друг к другу, так и к системе электронной почты (Relcom/EUnet, Sovam Teleport).

1995 г.

Создание и эксплуатация спутниковой линии связи “Нижний Архыз – Гамбург” по Программе фундаментальных и поисковых научно-исследовательских работ Государственного научного центра Российской Федерации СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ РАН, направление I, проект 7, для международного обмена научными данными между

РГНЦ САО в п.Нижний Архыз, DESY в Гамбурге и другими научными учреждениями в рамках сети Internet.

В 1995 году обеспечено подключение к сотовой телефонной связи стандарта NMT-450i.

1996 г.

Основная цель разработок состояла в развитии информационно-вычислительной сети САО в обеспечении для сотрудников САО доступа к мировым астрономическим информационным ресурсам посредством подключения к сети Internet, предоставления мировому астрономическому сообществу доступа к архивам, каталогам и первичным наблюдательным данным САО, создания удаленных средств наблюдений для телескопов БТА и РАТАН-600, модернизации локальных вычислительных сетей САО (BTANet, RATANNet и LabNet) и межсетевых линий связи. Внедрена спутниковая связь (64Kbps), соединяющая SAONet с Internet через DESY (Германия) и МГУ (Россия). Модернизирована аппаратная основа SAONet за счет увеличения числа и мощности серверов и компьютеров пользования. Внедрены микроволновая скоростная линия связи для BTANet и выделенная телефонная линия для RATANNet с полным Internet сервисом. Созданы и открыта в Internet САО home page. Создан FTP-сервер и обеспечен сетевой доступ к наблюдательным данным телескопов БТА и РАТАН-600, архивам и некоторым астрономическим каталогам, созданы домашние страницы WWW для некоторых отделов и лабораторий САО.

В 1999 году SAONet использует следующее оборудование: VSAT «Калинка», два спутниковых модема SDM-100, «Эриком-43», два Sparc20, как серверы/маршрутизаторы, до 120 автоматизированных рабочих мест (в основном АТ/486 - 586 классов), несколько типа модемов для выделенных и коммутируемых линий, внешнюю память на HDD (20Gb), CD-R драйверы и несколько периферийных устройств, имеет полное Internet подключение, включая собственный домен второго уровня: sao.ru и две Internet сети класса C (193.125.88 и 193.125.89 IP).

Телекоммуникационный сервис дает возможность астрономам САО и их партнерам оперативно обмениваться данными и помогает им более эффективно выполнять совместные проекты. Сотрудники и гости САО могут интенсивно использовать SIMBAD, каталоги CDS и другие мировые информационные ресурсы. Осуществляются активные контакты и обмены данными через Internet между САО и западными астрономическими институтами, в частности - ESO, Observatoire de Paris и Cote d'Azur Observatoire (Франция), Universit di Bologna (Италия), Max-Planck-Institute fur Radioastronomie и Astrophysikalisches Institut Potsdam (Германия), NOAO и NRAO (США), Poznan Observatoire (Польша) и многими другими.

1997 г.

Подключение к сети САО с выходом в Internet наблюдательных станций ИПА РАН и КГУ.

1999 г.

Освоение корпуса информатики (центра сбора данных БТА и РАТАН-600).

Опробование телекоммуникационного доступа к системам сбора БТА и РАТАН-600.

Создание и оборудование рабочих мест (30) для сотрудников отдела информатики.

Создание и оборудование рабочих мест для подразделений, обслуживающих наблюдения.

Создание информационной сети, связывающей рабочие места КИ с общей сетью САО, на базе оптоволоконной технологии и Ethernet 100|10 Мб/с.

Оборудование помещений УНЦКП в корпусе информатики и в лабораторном корпусе.

Развитие и сопровождение учебной сети УНЦКП.

Подключение к сети RUNNET («Вузтелекомцентр», г. Санкт-Петербург) с увеличением пропускной способности спутникового канала до 128 Кб/с.

Собственными силами установлена спутниковая станция и проведено подключение к Интернет через Гамбург и провайдера Радио-МГУ со скоростью 64 Кб/с. Создание Web-сайта www.sao.ru. Проведен успешный эксперимент по удаленным наблюдениям на РАТАН-600 через Интернет.

Создание собственной провайдеро-независимой сети SAONet с регистрацией автономной системы в Европейской части Интернет. Подключение к RUNNet с увеличением производительности международного канала до 128 Кб/с. Завершение разработки новой сетевой версии программы управления БТА под ОС Linux. Введение в штатную эксплуатацию цифрового телевизионного комплекса БТА. Внедрена программа автогидирования.

Проведена совместная работа по подключению ГАС ГАО к сети Интернет.

В настоящее время обеспечено многосвязное подключение к Интернет с выходами в RBNet и RUNNet по каналу 2 Мбит и двум резервным – наземному (256 Кбит) и спутниковому (128 Кбит) каналам.

Банк данных

Общий архив обсерватории включает 14 локальных архивов и размещен на 151 оптическом диске (в него входят дубликаты основных дисков и пользовательские архивы). Объем архива – 77600 МБ, количество записей – 137700. Для реализации потоковой архивизации наблюдательных данных систем сбора БТА разработана каскадная схема архивизации, состоящая из 4 уровней хранения данных и процессов, обеспечивающих перемещение и контроль данных между уровнями. Уровни каскадной схемы архивизации обеспечены необходимым компьютерным оборудованием и программным обеспечением. Первые пробы записи части основного наблюдательного архива на CD-R для последующего использования с помощью автоматизированной CD-библиотеки были сделаны в 1996 году.

Оборудован сервер информационно-поисковой системы общего архива, на котором установлено программное обеспечение (OS RH7.3, Oracle9) и размещены данные локальных архивов, скопированные с 64 оптических дисков. Реализован on-line доступ к наблюдательным данным. Доступ к данным выполняется с помощью информационно-поисковой системы OASIS (Observation Archive Search Information System), использующей реляционную систему управления базами данных. Организованы запросы по дате наблюдения (<http://www.sao.ru/oasis/cgi-bin/fetchru> – русская версия и <http://www.sao.ru/oasis/cgi-bin/fetch> – английская версия интерфейса) и запросы по названию программы наблюдений (<http://www.sao.ru/request/schedule/index.html> – через архив расписаний наблюдательного времени БТА). Разработана методика поэтапного формирования общего архива САО как федерации локальных архивов для реализации Интернет-интероперабельного доступа к данным (с использованием рекомендаций и спецификаций IVOA и NVO).

По имеющимся на сервере общего архива САО РАН наблюдательным данным проведено сравнение параметров, описывающих наблюдения на приборах, имеющихся на телескопах обсерватории. По опросам пользователей определены наиболее востребованные типы запросов к архивным данным: по дате наблюдения, прибору, типам файлов, координатам, имени источника, программе наблюдений, автору и наблюдателям. Из-за ошибок и неточностей при заполнении значений параметров, особенно в названии программ наблюдений, имен источников, авторов программ и наблюдателей, невозможно реализовать некоторые типы запросов. Возможна реализация запросов по дате наблюдения и координатам. Для добавления новых типов запросов рассмотрено использование стандартов Conesearch, Simple Image Access Prototype Specification (<http://www.us-vo.org/standards.html>) для организации запроса по координатам наблюдения и выдачи результата в VOTable формате. Разработана структура таблиц для реализации этого сервиса.

Для первой версии web-интерфейса (<http://www.sao.ru/oasis/cgi-bin/fetchru>) к общему архиву наблюдательных данных выбран запрос по дате наблюдения как тип запроса, выполняемый ко всем имеющимся локальным архивам. Для реализации интерфейса разработана и создана структура таблиц информационно-поисковой системы на основе СУБД Oracle 9.2, произведено наполнение таблиц с помощью Perl-скриптов с использованием DBD/DBI-интерфейса к СУБД, web-интерфейс реализован с использованием Perl-скриптов (CGI и DBD/DBI интерфейсы). Выполняется копирование данных на сервер общего архива и пополнение таблиц по мере формирования и записи оптических дисков с наблюдательными данными. Реализованы функции on-line копирования выбранных файлов с учетом 2-летнего авторского периода, просмотра заголовков файлов и быстрого просмотра изображений (для FITS-файлов). Через архив расписаний БТА (<http://www.sao.ru/request/schedule/index.html>) реализован доступ к данным по наблюдательным сетам.

Подготовлены предложения по организации автоматического копирования наблюдательных данных с компьютеров систем сбора на общий сервер БТА. Информация о текущем состоянии (<http://www.sao.ru/oasis/archive/docs/boacs.html>) общего архива наблюдательных данных и вносимых

изменениях и добавлениях (<http://www.sao.ru/oasis/archive/docs/log.html>) имеется по указанным адресам и обновляется. Для общего архива обсерватории оборудован и сопровождается специальный сервер, выполняется обновление оборудования (из средств гранта РФФИ 03-07-90032) и программного обеспечения.

Отдел информатики

Основная деятельность отдела информатики обсерватории направлена на внедрение в научные исследования новых информационных технологий, обеспечение и развитие информационно-вычислительной сети САО, телекоммуникаций и средств связи, а также автоматизацию процесса наблюдений.

Отделом создана Система дистанционного доступа к информационным и техническим ресурсам (<http://www.sao.ru/racs>). Система предоставляет возможность проводить наблюдения на телескопах обсерватории в режиме удаленного доступа, включая on-line подачу заявки через Web-сайт САО РАН, удаленный ввод заданий и получение наблюдательных данных, а также удаленное управление телескопом БТА. Разработана и введена в эксплуатацию высокоскоростная оптоволоконная линия связи между п. Нижний Архыз и РАТАН-600 протяженностью 22 км. Работа принята межведомственной комиссией РАН, Минпромнауки, Минобразования РФ.

В 1998 году для скоростной обработки данных и решения научных задач в LabNet был запущен высокопроизводительный 2-процессорный вычислитель общего пользования (big2) и на него установлены международные системы обработки астрономических данных MIDAS и IRAF. Для хранения промежуточных архивов, оперативной обработки данных и размещения www- и ftp-серверов САО внедрен RAID – дисковый массив большой емкости (47 гигабайт), подключенный к серверу serv и вычислителю big2. В рамках договора с Южно-российским региональным центром информатизации высшей школы о совместных разработках на основе программной среды Oracle информационной системы наблюдательных данных САО начата разработка инфологической модели базы данных. Продолжались работы сотрудников отдела по адаптации существующих и созданию новых средств управления и контроля БТА, которые в дальнейшем позволят реализовать режим удаленных наблюдений на телескопе. В ходе этих работ создана базовая структура матобеспечения АСУ, методы и алгоритмы управления аппаратурой телескопа, исключаяющие необходимость режимов жесткого реального времени, что позволяет использовать обычную многозадачную сетевую операционную систему Linux, опробован первый вариант серверной управляющей программы в реальных наблюдениях на БТА, разработана и внедрена система цифрового обзора ночного неба с дистанционно управляемой наружной телевизионной камерой.

В 1999 году выполняется разработка новых непараметрических алгоритмов обработки сигнала радиометров, позволивших увеличить штатную чувствительность при наличии помех. Ввод в штатную эксплуатацию системы регистрации для радиометров сплошного спектра на РАТАН-600 на IBM PC386 под ОС Linux с возможностью удаленного доступа по сети ArcNet по Интернет-

протоколам. Внедрение системы подготовки заданий MCOSS-U с автоматической передачей заданий по e-mail.

Сопровождается, развивается и модернизируется комплекс программно-аппаратных средств системы управления БТА. К Web-сайту САО РАН подключена страница «БТА-on-line», с помощью которой реализована возможность удаленного мониторинга работы телескопа, включающая видеоконтроль телескопа, внешних погодных условий и TV-подсмотров систем сбора (<http://www.sao.ru/BTAcontrol>). Для модернизации и замены приводов азимута и зенитного расстояния БТА разработано программное обеспечение, позволяющее управлять новыми приводами с использованием CAN-шины. Разработана программа тестирования динамики приводов А и Z. Интерфейс оператора дополнен предоставлением цифровой и графической информации о токе и скоростях. Написана программа для обеспечения возможности синхронизации системы АСУ по UTC (с GPS-приемника). Программная разработка «Сетевой клиент-серверный программный комплекс контроля и управления крупнейшим российским оптическим телескопом БТА» зарегистрирована во Всероссийском фонде алгоритмов и программ ВНИИЦ (№ 50200200455).

Проведена полная модернизация программного обеспечения цифровых телевизионных каналов БТА телевизионного комплекса обсерватории, разработана драйверная программа-сервер для грабберов, реализована возможность одновременной обработки и презентации 2-х телевизионных каналов (<http://www.sao.ru/BTAcontrol>). Программное обеспечение цифрового телевизионного комплекса БТА зарегистрировано во Всероссийском фонде алгоритмов и программ ВНИИЦ под №50200200025. На основе проведенного системного анализа и формализации наблюдательного цикла телескопов БТА и РАТАН-600 разработана многоуровневая схема системы диспетчеризации ресурсов от подачи заявки до получения оперативных и архивных данных. Внедрена on-line заявка (русская и английская версии) на наблюдательное время для оптических телескопов САО РАН (<http://www.sao.ru/request/zeiss.html> и <http://www.sao.ru/request/>). Создана база данных расписаний наблюдений на инструментах обсерватории и web-архив расписаний наблюдений на БТА (с 1991г. по 2005г. <http://www.sao.ru/request/schedule/index/html>), РАТАН-600 и Цейс-1000. Разработана программная система автоматического составления предварительного расписания наблюдений. Разработана трехуровневая система ролевых разделений сервисных функций и привилегий пользователей со следующими категориями пользователей: администраторы, члены КТБТ, наблюдатели.

На базе CISCO маршрутизаторов реализовано квотирование потоков данных. Реализован способ управления доступом к контентам Интернет/Интранет, основанный на выделении различной ширины полосы каналов для промежуточных кэш-серверов. Способ позволяет осуществить быстрый доступ к астрономическим ресурсам и «мягко» ограничить доступ к остальным. Для защиты от несанкционированного доступа к информационным и техническим ресурсам обсерватории разработана многоуровневая система доступа со сквозной идентификацией пользователей, ролевым разделением сервисных функций, прав доступа и квотированием информационного канала.

Разработано и внедрено программное обеспечение и электро-механическая часть локального корректора положения звезды фокуса N2. Для автоматизации систем сбора БТА разработана электрическая схема и изготовлено дистанционное управление механизмами платформы SCORPIO (ЛСФВО) в СПФ БТА, разработана электрическая схема и изготовлен пульт дистанционного управления магнитометром в СПФ БТА (ЛИЗМ). Совместно с лабораторией “Структура” введен в рабочую эксплуатацию программный пакет NICE для нескольких наблюдательных методов. Внедрена издательская система LaTeX: разработаны стилевые файлы для изданий SAO. Оборудованы учебные компьютерные классы на ННП и РАТАН-600 для УНЦКП «Наземная астрономия ФЦП «Интеграция».



Проведены исследования и полевые испытания различных вариантов цифровой радиосвязи в ISM (2.4ГГц) диапазоне. Проведена успешная экспериментальная проверка скоростной (11Мбит) радиосвязи между РАТАН-600 и БТА (24км) при различных метеоусловиях. Проведена успешная экспериментальная проверка скоростной (4Мбит) радиосвязи между Zeis-1000 и радиоцентром в п. Сары-гюз (52км). Отлажено программное обеспечение PC-радиомаршрутизатора для организации связи точка-точка на больших дистанциях. Создан территориально-распределенный центр дистанционного использования вычислительных и экспериментальных научно-образовательных ресурсов Южно-Российского Федерального округа «Информатика, наука, образование».

Проведены модернизация сетевых узлов в Ставрополе, Черкесске и проектирование базовой магистрали научно-образовательной сети Южного федерального округа России, включающей основной канал Ростов – Ставрополь – Черкесск–SAO РАН (2 Мбита). Осуществлено развитие инфраструктуры коммуникационных узлов сети, входящих в научно-образовательную телекоммуникационную сеть Южного федерального округа. На базе одного из таких коммуникационных узлов создан центр обмена региональным трафиком (IP-exchange) в г. Ростове-на-Дону. Обеспечено сопровождение программного обеспечения коммутаторов и маршрутизаторов, установленных на ННП, РАТАН-600, ВНП и г. Ставрополе, а также серверов SAO в г. Ставрополе и г. Черкесске.

Сотрудники отдела принимали участие в обеспечении наблюдательных программ (ремонт, тестирование, подготовка и коммутация аппаратуры), выполняли профилактическое обслуживание вычислительной техники, поддержку и сопровождение FTP-архива обсерватории, плановую модернизацию операционных систем и прикладного программного обеспечения. Выполнялись совместные работы с другими подразделениями обсерватории, в частности: раз-

работка информационной системы «Эволюция радиогалактик», работы по теме «Исследование ранней Вселенной методами радиоастрономии», работы по оптическому отождествлению радиоисточников и спекл-интерферометрии. Осуществлялось рабочее взаимодействие с European FITS Committee.

Проведены работы по испытанию и внедрению компьютерного оборудования для систем сбора и управления на базе конструктива compactPCI и ОС Linux RH-8.0 и Windows2000. Разработана базовая часть МО сетевой системы автоматизации инструментальных комплексов телескопов CAO для унификации взаимосвязей, распределенных по различным компьютерам, программ управления наблюдательной аппаратурой, программ сбора сопутствующей информации и программ-интерфейсов наблюдателей. На ее основе выполнена разработка системы автоматизации для аппаратуры управления устройствами в фокусе N2. Система прошла опытную эксплуатацию в процессе реальных наблюдений.

В рамках проекта модернизации АСУ в этом году завершен перевод управления и сбора в узлах А и Z на контроллерный вариант с обменом через CAN-шину, а именно, запущен в пробную эксплуатацию второй контроллер фирмы PER в узле Z. Для этого в главной управляющей программе АСУ для Z реализованы алгоритмы ведения условного времени контроллера и актуализации значений датчиков угла, т.е. их синхронизации с текущим временем, на которое производится расчет теоретических значений. Создана штатная система для систематического мониторинга точностных характеристик БТА. Проведены испытания нового цифрового ТВ ICCD подсмотра с охлаждаемой ПЗС матрицей, управляемой дистанционно. Реализована ТВ система с сетевым доступом для 70-см гида БТА. Организована сетевая служба точного времени на базе GPS тайм-сервера.

Разработана новая версия страниц «БТА-online»: разработан Web-интерфейс оперативного управления БТА (<http://tb.bta.sao.ru/tcs/ctrl/>), позволяющий корректировать положение телескопа, управлять поворотным столом и фокусировкой. Разработан новый интерфейс Web-камер (http://tb.bta.sao.ru/webcam/bta_webcam_js.html) и интерфейс представления ТВ-каналов (http://tb.bta.sao.ru/webcam/tvcams_js.html). Реализован Live-интерфейс к Web-камерам (<http://tb.bta.sao.ru/tcs/livestart.html>). Проведены разработка и внедрение на серверах «CATS» и «SED» системного программного обеспечения, осуществляющего объединение их в общий Linux-кластер с балансированием загрузки процессоров. Проведена разработка и тестирование миграции UNIX-процессов для программ с общей разделяемой памятью, в том числе http-серверов с возможным линейным масштабированием производительности.

Создан распределенный Web-сайт, позволяющий через центральный сайт осуществлять доступ к внутренним Web-сайтам, содержащим различную научную и техническую информацию. Разработан комплекс программ, автоматизирующих поддержку и развитие сайта. Создано и поддерживается зеркало сайта CAO РАН (<http://www.sao.kchr.ru>). Разработан комплекс программ, автоматизирующих поддержку и развитие сайта. Web-сайт CAO согласно рейтингу «Астротоп России» по независимым оценкам в течение последних пяти лет является лучшим профессиональным астрономическим сайтом России и СНГ.

Отлажено и сдано в эксплуатацию программное обеспечение маршрутизаторов и средств мониторинга состояния каналов связи и качества сигнала оборудования радиосвязи. Успешно опробовано совмещение передачи телефонии и данных по гибриднему каналу связи CAO–Черкесск с использованием комбинирования средств ISDN и IP-Phone. Установлена и внедрена офисная АТС DEFINITY с возможностью подключения к междугородной АТС. Выполняется сопровождение последних версий пакета teTeX и поддержка стилей CAO на основных ЭВМ ННП и РАТАН-600. Создан терминальный комплекс в СГУ для опробования методики дистанционного обучения. Произведена административная установка и запуск 1С: Бухгалтерии. Установлен сервер с биллинговой системой для поселковой сети.

В июне 2002 года обсерватория вошла в международный альянс IVOA (международная виртуальная астрономическая обсерватория), который подразумевает непрерывное информационное взаимодействие между исследовательскими коллективами стран ближнего и дальнего зарубежья. Участники альянса решают задачу объединения вычислительных и экспериментальных комплексов, архивов и центров данных с помощью стандартизованных средств сетевого доступа и интерфейсов. Созданная в Обсерватории «Система дистанционного доступа к информационным и техническим ресурсам телескопов БТА и РАТАН-600» является базой для создания Российской виртуальной обсерватории, интегрирования российских астрономических ресурсов и обеспечения доступа к данным мирового научного сообщества. Разработка программы создания Российской виртуальной обсерватории осуществляется совместно с ИНАСАН, ИПИ и МСЦ РАН.

Отдел информатики принимал участие в работах по проекту Учебно-научного центра коллективного пользования «Наземная астрономия» Федеральной целевой программы «Интеграция», в частности, сотрудниками оборудованы 2 учебных класса на ННП и РАТАНе, установлены стандартные астрономические системы обработки данных на учебных машинах для студентов, аспирантов и молодых научных сотрудников, проходящих практику и стажировку в CAO РАН, и разработана домашняя страница УНЦКП на Web-сайте CAO РАН. Сотрудниками отдела проводятся лекции и практические занятия со студентами МГУ, СПбГУ, КазГУ и СГУ по темам «Информационное обеспечение наблюдений», «Работа в системе MIDAS».

Обсерватория является активным участником целевых программ РАН: «Информатизация Президиума и научных учреждений РАН» и «Высокопроизводительные вычислительные системы и телекоммуникации». Российским фондом фундаментальных исследований поддержано более десяти проектов, представленных сотрудниками отдела информатики. На базе CAO организованы и проведены с участием ведущих специалистов России три рабочих совещания-семинара «Информационные системы в фундаментальной науке». С 2005 года этот семинар включен в программу регулярных мероприятий РАН. Проблема создания информационных систем актуальна как никогда ранее и занимает одно из центральных мест в развитии фундаментальной науки. В настоящее время информационные системы приобретают все более важное значение в связи с увеличением объема информации, поступающей от новых экспериментальных

комплексов, с развитием новых подходов к обработке и хранению экспериментальных данных и обеспечением доступа к ним максимально возможному числу научных коллективов и индивидуальных исследователей. Состояние информационно-образовательных сетей, как общероссийских, так и региональных вызвало также большой интерес и широко обсуждалось участниками совещания. Дополнительно обсуждалась проблема взаимодействия государственных и негосударственных учреждений, министерств, ведомств, РФФИ и других фондов в решении проблемы обеспечения информационной базы науки.

Регулярно в САО проводится семинар по автоматизации научных исследований и информатике.

Виртуальное будущее

Каковы бы ни были терминологические споры о виртуальности, будущее всегда виртуально и, хотя оно иногда обретает реальность слишком быстро, мы всё же можем на него повлиять, строя планы и реализуя свои цели.

В ближайших планах отдела информатики – создание кольцевой структуры локальной сети САО для обеспечения гарантированной надежности телекоммуникационной связи всех объектов обсерватории и реализация высокоскоростных наземных каналов связи САО – Зеленчукская – Черкесск. Реализация режима дистанционных наблюдений для штатных систем сбора данных телескопов САО. Создание автоматического наблюдательного модуля на базе малого телескопа с Интернет-доступом и интеграцией в международные сети. Завершение создания Банка данных САО как федерации локальных архивов и баз данных и включение его в качестве информационного ресурса IVOA. Информатизация основных служб САО, включая модернизацию библиотечной и издательской деятельности САО в соответствии с тенденциями развития электронных публикаций и библиотек. Еще есть приземлённые, но весьма необходимые планы модернизации системы телефонной связи САО для обеспечения гарантированной надежности и качества.

Более отдаленные планы связаны с реализацией разработанной в САО концепции Российской виртуальной обсерватории (В. Витковский). Количество информации, получаемое мировым астрономическим сообществом, благодаря достижениям в области разработки и создания крупных наземных и спутниковых телескопов, производства высокочувствительных мозаичных панорамных светоприемников и развития средств связи, растет в последнее десятилетие по экспоненциальному закону.

Эти тенденции де-факто меняют традиционную схему проведения астрофизических исследований: на смену работе небольшой группы исследователей, выполняющих для получения научного результата в течение достаточно продолжительного времени наблюдения небольшой группы объектов, приходят многопараметрические исследование цифровых обзоров в различных диапазонах электромагнитного излучения. Изменение парадигмы наблюдательного процесса связано с ростом вычислительных мощностей компьютерного оборудования и развитием программного обеспечения, позволяющего накапливать,

обрабатывать и сохранять терабайтные объемы данных, а также с необходимостью более эффективного использования дорогостоящих экспериментальных комплексов. Изменения определенно затронут способы распределения наблюдательного времени. По принятой сейчас схеме орбитальные и наземные обсерватории выделяют значительную часть своего времени на проведение исследований в режиме «single observer/single program», когда маленькие порции времени выделяются большому количеству исследовательских программ со своими списками объектов. Предполагается в дальнейшем выделение большей части времени для программ, связанных с обзорами неба и выполняемых в нескольких диапазонах.

Существующие наборы данных когерентных обзоров больших участков неба в нескольких диапазонах открывают возможности для получения новых знаний (data mining), поиска и открытия редких объектов, поиска переменности и т.п. с помощью сложных алгоритмов распознавания образов, статистических и эвристических методов (discovery tools). Совершенно новые научные результаты могут быть получены из совместного использования данных, накопленных на разных инструментальных комплексах в ходе различных экспериментов. Высокая пропускная способность средств телекоммуникации и быстрый темп накопления данных как наземными, так и орбитальными инструментами требуют адекватной организации эффективного обмена информацией между большим количеством сайтов для скорейшего достижения новых научных результатов. В настоящее время очевидно, что не только накопление и анализ, но и организация и распространение данных являются существенным элементом дальнейшего развития науки и технологий.

Все это требует организации новой структуры для более эффективного синтеза технологических возможностей. Эту объединяющую, контролирующую, наблюдательную роль сможет играть Виртуальная обсерватория (ВО), способствуя рациональной организации столь стремительно растущей массы астрономических данных.

Основные идеи проекта Российской виртуальной обсерватории (РВО) впервые были представлены на конференции ВАК-2001 (Санкт-Петербург) и ADAS XI (Victoria, Canada). Принципы и подходы к созданию Российской виртуальной обсерватории сформулированы на основе проведенного анализа проблем, связанных с повышением эффективности использования российских и мировых информационных и экспериментальных астрономических ресурсов, а также реализуемых или объявленных проектов создания Виртуальных обсерваторий (ВО). Более широкий взгляд на проблему создания ВО сделал необходимым расширение самой концепции ВО, поскольку не существует принципиальных различий между данными, хранящимися в архивах, и данными, получаемыми непосредственно с телескопов или в результате моделирования и численных экспериментов. Не существует больших отличий между данными реальных научных экспериментов и учебно-методическими данными, то же, в смысле совместной работы, относится и к реальному или виртуальному общению исследователей. В отличие от общепринятого, в настоящее время представления ВО как распределенной коллекции архивных и производных от них данных (т.н. «Виртуальное небо»), основным принципом РВО является объединение в одной

распределенной системе экспериментальных комплексов, архивов, баз и банков данных со стандартизованными интерфейсами и средствами сетевого доступа, в том числе к суперкомпьютерным центрам.

В отличие от других предлагаемых концепций (NVO, Astrovirtel и проч.), в качестве базовых принципов построения РВО предлагается:

- объединение в одной распределенной системе экспериментальных комплексов, архивов и центров данных РВО, со стандартизованными интерфейсами и средствами сетевого доступа;
- организация для запросов на получение информации единого входного портала, реализующего удовлетворение запроса в существующей информационной базе, а при невозможности этого – постановку в очередь на проведение эксперимента на адекватном запросу инструментальном комплексе РВО;
- реализация процедуры «сетевой транспортировки» исследователя к источникам данных, а не данных к исследователю, подразумевая под этим расширенный доступ пользователя к информационным, вычислительным и инструментальным ресурсам, включающий возможность использования на базе РВО собственных программных и аппаратных средств;
- создание на базе РВО Открытой Виртуальной Среды (ОВС) астрономического образования, выполняющей функции обучения, общения и энциклопедии.

Структура РВО должна включать следующие основные компоненты:

- архивы, базы и банки астрономических данных;
- автоматические телескопы (робот-телескопы с Интернет-доступом, on-line заявки на крупные телескопы) и системы сбора данных;
- развитые средства удаленного доступа к информационным и экспериментальным ресурсам с адекватными телекоммуникационными каналами;
- адекватные потокам данных вычислительные системы и/или средства удаленного доступа к суперкомпьютерным центрам;
- распределенную систему контроля и диспетчеризации ресурсов;
- самообучающиеся экспертные системы;
- программные средства обработки данных и поиска новых закономерностей;
- открытую виртуальную среду астрономического образования;
- многоуровневую сеть Web-сайтов с главным порталом «Российская виртуальная обсерватория».

Основой взаимодействия пользователя с РВО будет являться портал «Российская виртуальная обсерватория», который будет удовлетворять все запросы на имеющиеся ресурсы по следующей схеме.

Первичный запрос детализируется, уточняется и корректируется в ходе интерактивного взаимодействия с порталом, после чего производится сканирование существующих баз данных. Если запрос не может быть удовлетворен существующими данными, проводится подбор доступных инструментов, составляется заявка на наблюдение. Заявка включается в расписание наблюдений и пользователь получает данные в ходе или после проведения наблюдений. Если вы-

выбранный инструмент полностью автоматизирован, процедура выполняется автоматически. Если же инструмент автоматизирован частично или существует программный комитет, распределяющий его ресурсы, пользователь получает возможность составления требуемой заявки. К оформленной заявке автоматически добавляется заключение об оригинальности запрашиваемых данных. Данные, выбранные в базах или получаемые в ходе эксперимента, могут быть обработаны стандартными программами из библиотеки РВО или собственными программами пользователя.

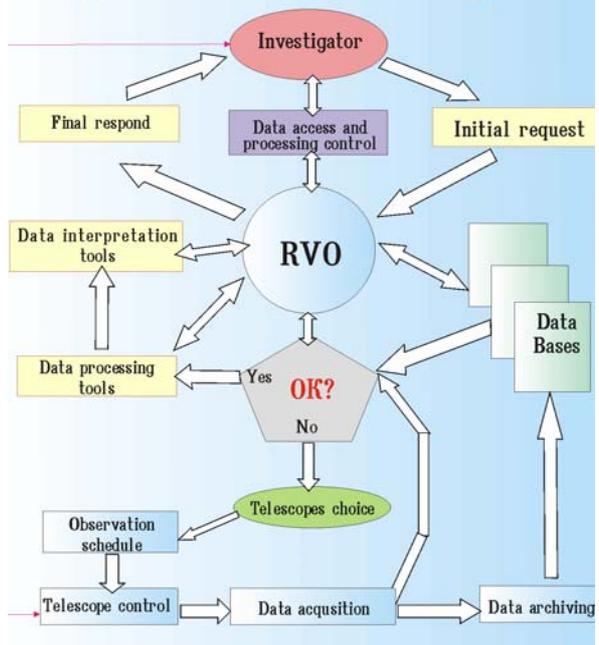
Функционирование РВО должно основываться на быстро развивающихся технологиях телекоммуникаций и информатики. Чтобы обеспечить постоянную жизнеспособность, РВО необходимо:

- *формироваться как распределенная структура*, поскольку основная исследовательская работа, создание новых центров и развитие новых направлений в существующих происходит, и будет происходить, в географически разнесенных местах;
- *эволюционировать*, то есть с самого своего основания быстро реагировать на изменение технических и научных возможностей, а также потребностей астрономического сообщества;
- *действовать объединяюще* для всех возможных средств наблюдений, поиска, обработки и интерпретации данных;
- *быть открытой* для образовательных и познавательных целей;
- *ориентироваться на глобализацию*, в смысле сотрудничества с другими странами в подобных проектах.

Существенный прогресс в телекоммуникациях и информатизации науки и образования в России делает реальным создание Российской виртуальной обсерватории. Обеспечение доступа к имеющимся в стране и существующим в мире информационным и экспериментальным ресурсам является основной задачей, решение которой в значительной степени улучшит возможности проведения научных исследований и астрономического образования в нашей стране.

В настоящее время реализуется проект создания распределённой гетерогенной системы мониторинга небесных объектов, как экспериментальной базы РВО. Проблема создания географически распределённых мониторинговых систем актуальна для многих областей науки – астрономии, геофизики, метеороло-

The main technological scheme of the RVO response for a scientific data request



гии и др. Построение специализированных сетей для таких систем в настоящее время нереально по экономическим причинам. Решением проблемы может быть разработка и реализация методов обеспечения взаимодействия в режиме реального времени эксперимента географически распределенных наблюдательных комплексов через сети общего пользования (Интернет).

Задачи мониторинга ближнего и дальнего космоса требуют возможности непрерывного наблюдения за небесными объектами в течение всего суточного цикла. Для этого необходимо долготное размещение наблюдательных комплексов по всем часовым поясам Земли и широтное распределение их для обеспечения видимости всего неба и независимости от погодных условий. Большая протяженность Российской территории по долготе и широте, с одной стороны, делает необходимым размещение узлов мониторинга на географическом удалении друг от друга, а с другой – предоставляет возможность проведения уникальных экспериментов и равноправного участия в международных мониторинговых проектах. Решение проблемы обеспечит выполнение широкого круга астрофизических задач, получение возможности решения научных задач нового поколения, возможность интегрированного подхода к изучению Вселенной, оптимизацию использования информационных ресурсов, повышение эффективности использования дорогостоящего телескопного времени.

Развитие современных компьютерных технологий – распределенных вычислительных систем, объектно-реляционных баз данных, web-ориентированных средств доступа к экспериментальным данным – требует реализации нового подхода к информационно-вычислительному обеспечению наземных астрономических экспериментов. Необходимо учитывать информационную открытость мирового астрономического сообщества, которая определяет выбор форматов данных, пакетов обработки данных, методологию и технологию организации наблюдательного процесса. На повышение эффективности телескопов оказывает влияние не только их техническое оснащение, но и правильная организация информационных потоков данных, научных данных – для хранения и эффективного доступа, технических данных – для отслеживания изменения состояния инструментов.

Создаваемая система должна позволить осуществлять подготовку и проведение экспериментов на оптических и радиотелескопах из центра сбора и обработки данных или прямо на пользовательских терминальных комплексах, которые с помощью сети Internet могут быть реализованы на рабочих станциях пользователей в любой точке земного шара. Базовыми экспериментальными комплексами должны являться крупнейшие российские телескопы с разработанной для них системой дистанционного доступа к экспериментальным и информационным ресурсам. Базовыми узлами распределенной обработки данных должны являться отечественные суперкомпьютерные центры, наряду с которыми должны использоваться распределенные вычислительные ресурсы в режиме виртуальных кластеров. Для размещения основных архивов и баз наблюдательных данных должны использоваться ресурсы суперкомпьютерных центров с высокоскоростным доступом к международным сетям и средствами автоматической актуализации.

По результатам выполненных в CAO РАН НИР, НИОКР, с учетом международного опыта и опыта построения системы удаленного доступа к информационным и экспериментальным ресурсам CAO РАН планируется детальная разработка и внедрение архитектуры системы распределенного эксперимента. Объектом разработки и внедрения является территориально распределенная система, обеспечивающая функционирование и сетевое взаимодействие автоматических и/или автоматизированных наблюдательных модулей и позволяющая выполнять удаленный ввод заданий, планирование и проведение наблюдений, удаленный контроль в ходе эксперимента и доступ к получаемым и хранимым в локальном архиве данным. Типовой узел должен обеспечивать возможность дистанционного проведения экспериментов и информационное взаимодействие в процессе наблюдений и обработки результатов экспериментов между узлами в университетах и астрономических учреждениях России, а также с исследовательскими коллективами стран ближнего и дальнего зарубежья. Предполагается создание действующей модели системы на базе автоматических комплексов, расположенных в CAO РАН, СПб филиале CAO, СГУ, УрГУ и НГУ. Планируется изучить возможность взаимодействия с системами, разработанными в рамках проектов HOU, SkyQuery и других. Архитектура распределенной системы должна объединять 7 подсистем, реализующих сервисные функции и телекоммуникационные связи: подсистему планирования эксперимента (ППЭ); подсистему диспетчеризации ресурсов (ПДР); подсистему удаленного доступа к автоматизированным комплексам сбора наблюдательных данных (ПДСД); подсистему удаленного доступа к автоматизированным системам управления телескопами (ПДСУ); подсистему архивизации и доступа к архивам наблюдательных данных (ПДА); подсистему обработки наблюдательных данных (ПОД); телекоммуникационную подсистему с Интернет-сайтом (ТП). Предполагается создание на базе существующих астрономических инструментов автоматических, специализированных по методу наблюдений телескопов и увязка их с уже существующими автоматизированными инструментами, например – европейский проект DYNOCORE. Автоматические с возможностью дистанционного доступа малые телескопы можно использовать для отработки методик проведения дистанционных коллективных наблюдений, их достаточно просто делать монопрограммными и легко управлять ресурсами (специализированные телескопы для изучения определенных объектов).

Разрабатываемая технология должна предусматривать применимость в различных областях экспериментальной науки, образовании и прикладных исследованиях, в частности, мониторинге атмосферы, метеорологии, геофизике и т.п.

В настоящее время чаще всего через Интернет осуществляется доступ к информационным ресурсам, фактор времени доступа к которым не играет особой роли. Такие ресурсы можно считать стационарными. В то же время с развитием скоростных каналов связи появляется возможность Интернет-доступа к экспериментальным комплексам, работа с которыми требует выполнения условий режима реального времени. Такие ресурсы можно отнести к динамическим, и работа с ними связана с реальным временем в смысле управления физическим экспериментом. Задача создания подобного рода динамическо-

го ресурса возникла при разработке системы дистанционного доступа к информационным и экспериментальным ресурсам САО РАН. Основной целью проведения астрофизических экспериментов является получение информации об астрофизических объектах. Такая информация получается при проведении наблюдений и обработке полученных результатов. Всю цепочку – от постановки научной задачи, проведения эксперимента и до получения научного результата – мы рассматриваем как единый технологический цикл. Наиболее важной частью этого цикла является проведение эксперимента (наблюдения), который включает в себя: управление телескопом, управление приемниками излучения, регистрацию и сбор наблюдательных данных. Под реальным временем наблюдательного цикла мы понимаем такой ограниченный промежуток времени, в течение которого происходит изменение информации о состоянии телескопа, систем сбора данных, климатических условиях. И эти изменения могут повлиять на проводимый наблюдательный эксперимент. Каждый тип информации имеет свой период старения, к примеру, для положения телескопа этот интервал – минуты, изменения метеопараметров – часы. В целом, режим реального времени должен обеспечивать оптимальную работу телескопа в течение ночи. В частности, допускать замену объектов наблюдения или изменение режимов наблюдения. Существенным является обеспечение возможности активного и оперативного влияния астронома на наблюдательный процесс в зависимости от изменяющихся параметров. К этой информации относятся локальные метеопараметры и метеобстановка, движение и положение телескопа, качество изображения, которое влияет на режимы наблюдения.

Для обеспечения наблюдательного процесса постоянно развивается и модернизируется комплекс программно-аппаратных средств системы управления БТА и телевизионный комплекс обсерватории. Информацию о местных метеоусловиях и телевизионных изображениях телескопа можно получить в режиме реального времени (live push stream image mode) на странице «БТА-online» (<http://www.sao.ru/BTAcontrol>). Реальное управление телескопом имеет много особенностей, в частности, изменение режимов его работы нельзя предоставлять любому желающему. Для решения проблемы несанкционированного вмешательства в работу телескопа предусмотрены несколько уровней доступа к функциям управления, защищенные паролями.

По функциональным возможностям и удаленности доступа интерфейсы, обеспечивающие управление телескопом, можно условно разделить на три зоны. Интерфейс с максимальной функциональностью предоставляется в локальной сети телескопа. Это самая ближняя зона, где управление инструментом осуществляется мультикастинговой рассылкой UDP-пакетов. Именно в этой зоне работают операторы телескопа, для которых разработан специализированный графический интерфейс с полным набором функций управления телескопом. Ограниченная функциональность предусмотрена для астронома, проводящего наблюдения, что отражено в соответствующем интерфейсе наблюдателя. Это средняя зона, где информация по управлению телескопом передается с организацией ТСП-сессии на любом компьютере внутренней корпоративной сети обсерватории. Эти интерфейсы могли бы использоваться из внешней сети, но эта возможность закрыта из соображений безопасности. Для стороннего заяви-

теля возможны только функции мониторинга, который может выполняться с помощью стандартного интернет-браузера. Эти функции немаловажны для заявителя наблюдательной программы, который по разным причинам не может присутствовать на наблюдениях. Таким образом, заявитель может контролировать наблюдаемые объекты, качество изображения и т.п. Можно с уверенностью утверждать, что число динамических ресурсов с Интернет-доступом будет неуклонно возрастать, и любой современный крупный наземный телескоп должен будет обеспечивать подобного рода сервисы. Для системы удаленного доступа к автоматизированным системам управления телескопами предложена спецификация программно-аппаратного интерфейса, позволяющего пользователю осуществлять управление телескопами во время проведения экспериментов и получать необходимые для последующей обработки результатов данные АСУ о координатных, климатических и прочих условиях проведения эксперимента, а также текущие инструментальные параметры.

Современные телескопы – это весьма дорогостоящие сооружения, их эксплуатация, а также сбор, хранение и доступ к полученным данным требует значительных затрат. Дорогое телескопное время требует повышения эффективности использования астрономических инструментов. Автоматические телескопы появились в 80-е годы, после 2000 года их количество в мире составляет более 100. Порядка 20-ти проектов находятся в стадии реализации и около 25 проектов тестируются и вступают в эксплуатацию. Диаметры телескопов-роботов варьируются от 25 см до 2.2 м.

К примеру, проект On-line Observatory System CATS-I, Токио, Осака, Япония включает три небольших телескопа – 20, 25, 45-см диаметра. Система используется для образовательных целей. В этой системе преподаватели и студенты в дистанционном режиме могут подготавливать программу наблюдений, а результаты получить в удобное время.

Другой пример – проект ККК, предназначенный для мониторинга кратковременных оптических вспышек с целью изучения гамма-вспышек. Телескоп состоит из 16-ти широкоугольных камер на двух независимо управляемых платформах. На один участок неба направлены две камеры для устранения ложных срабатываний. Наблюдения идут полностью автоматически, включая анализ состояния погоды, передачу данных и сообщения о возникающих технических проблемах.

Британские астрономы запустили в работу глобальную сеть телескопов-роботов RoboNet-1.0, одна из задач которой – поиск похожих на Землю планет. Сеть состоит из трёх телескопов, в случае успеха проекта количество телескопов увеличат вдвое. Телескопы расположены в Британии, Австралии и на Канарских островах. Программное обеспечение (разработанное в Liverpool John Moores University) системы и скоростные линии связи позволяют управлять телескопами из одного центра. Из-за того, что телескопы находятся в разных широтах и на разной долготе, имеется возможность непрерывного наблюдения за объектом. Система имеет возможность оперативно реагировать на скоротечные события, замеченные другими наблюдателями, а также проводить обзоры неба с автоматическим анализом изображений.

Главное отличие предлагаемого решения заключается, с одной стороны, в возможности объединения в единую сеть разнородных экспериментальных ресурсов и, с другой стороны, в создании достаточно дешевого типового инновационного образца для распространения сети на всю территорию России путем ее внедрения в небольших научно-образовательных учреждениях. Такая сеть могла бы сыграть существенную роль в задаче мониторинга нестационарных небесных объектов. Автоматические телескопы используются для наблюдений в разных спектральных диапазонах как для научных задач, так и для образовательных целей. Разрабатываемая технология должна повысить эффективность использования уникального дорогостоящего экспериментального оборудования за счет привлечения большого числа исследователей из различных областей науки.

ПРОБЛЕМЫ ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА БТА В ТЕЧЕНИЕ 30-ТИ ЛЕТ РАБОТЫ ТЕЛЕСКАОПА

Л. И. Снежко

В 1976-1979 гг. в НПО “Оптика” и “ПО” Рубин в ходе выполнения научных исследований по разработке методов формообразования крупногабаритной оптики было изготовлено еще одно 6-метровое зеркало. Межведомственная комиссия рекомендовала установить зеркало на БТА ввиду более высокого качества его оптической поверхности. В результате, в 1980 г. на БТА было установлено новое главное зеркало, получившее название 2-го ГЗ БТА. Аттестация на телескопе показала, что параметры, характеризующие качество поверхности зеркала, находящегося в штатной системе разгрузки, остаются такими же, как и полученные в цеховых условиях.

Казалось, что оптические проблемы решены и можно заняться другими задачами реализации научной эффективности БТА. Однако ГЗ БТА стало “преподносить сюрпризы”. Прежде всего, не удавалось зафиксировать положение оптической оси зеркала. Положение ее систематически менялось, а в 1982 г. произошло отключение одной из фиксирующих опор. Аварийная ситуация была ликвидирована, но последующий контроль вновь показал систематический уход оптической оси. В конечном итоге была установлена и устранена причина явления – несоблюдение допусков на размеры глухих отверстий для механизмов разгрузки. Контроль в 1984-87 гг. показал стабильность положения оптической оси. По данным этого контроля удалось получить и статистику тепловых деформаций поверхности ГЗ БТА. Подтвержден вывод об опасности работы штатной системы продува оправы ГЗ БТА при больших перепадах температуры (предельный перепад температур зеркала и окружающего воздуха 10°).

Вновь показалось, что проблемы главной оптики БТА решены. Однако на горизонте появилось облачко – при переалюминировании в 1985 г. на поверхности ГЗ БТА обнаружилось “шероховатое” пятно, проявившееся после нанесения отражающего слоя. На это не обратили особого внимания, технологи ЛОМО объяснили появление пятна “нагаром” в процессе алюминирования. К тому же сохранялась уверенность получить в начале 90-х годов от промышленности новое, на сей раз ситалловое зеркало. При переалюминировании в 1990 г. обнаружился рост “шероховатого” пятна и появление новых пятен. После нанесения отражающего слоя пятна не проявлялись. Явление было картографировано, но вновь не привлекло особого внимания, так как надежда получить ситалловое зеркало сохранялась. Были предприняты только меры по сохранению отражающего слоя – разработана щадящая методика чистки поверхности ГЗ с учетом характера запыленности в месте установки БТА. Выполнение работ по подготовке к переалюминированию было возложено на СЭК БТА.

При очередном переалюминировании в 1995 г. обнаружился рост числа и размеров “шероховатых” пятен. После нанесения отражающего слоя пятна проявились в вариациях коэффициента отражения по поверхности зеркала в

пределах 5%. Надежды на ситалл исчезли, встал вопрос о причинах разрушения полированного слоя. Первый же анализ проблемы указал на основную причину – нестойкость стекла 316 в кислотных средах. Первые же эксперименты с образцами стекла 316 показали полное разрушение полированного слоя за часы при обработке их растворами азотной кислоты, что полностью подтвердилось исследованиями в лабораториях ЛЗОС. Таким образом, включение азотной кислоты в процедуру очистки поверхности было просто ошибкой, приведшей к разрушению полированного слоя. Первоначально обсуждалась идея устранения разрушенных участков поверхности прямо на телескопе. Но при переалюминировании в 2005 г. обнаружилось, что разрушение полированного слоя охватило почти всю поверхность ГЗ БТА. Поэтому заключен и выполняется договор с ООО “ЛЗОС” о создании нового ГЗ БТА, используя диск 1-го зеркала.

Тридцать лет опыта исследований и научной эксплуатации такого сложного оптико-механического комплекса как БТА показали необходимость делового взаимодействия САО и промышленности от стадии проектирования до модернизации в процессе эксплуатации. Иначе работа приобретает черты, затрудняющие эффективную реализацию наблюдательных возможностей телескопа.

6-М ТЕЛЕСКОП В ПОИСКЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ЭВОЛЮЦИИ ЗВЕЗД ВБЛИЗИ AGB

В. Г. Клочкова

Короче говоря, объекты этой группы для нынешней человеческой практики совершенно бесполезны, хотя с чисто научной точки зрения имеют фундаментальное значение.

А. и Б. Стругацкие «Пикник на обочине»

1. Эволюция звезд вблизи AGB

Звезды малых и промежуточных масс (их исходные массы на главной последовательности меньше $8-9 M_{\odot}$, а горение гелия в их ядрах на стадии красного гиганта идет в отсутствие вырождения электронов) на стадии асимптотической ветви гигантов (AGB) наблюдаются в виде холодных ($T_e \sim 3000$ К) красных сверхгигантов. AGB-звезды представляют собой плотное С-О-ядро, окруженное протяженной оболочкой (Ибен, Рензини, 1983; Шенбернер, 1983). После истощения гелия в ядре образуется вырожденное С-О ядро, окруженное энергетически активными слоями горения He и H, т.е. образуется конфигурация – аналог звезды AGB. Большую часть времени энерговыделение обеспечивает водородный слой, однако в определенные моменты, по мере присоединения продуктов горения водорода к гелиевому слою, в нем происходит кратковременное возгорание гелия. При этом горение водорода в охваченной конвекцией водородной оболочке прекращается. Данная конфигурация звезды неустойчива, и теория предсказывает достаточно эффективное перемешивание и вынос за счет проникающей конвекции в атмосферу звезды вещества, переработанного в ядерных реакциях, сопровождающих указанные процессы энерговыделения. Вынос вещества, обусловленный многократно повторяющимся чередованием тонких энергетически активных слоев водорода и гелия, принято называть 3-им перемешиванием (подробнее см., например, Смит, Ламберт, 1990; Латтанцио, 1993). Современные эволюционные сценарии с учетом проникающей конвекции даны в работах Хервига и др. (1997), и в кратком виде представлены Хервигом (2001). Результаты расчетов синтеза и выноса элементов s-процесса приведены Буссо и др. (1999). Под s-процессом понимается синтез тяжелых ядер за счет медленной (по сравнению с β -распадом) нейтронизации ядер ^{13}C (или же ядер ^{22}Ne в случае самых массивных AGB-звезд).

В этой фазе, завершая свою эволюцию за счет термоядерных реакций, звезда за короткое (в эволюционной временной шкале) время теряет до 40-80% своей массы. Звезды на поздних стадиях теряют богатое водородом В

вещество оболочки за счет двух процессов: во-первых, свежие наработанные в ходе нуклеосинтеза углерод и кислород присоединяются к вырожденному C-O ядру, во-вторых, вещество теряется за счет ветра с поверхности звезды. Масса ионизированной части оболочки планетарной туманности (PN) около $0.2 M_{\odot}$; если ее возраст около 5000 лет, то темп потери массы на AGB должен быть около $4 \times 10^{-5} M_{\odot}/\text{год}$, в то время как по Реймерсу для звезды такой массы он может быть на 1-2 порядка меньше. Именно поэтому было введено понятие "сверхветра" с темпом порядка $10^{-4} M_{\odot}/\text{год}$ (Рензини, 1981). Вследствие сброса вещества вокруг звезды образуется оптически толстая оболочка и звезда перестает наблюдаться в оптике. В какой-то момент жизни AGB-звезды внезапно темп потери ее массы резко возрастает. Это быстрое нарастание темпа потери массы находит отражение на диаграмме ИК-цветов в виде провала между непременными AGB-звездами, практически не имеющими ИК-избытков, и post-AGB (см., например, ван дер Вин, Хэбинг (1988), рис. 3а и 5а). Эти авторы высказывают предположение, что одной из причин резкого возрастания темпа потери вещества может быть пульсационная нестабильность сверхгигантов, поскольку по обе стороны от вышеупомянутого провала существенно различаются количества переменных звезд. Кроме того, в протяженных атмосферах сверх- и гипергигантов существует сложная картина турбулентности, которая создает турбулентное давление на вещество и может служить причиной потери массы с высоким темпом (де Ягер, 1992). Стадия со "сверхветром" прекращается у маломассивных и среднемассивных звезд, когда истощается водородная оболочка. Продолжительность фазы "сверхветра" невелика: 10^2 - 10^3 лет (Делфос и др., 1997).

"Сверхветер" в значительной мере определяет наблюдаемые свойства звезды, пережившей фазу "сверхветра": распределение энергии в ее спектре, химический состав оболочки и звезды, морфологию и кинематику пылевой и молекулярной оболочек, особенности спектра оптического, ИК- и радиоспектра. Когда масса водородного слоя снижается до $0.001 M_{\odot}$, ветер прекращается за время около 100 лет. Значение эффективной температуры в этот момент эволюции составляет примерно 6000К (Блекер, 1995a,b). Именно этот момент принято считать началом стадии post-AGB. Далее эффективная температура продолжает расти, звезда перемещается в голубую область диаграммы, а оболочка отделяется от звезды, поглощение излучения звезды в ней снижается. Большую часть времени светимость звезды обусловлена горением водорода в слое. После появления в его спектре рекомбинационных линий водорода и запрещенных линий металлов объект становится легко наблюдаемым в виде планетарной туманности. Эта стадия может длиться до значений T_e около 30000К, при которых начинается ионизация околозвездной туманности. Гезицки и Зиджльстра (2001) определили массы ядер 44 PN, получив среднее значение $0.61 M_{\odot}$ с очень малым разбросом от 0.58 до $0.63 M_{\odot}$.

Сброшенное в режиме "сверхветра" вещество, поступает в околозвездную, а затем и в межзвездную среду и обогащает ее продуктами ядерных

реакций. Это обстоятельство делает объекты на кратковременной переходной стадии от AGB к post-AGB предельно важными для исследований химического состава, измененного в результате процессов нуклеосинтеза в ходе эволюции данной звезды. Традиционно эту проблему изучали на примере спектров планетарных туманностей, но при этом в результате наземных наблюдений можно получить лишь данные о содержании легких элементов. Детали же кривой распространенности, обусловленные ядерными процессами на поздних стадиях эволюции, оставались малоизученными. Спектры звезд на стадии post-AGB, являющихся поздними (F,G) сверхгигантами, позволяют оценить содержания как легких элементов, так и тяжелых металлов, синтезируемых за счет нейтронизации ядер железа. Сложность изучения звездного нуклеосинтеза определяется тем, что эффективность синтеза и выноса свежих ядер на поверхность звезды зависит от большого числа факторов: исходной массы звезды на ГП, металличности, параметров истечения вещества, деталей процесса нуклеосинтеза и перемешивания. Поэтому, помимо классической проблемы исследования химического состава звезд на нетривиальных стадиях эволюции, самостоятельный интерес представляет и возможность изучения процессов обмена веществом между звездной атмосферой и околозвездной пылевой оболочкой, поиск механизмов, объясняющих peculiarity химического состава атмосфер звезд, окруженных пылевыми оболочками.

Просмотр публикаций по проблеме звезд вблизи стадии AGB приводит к выводу о том, что важной вехой была миссия IRAS (1983). ИК-телескоп IRAS просмотрел почти 95% всей небесной сферы, одним из результатов было выделение на высоких широтах Галактики ИК-источников, представляющих собой околозвездные оболочки с температурами от 200 до 1000 К. Особенно ценными были наблюдения 5425 объектов с ИК-спектрометром в области 7.8-23 мкм. Впоследствии (Поташ, Партасарати, 1988; Хривнак и др., 1989; Оудмейер и др., 1992; Оудмейер, и др., 1996) часть этих объектов была отождествлена со звездами высокой светимости, предположительно на эволюционной стадии post-AGB. Небольшая часть выделенных объектов доступна спектроскопическим наблюдениям с высоким спектральным разрешением. Итоги первого десятилетия исследований представлены в обзоре Квока (1993а), а результаты, полученные в последнее десятилетие, кратко изложены Квоком (2001) и ван Уинкелем (2003).

Часть вопросов, вызванных неопределенностью эволюционного статуса, расстояний и светимости кандидатов в PPN в галактическом поле, можно устранить, если обратиться к исследованию их аналогов в составе шаровых скоплений. Однако из-за кратковременности эволюционной стадии post-AGB в шаровых скоплениях существует весьма ограниченная выборка таких объектов, еще меньше список тех PPN в шаровых скоплениях, которые доступны спектроскопии с высоким спектральным разрешением. В настоящее время детальный химический состав post-AGB звезд определен в ближайшем шаровом скоплении ω Cen (Гонзалес, Уоллерстейн, 1992, 1994). Благодаря членству в скоплении ω Cen, сверхгигант ROA24 из ω Cen является надежным представителем стадии post-AGB. Распространенность химических элементов в атмо-

сфере ROA24 (Гонзалес, Уоллерстейн, 1992) рассматривается как эталонная для стадии post-AGB и используется при изучении объектов, подозреваемых в принадлежности к этой эволюционной стадии. Но и в этом, наиболее благоприятном для наблюдений случае, отношение S/N в спектрах, полученных на 4-м телескопе СТЮ, как правило, недостаточно для измерений слабых абсорбционных линий. Очевидно, что массовые высокоточные наблюдения с высоким спектральным разрешением звезд в составе шаровых скоплений – приоритетная программа для телескопов с диаметром зеркала более 4 м. Недавно с помощью телескопов Кека и VLT получены данные для 3-х горячих ($T_e > 10000\text{K}$) post-AGB звезд из шаровых скоплений (Муни и др., 2004). Ниже мы приведем результаты нашей спектроскопии далеко проэволюционировавших звезд – членов шаровых скоплений.

Самостоятельной проблемой является поиск и изучение внегалактических звезд, кандидатов в PPN. Для отбора кандидатов успешно применяются ИК-спектроскопия и двухцветные IRAS-диаграммы (Оудмейер и др., 1996). Например, в Малом Магеллановом облаке выделены (ван Лун и др., 1997) post-AGB звезды подклассов II-III (по классификации ван дер Вина, Хэбинга (1988)). Однако околозвездные оболочки, а следовательно, и избытки ИК-излучения имеются не только у звезд, эволюционирующих в PN, но и у звезд на принципиально иных фазах эволюции: Ae/Be-звезды Хербига, звезды типа TТац, типа λBoo , а также массивные Be-звезды и сверхгиганты. Поэтому только ИК-цвета звезд не могут служить однозначными критериями принадлежности стадиям AGB и post-AGB.

2. Результаты наблюдений протопланетарных туманностей

2.1. Газопылевые оболочки

Из общих представлений теории звездной эволюции следует, что объекты на переходной стадии post-AGB, пережившие фазу AGB со значительной потерей массы, являются звездными остатками высокой светимости, окруженными пылевой оболочкой с температурой около 200K. С точки зрения теории и наблюдений переходный, очень короткий (около 10^3 лет) период эволюции от стадии AGB к планетарной туманности пока наименее изучен. Теоретическое изучение эволюции PPN затруднено из-за сложности их структуры, включающей, по крайней мере, 2 компоненты: остывающую оболочку, которая может иметь достаточно сложную конфигурацию, и продолжающую свою эволюцию звезду. Однако опубликован ряд теоретических работ, в которых выполнено моделирование излучения расширяющейся остывающей пылевой оболочки (см., например, работы Волка, Квока, 1989; Лопеза и др., 1997) и рассчитаны треки для эволюции центральной звезды (Шенбернер, 1983), в том числе рассчитаны эволюционные треки с учетом потери массы (Василиадис, Вуд, 1993, 1994; Блекер, 1995a,b). В работах Блекера (1995a,b) эволюционные треки рассчитаны для звезд с начальными массами

$1-7 M_{\odot}$ с учетом потери массы на стадиях RGB, AGB и post-AGB. Блекер подчеркивает, что, наряду с массой на главной последовательности, темп потери массы в ходе эволюции звезды является важнейшим параметром и определяет не только окончательную массу после фазы AGB, но и внутреннюю структуру звезды и временные шкалы эволюции на заключительных фазах, а также изменения химического состава поверхностных слоев звезды.

Звезды на стадии post-AGB из-за малой ее длительности встречаются крайне редко. Вудс и др. (2005) оценили их поверхностную плотность около 0.4 на кпк^2 внутри 1кпк в окрестности Солнца, в то время как для AGB-звезд и звезд ГП эта величина равна 15 и 2×10^6 на кпк^2 соответственно (Оливер и др., 2001). Вероятно, непременные OH/IR-звезды – это самые молодые post-AGB объекты (Хэбинг и др., 1987; ван дер Вин, Хэбинг, 1988). Квок и др. (1987a,b) предложили называть эту переходную фазу эволюции late-AGB (LAGB). Так как фаза короткая, объект сохраняет многие свойства своих предшественников – звезд на стадии AGB. В начале этой фазы объект наблюдается только в ИК- и радиодиапазоне и не отождествляется с объектами, видимыми в оптическом диапазоне (Квок и др., 1987a,b; Волк, Квок, 1989). Углеродная звезда CWLeo (IRC+10216) – самый яркий источник на небе на длине волны 5мкм – служит прототипом OH/IR звезды с оптически толстой расширяющейся оболочкой, созданной за счет мощного звездного ветра на предшествующих фазах эволюции звезды (Олофсон и др., 1982; Греневерген, 1997).

Молекула CO, благодаря своей устойчивости к UV-излучению, служит надежным индикатором в изучении процесса потери массы. Вращательные переходы CO широко используются для определения темпа потери вещества для долгопериодических переменных. Делфос и др. (1997) выполнили моделирование эмиссионных профилей CO, наблюдаемых у 5-ти объектов такого рода. Однако в случае молодых (оптически толстых) OH/IR-звезд темп потери массы, соответствующий интегральному ИК-поток, оказался на порядок величины выше значения, получаемого по интенсивности слабой эмиссии CO (это несоответствие особенно велико для линии CO, соответствующей переходу $J=1-0$) (Хеске и др., 1990). Такое поведение отличает молодые OH/IR-звезды от мирид и OH/IR-звезд с оптически тонкой оболочкой, для которых оценки темпа потери массы по линиям CO и по ИК-излучению совпадают.

Оптическая толща пылевой оболочки уменьшается по мере ее разлета, вследствие чего отношение ИК-эмиссии к общему потоку будет снижаться. У молодых PPN оно составляет $1/3$. Волк и Квок (1989) выполнили моделирование эволюции распределения энергии в спектре PPN по мере остывания и расширения оболочки. Когда эффективная температура звезды достигает значения около 5000K , фаза LAGB заканчивается и объект переходит в фазу PPN (Шенбернер, 1983). Примером могут служить объекты AFGL618 и AFGL 2688 (Egg Nebula). AFGL618 – это ИК-источник с $T_e=300\text{K}$, расположенный между двумя оптическими деталями, разнесенными на расстояние $7''$ (Вестбрук и др., 1975). На радиоизображениях выявлены маленькие ($0.4''$) ионизованные области, погруженные в ИК-источник. На расстоянии до $20''$

наблюдается молекулярная оболочка, расширяющаяся со скоростью $V=20\text{км/сек}$ подобно околозвездной оболочке AGB звезды. Оптический компонент AFGL618 – звезда ($Sp=B9$, $V=17\text{m}$), слабая из-за большого поглощения: в видимом диапазоне A_v достигает $70\text{-}100^m$, если предположить, что околозвездное поглощение влияет на интенсивности ИК-линий подобно межзвездному (Лекю, Джоурдан де Мьюизон, 1990). ИК и молекулярная эмиссия возникают в области несимметричной оболочки. Остатки оболочки концентрируются к экваториальной плоскости, меньшая оптическая плотность у полюсов позволяет проходить оптическому излучению, и рассеянный свет создает биполярную туманность. Вследствие асимметрии такой структуры наблюдаемая картина зависит от угла зрения наблюдателя.

В дополнение к холодной пылевой оболочке с T_e в несколько сотен градусов у некоторых PPN наблюдается более горячая (до 1000 K) внутренняя оболочка. Важно, что интегральный ИК-поток для ряда звезд сравним с потоком в оптике (и даже его превышает), вследствие чего распределение энергии в спектрах PPN имеет "двугорбый" характер (Волк, Квок, 1989; ван дер Вин и др., 1994; Оудмейер, 1996). Хорошей иллюстрацией этому служит распределение энергии в спектре яркой post-AGB звезды HR4049=IRAS10158-2844, для которой ИК-поток в области от 1 до $850\mu\text{м}$ хорошо аппроксимируется чернотельным излучением с T_e примерно 1150 K (Доминик и др., 2003). Причем энергия, излучаемая в ИК-диапазоне, составляет $1/3$ от полного потока. Здесь уместно отметить, что HR4049 является прототипом подгруппы post-AGB звезд. Одной из принципиальных особенностей этих объектов является очень низкая металличность: к примеру, $[Fe/H]=<-3$ для HR4049 (Ламберт и др., 1988), а у родственного объекта HD52961 металличность еще ниже: $[Fe/H]=-4.8$ (Уилкенс и др. 1991a). Принято считать, что столь низкая металличность не является изначальной у этих звезд, а обусловлена высокой эффективностью процессов селективной конденсации ядер металлов на пылинки околозвездной оболочки. По мере формирования пылевых частиц из газовой составляющей преимущественно уходят элементы с высокой температурой конденсации. В частности, этот селективный процесс искажает результаты 3-го перемешивания, увеличивая отношение C/O , C/Fe , N/Fe , O/Fe и понижая отношение s/Fe . Важно, что ВСЕ звезды типа HR4049 с большой вероятностью являются двойными. По-видимому, именно это обстоятельство обеспечивает эффективность селективной конденсации (Уотерс и др., 1992).

Звездный ветер на стадии AGB – процесс, обладающий преимущественно сферической симметрией (Балик и Франк, 2002). Однако, post-AGB звезды представляют собой объекты, у которых звездный остаток окружен, как правило, осесимметричной газопылевой оболочкой сложной структуры. Впрочем, и у отдельных AGB-объектов выявлены отклонения от сферической симметрии. Примером может послужить OH/IR-звезда IRC+10011 (Винкович и др., 2004). Причины возникновения структурированных несферических оболочек PPN и PN до сих пор не ясны. Очевидно, переход к этой сложной морфологии от сферических оболочек AGB-звезд происходит именно на стадии PPN, что обуславливает необходимость детального и многостороннего

изучения этих объектов. Оптические изображения PPN, получаемые в последнее время с высоким пространственным разрешением, вплоть до дифракционного предела крупных телескопов, указывают на сложную морфологию этих объектов. Качественно новый уровень понимания структуры и динамики оболочек вокруг далеко проэволюционировавших звезд обеспечивают их наблюдения с космическим телескопом Хаббла. Именно наблюдения с этим телескопом выявили биполярную структуру и джеты у многих объектов, ранее наблюдавшихся как точечные. Например, сложнейшая и типичная картина получена для туманности, отождествленной с источником IRAS17150-3224 (рис.1). Неоднородное, асимметричное изображение этой туманности, полученное с широкоугольной камерой в ИК-диапазоне, представляет собой иерархию деталей различного масштаба с различающимися скоростями облаков молекулярного водорода, дуг, джетов. Уета и др. (2000) выполнили исследование изображений выборки из 27 PPN, полученных с камерой WFPC2 телескопа Хаббла, и нашли 21 протяженную туманность. Выяснилось, у многих PPN наблюдаются так называемые дуги, которые указывают на то, что потеря массы этими звездами происходила в ходе нескольких эпизодов усиления ветра. И, таким образом, дуги – это проекция сферических оболочек, оставшихся после AGB (Квок и др., 2001). На рис.1 представлено изображение IRAS17150-3224, полученное с космическим телескопом, это изображение хорошо иллюстрирует вышеупомянутые детали. Омонт (2001), на основе большого объема современных данных по формам оболочек в линиях молекулы CO, пришел к выводу, что асимметричная, в той или иной мере биполярная, структура является общим свойством PN и PPN.

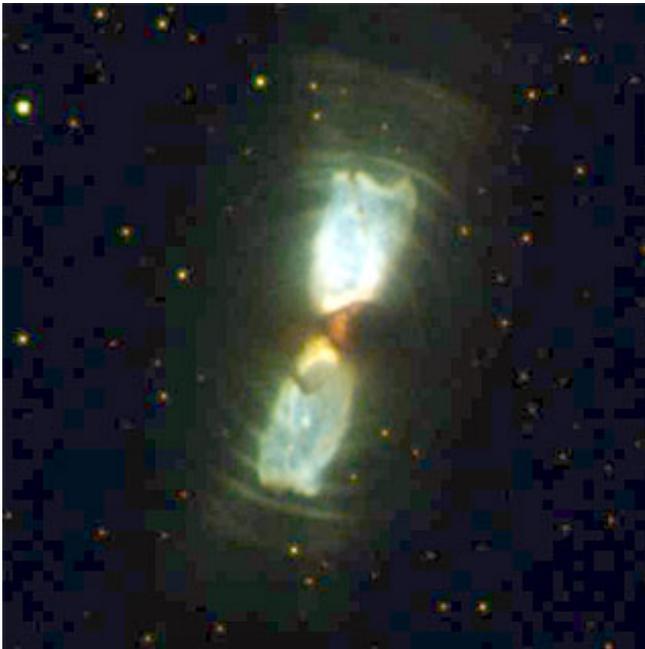


Рис.1. Изображение ИК-источника IRAS17150-3224, полученное с космическим телескопом Хаббла.

Асимметрия оболочки может быть выявлена по излучению, поляризованному при рассеянии на пылевой компоненте оболочки. Степень поляризации зависит от условий рассеяния и степени экранирования звезды, поставляющей неполяризованное излучение. В качестве иллюстрации эффективности метода приведем результаты ис-

следований на 6-метровом телескопе биполярной протопланетарной туманности AFGL2688 (Клочкова и др., 2004а). На основании спектроскопических (с разрешением $R=75000$) и спектрополяриметрических ($R=15000$) наблюдений впервые разделены детали фотосферного и околозвездного происхождения в оптическом спектре. По спектрополяриметрическим наблюдениям измерена линейная поляризация в диапазоне 5000-6600 АА. Установлено, что эмиссия в линиях полос системы Свана формируется в оболочке, причем механизмом возбуждения переходов является резонансная флуоресценция. Сделан вывод о низкой плотности вещества оболочки. С использованием опубликованных данных фотометрии и поляриметрии с высоким угловым разрешением (NICMOS HST), обсуждены особенности строения оболочки туманности.

Обнаружение сложной структуры туманностей выдвинуло проблему выяснения физических механизмов, обеспечивающих трансформацию симметричных оболочек AGB-звезд в крайне несимметричные и неоднородные образования, наблюдаемые вокруг их потомков – PPN и PN. Модели формирования структуры туманностей вокруг post-AGB звезд представлены, в частности, в работах Сахаи, Траугера (1988) и Ли, Сахаи (2003). Полного согласия в вопросе о том, какой физический процесс доминирует в формировании наблюдаемого разнообразия структуры туманностей пока нет. Ясно только, что трансформация сферически симметричных оболочек AGB-звезд в мультиполярные структуры происходит за короткое (в эволюционной шкале) время перехода от AGB к PPN. Одной из причин для дискуссий в рамках данной проблемы было магнитное поле, измеренное для ряда проэволюционировавших звезд по поляризации мазерного излучения. Однако, как показано в работах Сокера (2004) (см. также ссылки в этой публикации), магнитное поле не может быть определяющим фактором в процессе формирования структуры и формы оболочек туманностей.

2.2. Спектральные детали в ИК-спектре

Наблюдения PPN в ИК-диапазоне важны, поскольку существенная часть их излучения приходится на этот диапазон. Максимум ИК-потока PPN лежит около 25-60мкм. Поток до 5мкм определяется в основном покрасневшей звездой, а далее 10мкм – пылью. Цветовые характеристики (отношения потоков на длинах волн 12/25, 25/60, 60/100 мкм) определяются свойствами околозвездной оболочки, следовательно, они зависят от параметров ветра на AGB-стадии. На цветовых диаграммах поздние AGB и молодые PN четко разделяются (ван дер Вин, Хэбинг, 1988; Волк, Квок, 1989). Основная масса данных ИК-спектроскопии была получена со спектрометрами наземного телескопа UKIRT и спутников IRAS и ISO. Имея спектральные наблюдения в ИК для обширных выборок объектов, ряд авторов предпринимали попытки классифицировать ИК-спектры проэволюционировавших звезд (см., например, статьи Спекка и др. (2000), Гарсиа-Хернандеза и др. (2002) и ссылки в них). В спектрах ряда PPN в ближнем ИК-диапазоне наблюдаются линии H I серии Брэккета, абсорбционная деталь 1.54мкм, приписываемая MgI; абсорб-

ционные (могут измениться на околозвездные эмиссии, как в случае источника IRAS22272+5435) полосы на длине волны 2.4 мкм, обусловленные вращательными переходами молекулы CO; эмиссионные детали около 3 мкм, аналогичные найденным в спектрах PN и III-областей, не имеющие пока достоверного отождествления. В ИК-спектрах O-rich post-AGB звезд (для фотосферы $O/C > 1$) доминируют сильные детали около 9.7 и 18 мкм, обусловленные силикатами, как и у O-rich AGB-звезд (ван дер Вин, Хэбинг, 1988, Квок и др., 1997). Линия 9.7 мкм меняется от эмиссии для ранних AGB (типа Миры) до абсорбции у проэволюционировавших AGB (OH/IR) объектов с оптически толстыми оболочками. У C-rich PPN пыль состоит в основном из аморфного углерода, молекул SiC, MgS. Хони и др. (2002) считают, что сульфид магния ответственен за полосу на 30 мкм. В ИК-спектрах C-rich объектов наблюдается также сильная деталь около 11 мкм (ван дер Вин, Хэбинг, 1988; Чен, Квок, 1990). Она может быть обусловлена графитом. Предполагается, что это может быть колебательная полоса какой-то симметричной молекулы.

Примерно дюжина C-rich PPN имеют в ИК-спектре широкую эмиссионную полосу около 21 мкм (Хривнак, Квок, 1991; Омонт и др., 1995; Хенинг и др., 1996, Квок и др., 2002). Впервые обнаруженная Квоком и др. (1989) в спектрах именно PPN, она долгое время не была найдена ни в спектрах их предшественников – AGB звездах, ни в спектрах PN. Можно предполагать, что пылевая компонента, излучающая полосу 21 мкм, появляется в оболочке только на стадии PPN. Недавно Хони и др. (2001) зафиксировали присутствие слабой эмиссии на 21 мкм в спектрах 2-х планетарных туманностей NGC40, NGC6369. Причем оба эти объекта принадлежат к специфическому подтипу PN с Вольф-Райе ядрами. Бус и др. (1990) предположили, что эта полоса может быть вызвана молекулами полициклических ароматических углеводородов. Гобел (1993) отождествил полосу 21 мкм с колебательной полосой молекулы SiS₂, присутствие которой согласуется с температурой оболочки. В недавней работе (Пош и др., 2004) рассмотрено несколько потенциальных кандидатов (SiC+SiO₂, FeO, TiC), ответственных за возникновение детали 21 мкм, а также приведены соответствующие этим вариантам результаты моделирования спектра в области 21 мкм. В целом, пока приходится признать, что, несмотря на многократные попытки полоса 21 мкм остается неотожествленной. Квок и др. (2002) исследовали на телескопе Gemini с высоким пространственным разрешением (FWHM=0.4") изображения двух PPN (IRAS07134+1005 и Z02229+6208) в эмиссии 21 и 11.3 мкм. Оба источника имеют сложную, но одинаковую в этих полосах структуру.

Как отмечено в работе Квока и др. (1989), объекты, в спектрах которых содержится полоса 21 мкм, являются экстремальными углеродными звездами. Важно, что именно к этому виду PPN относятся источники, для которых в результате исследования химического состава получены величины $C/O > 1$ и избыток элементов s-процесса. Интересным обстоятельством является обнаружение полосы около 21 мкм и в спектрах очень молодых звезд с ИК-оболочками (Хенинг и др., 1996), что явно указывает на сходство физических и химических процессов в оболочках этих объектов на столь различающихся эволюционных стадиях. Сходство этих двух типов объектов проявляется в

морфологии (биполярная геометрия) и в деталях кинематики оболочки (Хенинг и др., 1996).

Столь же редко в спектрах PPN наблюдается и широкая эмиссионная полоса на 30мкм. Омонт (1993) и Омонт и др. (1995) обнаружили эту полосу в спектрах 4-х PPN. Авторы этих работ сделали вывод, что интенсивность 30мкм полосы не коррелирует с наличием полосы на 21мкм. Кроме того, в отличие от 21мкм полоса на 30мкм встречается в спектрах звезд на соседних эволюционных стадиях AGB и PN. В спектре IRAS22272+5435 интенсивность полосы на 30мкм составляет до 20% от болометрической светимости источника. В то же время, в спектре источника IRAS07134+1005, атмосфера которого также обогащена углеродом (Клочкова, 1995a), интенсивность этой полосы невысока.

2.3. Спектральные особенности в радиодиапазоне

Радиометодам доступны объекты с большим (межзвездным и околозвездным) поглощением в оптике, включая объекты в плоскости Галактики. Радионаблюдения в полосах молекул (тепловое излучение в сантиметровом диапазоне молекул CO, SiO, H₂O и нетепловое мазерное излучение OH, H₂O, SiO) указывают на наличие у многих post-AGB мощных, часто биполярных, молекулярных оболочек (Ликкел и др., 1987, 1991; Ликкел, 1989; Трэмс и др., 1990; Те Линтел Хеккерт, 1991; Те Линтел Хеккерт и др., 1992, 1996; Те Линтел Хеккерт и Чепман, 1996; ван дер Вин и др., 1993; Енгелз и Льюис, 1996; Зиджльстра и др., 2001). Нетепловой характер эмиссий в радиодиапазоне следует из сравнения яркостной температуры (обычно $T \geq 10^8 \text{K}$) и ширины линий, которые указывают на кинетическую температуру $T \sim 100 \text{K}$. Наблюдения мощного мазерного излучения являются эффективным средством для изучения околозвездных оболочек, позволяя получать детальную пространственную структуру и даже наблюдать молекулярные оболочки в других галактиках (Вуд и др., 1986).

Обогащенные кислородом околозвездные оболочки наблюдаются в одной или нескольких 18-см линиях OH 1612, 1665, 1667MHz (Зиджльстра и др., 1989). Объекты с эмиссией OH, видимо, существенным образом отличаются от объектов с близкими IRAS-параметрами, но без этой эмиссии (Ликкел, 1989). Для многих IRAS-источников обнаружена переменность профилей OH (Те Линтел Хеккерт, Чепмен, 1996), которая может быть обусловлена меняющимся во времени взаимодействием звездного ветра с околозвездной пылью (Балик и др., 1987), переносом массы в двойной системе (Уилкинс, 1995). Кроме того, как отмечают Те Линтел Хеккерт и Чепмен (1996), динамические и геометрические условия в системе могут модулироваться магнитным полем звезды, что повлечет изменение профиля OH. В спектрах обогащенных кислородом оболочек AGB-звезд часто наблюдается также мазерное излучение молекулы SiO (Ниман и др., 1998). По мере затухания ветра мазер SiO исчезает, в то время как мазеры гидроксидов и воды по-прежнему активны. Льюис (1989) построил хронологическую последовательность по-

явления и исчезновения мазеров SiO, OH, H₂O по мере эволюции системы оболочка+звезда.

Линии CO в миллиметровом диапазоне, наряду с ИК-данными, широко используются для изучения истории потери вещества (Омонт, 1995), благодаря взаимосвязи интенсивности этих линий и темпа потери массы. Общие ширины профилей CO достигают 300 км/сек. На профиле CO иногда наблюдаются дискретные пики, указывающие на неоднородность оболочки, обусловленную, к примеру, повторными актами сброса вещества (Трэмс и др., 1990).

2.4. Спектральные особенности в оптике

Особенности оптических спектров PPN мы будем иллюстрировать, опираясь на наши результаты и на нашу коллекцию звездных спектров, полученных на 6-м телескопе. Поэтому остановимся кратко на методике наших наблюдений и обработки спектров.

2.4.1. Программа спектроскопии PPN на БТА

Программа спектральных наблюдений сверхгигантов с большими ИК-избытками – кандидатов в PPN – является частью более общего проекта спектроскопического исследования звезд на поздних стадиях эволюции, выполняемого на 6-м телескопе в течение последнего десятилетия. Цель этого проекта – сравнительный анализ деталей химического состава звездных атмосфер на последовательных фазах эволюции звезд различных масс (см., например, Клочкова (1991) и ссылки в этой работе). В результате такого сравнения можно обнаружить во внешних слоях звездных атмосфер продукты ядерных реакций, нарабатанных на предшествующих стадиях эволюции и вынесенных в поверхностные слои, что необходимо для уточнения современных представлений об эволюции звезд на продвинутых стадиях эволюции. С 1994 г. нашей основной программой на БТА является спектроскопия кандидатов в PPN. Программа прежде всего направлена на изучение фундаментальной проблемы звездной эволюции, связанной с исследованием ядерного синтеза химических элементов в недрах звезд малых и средних масс. Задача обнаружения аномалий химического состава звезд на эволюционных стадиях "асимптотическая ветвь гигантов" и "после асимптотической ветви гигантов" является основным для нас направлением исследований в рамках указанной проблемы. Спектральный материал высокой точности используется, наряду с изучением химического состава, также и для детального анализа поля скоростей в атмосферах этих звезд с истечением массы, что представляет отдельную астрофизическую проблему.

2.4.2. Спектроскопия на БТА

Спектральные наблюдения выполнены нами на 6-м телескопе БТА, в первичном фокусе и в фокусе Нэсмит-2. Использовались эшелле-

спектрографы РЫСЬ в сочетании с матрицей ПЗС с числом элементов 1040×1170 . С 1996 г. для наблюдений наиболее слабых объектов программы ($V > 12^m$) используется эшелле-спектрограф PFES (Панчук и др., 1997) в первичном фокусе БТА, обеспечивающий необходимое для нашей задачи отношение сигнал/шум $S/N > 100$ для объектов с $V \leq 14.5^m$ при спектральном разрешении $R = 15000$. С 2000 г. основные наблюдения выполнялись со спектрографом НЭС (Панчук и др., 1999), который в сочетании с матрицей ПЗС с числом элементов $2K \times 2K$ обеспечивает $R = 45000$ или $R = 60000$. Для иллюстрации на рис.2 представлен эшелльный кадр, полученный для одного из самых слабых в оптике объектов программы IRAS04296+3429, отождествляемого с пекулярным сверхгигантом ($B = 16.2$, $V = 14.2^m$) вне галактической плоскости ($b = -9^\circ$). Этот объект оказался одним из самых интересных из исследованных к настоящему времени (наличие детали $21 \mu\text{км}$, биполярная структура, эмиссионные полосы Свана молекулы C_2 , избыток углерода и тяжелых металлов в атмосфере.) Качество спектров звезд программы позволило измерять эквивалентные ширины W с точностью $2\text{--}4 \text{ м\AA}$, что согласуется с оценками точности, выполненными по формуле Керель (1985).

Для обработки двумерных эшелле-изображений (суммирование и усреднение спектров, удаление следов космических частиц, вычитание темного кадра, экстракция эшелле-порядков, линейаризация спектров) использован контекст ECHELLE системы MIDAS в среде OS Linux. С учетом особенностей нашего метода наблюдений (геометрия эшелле-кадра, использование резателя изображений (Панчук и др. 2003)) контекст ECHELLE системы MIDAS был существенно доработан (Юшкин и Ключкова, 2005). Для измерений параметров индивидуальных спектральных деталей (W , V_r , построение профилей) использовался комплекс программ DECH (Галазутдинов, 1992) в среде Linux в сочетании с эмулятором DOS. Для определения основных параметров модели атмосфер звезд – эффективной температуры T_e , ускорения силы тяжести $\log g$ и для расчетов химического состава использованы сетки моделей Куруча (1979), Белла и др. (1976). Детали используемых нами процедур



определения параметров T_e , $\log g$ и микротурбулентной скорости ξ_t , а также ошибки получаемых содержаний химических элементов, обусловленные неточностями модельного приближения, погрешностями выбора параметров модели и измерениями эквивалентных ширин, приведены в работах Ключковой (1995а) и Ключковой и др. (2006b).

Рис.2. Эшелле-фрагмент источника IRAS04296+3429, полученный автором на эшелльном спектрографе PFES телескопа БТА.

2.5. Основные результаты оптической спектроскопии

2.5.1. Особенности оптических спектров PPN

Наличие эмиссии в $H\alpha$ является, наряду с ИК-избытками, основным критерием для отбора кандидатов в PPN. В спектрах типичных PPN линия $H\alpha$ имеет сложные (эмиссия+абсорбция) переменные профили с асимметрией ядра, профили типа PСуг или инверсного PСуг, профили с эмиссионными асимметричными крыльями. Нередко наблюдается и сочетание подобных деталей. Известно, что эмиссионный профиль $H\alpha$ – признак истечения вещества и/или пульсаций, поэтому можно утверждать, что для многих PPN мы наблюдаем спорадический звездный ветер. Сдвиг ядра, как правило, меньше, чем сдвиг, соответствующий скорости убегания, т.е. мы можем говорить, скорее, об истечении (расширении) верхних слоев протяженной атмосферы, а не о ветре (Дюпри, 1993). Различия в виде профилей $H\alpha$ обусловлены различиями в динамических процессах, протекающих в протяженных атмосферах отдельных кандидатов в PPN: сферически симметричное истечение с постоянной или меняющейся с высотой в атмосфере скоростью, падение вещества на фотосферу, пульсации. На рис.3 и 4 для иллюстрации разнообразия профилей представлены некоторые профили $H\alpha$, полученные нами в ходе выполнения программы на 6-м телескопе.

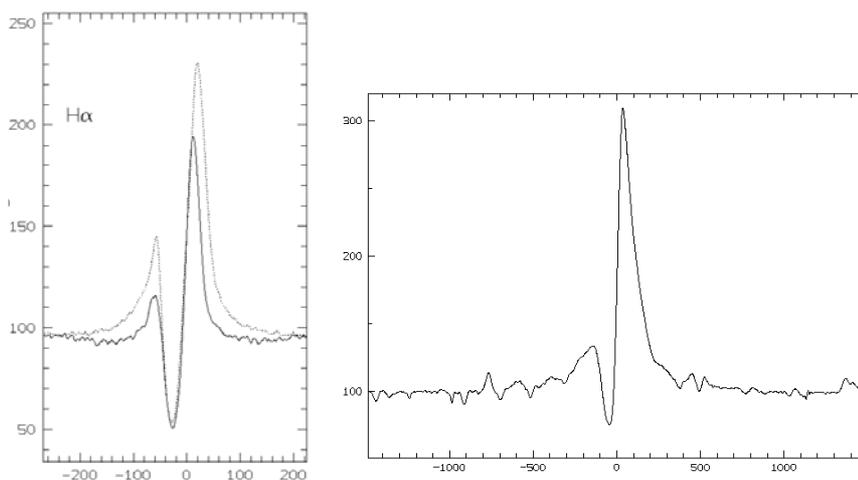


Рис. 3. Примеры профилей $H\alpha$ в спектрах 2-х PPN: SAO40039=IRAS05040+4820 (слева) и V510Pup=IRAS08005-2356.

Переменность $H\alpha$ – распространенное явление для сверхгигантов на стадии post-AGB. Однако в спектрах избранных объектов этого типа наблюдается существенная переменность и других спектральных деталей. В ходе исследования сверхгигантов, ассоциированных с ИК-источниками, были выявлены

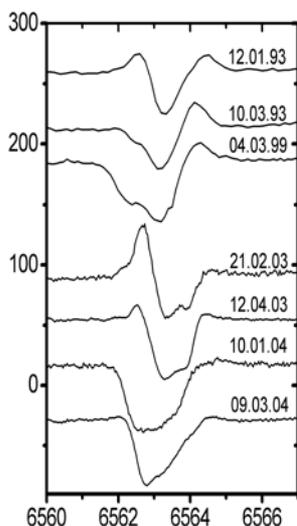


Рис. 4. Переменность профиля $H\alpha$ в спектре HD56126=IRAS07134+1005.

объекты с переменным спектром и с крайне сложной динамической картиной. К спектрально-переменным объектам мы отнесли, например, IRAS07134+1005 (Клочкова, 1995а). На рис.4 показана переменность $H\alpha$ в спектре HD56126 по наблюдениям на БТА. Позже на БТА была обнаружена сильная спектральная переменность оптического спектра горячего сверхгиганта B0Iae, отождествляемого с ИК-источником IRAS01005+7910 (Клочкова и др., 2002а). В спектре центральной звезды одновременно сосуществуют сложные абсорбционно-эмиссионные профили линий гелия и водорода типа PCyg и типа обратного PCyg. Причем этот тип профиля данной линии может измениться на противоположный в течение нескольких дней. Наглядным примером спектральной переменности может служить недавно выявленная post-AGB звезда SAO40039, отождествляемая с источником IRAS05040+4810 (Фьюджи и др, 2002). Как следует из работы Клочковой и др. (2004b), профили всех линий в спектре SAO40039, как абсорбций, так и эмиссий, переменны. Переменна и лучевая скорость. Можно предполагать, что столь бурная переменность обусловлена структурными перестройками в атмосфере центральной звезды и в околозвездной оболочке. Но для построения детальной картины переменности и для уяснения физических причин необходим многолетний ряд спектральных наблюдений.

Недавно по наблюдениям на БТА обнаружена также переменность оптического спектра неизученной ранее холодной звезды, отождествляемой с ИК-источником IRAS20508+2011 (Клочкова и др., 2006b). До настоящего времени для этого объекта не опубликованы данные ни многоцветных фотометрических, ни спектральных наблюдений в оптическом диапазоне, которые можно было бы привлечь для определения параметров и выяснения статуса объекта. Лучевая скорость звезды по фотосферным абсорбциям изменялась за 4 года наблюдений в пределах $V_r=15-30$ км/с. За это же время абсорбционно-эмиссионный профиль $H\alpha$ изменился от состояния мощной колоколообразной эмиссии с небольшой абсорбцией в ядре до двухпиковой эмиссии с центральной абсорбцией, лежащей ниже континуума. Положение фотосферных линий металлов систематически, исключая одну дату наблюдений, сдвинуто относительно эмиссии в $H\alpha$: $\Delta V_r = V_r(\text{met}) - V_r(H\alpha, \text{emis}) \approx -23$ км/с.

Пекулярность спектров PPN проявляется еще и в том, что зачастую спектральные черты сверхгиганта класса F-K сочетаются в них с многочисленными абсорбциями молекул. Например, в спектре нескольких PPN, включая и канонический объект HD56126 с $T_e > 6500$ K, Бэкер и др. (1997) отождествили полосы систем Phillips, Swan молекулы C_2 и красной системы молекулы CN, которые, по мнению этих авторов, формируются в обо-

лочке, в ограниченной ее области, наиболее близкой к звезде. Сравнение скорости расширения оболочки, определенной по линиям C_2 и CN, с этим параметром из наблюдений CO даст возможность проследить процесс потери вещества звездой на AGB-стадии. Клочкова и др. (1997с) обнаружили эмиссионные детали в оптическом спектре источника IRAS04296+3429, полученном с эшелле-спектрографом 6-м телескопа, и отождествили их с полосами (0,0) и (1,0) системы Swan молекулы C_2 (см. рис.5). Причем аналогичные спектральные детали (но с иным соотношением интенсивностей) на этой спектральной аппаратуре (Панчук и др., 1997) обнаружены и в спектре ядра кометы Хейла-Боппа.

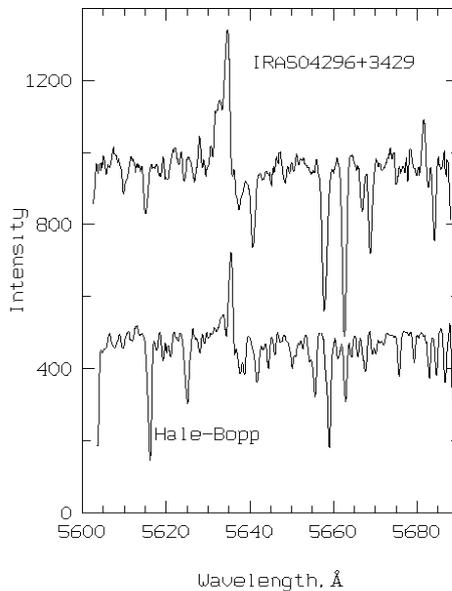


Рис. 5. Эмиссионная полоса Свана 5635 Å молекулы C_2 в спектре IRAS04296+3429 в сравнении со спектром кометы Хейла-Боппа.

Обнаруженная аналогия позволила Клочковой и др. (1997с) сделать предположение о резонансной флуоресценции, как о механизме, возбуждающем свечение обоих объектов в указанных молекулярных полосах. Анализируя спектры переменного сверхгиганта с ИК-избытком IRAS07331+0021 для различающихся фаз кривой блеска, Клочкова, Панчук (1996) получили для "холодной" фазы значение

эффективной температуры $T_e=4100$ К по линиям нейтрального железа и $T_e=3500$ К по спектру α -системы молекулы TiO. Авторы предложили ряд вероятных объяснений этого противоречия: нарушение диссоциативного равновесия в верхних слоях протяженной атмосферы, где формируются полосы TiO; недооценка в использованной модели атмосферы бланкетирования в верхних слоях, что ведет к преувеличенным значениям температуры этих слоев; крупномасштабная неоднородность потока по поверхности звезды.

2.5.2. "Спектроскопическая мимикрия"

Несмотря на различия в массе, внутреннем строении и возрасте, звезды промежуточных масс на продвинутых стадиях эволюции имеют спектры, сходные со спектрами массивных гипергигантов. Более того, можно усмотреть аналогию и в структуре гипергигантов и post-AGB звезд: в обоих случаях объект представляет собой эволюционирующее ядро, окруженное газопылевой оболочкой, образовавшейся на предшествующих этапах эволюции. При известной неопределенности в оценках расстояний для галактических

объектов по спектру за гипергигант может быть принята звезда более низкой светимости с достаточно мощным ветром. Проблема "спектроскопической мимикрии" касается близких по эволюционному возрасту, геометрии и кинематике оболочек звезд высокой светимости – одиночные звезды в стадии post-AGB и гипергиганты.

Наиболее известным примером неопределенности стадии эволюции до последнего времени являлся случай пекулярного сверхгиганта IRC+10420. Совокупность наблюдаемых особенностей пекулярного сверхгиганта IRC+10420 не противоречит двум основным гипотезам о его природе: во-первых, это может быть маломассивный объект на стадии эволюции протопланетарной туманности или же массивный сверхгигант – предшественник звезды Вольфа-Райе. Поэтому некоторые авторы (см., например, Хривнак и др., 1989) включают этот сверхгигант в списки кандидатов в протопланетарные туманности, другие рассматривают его как массивный сверхгигант (Хэмфрис, 1991; Джоунс и др., 1993). Трудность выбора обусловлена тем, что в обоих случаях наблюдательные проявления подобны: в обоих вариантах со временем растет эффективная температура, имеется газово-пылевая оболочка, унаследованная от красного гиганта или сверхгиганта. Хорошим критерием для более определенного выбора эволюционного статуса может служить металличность в сочетании с большим набором содержаний химических элементов. Однако задача осложнена низкой видимой оптической яркостью объекта. Сейчас практически нет сомнений в том, что IRC+10420 – массивный, около 40 масс Солнца, сверхгигант светимостью на пределе Хэмфрис-Дэвидсона. И все же определение светимости этого пекулярного объекта остается пока основной проблемой.

Биполярная туманность V510Pup – наглядный пример спектральной мимикрии. Светимость этой post-AGB звезды едва достигает уровня светимости сверхгиганта, а ветер по всем параметрам – скорость, плотность, темп потери вещества (он близок к 10^{-5} масс Солнца в год) – не уступает, а по спектроскопическим проявлениям подобен ветрам гипергигантов и LBV. Профили линий (см. профиль H α на правой панели рис.3) говорят о наличии у V510Pup мощного звездного ветра. Более того, как и в случае с IRC+10420, мы, по видимому, не наблюдаем ничего, кроме ветра, а собственно звезда закрыта от нас псевдофотосферой. Линии H α и H β в спектре V510Pup имеют профили типа PCyg. Их форма и параметры практически те же, что у профилей белых гипергигантов и LBV HD168607 и HD160529.

Примером принципиальных разногласий в определении эволюционного статуса служит и A-сверхгигант HD168625 (IRAS18184-1623). Опубликованные к настоящему времени оценки расстояния до звезды находятся в интервале от 0.4 до 2.8кпк. С одной стороны, ван Джендерен (2001) относит HD168625 в подгруппу бывших (ныне "спящих") LBV. Ченцов и Горда (2004) рассматривают его как гипергигант спектрального класса B5.5Ia-0 с отчетливыми признаками LBV и приводят доказательства членства HD168625 в ассоциации SerOB1. Эти авторы подчеркивают, что у HD168625 ни спектроскопических, ни фотометрических отличий от гипергиганта B6 пока не обнаружено. Но, с другой стороны, HD168625 окружена непосредственно на-

блюдаемой газовой-пылевой оболочкой и обладает пылевым ИК-избытком. Гарсия-Ларио (2001) счел возможным использовать параллакс из каталога Hipparcos (ESA, 1997), т.к., основываясь на специфическом распределении энергии в ИК-области спектра и на обнаруженном ими избытке азота в атмосфере звезды (при дефиците углерода), считают HD168625 маломассивной звездой в стадии post-AGB. Одно из затруднений в применении метода спектральных параллаксов к звездам самых высоких светимостей как раз и связано с тем, что их спектры бывают похожи на спектры post-AGB звезд – с "мимикрией" последних под гипергиганты. Тригонометрические параллаксы от нее, конечно, не страдают, но для HD168625 ошибка измерения параллакса пока близка к его величине 0.0024 ± 0.0012 .

2.5.3. Переменность лучевой скорости

Существенная часть кандидатов в PPN демонстрирует также переменность лучевой скорости V_r (Уилкинс и Уотерс, 1993; Уилкинс и др, 1993; Уотерс и др., 1993, Хривнак и др, 2001) с характерным временем процесса в несколько сотен дней, что может говорить в пользу их двойственности. Действительно, для нескольких оптически ярких объектов с ИК-избытками получены убедительные доказательства орбитального движения. Например, доказана двойственность, определены элементы орбиты и предложена модель системы для высокоширотных сверхгигантов 89Her (Ферро, 1984, Уотерс и др., 1993) и HR4049 (Уилкинс и др., 1991b). Ван Уинкел и др. (1995) показали, что звезды HR4049, HD44179 и HD52961 являются спектрально-двойными с орбитальным периодом примерно 1-2 года. Эти авторы делают вывод, что все изученные кандидаты в PPN с экстремальным дефицитом металличности (HR4049, HD44179, HD52961, HD46703, BD39°4926) – двойные звезды. Наблюдаемая корреляция между двойственностью и наличием горячей пылевой оболочки (Уотерс и др., 1991) указывает на то, что двойственность способствует образованию оболочки. В работе Бэккера и др. (1998) по спектрам высокого разрешения HR4049 изучена переменность сложных эмиссионно-абсорбционных профилей линий NaD и H α в с орбитальным периодом. Отдельные компоненты этих линий формируются или в фотосфере главной звезды или в диске, в который погружены оба компонента двойной, или же в межзвездной среде. Для такого рода двойных принципиальным является определение системной скорости по радиоданным. Природа компаньона для post-AGB звезд, заподозренных в двойственности, пока неизвестна, поскольку нет прямых его проявлений в континууме или спектральных линиях, все известные двойные среди post-AGB относятся к типу SB1. Это может быть либо очень горячий объект, либо объект очень низкой светимости на главной последовательности, не исключен и белый карлик, как в случае BaII- звезд (МакКлюр, 1984). В случае HR4049 Бэккер и др. (1998) пришли к выводу, что компаньоном является холодная, $T_e=3500\text{K}$, звезда ГП с массой $M=0.56 M_{\odot}$.

Не всегда характер переменности V_r согласуется с гипотезой двойственности. Например, для некоторых объектов наблюдаются периодические (и квазипериодические) изменения V_r , явно обусловленные пульсациями. Пульсационная нестабильность присуща многим объектам на post-AGB-стадии, это следует уже из факта их расположения в полосе нестабильности на диаграмме Герцшпрунга-Рессела. Аналогичная переменность профилей $H\alpha$ наблюдается в спектрах желтых пульсирующих сверхгигантов – звезд типа RV Tau и W Vir. Для данного типа объектов переменность профилей $H\alpha$ объясняют прохождением ударной волны в протяженной атмосфере пульсирующей звезды (Лебре, Жиллет, 1991, 1992; Фокин, Жиллет, 1994; Жиллет и др., 1994). Пульсации, присущие многим post-AGB-объектам, могут способствовать потере вещества, нагревая и расширяя атмосферу. Отметим, что звезды типа RV Tau также являются объектами на post-AGB, но как подчеркнул Джура (1986), эти "ленивые" (по выражению Джура) звезды, вероятно, наименее массивны, вследствие чего их эволюция идет медленно и они никогда не станут PN. Их низкодисперсионные спектры подобны таковым у углеродных звезд. Загадкой является наблюдаемый факт O-rich оболочек у C-rich звезд типа RV Tau (Квок, 1993b). Несколько достаточно ярких представителей звезд типа RV Tau были включены нами в программу спектроскопии на БТА для получения детальной картины химического состава.

Переменность $H\alpha$ получает естественное объяснение для post-AGB-звезд с признаками двойственности и потери массы (например, в случае HR4049 (Бэкер и др., 1998)): в таких системах профиль $H\alpha$ меняется из-за орбитального движения в системе. Однако в случае post-AGB объектов $H\alpha$ меняется и для тех из них, для которых не обнаружено каких-либо признаков переменности V_r и блеска (HD133656, Ван Уинкел и др., 1996b). Переменность блеска позволила бы привлечь механизм ударной волны, как у звезд типа RV Tau, для которых вероятным механизмом, стимулирующим истечение вещества, является диссипация ударных волн в атмосфере. Конвекция в оболочках порождает поток механической энергии в хромосферу и корону. Давление излучения на пылинки также может обеспечить условия, необходимые для потери вещества. Для радиативного же механизма возникновения ветра, эффективного в случае горячих массивных сверхгигантов, поток излучения у post-AGB звезд недостаточен.

Картина переменности V_r , обусловленная двойственностью, зачастую осложнена дифференциальными движениями в протяженных атмосферах изучаемых объектов. Детальный анализ V_r , выполненный по спектрам высокого спектрального и временного разрешения для избранных, наиболее ярких PPN, позволил обнаружить дифференциальное поведение величины V_r , определенной по линиям разной степени возбуждения, формирование которых идет на различающихся глубинах в атмосфере звезды. Например, Бэкер и др. (1996b) в спектре IRAS-источника, отождествленного с пекулярным сверхгигантом HD101584, выявили 8 категорий спектральных линий, для которых временное поведение профилей, полуширин и сдвигов (и следовательно, значений V_r) принципиально различается. В частности, УФ-абсорбции наиболее высокой степени возбуждения, формирующиеся в фото-

сфере звезды, показывают переменность V_r , обусловленную орбитальным движением в двойной системе. В то же время, линии низкого возбуждения с профилями типа PСуг формируются в области звездного ветра и отражают истечение вещества. Скорость системы надежно определена по радиоэмиссиям молекул CO и OH.

Подобное сложное динамическое состояние атмосферы наблюдается и в случае уникального объекта IRC+10420 (источник IRAS19244+1115), изученного по спектрам, полученным на 6-м телескопе (Клочкова и др., 1997а, 2002b) в период с 1997 по 2000 гг. Спектр IRC+10420 содержит многочисленные абсорбции, формирующиеся в слоях фотосферы, неподвижных относительно центра массы звезды, и эмиссии, формирующиеся в расширяющейся оболочке. Анализ распределения линий различных элементов по лучевым скоростям выявил корреляцию между скоростями, соответствующими положению минимума (максимума) линий, и их силами осцилляторов как в случае эмиссионных, так и абсорбционных линий. Этот эффект, по-видимому, является следствием взаимного влияния эмиссионных и абсорбционных компонент линий. Сделан вывод о том, что красное смещение абсорбционных фотосферных линий относительно системной скорости IRC+10420 обусловлено рассеянием света звезды на расширяющейся мощной пылевой оболочке. Обнаружена переменность эмиссионных профилей линий H α и H β . По инфракрасному триплету OI $\lambda 7774\text{\AA}$ оценена светимость IRC+10420 $L=50000$ светимостей Солнца. На всех спектрах IRC+10420, соответствующих спектральным классам как A2, так и A5, присутствует линия HeI $\lambda 5876\text{\AA}$ с практически постоянной интенсивностью $W=200\text{m\AA}$, что является следствием высокой светимости и, возможно, повышенным содержанием гелия в атмосфере звезды. Полученная нами скорость центра массы звезды составляет 60-66 км/сек по набору "чистых" абсорбционных и эмиссионных деталей, что хорошо согласуется с величиной скорости 61-65 км/сек, полученной другими авторами (Джоунс и др., 1993; Оудмейер, 1995). По смещению абсорбционных компонент профилей типа PСуг относительно эмиссий, скорость расширения оболочки около 40-50 км/сек, что хорошо согласуется с данными Оудмейер и др. (1996), полученными в радиодиапазоне по профилям линий молекулы CO, и значениями скорости расширения, полученными в работе Клочковой и др. (1997а) по ширинам запрещенных эмиссионных линий. Анализ совокупности полученных значений V_r позволяет рассматривать две возможности интерпретации феномена IRC+10420. Первая возможность основана на гипотезе многократного рассеяния излучения в оптически толстой расширяющейся пылевой оболочке. В рамках этой гипотезы трудно объяснить соотношение интенсивностей синесмещенных и красносмещенных эмиссионных компонент бальмеровских линий. Вторая возможность базируется на модели вращающегося диска и внешних (по отношению к диску) областей, поляризующих оптическое и ИК-излучение. Выбор между двумя моделями можно будет сделать, выполнив спектрополяриметрические наблюдения с высоким спектральным разрешением.

Очевидно, что сложная динамическая картина, аналогичная наблюдаемой в атмосфере объектов HD101584 или IRC+10420, обусловлена недавним

или делящимся процессом сброса вещества, а следовательно, присуща тем PPN с эмиссионными компонентами профиля Na , которые имеют большие ИК-избытки (и особенно в ближнем ИК-диапазоне). Для пекулярного сверхгиганта UHer без явного избытка ИК-потока градиент V_r в атмосфере по спектрам 6-м телескопа не был обнаружен (Клочкова и др., 1997b), однако были выявлены осцилляции V_r с амплитудой около 15 км/сек.

Важным является исследование переменности лучевой скорости HD56126=IRAS07134+1005, одной из немногих post-AGB звезд, в атмосфере которых обнаружены продукты 3-го dredge-up (Клочкова, 1995a). Из сравнения опубликованных данных по лучевой скорости IRAS07134+1005 с результатами, полученными нами на 6-м телескопе, была заподозрена переменность его лучевой скорости (Клочкова, 1995a). Лебре и др. (1996) провели детальный спектральный мониторинг IRAS07134+1005. На основании фурье-анализа совокупности массива данных по лучевым скоростям с привлечением данных о переменности блеска эти авторы сделали вывод о подобии динамического состояния атмосферы объекта IRAS07134+1005 картине, присущей пульсирующим переменным типа RVTau. Переменность Na они интерпретировали как результат прохождения ударной волны. Позже, пополнив спектральные данные и привлекая фотометрические наблюдения, Лебре и др. (2001) определили период радиальных пульсаций $P=36.8$ дней. Оудмейер и Бэккер (1994) по обширной коллекции спектрограмм с высоким временным разрешением и высоким отношением S/N также анализировали переменность V_r этого объекта и сделали вывод о переменности на шкале в несколько месяцев и отсутствии изменений с характерным временем минуты-часы.

Клочкова и Ченцов (2004) детально исследовали кинематическую картину в атмосфере и околозвездных окрестностях post-AGB звезды V510Pup, ассоциируемой с ИК-источником IRAS08005-2356. ИК-источник IRAS08005-2356 – один из наиболее вероятных кандидатов в немногочисленную группу биполярных протопланетарных туманностей – отождествлен со звездой V510Pup. По абсорбциям C2 и CN Бэккер и др. (1997) определили очень высокий темп потери массы $10^{-4.7} M_{\odot}/\text{год}$. На рис.3 приведен сложный и переменный профиль линии Na в спектре этой звезды. В спектре аномально сильны абсорбции YII и других элементов s-процесса. Все абсорбционные компоненты смещены в коротковолновую область спектра, что указывает на истечение звездного вещества. Околозвездная оболочка сверхгиганта проявляется в оптическом спектре, в частности, в виде молекулярных полос углеродосодержащих молекул C₂ и CN. Полученное значение скорости $V_r=19.1$ км/с по абсорбционным линиям полосы Свана молекул C2 хорошо согласуется с данными Бэккера и др. (1997). По полосам Свана определена скорость расширения оболочки $V_{\text{exp}}=42$ км/с. Такое же значение скорости расширения оболочки V510Pup получено и по мазерной линии OH 1612MHz (Зиджльстра и др., 2001). Предельная скорость ветра, фиксируемая по абсорбционным крыльям PCyг-профилей линий FeII(42), достигает 240км/с. Для анализа полученного набора скоростей в него необходимо ввести нуль-пункт – системную скорость V_{sys} . В

качестве V_{sys} использовали значение средней гелиоцентрической скорости группы окружающих звезду источников мазерного излучению OH, $V_r = +61 \text{ км/с}$ (Те Линтел Хеккерт и др., 1991). На рис.6 уровень V_{sys} отмечен горизонтальной штриховой прямой. На этом рисунке сопоставлены отклонения от V_{sys} скоростей, найденных по тем или иным деталям спектра V510Pup. Как видно из рисунка, различия скоростей в пределах одного спектра достигают 100 км/с , – в основном, за счет взаимных сдвигов эмиссионных и абсорбционных компонентов, но также и вследствие систематического изменения скорости с интенсивностью и длиной волны линии. Такие большие дифференциальные сдвиги линий и их составляющих ясно говорят о градиенте скорости в тех слоях атмосферы V510Pup, где эти линии образуются, а множество РСуг-профилей – о расширении атмосферы.

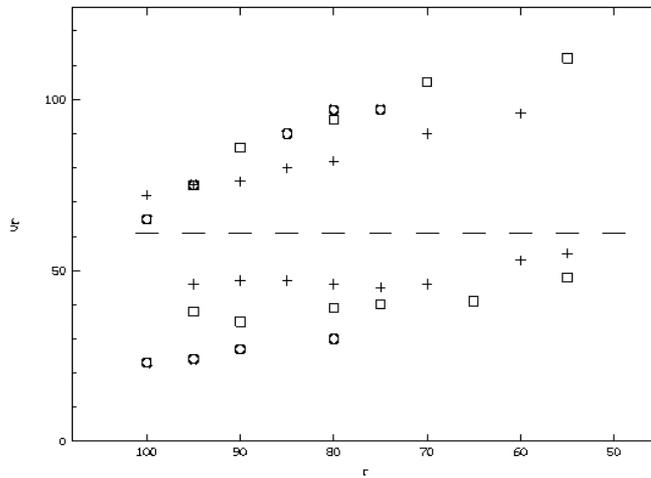


Рис. 6. Зависимости лучевой скорости V_r от остаточной интенсивности r абсорбций или абсорбционного компонента в спектрах V510Pup (Клочкова и Ченцов, 2004). Данные измерений в спектре от 23.11.97 (квадратики – $\lambda < 6000 \text{ \AA}$, кружки – $\lambda > 6000 \text{ \AA}$) и в спектре от 19.11.02 (крестики). Горизонтальной штриховой прямой V_{sys} отмечен уровень V_{sys} , выше этого значения лежат данные по эмиссионным деталям.

2.6. Химический состав PPN

2.6.1. PPN в галактическом поле

Для более определенных выводов о связи peculiarностей химического состава и двойственности объектов необходимы многократные спектральные наблюдения. Проблема осложнена еще и тем, что из-за явной неоднородности объектов по химическому составу важно получить его для обширной выборки объектов с тем, чтобы выявить основные тенденции и закономерности. Однако сейчас точные спектральные наблюдения с высоким спектральным разрешением выполнены лишь для самых ярких объектов та-

кого типа на эшелле-спектрографах с матрицами ПЗС крупных телескопов. Для этих объектов получена низкая металличность (в 10-100000 раз ниже солнечной) и нестандартные соотношения содержаний иных химических элементов.

В ходе горения водорода в ядре и затем в слое увеличивается содержание гелия. На продвинутых стадиях эволюции звезды, после стадии AGB, когда прошел процесс 3-го dredge-up, и после сброса водородной оболочки, обнажились слои, обогащенные переработанным веществом, можно ожидать существенного увеличения содержания гелия. В спектрах двух хорошо изученных звезд (HR4049, HD44179) обнаружены линии гелия, что позволило оценить его содержание. Уилкинс и др. (1992) для HD44179, центральной звезды туманности Red Rectangle, получили содержание гелия, незначительно превышающее солнечное значение. Практически солнечное (в пределах ошибок) содержание гелия получено и для предельно малометаллического объекта HR4049 (Уилкинс и др., 1991а). Конлон и др. (1992) получили нормальное содержание гелия и для выборки горячих post-AGB-звезд с T_e 11000-27000К. Это особенно важно, так как для такой продвинутой стадии эволюции ожидалось замещение существенной доли водорода гелием. Пока лишь один из кандидатов в PPN, исследованная ван Винкелем и др. (1996а) звезда HD187885, имеет избыток гелия. Для большинства изученных кандидатов в PPN наблюдается изменение в ходе их эволюции соотношения содержаний элементов CNO-группы: отношение C/O варьируется от $C/O < 1$ до $C/O > 1$ (Лак и др., 1983; Бонд, Лак, 1987; Ламберт и др., 1988; Клочкова, 1995а; Зач и др., 1995, 1996; Ван Уинкел и др., 1996а, 1996б; Ван Уинкел, 1997, Клочкова и Киппер, 2006).

Анализ поведения различных химических элементов (Fe, CNO, S, Zn, элементы *s*- и *r*-процесса) для полной выборки исследованных сейчас кандидатов в PPN показывает, что по химическому составу их, по-видимому, следует разделить на два типа: к первому типу относятся звезды с крайне низкой металличностью, $[Fe/H] < -4$ dex, ко второму – звезды с менее выраженным дефицитом металлов. Наиболее вероятным и эффективным механизмом, создавшим аномальный химический состав в случае экстремально малометаллических (типа HR4049 и HD44179) изученных звезд является не нуклеосинтез, а процессы химического фракционирования элементов в оболочке.

В случае одиночной post-AGB звезды газопылевая оболочка могла быть создана медленным звездным ветром на предшествующей AGB-фазе. Пылинки могут ускоряться наружу лучевым давлением, поглощая излучение. В то же время газ с уже измененным соотношением элементов может выпадать на поверхность, так как из-за большого расстояния от звезды до внутренней границы газопылевой оболочки ее газовая составляющая пребывает в нейтральном состоянии, поэтому нет существенного поглощения (нет активных поглотителей – однократно ионизованных атомов металлов) оптического излучения звезды. Трудно предположить существование пылинок и процессов осаждения на них в условиях звездных фотосфер, вероятнее всего эти процессы идут в околосредных оболочках. Однако Уитни и др. (1993) показали возможность образования пыли вблизи фотосферных слоев в случае звезд

типа RCrB. Основные аргументы: аморфные графиты могут формироваться при 4000K, конденсация пыли может идти из-за отклонений от теплового равновесия.

Бонд (1991) впервые предложил сценарий селективной сепарации и последующей реаккреции для одиночной звезды, считая, что пыль формируется в ее атмосфере. Основной аргумент – зависимость содержания элемента от температуры конденсации на пылинки (Бонд, 1992). Содержание Fe, Mg, Si, Ca в атмосферах таких звезд понижено на несколько порядков, в то время как CNO, S и даже элемент группы железа Zn имеют солнечные содержания (Уилкинс и др., 1991a; Уилкинс и др., 1992; Ван Уинкел и др., 1992; Уилкинс и др., 1996). Стоит подчеркнуть, что эта картина аналогична поведению содержаний химических элементов в газовой компоненте ISM. Очевидно, что атмосфера звезды должна быть достаточно стабильной, чтобы перемешивание или звездный ветер не замывали картину распределения химических элементов. Однако есть свидетельства, что атмосферы post-AGB звезд не так стабильны: для большинства этих объектов отмечаются пульсации, истечение вещества, что проявляется в наличии переменной эмиссии в H α .

Были предложены модели образования звезд с химическим составом, модулированным селективным осаждением на пылинках, за счет аккреции в двойной системе. Матис, Ламерс (1992) рассмотрели случай формирования оболочки звезды за счет перехвата вещества, теряемого компаньоном в виде мощного, до $10^{-4} M_{\odot}$ /год, ветра. Они показали, что достаточно всего лишь $10^{-6} M_{\odot}$ "очищенного" газа, чтобы обеспечить наблюдаемое в атмосфере селективное обеднение (depletion). Основная трудность этого сценария – малая вероятность конфигурации (post-AGB+AGB). В то же время, обе звезды 100-1000 лет назад должны были быть на стадии AGB. Уотерс и др. (1992) и Трэмс и др. (1993) предположили, что присутствие компаньона требуется только для стимуляции процесса потери массы с первичной (AGB) звезды. В такой модели аккреция вещества может варьироваться в зависимости от положения первичной звезды на орбите (если эксцентриситет не равен нулю). Важно, что эта модель работает лишь для отдельных звезд (звезды должны быть двойными с определенными параметрами орбиты), что обеспечивает наблюдаемую малую встречаемость PAGB с большим дефицитом металлов и аномальной картиной химсостава.

Очевидно, что с точки зрения изучения процессов нуклеосинтеза и перемешивания наиболее интересны кандидаты в PPN, имеющие умеренный дефицит металличности, картина распространенности химических элементов в этих случаях, по-видимому, существенно не искажена процессами фракционирования. Примером может служить исследованная нами (Клочкова и др., 2002c) звезда HD331319 – оптический компонент ИК-источника IRAS19475+3119. Металличность атмосферы звезды [Fe/H]=-0.25 незначительно отличается от солнечной. В спектре этой звезды высокой светимости ($M_v < -8^m$) с эффективной температурой $T_e = 7200$ K мы обнаружили линии гелия HeI, что может интерпретироваться как значительный его избыток в наблю-

даемых слоях атмосферы и может рассматриваться как проявление синтеза гелия в ходе предшествующей эволюции. Обнаружен большой избыток азота и кислорода: $[N/Fe]=+1.30$, $[O/Fe]=+0.64$ dex при небольшом избытке углерода. Содержание металлов s -процесса не увеличено, а, скорее, занижено относительно металличности: для Y, Zr $[X/Fe]=0.68$. Содержание бария также занижено относительно металличности: $[Ba/Fe]=-0.47$. Более тяжелые элементы La, Ce, Nd, Eu слегка усилены по отношению к железу: для них среднее значение $[X/Fe]=+0.16$. В целом, параметры звезды и распространенность химических элементов подтверждает, что она наблюдается на эволюционной стадии post-AGB. Металличность в сочетании с лучевой скоростью $V_r=-3.4$ км/сек и галактической широтой $|b|=2.7^\circ$ объекта указывает на его принадлежность к населению диска Галактики. По положению абсорбционных полос, формирующихся в околозвездной оболочке, определена скорость расширения оболочки около 21 км/сек

Более интересен химический состав оптических компонентов биполярных туманностей: AFGL2688 (Клочкова и др., 2000b), IRAS08005-2356 (Клочкова, Ченцов, 2004). Остановимся на результатах спектроскопии высокого разрешения, полученных для этих интересных объектов. Оптическое изображение объекта AFGL2688 представляет собой две небольшие слабые туманности эллиптической формы, расположенные почти вдоль оси север-юг и отстоящие друг от друга примерно на 8". Обе туманности рассеивают оптическое излучение центрального объекта, который закрыт от наблюдателя пылевым тором. Вывод о механизме рассеяния излучения центральной звезды подтверждается высокой степенью поляризации излучения в видимом и ближнем-ИК диапазонах (около 50%).

Протопланетарная туманность AFGL2688 – одна из трех биполярных структур на стадии post-AGB, разрешаемых наземными телескопами. Кроме того, AFGL2688 относят к выборке PPN с обогащенными углеродом оболочками, в ИК-спектрах которых выявлена эмиссия на длине волны 21 мкм (Омонт и др., 1995). Будучи экстремально ярким в ИК-области спектра, источник AFGL2688 являлся одним из первых объектов, на которых тестировались новые средства наблюдений в ИК и субмиллиметровом диапазонах. К настоящему времени источник достаточно детально исследован в указанных диапазонах, но из-за низкого потока в видимом диапазоне объект долгое время был изучен в оптике лишь фотометрически и со средним спектральным разрешением. Спектры объекта в оптическом диапазоне, зарегистрированные со средним разрешением, не позволяют сделать вывод ни о металличности, ни о детальной кривой распространенности химических элементов в атмосфере центральной звезды. Кроме того, непонятно, как соотносятся известные определения лучевой скорости отдельных деталей и скорость движения центральной звезды. Следовательно, затруднительным остается определение типа населения Галактики, к которому принадлежит этот объект.

Объект AFGL2688 относится к группе систем, где центральная часть (звезда и внутренние области околозвездной оболочки) испытывает сильное поглощение в газопылевом торе (или диске), а излучение этой центральной части рассеивается на пылевых частицах биполярной структуры. Понятно,

что могут встречаться объекты с иной ориентацией пылевого диска, при которой центральная часть объекта не закрыта от наблюдателя, и поглощение излучения центральной звезды уменьшается (по сравнению с AFGL2688) в десятки раз. Тогда по соседству с яркой звездой как тор (или диск), так и рассеивающие лепестки становятся трудно обнаружимыми в оптическом диапазоне, и биполярная туманность не наблюдается. Спектр центральной звезды у системы с такой ориентацией может уже не содержать эмиссионные молекулярные полосы, так как излучение в этих полосах "тонет" на фоне излучения фотосферы. Действительно, по спектрам, полученным на 6-м телескопе, были обнаружены эмиссионные полосы различной (относительно континуума) интенсивности, принадлежащие системе Свана молекулы C_2 , у объектов IRAS04296+3429 (Клочкова и др., 1999), IRAS22223+4327 (Клочкова, 1998) и IRAS23304+6147 (Клочкова и др. 1999), входящих в группу богатых углеродом PPN с деталью на 21мкм.

Детальный химический состав одного из компонентов биполярной туманности, отождествляемой с мощным источником ИК-излучения AFGL2688, впервые определен Клочковой и др. (2000b) по спектрам, полученным с эшелле-спектрометром в первичном фокусе 6-м телескопа. Содержание железа $[Fe/H]=-0.59dex$, полученное для AFGL2688, указывает на вероятную принадлежность объекта к промежуточному населению Галактики. В атмосфере звезды обнаружено высокое содержание углерода и азота $[C/Fe]=+0.73$, $[N/Fe]=+2.00$ и отношение $C/O>1$, что подтверждает принадлежность объекта к стадии post-AGB. Вывод о принадлежности AFGL2688 к стадии post-AGB подтверждается и избытком (относительно содержания железа) тяжелых металлов: элементов *s*-процесса иттрия и бария. Однако выявленный избыток элементов *s*-процесса (иттрия и бария) по отношению к железу невелик: $[X/Fe]=+0.55$. Еще менее усилены лантаноиды: для La, Ce, Pr, Nd среднее значение содержаний по отношению к железу $[La/Fe]=+0.26$. Такое поведение тяжелых металлов согласуется с низким уровнем интенсивности полосы на 21мкм в ИК-спектре AFGL2688, интенсивность этой эмиссионной полосы велика в спектрах всех изученных PPN с большими избытками элементов *s*-процесса.

Избыток *s*-процесса невелик по сравнению с такими рекордсменами, как объекты IRAS07134+1005 (Клочкова, 1995а), IRAS05341+0852 (Редди и др., 1997) и IRAS23304+6147 (Клочкова и др., 2000а), у которых усредненное содержание вышеперечисленных тяжелых металлов усилено по отношению к железу более чем на порядок. В спектре IRAS23304+6147 линии ионов бария являются наиболее сильными спектральными деталями даже на спектрах низкого спектрального разрешения: их интенсивность сравнима с интенсивностью линий водорода. В случае же AFGL2688 избыток бария по отношению к железу находится на уровне ошибки определения ($[Ba/Fe]=+0.25$).

2.6.2. Звезды вблизи стадии AGB в составе шаровых скоплений

На 6-м телескопе впервые получены спектры высокого разрешения и определены фундаментальные параметры ($T_{eff}=4800K$, $\log g=0.7$) и деталь-

ный химический состав для проэволюционировавшей звезды K413 в составе скопления M12 (Клочкова и Самусь, 2001). Полученное значение $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.38$ является первым определением металличности скопления M12 на основе спектров высокого разрешения. Значение металличности звезды хорошо согласуется с опубликованной средней металличностью скопления M12, полученной из фотометрии и спектров низкого разрешения. Основной особенностью химического состава атмосферы звезды является большой избыток кислорода, $[\text{O}/\text{Fe}] \sim +2\text{dex}$. Заподозрен также избыток углерода. Содержание металлов *s*-процесса понижено относительно металличности: для Y, Zr $[\text{X}/\text{Fe}] = -0.04$, для бария $[\text{Ba}/\text{Fe}] = -0.12$. Содержание более тяжелых элементов La, Ce, Nd, Pr не отличается от солнечного по отношению к железу: $[\text{heavy}/\text{Fe}] = +0.0$. Избыток европия, $[\text{Eu}/\text{Fe}] = +0.48$ типичен для звезд в составе малометаллических шаровых скоплений. Высокая светимость и особенности химического состава позволяют предположить, что K413 находится на эволюционной стадии после AGB. В спектре K413 наблюдается абсорбционно-эмиссионный профиль линии H α . В спектре выделены абсорбционные детали, отождествленные с диффузными межзвездными полосами, сдвинутые на 16 км/сек в длинноволновую область относительно скорости звезды.

По аналогичным эшелльным спектрам 6-м телескопа Клочкова и др. (2003) получили параметры виргиниды V1 (K307) в составе этого же скопления M12 и ее соседки K307b ($m=14^m$, расстояние от виргиниды менее 1"). Металличность обеих звезд $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.27$ и -1.22 относительно металличности Солнца согласуется с металличностью звезды K413 из M12 (Клочкова, Самусь, 2001). В атмосфере виргиниды выявлено измененное содержание CNO-элементов и повышенное содержание металлов *s*-процесса, что указывает на вынос на поверхность продуктов ядерных реакций. В спектре виргиниды наблюдаются абсорбционно-эмиссионные профили линий нейтрального водорода и эмиссия нейтрального гелия HeI 5876A. Картина лучевых скоростей противоречит картине формирования сильной ударной волны. Высокая светимость $\log L/L_0 = 2.98$, химический состав и пекулярность спектра согласуются с эволюцией в полосе нестабильности после AGB. Картина содержаний химических элементов в атмосфере K307b не отличается от солнечной. Значимые различия обнаружены лишь для натрия и элементов α -процесса: для них среднее значение $[\text{X}/\text{Fe}] = +0.35$.

2.7. Содержание элементов *s*-процесса

В целом, на основании изученной выборки кандидатов в PPN и опубликованных данных, можно говорить о неоднородности их химического состава. Избыток элементов *s*-процесса, ожидаемый для звезд на стадии post-AGB как следствие предшествующей эволюции звезды и процесса третьего dredge-up, наблюдается пока крайне редко. К примеру, мы не обнаружили избыток элементов *s*-процесса для ИК-источника IRAS18095+2704

(Клочкова, 1995а), который по всем своим наблюдаемым характеристикам назван отличным кандидатом в PPN (Хривнак и др., 1988).

К настоящему времени достоверный избыток элементов *s*-процесса обнаружен для 7-ми исследованных на БГА объектов: IRAS04296+3429 (Клочкова и др., 1999), IRAS07134+1005 (Клочкова, 1995а), IRAS20000+3239 (Клочкова и Киппер, 2006), IRAS22272+5435 (Зач и др., 1995), IRAS23304+6147 (Клочкова и др., 2000а), AFGL2688 (Клочкова и др., 2000б), а также виргинида V1 K307 (Клочкова и др., 2003) в шаровом скоплении M12. Кроме того, аналогичные выводы опубликованы еще для нескольких кандидатов в PPN: HD158616 (ван Винкель и др., 1995), IRAS19500-1709=HD187885 (ван Винкель, 1997) и IRAS05341+0852 (Редди и др., 1997). В работах Десина и др. (1998) и Клочковой (1998) сделано заключение о взаимосвязи наличия эмиссии вблизи 21мкм в ИК-спектре звезд на стадии PPN и проявлений избытка тяжелых металлов в их атмосферах. Результаты, полученные для AFGL2688, усиливают этот вывод, поскольку для этого объекта характерны и слабый избыток элементов *s*-процесса и практически невыделяемая на фоне монотонно возрастающего ИК-континуума полоса 21мкм. В настоящее время этот результат считается одним из наиболее весомых (но не объясненных) в картине проявлений звездного нуклеосинтеза на стадиях AGB, post-AGB. Ван Винкель и Рейнерс (2000) предприняли повторное исследование всех 6-ти известных звезд с деталью 21мкм и на однородном спектральном материале они подтвердили вывод об эффективности *s*-процесса для этой группы звезд. В частности, эти авторы получили строгую корреляцию между величиной нейтронной экспозиции (которая оценивается из наблюдений как отношение [hs/ls] избытка тяжелых ядер *s*-процесса к более легким) и [s/Fe], а также менее выраженную антикорреляцию между величиной [hs/ls] и металличностью [Fe/H].

Как правило, в атмосферах кандидатов в PPN наблюдается сверхдефицит (относительно их металличности) тяжелых ядер (Клочкова, 1995а; Ван Винкель и др., 1996а, 1996б; Клочкова, Панчук, 1996; ван Винкель, 1997), существование которого в атмосферах маломассивных сверхгигантов на стадии post-AGB не находит пока однозначного объяснения. Лак, Бонд (1989) рассмотрели ряд физических (дефицит водорода в атмосферах; сверхионизация атомов, имеющих низкий потенциал второй ионизации) и методических (ошибки параметров) эффектов, которые могли бы объяснить наблюдаемый сверхдефицит элементов *s*-процесса в атмосферах маломассивных сверхгигантов. Однако ни одно из предложенных объяснений не согласуется с полной картиной химического состава для этих объектов.

По исследованиям совокупности post-AGB звезд можно сделать предположение о зависимости наличия избытка элементов *s*-процесса от детальной эволюции на post-AGB, что, в свою очередь, определяется первоначальной массой звезды, поскольку именно масса влияет на пульсационную активность и скорость потери вещества. Можно предположить, что с наибольшей вероятностью избыток *s*-процесса ожидается в атмосферах звезд, лежащих над эволюционным треком "AGB-ОН/IR" на двухцветной ИК-диаграмме. Ван дер Вин и Хэбинг (1988) обратили внимание на существова-

ние таких объектов и на их излучение вблизи 60 мкм, которое настолько мощное, что не может быть обусловлено обычной потерей вещества. Как считают ван дер Вин и Хэбинг, эти объекты прошли через "thermal pulse", вследствие чего были подавлены пульсации и ветер. Именно в ходе "thermal pulse" могла произойти инверсия величины C/O за счет выноса на поверхность переработанного вещества, обогащенного углеродом и тяжелыми металлами. После окончания "thermal pulse" и возобновления динамических пульсаций положение звезды на диаграмме смещено из-за излучения пыли в области длин волн 40-80 мкм – звезда становится углеродной.

2.8. Химический состав пульсирующих сверхгигантов

Несколько пульсирующих сверхгигантов типа RV Tau были включены в нашу программу спектроскопии PPN на 6-м телескопе, поскольку принято считать, что они проходят эволюционную фазу после AGB (Гинголд, 1985). Уяснение роли пульсаций в процессе перемешивания и выноса переработанного вещества служит дополнительным стимулом для изучения детального химического состава сверхгигантов типа RV Tau. Однако пока о химическом составе этих объектов известно очень немного для того, чтобы сделать определенные выводы (Лак, Бонд, 1989; Гиридэр и др. (1994) и ссылки в этой работе).

Пульсирующие звезды данного типа имеют необычные фотометрические и спектроскопические свойства, отличающие этот класс объектов от родственных виргинид (звезды типа W Vir) и полуправильных переменных сверхгигантов. Главная особенность достаточно стабильных периодических пульсаций звезд RV Tau – наличие двух минимумов на фазовой кривой блеска. Звезды типа RV Tau с минимальными светимостью (массой) и периодами (менее 20 дней) постепенно переходят в виргиниды. Из факта присутствия звезд типа RV Tau в шаровых скоплениях и по кинематическим характеристикам и удаленности от плоскости Галактики их аналогов в галактическом поле следует вывод о принадлежности этих объектов к старым звездным популяциям (население II и толстый диск).

По спектрам с классификационными дисперсиями звезды типа RV Tau являются пекулярными F, G, K-сверхгигантами классов светимости Ib, II. Спектральная пекулярность обусловлена появлением в определенные фазы на фоне спектра F-K сверхгиганта сильных переменных спектральных деталей, отождествляемых с полосами молекул TiO, CN, CH, что указывает на существенную неоднородность их протяженных атмосфер. Классы светимости Ib, II для звезд типа RV Tau подтверждены с применением ИК-триплета кислорода OI, $\lambda 7773 \text{ \AA}$ (Мантегацца, 1991), эквивалентная ширина которого является хорошим критерием светимости для A, F, G-звезд. Звезды типа RV Tau в составе шаровых скоплений, очевидно, имеют массы ниже солнечной и эволюционируют к стадии планетарной туманности и белого карлика.

Звезды типа RV Tau, как правило, имеют избытки ИК-излучения, причем спектральный индекс близок к единице (Джура, 1986). При этом плотность вещества в оболочке уменьшается с расстоянием от звезды примерно как $1/r$

(Джура, 1986), что подтверждает наличие мощного (до $10^{-5} M_{\odot}$ /год) звездного ветра в предыдущие моменты эволюции. Следует подчеркнуть, что звезды типа RVTau удовлетворяют четырем критериям принадлежности к стадии post-AGB, сформулированным Трэмсом и др. (1993): а) спектральные признаки сверхгиганта, б) расположение вне плоскости Галактики (вне слоя толщиной 100пк), в) наличие мощного ИК-избытка, обусловленного пылью, г) фотометрическая переменность.

Как следует, например, из низкодисперсионного спектрального обзора Уолгрена (1972), изученная им выборка звезд типа RVTau в поле Галактики весьма разнородна по металличности: $[Fe/H]$ от -0.3 до -1.7, что может указывать на их принадлежность к галактическим населением разного возраста. Недостаток сведений о деталях химического состава звезд RVTau не позволяет выполнить сравнительный анализ поведения различных химических элементов в случае пульсирующих звезд разных типов и стабильных сверхгигантов на близких эволюционных стадиях. Такое сравнение могло бы привести к принципиально новым выводам об особенностях эволюции звезд разных масс на ее заключительных фазах, о структуре атмосфер пульсирующих сверхгигантов, о действенности процессов перемешивания.

Результаты нашего определения химического состава для 5-ти пульсирующих звезд с избытком ИК-потока: UMon, ACHer, RVTau, AICMi и FN Aql – приведены в статьях Клочковой и Панчука (1996) и Усенко и др. (2001). Картина распространенности химических элементов для пульсирующих сверхгигантов неоднородна. Лишь в случае ACHer химический состав соответствует ожидаемому для звезды гало на стадии post-AGB: дефицит группы железа, избытки CNO и s -процесса. В то же время в случае малометаллической звезды UMon с большим избытком углерода мы не нашли избытка элементов s -процесса. Неожиданной является солнечная металличность для RVTau. К тому же соотношение CNO-элементов для этой звезды также соответствует статусу молодого сверхгиганта.

2.9. Быстро эволюционирующие объекты

Прямые наблюдения эволюции звезд, как правило, затруднены из-за больших (в сравнении с жизнью индивидуальных наблюдателей) значений характерного времени эволюционных процессов. Поэтому особо пристальное внимание уделяется наблюдениям быстро эволюционирующих звезд. В ходе выполнения программы мы исследовали несколько быстро эволюционирующих кандидатов в PPN: IRC+10420, FGSge, объект Sakurai.

Остановимся еще раз на объекте IRC+10420, который уже неоднократно упоминался в тексте. Интерес этому к пекулярному сверхгиганту обусловлен прежде всего предельно его высокой абсолютной светимостью объекта, свойственной гипергигантам (Джоунс и др., 1993). Кроме того, этот объект занимает выделенное положение на ИК-диаграмме цвет-цвет (Волк, Квок, 1989) и является источником мощного переменного мазерного излучения ОН (Льюис и др., 1986; Недолуха, Боуэрс, 1992), что указывает на наличие про-

тяженной газовой-пылевой оболочки. По наблюдениям в ОН обнаружена сложная пространственная структура (Недолуха, Боуэрс, 1992). Анализ спектров IRC10420, полученных на БТА в 1994-96 гг., позволил сделать следующие основные выводы (Клочкова и др., 1997а).

1. С использованием только интенсивности абсорбционных спектральных деталей получено значение эффективной температуры $T_e = 8500\text{K}$. Этот результат указывает на то, что эффективная температура объекта существенно повысилась за последние 20 лет: его спектральный класс изменился с F8 (Хэмфрис и др., 1973) до A5 (Клочкова и др., 1997а), что указывает на начало быстрой эволюции объекта IRC+10420. Оудмейер и др. (1996) также сделали вывод об увеличении температуры IRC+10420 примерно на 1000K со времени наблюдений Хэмфрис и др. (1973). Вероятно, что это изменение спектрального класса произошло за существенно меньший промежуток времени, т.к. в публикации 1993 г. Джоунс с соавторами (Джоунс и др., 1993) пишут о наблюдаемом снижении ИК-потока при постоянстве распределения энергии в оптике. Для оценки абсолютной светимости IRC+10420 мы построили новую калибровочную кривую, используя значения M_{bol} и $W(\text{OI})$ для избранных звезд. Соотношение $W(\text{OI})-M_{\text{bol}}$ мы аппроксимировали экспоненциальным законом. Согласно этой зависимости, значению эквивалентной ширины триплета $\text{OI } \lambda 7773$ $W(\text{OI}) = 2.8\text{\AA}$ соответствует абсолютная звездная величина $M_{\text{bol}} = -9.5^m$, близкая к пределу устойчивости. Это значение совпадает с нашей оценкой светимости IRC+10420, исходя из кривой вращения Галактики и значения лучевой скорости системы в целом.

2. Содержание элементов группы железа совпадает с таковым в атмосфере Солнца, в то же время обнаружены дефицит углерода и избыток азота, типичные для молодых массивных сверхгигантов диска. Предварительная оценка содержания элементов, синтезируемых в процессах медленной нейтронизации, показала их нормальное (солнечное) содержание. Подчеркнем, что нам удалось впервые оценить металличность и некоторые детали химического состава IRC+10420. Эти результаты, в сочетании с высокой светимостью объекта, близкой к пределу Humphreys-Davidson (Джоунс и др., 1993), подтверждают гипотезу о том, что с большой вероятностью IRC+10420 является массивной звездой (до $40 M_{\odot}$) на короткой и поэтому редко наблюдаемой эволюционной стадии, переходной от ОН/IR звезды к звезде типа LBV или Вольфа-Райе. Следует отметить, что полученное нами методом моделей атмосфер значение $\log g = 1.0$ также подтверждает высокую светимость объекта, которая близка к светимости ярчайшего гипергиганта ηCar . Сравнивая полученный химический состав атмосфер двух сверхгигантов IRAS191114+0002 и IRC+10420, мы видим, что детали распространенности химических элементов указывают на различие их массы, металличности, а в итоге и эволюционной истории. Таким образом, не подтвердился вывод Кэстнера и Веинтрауба (1995) о том, что эти два сверхгиганта являются аналогами.

Быстро эволюционирует последние годы к стадии планетарной туманности и горячая звезда V866Her – оптический компонент источника IRAS18062+2410 (Архипова и др. 1999). Фотометрические наблюдения в оп-

тическом диапазоне, выполненные Архиповой и др. (1996, 1999), показали, что V866Her в настоящее время является горячей звездой с характеристиками сверхгиганта, меняет блеск в пределах нескольких десятых звездной величины и – самое важное – эволюционирует "на глазах". Характер переменности блеска: нерегулярные быстрые изменения с амплитудой до 0.3 в лучах V, вероятно, обусловленные переменной мощностью звездного ветра. Корреляция блеска и цвета отсутствует, а максимальная амплитуда наблюдается в фильтре U, что, скорее всего, связано с переменным бальмеровским континуумом, излучаемым ветром. Имеющиеся наблюдательные данные показывают, что в течение 150-ти лет, с эпохи BD, температура звезды постепенно увеличивалась, а средний блеск изменялся в соответствии с изменением болометрической поправки, если принять, что звезда эволюционирует при постоянной болометрической светимости. Сопоставление наблюдений с теорией звездной эволюции в стадии post-AGB позволило оценить массу звезды, которая оказалась около $0.7 M_{\odot}$. Расчеты будущей эволюции звезды предсказывают, что через 100 лет она станет ядром молодой планетарной туманности с температурой около 50000 K.

Линейчатый спектр V886Her представлен двумя составляющими: абсорбционным спектром сверхгиганта спектрального класса B1-1.5 и наложенным на него богатым эмиссионным спектром газовой оболочки (Архипова и др., 2001a). Звездная составляющая спектра V886 Her представляет спектр горячего сверхгиганта B1 II с температурой около 25000K – будущего ядра планетарной туманности. Линия H α целиком залита эмиссией и абсорбционного компонента не видно. У линий HeI наблюдаются профили типа PCyg с интенсивными эмиссионными компонентами. Остальные гелиевые линии видны как абсорбции. Эмиссионный спектр оболочки, помимо линий водорода и гелия, содержит многочисленные линии металлов. Эмиссионный спектр оболочки создают многочисленные разрешенные и запрещенные линии ионов и нейтральных металлов. Присутствуют эмиссии [NII], [SII], [OI], типичные для спектра планетарных туманностей, а также линии излучения OI, NI и SiII. Эмиссионный спектр оболочки еще не типичен для планетарной туманности даже самого низкого возбуждения, главным образом, из-за отсутствия небулярных линий [OIII] 4959Å и 5007Å, а также 4363Å и присутствия сильных эмиссий однажды ионизованных металлов. V886Her по характеру переменности блеска и по спектру весьма сходен с другим кандидатом в протопланетарные объекты – V1853Cyg= IRAS20462+3416 (Архипова и др., 2001b).

FGSge – в течение последних 50 лет демонстрирует высокую скорость эволюции после стадии AGB: на протяжении жизни одного поколения наблюдателей звезда пересекла диаграмму Г-Р. Ранние спектральные и фотометрические данные о поведении FGSge собраны Хербигом и Боярчуком (1968). Ван Джендерен и Гаутчи (1995), собрав данные фотометрии FGSge за 100 лет наблюдений, восстановили ход ее эволюции от звезды O3 с максимально возможной для нормальной звезды температурой в 1880 г. до K2 в 1992 г. При этом радиус звезды увеличился более, чем на 2 порядка – от 1 до 184R $_{\odot}$. Ибен и МакДональд (1995) назвали поведение немногочисленных

объектов этого типа "born again behavior", поскольку в результате поздней Невспышки в слое звезда – ядро планетарной туманности вместо фазы белого карлика возвращается к AGB. Отметим, что поздней слоевой вспышкой называется вспышка, наблюдаемая у далеко проэволюционировавшей, до состояния ядра PN, звезды (Блекер, Шенбернер, 1997).

Предельно интересной является история изменения поверхностного химического состава FGSge. Еще в 1960-е годы распространенность химических элементов в ее атмосфере мало отличалась от солнечной. В начале 1970-х годов в спектре звезды усилились линии редких земель. Проведенный Лангер и др. (1974) количественный анализ спектра подтвердил наличие избытка элементов s-процесса, накопленных в ходе реакций нейтронизации и вынесенных на поверхность за счет конвективного перемешивания. На 6-м телескопе спектральные наблюдения FGSge выполнялись многократно, начиная с 1980 г. (Киппер, 1984; Киппер и Киппер, 1986, 1993; Киппер и др., 1995, Киппер, Клочкова, 1999; 2001). Особенно важны наблюдения после фотометрического минимума 2000 г. (Киппер, Клочкова, 2001). Начиная с 1992 г., в поведении видимого блеска звезды произошли кардинальные изменения. Блеск в видимом (Архипова, 1993, 2003) и ближнем ИК-диапазонах (Богданов, Таранова, 2003) начал быстро падать. Причем характер фотометрического поведения был подобен тому, что наблюдается у звезд типа RCrB, поэтому FGSge стали рассматривать как новую звезду этого типа (Юрчик, 1993). В это же время в спектре FGSge появились признаки интенсивной потери вещества. Гонзалес и др. (1998) впервые обнаружили большой, на 2-3 порядка, дефицит водорода во внешних слоях атмосферы звезды, а также выявили существенный рост избытка редких земель в сравнении с тем, который наблюдался для FGSge (Киппер и Киппер, 1993) до минимума блеска. Но в случае FGSge не наблюдается рост содержания углерода, что следовало бы ожидать в соответствии с представлениями о 3-ем перемешивании (Мовлави, 1999). Следует отметить, что анализ сильно блендированного спектра FGSge методом моделей атмосфер затруднителен. На это указывают большие различия в значениях температуры, а следовательно, и металличности, получаемой разными авторами для близких моментов наблюдений FGSge. В то время как Гонзалес и др. (1998) дают $T_e=6500\text{K}$ и $[\text{Fe}/\text{H}]=-0.1$, по данным Киппера и Клочковой (1999) $T_e=5500\text{K}$ и $[\text{Fe}/\text{H}]=-1$.

В заключение упомянем сравнительно недавно открытую быстро эволюционирующую звезду. В феврале 1996 г. японский астроном Y.Sakurai зарегистрировал вспышку пекулярного объекта Sakurai=V4334Sgr (Грин, 1996). В течение 1996 г. звездная величина объекта возросла с 12.5 до 11.2^m. Классифицированный по скорости изменения блеска в ходе вспышки как медленная Новая, он был отнесен к пекулярным объектам после получения в ESO на телескопе 3.6 м первых спектров, которые не соответствовали ожидаемому спектру Новой. В марте 1996 г. на прямых ПЗС-изображениях объекта Sakurai, полученных на телескопе 0.9 м ESO, вокруг объекта была обнаружена планетарная туманность. Дьюбрек и Бенетти (1996), изучив спектры низкого разрешения, сделали вывод о значительном ослаблении линий нейтрального водорода при наличии сильных линий углерода и кислорода; по совокупности на-

блюдаемых особенностей они отнесли вспыхнувший объект к звездам типа RCrB. Первые спектры высокого разрешения V4334Sgr были получены на 2.7-м телескопе обсерватории Мак-Дональд (Эсплунд и др., 1997) и на БТА в июне 1996 г. (Киппер, Клочкова, 1997) В результате анализа этих спектров и расчета химического состава методом моделей атмосфер обнаружено понижение содержания водорода на 3dex, (причем оно снизилось на 0.7dex с мая по октябрь 1996г.), избыток углерода и рост Li, Sr, Y, Zr. К сожалению, в настоящее время спектральным наблюдениям звезда недоступна из-за понижения видимого блеска.

Теперь принято считать, что объект Sakurai испытал позднюю гелиевую вспышку в слое и начал быстро эволюционировать на быстрой заключительной фазе эволюции (Блекер, Шенбернер, 1997). Таким образом, объект Sakurai представляет еще одну возможность тестировать теоретическое моделирование процессов эволюции ядер планетарных туманностей и околозвездных оболочек, потери вещества, конвекции, звездного нуклеосинтеза и изменения поверхностного химического состава. В этом отношении объект Sakurai можно поставить наравне с FGSge. Из модели эволюции звезды в результате слоевой гелиевой вспышки (Ибен, МакДональд, 1995) следует ожидать увеличения светимости до 10 раз и изменения T_e от 40000K до 6300 K за 17 лет. Параметры моделей, полученные Эсплундом и др. (1997) и Киппером и Клочковой (1997), позволяют утверждать, что V4334Sgr эволюционирует быстрее (в течение полугода его температура понизилась на 600K). Следует отметить, что сценарий образования сверхгигантов с дефицитом водорода типа RCrB, предложенный Ибеном (1984), не является единственным. Ибен и др. (1996), помимо механизма слоевой гелиевой вспышки, рассмотрели и ряд иных сценариев, реализуемых, в частности, в ходе эволюции двойных систем. Несмотря на близость эволюционной фазы FGSge и V4334Sgr, темп эволюции этих объектов существенно различается. FGSge прошла цикл поздней слоевой He-вспышки примерно за 100 лет, а V4334Sgr в 10-15 раз быстрее. Лаулор и МакДональд (2003) на основе модельных расчетов эволюции изучили явление поздней He-вспышки в слое и пришли к выводу, что различие в темпе эволюции FGSge и V4334Sgr можно объяснить, предположив, что FGSge наблюдается при медленном повторном возврате к AGB, а V4334Sgr – при быстром первом. Для проверки этого объяснения необходим дальнейший мониторинг обоих объектов.

Заключение

В данной работе кратко рассмотрены важнейшие проблемы и факты, касающиеся эволюции звезды от AGB к планетарной туманности, а также суммированы основные результаты, полученные в ходе выполнения на 6-м телескопе спектроскопического исследования выборки пекулярных сверхгигантов предположительно на стадии PPN, отождествляемых с галактическими IRAS-источниками. Основным аспектом нашей программы является анализ спектральных проявлений динамического состояния протяженных атмосфер PPN, а также поиск эволюционных изменений химического состава звезд, про-

шедших стадию AGB и третье перемешивание. Наиболее значительным результатом программы является обнаружение избытков элементов s-процесса у 7-ми post-AGB-объектов.

Полученные в ходе выполнения программы спектроскопии PPN результаты обеспечили лидирующие позиции CAO РАН в области спектроскопических исследований звезд на кратковременных стадиях эволюции. Это позволяет нам выделить приоритетные направления в дальнейшем изучении объектов на стадии перехода от звезды к планетарной туманности и родственных объектов. Во-первых, требует решения проблема "спектроскопической микрии". Во-вторых, считаем, что в будущем следует сосредоточиться на спектральном мониторинге избранных переменных и быстро эволюционирующих объектов. В-третьих, необходимо детальное исследование структуры околозвездных оболочек, привлекая и метод спектрополяриметрии, для уяснения механизмов и истории истечения и аккреции вещества.

Благодарности

Автор признателен всем своим соавторам, а также Н.С.Таволжанской за большую помощь в подготовке данной рукописи. Исследования по спектроскопии пекулярных сверхгигантов с оболочками были поддержаны грантами РФФИ (проекты 99-02-18339 и 02-02-16085), программой фундаментальных исследований "Протяженные объекты во Вселенной" (подпроект "Спектроскопия протяженных оболочек звезд на поздних стадиях эволюции") Отделения физических наук РАН и грантами CRDF (проекты RP1-2264 и RUP1-2687-NA-05).

Литература

- Архипова В.П., Иконникова Н.П., Есипов В.Ф., Носкова Р.И. Письма в Астрон. ж., 1996, **22**, 526
- Архипова В.П., Иконникова Н.П., Носкова Р.И., Сокол Г.В., Есипов В.Ф., Ключкова В.Г. 1999, Письма в Астрон. ж., **25**, 30
- Архипова В.П., Сокол Г.В., Ключкова В.Г. 2001а, Письма в Астрон. ж., **27**, 122
- Архипова В.П., Иконникова Н.П., Носкова Р.И., Комиссарова Г.В., Ключкова В.Г., Есипов В.Ф. 2001b, Письма в Астрон. ж., **27**, 841
- Байдельман (Bidelman W.P.), 1951, *Astrophys. J.*, **113**, 304
- Балик и Франк. (Balick B., Frank A.), 2002, *ARA&A*, **40**, 439
- Балик и др. (Balick B., Preston H.L., Icke V.), 1987, *Astron. J.*, **94**, 1641
- Белл и др. (Bell R.A., Eriksson K., Gustafsson B., Nordlund A.), 1976, *Astron. & Astrophys. S.*, **23**, 37
- Блекер (Blocker T.), 1995а, *Astrophys. J.*, **297**, 727
- Блекер (Blocker T.), 1995b, *Astrophys. J.*, **299**, 755
- Блекер и Шенбернер (Blocker T., Schönberner D.), 1997, *Astrophys. J.*, **324**, 991
- Богданов М.Б., Таранова О.Г., 2003, *Астрон. ж.*, **80**, 583

- Бонд (Bond H.E.), 1991, In: Evolution of stars. The photospheric abundance connection. IAU Symp. 145. Eds. Michaud G. & Tutukov A.V. Dordrecht: Kluwer, 341
- Бонд (Bond H.E.), 1992, *Nature*, **356**, 474
- Бонд и др. (Bond H.E., Carney B.W., Grauer A.D.), 1984, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **96**, 176
- Бонд и Лак (Bond H.E., Luck R.E.), 1987, *Astrophys. J.*, **312**, 203
- Бус и др. (Buss R.H.Jr., Cohen M., Tielens A.G.G.M., Werner M.W., Bregman J.D., Witteborn F.C., Rank D.M., Sandford S.A.), 1990, *Astrophys. J.*, **365**, L23
- Буссо и др. (Busso M., Gallino R., Wasserburg G.J.), 1999, *ARA&A*, **37**, 329
- Бэккер и др. (Bakker E.J., Waters L.B.F.M., Lamers H.J.G.L.M., Trams N.R., van der Wolf F.L.A.), 1996a, *Astron. & Astrophys.*, **310**, 893
- Бэккер и др. (Bakker E.J., Lamers H.J.G.L.M., Waters L.B.F.M., Waelkens C., Trams N.R., van Winckel H.), 1996b, *Astron. & Astrophys.*, **307**, 869
- Бэккер и др. (Bakker E.J., van Dishoeck E.F., Waters L.B.F.M., Schoenmaker T.), 1997, *Astron. & Astrophys.*, **323**, 469
- Бэккер и др. (Bakker E.J., Lambert D.L., van Winckel H., McCarthy J. K., Waelkens C., Gonzalez G.), 1998, *Astron. & Astrophys.*, **336**, 263
- Василиадис и Вуд (Vassiliadis E., Wood P.R.), 1993, *Astrophys. J.*, **413**, 641
- Василиадис и Вуд (Vassiliadis E., Wood P.R.), 1994, *Astrophys. J. Suppl.*, **92**, 125
- Вестбрук и др. (Westbrook W.E., Willner S.P., Merrill K.M., Schmidt M., Becklin E.E., Neugebauer G., Wynn-Williams C.G.), 1975, *Astrophys. J.*, **202**, 407
- ван дер Вин и Хэбинг (van der Veen W.E.C.J., Habing H.J.), 1988, *Astron. & Astrophys.*, **194**, 125
- ван дер Вин и др. (van der Veen W.E.C.J., Trams N.R., Waters L.B.F.M.), 1993, *Astron. & Astrophys.*, **269**, 231
- ван дер Вин и др. (van der Veen W.E.C.J., Waters L.B.F.M., Trams N.R., Matthews H.E.), 1994, *Astron. & Astrophys.*, **285**, 551
- ван Винкель (van Winckel H.), 1997, *Astron. & Astrophys.*, **319**, 561
- ван Винкель (van Winckel H.), 2003, *Ann. Rev. Astron. & Astrophys.*, **41**, 391
- ван Винкель и Рейнерс (van Winckel H., Reyniers M.), 2000, *Astron. & Astrophys.*, **354**, 135
- ван Винкель и др. (van Winckel H., Mathis J.S., Waelkens C.), 1992, *Nature*, **356**, 500
- ван Винкель и др. (van Winckel H., Waelkens C., Waters L.B.F.M.), 1995, *Astron. & Astrophys.*, **293**, L25
- ван Винкель и др. (van Winckel H., Waelkens C., Waters L.B.F.M.), 1996a, *Astron. & Astrophys.*, **306**, L37
- ван Винкель и др. (van Winckel H., Oudmaijer R.D., Trams N.R.), 1996b, *Astron. & Astrophys.*, **312**, 553
- Винкович и др. (Vinkovic D., Blocker T., Hofmann K.-H., Elitzur M., Weigelt G.), 2004, *MNRAS*, **352**, 852
- Волк и Квок (Volk K.M., Kwok S.), 1989, *Astrophys. J.*, **342**, 345
- Вуд и др. (Wood P.R., Bessel M.S., Whiteoak J.B.), 1986, *Astrophys. J.*, **306**, L81
- Вудс и др. (Woods P.M., Nyman L.-Å., Schöeir F.L., Zijlstra A.A., Millar T.J., Olofsson H.), 2005, *Astron. & Astrophys.*, **429**, 977

- Галазутдинов Г.А., 1992, Препринт CAO № 192
- Гарсиа-Ларио и др. (Garcia-Lario P., Sivarani T., Parthasarathy M., Manchado A.) 2001, *Astrophys. Space Sci.*, **265**, 309
- Гарсиа-Хернандез и др. (Garcia-Hernandez D.A., Manchado A., Garcia-Lario P., Dominquez-Tagle C., Conway G.M., Prada F.) 2002, *Astron. & Astrophys.*, **387**, 955
- Гезицки и Зиджльстра (Gesicki K., Zijlstra A.A.), 2001, *Astrophys. Space Sci.*, **265**, 167
- ван Жендерен (van Genderen A.M.), 2001, *Astron. & Astrophys.*, **366**, 508
- Гинголд (Gingold R.A.), 1985, *Mem. Soc. Astron. Ital.*, **56**, 169
- Гиридэр и др. (Giridhar S., Rao N. Kameswara, Lambert D.L.), 1994, *Astrophys. J.*, **437**, 476
- Гобел (Goebel J.H.), 1993, *Astron. & Astrophys.*, **278**, 226
- Гонзалес и Уоллерстейн (Gonzalez G., Wallerstein G.), 1992, *MNRAS*, **254**, 343
- Гонзалес и др. (Gonzalez G., Lambert D.L., Wallerstein G., Rao N. Kameswara, Smith V.V., McCarthy J.K.), 1998, *Astrophys. J. Suppl.*, **114**, 133
- Грин (Green D.), 1996, *IAU Circ. No 6322*
- Греневерген (Groenewegen M.A.T.), 1997, *Astron. & Astrophys.*, **317**, 503
- Делфос и др. (Delfosse X., Kahane C., Forveille T.), 1997, *Astron. & Astrophys.*, **320**, 249
- Десин и др. (Decin L., van Winckel H., Waelkens C., Bakker E.J.), 1998, *Astron. & Astrophys.*, **332**, 928
- ван Жендерен и Гаутчи (van Genderen A.M., Gautschi A.), 1995, *Astron. & Astrophys.*, **294**, 453
- Джоунс и др. (Jones T.J., Humphreys R.M., Gehrz R.D., Lawrence G.F., Zickgraf F.-J., Moseley H., Casey S., Glaccum W.J., Koch C.J., Pina R., Jones B., Venn K., Stahl O., Starfield G.), 1993, *Astrophys. J.*, **411**, 323
- Джура (Jura M.), 1986, *Astrophys. J.*, **309**, 73
- Доминик и др. (Dominik C., Dullemond C.P., Cami J., van Winckel H.) *Astron. & Astrophys.*, 2003, **397**, 595
- Дьюрбек и Бенетти (Duerbeck H.W., Benetti S.), 1996, *Astrophys. J.*, **468**, L111
- Дюпри (Dupree A.K.), 1993, In: "Luminous High-Latitude Stars", *ASP Conf. Ser. Ed. Sasselov D.D.*, **45**, 73
- Енгалз и Льюис (Engels D., Lewis B.M.), 1996, *Astron. & Astrophys. Suppl.*, **116**, 117
- Жиллет и др. (Gillet D., Burki G., Chatel A., Duquennoy A., Lebre A.), 1994, *Astron. & Astrophys.*, **286**, 508
- Зач и др. (Zacs L., Klochkova V.G., Panchuk V.E.), 1995, *MNRAS*, **275**, 764
- Зач и др. (Zacs L., Klochkova V.G., Panchuk V.E., Spelmanis R.), 1996, *MNRAS*, **282**, 1171
- Зиджльстра и др. (Zijlstra A.A., te Lintel Heekert P., Pottasch S.R., Caswell J.L., Ratag M., Habing H.J.), 1989, *Astron. & Astrophys.*, **217**, 157
- Зиджльстра и др. (Zijlstra A.A., Chapman J.M., te Lintel Heekert P., Likkell L., Comerón F., Norris R.P., Molster F.J., Cohen R.J.), 2001, *MNRAS*, **322**, 280
- Ибен (Iben I.Jr.), 1984, *Astrophys. J.*, **277**, 333

- Ибен и Рензини (Iben I.Jr., Renzini A.), 1983, *Ann. Rev. Astron. & Astrophys.*, **21**, 271
- Ибен и МакДональд (Iben I.Jr., MacDonald J.), 1995, In: *White dwarfs*. Eds. D. Koester, K. Werner. Berlin. Springer, p.48
- Ибен и др. (Iben I.Jr., Tutukov A.V., Yungelson L.R.), 1996, *Astrophys. J.*, **456**, 750
- Квок (Kwok S.), 1993a, *Ann. Rev. Astron. & Astrophys.*, **31**, 63
- Квок (Kwok S.), 1993b, In: "Luminous High-Latitude Stars", ASP Conf. Ser. Ed. Sasselov D.D., **45**, 348
- Квок (Kwok S.), 2001, *Astrophys. Space Sci.*, **265**, 3
- Квок и др. (Kwok S., Boreiko R.T., Hrivnak B.J.), 1987a, *Astrophys. J.*, **312**, 303
- Квок и др. (Kwok S., Boreiko R.T., Hrivnak B.J.), 1987b, *Astrophys. J.*, **321**, 975
- Квок и др. (Kwok S., Volk K.M., Hrivnak B.J.), 1989, *Astrophys. J.*, **345**, L51
- Квок и др. (Kwok S., Hrivnak B.J., Geballe T.R.), 1995, *Astrophys. J.*, **454**, 394
- Квок и др. (Kwok S., Volk K., Bidelman W.P.), 1997, *Astrophys. J. Suppl.*, **112**, 557
- Квок и др. (Kwok S., Su Kate Y.L., Stoesz J.A.), 2001, *Astrophys. Space Sci.*, **265**, 115
- Квок и др. (Kwok S., Volk K., Hrivnak B.J.), 2002, *Astrophys. J.*, **573**, 720
- Керель де Стробел (Cayrel de Strobel G.), 1985, *IAU Symp.*, No.111. Eds. Haynes D.S., Pasinetti L.E., Philip A.G.D., P.137
- Киппер Т., 1984, *Письма в Астрон. ж.*, **10**, 219
- Киппер (Kipper T.), 1996, In: *Hydrogen Deficient Stars*. Eds. C.S. Jeffery, U. Heber. ASP Conf. Ser., **96**, 329
- Киппер Т. и Киппер М., 1986, *Письма в Астрон. ж.*, **14**, 586
- Киппер Т. и Киппер М. (Kipper T., Kipper M.), 1993, *Astron. & Astrophys.*, **276**, 389
- Киппер и Клочкова (Kipper T., Klochkova V.G.), 1997, *Astron. & Astrophys.*, **324**, L65
- Киппер и Клочкова (Kipper T., Klochkova V.G.), 1999, *IBVS*, №4661
- Киппер и Клочкова (Kipper T., Klochkova V.G.), 2001, *Balt. Astron.*, **10**, 393
- Киппер и др. (Kipper T., Kipper M., Klochkova V.G.), 1995, *Astron. & Astrophys.*, **297**, L33
- Клочкова В. Г., 1991, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, **34**, 5
- Клочкова (Klochkova V.G.), 1995a, *MNRAS*, **272**, 710
- Клочкова (Klochkova V.G.), 1998, *Bull. Spec. Astrophys. Observ.*, **44**, 5
- Клочкова и Панчук (Klochkova V.G., Panchuk V.E.), 1996, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.*, **41**, 5
- Клочкова и Топильская (Klochkova V.G., Topilskaya G.P.), 1996, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.*, **41**, 52
- Клочкова и Самусь (Klochkova V.G., Samus N.N.) *Astron. & Astrophys.* 2001, **378**, 455
- Клочкова В.Г., Ченцов Е.Л. 2004. *Астрон. ж.*, **81**, 333
- Клочкова и Киппер (Klochkova V., Kipper T). 2006. *Baltic Astronomy*, accepted
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., Рядченко В.П., 1991, *Письма в Астрон. ж.*, **17**, 645
- Клочкова и др. (Klochkova V.G., Chentsov E.L., Panchuk V.E.), 1997a, *MNRAS*, **292**, 19

- Клочкова и др. (Klochkova V.G., Panchuk V.E., Chentsov E.L.), 1997b, *Astron. & Astrophys.*, **323**, 789
- Клочкова и др. (Klochkova V.G., Panchuk V.E., Szczerba R.), 1997c, *Astrophys. & Space Sci.*, **255**, 485
- Клочкова и др. (Klochkova V.G., Szczerba R., Panchuk V.E., Volk K.), 1999, *Astron. & Astrophys.*, **345**, 905
- Клочкова В.Г., Щерба Р., Панчук В.Е. 2000а. Письма в Астрон. ж., **26**, 115
- Клочкова В.Г., Щерба Р., Панчук В.Е. 2000b. Письма в Астрон. ж., **26**, 510
- Клочкова и др. (Klochkova V.G., Yushkin M.V., Miroshnichenko A.S., Panchuk V.E., Bjorkman K.S.), 2002a, *Astron. & Astrophys.*, **392**, 143
- Клочкова В.Г., Юшкин М.В., Ченцов Е.Л., Панчук В.Е., 2002b. *Астрон. ж.*, **46**, 139
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., Таволжанская Н.С. 2002с. Письма в Астрон. ж., **28**, 56
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., Таволжанская Н.С., Ковтюх В.В. 2003. Письма в Астрон. ж., **29**, 842
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., Юшкин М.В., Мирошниченко А.С., 2004а, *Астрон. ж.*, **81**, 319
- Клочкова (Klochkova V.G., Chentsov E.L., Panchuk V.E., Yushkin M.V.), 2004b, *IBVS*, № 5584
- Клочкова В.Г., Ченцов Е.Л., Панчук В.Е., Юшкин М.В. 2006а, *Астрон. ж.*, в печати
- Клочкова В.Г., Панчук В.Е., Тавожанская Н.С., Жао Г. 2006b, *Астрон. ж.*, **83**, 265
- Конлон и др. (Conlon E.S., Dufton P.L., Keenan F.P., McCausland R.J.H.), 1991, *MNRAS*, **248**, 820
- Конлон и др. (Conlon E.S., Dufton P.L., Keenan F.P., McCausland R.J.H., Holmgren D.), 1992, *Astrophys. J.*, **400**, 273
- Конлон и др. (Conlon E.S., McCausland R.J.H., Dufton P.L., Keenan F.P.), 1993, In: "Luminous High-Latitude Stars", *ASP Conf. Ser. Ed. Sasselov D.D.*, **45**, 146
- Куруч (Kurucz R.L.), 1979, *Astron. & Astrophys. Suppl.*, **40**, 1
- Кэстнер и Веинтрауб (Kastner J.H., Weintraub D.A.), 1995, *Astrophys. J.*, **452**, 833
- Лак и Бонд (Luck R.E., Bond H.E.), 1989, *Astrophys. J.*, **342**, 476
- Лак и др. (Luck R.E., Bond H.E., Lambert D.L.), 1990, *Astrophys. J.*, **357**, 188
- Лак и др. (Lambert D.L., Luck R.E., Bond H.E.), 1983, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **95**, 413
- Ламберт и др. (Lambert D.L., Hinkle K.H., Luck R.E.), 1988, *Astrophys. J.*, **333**, 917
- Лангер и др. (Langer G.E., Kraft R.P., Anderson K.S.), 1974, *Astrophys. J.*, **189**, 509
- Латтанцио (Lattanzio J.C.), 1993, *IAU Symp. No.155, "Planetary nebulae"*, eds. Weinberg R., Acker A. Netherlands, p.235
- Лаулор и МакДональд (Lawlor T.M., MacDonald J.), 2003, *Astrophys. J.*, **583**, 913
- Лебре и Жиллет (Lebre A., Gillet D.), 1991, *Astron. & Astrophys.*, **246**, 490
- Лебре и Жиллет (Lebre A., Gillet D.), 1992, *Astron. & Astrophys.*, **255**, 221
- Лебре и др. (Lebre A., Mauron N., Gillet D., Barthes D.), 1996, *Astron. & Astrophys.*, **310**, 923

- Лебре и др. (Lebre A., Fokin A., Barthes D., Gillet D., Mauron N.), 2001, *Astrophys. Space Sci.*, **265**, 105
- Леинерт и Хаас (Leinert Ch., Haas M.), 1989, *Astron. & Astrophys.*, **221**, 110
- Леку и Джоурдан де Мьюизон (Lequeux J., Jourdain de Muizon M.), 1990, *Astron. & Astrophys.*, **240**, L19
- Ли, Сахай (Lee C.F., Sahai R.), 2003, *Astrophys. J.*, **586**, 319
- Ликкел (Likkell L.), 1989, *Astrophys. J.*, **344**, 350
- Ликкел и др. (Likkell L., Omont A., Morris M., Forveille T.), 1987, *Astron. & Astrophys.*, **173**, L11
- Ликкел и др. (Likkell L., Forveille T., Omont A., Morris M.), 1991, *Astron. & Astrophys.*, **246**, 153
- Лопез и др. (Lopez B., Tessier E., Gruzalebes P., Lefevre J., le Bertre T.), 1997, *Astron. & Astrophys.*, **322**, 868
- ван Лун и др. (van Loon J.T., Zijlstra A.A., Whitelock P.A., Waters L.B.F.M., Loup C., Trams N.R.), 1997. ES Scientific Preprint No 1227
- Льюис (Lewis B.M.), 1989, *Astrophys. J.*, **338**, 234
- Льюис и др. (Lewis B.M., Terzian Y., Eder J.), 1986, *Astrophys. J.*, **302**, L23
- МакКлю (McClure R.D.), 1984, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **96**, 117
- Мантегацца (Mantegazza L.), 1991, *Astron. & Astrophys. Suppl.*, **88**, 255
- Матис и Ламерс (Mathis J.S., Lamers H.J.G.L.M.), 1992, *Astron. & Astrophys.*, **259**, L39
- Мовлави (Mowlavi N.), 1999, *Astron. & Astrophys.*, **344**, 617
- Муни и др. (Mooney C.J., Rolleston W.R.J., Keenan F.P., Dufton P.L., Smoker J.V., Ryans R.S.I., Aller L.H., Trundle C.), 2004, *Astron. & Astrophys.*, **419**, 1123
- Недолуха и Боуэрс (Nedoluha G.E., Bowers P.F.), 1992, *Astrophys. J.*, **392**, 249
- Ниман и др. (Nyman L.-A., Hall P.J., Olofsson H.), 1998, *Astron. & Astrophys. Suppl.*, **127**, 185
- Оденвальд (Odenwald S.F.), 1986, *Astrophys. J.*, **307**, 711
- Оливер и др. (Olivier E.A., Whitelock P., Marang F.), 2001, *MNRAS*, **326**, 490
- Олофсон и др. (Olofsson H., Johansson L.E.B., Hjalmarsen A., Rieu N.-Q.), 1982, *Astron. & Astrophys.*, **107**, 128
- ОМОНТ (Omont A.), 1993, In: *Astronomical Infrared Spectroscopy: Future Observational Directions*. ASP Conf.Ser. Ed. Kwok S. **41**, 87
- ОМОНТ (Omont A.), 1995, *Mem. Soc. Astron. It.*, **66**, 619
- ОМОНТ (Omont A.), 2001, *Astrophys. Space Sci.*, **265**, 357
- ОМОНТ и др. (Omont A., Moseley S.H., Cox P., Glaccum W., Casey S., Forveille T., Chan K.-W., Szczerba R., Loewenstein R.F., Harvey P.M., Kwok S.), 1995, *Astrophys. J.*, **454**, 819
- Оудмейер (Oudmaijer R.D.), 1995, PhD Dissertation "Evolved stars with circumstellar shells". Groningen
- Оудмейер (Oudmaijer R.D.), 1996, *Astron. & Astrophys.*, **306**, 823
- Оудмейер и Бэккер (Oudmaijer R.D., Bakker E.J.), 1994, *MNRAS*, **271**, 615
- Оудмейер и др. (Oudmaijer R.D., van der Veen W.E.C.J., Waters L.B.F.M., Trams N.R., Waelkens C., Engelsman E.), 1992, *Astron. & Astrophys. Suppl.*, **96**, 625

- Оудмейер и др. (Oudmaijer R.D., Geballe T.R., Waters L.B.F.M., Sahu K.C.), 1994, *Astron. & Astrophys.*, **281**, L33
- Оудмейер и др. (Oudmaijer R.D., Groenewegen M.A.T., Matthews H.E., Blommaert J.A.D.L., Sahu K.C.), 1996, *MNRAS*, **280**, 1062
- Панчук и др. (Panchuk V.E., Najdenov I.D., Klochkova V.G., Ivanchik A.V., Yermakov S.V., Murzin A.V.), 1997, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.*, **44**, 127
- Панчук В.Е., Клочкова В.Г., Найденов И.Д. Препринт САО, № 135, 1999.
- Панчук В.Е., Юшкин М.В., Найденов И.Д. Препринт САО, № 179, 2003.
- Паргасарати и Поташ (Parthasarathy M., Pottasch S.R.), 1986, *Astron. & Astrophys.*, **154**, L16
- Паргасарати и др. (Parthasarathy M., Pottasch S.R., Wamsteker W.), 1988, *Astron. & Astrophys.*, **203**, 117
- Поташ и Паргасарати (Pottasch S.R., Parthasarathy M.), 1988, *Astron. & Astrophys.*, **192**, 182
- Пош и др. (Posch Th, Mutschke H., Andersen A.), 2004, *Astrophys. J.*, **616**, 1167
- Редди и Хривнак (Reddy B.E., Hrivnak B.J.), 1999, *Astron. J.*, **117**, 1834
- Редди и др. (Reddy B.E., Parthasarathy M., Gonzalez G., Bakker E.J.), 1997. *Astron. & Astrophys.*, **328**, 331
- Рензини (Renzini A.), 1981, In: *Physical processes in Red Giants*. Eds. Iben I.Jr., Renzini A. Reidel, Dordrecht, p.431
- Сасселов (Sasselov D.D.), 1984, *Astrophys. Space Sci.*, **102**, 161
- Сахаи и Траугер (Sahai R., Trauger J.T.), 1998, *Astron. J.*, **116**, 1357
- Смит и Ламберт (Smith V.V., Lambert D.L.), 1990, *Astron. & Astrophys. Suppl.*, **72**, 387
- Сокер (Soker N.), 2004, *Asp. Conf Ser.* **313**, 562
- Спек и др. (Speck A.K., Barlow M.J.), 2000, *Astron. & Astrophys. Suppl.*, **14**, 437
- Те Линтел Хеккерт (te Lintel Hekkert P.), 1991, *Astron. & Astrophys.*, **248**, 209
- Те Линтел Хеккерт и Чепман (te Lintel Hekkert P., Chapman J.M.), 1996, *Astron. & Astrophys. Suppl.*, **119**, 459
- Те Линтел Хеккерт и др. (te Lintel Hekkert P., Caswell J.L., Habing et al.), 1991, *Astron. & Astrophys. Suppl. Ser.*, **90**, 327
- Те Линтел Хеккерт и др. (te Lintel Hekkert P., Chapman J.M., Zijlstra A.A.), 1992, *Astrophys. J.*, **390**, L23
- Трэмс и др. (Trams N.R., Lamers H.J.G.L.M., van der Veen W.E.C.J., Waelkens C., Waters L.B.F.M.), 1990, *Astron. & Astrophys.*, **233**, 153
- Трэмс и др. (Trams N.R., Waters L.B.F.M., Waelkens C.), 1993, In: "Luminous High-Latitude Stars", *ASP Conf. Ser.* Ed. Sasselov D.D., **45**, 103
- Уета и др. (Ueta T., Meixner M., Bobrowsky M.), 2000, *Astrophys. J.*, **528**, 861
- Уилкинс и Уотерс (Waelkens C., Waters L.B.F.M.), 1993, In: "Luminous High-Latitude Stars", *ASP Conf. Ser.* Ed. Sasselov D.D., **45**, 219
- Уилкинс и др. (Waelkens C., Engelsman E., Waters L.B.F.M., van der Veen W.E.C.J.), 1989, In: "From Miras to Planetary nebulae: Which Path for Stellar Evolution?" Eds. Mennessier M.O., Omont A. Editions Frontieres, France, 470
- Уилкинс и др. (Waelkens C., van Winckel H., Bogaert E., Trams N.R.), 1991a, *Astron. & Astrophys.*, **251**, 495

- Уилкинс и др. (Waelkens C., Lamers H.J.G.L.M., Waters L.B.F.M., Rufener F., Trams N.R., Le Bertre T., Ferlet R., Vidal-Madjar A.), 1991b, *Astron. & Astrophys.*, **242**, 433
- Уилкинс и др. (Waelkens C., van Winckel H., Trams N.R., Waters L.B.F.M.), 1992, *Astron. & Astrophys.*, **256**, L15
- Уилкинс и др. (Waelkens C., Mayor M., Plets H.), 1993, In: *Proceed. Second ESO/CTIO Workshop on Mass Loss on the AGB and Beyond. La Serena. 21-24 Jan. 1993.* H.E.Schwarz (Ed.), 287
- Уилкинс (Waelkens C.), 1995. In: *Astrophys. Applic. of Stellar Pulsations.* Eds. Stobie R.S., Whitelock P., *Asp. Conf. Ser.*, **83**, 111
- Уилкинс и др. (Waelkens C., van Winckel H., Waters L.B.F.M., Bakker E.J.), 1996, *Astron. & Astrophys.*, **314**, L17
- Уитни и др. (Whitney B.A., Balm S.P., Clayton G.C.), 1993, In: "Luminous High-Latitude Stars", *ASP Conf. Ser. Ed.*, Sasselov D.D., **45**, 115
- Уолгрэн (Wahlgren G.M.), 1972, *Astron. J.*, **104**, 1174
- Уолкер и др. (Walker H.J., Tsikoudi V., Clayton C.A., Geballe T., Wooden D.H., Butner H.M.), 1997, *Astron. & Astrophys.*, **323**, 442
- Уотерс и др. (Waters L.B.F.M., Trams N.R., Waelkens C.), 1991, In: "The infrared Spectral Region of Stars". Eds. Yaszek C., Andrillat Y. Cambridge University Press, p.40
- Уотерс и др. (Waters L.B.F.M., Trams N.R., Waelkens C.), 1992, *Astron. & Astrophys.*, **262**, L37
- Уотерс и др. (Waters L.B.F.M., Waelkens C., Mayor M., Trams N.R.), 1993, *Astron. & Astrophys.*, **269**, 242
- Усенко и др. (Usenko I.A., Kovtyukh V.V., Klochkova V.G.), 2001, *Astron. & Astrophys.*, **377**, 156
- Ферро (Ferro A.A.), 1984, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **96**, 641
- Фокин и Жиллет (Fokin A.B., Gillet D.), 1994, *Astrophys. J.*, **290**, 875
- Фьюджи и др. (Fujii T., Nakada Y., Parthasarathy M.), 2002, *Astron. & Astrophys.*, **385**, 884
- Хони и др. (Hony S., Waters L.B.F.M., Tielens A.G.G.M.), 2001, *Astron. & Astrophys.*, **378**, L41
- Хони и др. (Hony S., Waters L.B.F.M., Tielens A.G.G.M.), 2002, *Astron. & Astrophys.*, **390**, 533
- Хенинг и др. (Henning Th., Chan S.J., Assendorp R.), 1996, *Astron. & Astrophys.*, **312**, 511
- Хербиг и Боярчук (Herbig G.H., Boyarchuk A.A.), 1968, *Astrophys. J.*, **153**, 397
- Хервиг (Herwig F.), 2001, *Astrophys. Space Sci.*, **265**, 249
- Хервиг и др. (Herwig F., Blöcker T., Schönberner D., El Eid M.), 1997, *Astron. & Astrophys.*, **324**, L81
- Хеске и др. (Heske A., Forveille T., Omont A., van der Veen W.E.C.J., Habing H.J.), 1990, *Astron. & Astrophys.*, **239**, 173
- Хривнак и Квок (Hrivnak B.J., Kwok S.), 1991, *Astrophys. J.*, **368**, 564
- Хривнак и др. (Hrivnak B.J., Kwok S., Volk K.M.), 1988, *Astrophys. J.*, **331**, 832
- Хривнак и др. (Hrivnak B.J., Kwok S., Volk K.M.), 1989, *Astrophys. J.*, **346**, 265
- Хривнак и др. (Hrivnak B.J., et. al.) 2001, *Astrophys. Space Sci.*, **265**, 101

- Хэбинг и др. (Habing H.J., van der Veen W.E.C.J., Geballe T.), 1987, In: "Late stages of stellar evolution". Eds. S.Kwok, S.R.Pottash. Dordrecht, Reidel, p.91
- Хэмфрис (Humphreys R.M.), 1991, In: "Wolf-Rayet stars and interrelations with other massive stars in galaxies". IAU Symp. 143. Eds. Van der Hucht K.A., Hidayat K., p.485
- Хэмфрис и Ней (Humphreys R.M., Ney E.P.), 1974, *Astrophys. J.*, **190**, 339
- Хэмфрис и др. (Humphreys R.M., Strecker D.W., Murdock T.L., Low F.J.), 1973, *Astrophys. J.*, **179**, L49
- Чен и Квок (Chan S.J., Kwok S.), 1990, *Astron. & Astrophys.*, **237**, 354
- Ченцов Е.Л., Горда Е.С., 2004, *Письма в Астрон. ж.*, **30**, 511
- Шенбернер (Schonberner D.), 1983, *Astrophys. J.*, **272**, 708
- Эсплунд и др. (Asplund M., Gustafsson B., Lambert D.L., Rao N. Kameswara), 1997, *Astron. & Astrophys.*, **321**, L17
- Юрчик (Jurcsik J.), *Acta Astronomica*, 1993, **43**, 353
- де Ягер (de Jager C.), 1992, In: *Instabilities in evolved super and hypergiants. Proceed. of the Intern Coll.*, Amsterdam, 1991. Eds. C. de Jager and H. Nieuwenhuijzen. North-Holland. Amsterdam/Oxford/New York/Tokyo, 1992, 98
- Юшкин М.В. Клочкова В.Г., 2005, *Препринт САО*, No.206

ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗВЕЗДНОГО МАГНЕТИЗМА В САО РАН И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Ю. В. Глаголевский, И. И. Романюк

Представлена хронология исследований магнитных полей в Специальной астрофизической обсерватории. Для удобства изложения выбраны пятилетние периоды, рассмотрены основные работы, выполненные сотрудниками Группы (Лаборатории) исследований звездного магнетизма в каждый из этих периодов, отмечены персональные перемещения, защиты диссертаций и пр. Кратко рассмотрены перспективы исследований звездного магнетизма в САО РАН и сделано заключение.

1. Введение

Исследование механизмов генерации и поддержания космических магнитных полей, а также их роли в эволюции звезд и галактик – одно из важнейших направлений в современной астрофизике.

Наиболее надежным и эффективным способом изучения звездного магнетизма является анализ проявлений эффекта Зеемана методами спектрополяриметрии. Реально на практике другие подходы используются, когда изучать явление Зеемана по тем или иным причинам не удается.

Важность исследований звездных магнитных полей в астрофизике подчеркивается также и тем, что оборудованием для измерения эффекта Зеемана постоянно оснащались вступающие в строй крупнейшие телескопы мира. Так было в 50-е и 60-е годы (5-м телескоп Паломарской обсерватории, 3-м – Ликской и 2.5-м – Маунт Вилсон); в 70-е и 80-е магнитные наблюдения начались на 6-м телескопе САО и 3.6-м в ESO (Чили); в 21 веке зеемановские наблюдения включены в программу работ крупнейших 8-м телескопов ESO VLT.

Магнитные поля звезд были обнаружены Горацио Бэбкоком в 1947 г на 5-м Паломарском телескопе с помощью специально разработанных им дифференциальных анализаторов круговой поляризации. К середине шестидесятых (времени ачала работы группы "Магнитные звезды" в нашей обсерватории) фотографический метод Бэбкока оставался единственным способом магнитных исследований звезд.

Кроме Бэбкока (работавшего в пятидесятые годы на 5-м и 2.5-м телескопах), в начале шестидесятых Джордж Престон и Сидни Вольф начали наблюдать с зеемановским анализатором на 3-м Ликском телескопе. В основном усилиями этих исследователей было найдено около 100 магнитных звезд, все они оказались химически пекулярными. Основные усилия были потрачены на поиски новых магнитных звезд, систематических исследований периодических явлений было проведено мало, поэтому приемлемых моделей этих загадочных объектов еще построено не было.

Спектроскопические исследования магнитных CP-звезд проводились в

двух институтах Академии наук СССР: в Крымской обсерватории (Н.С. Полосухиной) и Астросовете (ныне ИНАСАН) (В.Л. Хохловой и ее группой). Систематические спектрофотометрические наблюдения непрерывных спектров магнитных звезд проводил в Алма-Атинской обсерватории Ю.В. Глаголевский. Им были обнаружены депрессии в континууме, уменьшение бальмеровского скачка и несоответствие спектральной классификации температуре этих объектов.

При подготовке научного обоснования необходимости создания крупнейшего в мире 6-м телескопа (представленного астрономами СССР в пятидесятые и шестидесятые годы прошлого века) среди небольшого набора ключевых астрономических проблем, которые предстояло на нем решать, значились исследования звездного магнетизма.

3 июня 1966 г. была создана Специальная астрофизическая обсерватория Академии Наук СССР, сотрудникам которой и предстояло принимать в эксплуатацию телескоп, разрабатывать новое оборудование, проводить научную работу в кооперации с другими организациями, как отечественными, так и зарубежными.

Для практической реализации одного из важнейших направлений, заявленных в научном обосновании проекта БТА – Исследований звездного магнетизма – основатель и первый директор Специальной астрофизической обсерватории Иван Михеевич Копылов пригласил на работу в САО из Алма-Атинской обсерватории кандидата физ.-мат. наук Юрия Владимировича Глаголевского.

В 1968 г. была создана рабочая группа "Магнитные звезды", которую Ю.В. Глаголевский и возглавил. Первыми сотрудниками группы стали старшие научные сотрудники, кандидаты физ-мат наук Капитолина Ивановна Козлова и Раиса Николаевна Кумайгородская, а также младший научный сотрудник Наталья Михайловна Чунакова.

Мы считаем уместным в данном сборнике привести хронику жизни Группы (Лаборатории) "Магнитные звезды" почти за 40-летний период ее существования. Для удобства изложения материал сгруппирован по пятилетним периодам. Рассказано об основных работах, выполненных в каждом из них, показаны кадровые перемещения, защиты диссертаций, премии и другие достижения сотрудников.

2. Хроника жизни Группы (Лаборатории)

2.1. Первые годы, САО без телескопов (1968-1972 гг.)

На первом этапе задачи группы были сконцентрированы в двух направлениях: научном и методическом. Так как собственного телескопа до 1973 г. в обсерватории не было, то приходилось искать возможности наблюдений в других институтах. Основным направлением научной работы было изучение химического состава и параметров атмосфер магнитных звезд, нужны были высокодисперсионные спектры. Такой материал можно было получить в Крымской обсерватории на 2.6-м телескопе (ЗТШ) и на 2-м телескопе обсерватории в Шемахе.

В качестве основных результатов, полученных в этот период, следует упомянуть следующие: соотношение $T(\text{возб})/T(\text{иониз})$ у Ар и Ам-звезд нормальное, электронные плотности соответствуют положению звезд на Главной последовательности. Такой вывод имел большое значение, так как позволил использовать в первом приближении теорию нормальных звездных атмосфер. Изучались изменения профилей линий водорода, причем было обнаружено изменение центральных частей и последней видимой линии водорода, что указывало на переменность физических условий в верхних слоях. Впоследствии этот вывод подтвердился, когда был исследован покровный эффект. Методом кривых роста изучалась микротурбулентность v_t в атмосферах Ар и Ам-звезд. Было показано, что v_t у Ар-звезд исключительно мала, у Ам-звезд она больше, но систематически меньше, чем у нормальных. Главный вывод – атмосферы СР-звезд исключительно стабильны. Большое внимание уделено изучению главного параметра звезд – эффективных температур.

Обсуждались также вопросы, связанные со спектральной классификацией и шкалой эффективных температур. Обнаружились исключительно большие трудности из-за химических аномалий и их неравномерного распределения по поверхности.

Сотрудники также принимали участие в составлении технического задания на изготовление навесного оборудования 6-м телескопа (Основного звездного спектрографа, в частности), в его приемке и исследованиях.

Одной из основных задач Группы было создание приборов для измерения магнитных полей звезд на 6-м телескопе. В указанный период начинались только подготовительные работы. На работу в САО в 1971 г. в лабораторию астросветоприемников (ЛАСП) был принят выпускник и аспирант МФТИ Георгий Александрович Чунтонов. Перед ним была поставлена задача: разработать и внедрить оборудование для измерений магнитных полей звезд на 6-м телескопе.

В 1969-1972 гг. в тесном сотрудничестве с группой работал м.н.с. В.В. Леушин, сначала аспирант, а затем сотрудник группы И.М. Копылова. Ю.В. Глаголевский и К.И.Козлова занимались подготовкой кадров для обсерватории, некоторые их ученики впоследствии стали известными астрономами. Ю.В. Глаголевский, например, руководил дипломной работой В.Л. Афанасьева (ныне доктор физ.-мат. наук, профессор), читал лекции в Ростовском университете В.Г. Ключковой (ныне доктор физ.-мат. наук), а К.И.Козлова проводила практические занятия по спектроскопии.

2.2. Период 1973-1977 гг.: начало наблюдений на 60-см телескопе и создание анализаторов поляризации для БТА, первые наблюдения на БТА

В 1973 г. Ю.В. Глаголевский был назначен ученым секретарем САО АН СССР и исполнял эти обязанности 10 лет, продолжая оставаться руководителем группы исследований звездного магнетизма. В середине семидесятых Группу ждало новое пополнение – в 1973 г. на должность младшего научного сотрудника был принят В.С. Лебедев, в 1975 г. на должность старшего лаборанта – И.И. Романюк, а в 1977 г. – В.Д. Бычков.

В 1973 г. в Обсерватории заработал первый телескоп – Цейсс-600, вскоре он был оборудован фотометром. Н.М. Чунакова наблюдала на нем переменность магнитных звезд. Инженер лаборатории астросветоприемников В.Г. Штоль в сотрудничестве с группой "Магнитные звезды" построил спектрофотометр для наблюдений переменности в ядрах водородных линий на базе штатного спектрографа UAGS. Впоследствии В.Г. Штоль дополнил это устройство поляризационным блоком, построив тем самым водородный магнитометр. Таким образом, был создан прибор, который в течение многих лет был одним из самых востребованных на БТА.

Но основной работой в середине семидесятых была подготовка к предстоящим наблюдениям на крупнейшем в мире телескопе, в частности создание приборов для измерений магнитных полей звезд. Ю.В. Глаголевский, Г.А. Чунтонов и поступивший на работу в 1974 г. инженер И.Д. Найденов изготовили анализаторы круговой поляризации для Основного звездного спектрографа (ОЗСП) БТА по классической схеме Бэбкока со слюдяной четвертьволновой фазовой пластинкой на выходе, что позволило устранить очень сильные поляризационные эффекты от решетки.

В дальнейшем Г.А. Чунтонов и И.Д. Найденов разработали и изготовили ахроматический анализатор круговой поляризации, в качестве фазосдвигающих элементов в нем впервые были использованы ромбы Френеля. Этот анализатор находится в эксплуатации до сих пор, уже более четверти века.

На этот же период приходится разработка и изготовление фотоэлектрического звездного магнитометра с интерферометром Фабри-Перо для БТА. Идея прибора была высказана Ю.В. Глаголевским, В.С. Рыловым, Г.А. Чунтоновым и П.В. Щегловым. В его изготовлении активно участвовали сотрудники других подразделений САО, например В.П. Рядченко, А.Н. Борисенко, С.В. Драбек и др.

Первые плановые наблюдения на БТА 2 января 1977 г. были выполнены Ю.В. Глаголевским и И.И. Романюком с анализатором поляризации (по схеме Бэбкока со слюдяными фазосдвигающими пластинками). Эти наблюдения положили начало систематическим измерениям магнитных полей звезд на 1-й и 2-й камерах Основного звездного спектрографа 6-м телескопа, которые продолжаются уже более четверти века. В качестве светоприемника тогда использовались фотографические пластинки. Ю.Ф. Антроповым была изготовлена специальная осциллокопическая приставка, позволяющая с высокой точностью совмещать прямые и обратные изображения линии, и тем самым находить ее положение с высокой точностью. В указанный период основную часть измерений зеемановских спектров выполнил И.И. Романюк.

Основные публикации этого периода посвящены разработке и испытанию приборов для измерений магнитных полей на БТА. Были проведены исследования различных ошибок, влияющих на точность измерений. Изготовлены калибровочные устройства, позволяющие исследовать степень поляризации и/или деполяризации света при прохождении разных оптических элементов и узлов системы телескоп+спектрограф. Было показано, что инструментальная поляризация в системе фокуса Нэсмита БТА очень мала (не более нескольких процентов) и имеет постоянную величину, так как есть всего одно наклонное

(под постоянным углом 45°) диагональное зеркало БТА на пути света в телескопе до анализатора поляризации. Это делает БТА чрезвычайно удобным телескопом для измерения магнитных полей. Было также показано, что во вторичном фокусе Нэсмит-2 в результате разных поляризационных эффектов величина магнитного поля уменьшается на 5% при любом положении телескопа. Поправки, таким образом, могут быть внесены в окончательный результат измерений математически. Эти работы выполнялись Ю.В. Глаголевским, Г.А. Чунтоновым, И.Д. Найденовым и И.И. Романюком.

К.И. Козлова и Р.Н. Кумайгородская занимались обработкой наблюдательного материала, полученного в Крымской обсерватории. Была изучена переменность водородных линий HD184905. Сделан вывод, что переменность возникает из-за неравномерного распределения химических элементов и изменения структуры атмосферы вследствие этого. Глаголевский Ю.В., Козлова К.И., Лебедев В.С. и Полосухина Н.С. (КрАО) впервые выполнили работу по картированию поверхности 21Peg. Оказалось, что Eu, Gd, Ti, Mn сконцентрированы в двух пятнах, а Fe, Ca, Si, Sr, Cr, Mg и др. в четырех. Впоследствии стало ясно, что эти элементы сосредоточены не в четырех пятнах, а в кольце между основными пятнами. Вычислены координаты пятен и получены основные параметры звезды. Получены данные, подтверждающие предположение, что спектральные аномалии вызваны прежде всего химическими аномалиями, а не физическими условиями.

2.3. Период 1978-1982 гг.: магнитометр с интерферометром Фабри-Перо и водородный магнитометр, детальные исследования отдельных объектов, начало работ по поиску новых магнитных звезд

В указанный период произошли следующие кадровые изменения: в 1980 г. К.И. Козлова вышла на пенсию, Р.Н. Кумайгородская перешла в другое подразделение, а И.Д. Найденов был переведен в группу "Магнитные звезды".

В конце семидесятых много времени было уделено доводке и испытаниям магнитометра с интерферометром Фабри-Перо. Получены уникальные решения многих технических проблем, которые впоследствии широко использовались при разработке новых приборов для 6-м телескопа. Первые наблюдения ярких звезд на этом приборе были выполнены в 1978 году с рекордной точностью порядка 10 Гс. Создание магнитометра с интерферометром Фабри-Перо и результаты, полученные на нем в 1984 г., были защищены в кандидатской диссертации Г.А. Чунтонова.

В этот же период времени В.Г. Штоль переделал спектрофотометр в спектрополяриметр – водородный магнитометр. Испытания, показавшие хорошую чувствительность прибора, были проведены на телескопе Цейсс-600, а в 1980 г. водородный магнитометр был установлен в первичном фокусе БТА. Впоследствии он был усовершенствован, впервые в СССР появилась возможность во время измерения магнитных полей звезд измерять 4 параметра Стокса. С 1982 по 1995 г. водородный магнитометр входил в состав основных штатных приборов БТА и был исключен из списка лишь вследствие отсутствия запасных частей и морального устаревания. Наблюдения с водородным магнитометром

проводили В.Г. Штоль, И.И. Романюк и В.Д. Бычков.

Наблюдения с зеemanовскими анализаторами проводились уже в регулярном режиме. Получено достаточно много высококачественного наблюдательного материала.

Основные научные работы, выполненные в этот период:

Глаголевский Ю.В., Романюк И.И., Козлова К.И., Лебедев В.С., Бычков В.Д. Штоль В.Г., Микулашек З. (Чехословакия) измеряли магнитное поле HD119213 с фазой периода вращения, фотографически, по линиям металлов, и фотоэлектрически – по линиям водорода. Обнаружено, что разные химические элементы образуют разные фазовые зависимости вследствие неравномерного распределения химических элементов. Получены основные параметры звезды.

Романюк И.И. исследовал наличие радиального градиента магнитного поля у звезд β CrV и α 2 CVn. У последней поле увеличивается с глубиной с градиентом порядка 0.1 - 1 Гс/км. Градиент значительно превышает дипольный, что указывает на необходимость усовершенствования магнитных моделей этой звезды. Для β CrV такой эффект не замечен.

Доказано присутствие магнитного поля у ярчайшей пекулярной звезды ϵ UMa. Таким образом, гипотеза о том, что бывают Ar-звезды, не имеющие магнитного поля, лишилась веского аргумента.

(Глаголевский Ю.В., Романюк И.И., Чунтонов Г.А., Штоль В.Г. и др.).

Измерено магнитное поле и найдено предварительное значение периода вращения 33 Gem. Получены основные физические параметры звезды.

(Чунакова Н.М., Бычков В.Д., Глаголевский Ю.В.).

С помощью наблюдений на спектрополяриметре 60-см телескопа обнаружено отсутствие быстрой переменности в ядрах водородных линий у нескольких Ar-звезд. Таким образом, была подтверждена обнаруженная ранее стабильность верхних слоев атмосфер указанных объектов.

(Глаголевский Ю.В., Романюк И.И., Штоль В.Г., Бычков В.Д.)

Детально исследована обладающая сильнейшим магнитным полем звезда Бэбкока HD215441, впервые по относительному распределению интенсивностей зеemanовских компонент изучена конфигурация ее магнитного поля. Определены основные параметры.

(Глаголевский Ю.В., Козлова К.И., Кумайгородская Р.Н., Лебедев В.С., Романюк И.И., Чунакова Н.М.)

Исследована сильно покрасневшая звезда HD29547, погруженная в темное поглощающее облако, принадлежащее комплексу звездобразования. Это одна из CP-звезд на ранних стадиях эволюции, уже имеющая химические аномалии.

(Страйжис В.Л., Глаголевский Ю.В., Романюк И.И., Бычков В.Д.)

Начались первые наблюдения по программе поиска магнитных звезд среди объектов с большими Z-параметрами женеvской фотометрической системы. Обнаружено 9 новых магнитных звезд. Впервые было доказано существование связи между депрессиями в непрерывном спектре и величиной магнитного поля. (Глаголевский Ю.В., Романюк И.И., Бычков В.Д., Чунакова Н.М.)

В 1980 году группа провела международное совещание "Магнитные звезды" астрономов социалистических стран. Приняло участие около 50 чело-

век из 6 стран. Тезисы докладов изданы в журнале "Сообщения САО" т.31 (1981 г.)

2.4. Период 1983-1987 гг. Выполнение научных программ на БТА (новые магнитные звезды, магнитные кривые отдельных объектов, магнитные звезды в скоплениях разного возраста и др.), модернизация водородного магнитометра

В стране началась перестройка. На посту директора САО в 1985 г. И.М. Копылова сменил В.Л. Афанасьев.

В указанный период произошли следующие изменения в составе группы. В 1984 г. на должность старшего лаборанта был принят В.Г. Елькин, В.С. Лебедев перешел в другое подразделение. В 1985 г. ушла из САО Н.М. Чунакова.

В 1986 г. И.И. Романюк защитил кандидатскую диссертацию "Исследование проявлений тонкой структуры магнитного поля в спектрах химически пекулярных звезд". (Руководитель Ю.В. Глаголевский)

Группа продолжала активные наблюдения на БТА. По программе "Поиск новых магнитных звезд" были получены спектры около 100 объектов, среди которых впервые магнитные поля были измерены у 20-ти. Ряд объектов по всем признакам относятся к магнитным, однако их поле не было измерено из-за большой ширины линий (из-за быстрого осевого вращения). Было показано, что использование Z-параметра женеvской фотометрической системы очень эффективно для поиска новых магнитных звезд, однако заменять прямые измерения магнитных полей результатами косвенных определений, основанных на феноменологической зависимости, не следует. (Глаголевский Ю.В., Романюк И.И., Бычков В.Д., Чунакова Н.М.)

С высокой точностью на магнитометре с интерферометром Фабри-Перо было измерено магнитное поле ярчайшей пекулярной ртутно-марганцевой звезды α Андромеды. В результате суммирования нескольких ночей наблюдений на 6-м телескопе получен средний результат: $B_e = +33 \pm 19$ Гс. Хотя результат статистически незначим, есть другие косвенные указания на то, что магнитное поле у α Андромеды все же обнаружено. (Глаголевский Ю.В., Романюк И.И., Бычков В.Д., Найденов И.Д.)

Построена модель магнитного поля α^2 CVn по профилям круговой поляризации методом решения обратной задачи. При моделировании учитывалось неоднородное распределение химических элементов по поверхности. Наилучшее приближение получилось при предположении модели центрального диполя (Глаголевский Ю.В., Хохлова В.Л., Пискунов Н.Е.)

Проведены исследования нескольких звезд с ахроматическим анализатором круговой поляризации в области бальмеровского скачка. Для α^2 CVn найдено, что величина магнитного поля и амплитуда его изменений в области короче 3646 А (длина волны бальмеровского скачка) на 30% меньше, чем в обычной визуальной области спектра. Это указывает на уменьшение магнитного поля с высотой (радиальный градиент поля) для этой звезды, что требует усовершенствования простой дипольной модели поля указанного объекта. (Романюк И.И.)

Получены кривые магнитного поля на водородном магнитометре и по линиям металлов фотографическим способом звезды HD 119213. Работа выполнялась совместно с чехословацким астрономом З. Микулашеком. Найден большой ангармонизм металлической кривой продольного поля, в то время как кривая, полученная по линиям водорода, является синусоидой. Кривые поля по линиям железа, хрома и титана различаются между собой, что является доказательством пятнистого распределения металлов в этой звезде, причем выраженного ярко. Был найден период вращения звезды и построена ее модель. (Глаголевский Ю.В., Романюк И.И., Бычков В.Д., Штоль В.Г.)

Выполнен обширный цикл работ по исследованиям магнитных звезд в рассеянных скоплениях разного возраста. Исследовано более 100 звезд в 10 группировках. Анализ всех накопленных наблюдательных данных показал, что полный магнитный поток практически не изменяется с возрастом, потому что время диссипации в стабильной атмосфере – порядка 10^{10} лет. Сделан важный вывод, что поле диссипирует только вследствие омических потерь. (Глаголевский Ю.В., Клочкова В.Г., Копылов И.М.)

Обсуждалась проблема потери момента вращения CP-звезд. Для этого исследовалась зависимость среднего периода вращения от массы, т.е. от длительности эволюции. Показано, что звезды с аномальными линиями гелия практически не отличаются от нормальных, но чем больше возраст тем медленнее вращение. Это может указывать на то, что звезды действительно тормозятся. Отмечено, что слишком большое количество медленных ротаторов сильно нарушает максвелловское распределение. Зависимость поверхностного поля от периода вращения имеет максимум на периоде 8 суток, причина пока неясна. (Глаголевский Ю.В.)

Возобновлены исследования причин уменьшения бальмеровских скачков на основе собственных измерений и литературных данных. Путем расчета спектра в ультрафиолете было показано, что скачок искажается вследствие переизлучения энергии из ультрафиолета в видимую область, уменьшения роли водорода и увеличения молекулярного веса из-за аномального химсостава. (Глаголевский Ю.В., Топильская Г.П.)

В продолжение предыдущих исследований эффективных температур составлен новый список 330 звезд с оценками T_e в системе Адельмана, которую он получил с использованием моделей Куруча. В моделях учитывался покровный эффект и переизлучение энергии из у/ф-области. Система температур таким образом оказалась более точной, чем ранее. (Глаголевский Ю.В., Чунакова Н.М.)

По методу Стиббса-Престона для 40 звезд определены параметры магнитного поля 40 CP-звезд. Оказалось, что ориентация диполей у магнитных звезд произвольная.

(Глаголевский Ю.В., Бычков В.Д., Романюк И.И., Чунакова Н.М.)

Исследовано влияние магнитного усиления спектральных линий на избыток химсостава. Найден рост степени пекулярности с увеличением фактора Ланде. Сделан вывод, что магнитным усилением можно объяснить зависимость интенсивности депрессии на 5200 Å от величины магнитного поля.

(Романюк И.И.)

Делались попытки поиска магнитного поля у сверхгигантов из предположения, что в турбулентных атмосферах поле могло генерироваться. Полученные результаты в общем неопределенные, хотя в отдельные моменты измерения приводили к значимой величине порядка 1 килогаусса. Работа требует продолжения. (Глаголевский Ю.В., Романюк И.И., Шольц Г., Герт Е. (Германия))

Была проведена модернизация водородного магнитометра, позволяющая выполнять измерения 4-х параметров Стокса. В указанный период была собрана новая конструкция поляриметрической приставки, расширен набор движущихся щелей. Выполнены исследования инструментальной линейной поляризации в первичном фокусе БТА. Показано, что она постоянна в пределах нескольких сотых долей процента, поэтому достаточно просто учитывается во время наблюдений. (Штоль В.Г., Романюк И.И.)

В сентябре 1987 г. Группа провела в САО РАН традиционную конференцию "Магнитные звезды", в ней приняло участие более 50-ти человек из 5-ти стран. Участники конференции выступили более чем с 50 докладами. Издан сборник трудов конференции "Magnetic Stars" (ответственные редакторы Ю.В. Глаголевский и И.М. Копылов), Наука: Ленинград, 1988.

2.5. Период 1988-1992 гг.: конец фотографической эры, наблюдения с магнитометрами; уникальные звезды

В указанный период происходили драматические события: развал Советского Союза и значительное сокращение финансирования академической науки.

В 1991 г. Группа была преобразована в Лабораторию исследований звездного магнетизма. В состав Лаборатории вошли доктор физ.-мат. наук Н.Ф. Войханская, Т.А. Карташова с сохранением предыдущей тематики исследований. Произошли также и другие кадровые перестановки: в группу "Эволюция звезд" ушел В.Д. Бычков, на работу по теме "Магнитные звезды" была принята Ф.Г. Копылова в должности старшего лаборанта. В 1989 г. Ю.В. Глаголевский защитил докторскую диссертацию "Проблемы происхождения и эволюции магнитных полей химически пекулярных звезд". В 1992 г. В.Д. Бычков защитил кандидатскую диссертацию "Проблемы ориентации и структуры магнитных полей звезд" (рук. Ю.В. Глаголевский)

Указанный период знаменует собой конец "фотографической эры" на БТА. К концу восьмидесятых закупки импортных фотопластинок прекратились, поэтому наблюдения выполнялись на фотоэлектрических магнитометрах, в основном на водородном магнитометре в первичном фокусе БТА.

Основные научные работы имели следующее содержание.

Для более 100 СР-звезд с помощью новейшего списка эффективных температур оценены болометрические звездные величины, по которым построена диаграмма Герцшпрунга-Рессела. Сделан вывод: СР-звезды равномерно распределены внутри полосы главной последовательности и не отличаются от нормальных. Нижний край полосы СР-звезд совпадает с таковым для нормальных звезд, следовательно, они эволюционируют одинаково. Впоследствии эти выводы были подтверждены гиппарховскими данными. (Глаголевский Ю.В.)

На основании измерений с магнитометром Фабри-Перо и по литературным данным получен результат, показывающий отсутствие магнитного поля у нормальных звезд, с верхним пределом, не превышающим 10 Гс. (Глаголевский Ю.В., Романюк И.И., Найденов И.Д., Бычков В.Д.)

Представлен 2-й список магнитных звезд, измеренных на БТА. На более обширном материале не найдено зависимости величины поля B_e от температуры. Это важный результат для теории происхождения и эволюции CP-звезд. Оказалось также, что B_e по линиям металлов в среднем на 200 Гс больше чем по водороду, что объясняется влиянием концентрации металлов вокруг магнитных полюсов. (Глаголевский Ю.В., Бычков В.Д., Елькин В.Г., Копылова Ф.Г., Найденов И.Д., Романюк И.И., Чунакова Н.М.)

На водородном магнитометре выполнялись наблюдения нескольких объектов типа $\lambda_{\text{H}\alpha}$ с целью поиска у них магнитных полей, которые не были зарегистрированы ни у одного из объектов. Впоследствии наш результат – звезды $\lambda_{\text{H}\alpha}$ немагнитные – был подтвержден в более широком зарубежном обзоре. Работа выполнялась совместно с болгарским астрономом И.Илиевым. (Ю.В. Глаголевский, И.И. Романюк, В.Г. Штоль и В.Д. Бычков)

Начаты исследования уникальной звезды HD 37776 с полем сложной конфигурации. Мы впервые получили на фотопластинках спектры с зеемановским анализатором и обнаружили расщепленные зеемановские компоненты, указывающие на существование сверхсильного магнитного поля величиной 70-80 кГс, квадрупольный компонент которого сильнее дипольного. Были измерены 4 параметра Стокса в континууме, найдена очень сильная линейная поляризация в континууме и эмиссия в водородной линии $H\alpha$, указывающая на то, что звезда окружена оболочкой.

(И.И. Романюк, Ф.Г. Копылова, В.Г. Штоль и В.Г. Елькин)

Исследовались соотношения между величиной магнитного поля и содержанием гелия у звезд типа He-r. Работа выполнялась совместно с сотрудником Крымской обсерватории Л.С. Любимковым. Отмечена большая роль ветра, приводящего к гелиевым аномалиям, кроме того, велико влияние изменения магнитного поля с возрастом. По-видимому, вблизи начальной главной последовательности содержание гелия и у He-r, и у He-w звезд нормальное. На содержание гелия влияют следующие эффекты: 1) ветер, 2) рост аномалий со временем в начале жизни на НГП, 3) уменьшение содержания вследствие увеличения радиуса и уменьшения поля на поверхности.

(Ю.В. Глаголевский, Ф.Г. Копылова, Г.П. Топильская, Т.А. Карташева)

Обнаружено изменение параметра Z женевской фотометрии при эволюционном движении CP-звезд поперек главной последовательности. При этом полный магнитный поток остается постоянным, но изменяется поверхностное поле вследствие увеличения диаметра звезд. Параметр Z характеризует аномальность химсостава, поэтому мы можем сделать вывод о том, что химсостав со временем изменяется и зависит от величины магнитного поля.

(Глаголевский Ю.В.)

Начались работы по исследованию магнитных полей, круговой и линейной поляризации объектов типа Ae/Be Хербига. Для 2-х звезд найдена переменность линейной поляризации в континууме с характерным временем порядка 1-

ой недели, что может быть связано с вращением их околозвездной оболочки. Магнитное поле не было найдено, позже у некоторых из объектов другие исследователи нашли очень слабый сигнал (поле не превышает 100 Гс). Среди пост-звезд типа Ae/Be Хербига обнаружены CP-звезды с аномальными линиями гелия, что еще раз показывает, что химически пекулярные звезды проявляются на начальной главной последовательности.

(Ю.В. Глаголевский, И.И. Романюк, Г.А. Чунтонов, В.Г. Штоль, В.Г. Елькин)

Найдено, что среднеквадратическое значение магнитного поля CP-звезд уменьшается с возрастом обратно пропорционально радиусу в степени 2-2.5 (позднее на более полном материале было показано, что поле уменьшается обратно пропорционально кубу радиуса). Хорошо известно, что магнитное поле диполя изменяется по кубическому закону. Таким образом, получено свидетельство того, что магнитное поле CP-звезд изменяется вследствие эволюционного увеличения радиуса. Все значения магнитного поля были приведены к Исходной главной последовательности с использованием полученной зависимости. По этим данным построена зависимость поля от возраста. Оказалось, что уменьшение поля начинается не при возрасте 10^8 лет (как мы получали раньше), а при 10^{10} лет, указывая на исключительную стабильность атмосфер CP-звезд.

(Ю.В.Глаголевский)

На 6-м телескопе с водородным магнитометром и зеемановскими анализатором была предпринята попытка обнаружить магнитное поле у сверхгигантов. В некоторые моменты времени наблюдений регистрировалось поле порядка 1 кГс. Эта проблема представляет большой интерес, так как, по мнению теоретиков, в турбулентной атмосфере сверхгиганта могут генерироваться локальные магнитные поля. Полученные нами результаты, однако, ненадежны из-за сложности профилей линий, которые могут исказить результат.

(Ю.В.Глаголевский, И.И.Романюк, Г.Шольц, Е. Герг (Германия))

В 1991 г. Группа организовала очередную 3-ю конференцию "Магнитные звезды". В ее работе приняло участие около 40 человек из 8-ми стран мира. На конференции было представлено около 50-ти устных и постерных докладов. Материалы опубликованы в виде сборника докладов "Stellar magnetism" (на английском языке, ответственные редакторы Ю.В. Глаголевский и И.И. Романюк), Наука, Санкт-Петербург, 1992.

2.6. Период 1993-1997 гг.: начало наблюдений с ПЗС-матрицами, моделирование параметров магнитных звезд

В 1993 г. директором САО РАН был избран Ю.Ю. Балега. Работа лаборатории начала более активно поддерживаться администрацией обсерватории, появились гранты РФФИ и других фондов. В 1993 году в Лабораторию был переведен научный сотрудник Г.А. Чунтонов. В 1996 г. И.Д. Найденов перешел в другое подразделение САО. В 1997 г. в аспирантуру САО РАН был принят Д.О. Кудрявцев (рук. И.И. Романюк)

С 1993 г. И.И. Романюк, кроме работы по планам Лаборатории, исполняет обязанности ученого секретаря Комитета по тематике 6-м телескопа РАН (впоследствии преобразованного в Комитет по тематике больших телескопов

РАН).

В указанный период совершался постепенный переход от наблюдений магнитных полей с водородным магнитометром к наблюдениям с ПЗС-матрицами. Первые наблюдения с зеемановским анализатором на ПЗС были выполнены в 1994 г.

Основные работы, выполненные в этот период.

Исследованы зависимости разных параметров CP-звезд от магнитного поля. Оказалось, что существуют слабые корреляции между разными параметрами, но со значительным разбросом точек. Причина этого пока неясна, скорее всего, разброс возникает из-за сложностей количественного определения аномалий химсостава и неодинакового химсостава протозвездных облаков. Усиление химических аномалий зависит от магнитного поля, вероятно, вследствие подавления магнитным полем микротурбулентции и облегчения диффузии. (Глаголевский Ю.В.)

На водородном магнитометре была получена фазовая кривая переменной продольного поля звезды 21 Персея. Этот объект интересен тем, что он служил образцом немагнитной Ap-звезды с сильными неоднородностями в распределении элементов по поверхности. Наши детальные исследования показали, что магнитное поле величиной несколько сотен Гс у этой звезды существует, а продольная компонента поля меняется с периодом вращения звезды. Таким образом, мы показали, что при детальном изучении все Ap-звезды могут оказаться магнитными, поэтому нет необходимости в некоторых экзотических теориях образования пятен химического состава.

(Ю.В. Глаголевский, И.И. Романюк, В.Г. Елькин, В.Г. Штоль)

В 1994-1997 гг. получено более 50-ти зеемановских спектров на ОЗСП и ПЗС-матрице для уникальной звезды HD 37776 с сильным полем недипольной топологии. Изучено поведение профилей поляризации с фазой периода вращения звезды. Анализ тонкой структуры поляризованных профилей линий подтвердил наличие сверхсильного (величиной 70 кГс) магнитного поля на поверхности звезды. Работа выполнялась совместно с канадскими астрономами Дж. Ландстритом и Г. Вэйдом. Построена модель магнитного поля звезды на основании решения методом подбора параметров.

(И.И. Романюк и В.Г. Елькин)

В кооперации с другими обсерваториями выполнены детальные исследования магнитных полей трех звезд: HD 19678, HD 184927 и HD 200311. Было продемонстрировано, что система магнитных измерений CAO полностью совпадает с международной системой Ландстрита, не наблюдается никаких систематических различий между данными различных обсерваторий, что позволило обобщить все результаты измерений в единой системе. Для каждой из трех звезд построены модели магнитного поля.

(И.И. Романюк и В.Г. Елькин)

Глаголевский Ю.В., Герт Е и Шольц Г. (Германия) разработали новый метод моделирования магнитного поля CP-звезд на основе распределения магнитных "зарядов" внутри звезды. Эта методика дает возможность построить любую конфигурацию магнитного поля. Кроме фазовых зависимостей, методика дает распределение поля по поверхности. Первые попытки были сделаны в

предположении дипольно-квадрупольной конфигурации, в соответствии с требованиями магнитного динамо. Однако более поздние работы привели к выводу, что модель смещенного или центрального диполя в большинстве случаев дает лучшие результаты. Величины магнитного поля на поверхности, в том числе и на полюсе V_p , являются вычисленными величинами, не задаваемыми параметрами (как у некоторых других авторов). В настоящее время обсуждаются два способа моделирования: 1) как разложение по сферическим гармоникам и 2) как распределение магнитных зарядов (наш). Наблюдаемые распределения магнитного поля являются собственными значениями решения дифференциальных уравнений Лежандра. Мы считаем собственные значения как вычисленные величины магнитного поля, физическая величина которых является составной частью некоторого векторного поля, именно вихри и источники, из которых магнитное поле исходит.

Область применения программы вычисления поля намного шире, чем у обычно используемого метода сферических гармоник с ограничением поверхностью сферы. Коэффициенты сферических гармоник выводятся и являются вторичными величинами, физический смысл которых неясен. Наш метод не использует сферические гармоники. В нашем случае поверхностное магнитное поле получается линейным суммированием компонент векторов индивидуальных полей от виртуальных магнитных монополей, которые объединяются в магнитные диполи и мультиполи.

Анализ данных показывает, что магнитное поле либо генерировалось в фазе Хаяши, либо осталось от протозвездных облаков. Предложена гипотеза, что медленное вращение получилось вследствие магнитного торможения до Главной последовательности вследствие взаимодействия магнитного поля с окружающим газопылевым облаком. Однако зависимость периода вращения имеет обратный ход, а сильного магнитного поля у звезд Ae/Be Хербига не обнаруживается. Поэтому сделан предварительный вывод о том, что магнитные CP-звезды возникают из медленно вращающихся протозвездных облаков. Химические аномалии накапливаются, как известно, за 10^6 лет, поэтому возможно наблюдать это накопление у He-w He-g звезд вблизи Исходной Главной последовательности. Поставлена задача поиска магнитного поля у звезд Ae/Be Хербига. (Глаголевский Ю.В.)

Несколько молодых звезд типа пост-Ae/Be Хербига со слабыми оболочками исследованы на наличие у них магнитного поля. Среди них оказалось несколько He-w и He-g звезд, но ни одной более позднего типа. Сделан вывод, что они еще не дошли до главной последовательности. Попытка найти магнитное поле у медленно вращающихся звезд Ae/Be Хербига привела к отрицательному результату. Сильных полей, как у типичных CP-звезд, у них нет. Впоследствии другие авторы нашли поле у звезд такого типа, но оно, как правило, было менее 100 Гс. (Глаголевский Ю.В., Чунтонов Г.А.)

Глаголевский Ю.В., Зборил М. (Словакия), Норт П. (Швейцария) исследовали содержание химических элементов выборки звезд для анализа изменений с возрастом. Обнаружено увеличение гелия с возрастом, остальные элементы не показали никаких изменений.

Глаголевский Ю.В. изучил изменение параметра Z Женевской фотомет-

рии (зависящего от аномалии химсостава) в зависимости от относительного радиуса звезды (т.е. от возраста) и величины поверхностного поля. Оказалось, что Z и поле уменьшаются с возрастом вследствие эволюционного увеличения радиуса звезд.

В мае 1996 г. Лаборатория провела очередное четвертое международное совещание "Магнитные звезды". В работе конференции приняли участие 40 человек из 7-ми стран мира. Участниками представлено 45 устных и постерных докладов. Материалы опубликованы в сборнике "Stellar magnetic fields" (На английском языке, ответственные редакторы Ю.В. Глаголевский и И.И. Романюк), Москва, 1997.

2.7. Период 1998-2002 гг.: возобновление работы по поиску новых магнитных звезд, новые спектрографы, анализаторы и светоприемники, картирование звездных магнитных полей, каталог магнитных звезд

В составе Лаборатории произошли следующие изменения: после окончания аспирантуры на должность м.н.с. в 2002 г. был принят Д.О. Кудрявцев, в 2002 г. В.Г. Елькин уволился из САО РАН.

В 1999 г. В.Г. Елькин защитил кандидатскую диссертацию "Исследование магнитных полей некоторых типов звезд с химическими аномалиями" (рук. Ю.В. Глаголевский).

В 2002 г. Д.О. Кудрявцев защитил кандидатскую диссертацию "Поиск и исследование магнитных полей различной конфигурации у химически пекулярных звезд" (рук. И.И. Романюк).

В указанный период начались наблюдения с зеемановским анализатором на новом эшелле-спектрометре НЭС, разработанном и изготовленном под руководством В.Е. Панчука. На этом приборе получается наблюдательный материал с высоким спектральным разрешением, необходимым для выполнения Допплер-Зеемановского картирования. В первую очередь следует отметить многолетнюю продолжающуюся программу "Магнитное картирование СР-звезд" Н.Е. Пискунова, наблюдательный материал для которой получают сотрудники Лаборатории (группы) "Магнитные звезды". Одновременно продолжались наблюдения на Основном звездном спектрографе БТА. Г.А. Чунтоновым был изготовлен новый анализатор круговой поляризации с поворачивающимися четвертьволновыми пластинками и резателем изображения, дающий существенный выигрыш в точности измерений поля и проницаемости.

В 1999 г. водородный магнитометр был исключен из списка штатных приборов БТА в связи с изношенностью и отсутствием запасных частей.

Основная научная работа проводилась по следующим направлениям.

В результате наблюдений на ОЗСП с зеемановским анализатором в кооперации с Европейской Южной обсерваторией выполнены наблюдения ряда магнитных звезд (HD 12288, HD 14437 и др.) с узкими и резкими линиями в спектрах, у которых наблюдаются расщепленные зеемановские компоненты. Одновременное измерение поверхностного поля и его продольной компоненты позволяет построить единственную модель магнитных полей этих объектов. Оказалось, что углы между осью диполя и осью вращения этих медленно вра-

щающихся звезд малы.

(И.И. Романюк, В.Г. Елькин, Д.О. Кудрявцев)

Возобновлена программа по поиску новых магнитных звезд. По сравнению с 80-ми годами прошлого века к поиску применен новый подход (в связи с исчерпанием списка объектов с большими Z -параметрами женеvской фотометрической системы). Нами определены эффективные критерии, позволяющие находить магнитные звезды, так как на обычных спектрах проявления магнитного поля не видны. Наш подход заключается в предварительном отборе кандидатов в магнитные звезды на основании наблюдений на 1-м телескопе САО в области депрессии на 5200 А. Обнаружено, что звезды, имеющие характерные особенности на профиле депрессии, являются магнитными. Далее, объекты, аномалии в депрессиях которых превышают определенную величину, наблюдаются с зеeмановским анализатором на БГА. В указанный период обнаружено около 20-ти новых магнитных звезд.

(И.И. Романюк, В.Г. Елькин, Д.О. Кудрявцев)

Создан каталог магнитных CP-звезд, в котором собраны сведения о магнитных полях и других параметрах 212-ти таких объектов. Каталог непрерывно пополняется новыми сведениями и к настоящему моменту (2006 г.) насчитывает около 300 объектов. В нем приведены как результаты наших измерений магнитных полей каждой из звезд, так и данные из литературных источников. Было показано, что с помощью 6-м телескопа было обнаружено около 40 % всех новых магнитных звезд и получено более 30 % всех магнитных кривых. Каталог служит базой для проведения различных статистических исследований.

(И.И. Романюк)

На эшелле-спектрометре НЭС получен наблюдательный материал в области бальмеровского скачка. Спектры получены с зеeмановским анализатором таким образом, что на одном и том же изображении можно измерять величину магнитного поля на разных уровнях по высоте в атмосфере. Для звезды $\alpha^2\text{CVn}$ подтвержден прежний наш результат: магнитное поле увеличивается вглубь атмосферы с градиентом, превышающим дипольный.

(И.И. Романюк, Д.О. Кудрявцев)

Исследованы свойства слабо намагниченных CP-звезд с полем B_e порядка 100 Гс. Такие звезды совершенно не изучены до сих пор. Оказалось, что, несмотря на слабость поля, параметры, характеризующие химсостав, такие же, как у звезд с сильным полем. Этот результат показывает нарушение известной пропорциональности химических аномалий с магнитным полем и важен для теории диффузии.

(Глаголевский Ю.В., Чунтонов Г.А.)

Моделирование магнитных полей CP-звезд привело к интересному результату для βCrV . Фазовые зависимости хорошо определяются только при предположении наличия двух диполей внутри звезды. Если допустить, что поле реликтовое, то, вероятно, оно исказилось впоследствии, когда звезда находилась в фазе TТau. Судя по эволюционным трекам, эта фаза, возможно, имела место. В этой фазе звезда могла испытать действие динамо-механизма на части или по всей поверхности звезды.

(Ю.В.Глаголевский, Е.Герт (Германия))

После разработки нового метода "магнитных зарядов" моделирования магнитных полей звезд исследована звезда α^2 CVn, исходя из предположения дипольно-квадрупольной конфигурации. Найдено, что Fe, Cr, Ti концентрируются вдоль магнитного экватора. Сделан вывод, что конфигурация поля лучше описывается моделью смещенного диполя, она более правильно описывает распределение поля по поверхности. В дальнейшем мы не прибегали к дипольно-квадрупольным конфигурациям. С помощью разработанной методики построены модели магнитного поля ϵ UMa и HD147010. Определены химические элементы, концентрирующиеся вокруг магнитных полюсов и по магнитному экватору. Первая звезда имеет поле центрального диполя, вторая – смещенного диполя (на $a=0.45$ вдоль его оси). Столь значительное смещение составляет проблему, которая пока не решена. Ясно только, что конфигурация поля не простая. В ϵ UMa O, Mn, Ti концентрируются вдоль магнитного экватора, а Cr, Fe – на полюсах. (Ю.В.Глаголевский, Е.Герт (Германия))

Особенно сложная конфигурация у HD37776. Наблюдательные данные могут быть описаны тремя смещенными из центра диполями, но они создают дипольную составляющую с осью, направленной приблизительно параллельно оси вращения. Заряды в среднем смещены от центра на $a = 0.18$ радиуса звезды. (Ю.В.Глаголевский, Е.Герт (Германия))

Звезда HD126515 имеет сильную ангармоничность фазовых кривых. Центральный диполь приводит лишь к приблизительному результату моделирования. Сильно смещенный диполь приводит к лучшим результатам, однако смещение слишком велико: $a = 0.49$ радиуса в сторону отрицательного поля несколько выше плоскости экватора вращения. Расстояние между "монополями" $0.2 R$, т.е. поле магнитного стержня. (Ю.В.Глаголевский, Е.Герт (Германия))

Интересны результаты моделирования CUVir. Максимальная концентрация химических элементов вокруг магнитных полюсов. Поле смещено в сторону отрицательного полюса на $a = 0.3$ радиуса. Кремний концентрируется в основном вокруг сильного отрицательного полюса, гелий вокруг слабого положительного полюса. Возможно влияние разной силы ветра в сильном и слабом полюсах. (Ю.В.Глаголевский, Е.Герт, Г.Хильдебрандт и Г.Шольц (Германия))

Елькин В.Г. провел исследование звезд на поздних стадиях эволюции. На стадии сверхгигантов звезды испытывают полное перемешивание и магнитное поле должно исчезнуть. На асимптотической ветви гигантов они испытывают внутреннюю перестройку. Было решено поискать магнитные звезды, находящиеся на промежуточной стадии эволюции (на диаграмме Герцшпрунга-Рессела между главной последовательностью и белыми карликами). Выбраны звезды A и B горизонтальной ветви и субкарлики. Эти звезды, так же, как и CP, медленно вращаются и обладают химическими аномалиями. Из 8-ми изученных звезд 2 показали присутствие магнитного поля. Работу необходимо продолжить, так как непонятно, как магнитное поле возникло после катастрофических для него условий в сверхгигантах.

В сентябре 1999 г. Лаборатория провела 5-ю конференцию на тему "Магнитные звезды". В работе приняли участие 40 астрономов из 8-ми стран, представлено 55 докладов. Материалы конференции опубликованы в сборнике "Magnetic fields of chemically peculiar and related stars" (объемом 274 стр., на англ.)

лийском языке, отв. редакторы Ю.В. Глаголевский и И.И. Романюк), Москва, 2000.

2.8. Период от 2003 до настоящего времени (2006 г): новые магнитные звезды, скорости вращения, химсостав и другие параметры отдельных звезд

В 2003 году, в связи со структурными преобразованиями в САО, Лаборатория была преобразована в Группу в составе Лаборатории Физики звезд. Произошли следующие кадровые перестановки: на пенсию вышли Н.Ф. Войханская и Т.А. Карташева. Руководителем группы назначен И.И. Романюк, Ю.В. Глаголевский перешел на должность главного научного сотрудника. В 2004 г. в аспирантуру САО РАН зачислен Е.А. Семенко (рук. И.И. Романюк).

В 2004 г. И.И. Романюк защитил докторскую диссертацию "Магнитные поля химически пекулярных звезд главной последовательности".

В 2003 г. В.Г. Елькин, Д.О. Кудрявцев и И.И. Романюк получили премию им. И.М. Копылова за цикл работ по обнаружению новых магнитных звезд. Основные направления научной работы в этот период.

Продолжались поиски магнитных звезд. За последние 5 лет мы обнаружили около 80-ти новых магнитных звезд, это больше, чем было обнаружено за этот период во всех обсерваториях мира, вместе взятых. У некоторых объектов (HD 178892, HD 45583, HD 293764, HD 343872, HD 349321) продольный компонент поля превышает 4кГс, это означает, что поле на поверхности этих звезд больше 10 кГс. Звезды с самыми сильными полями изучаются наиболее подробно. Например, для звезды HD 178892 продольное поле B_e изменяется в пределах от +1.5 кГс до +7.5 кГс с периодом около 8 суток. Построена модель поля, на полюсах диполя оно превышает 25 кГс. Особое внимание уделено поиску новых магнитных звезд в скоплениях разного возраста. Работа выполняется в сотрудничестве с австрийским астрономом-фотометристом Е. Паунзенем. (Д.О. Кудрявцев, И.И. Романюк, В.Г. Елькин)

Впервые поставлена задача и проведены систематические исследования магнитных полей у СР-звезд, имеющих разные периоды вращения. Мы проанализировали 90 магнитных кривых (из них 20 нами построено впервые) с целью поиска связи между топологией поля и скоростью вращения. В частности, впервые получены земановские спектры уникальной СР-звезды HD 37776, анализ которых позволил прямо установить существование у нее поверхностного магнитного поля сложной структуры величиной более 70 кГс. Магнитные поля звезд с периодом вращения более 1 года слабее, чем у более быстрых ротаторов, а наибольшими полями обладают объекты с периодами вращения от 5 до 10 сут.

Найдено, что среди медленных ротаторов нет звезд с очень сильными полями: из 20-ти объектов, имеющих величину эффективного поля B_e в экстремуме более 3.3 кГс, нет ни одной с периодом вращения более 10 суток. Все СР-звезды с явно несинусоидальными магнитными кривыми являются быстрыми ротаторами. Впервые показано, что контраст между величиной поверхностного поля на магнитных полюсах и экваторе для быстрых ротаторов больше дипольного, а для медленных – меньше. Для двойных звезд такая зависимость

места не имеет. (И.И. Романюк)

Найдено, что фотометрический индекс Δa , связанный с глубиной депрессии континуума на 5200 Å, увеличивается с ростом периода вращения (в интервале температур 8000-11000 К), таким образом, степень аномальности континуума больше для медленных ротаторов. (И.И. Романюк)

Продолжается работа с каталогом магнитных CP-звезд, проводятся статистические исследования. Впервые получены указания на то, что некоторые пространственно близко расположенные звезды имеют сходные ориентации магнитных диполей в пространстве. Впервые найдено различие в знаках продольной компоненты поля магнитных звезд, расположенных в направлении локального спирального рукава Галактики. Обнаружено различие в распределении реверсивных (меняющих знак продольной компоненты поля) и нереверсивных магнитных звезд: 1) доля нереверсивных среди звезд-членов скоплений в два раза выше, чем среди звезд поля; 2) их распределение вдоль и поперек спирального рукава Галактики значительно различается.

(И.И. Романюк, Д.О. Кудрявцев)

По программе исследования звезд с гелиевыми аномалиями методом моделей атмосфер изучена звезда HD217833. Она имеет исключительно малое значение микротурбулентной скорости и экстремально малое содержание гелия. Стабильность атмосферы способствует диффузии химических элементов, приводящей к аномалиям химсостава.

(Ю.В.Глаголевский, В.В.Леушин, Г.А.Чунтонов)

По той же программе изучен химсостав звезд HD21699, 217833. Турбулентные скорости у них 0.80 и 0.75 км/с соответственно. Содержание гелия экстремально уменьшено в 32 и 63 раза. Отсутствие микродвижений в атмосферах способствует диффузии гелия внутрь звезды. Значительное поле $B_s = 4500$ Гс дополнительно стабилизирует атмосферу звезды. (Ю. В.Глаголевский, В.В. Леушин, Г.А.Чунтонов, Д.Шуляк).

По программе исследования слабо намагниченных звезд исследована HD10221 с полем $B_e < 100$ гаусс. Микротурбулентная скорость типично малая (1 км/с), скорость вращения – тоже, химсостав типично аномален, как у звезд с сильным магнитным полем. Налицо нарушение зависимости параметров и свойств от магнитного поля. Сделан предварительный вывод, что именно скорость вращения, а не магнитное поле, является определяющим фактором для сохранения поля и стабильности атмосферы для облегчения диффузии химических элементов, приводящей к аномалиям химсостава. Разная ширина спектральных линий указывает на то, что химические элементы концентрируются в соответствии с конфигурацией поля, несмотря на его слабость. Поле создает дополнительную стабильность атмосферы.

(Ю.В.Глаголевский, Т.А.Рябчикова, Г.А.Чунтонов)

Исследована структура магнитного поля медленно вращающихся CP-звезд ($P > 25d$) HD187474 и γ Equ. У первой из них угол между осью диполя и осью вращения 24° , у второй – 85.5° . Получены и другие параметры. Изучены также HD2453, 12288, 200311. Две первые звезды имеют центральный диполь, последняя – смещенный на 0.08 радиуса диполь. Медленно вращающиеся звезды имеют диполи с произвольной ориентацией. По своим конфигурациям поля

они ничем не отличаются от быстрых ротаторов. Проблема состоит в том, почему основная часть CP-звезд имеет диполи, смещенные вдоль оси, и почти нет случаев со смещением поперек. (Глаголевский Ю.В., Герт Е. (Германия))

Глаголевский Ю.В. проанализировал все полученные данные по проблеме потери момента вращения CP-звездами. Аргументы против торможения: 1) у звезд Ae/Be Хербига нет достаточно сильных магнитных полей, обнаружены поля менее 100 Гс, 2) зависимость период вращения – величина поля обратна ожидаемой, 3) звезды со слабым полем ($\langle B_e \rangle < 500$ Гс) имеют скорости вращения, типичные для сильно намагниченных звезд, 4) распределение углов β у всех звезд произвольно, независимо от величины поля, хотя ориентация диполя должна влиять на магнитное торможение. Количество медленных ротаторов превышает то, которое должно было получиться, исходя из максвелловского распределения по скоростям. Сделано предположение, что малый момент достался от протозвездных облаков. Единственный довод в пользу торможения – чем меньше масса звезды, тем сильнее CP-звезда заторможена по сравнению с нормальными. Массивные CP-звезды быстро эволюционируют и не успевают затормозиться, маломассивные успевают. Чем меньше $v \sin i$, тем больше доля CP-звезд, это указывает на то, что именно скорость вращения определяет: быть звезде магнитной CP-звездой или нет. Именно скорость вращения создает условия формирования магнитных медленно вращающихся звезд со стабильными атмосферами

Глаголевский Ю.В. и Чунтонов Г.А. сделали следующий вывод о пути эволюции магнитных звезд. Если поле реликтовое, то оно должно находиться внутри звезды на всех стадиях ее эволюции. Из сказанного выше видно, что магнитное поле и химические аномалии возникают в момент выхода звезды Ae/Be Хербига на исходную Главную последовательность. Благодаря малой скорости вращения и магнитному полю атмосфера CP-звезд стабильна и в ней происходят процессы диффузии, приводящие к химическим аномалиям. Чем меньше $v \sin i$ CP-звезд, тем больше их относительное количество среди нормальных, так, при $v \sin i = 0-10$ км/с доля CP-звезд составляет 30%. Эта зависимость противоположна той, которая должна быть в случае возникновения динамо. Непосредственные наши измерения поля у звезд Ae/Be Хербига показали отсутствие у них поля, характерного для типичных магнитных звезд. Более поздние измерения показали, что поле у некоторых из них присутствует, но оно, как правило, меньше 100 Гс. Магнитное поле не может генерироваться в ядре, так как в этом случае оно должно выходить наружу в разное время, в зависимости от глубины залегания ядра, а глубина зависит от массы звезды. Быстро вращающиеся звезды обладают дифференциальным вращением и меридиональной циркуляцией, которые закручивают поле и "прячут" его внутри. Такие звезды в дальнейшем оказываются нормальными.

В августе 2003 г. Группа организовала очередное 6-е совещание по теме "Магнитные звезды". В работе приняло участие 40 человек из 9-ти стран. Участники представили около 40 устных и постерных докладов. Материалы совещания опубликованы в сборнике "Magnetic stars" (объемом 294 стр. на английском языке, отв. редакторы Ю.В. Глаголевский, Д.О. Кудрявцев и И.И. Романюк), Нижний Архыз, 2004 г.

3. Некоторые перспективы развития

Нам представляется, что в ближайшее время следует ожидать существенного продвижения в области исследований магнетизма CP-звезд. Ожидаемый прорыв связан с внедрением новой техники: во-первых, начались магнитные наблюдения на 8-м телескопах ESO в Чили, существенно улучшилась инструментальная база и на 6-м телескопе CAO, что расширяет наши возможности.

На крупнейших телескопах мира, несомненно, будут проводиться массовые поиски магнитных CP-звезд в скоплениях и ассоциациях разного возраста. Особенно важно выявить там слабые холодные SrCrEu-звезды и сравнить их магнитную структуру со строением магнитного поля Галактики. При успешной реализации такого проекта будут построены магнитные модели звезд, расположенных на разных расстояниях и направлениях от Солнца, что позволит исследовать связи между полем локальной области Галактики и магнетизмом индивидуальных объектов. Будет создана прочная наблюдательная база для построения теории происхождения и эволюции магнитных полей CP-звезд.

Второе направление, в котором ожидается существенный прогресс – это исследование физики процессов, происходящих в атмосферах магнитных звезд, в частности, механизмов образования аномалий химического состава и их связь с конфигурацией магнитного поля.

Разработанные в последние годы методы Допплер-зеemanовского картирования (например, Н.Е. Пискуновым) позволяют построить карты распределения химсостава и магнитного поля без каких-либо предварительных допущений. Необходимо получить наблюдательный материал очень высокого качества для нескольких десятков звезд: I, Q, U, V-спектры с высоким разрешением и отношением С/Ш, с хорошим распределением по фазе периода для каждой звезды.

Такая программа начала реализовываться на 6-м телескопе CAO. Следует ожидать, что после ее завершения мы сможем понять важные детали физики процессов, происходящих в атмосферах звезд с магнитными полями, и особенности энерговыделения. По современным представлениям атмосферы магнитных CP-звезд очень стабильны и в них происходят процессы диффузии. Эффект очень слабый, но за миллионы лет может возникнуть наблюдаемая сепарация атомов (в виде пятен химического состава). Проверка работоспособности этого физического механизма – одна из важных целей той программы.

В более отдаленной перспективе, с развитием интерферометрических методов наблюдений в оптическом диапазоне, можно ожидать пространственного разрешения дисков магнитных CP-звезд и прямого наблюдения пятен химического состава и конфигурации магнитного поля. Но для этого нужны интерферометры с базой не менее 1 км.

4. Заключение

На этом мы заканчиваем обзор истории исследований звездного магнетизма в CAO РАН. В течение 40 лет сотрудники Группы и Лаборатории принимали участие в наблюдениях на БТА и других телескопах, проводили теорети-

ческие исследования, строили модели звезд. В разное время Ю.В. Глаголевский, И. И. Романюк, В.Д. Бычков, В.Г. Елькин, Г.А. Чунтонов, Д.О. Кудрявцев многократно руководили наблюдениями на БТА по программам как собственным, так и приезжих астрономов. Сотрудники Группы принимали и принимают активное участие в общественной жизни обсерватории, Ю.В. Глаголевский в течение 10 лет (1975-1985 гг.) был ученым секретарем САО, в течение многих лет является членом Ученого совета и спец. совета по защитах диссертаций. И.И. Романюк – с 1993 г. по настоящее время (более 13 лет) – ученый секретарь Комитета по большим телескопам РАН, много лет – член Ученого совета и спец. совета по защитах диссертаций. Ю.В. Глаголевский и И.И. Романюк также являются членами Международного Астрономического Союза (МАС).

Сотрудниками группы были защищены 2 докторские (Ю.В. Глаголевский – в 1989 г. и И.И. Романюк – в 2004 г.) и 6 кандидатских диссертаций (Г.А. Чунтонов – 1984 г., И.И. Романюк – 1986 г., И.Д. Найденев – 1987 г., В.Д. Бычков – 1992 г., В.Г. Елькин – 1999 г. и Д.О. Кудрявцев – 2002 г.). Это говорит о высоком уровне работ, проводимых нашими сотрудниками.

Мы занимаемся образовательной деятельностью, ежегодно в группе проходят практику и выполняют дипломные работы студенты разных университетов России и стран СНГ.

За 40 лет существования Группы ее сотрудниками опубликовано свыше 300 работ, больше 50-ти из них – в ведущих научных журналах мира. Мы выступали с докладами на десятках всесоюзных, всероссийских и международных совещаний, 6 конференций с участием ведущих специалистов мира мы организовали сами в нашей обсерватории, что демонстрирует признание наших результатов широкой астрономической общественностью.

Таким образом, наши исследования на 6-м телескопе занимают достойное место в актуальном направлении современной астрофизики "Исследование звездных магнитных полей".

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД В САО

С. Н. Фабрика

Двойные звезды играют в астрофизике принципиально важную роль. Это связано с тем, что звезды двойной системы родились вместе, поэтому у них одинаковы возраст, начальный химический состав и согласованные удельные моменты вращения. Дальше звезды будут эволюционировать каждая по своему закону, зависящему от массы, но одинаковость начальных условий позволит с большой точностью моделировать совместную эволюцию звезд. Сравнивая модели с результатами наблюдений, можно изучать довольно сложные эффекты (например, внутренние конвективные области звезд), новые физические механизмы, глубже понимать физику звезд. Тесные двойные системы (ТДС), т.е. звезды, периоды обращения которых не более нескольких десятков дней, выделяются тем, что в них возможно перетекание вещества от одной звезды на другую. Это означает, что эволюция одного компонента влияет на эволюцию второго. Кроме того, со временем меняются параметры орбиты из-за приливных эффектов. Из-за перетекания вещества в ТДС возможно появление удивительных объектов, например, образование маломассивных гелиевых белых карликов, которые в случае одиночных звезд не успевают сформироваться даже за время существования Вселенной (14 млрд. лет) или образование "голых" гелиевых или даже углеродных ядер массивных звезд. Наоборот, "широкие пары", орбитальные периоды которых составляют годы и более, интересны тем, что параметры орбиты не меняются за время эволюции звезд, а сами звезды никак не влияют друг на друга. Изучая орбиты таких звезд, например, методами спекл-интерферометрии, и сами звезды методами спектроскопии, мы можем исследовать эволюцию звезд в "чистом виде".

Начиная с 70-х годов прошлого столетия, рентгеновские орбитальные обсерватории открыли в физике новую страницу. Стали доступными для наблюдений замечательные объекты – вырожденные звезды (белые карлики) и релятивистские звезды (нейтронные звезды и черные дыры). Все эти объекты наиболее ярко проявляют себя в ТДС, в которых из-за аккреции вещества второго компонента ("донора") на релятивистскую звезду появляется очень яркий рентгеновский источник. Примерно с этого же времени начинается история исследования двойных звезд в САО, которую я намерен кратко описать в этой статье. По истечении более 30-ти лет с начала этой истории я могу уверенно сказать, что первые оптические спектральные исследования в САО рентгеновских ТДС с черными дырами и нейтронными звездами внесли заметный вклад в астрофизику. Этой работой руководил один из самых ярких астрофизиков прошлого века, первый директор САО И.М.Копылов. В его статьях до 70-х годов были заложены основы физики и эволюции одиночных звезд. Полагаю, И.М.Копылов сразу понял перспективы нового направления исследования рентгеновских ТДС. Должность директора позволяла ему выделять достаточно много наблюдательного времени под эту самую интересную тему в астрофизике

конца прошлого века. Переходя к описанию "истории", я должен оговориться (точнее, произнести обычное заклинание), что это описание весьма субъективно, как, впрочем, и все подобные статьи.

Исследования в САО прямо связаны с исследованиями в СССР (конечно же, в России), а сами исследования, как это всегда происходит в науке, полностью определяются лидерами. Наша история начинается с того, что в конце 1960-х годов Л.И.Снежко первым в мире ввел понятие "перемены ролей" в тесных двойных системах. В начале 70-х Л.И.Снежко в совместной монографии со М.А.Свечниковым (Уральский университет) опубликовали свою классификацию ТДС и обсудили сценарии их эволюции, основанные на идее перемены ролей. Эволюция более массивной звезды протекает быстрее, поэтому, когда эта звезда достигает критической стадии эволюции и расширяется, ее внешнее вещество перетекает на менее массивный компонент. Соответственно, он становится более массивным, и его эволюция ускоряется. Бывший более массивный компонент превращается со временем в релятивистскую звезду, далее уже вещество второго компонента будет перетекать на эту релятивистскую звезду. Такая перемена ролей плюс законы эволюции одиночной звезды составляют основу физики звезд и ТДС.

К сожалению, Л.И.Снежко не продолжил исследования двойных звезд, со временем он полностью посвятил себя исследованию 6-метрового зеркала и курированию телескопа БТА. Однако факт присутствия рядом ученого (на семинарах, в каждодневном общении), который написал классическую статью и заложил тем самым основы науки, которой мы занимаемся, играет огромную роль. Заметим, что Л.И.Снежко первым в СССР построил компьютерную модель звездной атмосферы. Естественно, его опыт заметно сказался на развитии в САО звездной тематики, модели атмосфер звезд – это один из основных инструментов астрофизиков.

Наша история начинается еще и с того, что в САО работал В.Ф.Шварцман. Явление Шварцмана вообще трудно понять, во всяком случае, мне это не по силам. Всего за несколько лет он написал ряд работ, которые стали классическими. Если не говорить о физиках, то в прошлом столетии ни один астрофизик в мире не имел столько ярких результатов за 3-4 года.

В.Ф.Шварцман предсказал рентгеновские пульсары, описал почти все хорошо известные сейчас эффекты в ТДС с релятивистским компонентом (например, эффект пропеллера), оценил количество типов нейтрино во Вселенной. В.Шварцман приехал работать в САО в самом расцвете своих творческих сил. У него была идея, как найти одиночные черные дыры, которые возникли из одиночных звезд или из ТДС, распавшихся при взрывах сверхновых звезд. Он считал, что найти их можно с помощью БТА, наблюдая быстрые изменения блеска в объектах-кандидатах. В САО появился эксперимент "MANIA", предназначенный для исследования очень быстрых вариаций яркости звезд. С годами становилось все яснее, что эксперимент терпит неудачу. Похоже, что эта идея была не самая лучшая из идей Шварцмана, и он сам стал терять интерес к этим наблюдениям. Инженерные решения эксперимента "МАНИЯ" совершенствовались, методы анализа измерений микро- и даже наносекундных вариаций блеска небесных объектов улучшались. Но вряд ли это могло удовлетворить

В.Шварцмана, начальные ставки были куда выше! Для начала 70-х годов эта его идея была очень плодотворна, хотя она техническая, т.е. появилась из-за отсутствия лучших возможностей. Черные дыры надо изучать в рентгеновском диапазоне, это всем было ясно и тогда, но орбитальных рентгеновских обсерваторий тогда не было, зато был большой оптический телескоп. Хитроумная идея давала надежду открыть черные дыры на БТА. Это было бы чудесное открытие, но оно не состоялось. Зато в САО работал В.Шварцман, и для САО это много значило. Я считаю, что в то время он был научной совестью САО. Он обладал блестящим и критическим умом. Семинары с его участием проходили на высоком уровне.

С середины 70-х годов на БТА начались наблюдения в рамках эксперимента "МАНИЯ". Эти наблюдения продолжаются и сейчас. Анализировались статистические закономерности потока фотонов, при этом даже у очень слабых объектов можно было зарегистрировать переменность блеска по отличию распределений времен прихода фотонов от пуассоновского. Изучались самые разные типы объектов, в том числе и рентгеновские двойные системы. Наиболее перспективными для исследования были так называемые "маломассивные" рентгеновские двойные, т.е. те, у которых нормальная звезда (донор) имеет массу не более нескольких солнечных. В таких системах аккреционный диск вокруг релятивистской звезды светит ярче, чем второй компонент.

Г.М.Бескину с коллегами удалось обнаружить короткие вспышки в некоторых таких системах длительностью от миллисекунд до долей секунды, в частности, в рентгеновских новых (системы с черными дырами) GRO J0422+32 и A0620-00. Были также изучены вспышки в некоторых рентгеновских барстерах (системы с нейтронными звездами). Изучались и "массивные" рентгеновские двойные: Лебедь X-1 и SS433. Как уже говорилось, в своем основном предназначении – поиске одиночных черных дыр – этот эксперимент не дал положительных результатов.

Следует отметить очень интересную теоретическую работу 1974 г. Л.А.Пустильника и В.Ф.Шварцмана о структуре аккреционных дисков с сильными магнитными полями, в которых магнитное поле может контролировать аккрецию, а эффект перезамыкания магнитных трубок может дать заметный вклад в наблюдаемое излучение.

В САО проводились исследования ТДС, не содержащих релятивистских звезд, но из числа наиболее интересных, один из компонентов которых находится на критической стадии эволюции. Например, система CQ Цефея и несколько подобных звезд достаточно долго изучались Т.А.Карташевой (в соавторстве со М.А.Свечниковым и Л.И.Снежко). Тесная двойная CQ Цефея состоит из массивных звезд класса WN и O. Согласно теории эволюции и перемен ролей, звезда WN должна быть менее массивной (ранее она была более массивной), причем обычная масса WN-звезд Галактики 10-15 масс Солнца. В работах Т.А.Карташевой с соавторами это было подтверждено, были измерены массы звезд, и система CQ Цефея перестала быть необычной.

Огромную роль в научной жизни САО играл С.В.Рублев (до его преждевременной кончины в 1974 г.), заместитель директора и заведующий отделом Физики звезд и туманностей (ОФЗТ). С.В.Рублев глубоко разбирался в физике

WR-звезд, удивительных объектов. Однако он исследовал ветра WR-звезд как одиночных объектов. В ТДС мощные ветра таких звезд сталкиваются, формируя сильные ударные волны (вероятно, причудливой и переменной формы) и рентгеновское излучение. Переменность ветров резко сказывается на картине ударных волн и изменяет геометрию истечения газа из системы, что в свою очередь меняет ветровую активность звезд и даже приводит к изменению орбитального периода. Это очень сложные звезды, в них нелегко разобраться, т. к. истекают сразу оба компонента системы (аналогичная ситуация в SS433, о котором ниже).

Не так сложны для исследователя массивные ТДС, в которых звезда-донор проэволюционировала, теряет вещество и заполняет свой критический объем Роша, а вторая звезда-аккретор просто принимает это вещество. Например, классическая двойная β Лиры, ее активно изучали в САО в 80-е гг. по инициативе М.Ю.Скульского. Однако еще в конце 60-х годов В.В.Леушин и Л.И.Снежко начали исследования химического состава звездных атмосфер в системе β Лиры. Они получали спектры β Лиры на телескопе ЗТШ (Крымская астрофизическая обсерватория), в то время телескопа БТА еще не было. Позднее они детально анализировали химический состав вещества донора у β Лиры, Г.Н.Алексеев измерял быструю переменность потока вещества в системе этой звезды, используя новую технику (диссекторный детектор). Анализ химического состава и химической эволюции нескольких звезд из числа сильно проэволюционировавших ТДС проводился В.В.Леушиным и Л.И.Снежко.

ТДС с наиболее массивными звездами (больше 30-40 солнечных масс) несут много загадок. Если на главной последовательности (ядерная шкала времени таких массивных звезд составляет всего несколько миллионов лет) это система из двух О-звезд, то на стадии эволюции исчерпания водорода (тепловая шкала времени около 0.1 миллиона лет) при переходе массивной звезды в тип WN начинаются превращения. В САО довольно активно исследовались звезды LBV (Luminous Blue Variables) в нашей Галактике Е.Л.Ченцовым с коллегами, а также О.Н.Шолуховой и автором в ближайших галактиках. Звезды LBV меняют свой блеск в несколько раз или даже в несколько десятков раз, при этом их болометрические светимости постоянны, т. к. энерговыделение определяется ядром. Соответственно $R^2T^4 = \text{const}$ меняются их размеры и температуры. Несколько лет назад был выделен новый класс массивных звезд "V[e]-сверхгиганты", не более понятные звезды, чем LBV. V[e]-sg не меняют свой блеск так катастрофически, как LBV, но по спектру и светимости они полностью напоминают LBV, когда последние находятся в фазе "слабого" блеска (т. е. когда LBV сжимаются и разогреваются настолько, что становятся почти WN-звездами).

Всегда задают вопрос: LBV-звезды двойные или нет? Ответ простой: LBV не могут быть тесными двойными, в ТДС размер звезд ограничен размерами полости Роша (размером орбиты), поэтому в ТДС звезде LBV некуда расширяться. LBV либо одиночные, либо состоят в широких парах, как знаменитая η Карины. Напротив, предсказывается, что все звезды V[e]-sg должны состоять в ТДС, размер сверхгиганта в ТДС всегда равен размеру полости Роша. О.Н.Шолухова и С.Н.Фабрика обнаружили несколько звезд типа V[e]-sg в га-

лактике М33, изучены пока только две (В416 и Н α 19) и обе оказались ТДС. Таких массивных звезд типа LBV или V[e]-sg очень мало, всего несколько штук на галактику. Поэтому все такие звезды нужно исследовать, тем более в нашей Галактике. Е.А.Барсукова и Л.И.Снежко в конце 80-х гг. изучали замечательную ТДС в нашей Галактике – RY Щита, сейчас эту звезду относят к классу V[e]-sg. Другой пример V[e]-sg (в паре с релятивистской звездой) в Галактике – С1 Жирафа, ее детально изучают Е.А.Барсукова и В.П.Горанский. В 2004 г. они открыли ее как ТДС, и им удалось измерить ее орбитальный период (подробнее будет ниже).

Следующая страница исследований двойных звезд в САО – "звезды-бегуны". Эти же объекты активно изучались в ГАИШе, возможно, на худшей аппаратуре, чем в САО. Но дело оказалось в другом: исследования "бегунов" – жертва теории. Теория эволюции звезд уверенно предсказывает, что каждая четвертая из массивных звезд на небе (а может, и половина) должна быть двойной, в паре с релятивистской звездой, в то время как рентгеновских источников с массивными звездами не несколько тысяч, а всего несколько десятков. Значит, есть причина, почему далеко не все нейтронные звезды и черные дыры видны в рентгеновском диапазоне (есть много причин, но не будем на этом останавливаться). Распознать такие массивные звезды с релятивистским компонентом можно по их быстрому движению в пространстве, т. к. при образовании релятивистской звезды (взрыв сверхновой) ТДС приобретает нескомпенсированный импульс. Далее, при детальной спектроскопии "звезд-бегунов" можно измерять их орбитальные периоды, т. е. открывать новые релятивистские звезды. Наиболее активно в САО изучали "бегуны" Ф.А.Мусаев, Е.Л.Ченцов, Л.И.Снежко и В.В.Соколов. Время от времени как в САО, так и в ГАИШе находили периодические смещения лучевых скоростей у этих звезд, но, тем не менее, релятивистские звезды среди них пока не открыты. С наблюдательной точки зрения это очень тяжелая задача, т. к. небольшие квазипериодические изменения скоростей всегда присутствуют в атмосферах массивных звезд. Кроме того, при более детальном теоретическом рассмотрении стало понятно, что нельзя делать уверенные предсказания. Тем не менее, это были очень интересные исследования, и "дело бегунов" пока не закрыто.

Двойные звезды в широких парах изучаются в САО с середины 80-х годов по настоящее время (Ю.Ю.Балега с коллегами) методами спекл-интерферометрии. Как говорилось выше, в широких парах, орбитальные периоды которых больше года, параметры орбиты не меняются за время в несколько млрд. лет. Как правило, это маломассивные звезды, время их эволюции также велико. Звезды эволюционируют как одиночные, но дополнительную информацию об образовании этих звезд можно получить из параметров орбиты. В таких же системах методами спекл-интерферометрии сейчас открываются замечательные объекты – коричневые белые карлики – среднее между звездой и планетой состояние вещества. Другая интересная тема, которой занимается группа Ю.Ю.Балеги совместно с немецкими коллегами, – исследование массивных систем, состоящих из 3-х и более звезд (например в Трапедии Ориона). Такие системы динамически неустойчивы, детальное измерение их орбит позволит глубже понять механизмы образования звезд в современную эпоху. Этой

группой исследователей выпущено несколько каталогов спекл-интерферометрических наблюдений звезд. Они наблюдали уже несколько сотен звезд, у нескольких десятков впервые измерили орбиты.

Дальше я также кратко опишу исследования ТДС с вырожденными звездами, т. е. с белыми карликами (катаклизмические переменные, новые, повторные новые, новоподобные, полярны и промежуточные полярны), с нейтронными звездами (рентгеновские пульсары, Ве-транзиенты) и с черными дырами (Лебедь-X-1, SS433, микроквazarы и объекты ULXs в других галактиках). Как уже говорилось, наши исследования всех этих объектов начались одновременно с исследованиями во всем мире. Эра рентгеновской астрономии начинается в полета спутника UHURU (1972 г.), ее начало примерно совпало с началом работ в CAO. Красивейшие объекты полярны – белые карлики со сверхсильными магнитными полями – были открыты Santiago Tapia в США в 1976 г. Интересно, что Tapia открыл поляр AM Геркулеса на приборе MINIPOL, который потом был передан CAO для наблюдений.

Исследования катаклизмических переменных (CV) в CAO начинаются с работ Н.Ф.Войханской (начало 1970-х, спектрофотометрия SS Лебеда). Далее она продолжила спектральные и поляризационные наблюдения почти всех типов CV, включая полярны и предкатаклизмические переменные. Конечно, и тогда была понятна природа этих ТДС – белые карлики в паре со звездой солнечной массы, но в те ранние годы почти ничего не было известно о механизмах, работающих в аккреционных дисках (например, о тепловых неустойчивостях в них), о магнитных полях и их огромной роли в CV (магнитный момент белых карликов на много порядков больше момента нейтронных звезд), об облучении поверхности донора и спусковых механизмах истечения конвективных звезд. По этой причине первые работы носили описательный характер (переменность блеска и эмиссионных линий и т. д.). С середины 80-х к этим исследованиям подключились И.М.Копылов, Т.А.Сомова, Н.Н.Сомов, Н.В.Борисов, С.Н.Фабрика. Спектральными и спектрополяриметрическими методами исследовались отдельные объекты, в основном полярны. (Интересно, что один из кандидатов в полярны, который раньше изучался астрофизиками фотометрически, оказался квазаром. Это квазар Ю Андромеды, он показывал быструю переменность блеска, и точнее его можно назвать блазаром.) Исследования CV были продолжены И.М.Копыловым, Н.Н.Сомовым, Т.А.Сомовой в соавторстве с В.А.Липовецким и Дж.А.Степаняном, они изучали новые объекты из двух Бюраканских списков (SBS, FBS). С помощью телевизионного сканера БТА было открыто несколько CV-систем.

Аспирант В.В.Неустроев освоил метод доплеровской томографии, и в 1998-2002 гг. он совместно с Н.В.Борисовым исследовал несколько CV, они обнаружили свидетельства спиральных ударных волн в их аккреционных дисках (IP Пегаса, U Близнецов). Далее Н.В.Борисов продолжил спектральные наблюдения CV на БТА по заявкам казанских астрономов (Н.А.Сахибуллин, В.В.Шиманский, В.Ф.Сулейманов).

Начиная с 2000 г., новые и карликовые новые звезды исследуются Е.А.Барсуковой и В.П.Горанским. Они применяют довольно эффективный способ: проводят длинные фотометрические мониторинги отдельных CV-звезд и

после получают спектры этих звезд. В результате удалось измерить орбитальные периоды некоторых CV. Ими также был изучен новый класс эруптивных звезд – красные пекулярные новые (прототип V838 Единорога). Во-первых, они открыли, что эти новые совсем не CV, во-вторых, выяснилось, что это двойные массивные звезды, один из компонентов которых во время своей медленной "вспышки" выбрасывает огромное количество газа, пыли и льда в окружающее пространство. Под руководством И.М.Копылова в 1981-1984 гг. О.Э.Ааб и Л.В.Бычковой было выполнено несколько спектральных исследований массивных ТДС с нейтронными звездами и черными дырами. Большую методическую поддержку им оказывал Е.Л.Ченцов. Выше я уже дал очень высокую оценку этим работам. В то время новые рентгеновские аппараты открывали новые объекты. От обилия этих рентгеновских ТДС и их разнообразия в наших головах тогда не возникало стройной картины, скорее, наоборот. Никуда не вписывался и запутывал ситуацию уникальный объект SS433. Но, благодаря И.М.Копылову, тогда на БТА проводилось очень много спектральных наблюдений рентгеновских ТДС, что полностью себя оправдало. К сожалению, совместная работа этой группы длилась недолго. В те времена не во всех коллективах САО была атмосфера понимания, эта группа была одним из подобных примеров. Тем не менее, они определили массу черной дыры в каноническом объекте Лебедь X-1.

Есть черные дыры или нет черных дыр в природе, если говорить абсолютно надежно, науке не известно. Ответ должна дать астрофизика, по-другому невозможно. Наша специфика заключается в том, что, наблюдая Вселенную, релятивистские звезды, мы имеем дело с самой передовой физикой в ее проявлениях. Однако, планируя наблюдения и интерпретируя их результаты, мы используем хорошо известные, простые "бухгалтерские" физические методы и идеи. Совмещать в себе современного физика-теоретика и астрофизика невозможно, во всяком случае, я пока таких людей не встречал. Поэтому, если какой-то астрофизик рассуждает о существовании черных дыр, то он по определению опускается до популистских высказываний, что не конструктивно. Ответ на этот вопрос такой. Сейчас в астрофизике найдено несколько десятков косвенных признаков того, что в некоторых рентгеновских ТДС и в активных ядрах галактик действительно находятся черные дыры. Некоторые из этих доказательств, например, массы, рентгеновские спектры, являются крайне серьезными, но, тем не менее, все они косвенные. Поэтому мы, астрофизики, пишем уже без прежних оговорок – "черные дыры", имея в виду именно черные дыры, а также все вышесказанное.

Так вот, в работах О.Э.Ааб, Л.В.Бычковой и И.М.Копылова была впервые надежно определена масса релятивистской звезды в системе Лебедь X-1 – около 15-ти масс Солнца, т. е. это черная дыра. Кроме этого, они изучали канонический рентгеновский Ве-транзиент A0535+26 с нейтронной звездой и измерили орбитальный период этой ТДС. Этой группой был также изучен другой Ве-транзиент 4U0115+63 и еще несколько хорошо известных сейчас рентгеновских ТДС (2A1052+606, LSI+61DEG30, 2S0114+650).

В Ве-транзиентах рентгеновский пульсар вращается по эксцентрической орбите вокруг массивной звезды класса Ве. В моменты прохождения периастра

нейтронная звезда захватывает газ из растекающегося газового диска Ве-звезды. Формируется временный аккреционный диск вокруг нейтронной звезды и происходит рентгеновская вспышка. Вероятно, в таких системах орбитальная ось наклонена к оси вращения Ве-звезды. Из-за этого возникает приливной момент сил и Ве-звезда начинает прецессировать, соответственно, прецессирует ее экваториальный газовый диск. Поэтому иногда рентгеновские вспышки, "намеченные на периастр", не происходят. Эта наивная картина сейчас является общепринятой. Тем не менее, в происхождении Ве-звезд и, соответственно, Ве-транзиентов остается много непонятного. Непонятно, почему у этих объектов повышенный удельный угловой момент. Это может быть связано с какой-то особенностью (если не с катаклизмом) во время рождения Ве-звезд. Наблюдения Ве-транзиентов были продолжены (С.Н.Фабрика, О.Э.Ааб) в конце 80-х годов. Изучался тот же известный объект 4U0115+63, на этот раз в одновременных наблюдениях БТА+ROSAT. Орбитальная обсерватория ROSAT и мы на БТА дважды наблюдали этот объект в рассчитанные моменты прохождений периастра. 4U0115+63 так и не вспыхнул; зато была придумана модель Ве-транзиента, описанная выше. Исследования рентгеновских транзиентов были продолжены позднее в лаборатории Физики звезд.

Е.А.Барсукова и В.П.Горанский изучали Ве-транзиент ВQ Жирафа. Однако с конца 90-х годов начались исследования еще более интересных объектов – быстрых рентгеновских новых СI Жирафа и V4641 Стрельца. Таких объектов известно около десятка, как правило, это маломассивные ТДС с черной дырой. Одно возможное исключение – это наиболее изученная нами система СI Жирафа, в которой донор является не маломассивной звездой, а В[e]-сверхгигантом или гигантом. Резкая рентгеновская вспышка СI Жирафа произошла 1 апреля 1998 г. Через 1-2 дня на БТА была проведена спектроскопия этой ТДС, Е.А.Барсукова и С.Н.Фабрика описали поведение этой двойной системы во время и после вспышки. Оказалось, что во время взрыва был выброшен газ со скоростью более тысячи км/с (позднее этот газ наблюдался методами VLBI), который разрушил внешние части аккреционного диска. Источник вспышки стал очень ярким в оптическом диапазоне даже на фоне яркого В[e]-сверхгиганта. Было предположено, что рентгеновское излучение (которое только и должно выделяться в аккреционном диске) было термализовано в мощном ветре из диска. Это означает, что СI Жирафа претерпел эпизод сверхкритической аккреции. Так появился термин "сверхкритические транзиенты". Е.А.Барсукова и В.П.Горанский продолжили наблюдения этого объекта. В 2004 г. им удалось измерить орбитальное движение компактного компонента и орбитальный период. Эксцентриситет орбиты оказался очень большим (0.62). По типу вспышки система СI Жирафа – быстрый транзиент или рентгеновская новая (значит, черная дыра?), по типу орбиты и донора – это Ве-транзиент (значит, нейтронная звезда?). Вопрос о природе релятивистского объекта остался открытым, несмотря на успех в измерении орбиты.

Е.А.Барсукова и В.П.Горанский исследовали быстрый транзиент V4641 Стрельца (самая "красивая" система с черной дырой). Эта ТДС была открыта в России В.П.Горанским. В начале 90-х он попросил меня снять спектр этой звезды, ее кривая блеска очень напоминала поведение блеска SS433. Спектр уда-

лось снять только в 1996 г., и он оказался совершенно неинтересным, обычная А-звезда (кто тогда знал о сверхкритических транзиентах?). В сентябре 1999 г. рентгеновская вспышка V4641 Стрельца сделала этот объект знаменитым за один день. Западные астрофизики определили массу компактной звезды – черная дыра около 9 масс Солнца! М.Г.Ревнивцев (ИКИ) с коллегами предположили, что в V4641 Стрельца произошел эпизод сверхкритической аккреции. Е.А.Барсукова и В.П.Горанский в 2002 г. обнаружили аккреционный диск вокруг черной дыры (довольно оригинально, они наблюдали донор на просвет через диск) и подтвердили независимым способом, что в системе находится черная дыра.

Исследования SS433 проводились в САО очень активно с 1980 г. Этим занимались И.М.Копылов, Р.Н.Кумайгородская, Т.А.Сомова, Н.Н.Сомов, а с 1981 г. к ним примкнул автор данной статьи. До 1985 г. (позднее руководить этой темой стал С.Н.Фабрика) на БТА выделялось много наблюдательного времени для спектроскопии SS433. SS433 – единственный известный в астрофизике супераккретор, это двойная система, состоящая из массивного донора и черной дыры (около 10 масс Солнца). Донор переполняет критическую полость Роша, темп аккреции газа на черную дыру превышает критический в несколько тысяч раз. Поэтому в SS433 существует постоянно действующий сверхкритический аккреционный диск, и этот диск выбрасывает ветер и релятивистские струи. В отличие от других микроквazarов (см. ниже), струи в SS433 "тяжелые", они состоят из обычной астрофизической плазмы. При скорости струй, составляющей четверть скорости света, и темпе потери массы в струях, близком к эддингтоновскому, раствор струй составляет всего 1 градус.

До 1986 г. в SS433 было непонятно буквально все. Позднее, когда стало ясно, что там существует сверхкритический аккреционный диск, и он выглядит именно так, как его описали в классической статье в 1973 г. Н.И.Шакура и Р.А.Сюняев, все непонятное в SS433 волшебным образом становилось на свои места. Сейчас мы очень хорошо понимаем природу SS433. Однако у меня есть подозрение, точнее, уверенность, что "эра SS433" только начинается и самое интересное – структуру канала в диске, формирование ветра под радиусом сферизации аккреции, структуру внутренних конвекционно-адвекционных частей диска, механизм ускорения и коллимации струй в канале – еще только предстоит исследовать. Хорошей иллюстрацией этому стало предсказание ультраярких рентгеновских источников (ULXs) в других галактиках. Оно естественно следовало из адекватной геометрической модели канала в диске SS433, полученной из наблюдений на БТА. Последние наблюдения ULXs на крупнейших телескопах мира полностью подтверждают эту аналогию. На очереди предсказание наблюдательных проявлений сверхкритических квазаров. Кроме того, благодаря SS433, стало ясно, как распространяются струи в радиогалактиках, и не только это. Роль SS433 в астрофизике огромна, поэтому на исследование этой ТДС не жалко наблюдательного времени и сил. Я думаю, что в 1980 г. И.М.Копылов это хорошо понимал. Впрочем, примерно такие слова о важности этого объекта для физики говорились в те времена на семинарах московских институтов (семинары Я.Б.Зельдовича, И.С.Шкловского, В.Л.Гинзбурга).

В первые годы исследования SS433 И.М.Копыловым с соавторами были детально описаны профили "движущихся" линий, т. е. линий водорода, сформированных в прецессирующих струях. Изучался период прецессии. Были открыты локальные изменения периода прецессии диска и струй, как и в системе CQ Цефея, описанной выше, связанные с переменным потоком массы, теряемой системой. Они оказались настолько сильными, что поначалу были приняты за систематические изменения, а из этого следовало, что система SS433 через 20 лет должна претерпеть катастрофу. И.М.Копылов детально изучил переменность линий с орбитальным периодом. Ему с коллегами (часто привлекалось довольно много сотрудников, в частности, я помню, как на 60-см телескопе Г.Н.Алексеев проводил фотометрические наблюдения, параллельные спектральным наблюдениям на БТА) удалось детально изучить вспышку SS433, длящуюся почти неделю. Это ценнейшее наблюдение, существенно позднее на его основе была создана модель вспышек SS433. Опыт оказался очень удачным, поэтому, наблюдая SS433 на БТА сейчас, мы всегда проводим параллельные фотометрические наблюдения в CAO (В.П.Горанский) и в Крыму (Т.А.Ирсамбетова).

Позднее в нашей "группе SS433" работало (или работает сейчас) много сотрудников: Н.В.Борисов, Л.В.Бычкова, А.А.Панферов, Е.А.Барсукова, О.Н.Шолухова, П.К.Аболмасов; мы проводим совместные исследования на БТА и орбитальных телескопах с астрофизиками из других институтов (А.М.Черепашук, В.П.Горанский, Т.А.Ирсамбетова, К.А.Постнов из ГАИШа, М.Г.Ревнивцев и Р.А.Сюняев из ИКИ); с астрофизиками из Японии, США, Великобритании, Голландии. Поэтому для краткости я просто перечислю ниже основные результаты работы этого прекрасного коллектива (не говоря о десятках студентов, которые получили боевое крещение, исследуя SS433) без деталей и не называя фамилий.

Исследованы оптические струи SS433 и определены их параметры (геометрический раствор, температура, плотность, оптическая толщина газовых облаков и полный расход массы, т. е. кинетическая светимость струй). В недавней рентгеновской спектроскопии SS433 на обсерватории CHANDRA был измерен раствор рентгеновских струй, он совпал с раствором оптических струй, следовательно, струи в SS433 полностью баллистические. Найдена болометрическая светимость диска и обнаружена сильная линейная поляризация (БТА+HST), которая возникает в областях выхода струй из канала в диске и в ветре. Болометрическая и кинетическая светимости оказались важнейшими характеристиками и доказательством, что в SS433 действительно реализуется сверхкритический режим аккреции. Была построена модель эволюции струй, на ее основе объяснены удивительные эффекты поярчания радиоструй SS433, полученные с помощью VLBI-техники. Была измерена функция масс SS433 и изучены орбитальные и прецессионные изменения лучевых скоростей. Последнее позволило восстановить профиль скорости ветра сверхкритического аккреционного диска, который сейчас используется астрофизиками при моделировании сверхкритических дисков на суперкомпьютерах. В наблюдениях быстрой переменности блеска (БТА+RXTE) была прямо измерена длина канала в сверхкритическом диске SS433. На основе нового метода фотометрии на БТА (дрифтовая мода

ПЗС) был обнаружен излом спектра мощности в переменности блеска – прямое следствие наличия плотного ветра, истекающего из центральных частей диска. Была построена модель области основания струй (излучает в линии HeII 4686 Å), которая представляет собой горячий кокон, внутри которого распространяются рентгеновские струи. На основе спектроскопии на БТА был предсказан "экскреционный" диск вокруг SS433, который позднее был открыт на самых крупных радиоинтерферометрах (European network, VLBA). Обнаружены линии звезды-донора и определена температура этой звезды (следовательно, и светимость), обнаружен очень сильный эффект прогрева донора горячим УФ-излучением диска. Найдено, что вспышки происходят в определенной орбитальной фазе (в периастре), т. е. орбита должна быть эксцентрической, но в то же время величина эксцентриситета меньше 0.05.

Микроквazarы – это рентгеновские ТДС, которые выбрасывают струи. SS433 считается первым микроквazarом, но он совсем не похож на все остальные (Лебедь X-3, GRS 1915+105 и другие), струи которых лептонные и существенно релятивистские. В отличие от SS433 струи микроквazarов, вероятно, ускоряются в самых внутренних областях аккреционных дисков в непосредственной близости к черной дыре электрическими силами за счет быстрой генерации вращающихся магнитных полей. Наиболее активно микроквazarы исследуются в САО на РАТАН-600 С.А.Трушкиным с коллегами. Последние годы РАТАН-600 играет важную и востребованную в мире роль в исследованиях микроквazarов, эти радионаблюдения сообщают ("дают алерты") о вспышках в том или другом микроквазаре. После сообщения, которое тут же распространяется в сети Интернет, телескопы, как наземные, так и орбитальные, начинают мониторинг вспыхнувшего объекта. Кроме РАТАН-600 микроквazarы изучаются в Лаборатории физики звезд. В частности, Е.А.Барсукова и В.П.Горанский совместно с бывшим сотрудником САО (ныне гражданином Австралии) Г.С.Царевским в 2005 г. опубликовали работу по поиску новых микроквazarов в Галактике.

Новое направление в исследованиях двойных звезд – это ультраяркие рентгеновские источники в галактиках (ULXs), они открыты несколько лет назад. Это объекты, рентгеновские светимости которых превышают предельные (эддингтоновские) светимости черных дыр звездных масс в десятки и сотни раз. Это очень переменные объекты с весьма разнообразными рентгеновскими спектрами. Природа ULXs пока не установлена. Очень яркие рентгеновские источники в галактиках были предсказаны (в САО) на основе изучения SS433. Если наблюдатель смог бы заглянуть в канал SS433, то этот объект предстал бы рентгеновским источником со светимостью $\sim 10^{41}$ эрг/с. С другой стороны, кроме этой идеи, в литературе была высказана вторая, что ULXs есть черные дыры "промежуточных" масс, массы которых составляют сотни-тысячи масс Солнца. Такие черные дыры давно были предсказаны астрофизиками, это остатки от первых и очень массивных звезд (население III). Даже если такие черные дыры и есть ULXs, они должны входить в ТДС со звездой. Для таких огромных светимостей и для стандартных аккреционных дисков обязательно нужен массивный донор. ULXs часто окружены туманностями, внутри которых, как правило, находятся слабые (21^m - 24^m) голубые звезды. В САО получены очень качественные спектры (С.Н.Фабрика, П.К.Аболмасов, О.Н.Шолухова) нескольких таких

объектов на панорамном (MPFS) и шелевом (SCORPIO) спектрографах. В туманностях, окружающих ULXs, удалось обнаружить градиенты скорости. Было найдено, что эти туманности не есть остатки сверхновых звезд, это обычные НП-области, которые динамически возмущены, возможно, струйной активностью по типу SS433. По эмиссионным спектрам туманностей было найдено, что они возбуждаются не рентгеновским, а жестким УФ-излучением и ударными волнами аналогично НП-областям в ядрах сейфертовских галактик 2 типа.

В этой статье я описал исследования двойных звезд, которые проводились в САО. Естественно, охватить все работы было невозможно. Даже если бы я воспользовался отчетами сотрудников и просто перечислил бы подряд все результаты, то такой текст было бы совсем невозможно читать. Представления астрофизиков об объектах, которые они изучают, меняются в зависимости от результатов их работы, некоторые наши выводы, даже 10-летней давности, сейчас могут показаться наивными. Кроме того, за время работы нашей Обсерватории в астрофизике появлялись новые области исследований, объекты, новая терминология. Если говорить о двойных звездах, то активная фаза их исследований началась практически одновременно с появлением САО и БТА, такое одновременное рождение даже удивительно. Телескоп БТА построили "вовремя". Главное, что я сам понял, пока это собирал и писал, что работа людей, которые работали или сейчас работают в САО, внесла реальный и довольно весомый вклад в астрофизику. Второе, что осознал – это огромное чувство благодарности людям, которые "начинали" САО, исследовали телескоп, полученные спектрографы, обустроивали всю эту жизнь. Они жили в станице Зеленчукской или "на горе", наблюдать им пока было не на чем, о чем они мечтали и какие строили жизненные планы, я не знаю, но благодаря их труду сейчас САО представляет собой очень сильную обсерваторию с большим потенциалом и возможностями.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ В САО – ОПТИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ПЕРВОЙ ДЕСЯТКИ GRB И ПУЛЬСАРЫ

В. В. Соколов

Впервые о гамма-всплесках я заговорил с В. Ф. Шварцманом в САО примерно в 1985 году. Речь шла о наблюдательных тестах, которые бы показали наличие или отсутствие поверхности у массивных компактных объектов – кандидатов в черные дыры. Он мне говорил тогда об источниках гамма-всплесков как о возможных массивных коллапсирующих звездах. И от него я впервые услышал о своеобразном "принципе неопределенности": $E \times \Delta t \sim \text{Const}$, из которого следует, что (стохастическая) переменность блеска компактного объекта тем короче (тем меньше Δt), чем больше частота (или энергия E), на которой эту переменность наблюдают. Позже, когда наблюдения с целью оптического отождествления гамма-всплесков наконец начались в САО в 1994 г., были получены первые результаты (1997 г.), защищены 3 диссертации (С.В.Жариков в 1996 г., В.В.Соколов в 2002 г., Т.А.Фатхуллин в 2003 г.), только тогда, по крайней мере, тут, в России, мне удалось убедить некоторых своих коллег (которые знали Виктора), что то, о чем он говорил мне, как раз и может решить загадку GRB (гамма-всплесков). То есть, это и есть та самая релятивистская астрофизика компактных объектов, о которой мы когда-то с ним спорили. Фактически к тому и приходят сейчас все: в ходе гамма-всплеска мы наблюдаем сам релятивистский гравитационный коллапс массивного ядра звезды, закончившей свою эволюцию. В этой связи я постараюсь ниже перечислить наиболее важные этапы и наиболее интересные из исследованных в САО объектов. В основном это результаты работ, которые обсуждались на ученых советах САО и были отнесены к важнейшим научным достижениям САО в 1997, 1998, 2000, 2001, 2003, 2004, 2005 гг. (Более подробно обо всем сказано в докторской диссертации В.Соколова и кандидатских диссертациях С.Жарикова и Т.Фатхуллина).

Области локализаций "старых" GRB 790418 и GRB 790613

Впервые самые глубокие ПЗС-изображения областей локализации этих ярких коротких гамма-всплесков были получены нами в 1994 г. Тогда это было первое исследование в оптике на большом телескопе до предела ~ 25 зв. вел. В обоих случаях внутри области локализации гамма-всплесков обнаружен слабый голубой звездобразный объект ($V=24.5^m$, $B-V<0^m$). Тогда, в 1994 году, по наблюдаемому блеску и цвету было сделано предположение, что это могут быть компактные объекты типа нейтронных звезд с температурой поверхности около 100000 К, расположенные на расстоянии около 40 пк. В то время господствующую

щей идеей было представление об источниках GRB как о компактных объектах типа нейтронных звезд (см. "Физика космоса, маленькая энциклопедия"). Мы много времени посвятили тогда изучению ближайших к нам нейтронных звезд-пульсаров, работа продолжается и сейчас (об этом будет еще сказано ниже). Несмотря на то, что галактическое происхождение гамма-всплесков не подтвердилось (по крайней мере, для т. н. "длинных" GRB), нам удалось получить необходимый опыт и в наблюдениях, и в обработке данных для слабых, а иногда и предельно слабых объектов, когда наконец и наступила эра оптических отождествлений новых гамма-всплесков (эра ВерроSAX).

Сейчас в оптике отождествлено уже более двух сотен гамма-всплесков. В CAO отождествление первой десятки началось с гамма-всплеска GRB 970508, второго ВерроSAX GRB. В 1997 году в результате наблюдений на БТА одновременно в 4-х фотометрических полосах получена самая подробная кривая блеска оптического звездообразного источника, соответствующего гамма-всплеску 8 мая 1997 г. (GRB 970508), зарегистрированному космическим спутником ВерроSAX, с которым был сделан прорыв в проблеме отождествления, существовавшей с самого момента регистрации первых всплесков в 1965 г.

В максимуме блеска переменного объекта, соответствовавшего GRB 970508, и после него на БТА был измерен наклон непрерывного спектра. Изменения цветов прослежены вплоть до 200-го дня после гамма-всплеска. Темп падения блеска и показатели цвета менялись. Нами был замечен эффект резкого замедления уменьшения блеска в инфракрасных лучах (~8000Å) через 36 суток после всплеска. Эти новые факты существенно повлияли на складывавшиеся представления о физической природе гамма-всплесков. Позже на БТА была исследована родительская галактика этого гамма-всплеска – объект ~25 зв. вел. – и другие галактики в поле этого GRB. GRB 970508 был вторым отождествленным в оптике гамма-всплеском, в наблюдениях которого CAO приняла активное участие в сотрудничестве с наблюдателями других обсерваторий и с командой знаменитого специализированного спутника ВерроSAX. Этот результат цитировался в литературе и был отнесен к важнейшим научным достижениям CAO в 1997 г.

GRB 980519

Мы быстро поняли, что отождествление GRB фактически означает то, что надо найти и исследовать какой-то "спокойный" объект с известными свойствами. Вовсе не обязательно успеть отнаблюдать быстро слабеющий (транзиентный) источник. Тем более, что тогда еще надеялись, что экзотические объекты (GRB) связаны с экзотическими же родительскими галактиками – например с квазарами. Поэтому мы сразу же "поставили" все свои (сравнительно небольшие) средства на эту цель – выяснить, какие же объекты являются родительскими – квазары или часто встречающиеся (обычные) галактики со звездообразованием? А методически это все та же фотометрия слабых объектов, которую мы освоили на предыдущем этапе, исследуя "старые" GRB-боксы и ближайшие пульсары. Таким образом, в 1998 г. на БТА мы начали планомерный

поиск и изучение родительских галактик источников гамма-всплесков в нескольких фотометрических полосах. На месте оптических транзиентов GRB 970508 и GRB 980703 были обнаружены голубые компактные галактики. Проведено отождествление с самой слабой в то время родительской галактикой для GRB 980519 ($R \sim 26.5$). Этот результат цитировался и был отнесен к важнейшим научным достижениям САО в 1998 г.

GRB 991208

В 2000 году по данным наблюдений на БТА далекой галактики 24 звездной величины, в которой произошел взрыв массивной звезды, сопровождаемый гамма-вспышкой GRB 991208, измерено красное смещение $z=0.7063 \pm 0.0017$. Прослежена эволюция блеска соответствующего переменного оптического источника. Работа выполнялась совместно с Институтом космического телескопа (США) и Институтом астрофизики Андалусии (Испания). Результат цитировался и был отнесен к важнейшим научным достижениям САО в 2000 г.

GRB 000926

В 2000 г. в поле родительской галактики гамма-всплеска GRB 000926 по 4-м измеренным на БТА/SCORPIO (BVRI) потокам получены фотометрические красные смещения для всех протяженных объектов с $S/N > 3$ и построена "В-диаграмма Хаббла" (зв. величина в В-фильтре от z) для объектов с красными смещениями около $z=3$. И родительские GRB-галактики (со спектроскопическими z), и галактики поля хорошо следуют общей хаббловской зависимости для далеких объектов. Исследованы наблюдательные проявления различных типов законов внутренней экстинкции в родительских галактиках гамма-всплесков. По результатам оценок фотометрических z в поле GRB 000926 выбраны галактики-кандидаты, в спектрах которых может присутствовать полоса поглощения на длине волны 2175Å (полоса поглощения графитовой пылью). На важность использования этой полосы при изучении спектров галактик слабее 23^m впервые было указано в работах группы из САО. Результаты этого исследования цитируются и используются при изучении других далеких галактик.

В 2001 г. в результате выполнения нашей программы исследования родительских галактик наконец был сделан "простой" вывод (фундаментальный, как потом оказалось, для понимания природы гамма-всплесков): по полученному из наблюдений на БТА распределению энергии в спектрах родительские галактики гамма-всплесков не отличаются от нормальных галактик "поля" с такими же величинами и красными смещениями, что позволяет прямо из наблюдений определить среднюю годовую частоту гамма-всплесков. Этот результат широко цитировался и был отнесен к важнейшим научным достижениям САО в 2001 г. Сейчас этот результат уточняется до деталей, но основной вывод остается прежним – каких-либо экзотических и редко встречающихся объектов среди

родительских галактик нет. Это все те же галактики с бурным (вспышечным) звездообразованием, которых очень много на том же ПЗС-кадре (в поле) рядом с самой родительской GRB-галактикой.

В 2002 году покраснение оптического транзиента (ОТ) GRB 970508 через несколько недель после всплеска (как и у 7-ми других ОТ GRB при $z < 1$) было интерпретировано нами как эффект, прямо подтверждающий связь длинных гамма-всплесков с эволюцией массивных звезд и взрывами сверхновых. Немонотонности типа второй вспышки ОТ GRB 970508 через день-три после GRB могут быть прямым следствием эволюционного сценария для источника гамма-всплеска: "массивная звезда \rightarrow звезда Вольфа-Райе \rightarrow пред-сверхновая = пред-GRB \rightarrow GRB и взрыв сверхновой типа Ib/c". Сделан также обзор данных по оптической фотометрии и спектроскопии всех известных к концу 2002 г. родительских галактик гамма-всплесков (в том числе и спектров с континуумом оптических транзиентов GRB). Результаты представлены в виде R-диаграммы Хаббла. Исследованы наблюдательные проявления различных типов законов поглощения в GRB-галактиках. Проведено моделирование распределений энергии в их спектрах, определены светимости, возрасты, внутреннее поглощение и учтено его влияние на оценки скоростей звездообразования/темпа вспышек СН. Исследован вопрос о "темных" (невидимых в оптике) GRB, источники которых могут находиться в сильно запыленных областях галактик. Сформулирован вывод, что и по спектрам GRB-галактики не отличаются от других галактик "поля", т.е. от нормальных галактик с такими же z . То есть можно прямо из подсчетов этих галактик на ПЗС-кадре определять среднюю частоту наблюдения GRB: $\sim 5 \times 10^{-8}$ GRB/год в галактике.

GRB 021004

Поле оптического транзиента GRB 021004 было исследовано на БТА с прибором SCORPIO (в освоении фотометрии с которым наша группа приняла активное участие) 29, 30 ноября и 5 декабря 2002 года. Найден протяженный объект (голубая родительская галактика гамма-всплеска с $B=24.55$, $V=24.35$, $R_c=24.36$, $I_c=23.79$), совпадающий с положением наблюдавшегося в октябре 2002 г. оптического транзиента (ОТ GRB) этого всплеска.

GRB 030329

В 2003 году на БТА были получены самые ранние спектры оптического транзиента (ОТ), связанного с гамма-всплеском GRB 030329. Характерные широкие детали, присутствующие уже в этих ранних спектрах, указывают на прямую связь GRB со взрывом сверхновой (СН). Спектр ОТ GRB в первые часы может представлять собой смесь спектров послесвечения GRB и раннего УФ-спектра "массивной" СН типа Ib/c. Это может быть решающим аргументом в пользу представления, что космический гамма-всплеск – начало взрыва далеких

"массивных" СН, или коллапс массивных ядер звезд в конце их эволюции. Результат отнесен к важнейшим научным достижениям САО в 2003 г. О связи гамма-всплесков с массивными СН говорили многие, но принципиальным сейчас является вопрос: ВСЕГДА ли длинные GRB связаны с этим типом СН? Поэтому актуальным теперь становится получение самых ранних спектров ОТ GRB для относительно близких и редко случающихся, по сравнению с другими GRB, событий типа GRB 030329 ($z=0.1685$).

GRB 041218 и GRB 041219

В 2004 году на БТА проведены наблюдения оптических объектов, связанных с гамма-всплесками: GRB040924 (наблюдения в V-, Rc- и Ic- фильтрах оптического транзиента), GRB041006 (наблюдения в B, V, Rc и Ic оптического транзиента), GRB041218 (получен спектр через 6 часов после всплеска, B, V, Rc), GRB041219 (спектр транзиента в B, V, Rc через 2 суток после всплеска). На БТА получены новые данные в V- и Rc- фильтрах для родительской галактики GRB030329.

В 2004 году нами был сделан обзор всех известных результатов самых ранних спектроскопических и фотометрических наблюдений гамма-всплесков и проведено сравнение со всеми известными наиболее ранними спектрами некоторых массивных (core-collapse) сверхновых (СН). Суммируя наши (САО) и другие спектроскопические и фотометрические данные, мы показали, что свойства ранних спектров/цвета оптических транзиентов гамма-всплесков и массивных СН объясняются ударной волной, проходящей через звездный ветер, создаваемый пред-сверхновой/"пред-гамма-всплеском". Поведение кривых блеска, цветов и спектров гамма-всплесков (очень похожее на наблюдавшийся у некоторых СН ультрафиолетовый избыток в ранних спектрах) – результат существования плотных и компактных оболочек около массивных звезд-прародительниц СН и гамма-всплесков. Подчеркнута важность наблюдений (именно!) ранних спектров СН и гамма-всплесков для решения главного для понимания физического механизма гамма-всплесков вопроса: действительно ли ВСЕ "длинные" гамма-всплески связаны с массивными СН? Анализ результатов наблюдений на 6-метровом телескопе (плюс данные наблюдений на других инструментах) показывают тесную связь гамма-всплесков и взрывов массивных звезд (с образованием компактного объекта типа нейтронной звезды) в результате такого взрыва. Сформулированы основные принципы компактной модели источника гамма-всплеска.

GRB 050408

8 апреля 2005 г. на телескопах САО РАН (1-метровый телескоп Цейсс и БТА) было открыто оптическое послесвечение гамма-всплеска GRB050408. Переменный объект был нами впервые обнаружен только по собственным данным

в области локализации гамма-всплеска космической обсерваторией HETE и затем подтвержден результатами наших же наблюдений в CAO РАН. (На территории СНГ этого пока не удавалось сделать никому). Результат был признан одним из лучших достижений CAO в 2005 году.

GRB 050509b

В мае 2005 года мы приняли участие в отождествлении короткого гамма-всплеска GRB 050509b, обнаруженного обсерваторией SWIFT. На БТА исследована область локализации всплеска до 26^m . Родительской галактикой GRB 050509b является, скорее всего, соседняя с областью локализации эллиптическая галактика с $z=0.225$. Таким образом, наша группа приняла участие в самых первых отождествлениях коротких (<2 с) гамма-всплесков.

GRB 050824

25 и 27 августа 2005 года в CAO проведены фотометрические наблюдения оптического транзиента GRB 050824. Оптическое отождествление сделано в CAO на ПЗС-фотометре 1-метрового телескопа по данным спутника-обсерватории SWIFT и с использованием оптических данных международного мониторинга гамма-всплесков. На 6-метровом телескопе объект ($R\sim 22$) наблюдался 27.08 в двух фотометрических полосах (V и R). Наши данные подтверждают скачок на кривой блеска OT GRB 050824, который наблюдался примерно через сутки после всплеска.

PSR 0656+14, Geminga и др.

Как уже было сказано выше, в самом начале формулирования наблюдательных задач по отождествлению гамма-всплесков мы начали свою программу с наблюдения слабых оптических объектов, связанных с ближайшими нейтронными звездами. PSR 0656+14 и Geminga – в 1996 г. это были первые нейтронные звезды, которые нам удалось увидеть на БТА – слабые объекты ($R\sim 25$), которые мы начали исследовать вместе с группой наблюдателей на HST (Г.Г.Павлов и др.). В 2004 г. было продолжено исследование пульсарных туманностей – остатков вспышек сверхновых (окрестностей PSR 0656+14 и Geminga, старого остатка в СТВ 80), поиск и исследование оптического излучения нейтронных звезд. Были получены оценки потоков объекта PSR 0656+14 и Geminga в полосах BRI системы Крон-Козинца. Построены широкополосные спектры излучения этих нейтронных звезд – от ультрафиолета до инфракрасной

области. Анализ полученных спектров и их сравнение с данными от радио до гамма-диапазона позволяет заключить, что исследованное излучение описывается многокомпонентной моделью, причем в оптическом диапазоне доминирует нетепловое излучение магнитосферы пульсара. Работа проводится совместно с АКЦ ФИАН, ИКИ, ФТИ, ГАИШ, Мексиканским Нац. Институтом Астрономии. Результаты работы цитируются и используются при наблюдениях на HST, Кеск, Subaru. Мы все понимаем, что изучение этих компактных объектов (и остатков вспышек СН) в конце концов помогает нам лучше понять проблему механизма гамма-всплесков. К тому же короткие гамма-всплески могут быть связаны с такими компактными объектами и вспышкой на их поверхности, уравнение состояния которых (возможно, кварковых звезд) можно проверить, исследуя их во всех диапазонах.

В 2005 году исследованы эффекты коллимации жестких фотонов и другие возможные наблюдательные проявления углового и спектрального распределения фотонов в источниках гамма-всплесков. Речь идет об альтернативе модели релятивистского фаербола, если действительно все "длинные" гамма-всплески физически связаны с нормальными/непекулярными массивными сверхновыми. В рамках предположений своей модели мы рассмотрели эффекты давления излучения и то, как джеты возникают вследствие даже небольшой асимметрии мощного поля излучения в самом (компактном) источнике всплеска. Обсуждаются возможные механизмы образования GRB в областях размером 10^8 см (компактная модель гамма-всплеска). Рассматриваются наблюдательные следствия такого "компактного" энерговыделения для GRB-вспышек.

GRB 060218

В феврале 2006 г. по совместной программе Института астрофизики Андалусии (Испания) и CAO на БТА были получены спектры GRB 060218/SN 2006aj ($z=0.033$). Как и для объекта GRB 030329/SN 2003dh ($z=0.1685$), наши наблюдения снова оказались в числе самых первых спектров двух самых близких GRB/SN-вспышек. Результаты наблюдений показали, что неизбежны существенные изменения в "стандартных"/популярных теоретических сценариях, описывающих феномен гамма-всплеска и взрыв (массивной) сверхновой. UV-избытки в ранних спектрах – это взаимодействие ударной волны со звездным ветром массивной звезды (the SN Ic shock break-out). Результаты наблюдений в CAO ранних спектров двух ближайших гамма-всплесков, надежно отождествленных со сверхновыми типа Ib, могут существенно уточнить как саму природу источника GRB, так и сам механизм взрыва сверхновых этого типа – старая проблема, решение которой сводится по существу к пониманию того, как происходит релятивистский коллапс массивного ядра звезды и что в конце концов образуется в результате – кварковая звезда или (дурацкая!) черная дыра?

Основной итог программы отождествления гамма-всплесков в CAO сейчас (в 2006 г.) можно сформулировать так: (длинные) гамма-всплески – это начало взрыва массивных сверхновых, и, скорее всего, во время гамма-всплеска

мы действительно, как когда-то догадывался об этом В.Ф.Шварцман, наблюдаем *релятивистский* коллапс ядра звезды и рождение очень плотного компактного объекта – остатка взрыва сверхновой.

В заключение хочу поблагодарить всех участников отождествления в САО первой десятки гамма-всплесков: С.В.Жарикова, С.Н. Митронову, Т.А.Фатхуллина, С.Н. Додонова и сотрудников его лаборатории, других астрономов и администрацию САО, а также всех моих коллег, способствовавших получению перечисленных выше результатов на БТА и Zeiss-1000.

ПЕРВЫЕ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В САО

И. Д. Караченцев, В. Е. Караченцева

Как все начиналось

Проект "Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР" – самый амбициозный и дорогостоящий в отечественной астрономии. В этом научно-техническом и социально-психологическом эксперименте так или иначе приняли участие многие тысячи людей: проектировщики, строители, инженеры, астрономы и члены их семей.

История становления САО АН СССР еще не написана. Но в библиотеке САО хранится подборка публикаций за десятилетия. Любопытный читатель узнает массу подробностей, часто выдуманных, но написанных "от души". Запомнилось: место для строительства 6-метрового телескопа (БТА) выбрали потому, что "здесь долго будет темно и тихо". Тема "самый-самый (телескоп)" лет 20 была очень привлекательной для журналистов.

Не секрет, что БТА был сдан в эксплуатацию (конец 1975 г.) практически без светоприемной аппаратуры. Несмотря на то, что этот срок сдвигался несколько раз, инфраструктура не была готова. Первый дом в поселке Нижний Архыз заселили в апреле 1975 г., до того астрономы, инженеры и другие сотрудники жили в станице Зеленчукской в доме 167 по ул. Бережного, где также размещались стройуправление, лаборатории библиотека. До строящихся поселка (25 км) и телескопа (42 км) многие сотрудники ездили в некомфортных автобусах.

Поселок как таковой оформился через много лет после заселения первого и надолго единственного дома. Часть квартир в нем была отдана администрации, научным лабораториям, библиотеке, детскому саду. Школа вообще не была запланирована, и за включение ее в проект, а затем строительство пришлось бороться долгие годы. Не было доступной телефонной связи, автобусы в станицу брали штурмом: поездки в школу, поликлинику, на рынок за продуктами, на почту были постоянной составляющей нашей жизни. Нельзя не вспомнить и массовые выезды сотрудников на сельхозработы – от весенней прополки, летней заготовки веточного корма – до осенней уборки овощей.

Конечно, жаль, что масса сил, времени, здоровья уходила не на дело. Но была перспектива интересной работы, вокруг – изумительная природа, а описанные трудности были типичными для всех больших советских проектов, от целины до БАМа.

Реальную пользу обсерватории принес визит Председателя Совета Министров СССР А.Н. Косыгина зимой 1975 г. В свите был тогдашний первый секретарь Ставропольского крайкома партии М.С. Горбачев. А.Н. Косыгин понял главные бытовые трудности обсерватории и решил их. Библиотека и сотрудники смогли без ограничений выписывать журналы и газеты; продовольственный магазин САО стал снабжаться через систему курортторга; сотрудники

смогли купить 40 легковых автомобилей вне очереди (обычно в год на САО выделяли 1-2 машины).



Фото 1. Председатель Совета Министров СССР А.Н. Косыгин на крыше техблока БТА (в центре), справа от него – секретарь Ставропольского крайкома КПСС М.С.Горбачев, слева – зам.директора САО И.Д.Караченцев.

Еще несколько "штрихов к истории". В САО была лучшая в Союзе астрономическая библиотека: Академия наук выделяла валюту на подписку основных зарубежных астрономических журналов. Удалось приобрести Первый Паломарский и Южный обзоры неба. Но переписка с зарубежными астрономами строго контролировалась. Поездки на международные астрономические конференции выпадали редко и случайно. Только визиты иностранных наблюдателей и выполнение их (и совместных) программ, которые пошли на БТА с конца 1970-х, слегка пошатнули информационный барьер.

За время своего существования обсерватория пережила и распад СССР, и массу внутренних потрясений. БТА уже много лет не самый большой в мире. Информационное пространство открыто благодаря Интернету. Часть сотрудников уехала работать в Германию, Великобританию, Канаду и другие страны. Научные командировки в самые разные обсерватории мира стали типичным явлением, равно как выполнение совместных наблюдательных программ на крупнейших телескопах. Некоторые исследования финансируются за счет отечественных или зарубежных грантов. Зарплаты ученых нищенские. Ситуация на Северном Кавказе не так спокойна, как была в начале создания САО. Предсказание "темно и тихо" не сбылось.

Сейчас видно, что ввод в строй Специальной астрофизической обсерватории с ее телескопами БТА и РАТАН-600 стал неоценимым благом для отечественной астрономии. Опыт наблюдений на большом телескопе приобрели сотрудники многих обсерваторий России, Украины, Армении, Эстонии, Казах-

стана, Грузии. Во многих областях астрономии удалось получить результаты на хорошем мировом уровне. Внегалактические исследования в САО занимали, пожалуй, главное место.

Организация Отдела внегалактических исследований

В 1960-е гг. произошли события, на многие годы определившие пути развития внегалактической астрономии. В 1963 г. М. Шмидт открыл новый класс внегалактических объектов – квазары. В 1965 г. Пензиас и Вильсон обнаружили микроволновое космическое "реликтовое" излучение. В 1969 г. Б.Е. Маркарян опубликовал 1-й список галактик с ультрафиолетовым избытком в спектрах. В начале 60-х гг. в широкий научный обиход вошли карты Первого Паломарского обзора неба, на материале которого были составлены основные каталоги: Цвикки, Воронцова-Вельяминова, Нильсона, Эйбелла. В 70-80 гг. начались массовые измерения красных смещений галактик, тогда же стали определять расстояния до галактик, используя методы Талли-Фишера и Фабера-Джексона. Таким образом, открылись перспективы для установления строения Вселенной на больших масштабах, изучения космических потоков, исследования морфологии, физических условий, внутренних движений в галактиках, кинематики и динамики систем галактик. 6-метровый телескоп предназначался в первую очередь для проведения внегалактических исследований. В 1971-72 гг. в САО приехали астрономы из Москвы, Киева, Ленинграда, Новосибирска, КрАО, других городов и обсерваторий. Большинство из них имели сформировавшиеся научные интересы и могли предложить программы для будущих наблюдений на БТА.

18 октября 1972 г. был издан приказ по САО номер 237:

1. В связи с расширением и уточнением тематики преобразовать группу исследования галактик (ГИГА) в Отдел внегалактической астрономии и релятивистской астрофизики (ОВИРА).

2. Организовать в составе Отдела следующие рабочие группы:

Исследование систем галактик.

Караченцев И.Д. – руководитель, Караченцева В.Е., Апанин Н.В., Храмова М.Т., Царевская Р.Л.

Спектроскопия внегалактических объектов.

Копылов И.М. – руководитель, Артамонов Б.П., Липовецкий В.А., Балинская И.С.

Фотометрия галактик.

Царевский Г.С. – руководитель, Шаповалова А.И., Небелицкий В.Б.

Исследование релятивистских объектов.

Шварцман В.Ф. – руководитель, Нестеренко Н.М., Дубрович В.К., Пустильник Л.А., Бычков К.В.

В составе Отдела была образована также Техническая группа, которая готовила светоприемную аппаратуру. Первым руководителем Отдела ВИРА был И.М. Копылов; с 1973 г. – И.Д. Караченцев.

К началу плановых наблюдений на БТА в Отделе ВИРА (к тому времени пополнившимся новыми сотрудниками) были подготовлены программы наблюдений, комплексы наблюдательной аппаратуры и методы обработки результатов. На картах Паломарского обзора были созданы оригинальные каталоги: изолированных галактик поля (В.Е. Караченцева), изолированных пар галактик (И.Д. Караченцев), изолированных триплетов галактик (И.Д. Караченцев, В.Е. Караченцева, А.Л. Щербановский), кольцеобразных галактик (И.П. Костюк), кратных скоплений галактик (И.Д. Караченцев, А.И. Копылов). Продолжались поиски карликовых галактик низкой поверхностной яркости (В.Е. Караченцева). В.А. Липовецкий участвовал вместе с Б.Е. Маркаряном в напряженной работе по программе поиска новых галактик Маркаряна на 1-м телескопе Шмидта с 1.5-градусной объективной призмой Бюраканской обсерватории, ежегодно публикуя 1-2 новых списка. Отметим, что спектры этих объектов, а также галактик в парах наблюдались в эти годы в КрАО и обсерватории АН Казахской ССР. Б.П. Артамонов, А.И. Шаповалова, И.С. Балинская выполняли детальную многоцветную фотометрию нормальных и активных галактик на пластинках, полученных в Бюраканской и Таутенбургской обсерваториях.

Для спектральных наблюдений в первичном фокусе БТА слабых внегалактических объектов В.Л. Афанасьев, В.А. Липовецкий совместно с сотрудниками Технической группы Отдела ВИРА изготовили комплекс аппаратуры, состоящий из спектрографа UAGS с конструктивными доработками, оснастки ЭОП"ов, систем питания, а также программы экспрессной обработки спектров. С помощью этого комплекса на БТА были получены тысячи спектров галактик по программам сотрудников отдела и других обсерваторий.

(Подробнее – у В.Л. Афанасьева)

Так же основательно готовилась к наблюдениям на БТА группа релятивистской астрофизики (В.Ф. Шварцман, В.К. Дубрович, Л.А. Пустильник, С.А. Пустильник, В.Л. Плохотниченко, В.П. Чуприна, С.Н. Митронова, С.И. Неизвестный, А.В. Пимонов, А.В. Журавков). Были исследованы эффекты, которые должны сопровождать аккрецию плазмы на "черные дыры" в двойных системах, и разработаны теоретические модели. Группой РА были подготовлены списки кандидатов в нетепловые источники излучения, разработан и изготовлен комплекс аппаратуры МАНИЯ (и математическая схема анализа данных), позволяющий анализировать флуктуации излучения слабых объектов в диапазоне 640 нсек - 300 сек.

Начало наблюдений на БТА. Первые результаты

С января 1977 года (как, впрочем, и сейчас) наблюдательное время на БТА распределяла Комиссия по тематике 6-метрового телескопа, КТ6Т. Заявки поступали практически из всех астрономических институтов и обсерваторий Союза и от многих зарубежных астрономов. Конкурс заявок был огромный, особенно на безлунное время. Получить несколько ночей на свою программу было очень престижно.



Фото 2. Первая комиссия по тематике БТА у здания ЛГУ на Васильевском острове. Слева направо: Э.Е.Хачикян, Э.А.Дибай, В.В.Соболев (председатель), И.М.Копылов, И.Д.Караченцев (секретарь), О.А.Мельников.

С первых дней наблюдений выполнение всех внегалактических программ обеспечивали сотрудники Отдела. Первое время поднимались на телескоп большими командами. Тогда автобус на БТА возил наблюдателей 2 раза в неделю. Приходилось запасаться продуктами на несколько суток. Если из-за глубокого снега автобус не доезжал до башни, брели пешком, иногда по пояс в снегу и при сильном ветре. При любой погоде каждую ночь поднимались на наблюдения (а часто только ждали такой возможности) астрономы, инженер, механик и электрик. В дальнейшем поднимались 2-3 астронома. Определились "связки": мужчина – в стакане первичного фокуса, женщина – за пультом управления (гендерный принцип в этих наблюдениях не соблюдался!). Для наблюдателей в стакане были приобретены довольно неуклюжие костюмы с электроподогревом (системы "ПИНГВИН") – обогрев часто выходил из строя. Кроме того, имелись обычные полушубки а овчинной подкладке, местного пошива, теплые. Очень эмоционально и точно в своем отзыве на докторскую диссертацию о двойных галактиках (1981 год) описал сцену наблюдений Б.А. Воронцов-Вельяминов: "...в скорченном состоянии, в люльке внутри величайшего в мире телескопа, часами не имея возможности размять затекшие члены, часто на морозе, дорожа минутами ясного неба, на высоте многих метров от пола..."

На БТА сразу начались спектральные наблюдения галактик Маркаряна из всех 15 списков. На основе полученных спектров отбирались галактики, составившие затем Каталог галактик Маркаряна. В Первом и особенно Втором

Бюраканских обзорах в результате наблюдений были открыты десятки квазаров и сейфертовских галактик. Наиболее интересные объекты наблюдались детально, для изучения физических условий и характера движений в окооядерных областях. Полный спектральный обзор галактик Маркаряна позволил установить их относительное обилие и пространственное распределение.

На БТА в течение нескольких наблюдательных сезонов были получены около 2000 спектров двойных галактик, компонентов триплетов и изолированных галактик – из соответствующих каталогов, созданных в Отделе. Имея полные сводки лучевых скоростей и редуцированных данных, удалось выполнить обширные исследования физических и динамических свойств галактик в кратных системах. Для изучения влияния близкого окружения на морфологию, активность звездообразования и другие характеристики в качестве опорной выборки использовался каталог изолированных галактик. Влияние эффектов селекции изучалось сравнением наблюдаемых свойств галактик из реальных каталогов с характеристиками одиночных галактик, пар и триплетов, отобранных с применением тех же критериев на смоделированных "картах Паломарского атласа". Работа по моделированию трехмерного распределения галактик была выполнена на пределе тогдашних (1976 г.) возможностей вычислительной техники САО (А.Л.Щербановский, И.Д. Караченцев).

По прямым снимкам И.Д. Караченцев и А.И. Копылов выполнили глубокие подсчеты галактик в области северного галактического полюса. Был достигнут предел $V=26$ зв. вел., что для конца 70-х гг. явилось рекордным результатом. (В те годы среди наблюдателей бытовал юмористический лозунг: "Даешь 25/26 звездную величину к 25/26 съезду КПСС!").

В начале 80-х велись систематические поиски новых карликовых галактик низкой поверхностной яркости в области группы М81 на пластинках 2-м таутенбургского Шмидт-телескопа. На БТА были получены снимки 40 объектов, многие из которых разрешились на звезды; опубликован Атлас карликовых галактик в этой группе; открыта самая близкая молодая галактика "Гирлянда" на окраине NGC 3077.

В.Ф.Шварцман и А.И.Копылов предприняли массовое измерение красных смещений галактик в далеких богатых скоплениях – программа "Северный конус". Впервые было показано, что значительные неоднородности плотности существуют во Вселенной на масштабах вплоть до 400 Мегапарсек.

Многие программы приезжих астрономов с первых лет стали на БТА долгосрочными (несколько сезонов, иногда – лет): спектральные наблюдения взаимодействующих галактик из каталогов Воронцова-Вельяминова (ГАИШ), галактик из Каталога Маркаряна и списков Казаряна (Бюраканская обсерватория), "гипергалактик" (ИФА АН ЭстССР), голубых компактных объектов и галактик в компактных группах (ЦИА АН ГДР), галактик в компактных группах Шахбазян и многие другие.

АКАДЕМИК
ЗЕЛЬДОВИЧ
ЯКОВ БОРИСОВИЧ
ТРИЖДЫ ГЕРОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО ТРУДА
ЛАУРЕАТ ЛЕНИНСКОЙ ПРЕМИИ

Глубоко уважаемый
Игорь Семшович!
Я буду Вам признателен
если часть Вашего времени
на БТНА, потратите на
для изучения проблемной
структуры Вселенной,
Вы потратите на завершение
программы «Северный котус»
Эта программа мне представляется
очень интересной; об этом
свидетельствуют и предварительные
результаты.
Секрете Вам Яков Зельдович
8/11/84.

Фото 3. Письмо академика Я.Б.Зельдовича в поддержку программы обзора богатых скоплений галактик.

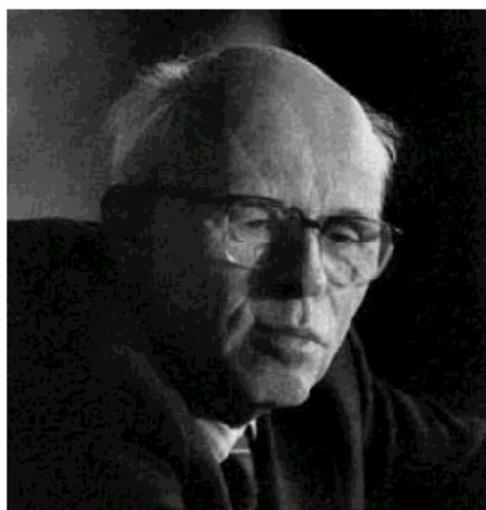
На протяжении многих сезонов выполнялся обзор эмиссионных областей у галактик Местной группы по программе проф. Ж. Куртеса (Марсельская обсерватория). На привезенной в САО электронной камере Лаллемана проводились оптические отождествления радиоисточников из Кембриджских списков. Кстати, на этой камере в апреле 1979 года был получен первый снимок первой гравитационной линзы 0955+46.



Фото 4. Наблюдательная команда, выполнявшая на БТА обзор очагов звездообразования в галактиках М31 и М33. Справа налево: "папаша" Ж. Куртес, С.Н. Додонов, П. Сиван, В.Л. Афанасьев, В.Е. Караченцева, А. Пети, И.Д. Караченцев и Ж. Булестекс.

За прошедшие годы наблюдательные возможности для изучения на БТА галактик, систем галактик и квазаров многократно выросли. Перечисление самых важных результатов, полученных за 30 лет наблюдений на БТА, заняло бы слишком много места. Достижения во внегалактических исследованиях за 1993-2006 гг. отражены в ежегодных отчетах САО РАН.

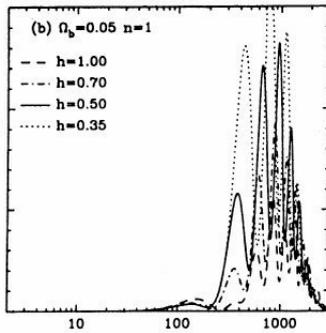
Памяти А.Д.Сахарова посвящается



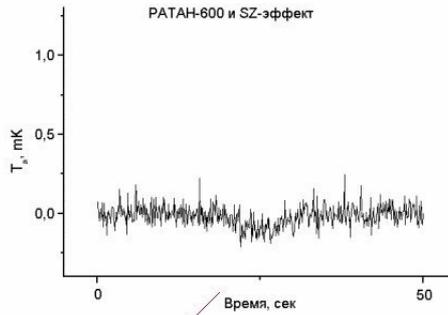
ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД ВСЕЛЕННОЙ

Федеральный проект России

Руководитель проекта академик Ю.Н.Парийский



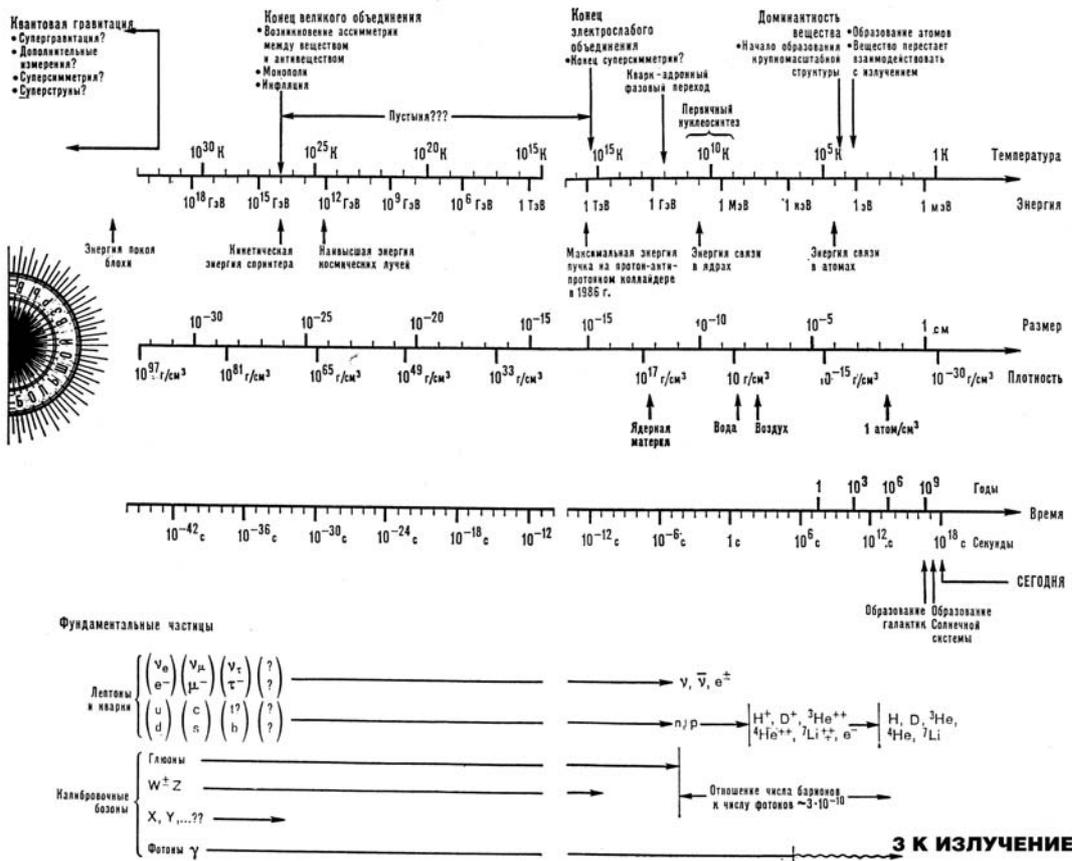
3 К поляризация



SZ-эффект

РАТАН-600

ФИЗИКА "ВСЕГО НА СВЕТЕ"



**"ГЕН" — часть стратегической программы
академика Я.Б.Зельдовича и академика А.Д.Сахарова
по Космологии и Микрофизике**

Краткая характеристика проекта

Предлагается **проект нового поколения** по исследованию с предельной точностью Анизотропии Реликтового Фона Вселенной с использованием крупнейшего в Мирове рефлекторного радиотелескопа России РАТАН-600 в свободной от пыли части «окна прозрачности» Галактики с высоким угловым разрешением, недоступным разрабатываемым и обсуждаемым проектам следующего века за рубежом.

Обнаружение в 1996-1997 гг. предсказанных А.Д. Сахаровым вариаций яркости неба на субградусных масштабах, которые несут в себе информацию о явлениях в период Большого Взрыва и непосредственно за ним, позволяет впервые в истории Естествознания поставить задачу количественного исследования причин, приведших к созданию всего наблюдаемого Мира.

**Реализация проекта возможна немедленно после оснащения
РАТАН-600 доступной уже сегодня приемно-измерительной
аппаратурой матричного типа**

Головная Организация Проекта САО РАН – основной центр наземных исследований ближнего и дальнего Космоса, Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

К Эксперименту будут привлечены не только организации РАН, но также МОПО и МИННАУКИ, включая ведущие ВУЗы страны, студенты и аспиранты (в рамках уже созданных структур, интегрирующих по Указу Президента России интеллектуальный потенциал Академии наук и Высшей Школы), организации промышленности, связанные с разработкой и внедрением новых технологий в области многоэлементных фазированных антенных решеток, ММІС технологий, средств спутниковой связи и матричных систем в антенной технике, крупнейшие суперкомпьютерные центры России, разрабатывающие высокопроизводительные вычислительные технологии.

Необходимость немедленной реализации ПРОЕКТА диктуется уверенностью ведущих научных центров Мира в получении надежных результатов, наличием в России уникального для этой цели инструмента и творческого коллектива, стремительным ростом уровня помех в околоземном пространстве. Быстрая реализация ПРОЕКТА восстановит исторический приоритет России в одном из центральных направлений современного Естествознания.

Проект обсуждался на трех рабочих совещаниях в Европе, на международной конференции по радиоастрономии в Санкт-Петербурге в 1997г., на Международной конференции КОСМИОН-97 по программе А.Д.Сахарова в Москве, Международной конференции памяти Гамова (GMIC-99) в Санкт-Петербурге, опубликован в трудах Евро-конференции по Космологии и физике элементарных частиц в 1997 г., Transaction of Astronomy and Astrophysics v. 19, n3-n4, p.265, поддержан Советом по радиоастрономии при Президиуме РАН, Президиумом Санкт-Петербургского Отделения Российской академии наук, Отделением общей физики и астрономии РАН, Секцией физико-технических наук РАН, Президентом РАН (1998 г.) и прошел экспертизу РАН в 2000 г.

Реализация ПРОЕКТА осуществляется по этапам.

В настоящее время завершается финансирование ПЕРВОГО этапа (работы по оптимизации ПРОЕКТА, освоение специализированного вторичного зеркала РАТАН-600, снижение уровня рассеяния в инструменте, проведение детальных исследований и наблюдений на РАТАН-600 для уточнения роли всех видов мешающих фоновых излучений, освоение методики потоковой обработки данных, финансирование подрядных организаций по созданию действующих макетов типового ствола матричного радиометра с использованием новых технологий).

ВТОРОЙ этап предусматривает создание 4-8-элементной матрицы нового поколения и внедрение ее в фокусе РАТАН-600, получение данных об анизотропии фоновых излучений на масштабах «Сахаровских осцилляций» с чувствительностью не хуже достигнутой в эксперименте «СОВЕ» для крупных масштабов, проведение пробных поляризационных наблюдений фоновых излучений всех видов на масштабах, предсказанных теорией.

ТРЕТИЙ этап завершает создание комплекса приемно-измерительной аппаратуры с адекватными для задачи параметрами, переход к накоплению данных и получение новых данных о физике Ранней Вселенной.

К 2006 г. полностью завершены первые два этапа и активно идут работы по третьему этапу, в котором выделен этап создания 32- элементной матрицы.

Участники Проекта

Российская академия наук

Специальная астрофизическая обсерватория (Головная Организация по РАН и проекту в целом). Подготовка и проведение эксперимента на базе крупнейшего в мире рефлекторного радиотелескопа РАТАН-600.

Санкт-Петербургский Научный Центр

Научно-методическое руководство подразделениями СПб Научного Центра РАН, участвующими в ПРОЕКТЕ.

Санкт-Петербургский Научно-методический Филиал САО

Создание приемно-усилительного СВЧ комплекса, адекватного задаче, и кури-

рование СПб и зарубежных партнеров.

Главная Астрономическая Обсерватория

Разработка метода поиска Невидимой Материи (DM) во Вселенной по данным проектируемого эксперимента.

Физико-Технический Институт им. Иоффе

Разработка метода определения стабильности основных констант по данным проектируемого эксперимента.

ФИАН, АКЦ

Моделирование эффектов влияния тензорных возмущений в Ранней Вселенной на фоновое излучение Вселенной и уточнение требований к эксперименту.

Институт Теоретической Физики

Проверка теории «Инфляционной Вселенной» и участие в уточнении требований к методике эксперимента, физическая интерпретация результатов.

ИКИ РАН

Участие в постановке эксперимента и интерпретации данных.

МИНПРОМ ТЕХНОЛОГИИ И НАУКИ

Объединение «СВЕТЛАНА» , СПб

Создание высокотехнологичного варианта многоэлементной антенной решетки в микрополосковом исполнении с использованием ММС технологий.

ИВВиБД, СПб

Создание доступной для отечественных и зарубежных пользователей универсальной базы данных Эксперимента («ГЕНОФОНД Вселенной»), обеспечение скоростного доступа к базе данных, глубокая матричная редукция многомерных массивов данных с использованием высокопроизводительных вычислительных технологий.

КОСМИОН, Москва

Теоретическая поддержка работ по программе "Сахарова – Зельдовича"

МОПО

СПб ГТУ

Поиск многоканальных решений системы сбора данных (**Центр Оптоэлектронных проблем информатики**).

Участие в разработке и реализации проекта высокоскоростного сетевого доступа и обмена информационными потоками между ИВВиБД и радиотелескопом РАТАН-600 (**ФТК, Центр “Политехник-ДЭК”**)

ЛЭТИ

Разработка и изготовление высокоэффективного широкополосного (несколько октав) совмещенного излучателя типа Вивальди для РАТАН-600.

СПб ГУ

Разработка теории переноса излучения в Ранней Вселенной с учетом релятивистских поправок, участие в постановке и интерпретации эксперимента.

МГУ

Моделирование тензорных эффектов (ГАИШ) и проверка теорий раннего коллапса сверхмассивных тел по данным эксперимента (кафедра физики).

РГУ

Моделирование поляризационных характеристик реликтового фона, участие в редукции данных и их космологической интерпретации.

Зарубежные партнеры:

Объединение «САТУРН», Украина

Изготовление матричного радиометра в волноводном исполнении.

Центр Теоретической Астрофизики (ТАС), Дания

Теоретическое обоснование ПРОЕКТА, участие в обработке данных и интерпретации результатов.

Канарский Университет, Испания

Оптимизация эксперимента с целью проверки теории мелкомасштабных вариаций яркости фонового излучения Вселенной.

Цель Эксперимента

Эксперимент позволит значительно дополнить исследования анизотропии 3К-фона на масштабах, трудно доступных космическим проектам. В сочетании с данными других групп, он позволит

1. Выбрать не противоречащий наблюдениям вариант физической теории, действующей в экстремальных условиях «Большого Взрыва».

2. Выбрать вариант Космологии, адекватной данным по анизотропии реликтового 3К-фона.

3. Определить с беспрецедентной точностью (около 1%) основные параметры Вселенной и свойства невидимого «Темного Вещества», заполняющего всю Вселенную с плотностью выше плотности обычной барионной материи.

Получение перечисленной информации из обнаруженной анизотропии 3К-фона имеет фундаментальное значение для современного Естествознания, включая Астрономию и физику высоких энергий. Следует отметить и высокую гуманитарную значимость ПРОЕКТА для Цивилизации, так как впервые будут поняты причины возникновения света, вещества и всех структурных форм Вселенной, которые видит человек.

Предлагаемый эксперимент имеет прямое отношение к таким проблемам, как построение Единой Теории всех видов взаимодействий в природе («ТОЕ», Theory Of Everything), к проблеме происхождения света и вещества во Вселенной, к выяснению причин, породивших галактики, звезды, цивилизации, само существование которой зависит от параметров Вселенной.

Проект несомненно относится к числу наиболее фундаментальных в современном Естествознании и особо престижных для отечественной Науки.

К истории проблемы

Формально, сенсацией XX века стало обнаружение в 1997 г. мелкомасштабных (доли градуса) вариаций фонового излучения Вселенной несколькими группами исследователей. Это явилось триумфом современной физической теории. Но фактически проверялась теория Расширяющейся (Фридман, 1922 г.) и Горячей (Гамов, 1946г) инфляционной модели (Глинер, Киржниц, Старобинский, Линде 1978) Вселенной.

Необходимость существования затравочных флуктуаций состояния Вселенной для формирования всех видимых ее структур следовало еще из работ Лифшица, Халатникова, 1946г., которые показали несостоятельность точки зрения Ньютона (естественное гравитационное сгущивание первично однородной среды). Первые варианты квантовой природы их высказаны Чибисовым, а все основные идеи развития их формировались тремя российскими группами (Зельдович, Новиков, Дорошкевич, Шандарин и др; Гуревич, Чернин, Озерной и др.). Первые реальные вычисления сделаны Сюняевым. Поляризационные эффекты впервые вычислены Полнаревым, Баско, затем Новиковым и Насельским. А.Д.Сахаров предсказал наличие акустических осцилляций фотон-барионной плазмы перед ее рекомбинацией и причины барионной асимметрии Мира. Гравитационный шум и его влияние на фоновое излучение впервые также исследовалось в России (Герценштейн, Дубрович, Новиков, Гришук).

Идеи, разработанные этими группами, остаются основными в этой области – роль нового поколения за рубежом связана прежде всего с проведением цифрового моделирования на современных компьютерах, точных цифровых расчетов, что позволило более экономно планировать эксперименты.

Отметим приоритет России в области эксперимента. Уже стали признавать, что первая попытка использовать радиоволны для исследования окружающего мира была сделана (и запатентована) А.С.Поповым, первое указание на существование изотропного избыточного радифона неба сделано почти за 10 лет до официального открытия 3К-фона (Пензиас и Вильсон, 1965) в Пулковской Обсерватории (Т.Шмаонов, 1956). Первое глубокое исследование анизотропии реликтового фона проведено там же, в 1968 г., а позднее проведена серия таких экспериментов, которые за рубежом удалось подтвердить только через 5 лет. Впервые в России удалось доказать, что 3К-фон действительно является космологическим – он формируется, по крайней мере, за далекими скоплениями галактик и в то же время не связан с очень далекими дискретными объектами с чернотельными спектрами. Первый космический эксперимент по анизотропии 3К-фона (РЕЛИКТ, Кардашев, Струков и др.) проведен почти на 10 лет раньше эксперимента СОВЕ в США. Вклад РАТАН-600 в поиск избыточного шума неба на масштабах, соответствующих "Сахаровским Осцилляциям", описан в работах по эксперименту ХОЛОД, 1984 г.

В 1997 г. по сопоставлению с зарубежными данными была доказана "чернотельность" этого избыточного шума.

РАТАН-600 – единственный крупный инструмент начала 70-х годов, при проектировании которого учитывалась специфика исследований анизотро-

пии 3К-фона. Анализ текущих проектов показывает, что ни один наземный или космический вариант решения проблемы глубокого исследования мелкомасштабной анизотропии и ее поляризационных характеристик не в состоянии достичь такой же полноты, как РАТАН-600, при той же чувствительности приемной аппаратуры. Стоимость проекта составляет около 1% от стоимости лучших зарубежных вариантов.

Практически все ведущие теоретические и экспериментальные центры Мира включились сегодня в решение проблем, связанных с расшифровкой информации, закодированной в фоновом радиоизлучении, оставшемся после эпохи «Большого Взрыва», и аналогия с биологическим генетическим кодом оказывается почти буквальной.

Возможности радиотелескопа РАТАН-600 в исследовании анизотропии 3К-фона

РАТАН-600 – единственный в Мировом наземный рефлекторный радиотелескоп, позволяющий исключить влияние вариаций собственного излучения атмосферы Земли на точность измерений при исследовании вариаций яркости реликтового фона на всех угловых масштабах, участвующих в формировании «Генетического фона» Вселенной. Точность оказывается ограниченной только чувствительностью радиометрического комплекса. Внедрение новой технологии сверхмалозадающих матричных радиометров на основе InP НЕМТ-технологии решает эту проблему. Большое свободное от aberrаций поле зрения РАТАН-600 формально позволяет установить в фокальной плоскости 300-3000 радиометров, что на 2-3 порядка больше, чем в обычных параболических зеркалах, которые планируется использовать в начале 21 века для исследования анизотропии 3К-фона. Это резко упрощает и удешевляет задачу реализации предельной чувствительности, необходимой в этом эксперименте, и сокращает время накопления сигнала до разумных значений (1-3 года).

В таблице 1 даны технические возможности РАТАН-600 в сравнении с возможностями самых престижных проектов следующего века (включая самый крупный проект Европейского Космического Агенства, «PLANCK SURVEYER Mission», стоимость около 500 млн. долларов, запуск в 2006 г., поисковый проект «MAP», США, запуск в 2001 г.

Таблица 1

	PLANCK	RATAN-600
Центральная частота (ГГц)	100	32
Дополнительные частоты (ГГц)	31-857	21.7; 7.7; 11.2; 4.8; 3.9; 2.3; 0.96; 0.61
Температура усилителя, К	20	17-300
Полоса частот (ГГц)	4.7	4.7-10
Число радиометров	4	16-1800
Угловое разрешение (угл. мин)	30	0.08 x 1
Время интегрирования элемента изображения в разовом наблюдении (миллисек)	90	100 000
Число пикселей	165012	199298
Температура системы , К	30	30-300

Чувствительность на 1 пиксел после 14 месяцев наблюдений

	PLANCK	RATAN-600
Среднее время наблюдений 1 пиксела, сек	223	160 000
Температурная чувствительность, мК/сек ^{1/2}	0.311	0.3-0.010
ΔT , микроК	20.8 *	3.6-0.1
Относительная чувствительность $\Delta T/T$ ($\times 10^{-6}$)	7.8 *	1.3-0.05
Чувствительность по плотности потока, мян.	37.8	0.03-0.01

В таблице 2 мы даем сравнение погрешностей определения фундаментальных параметров Вселенной, в которой мы живем.

Таблица 2
ТАБЛИЦА ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
фундаментальных параметров Вселенной

	MAP	PLANCK	RATAN-600
α Отклонения от степенного спектра первичных неоднородностей	5%	1%	<1%
Ω_{tot} (Полная плотность Вселенной)	18%	1%	<0.5%
Λ (Плотность энергии вакуума)	43%	0.7%	<0.5%
Ω_{bar} (Барионная плотность Вселенной)	10%	0.7%	<0.5%
N_ν (Число нейтрино)	8%	3%	2%
h (Постоянная Хаббла)	20%	2%	0.5%
$\tau_{reionization}$	20%	15%	10%
Y (Suynaev-Zeldovich)	10%	7%	<5%
T/S (tensor fraction)	38%	9%	<5%
Стоимость Проектов (млн. \$ USD)	70	1500	0.5

Все параметры рассчитаны по стандартной методике, используемой группой "ПЛАНК" (см. "RED BOOK" и ссылки там) в предположении, что в каждом эксперименте методика измерений устраняет все виды помех, кроме белого шума радиометров.

Следуя предложению группы ПЛАНК, мы сравнили потенциал RATAN-600 в исследовании "Сахаровских осцилляции" с другими проектами по параметру $s\text{-pixel}*(l_{max})^2$, см. рис.1.

Невысокая стоимость настоящего ПРОЕКТА связана с тем, что он выполняется на уже построенном радиотелескопе, не требуется 130 млн. долл. на вывод в Космос, не требуется обеспечивать космический мониторинг проекта, существующей инфраструктуры САО РАН достаточно. Первый результативный этап исследования СМВА, описанный в ПРОЕКТЕ, предусматривает ис-

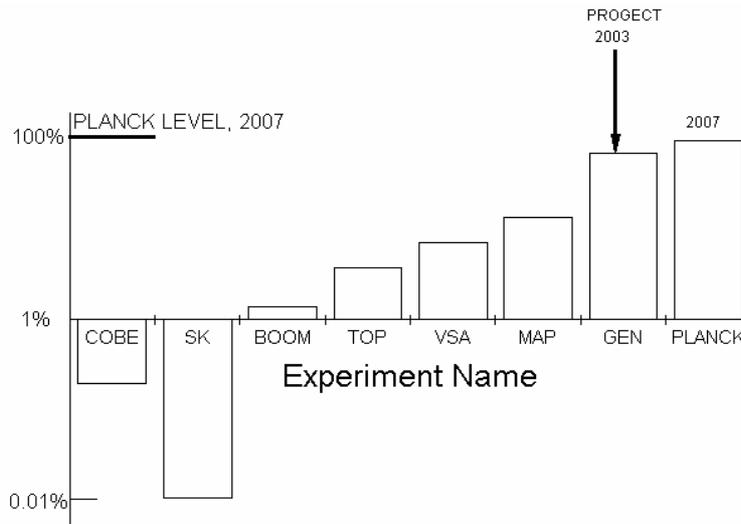


Рис.1. Сравнение проекта ГКВ с другими СМВА проектами по основному параметру $(\sigma\text{-pixel} * l_{\text{max}})^2$. При чувствительности матрицы радиометров, близкой к планируемой в эксперименте ПЛАНК, проект ГЕН имеет близкую к ПЛАНКу результативность, при чувствительности каждого радиометра матрицы, сравнимой с радиометрами ПЛАНКа, результативность будет еще выше.

пользование коммерчески-доступного оборудования, используемого в телекоммуникациях.

Радиоисточники

Внедрение новой технологии матричных радиометров резко повысит потенциал РАТАН-600 во многих областях наблюдательной радиоастрономии. Так, возникает новая возможность исследования дискретных образований в Ранней Вселенной на субмиллианском уровне в самом коротковолновом диапазоне окна прозрачности атмосферы.

Анализ возможностей РАТАН-600 в режиме использования современных радиометров типа планируемых за рубежом, дает, с полным использованием его возможностей, следующее:

1. Все классические радиогалактики типа Лебедь-A (FRII RG) оказываются доступными наблюдениям на любых красных смещениях вплоть до эпохи рекомбинации водорода во Вселенной, красное смещение $Z=1000$ в выбранной для исследований области неба.

2. Все объекты современных каталогов всего радионеба типа GB, PMN, включающие более 100000 объектов, попадающие в поле зрения, будут регистрироваться в этом эксперименте на всех волнах см. диапазона.

3. Все объекты с плоскими спектрами из составляющихся сейчас предельно глубоких обзоров всего неба (NVSS, FIRST) будут также уверенно регистрироваться (не менее 100000).

4. Все богатые скопления галактик с горячим газом, попадающие в поле зрения, могут быть исследованы по эффекту Сюняева-Зельдовича на любых (вплоть до эпохи рекомбинации водорода) расстояниях во Вселенной (не менее 10 000).

5. Используя хорошо разработанную методику радиоселекции ранних массивных звездных систем и оценки их красных смещений, **можно поставить задачу восстановления крупномасштабной структуры Вселенной на красных смещениях 2-4**, что пока невозможно другими методами. Эти оценки могут быть определяющими при выборе реальной модели формирования структуры Вселенной.

Поляризация реликтового излучения

Поляризационные свойства Реликтового фона являются его фундаментальной характеристикой. На масштабах более горизонта на момент рекомбинации поляризация помогает восстановить форму потенциала скалярного поля в первичной вакуумной фазе Вселенной. На малых масштабах она очень чувствительна к физике эпохи рекомбинации ($z=1000$) и к физике еще более ранней фазы возникновения "Сахаровских осцилляций" ($100000 < Z < 1000$). Разные модели Мира дают различную структуру всех параметров Стокса и это предлагается использовать для сравнения теории с наблюдениями. Для регистрации поляризации требуется более высокая чувствительность, однако, у наземных экспериментов имеются и свои преимущества:

1. Шум атмосферы не поляризован.
2. Ни один космический проект (включая «ПЛАНК») не в состоянии измерить мелкомасштабную поляризацию – необходимы крупные зеркала в Космосе. Но уже сейчас ясно, что именно эта поляризация доминирует в поляризованной компоненте фона.

Первые исследования поляризации 3К-фона на мК-уровне были сделаны в России, еще в 1968 г. (Пулково). Сейчас их около 10, многие проекты следующего века предусматривают возможность поляризационных наблюдений, есть и целевые поляризационные проекты.

Проект «Генетический Код Вселенной» нацелен на мелкомасштабную компоненту поляризации фона, где поляризация максимальна.

Сопоставление возможностей ПРОЕКТА со всеми проведенными ранее и планируемыми экспериментами показывает конкурентоспособность РАТАН-600. Как показано в последние годы, данные по поляризации позволяют резко повысить точность определения ряда космологических параметров и снять неоднозначность в оценке.

В соответствии с вычислениями группы «ПЛАНК», точность определения 10 параметров может быть повышена в 10 раз при использовании поляризационных данных совместно с данными по интенсивности.

Выбор оптимальной длины волны

Проблема выбора длины волны является одной из основных. Приходится учитывать частотную зависимость не только многочисленных мешающих фоновых излучений, но и изменение их относительной роли в зависимости от исследуемого углового масштаба (т.е. от поведения пространственного спектра флуктуаций фоновых излучений). В последние годы создалось достаточно обоснованное мнение, что шумы неба минимальны на масштабах "Сахаровских

Осцилляций" в диапазоне 30-300 ГГц (10-1 мм). Это "Галактическое Окно Прозрачности" является основным во всех текущих и планируемых экспериментах. Коротковолновый диапазон особо привлекателен в связи с появлением болометров, которые на порядок чувствительнее СВЧ-радиометров, но в то же время этим болометрам пока недоступны высокоточные поляризационные исследования, и появилась новая опасность со стороны обнаруженной в 1997 г. популяции субмиллиметровых объектов неба. Кроме этого, новые данные АРХЕОПСА указывают на значительную роль пыли на основной волне чувствительных болометров, 2-3 мм. Длинноволновая граница определяется ролью фонового излучения ионизированного газа в Галактике и синхротронным излучением Галактики.

В последние годы возникли опасения, что имеется еще один мощный мешающий источник шума Галактики в см-диапазоне – макромолекулы, ионизация которых фотонами или космическими лучами приводит (при их вращении) к дипольному излучению.

Проведенные на РАТАН-600 исследования структуры и мощности этих компонент со значительно большим, чем ранее разрешением, показали, что с учетом всех новых данных волна 1 см близка к оптимальной. Это открывает новые возможности использования наземных средств исследования. В настоящем проекте волна 1 см выбрана в качестве центральной. Для предельно глубоких исследований может понадобиться некоторая фильтрация мешающих шумов неба – это легко делается кросс-корреляционной обработкой многочастотных массивов данных, учитывающей отличие частотного спектра этих шумов от спектра искомого чернотельного излучения Вселенной. В 80-х годах мы продемонстрировали это в эксперименте ХОЛЮД, теперь эта методика является стандартной для всех планируемых экспериментов. Важно, что все мешающие фоны имеют различное число свободных параметров – 5 и более для пылевой компоненты, 3 для синхротронной компоненты и только 1 для свободно-свободных переходов оптически тонкого газа в Галактике. На волне 1 см доминирует именно этот фон.

Атмосферный шум

Атмосфера достаточно прозрачна на волне 1 см, однако, вариации яркости атмосферы могут намного (в десятки и сотни раз) ухудшать чувствительность радиометров. Классические методы борьбы с атмосферным шумом достаточно известны, начиная с 50-60-х годов. Наиболее полно проблема обсуждалась в России и даны ясные рекомендации. Здесь отметим, что основными являются метод диаграммной модуляции и метод двухчастотного анализа данных (Есепкина, Корольков, Парийский "Радиотескопы и радиометры"). Эти методы имеют свои ограничения, их эффективность зависит от размера радиотелескопа (апертурное осреднение и эффект ближней зоны) и от углового размера исследуемого объекта. Основой двухчастотной фильтрации является корреляция мешающего шума на различных волнах со спектром, отличным от спектра исследуемого излучения. Эта корреляция выше для зеркал большого размера.

Для оценки эффективности метода диаграммной модуляции (двухлучевого сканирования) необходимо знать структурную функцию атмосферного

шума. Для планируемого эксперимента мы провели специальные более глубокие исследования на РАТАН-600 с использованием радиометров, на порядок более чувствительных чем это делалось ранее. Эти исследования дали возможность определить область пространственных частот (или угловых масштабов на небе), выше которой РАТАН-600 свободен от шумов Земли, что эквивалентно выносу его за пределы Земной атмосферы. Оказывается, что масштабы, соответствующие масштабам "Сахаровских Осцилляций", – доли градуса и менее могут исследоваться с Земли с полной реализацией радиометрической чувствительности. Для этих масштабов можно применять современные радиометры предельной чувствительности. Масштабы больше масштаба горизонта на момент рекомбинации (более градуса) требуют выноса радиотелескопа за предела атмосферы. Это заключение сделано для места расположения РАТАН-600, около 1 км над уровнем моря.

Даже без всяких чисток все детали ЗК-фона с масштабами "Сахаровских Осцилляций" менее 0.5° могут исследоваться с полной реализацией флуктуационной чувствительности современных радиометров. Специальных мер по фильтрации "Поляризационного шума" Галактики, яркость которого пропорциональна кубу частоты, применять нет необходимости.

Диаграмма направленности РАТАН-600

Одним из достоинств конструкции РАТАН-600 является малоабберационная фокальная зона, что до сих пор использовалось главным образом для установки приемников различных диапазонов волн и получения моментальных спектров космических источников, а также в режиме слежения источника с помощью подвижной каретки облучателя. В настоящее время на РАТАН-600 ведутся работы по созданию высокоэффективных широкодиапазонных совмещенных облучателей, что наряду с другими достоинствами (единый фазовый центр) высвободит значительную часть фокальной зоны для матричных приемных систем нового поколения. Диапазон углов наблюдений $90-88^\circ$ можно считать оптимальным для выполнения многолучевого обзора? и даже на более низких углах размеры низкоабберационной зоны остаются значительными.

Значения максимумов ДН линейной паразитной поляризации, нормированных к максимуму ДН основной поляризации, для волн 10 и 13.8 мм ($H=85^\circ$) при различных выносах облучателя приведены в табл.3 (напомним, что элемент $M_{13}=0$ для РАТАН-600). Свертка ДН паразитной линейной поляризации с гауссианой масштаба $3' \times 3'$ (по полуширине) дает приведенные в табл.4 значения коэффициента M_{12} для выноса 1 м при различной асимметрии первичного рупора в E- и H-плоскостях по мощности на волне 1 см .

Таблица 3

Вынос из фокуса, мм	Максимумы ДН линейной паразитной поляризации (нормировано к максимуму ДН основной поляризации)	
	$\lambda=13.8$ мм	$\lambda=10$ мм
0	0.225 (-0.225)	0.228(-0.228)
500	0.194 (-0.195)	0.166 (-0.168)
1000	0.111 (-0.118)	0.066 (-0.068)
1500	0.056 (-0.065)	0.031 (-0.027)

Широкая безабберационная фокальная зона РАТАН-600 на высоких углах наблюдений позволяет при максимально плотной упаковке разместить более 500 приемных каналов вдоль фокальной линии облучателя в виде линейной приемной фокальной решетки с многолучевой диаграммой направленности. Запись N независимых приемных каналов вдоль фокальной линии позволит получить значительный выигрыш.

Можно показать, что построение двумерных и трехмерных матричных приемных устройств позволяет добиться увеличения поля зрения РАТАН-600 и в вертикальном направлении. Это существенно расширит угловую полосу глубокого обзора и сократит время проведения Эксперимента за счет одновременного накопления информации по нескольким сечениям обзора. В фокальной области наиболее мощного облучателя тип 5 РАТАН-600 при оптимальном трехмерном заполнении можно установить до 3000 приемных элементов и получить столько же лучей на небе.

Матричные решения

Как показано ранее, особенность РАТАН-600 – малые aberrации в некоторых режимах работы. Для реализации этого преимущества целесообразно использовать антенные решетки в фокальной плоскости РАТАН-600 с максимально возможным числом элементов. Практические шаги в поиске оптимального решения в этом направлении описываются ниже.

Многоэлементная приемная решетка разрабатывалась в настоящее время в двух вариантах:

1) волноводном, с традиционным модуляционным матричным радиометром с внешним пилот-сигналом, диапазон 28-32 ГГц (проект "Марс" в сотрудничестве с НПО "САТУРН", Киев);

2) полосковом, в виде активной антенной приемной решетки, работаю-

щей в режиме полной мощности с "быстрой" калибровкой приемных каналов, диапазон 26-30 ГГц (в сотрудничестве с НПО "Светлана", Санкт-Петербург).

Опытный экземпляр одного радиометрического ствола "МАРС" в 2001г. был установлен в фокусе РАТАН-600 и были проведены первые пробные наблюдения. Чувствительность канала была близка к ожидаемой, но найдены резервы для ее повышения. Обнаружена высокая степень корреляции атмосферных шумов на центральной волне эксперимента 1 см с шумами атмосферы на волне, близкой к атмосферной линии водяного пара, 1.35 см. Высокий коэффициент корреляции (0.999) позволяет надеяться на возможность глубокой чистки шумов атмосферы даже в плохую погоду.

Освоение экономичной матричной технологии с использованием ММС МШУ позволит в будущем максимально использовать широкую безабберационную зону РАТАН-600 и достоинства работы радиотелескопа в многолучевом режиме. Волноводный вариант имеет явные преимущества по шумовым характеристикам, но, возможно, еще долго будет уступать по стоимости и трудозатратам при реализации очень крупных матриц (1000 и более). Сегодня волноводный вариант принят за основной. С 2001 г. уже идет накопление данных на экспериментальной малой матрице (6 волноводных каналов с тремя усилителями), получены первые астрофизические результаты и начато накопление данных в поляриционном режиме на этой матрице одновременно с накоплением данных на всех других частотах (см. ниже), близка к завершению 32-волноводная матрица.

Выбор режима наблюдений и размера исследуемой области неба

Около 82% неба доступно исследованиям с помощью РАТАН-600. Чем больше область обзора, тем менее влияние на точность измерений конечности числа независимых элементов разрешения (проблема "cosmic variance"). Однако при фиксированном общем времени накопления сигнала уменьшается точность определения яркости каждого элемента разрешения. Для каждого доплеровского пика можно найти оптимальный размер области неба. Чем выше чувствительность радиометра, тем большую область неба удастся исследовать. Оптимум достигается при условии, когда отношение сигнал/шум=1 на каждом пикселе. При этом относительная ошибка в определении главного параметра, S_1 , амплитуды пространственного спектра мощности реликтового фона, оказывается минимальной. Ясно, что при идеальном приемнике все определяется только "cosmic variance", и можно исследовать все небо с точностью, определяемой только числом элементов, если пиксельная чувствительность близка к S_1 . Для вариаций реликтового фона очень большого масштаба (например, для квадруполя) даже с идеальным радиометром нельзя получить точность выше 40%, для проверки гипотез нужно заставить Вселенную "рождаться" много раз! Для больших значений l ситуация резко упрощается. Более того, можно изменить постановку задачи и ограничить точность измерения космологических параметров разумной величиной, скажем, 1-3%. Считается, что теория пока не готова к более точным проверкам. Тогда можно найти для заданной чувствительности радиометра минимальный размер исследуемой области, где достигается эта

точность за выделенный для эксперимента интервал времени. В этом случае, если f_{sky} – доля неба, исследованного с пиксельной чувствительностью, близкой к Cl , имеем:

$$dCl/Cl = [(2/(2l+1)f_{sky})^{1/2}].$$

Ясно, что единого для всех l решения нет, и разные группы решают проблему по-разному. Для всех космических проектов, как правило, оптимизируется скорость сканирования диаграммы по небу. Для РАТАН-600 наиболее простой режим - режим неподвижного относительно Земли инструмента. Скорость перемещения диаграммы по небу определяется вращением Земли, и время накопления сигнала от каждого пикселя размером $100/l$ градусов за 1 день наблюдений составляет $(100/l) * 4' \sec(\delta)$.

При $(Cl * l * (1+1)/2\pi)^{0.5} = 70$ мкК отношение сигнал/шум=1 за сутки достигается при флуктуационной чувствительности радиометра или матрицы около $1 \text{ мК сек}^{1/2}$ для всех прошедших через диаграмму радиотелескопа пикселей при $\cos(\delta)=1$ и с соответственно меньшей чувствительностью при исследовании областей неба с большим склонением. Число суточных пикселей составляет:

$$Nd = \cos(\delta) * 360 / (100/l).$$

Таким образом, за одни сутки на одном экваториальном сечении при любой чувствительности радиометра нельзя получить точность определения спектра мощности реликтового фона Вселенной выше

$$dCl/Cl = [1/Nd]^{1/2} = [1/(\cos(\delta) * 360 / (100/l))]^{1/2}.$$

Ограничив себя разумными пределами по точности определения пространственного спектра мощности ЗК-фона, 1-3%, можно найти размеры минимальной области неба, необходимой для достижения требуемой точности эксперимента. При работе с радиометрами высокой чувствительности эта область может быть значительно меньше, чем при стандартной оптимизации на минимум значения dCl/Cl . Так как каждая компонента спектра независима, то можно повысить чувствительность, осредняя данные по интервалу $dl = l_{max} - l_{min}$. С другой стороны, наличие систематических эффектов, включая абсолютную калибровку данных, практически ограничивает точность измерений цифрой 3-5% независимо от времени накопления сигнала. Поэтому поиск компромисса по области неба оказывается зависимым от многих плохо формализуемых факторов.

С доступной уже сегодня радиометрической аппаратурой за время, близкое к стандартным временам интегрирования в самых крупных экспериментах следующего века, достичь этой точности можно по основным космологическим параметрам при исследовании около 1% неба.

Подготовка отражающей поверхности радиотелескопа к Эксперименту

К настоящему времени выполнены все геодезические работы по формированию высокоточной отражающей поверхности нового облучателя типа 5, на который ляжет основная нагрузка в Эксперименте. Среднеквадратичная точность привязки панелей поверхности облучателя типа 5 была доведена до 0.2 мм, что обеспечит минимальный вклад рассеянного фона вторичного зеркала в Эксперименте.

Точность отражающей поверхности 3-х секторов РАТАН-600 (Северного, Западного и Южного) в три последних года была существенно улучшена с помощью "переобшивки" поверхности щитов с учетом рабочей волны Эксперимента – 10 мм. К настоящему времени завершена "переобшивки" и Плоского отражателя. Среднеквадратичная ошибка поверхности снизилась в результате в 5-8 раз, что значительно уменьшило вклад широкого поля рассеяния отражающей поверхности Главного зеркала на волне 10 мм.

В табл.4 приведены оценки рассеянной мощности на волне 10 мм для основных угловых масштабов на небе, соответствующих характерным (выделенным) масштабам поверхности щита до и после "переобшивки" Северного сектора РАТАН-600 по результатам геодезических измерений и наблюдениям Солнца на волне 3.2 мм.

Таблица 4

Угловой масштаб	Доля рассеянной мощности		Масштаб поверхности щита	Примечания
	До переобшивки	После переобшивки		
>50'	< 3 %	<3 %	<20 см	Матовое рассеяние
40'- 50'	> 49 %	< 6 %	20 см	Расстояние между юстировочными винтами
13'	>4 %	< 2 %	70 см	Связан с кривизной щита
Все масштабы	>58 %	< 12%	Все масштабы	

Существенное уменьшение рассеянного фона Главного и Вторичного зеркал РАТАН-600 является важным фактором снижения вклада наземных фоновых эффектов на пути подготовки к Эксперименту по исследованию 3К-фона.

Проблема реализации флуктуационной чувствительности

Эта проблема остро стояла в прошлые годы для всех экспериментальных групп. Но в последние годы ситуация упростилась – появились коммерчески доступные радиометры с чувствительностью 0.3 мК/сек, которые стали основой всех экспериментов следующего поколения (как наземных, так и космических). В России аналогов таких радиометров нет. Радиометры РАТАН-600 являются лучшими в России, но на порядок хуже радиометров, использующих дорогостоящие InP НЕМТ-транзисторы нового поколения. Стоимость таких радиометров 150-200 тыс. долларов США, но для достижения предельной чувствительности во многих проектах предусматривается установка нескольких радиометров в фокальной плоскости радиотелескопа (4 шт. в проекте ПЛАНК на волне 1 см и еще больше на мм-волнах). Дальнейшее повышение чувствительности достигается длительным накоплением сигнала. Проект ПЛАНК (запуск в 2007 г.) предусматривает накопление от 14 месяцев до нескольких лет.

РАТАН-600 подготовлен для использования радиометров предельной чувствительности и после установки специальных экранов площадью около 8000 кв.м, вклад излучения Земли в температуру системы уменьшен до значений менее температуры неба на центральной волне эксперимента 1 см.

Число радиометров, которые можно установить в фокальной плоскости РАТАН-600, зависит от высоты исследуемой области над горизонтом. Предельные значения достигаются на высоких углах и составляют более 500 при использовании одномерных матричных радиометров и в несколько раз больше в случае двумерных (многорядных) матриц. Расширение безаберрационного поля РАТАН-600 до предельных значений по всему небу возможно в режиме РАДИОШМИДТ-телескопа при использовании фазированных решеток в фокальной плоскости, что было опробовано на РАТАН-600 ранее. Даже простые варианты одномерных фазированных решеток позволят реализовать и второй важный параметр эксперимента – иметь предельно большое число элементов разрешения на небе за одно и то же общее время проведения эксперимента. Возможность установки столь большого числа радиометров резко отличает РАТАН-600 от всех других рефлекторных антенн и позволяет в принципе реализовать чувствительность (и число одновременно исследуемых элементов разрешения) в десятки раз более высокую, чем планируется в самых крупных экспериментах (ПЛАНК, 2007 г., более 1 млрд. долл. США). Реализация этих предельных возможностей РАТАН-600 возможна при повышении стоимости ПРОЕКТА до нескольких процентов от стоимости проекта ПЛАНК. Как показано в проекте ПЛАНК, значительную часть проблем космологии и физики высоких энергий можно решить с чувствительностью, близкой к 0.3 мК/сек, а учитывая практически неограниченное разрешение РАТАН-600, продвинуться гораздо дальше по пространственным масштабам l . Настоящий проект предусматривает выделение крупного этапа исследований интенсивности и поляризации 3К-фона с рекомендованной теоретическими группами чувствительностью. В принципе, реализация предельных возможностей РАТАН-600 возможна уже в текущем десятилетии 21 века.

Требуемая чувствительность (0.3мК/сек) может быть достигнута на ра-

диотелескопе РАТАН-600 либо установкой нескольких достаточно дорогих криорациометров предельной чувствительности (стандартный вариант для проектов типа ПЛАНК), либо, используя особые, не имеющие аналогов, геометрические и электродинамические свойства РАТАН-600, реализовать ту же чувствительность установкой в его фокусе многоэлементного матричного радиометра с использованием серийно выпускаемых относительно дешевых малошумящих микрочипов-усилителей, разработанных для систем наземно-космической связи, работающих при комнатной температуре. Стоимость вложений ведущих западных фирм в разработку и создание монолитных интегральных (ММИС) технологий, широко используемых при производстве чипов, и в уменьшение шумов ММИС-усилителей составляет несколько миллиардов долларов США, что существенно снижает требуемые расходы на реализацию проекта.

Анализ показывает, что этот путь пока значительно дешевле (и проще в эксплуатации). Пробные партии таких малошумящих ММИС-усилителей используются для построения матричных приемных систем в России (НПО "Светлана") и Украине (НПО "Сатурн"). Проведенные испытания 8-элементной решетки в микрополосковом исполнении с ММИС МШУ ("Светлана") подтверждают перспективность их использования в многоэлементных приемных системах, но с меньшей чувствительностью. Никаких принципиальных проблем на пути реализации этого варианта нет, его стоимость будет составлять менее одного процента от стоимости приемных систем в космическом исполнении, создаваемых для проекта ПЛАНК. В настоящее время имеется договоренность с западными фирмами – производителями ММИС МШУ – на поставку необходимых комплектующих на весь проект. Первый крупный модуль с 32-мя входными волноводами и 16 МШУ-усилителями уже изготовлен (см. рис.2), и при наличии финансирования может быть размножен, по крайней мере, до 128 усилителей (256 входных волноводов). Дальнейшее (на порядок) повышение чувствительности возможно при решении проблемы охлаждения входных каскадов до водородного уровня. Крупный прорыв в создании больших болометрических матриц с чувствительностью на порядок более высокой, чем лучшие криорациометры на НЕМТ-транзисторах, заставляет внимательно следить и за этим направлением.

Итак, проблема реализации необходимой в Эксперименте радиометрической чувствительности на уровне проекта ПЛАНК достаточно просто решается при получении средств на оплату комплектующих и трудозатрат в организациях-исполнителях, с учетом того, что РАТАН-600 имеет размер безаберрационной зоны в фокальной плоскости до 4.8 м (облучатель №5, специально спроектированный для больших матриц). Важно, что при решении задачи построения приемных устройств для целей Проекта существенно повышается технологический уровень организаций-исполнителей, осваивающих новейшие технологии, применимые в области создания современных приемных средств для наземно-космических телекоммуникаций.

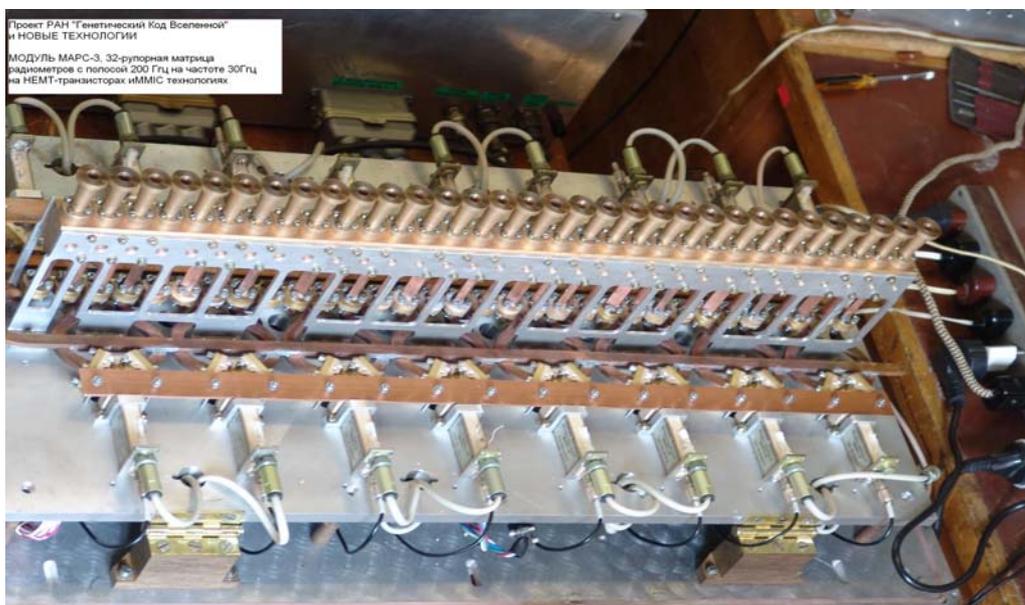


Рис 2. 32-волноводная матрица на волне 1 см на базе InP HEMT-транзисторов и MMIC- технологии, подготовленная для установки вдоль фокальной линии нового вторичного облучателя (тип V). Общая полоса приема составляет около 100 ГГц, чувствительность близкая к чувствительности радиометра, готовящегося для эксперимента PLANCK Surveyor Mission, 2008 г., на той же волне. Для полного проекта предполагалось иметь 8 таких модулей (256 волноводных входов).

Проблема разрешающей способности

Проблема разрешающей способности является одной из самых трудных в космических экспериментах. Чем выше разрешение, тем точнее определяются значения C_l , а, следовательно, и все космологический параметры. Более того, поляризационные свойства реликтового фона можно исследовать только с высоким разрешением. РАТАН-600 снимает эту проблему полностью – разрешающая способность его на центральной волне эксперимента по уровню половинной мощности составляет $0.07 \text{ угл. мин} \times 0.8 \text{ угл. мин}$ со слабым рассеянным фоном в телесном угле $0.07 \text{ угл. мин} \times 3.5 \text{ угл. мин}$. Поэтому для всех масштабов больше 3.5 угл. мин устанавливается термодинамическое равновесие между небом и нагрузочным сопротивлением – антенная температура оказывается близка к яркостной температуре. Более того, даже одномерное высокое разрешение позволит значительно полнее, чем в экспериментах следующего поколения типа "ПЛАНК", исследовать дискретные образования в ранней Все-

ленной и определять с секундной точностью их координаты.

Наземные методы апертурного синтеза решают проблему разрешения, однако, связь между антенной и яркостной температурой ухудшается пропорционально отношению физической площади к синтезируемой, $S_{\text{физ}}/D^2$. Компенсировать эти потери можно только увеличением времени экспозиции сигнала, которое уже увеличивается пропорционально квадрату потерям в сигнале. Наконец, новые крупные параболические наземные зеркала имеют достаточное разрешение для выделения мелкомасштабной анизотропии, однако, меньше чем РАТАН-600 защищены от атмосферного шума и не могут быть использованы в течение нескольких лет только для исследования анизотропии 3К-фона.

Информационное обеспечение Проекта

Информационное обеспечение Проекта включает сбор данных, первичную обработку данных, хранение исходных массивов, передачу данных для глубокой обработки и длительного хранения по скоростным информационным сетям, глубокую обработку данных, организацию универсальной базы данных эксперимента, скоростной доступ к ней заинтересованных пользователей.

Уникальная информация о реликтовом фоне Вселенной, получаемая в процессе эксперимента, не будет в обозримое время иметь аналогов и составит основу для многих исследований – это, по существу, «ГЕНОФОНД» Вселенной.

Первичное формирование «ГЕНОФОНДА» осуществляется на РАТАН-600, где исходные данные после предварительной обработки поступают в локальную Базу данных САО РАН, образуя локальный Архив исходных данных. Глубокая многомерная обработка массивов данных проводится в САО РАН, Санкт-Петербурге и в Ростове-на-Дону (Ростовский государственный университет) и в Кэмбридже (Астрономический институт). С этой целью используются пакеты программ, разработанные в зарубежных центрах обработки данных по анизотропии 3К-фона, и отечественные высокопроизводительные вычислительные технологии. Реализация скоростного (128-256 кбит/сек) доступа РАТАН-600 к сети Интернет позволит оперативно сбрасывать накопленные данные в универсальную базу данных ИВВиБД для глубокой обработки и скоростного доступа к ней основных участников проекта: РГУ, МГУ, СПбГУ, АКЦ ФИАН и др.

Разработка систем сбора и первичной обработки данных, а также локальной базы данных проводится силами САО РАН.

Первичные потоки данных будут поступать круглосуточно из системы сбора на базе сигнальных процессоров в течение 3 лет со скоростью 10 Гц. При наличии 256-1800 приемных каналов (12 разрядов) скорость поступления исходных данных будет поддерживаться на уровне 1-3 Гбайт/сутки. Первичная редукция данных уменьшает их объем в 1-10 раз в зависимости от характера проводимой обработки данных. Суточный поток данных после их первичной редукции составит 0.3-3 Гбайта. Необходимая скорость устойчивой транспортировки данных для последующей глубокой обработки и хранения составит до 10-50 кбит/сек.

Кросс-корреляционная обработка каналов матричного радиометра на

основной волне наблюдений позволяет отфильтровать атмосферный и низкочастотный инструментальный шум (первичная редукция). Дальнейшая обработка данных проводится робастными алгоритмами и суммированием многодневных данных по одному и тому же сечению неба. Фильтрация шумов Галактики и Метагалактики (дискретных радиисточников) проводится с помощью кросс-корреляционного и Гаусс-анализов осредненных массивов, полученных на различных волнах и с использованием международных каталогов. Все перечисленные процедуры освоены на малых объемах данных в САО РАН. Весь эксперимент прошел этап компьютерного моделирования.

Мы видим, что предельно глубокая программа исследований анизотропии ЗК-фона с применением новых технологий позволяет значительно продвинуть многие проблемы внегалактической астрономии, резко поднять потенциал основного наблюдательного центра России в коротковолновом диапазоне волн, начать исследования по программам следующего поколения в области предельно далекого Космоса (поляризационные и спектральные наблюдения на субмикросекундном уровне, новые комплексные исследования совместно с 6-м телескопом САО в радио- и ИК-областях и т.п.).

Состояние проекта на начало 2006 г.

1. Установлены специальные охлаждающие радиотелескоп экраны площадью около 8000 кв.м для защиты входных СВЧ-трактов от излучения Земли и горячей атмосферы.

2. Значительно (до 0.2 мм) повышена точность панелей основной поверхности 3-х секторов РАТАН-600 (7.4 м × 450 м каждый) и Плоского отражателя, теперь они могут быть использованы вплоть до 30 ГГц без ощутимых потерь. Существенно (в 7-8 раз) снижено широкое поле рассеяния отражающей поверхности радиотелескопа на волне 10 мм, что особенно важно для решения фоновых задач.

3. Сооружено новое большое вторичное зеркало с фокальной линией длиной 4.8 м, что допускает использование крупных матричных радиометров нового поколения. Поверхность зеркала сформирована с точностью 0.2 мм.

4. Сооружены новые высокоточные (0.3 мм) рельсовые пути на Южном и Северном секторах РАТАН-600. Это позволяет использовать их для позиционирования нового тяжелого вторичного зеркала при наблюдениях на самой высокой частоте ПРОЕКТА, 30 ГГц.

5. Начата пробная эксплуатация в режиме наблюдений систем автоматического позиционирования и горизонтирования облучателя типа 1 с лазерной рулеткой и лазерным уровнем горизонта, что повышает точность Эксперимента и уменьшает переменную составляющую вклада паразитных фоновых эффектов в процессе длительного Эксперимента.

6. Завершено создание многочастотной фокальной решетки нового поколения с 6-ю радиометрами с чувствительностью несколько мКсек^{1/2}. Эта решетка уже используется для накопления данных по поляризации неба. На основе опыта работы с ней создан рабочий модуль с 32-мя волноводными входами и подготовлена оснастка для оперативного изготовления всех необходимых волноводных элементов в любом количестве, позволяющие измерять последова-

тельно все поляризационные параметры ЗК-фона (I,U,Q).

7. Проведены значительно более качественные исследования атмосферных шумов и оценена эффективность их фильтрации с использованием методов "ближней зоны". Показано, что особо просто фильтруются масштабы, соответствующие $l > 1000$. Именно эти масштабы недоступны миссии ПЛАНКА.

8. Начаты эксперименты с матричными радиометрами двух типов на основной частоте 30 ГГц с использованием новейших технологий, однако сроки их завершения полностью зависят от объемов финансирования. Первый образец одного радиометрического ствола матрицы с волноводным входом прошел испытания в фокусе РАТАН-600 и показал удовлетворительные результаты. Прошли лабораторные испытания приемные модули 8-элементной активной антенной решетки в микрополосковом исполнении линейной и круговой поляризации: шумы, полоса, согласование, взаимное влияние элементов, усиление оказались близкими к расчетным значениям.

9. Исследована фокальная зона РАТАН-600, доступная для размещения многоэлементных матричных приемных систем. Показано, что в ряде режимов радиотелескопа до 3000 приемных элементов в микрополосковом исполнении можно разместить в трехмерной фокальной решетке оптимальной конфигурации, что может значительно повысить как интегральную чувствительность, так и поле зрения радиотелескопа. Вычислены элементы матрицы Мюллера для предполагаемого режима наблюдений вблизи зенита с большими выносами СВЧ-облучателей от оси радиотелескопа. Показано, что при проведении наблюдений поляризации "Сахаровских Осцилляций" требования к симметрии диаграмм в E- и H-плоскостях незначительны и вполне реализуемы инструментально.

10. Выполнено макетирование 16-ти канальной цифровой системы сбора нового поколения на сигнальном процессоре в целях последующего проектирования многоканальных систем сбора на сигнальных процессорах и приобретения опыта работы с матричными приемными системами.

11. Успешно завершено компьютерное моделирование Эксперимента нового поколения на РАТАН-600 и показана эффективность использования его при исследовании анизотропии ЗК-фона на субградусных угловых масштабах. Показана эффективность использования РАТАН-600 как поискового инструмента при исследовании эффекта Сюняева-Зельдовича от предельно далеких скоплений галактик и возможность создания "SZ-машины" в режиме обзоров неба на Южном секторе с перископом при наличии большой матрицы чувствительных радиометров.

12. Создана уточненная модель диаграммы направленности во всех параметрах Стокса и проведены успешные эксперименты по проверке этой теории. Эксперимент согласуется с теорией вплоть до уровня -20 дБ. Проведены исследования широкого рассеяния в инструменте по наблюдениям Солнца до уровня ниже -70 дБ на всех волнах радиометрического комплекса в телесном угле около 1 радиана вокруг максимума диаграммы направленности.

13. Проведено исследование шума от фоновых радиоисточников, оценена их роль на центральной волне эксперимента по наблюдениям на РАТАН-600, внедрены методы многократного снижения этого шума с использованием осо-

бенностей диаграммы РАТАН-600. Эксперименты на РАТАН-600 показали, что основной шум от радиоисточников на см-волнах связан с популяцией, уже зарегистрированной в крупных дециметровых обзорах неба (NVSS, FIRST). Вклад специфической для см-диапазона популяции, не регистрируемой в дециметровом диапазоне, мал, и может проявиться только в экспериментах следующего поколения.

14. Проведен многочастотный разрез фонового излучения Галактики с чувствительностью, намного выше, чем у прежних обзоров. Это позволило впервые выявить мелкомасштабные вариации яркости Галактики на нескольких частотах и попытаться оценить вариации спектрального индекса излучения Галактики от точки к точке. Обнаружено значительное расхождение с моделью синхротронного излучения, принятой группой WMAP. Это могло отразиться на оценках томсоновского рассеяния до эпохи вторичной ионизации. Наблюдения на дециметровых волнах могут быть использованы для уточнения роли Фарадей-эффекта и для прогнозирования поляризационной структуры галактического излучения на частотах СМВ-экспериментов. Столь детальное исследование с высокой чувствительностью и с высоким разрешением проведено впервые. Для СМВ-экспериментов важно, что частотное «окно прозрачности» Галактики для реализации мкК-чувствительности шире, чем предполагалось ранее, и включает в себя короткий см-диапазон, доступный для наземных экспериментов.

16. Проведены первые глубокие исследования предсказанного радиоизлучения макромолекул и показано, что его вклад в фоновое излучение Галактики мал на основной частоте Эксперимента и на наиболее интересных (малых) угловых масштабах, $l \sim 1000-3000$. Это открывает перспективу глубоких исследований на РАТАН-600, где опасность проникновения этого шума казалась максимальной.

17. Исследованы ограничения на изучение поляризационных свойств 3К-фона с помощью РАТАН-600 и показана возможность реализации полной флуктуационной чувствительности РАТАН-600 на всех масштабах "Сахаровских осцилляций".

18. В 1999 г. началась финансовая поддержка ПРОЕКТА – международная (ИНТАС) и Российская (РФФИ, КОСМИОН), в 2000 г. – первые поступления от Президиума РАН и СПб Научного Центра РАН.

19. Опыт проведения глубоких многочастотных обзоров на РАТАН-600, начатых с 1980 г., показал полезность побочной информации – это, прежде всего, выявление новых радиоисточников см-диапазона (см. Эксперимент ХОЛЮД, проект Большое Трио). В сочетании с оптическими данными (многоцветная спектрофотометрия, спектроскопия) оказалось возможным получать не только информацию об эволюции радиоисточников и массивных черных дыр в их родительских галактиках, но и делать независимые оценки по динамическим свойствам Вселенной, с выявлением роли темной энергии на больших красных смещениях, вплоть до эпохи формирования радиогалактик первого поколения, $z > 4-5$.

19. Освоены методы глубокого подавления помех в каналах, существенных для учета фоновых излучений Галактики, и подготовлено оборудование для мониторинга помеховой обстановки на РАТАН-600.

20. Начаты работы по подготовке к экспериментам следующего поколения (включая спектральные свойства реликтового излучений) – появился вспомогательный проект "ОКТАВА" для регистрации и исследования всего диапазона РАТАН-600, вплоть до метрового диапазона.

Состояние проблемы исследования анизотропии 3К-излучения к 2006 г.: после "БУМЕРАНГА", "МАКСИМА" и WMAP

Уже к началу реализации ПРОЕКТА (2001 г.) появились данные «БУМЕРАНГа» и «МАКСИМА» – двух проектов последних лет. Они настолько выделяются по качеству данных, что у непрофессионалов возникает ощущение, что исследования анизотропии 3К-фона завершены и получены все сведения, которые можно было рассчитывать получить из изучения реликтового фона Вселенной. Не только крупнейший проект 2002 года США (WMAP), но и центральный международный проект ближайшего десятилетия (ПЛАНК) уже не имеют той привлекательности, которая была в 90-е годы XX века. Однако после опубликования в текущем году данных WMAP выяснилось, что далеко не все ясно, и возникли совершенно новые проблемы, без решения которых нельзя построить современную Космологию.

Покажем, почему космологи и физики считают как раз наоборот, что исследования только начинаются, и интерес к СМВ-экспериментам стремительно возрастает.

Покажем, например, что реально получено **COBE**, **БУМЕРАНГОМ**, **МАКСИМА** и **WMAP**.

По признанию авторов COBE, чувствительности (радиометры имели $55\text{мКсек}^{1/2}$) не хватило для точного определения дипольной компоненты, не связанной с Космологией и найти указания на существование квадрупольа, амплитуда которого до сих пор вызывает дискуссию (от нескольких мК до 20 мК).

Бумеранг и МАКСИМА впервые измерили с высокой точностью амплитуду и положение первого Сахаровского пика, $l=220$, и нашли признаки следующих пиков. Фундаментальность этого результата трудно переоценить – Вселенная действительно оказалась плоской и заполненной неотожествленной массой и энергией. Исследованы небольшие площадки на небе, составляющие $<1.6\%$ от небесной сферы, и сделаны новые оценки ряда космологических параметров, по возможности – независимо от других источников информации. В таблице 5 приведены значения этих параметров по уточненным в 2001 году (Netterfield et al, astro-ph/1044460, 33 автора из 13 НИИ 4-х стран) данным.

Видно, что прогресс в точности оценки всех параметров космологии оказался незначительный.

WMAP подтвердил данные Бумеранга и МАКСИМА, несколько улучшив их, повысил точность оценки второго и третьего пика, сделав предложенные ранее космологические параметры более уверенными. Кардинально новым явилось утверждение о расхождении с принятой в космологии величиной том-

соновского рассеяния между эпохой рекомбинации и наблюдателем (по данным фонового поляризованного излучения) - она оказалась в 3 раза больше, и пришлось рассмотреть новую космологию с «двойной вторичной ионизацией» при $z \sim 20$ неизвестными источниками ионизации и при $z \sim 7$ (в эпоху массового звездообразования и возникновения ядерной активности). Это основное открытие WMAP сегодня оспаривается – в том числе и новыми данными РАТАН-600, показавшими грубость учета синхротронного излучения Галактики.

Таблица 5

Параметр	Новые данные	Погрешность оценки	Старые данные	Погрешность оценки	ПЛАНК 2008 г
Ω_{tot}	0.93-1.27	13%	1	15%	1%
Ω_{bh}^2	0.018-0.027	20%	0.023	10%	0.7%
Ω_{Δ}	0.2-0.8	60%	0.72	10%	2%
$\Omega_m h^2$	0.06-0.19	48%	0.20	30%	1.7%
h	0.46-0.76	24%	0.63	10%	2%
$\tau_{Thomson}$	0-0.2	100%	<0.2	50%	15%
Universe Age	12.1-18.4 млрд. лет	21%	14.9	8%	2%
ns	0.87-1.13	13%	1	10%	3%

Как видно, за исключением некоторого повышения точности определения полной плотности Вселенной, все параметры близки к полученным ранее, а погрешности их оценки не намного выше имевшихся ранее. Поэтому считается, что главное достижение БУМЕРАНГА - подтверждение правильности наших представлений о горячей Вселенной и наиболее уверенное доказательство существования акустических колебаний в период рекомбинации водорода. Именно это и придает энтузиазм всем группам, работающим над проектами ближайших лет – качественный прогресс близок и более серьезно и энергично стали обсуждаться возможные эксперименты ПОСТ-ПЛАНКОВСКОГО времени. Теория и модельные оценки предсказывают с каждым годом все новые важные эффекты, которые должны регистрироваться в фоновом излучении Вселенной, но реальная возможность их увидеть зависит как от чувствительности радиометров, так и от умения правильно учитывать многочисленные фоновые излучения атмосферы, эклиптики, Галактики, Метагалактики.

Если в первом обнаружении реликтового излучения необходимо было

выделить изотропный 3К-фон Вселенной (это удалось сделать через ~20 лет после его предсказания), то уже дипольный компонент анизотропии потребовал измерения сигнала в 3 мК. На это ушло еще около 15 лет. Еще четверть века потребовалось для уверенного обнаружения основного Сахаровского пика с амплитудой около 100 мК. Сегодня появились первые оценки поляризации эпохи рекомбинации, с амплитудой несколько мК. Несколько групп активно готовятся к поиску обязательных в принятой сейчас Λ CDM-модели реликтовых флуктуаций грав. Волн – этот эксперимент не менее фундаментальный, чем обнаружение реликтового электромагнитного излучения. Грав. волны должны приводить к поляризации 3К-излучения на уровне 0.2 мК. Наконец, уже начали обсуждать возможности спектральных исследований реликтового излучения, где эффекты могут быть на порядок еще более слабые.

Эксперимент ПЛАНК сформулирован в 1996 г., и он объединил десятки групп в разных странах в надежде качественно продвинуться в понимании фонового излучения Вселенной. 114 радиометров предельной чувствительности в диапазоне от 1 см до 1 мм будут запущены в феврале 2008 г. (ранее указывался срок 2007 г.). Данные для мировой общественности будут доступны в 2012 году. Однако уже сегодня ясно, что ни чувствительности, ни разрешения ПЛАНКА недостаточно для решения всех проблем, а по ряду проблем уже получены достаточно надежные результаты (МАКСИМА, БУМЕРАНГ, WMAP, SWI и др.). Данные о поляризации 3К-фона оказались наиболее востребованными сегодня, и одной из основных целей проекта ГЕН является соучастие в поляризационных измерениях, как по уточнению мешающих этим измерениям фоновым излучениям не реликтового происхождения, так и по получению данных о реликтовой поляризации на масштабах, недоступных ПЛАНКу ($l > 1000$). Проект ГЕН предусматривал получение более полной информации о синхротронном фоновом излучении Галактики – основном факторе, ограничивающем поляризационные исследования Ранней Вселенной. Как отмечено недавно, для правильного учета синхротронного излучения совершенно недостаточно знать пространственный спектр мощности и средний спектральный индекс его – необходимо знать спектр его в каждой точке небесной сферы и, более того, предсказать и ориентацию поляризации этого излучения, которая подвержена эффекту Фарадея. Предполагается, что многочастотные данные РАТАН-600 проводимого сейчас предельно глубокого RZF-обзора площадки неба размером около 500 кв. град. будут самыми точными по фоновым излучениям Галактики к моменту завершения миссии ПЛАНКА и позволят, совместно с данными ПЛАНКА на более высоких частотах, провести тщательное отделение реликтовых компонент фонового излучения от других, включая наиболее опасные – галактический синхротрон, дискретные радиоисточники, макромолекулы.

О новых эффектах последних лет

Экспериментально обнаружен не предсказанный теорией избыточный шум в области Силковского затухания – на масштабах с $l \sim 3000 - 5000$. Необходимы более качественные эксперименты с высоким разрешением, и проект ГЕН

сегодня включился в них. Этот шум может быть связан с неизвестной пока популяцией радиоисточников, с рассеянием реликтовых фотонов на горячем газе в скоплениях галактик первого поколения, с синхротронным излучением эпохи рекомбинации или с «протовойдами» реликтового происхождения.

Обнаружено влияние грав. потенциала эволюционирующей крупномасштабной структуры Вселенной на распространение света от эпохи рекомбинации (ISW-эффект).

Значительно уточнено влияние SZ-эффекта – кроме SZ-шума от скопленных галактик, возможен крупномасштабный SZ-шум от LSS, и даже шум от SZ-эффекта, возникающего при рассеянии ЗК-фотонов на релятивистском газе в радиогалактиках. Оценки по проекту SKA показывают, что около 50% реликтового неба может быть покрыто радиогалактиками различной радиосветимости.

Неожиданно появились теоретические оценки по роли внегалактического синхротронного излучения, которое может возникать при формировании крупномасштабной структуры Вселенной, начиная с эпохи инфляции («протовойды» при $z=1000$, Subramanian K., Barrow J., Phys.Rev.Letters, 1998, 81 issues 17, 3575; Ord L., Kunz M., Mathis J., Silk J., Astro-ph/0501268) и по синхротронному излучению, генерируемому в период рекомбинации водорода на альфвеновских волнах (Yamazaki D., Ishiki K., Kajino T. Ap.J. 2005, 625, L1). Важно, что этот эффект не замывается томсоновским рассеянием и может доминировать на мелких масштабах, в области Силковского затухания ($l > 3000$). Предсказаны ощутимые вариации яркости синхротронного излучения, генерируемого ударными волнами в межгалактической среде (Waxman E., Loeb A., Ap.J.2000, 545, L11-L14, Keshet, Waxman, Loeb Ap.J. 2004, 617 2004).

В 1998 г. предсказано мощное дипольное излучение макромолекул в радиодиапазоне, возможно, превосходящее на порядок анизотропию реликтового фона. Это излучение должно быть поляризовано и может быть препятствием для экспериментов по реликту. Максимум этого излучения попадает в диапазон РАТАН-600 (1-3 см) и сейчас идет накопление данных для подтверждения (или опровержения) этой теории.

Предложено оценивать реликтовое магнитное поле по Фарадей-эффекту в эпоху рекомбинации, и частотная зависимость реликтовой поляризации здесь необходима. Эффект может быть ощутимым по наблюдениям в диапазоне РАТАН-600, 1–6 см.

С каждым годом становятся понятнее требования к спектроскопии ЗК-фона, и здесь российский приоритет очевиден. Дубрович и Госачинский в САО уже приступили к поисковым исследованиям на РАТАН-600 в этой новой области.

Перечисленные новые направления будут учтены при планировании наблюдений на РАТАН-600 в ближайшие годы, в том числе в рамках программы ГЕН.

Поиск новых методов

Методической находкой оказалось обнаружение качественного различия в статистических свойствах поляризованного излучения синхротрона (и макромолекул) и поляризованного излучения, возникающего в эпоху рекомбинации,

при томсоновском рассеянии. И в том, и в другом случае статистические свойства $\langle U \rangle$ и $\langle Q \rangle$ одинаковы, но некоторые комбинации этих параметров Стокса абсолютно различны. Т.н. «вихревая» компонента $\langle B \rangle =$ «скалярной» компоненте $\langle E \rangle$ для синхротрона (и макромолекул), но $\langle B \rangle = 0$ для томсоновского рассеяния. Это упрощает отделение реликтовой поляризации от галактической.

Быстро осваивается матричный метод (аналог ССД в оптике). Для обычных параболоидов это – последняя возможность поднять их потенциал (прежде всего, расширить поле зрения). Для РАТАН-600 в стандартных режимах наблюдений в меридиане это прежде всего сокращение времени накопления сигнала в N раз (N – число элементов в матрице). Для накопления сигнала от слабого источника, многосуточное накопление заменяется на накопление в течение времени прохождения изображения источника через фокальную матрицу (~1мин времени). Переход к криболометрам позволяет еще на порядок-два поднять чувствительность, и сегодня реализуется несколько проектов по исследованию поляризации фонового излучения на этом принципе с числом элементов до 1000 и с чувствительностью на 1 элемент $20 \text{ мКsec}^{1/2}$. (см. ОРСЭЙ, 2006). Максимальное (в $\sim N$ раз) расширение суточного поля зрения на РАТАН-600 достигается в азимутальных наблюдениях. В предельных вариантах с обл. 5 и размером фокальной каретки в 4.8 м суточное поле зрения на высоких углах места в азимуте 90° или 270° порядка $4.8\text{м}/288\text{м} = 1$ градус, при диаграмме по полуширине на волне 1см в $6'' \times 40''$.

Несколько общих соображений о путях развития методов исследования СМВ-анизотропии

Традиционно радиоастрономия проектировала крупные инструменты под дискретные объекты во Вселенной. После повышения потенциала на несколько порядков их проникающая сила оказалась достаточной для обнаружения во Вселенной всех радиогалактик в классическом понимании этой популяции. К исследованию Вселенной на расстояниях, где еще не было дискретных образований, радиоастрономия оказалась не готовой. Сейчас идут поиски новых решений. Проблема усугубляется и тем, что никакой идеальный радиометр с шумами менее шума Вселенной, с полосой даже $df/f \sim 1$, совершенно не решает проблемы достижения требуемой теорией чувствительности даже при накоплении сигнала в течение жизни поколения. Это заставляет искать качественно новые пути. Обсуждается возможность объединить усилия и средства, вкладываемые в центральный инструмент радиоастрономии 21 века по исследованию дискретных радиоисточников (SKA) с усилиями коллективов, развивающих методы исследования фоновых излучений Вселенной (пост-Планковские эксперименты). Если будет принят вариант США для SKA (12000 параболоидов, каждый с 100-элементной фокальной матрицей), то можно с небольшими техническими и программными изменениями получить инструмент для фоновых излучений с чувствительностью на несколько порядков выше, чем планируется достичь в 2008 году с помощью PLANCK Surveyor Mission.

Заключение

С учетом прогресса в методах и теории, кажутся наиболее рентабельными в ближайшие годы следующие направления.

Продолжать накопление данных в особой области малых aberrаций РАТАН-600, (вблизи местного зенита) расширяя диапазон склонений по мере накопления «критической» пиксельной чувствительности ($S/N \sim 1$) на каждом склонении, вплоть до миссии ПЛАНКА. Это позволит уменьшить и роль “Cosmic Variance”.

Считать особо интересными малые масштабы, недоступные WMAP и PLANCK Mission ($l > 1000$) и где обнаружен избыточный шум неизвестного происхождения.

Продолжать предельно глубокое накопление данных по Spinning Dust и по поляризации реликтового излучения (Е-мода, $500 < l < 2000$).

Продолжать уточнение роли популяции объектов, не попавших в современные каталоги, и повышать точность учета известных радиисточников при выделении реликтового шума.

Провести статистические исследования спектра фоновых радиисточников по шуму от них на волнах RZF-обзора на субмЯнском уровне, оценить их роль в СМВ-экспериментах следующего поколения.

Уточнить роль поляризованного шума от фоновых радиисточников.

Использовать данные RZF-обзора для независимых оценок реальности «двойной реионизации» Вселенной.

После испытания и внедрения в эксплуатацию 32-волноводного модуля МАРС-3 принять решение о целесообразности размножения его до первичного проекта (8 таких модулей).

Стимулировать исследования по:

подавлению помех,

спектральному анализу всего диапазона РАТАН-600, а также кооперироваться с западными партнерами по созданию матричных усилителей предельной чувствительности.

Некоторые даже полагают, что эксперименты типа БУМЕРАНГ, МАКСИМА, и даже WMAP, показали, что современное естествознание скорее, удаляется, чем приближается к разгадке Вселенной. Эти эксперименты независимо от предыдущих наблюдений показали, что светящееся вещество, которое было основным предметом изучения в течение тысячелетий, составляет лишь 1-2 % от основных, скрытых форм, и что эти формы даже не барионного происхождения. Доминирует нечто, условно названное Ламбда-членом или греческим термином «Пятая сила», квинтэссенция, и в некотором роде происходит возрождение теории ЭФИРА. Оказалось, что все, что мы видим, лишь помогает нам использовать звезды, галактики, квазары как «пробные частицы» для понимания истинной природы вещей. Как возникли сами барионы, из которых состоит все на Земле, звезды – остается загадкой, и гипотеза их возникновения нарушением законов симметрии в микромире оказалась пока не подтверждена данными ускорителей. Активно обсуждается обоснованность таких основ, как стабильность физических констант, применимость теории гравитации на всех

масштабах, возможная роль многомерной топологии в формировании Вселенной и т.п. На генеральной Ассамблее МАС широко обсуждалась проблема множественности Вселенных (Uni-verse – Multi-verse). Ожидается, что основной поток экспериментальных данных по всем упомянутым направлениям пойдет именно при исследовании Ранней Вселенной методами радиоастрономии в основном ее «окне прозрачности» – (1см-1мм). Именно поэтому Академия США приняла решение, цитируемое ниже:

"The US National Academy of Science mid-decadal review "A New Space Astronomy and Astrophysics" places the determination of the geometry and content of the Universe by measurement of microwave background anisotropy AS A HIGHEST SCIENTIFIC PRIORITY, above all other areas including the detection of planets, X-ray and gamma ray astronomy".

Проект **«ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД ВСЕЛЕННОЙ»** относится к этой категории экспериментов высокого приоритета. РАТАН-600 здесь многие годы может играть особую роль в изучении слабых фоновых излучений в связи с его уникальными свойствами.

Настоящий текст составлен по материалам, предоставленным активными участниками ПРОЕКТА, в том числе: Берлиным А.Б., Нижельским Н.А., Хайкиным В.Б., Майоровой Е.Д., Бурсовым Н.Н., Цыбулевым П.А., Зверевым Ю.К., Жеканисом Г.В., Насельским П. А.

Научное руководство ПРОЕКТОМ осуществляет академик Парийский Ю.Н. с участием консорциума PLANCK Surveyor Mission.

Берлин А.Б., вед.н.с. СПб-филиала САО, Главный конструктор РАТАН-600 по радиотехническому обеспечению, обеспечивает создание необходимого радиометрического комплекса.

Бурсов Н.Н., с.н.с.САО – главный наблюдатель по программе ПРОЕКТА.

Майорова Е.К., с.н.с. САО – ответственная за необходимые электродинамические расчеты по РАТАН-600.

Реализацию проекта на РАТАН-600 осуществляет зам. дир. САО доктор физ.-мат. наук Мингалиевым М.Г.

**Ю.Н.Парийский, М.Г.Мингалиев, Ю.К.Зверев, В.Б.Хайкин,
И.В.Госачинский, Г.В.Жеканис, А.Б.Берлин, Н.А.Нижельский,
А.Ф.Дравских, Н.Н.Бурсов, С.А.Трушкин, Е.К.Майорова,
Г.М.Тимофеева, В.М.Богод, Н.С.Соболева, А.В.Темирова**

Идеология САО в области радиоастрономии формировалась с 50-х годов, когда пулковским радиоастрономом, возглавляемым основоположником отечественной экспериментальной радиоастрономии проф. С.Э.Хайкиным (С.Э.), было поручено разработать методы исследования ближнего и дальнего космоса в новом для того времени см-диапазоне волн.

С.Э. совместно с Н.Л.Кайдановским был предложен вариант решения непреодолимых для обычных рефлекторов антенных проблем для задач, не требующих слежения. Так появился Большой пулковский радиотелескоп, которому сегодня исполняется 50 лет, с рекордным для того времени разрешением. Коллектив быстро выработал направления, где этот тип радиотелескопов мог бы быть вне конкуренции с другими инструментами. Многие из них перешли на РАТАН-600 (см. статью «С.Э. Хайкин и БПР»). Это преимущество сохраняется в некоторых направлениях и сегодня, несмотря на появление нового поколения инструментов с РСДБ-разрешением. К ним относятся (по объему заявок): 1) построение мгновенных многочастотных (до 40 точек) радиоспектров; 2) глубокие поисковые многочастотный обзоры неба (все виды фоновых излучений Вселенной, радиисточники высокой радиосветимости на любых красных смещениях); 3) исследования с высоким разрешением Солнца в см-диапазоне волн (интенсивность, поляризация, переменность).

За последние 40 лет произошло качественное изменение возможностей радиоастрономии в САО и получены новые данные по многим направлениям. Перечислим некоторые.

Солнечная система

Солнце. От исследования отдельных ярких образований на 3-5 частотах перешли к 40-канальным исследованиям с разрешением и чувствительностью на порядок выше, чем ранее, впервые открыто явление радиогрануляции в см-диапазоне волн, обнаружены новые явления в спектре и поляризации пятен. Появились первые двумерные многочастотные изображения с большим разрешением. Сегодня РАТАН-600 – основной инструмент в мире по мониторингу солнечной активности.

Луна и планеты. Впервые обнаружена френелевская поляризация Луны в см-диапазоне и это привело к самым точным оценкам свойств ее поверхности. Данные подтверждены прямыми исследованиями. Предложен новый дифференциальный метод исследования тепловых и электрических свойств поверхности

сти на глубинах до 10 метров. Результаты оказались востребованы сегодня в связи с поиском занесенного солнечным ветром перспективного ядерного горючего (He^3 , захваченного TiO_2). Выявлены места крупных залегающих этого топлива. В противовес официальным утверждениям США о выключении мощных излучателей в точках посадки кораблей «Аполло», все они были зарегистрированы на РАТАН-600 в первых двумерных исследованиях Луны. Это было немедленно сообщено общественности. Сегодня это является неоспоримым свидетельством реальности высадки космонавтов на Луну. Неожиданным явилось обнаружение аномальных радиосвойств крупных кратеров (Коперник). Впервые в см-диапазоне с помощью нового матричного радиометра (волна 1 см) обнаружена мелкомасштабная рябь («радиогрануляция»), изменяющаяся с фазой Луны.

До полета «МАРИНЕР 2» к Венере удалось получить изображение Венеры на волне 8 мм (БПР, разрешение 15 сек. дуги) и доказать, что Венера имеет горячую поверхность и огромное давление. Близким методом это было подтверждено «МАРИНЕР 2». Впервые с разрешением 6 сек. дуги недавно оценена поляризация полярных шапок Марса и оценена водность радионизлучающего слоя поверхности. Впервые обнаружено проникновение солнечного ветра до орбиты Юпитера по деформации дециметровых поясов радиации, а недавно с разрешением 6 сек. дуги на волне 1 см обнаружены высокоэнергичные электроны в поясах радиации, требующие объяснения происхождения. Впервые, используя уникальную возможность отделения мощного радионизлучения диска Юпитера, в одном эксперименте исследовано радионизлучение сразу всех галилеевских спутников Юпитера и выявлены особые свойства спутника Ио, что подтверждено прямыми исследованиями через 10 лет.

Галактика. После первых в мире поисковых исследований Галактики в см-диапазоне, проведен поиск и исследование остатков сверхновых, организован мониторинг нового явления – микроквazarов. Здесь РАТАН-600 неоднократно являлся триггером международных всеволновых компаний. Удалось провести предельно глубокие многочастотные исследования фонового радионизлучения крупных ее областей. Это позволило значительно уточнить роль фонового излучения Галактики во внегалактических исследованиях и доказать возможность регистрации предсказанных теорией космологических эффектов на μK -уровне и проведения экспериментов следующего поколения.

Радиокосмология. С помощью БПР проводились первые в мире систематические исследования с высоким разрешением в см-диапазоне самых ярких радиисточников (впервые разрешена классическая радиогалактика Лебедь А прямым неинтерферометрическим методом, впервые детально исследованы ее поляризационные свойства и обнаружено мощное фарадеевское гало, что было использовано при разработке Райлом и Лонгейром классической теории радионизлучения FRII-объектов). Проведены наиболее полные в 70-е годы массовые исследования в см-диапазоне структуры и поляризации основных крупных радиогалактик 3C-каталога, впервые получены указания на «INSITU» ускорения в д. в. в компонентах двойных радиисточников, существование сильно поляризованных джетов в близких радиогалактиках (Центавр-А, склонение -42 град, даже эффект деполяризации его магнитоактивным газом в плоскости этой га-

лактики). Проведены первые поисковые сантиметровые обзоры больших областей неба (2 стерадиана) и обнаружено 7000 объектов в см-диапазоне. В эксперименте ХОЛОД, самом глубоком обзоре неба на начало 80-х годов, достигнута чувствительность на уровне нескольких мЯн на всех волнах см-диапазона, включая 2 см, и оценены спектральные свойства обнаруженных объектов. Крупной частью внегалактических исследований стал эксперимент «Большой Трио», который выявил поколение предельно далеких очень мощных радиогалактик (до $z=4.515$). Важно, что их обнаружение требует пересмотра старой схемы формирования гигантских черных дыр в ядрах галактик, и, возможно, приведет к схеме с крупными первичными SMBH. РАТАН-600 сегодня «видит» объекты этого класса на любых расстояниях, если они там существуют. Получены первые результаты по независимой оценке роли «темной энергии». Открытием радиоастрономии САО явилось темное пятно в направлении скопления галактик Кома, предсказанное Зельдовичем и Сюняевым как следствие комптоновского рассеяния реликтовых фотонов горячим газом в скоплении. Это наблюдение стало началом новой крупной области современной астрономии, к которой сегодня готовятся многие группы (т.н. SZ-астрономия). Здесь САО опередила другие группы на 10 лет.

Радиоастрономия в САО была первой (1968 г.), приступившей к исследованию анизотропии ЗК-фона на миллиградусном уровне, предсказанной теорией тех лет. Теория оказалась неверной, и это привело к полному пересмотру теории формирования галактик и к поиску вариантов, не противоречащих данным САО (скалярная, векторная, тензорная природа первичных возмущений, нейтринная Вселенная и др.). Только к 1990 г. удалось найти вариант теории, не противоречащий данным РАТАН-600, – инфляционная модель, получившая подтверждение в космических экспериментах уже в 21 веке и являющаяся сегодня основной. В настоящее время САО ведет крупный проект «Генетический Код Вселенной», целью которого является накопление данных с пиксельной чувствительностью, выше достигнутой в WMAP и планируемой в PLANCK Surveyor Mission (2008), и с разрешением, на порядок более высоким (но по ограниченной области неба). РАТАН-600 является одним из основных наземных радиотелескопов, проводящих наблюдения по согласованной с консорциумом ПЛАНК программе поддержки основного космологического эксперимента начала 21 века (см. проект «Генетический Код Вселенной», <http://www.sao.ru/hq/CG/>).

Успехи радиоастрономии в САО, конечно, связаны с активной работой по непрерывному улучшению параметров радиотелескопа и методов наблюдений.

Некоторые цифры. За 40 лет чувствительность радиометров повысилась в 100 раз, в 100 раз расширены полосы для спектрального анализа, в 10 раз увеличено число каналов непрерывного спектра для многоцветной радиофотометрии и т.д. Геометрическую площадь поверхности удалось удвоить по сравнению с первичным проектом и довести площадь всего кольца до 20 000 кв. м. Полностью переобшиты или переюстированы все 1024 элемента (600 000 регулируемых крепежных винтов). РАТАН-600 и все элементы имеют точность около 0.2 мм ср.кв. На порядок повышена пропускная способность РАТАН-600

в связи с созданием принципиально новой системы АСУ РАТАН-600 высокой точности и быстротой обработки задания с контролем положения элементов до ~100 микрон. Это позволяет развивать мм-направления, не требующие слежения за объектом.

САО – инициатор внедрения матричного направления в радиоастрономии и уже более 10 лет назад были продемонстрированы его возможности. Первые небольшие матрицы уже эксплуатируются, в этом году планируется опробовать 32-волноводную матрицу, которая за доли минуты может заменить месячное накопление данных по слабым объектам. Рассмотрены варианты еще более крупных матриц, включая предельно большие, заполняющие все безаберрационное поле РАТАН-600, варианты их охлаждения и превращения в фокальную фазированную антенную решетку (ФАР). Начаты работы по созданию всеволнового входного радиометра с использованием решений, разрабатываемых для SKA радиотелескопа следующего поколения. Это позволит расширить эксперименты по полному спектральному анализу, получаемой на РАТАН-600 информации (например, спектроскопия Ранней Вселенной) и для нового уровня борьбы с помехами (центральная проблема радиоастрономии ближайших лет). Коллектив САО предложил ряд крупных проектов – включая первый международный проект (площадь 5 млн. кв. м – предел для рефлекторных систем такого типа). Для преодоления атмосферных ограничений был предложен метод восстановления волнового фронта в РСДБ-сетях любого размера и создан проект ПОЛИГАМ с включением всех действующих телескопов с добавлением новых наземных и космических. Часть этого проекта была реализована в виде проекта КВАЗАР КВО, в основном, сотрудниками САО РАН, в созданном АН новом институте ИПА РАН.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЫ В ГАЛАКТИКЕ С ПОМОЩЬЮ РАДИОЛИНИЙ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

И. В. Госачинский

Введение

Лаборатория радиоспектроскопии Специальной астрофизической обсерватории РАН была образована в 1970 году, в ее состав вошла группа сотрудников Главной астрофизической обсерватории АН СССР во главе с доктором физико-математических наук Н.Ф.Рыжковым.

Лаборатория объединяла астрофизиков-наблюдателей, инженеров по СВЧ, электронике, низкочастотной цифровой аппаратуре и программистов. Одна часть лаборатории работала в Санкт-Петербургском филиале САО РАН, другая – на радиотелескопе РАТАН-600 САО РАН. В программу научно-исследовательской работы лаборатории входили следующие темы:

1. Комплексное исследование облачной структуры межзвездной среды в Галактике в различных масштабах в радиолиниях HI на волне 21 см, OH на волне 18 см, H_2CO на волне 6.2 см и H_2O на волне 1.35 см с целью изучения структуры, динамики и эволюции межзвездного газа, его взаимодействия с другим населением Галактики и условий звездообразования.

2. Исследование физических и эволюционных характеристик крупномасштабных структур межзвездного газа в Галактике.

3. Поиск облаков газа на космологических расстояниях по их излучению в линии HI в диапазоне 0.21-1 м и линии CO в диапазоне 0.26-1.35 см.

С 1974 г. основная деятельность лаборатории была перенесена на РАТАН-600. Первые наблюдения в непрерывном спектре источника W49 на волне 21 см на облучателе № 2 на Южном секторе РАТАН-600 с Плоским отражателем были проведены 23 июня 1975 г. Вся спектральная аппаратура, подготовленная в Ленинграде (46 ящиков), прибыла на РАТАН 19 ноября 1975 г., и сотрудники лаборатории немедленно начали ее монтаж в облучателе № 2. Через 34 дня, 23 декабря 1975 г., были начаты спектральные наблюдения с 20-канальным спектроанализатором и записью на перфоленту радиоисточников Лебедь-А и Орион-А. Еще через 6 дней эти наблюдения были обработаны с перфоленты на единственной тогда в САО большой ЭВМ – М-222. Полученные в этих наблюдениях новые данные о распределении межзвездного газа вокруг туманности Ориона были опубликованы в 1979 г. (Астрон. Ж., т. 56, стр. 1191).

Все приведенные ниже наиболее интересные результаты, полученные сотрудниками лаборатории радиоспектроскопии САО, были в свое время опубликованы и являлись новыми. Подробности и ссылки на статьи можно найти на интернет-сайте САО РАН в разделе «радио-сектор, СПб-филиал, Лаборатория галактических и внегалактических исследований, радиоспектроскопические ис-

следования, результаты работ».

Оболочки НН вокруг областей НН (1984 г.)

Из 32-х исследованных областей НН вокруг 17-ти обнаружены клочковатые оболочки НН с радиальными движениями. Пример оболочки вокруг области НН М16 приведен на рис.1. Скорости расширения оболочек от 8 до 23 км/сек (больше, чем у остатков сверхновых). Толщина оболочек весьма велика – 0.44 радиуса, массы порядка 6×10^4 масс Солнца, кинетические энергии $\sim 10^{50}$ эрг. Последние два параметра не отличаются от параметров оболочек вокруг остатков сверхновых, так что области НН с учетом их количества и времени жизни дают вклад энергии в межзвездную среду не меньше остатков. На основании данных наблюдений была развита модель образования оболочки НН в результате действия суммарного ветра звезд, возбуждающих область НН. Модель позволила рассчитать с учетом данных по радиоконтинууму и ИК-излучению спектры масс возбуждающих звезд (рис.2). Оказалось, что спектры масс очень крутые (средний показатель 5 ± 2), что свидетельствует о значительном избытке звезд В0-В3 по сравнению с более массивными звездами. Если указанная модель справедлива, то этот избыток мог бы быть следствием того, что звезды малых масс рождаются на несколько миллионов лет раньше звезд О, или о том, что в гигантских газо-пылевых комплексах, к которым принадлежат эти объекты, нет условий для образования массивных звезд (при плотности $10^{+4} - 10^{+5}$ кубических сантиметров и температуре 50-100 К характерная джинсовская масса ~ 5 масс Солнца).

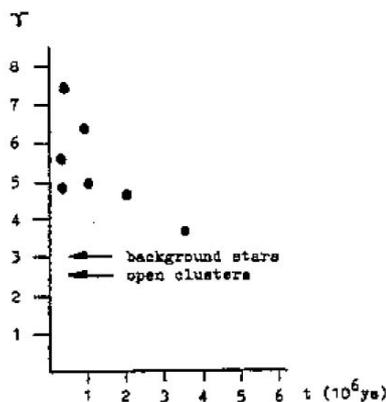
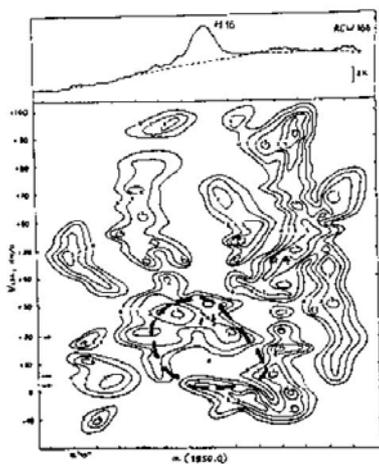


Рис.1. Распределение излучения линии НН вокруг области НН М16. Штриховой линией показана расширяющаяся оболочка.

Рис.2. Показатели спектра масс возбуждающих звезд для 7 объектов с измеренным ИК-излучением.

О природе протяженной ИК-оболочки вокруг NGC 6888 (1997 г.)

Здесь приведены результаты комплексной программы исследования области протяженной ИК-оболочки вокруг туманности NGC 6888 и звезды WR 136. Проведены наблюдения в оптическом диапазоне в линии H α с помощью интерферометра Фабри-Перо в фокусе 125-см рефлектора и в радиолинии нейтрального водорода на волне 21 см на радиотелескопе РАТАН-600.

Обнаружена протяженная толстая расширяющаяся оболочка нейтрального водорода с диаметром 120 пк, непосредственно окружающая ИК-оболочку. Одно из сечений через оболочку на склонении +38.5 изображено на рис. 3.

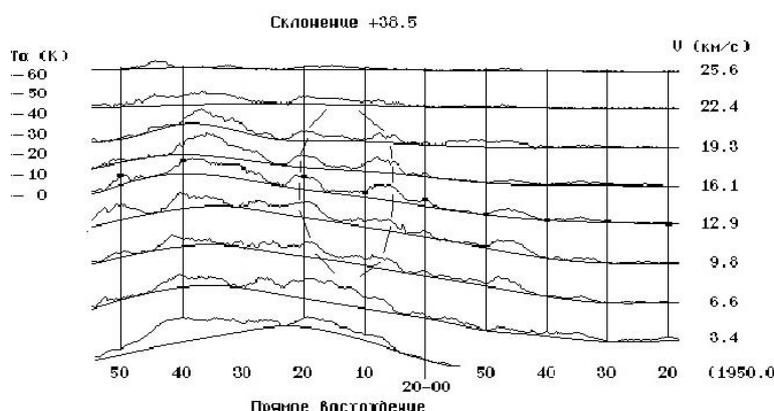


Рис.3. Кривые прохождения в линии H I через область NGC 6888. Штриховой линией отмечены детали, окружающие ИК-оболочку.

Существование внешней оболочки H I окончательно доказывает, что ИК-оболочка не является случайной проекцией физически не связанных между собой обрывков, а представляет единый объект. Средняя лучевая скорость оболочки H I составляет 11 ± 1 км/с, скорость ее расширения равна 10 ± 3 км/с, масса нейтрального водорода в оболочке $10^4 M_{\odot}$.

Результаты наших наблюдений протяженных ИК- и H I-оболочек вокруг NGC 6888 хорошо согласуются с предположением о формировании их под действием ветра звезды-предшественника WR 136, однако не исключают и предложенную некоторыми авторами идентификацию с очень старым остатком вспышки сверхновой. Кинетическая энергия газа в оболочке $\sim 10^{49}$ эрг. В случае WR 136 мы имеем дело с протяженной двухслойной оболочкой: внутренний ионизованный слой проявляется как геометрически толстая ИК-оболочка (средний радиус около 20 пк, толщина 7-8 пк), внешний – как геометрически толстая оболочка H I с приведенными выше параметрами.

Полная масса нейтрального и ионизованного газа составляет по нашим

оценкам $1.1 \times 10^4 M_{\odot}$. Предполагая, что в оболочке с наружным радиусом 60 пк сосредоточен выметенный газ, находим начальную среднюю "размазанную" плотность газа в области $n_0 = 0.5 \text{ см}^{-3}$. Считая, что оболочка образована звездным ветром, находим необходимую мощность ветра $L_w = 0.4 \times 10^{35}$ эрг/с и возраст оболочки $t = 3.6 \times 10^6$ лет. При средней скорости ветра около 1500 км/с это дает скорость потери массы $1.1 \times 10^{-6} M_{\odot}$ в год. Такая мощность типична для ветра звезды с массой около $30 M_{\odot}$ на главной последовательности; возраст оболочки HI оказался больше продолжительности стадии Вольфа-Райе и соответствует времени жизни массивного предшественника ($M > 30 M_{\odot}$) на главной последовательности. Таким образом, полученные оценки свидетельствуют о том, что двухслойная, частично ионизованная оболочка с наблюдаемыми параметрами может быть образована ветром звезды-предшественника WR 136 за время ее жизни на главной последовательности. Однако следует заметить, что обнаруженная нами оболочка HI и ее кинематические параметры, полученные по данным непосредственных измерений, позволяют количественно оценить динамику области также и в предположении, что газ приведен в движение ударной волной от расширяющегося остатка вспышки сверхновой.

Распределение нейтрального водорода в области радиоисточника Лебедь X (1999 г.)

Распределение нейтрального водорода в области радиоисточника Лебедь X и остатка сверхновой G78.2+2.1 изучено по наблюдениям в радиолинии 21 см с помощью радиотелескопа РАТАН-600 с угловым разрешением $2.4'$.

Выделены две оболочки HI, одна из которых диаметром приблизительно 7° окружает весь протяженный тепловой радиоисточник Лебедь X, другая, меньшего диаметра (приблизительно 2°) располагается вокруг остатка сверхновой (рис.4). Обе оболочки обнаруживают расширение со скоростью не менее 10 км/с. Для сравнения скоростей HI и ионизованного газа проведены наблюдения этой области в линии H_{α} с помощью интерферометра Фабри-Перо с ПЗС-матрицей на 125-см рефлекторе Крымской лаборатории ГАИШ.

Рассмотрено также распределение молекулярного газа в области Лебедь X по излучению в линии CO и обнаружена большая каверна в молекулярном газе, окружающая весь комплекс источника Лебедь X, похожая на незамкнутую расширяющуюся оболочку.

Определены физические параметры оболочек HI и обсуждается их природа. Наличие протяженной оболочки HI и каверны в распределении молекулярного газа вокруг радиоисточника Лебедь X свидетельствует о том, что сам радиоисточник, скорее всего, представляет единую структуру и общая масса расширяющегося газа может быть приведена в движение звездным ветром ассоциации Суг OB2. Оболочка меньшего размера вокруг G78.2+2.1 может быть сформирована как в результате взрыва сверхновой, так и под действием ветра звезды – предшественника сверхновой.

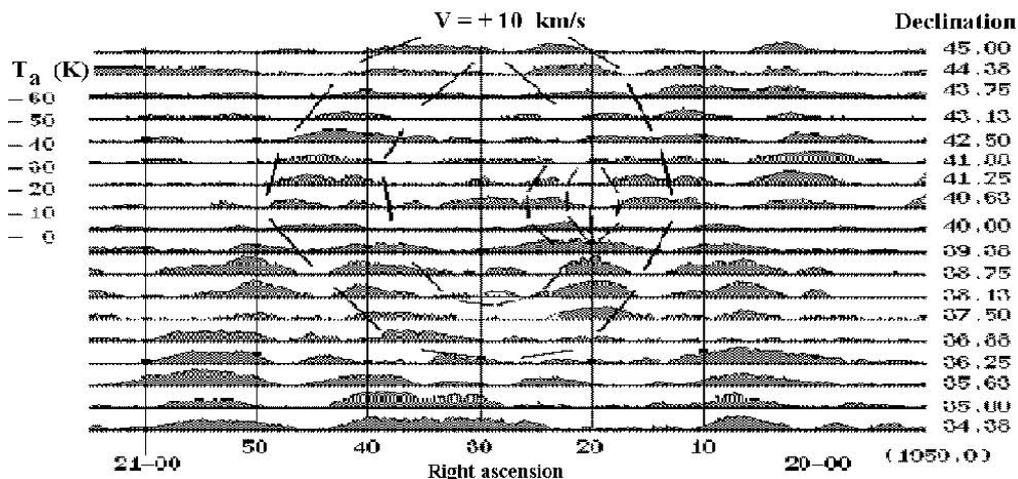


Рис.4. Изофоты деталей H I в области радиоисточника Лебедь X на лучевой скорости +10 км/с. Штрихами обозначены границы кольцевых структур, окружающих остаток сверхновой G78.2+2.1 (меньшая), и весь источник.

Рекомбинационная линия H110 α в туманности Ориона (1992 г.)

Распределение излучения рекомбинационной линии H110 α на волне 6.2 см в туманности Ориона было получено на радиотелескопе РАТАН-600 с разрешением $40'' \times 6' \times 9.7$ км/сек (рис.5).

Обнаружено слабое вращение ядра туманности, представляющего собой толстую полуоболочку со слабым расширением. Обнаружена также тонкая оболочка диаметром 0.36 пк, расширяющаяся со скоростями +40 и -70 км/сек. Отмечено увеличение температуры газа в этом тонком слое.

В рамках модели звездного ветра кинематические параметры основного тела туманности и тонкой оболочки приводят к следующей картине: примерно 30000 лет назад возникли более слабые возбуждающие звезды (B1-B2), а основная возбуждающая звезда Трапедии θ^1 C Ориона появилась примерно 2000 лет назад.

Нейтральный водород вокруг звезды WR 102 (2002 г.)

Вокруг туманности G2.4+1.4 диаметром 15', возбуждаемой редкой "кислородной" звездой типа Вольфа-Райе WR 102, обнаружена расширяющаяся оболочка H I по ее излучению в линии H I на волне 21 см. Звезда WR 102 – одна из всего лишь двух кислородных звезд типа Вольфа-Райе в нашей Галактике. У этих звезд наблюдается короткая стадия жизни с очень большой скоростью истечения звездного ветра – до 6000 км/с, после которой собственно и происходит взрыв сверхновой звезды. Предполагается, что кислородная стадия WR харак-

терна для очень массивных звезд, в частности, звезда WR 102 имеет массу $60 M_{\odot}$. В 2001 г. на радиотелескопе РАТАН-600 были проведены два цикла наблюдений на трех склонениях в окрестности этой звезды и возбуждаемой ею туманности G2.4+1.4. Этот объект расположен недалеко от центра Галактики, где наблюдается очень яркий фоновый газ. Чтобы исключить его излучение и не потерять слабых деталей, был применен специальный цифровой фильтр верхних частот. Правда, этот метод (как и многие другие) оставляет неопределенным положение нулевой линии, которое зависит от принятой модели меж-

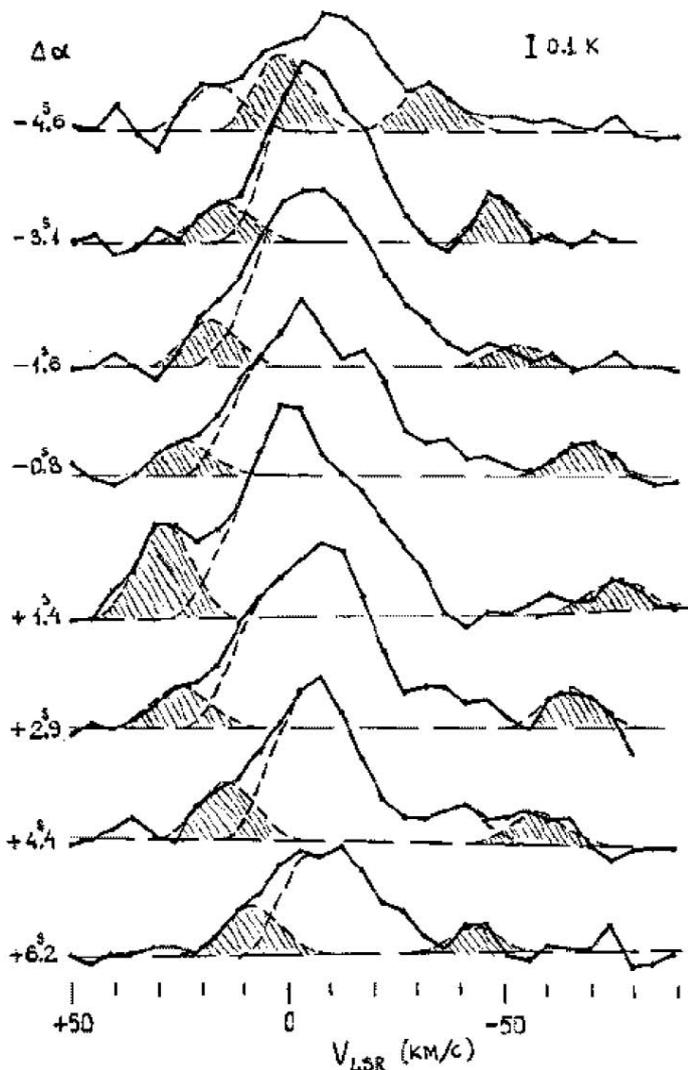


Рис.5. Профили линии $H110 \alpha$ в центральной части туманности Ориона. Штрихами выделены компоненты, относящиеся к тонкой оболочке, расширяющейся с большой скоростью.

звездной среды. Будем считать, что линии поглощения (и самопоглощения) в этой области в малом масштабе не наблюдаются, так что нулевую линию следует проводить по наиболее низким частям кривых.

Оболочки HI вокруг остатков сверхновых (1985 г.)

Из 24-ти исследованных остатков сверхновых у 12-ти обнаружены оболочки HI с радиальными движениями. Остатки были отобраны по их значительной яркости ($T_A \geq 5$ K) в непрерывном спектре на волне 21 см с целью одновременно получить и уверенную линию поглощения.

Пример оболочки вокруг остатка сверхновой W28 приведен на рис. 6. Средняя скорость радиального движения оболочек 12.9 км/сек, толщина ~ 0.3 радиуса, средняя масса HI $\sim 5.6 \times 10^4 M_\odot$, средняя кинетическая энергия $\sim 10^{50}$ эрг.

По этим данным были рассчитаны возрасты остатков, начальные энергии взрыва, времена начала радиативной фазы и т.д.

Следует заметить, что само наличие оболочки HI свидетельствует о том, что остаток находится в радиативной фазе, ни у одного из них пока не обнаружено рентгеновского излучения.

Нейтральный водород вокруг молодых остатков сверхновых (1987 г.)

При исследовании распределения HI вокруг остатков сверхновых были обнаружены 4 широкие (диаметром 70-300 пк) и, следовательно, старые (возраст 2-9 млн. лет) оболочки вокруг остатков сверхновых, имеющие характерные особенности "плерионов", т.е. заведомо молодых объектов с возрастными порядками 10^3 - 10^4 лет. Пример одного из таких объектов приведен на рис.7. Ясно, что ударная волна остатка не могла привести в движение этот газ, и расчет параметров оболочек был проведен в предположении, что действовал звездный ветер звезды предсверхновой. Это позволило оценить массы звезд, а также массу газа, сброшенного при взрыве. Заметим, что кинематические возрасты оболочек не превышают времени жизни этих звезд на главной последовательности.

Кроме этого, обнаруженные объекты свидетельствуют о том, что, по крайней мере, в некоторых случаях эволюция остатка происходит в среде с очень низкой плотностью, что весьма важно для оценки характеристик остатка сверхновой.

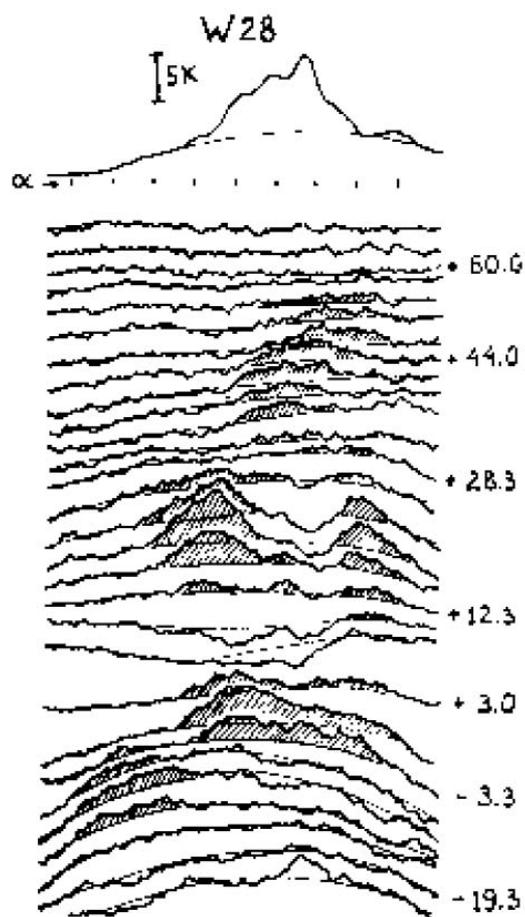


Рис.6. Распределение излучения HI вокруг остатка сверхновой W28. За-
штрихованы детали, составляющие расширяющуюся оболочку.

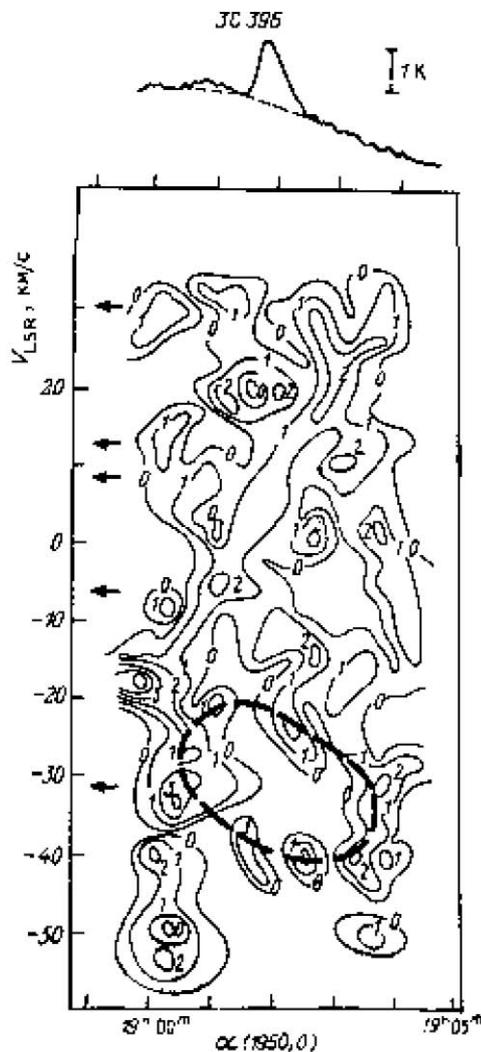


Рис.7. Распределение деталей линии излучения HI вокруг остатка сверхновой 3C 396. Штрихами обозначена клочковатая оболочка HI.

Взаимодействие остатков сверхновых с окружающим межзвездным газом

С 1999 г. по 2005 г. на радиотелескопе РАТАН-600 проводилась вторая серия исследований распределения нейтрального водорода вокруг остатков сверхновых. В отличие от предыдущей серии 1985-87 гг. сейчас были отобраны остатки большого углового размера (более 10') и специфического типа S (оболочечные), без учета их собственной яркости.

Очевидно, что именно такие объекты могут продемонстрировать следы

взаимодействия их ударных волн с окружающим нейтральным газом. В настоящий момент мы получили данные наблюдений HI для 130 остатков сверхновых. Все наблюдения прошли первичную обработку и осреднение, а половина объектов подготовлена для поиска возможной характерной кинематики в окружающем газе. Здесь мы покажем четыре примера совершенно разных по своей физике объектов. Распределение межзвездного газа вокруг каждого из них оказалось весьма интересным, однако, физическая природа взаимодействия этих четырех остатков с окружающей средой, по-видимому, совершенно различна.

1. Вокруг старого оболочечного остатка S 147 (возраст около 100000 лет) обнаружена расширяющаяся со скоростью около 20 км/с оболочка HI с кинетической энергией более 10^{51} эрг. Три сечения распределения HI, проходящие через оболочку, изображены на рис. 8. Тонкими линиями отмечены детали, относящиеся к расширяющейся оболочке. Диаметр оболочки порядка 100 пк, толщина – 25 пк, масса HI в оболочке составляет $3 \times 10^5 M_{\odot}$. Обнаруженная нами расширяющаяся оболочка HI является уже шестнадцатой по счету оболочкой нейтрального газа вокруг остатков сверхновых и такой процесс накачки кинетической энергии в межзвездную среду следует признать типичным.

2. Примерно одна пятая всех остатков сверхновых расширяется в практически пустой среде, возникающей, как обычно считают, за счет действия звездного ветра звезды-предшественницы. Типичный представитель этой группы – "Петля" в Лебеде. Нами впервые получена полная геометрия каверны межзвездного газа, в которой произошел взрыв этой сверхновой (рис. 9) и получены ее параметры: размер 80×110 пк, концентрация газа в "стенках" каверны $0.7-1.5 \text{ см}^{-3}$, масса стенок – $1.5-3.3 \times 10^4 M_{\odot}$. Однако морфология каверны (замечная асимметрия стенок, полное отсутствие радиальных скоростей газа) противоречит возможности ее происхождения за счет звездного ветра, следовательно, ее можно считать естественной деталью распределения галактического газа, например, его слоистой структуры, а положение "Петли" в Лебеде внутри нее – случайным.

3. Вокруг остатка сверхновой G78.2+2.1 (находится на краю известного радиоисточника Лебедь X и включает в себя туманность вокруг звезды γ Лебеда) ранее нами была обнаружена расширяющаяся оболочка HI диаметром 1.5° на лучевой скорости $+10$ км/с. Затем, по данным спутника ROSAT, вокруг этого остатка была обнаружена слабая рентгеновская оболочка с угловым размером в 2.5 раза больше радиоостатка. Как известно, наличие в одном объекте вещества с резко различными свойствами (плазма с температурой порядка 1 млн. градусов, ответственная за излучение в рентгене, и несколько тысяч градусов, излучающая в радио и оптике) сильно затрудняет интерпретацию физических условий.

В данном случае нам удалось показать, что рентгеновской плазме может соответствовать каверна в нейтральном газе с другой лучевой скоростью -25 км/с (рис. 10), так что области оптического, радио и рентгеновского излучения могут быть разнесены по лучу зрения, вероятно, из-за сильного градиента плотности газа в окружающей среде.

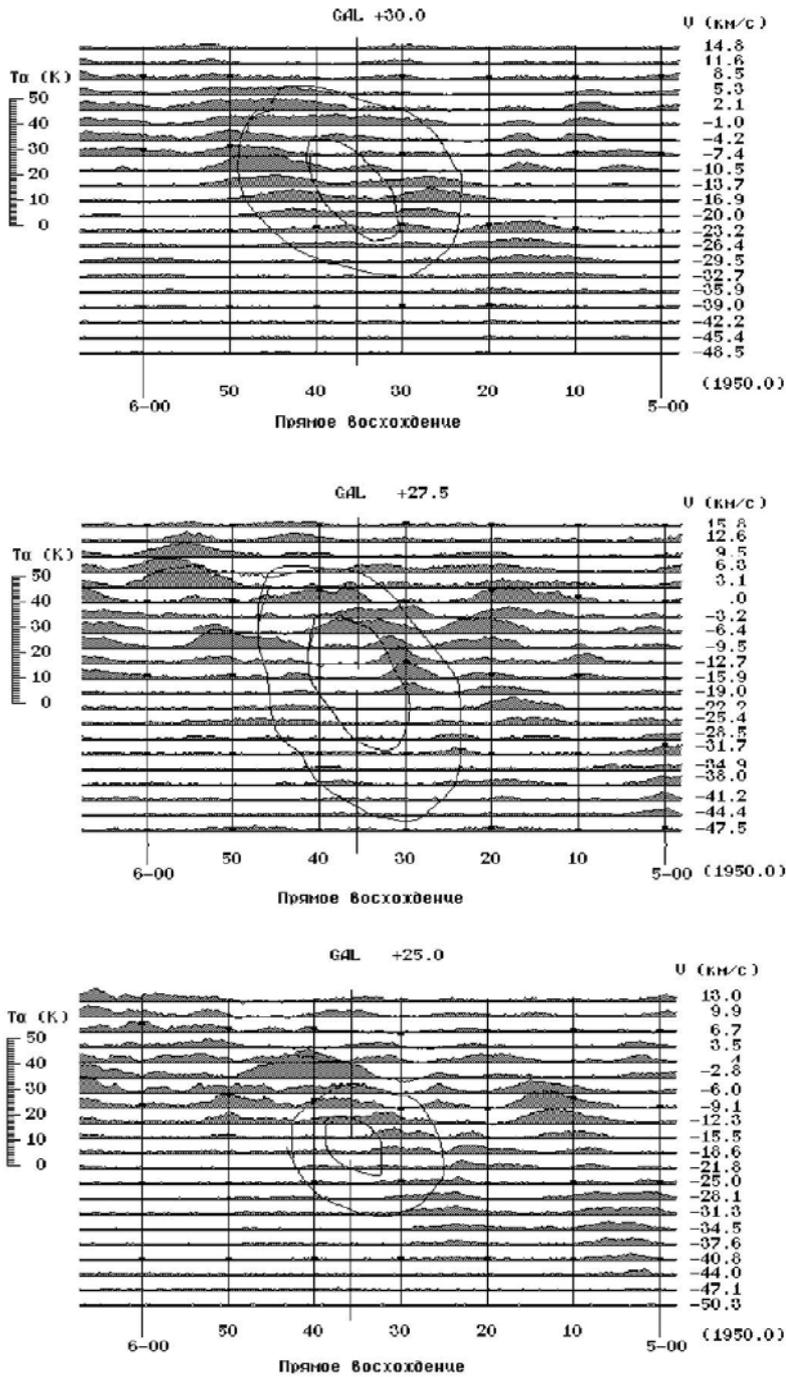


Рис.8. Распределение HI на трех склонениях вокруг остатка сверхновой S 147.

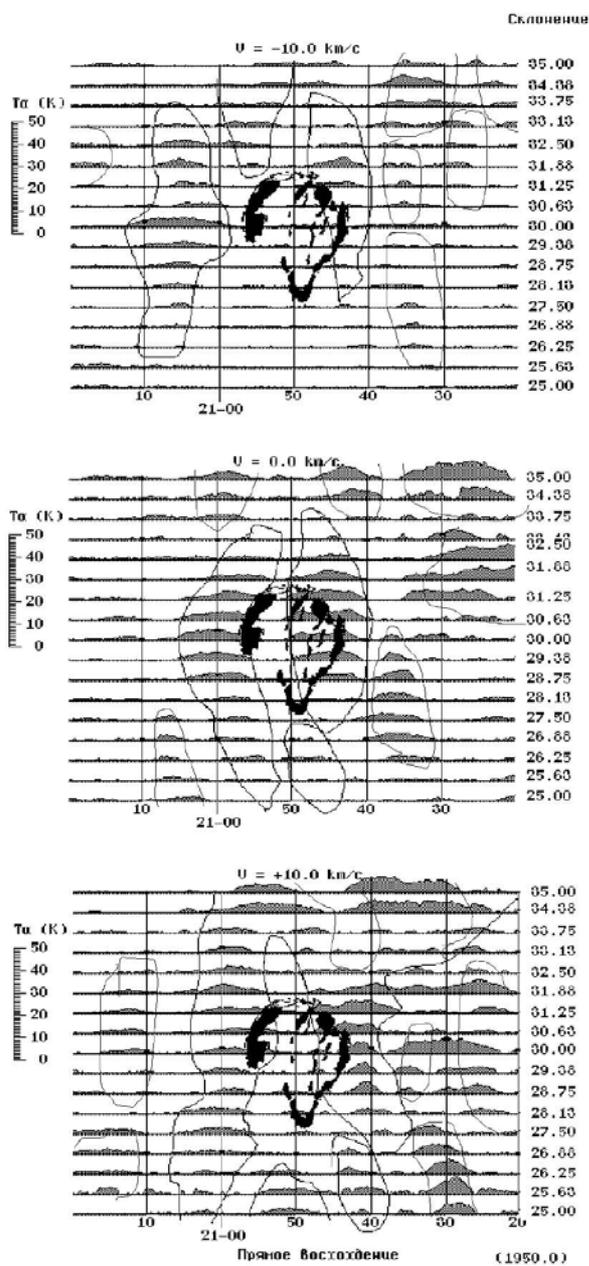


Рис.9. $H\text{II}$ на трех лучевых скоростях вокруг остатка сверхновой «Петля» в Лебедь. Черные волокна – излучение остатка в оптике и радиоконтинууме.

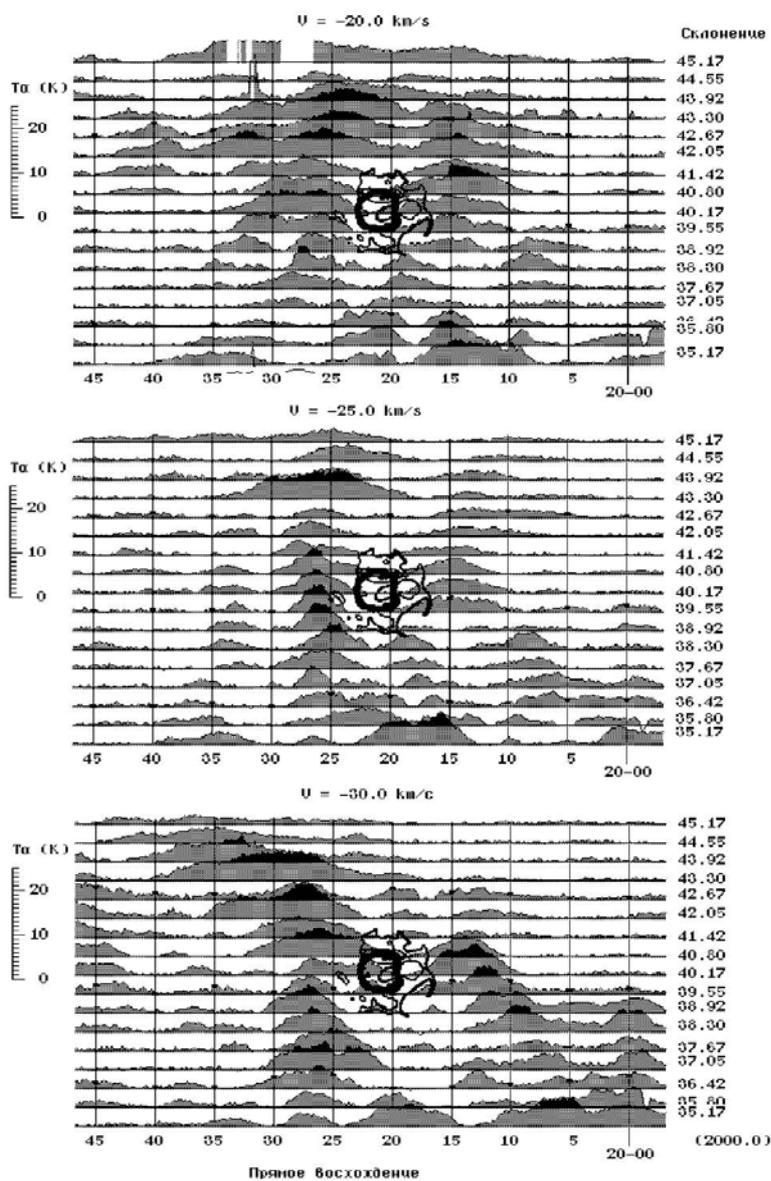


Рис.10. Распределение HI на трех лучевых скоростях вокруг G 72.8+2.1 (жирный кружок) и рентгеновской оболочки (тонкие изофоты).

4. Хорошо известный оболочечный остаток сверхновой НВ3 входит в богатую деталями область звездообразования вместе с туманностями W3-W4-W5. Результаты исследования структуры НI вокруг остатка, полученные по пяти сечениям на волне 21 см, сделанным на РАТАН-600 с угловым разрешением 2' по одной координате в диапазоне лучевых скоростей от -183 до $+60$ км/с в более широкой области неба и с более высокой чувствительностью, чем в предыдущих работах других авторов, показали, что пространственно-кинематическое распределение деталей НI вокруг остатка несомненно соответствует наличию двух концентрических расширяющихся оболочек газа, окружающих остаток и совпадающих с ним по всем трем координатам (α , δ , V). Пример распределения деталей НI вокруг остатка на одном из сечений приведен на рисунке 11. Внешняя оболочка имеет радиус 133 пк, толщину 24 пк и скорость расширения 48 км/с. Масса газа в ней $\approx 2.3 \times 10^5 M_{\odot}$. У внутренней оболочки эти параметры составляют соответственно: 78 пк, 36 пк, 24 км/с и $0.9 \times 10^5 M_{\odot}$. Внутренняя оболочка непосредственно примыкает к остатку сверхновой. В предположении, что внешняя оболочка есть результат действия ветра звезды, а внутренняя возникла от ударной волны собственно остатка, оценки дают возраст внешней оболочки $\approx 1.7 \times 10^6$ лет и мощность ветра 1.5×10^{38} эрг/с, что соответствует очень большой массе звезды $\approx 80 - 100 M_{\odot}$. Внутренняя оболочка имеет возраст $\approx 10^6$ лет и соответствует полной энергии взрыва сверхновой $\approx 10^{52}$ эрг.

Крупномасштабная структура холодного газа (1989 г.)

По данным каталога профилей линии поглощения НI, полученного на радиотелескопе РАТАН-600 вместе с результатами других авторов, обнаружена крупномасштабная нитевидная структура холодного межзвездного газа в спиральных рукавах Галактики. Нитевидные структуры протяженностью в несколько кпк в основном параллельны оси спирального рукава. Их диаметр в поперечном направлении ≈ 100 пк, на луче зрения в пределах рукава их 4–5 штук.

Высказано предположение, что эти образования могли бы быть связаны с пульсирующим характером образования облаков на фронте галактической ударной волны.

Сверхоболочки нейтрального водорода (1993 г.)

Тридцать четыре галактических "сверхоболочки" нейтрального водорода исследованы с высоким угловым разрешением по данным Обзора НI на РАТАН-600 (рис.12). Уточнены их наблюдаемые параметры и обнаружен ряд особенностей морфологии распределения интенсивности их излучения в (альфа-дельта-V) объеме. Эти особенности заставляют отказаться от общепринятой интерпретации этих объектов как оболочек НI, возникших в результате взрывов сверхновых звезд (что, как известно, приводит к существенным трудностям с энергетикой), и считать их частью нормальной галактической структуры газа НI

(слоистая структура – рис.13) .

Такая интерпретация полностью снимает все проблемы с источниками энергии в этих объектах.

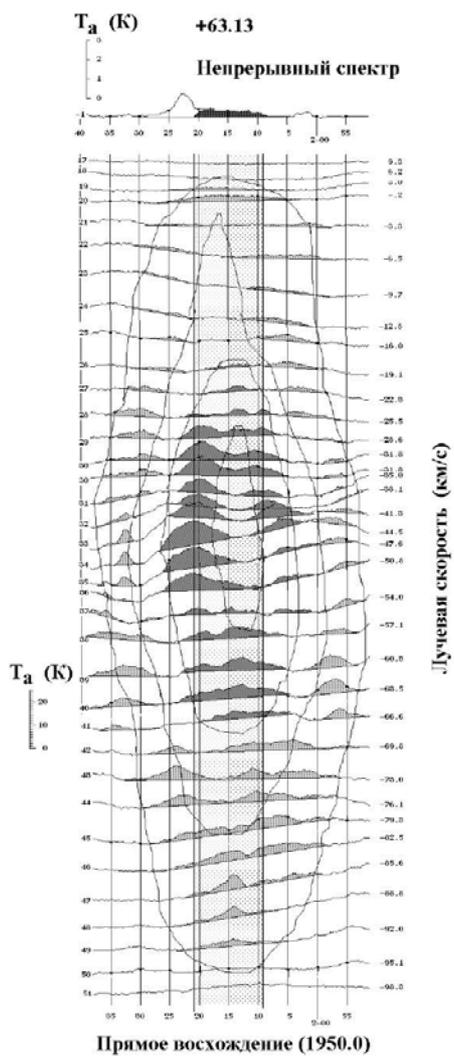


Рис. 11.

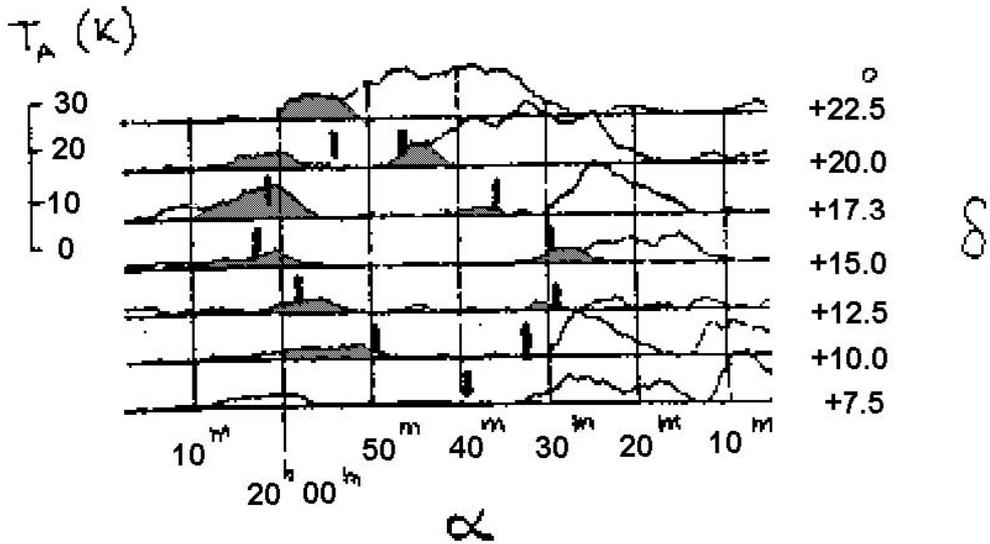


Рис.12. Пример кривых прохождения оболочки GS 52-5+25 в плоскости (альфа-дельта). Черточками обозначены ожидаемые моменты пересечения объекта по данным Хейлеса с сечениями Обзора РАТАН-600.



Рис.13. Структура объекта GS 41+1+27 в галактической системе координат. Наклонными линиями обозначены сечения Обзора РАТАН-600, прямоугольниками – размеры деталей. Жирными штрихами представлены размеры объекта по данным Хейлеса.

Сжатие облака газа в области звездообразования Стрелец В2 (1980 г.)

Замечательный во многих отношениях радиоисточник Стрелец В2 был исследован нами в радиолинии П1 на волне 21 см, линиях ОН на частотах 1665 и 1667 МГц и линии поглощения H_2CO на волне 6.2 см. Эти данные позволили создать динамическую модель облака газа, окружающего этот объект. Облако газа диаметром 40 пк вращается со скоростью 20 км/сек на краю и, следовательно, стабильно. Для его стабилизации требуется масса центральной части $2.5 \times 10^{+5} M_{\odot}$, что соответствует данным по молекуле СО. Результаты по линии

поглощения H_2CO (рис.14) показали, что центральная часть облака представляет собой клочковатую оболочку диаметром 9 пк с радиальным движением 20 км/сек. Соотношение лучевых скоростей линии поглощения H_2CO (штриховая полудуга) и самого объекта (линия $\text{H110}\alpha$ – точка) позволили однозначно определить направление радиального движения – сжатие. Полная масса этого облака $5.5 \times 10^{+5} M_{\odot}$. Измеренные кинематические параметры газа позволили установить следующий сценарий развития этой области звездообразования: примерно $2 \times 10^{+7}$ лет это облако было стабильно с диаметром, вдвое большим наблюдаемого, после того, как часть турбулентной энергии перешла в тепло за счет магнитной вязкости, примерно $5 \times 10^{+5}$ лет назад началось сжатие в режиме свободного падения. Фрагментация и образование звезд начались $2.5 \times 10^{+5}$ лет назад. Отметим, что факт сжатия облака газа – первое прямое наблюдательное подтверждение общепринятой схемы образования звезд из межзвездного газа.

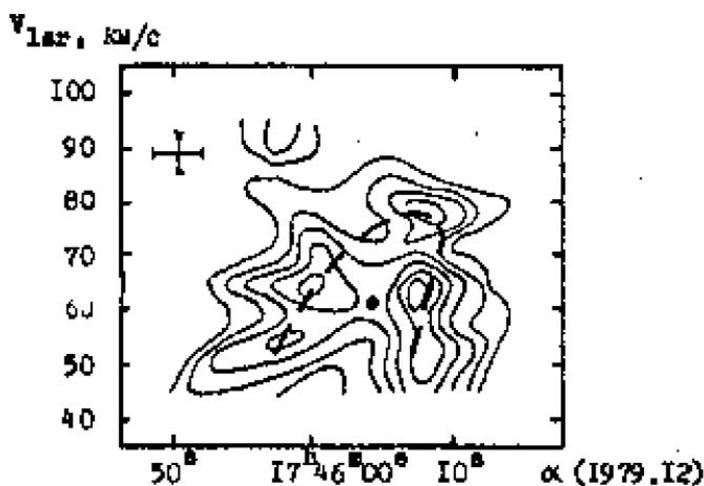


Рис. 14.

Коррелированные вспышки мазеров H_2O (1983 г.)

В 1981-1982 гг. в радиисточнике W49 было обнаружено несколько вспышек мазерного излучения радиолинии H_2O на волне 1.35 см, развивавшихся практически синхронно на нескольких лучевых скоростях. Известно, что компоненты профиля мазерного излучения линии H_2O с разными лучевыми скоростями возникают в отдельных, пространственно разнесенных областях звездообразования. В таком случае наши данные показывают, что вспышечная активность мазеров H_2O определяется внешними причинами, скорее всего, за счет изменения излучения общей “накачки” мазерных источников.

Нейтральные "интерфейсы" молекулярных облаков (1988 г.)

В процессе исследования распределения нейтрального водорода вокруг различных галактических объектов было обнаружено 11 весьма необычных «оболочек», которые были отождествлены как тонкие оболочки нейтрального атомарного газа вокруг молекулярных облаков средней плотности. Размеры их 80×300 пк, толщина «стенок» 15 пк, средняя масса нейтрального газа – $30000 M_{\odot}$. Молекулярные облака внутри них имеют полную плотность в среднем 1000 см^{-3} . По своим характеристикам эти образования относятся к классу «сверхоблаков».

Характеристики межзвездных облаков HI по их линиям поглощения 21 см

По данным каталога линии поглощения HI, полученного на РАТАН-600, обнаружено 104 межзвездных облака HI с размерами от 0.2 до 20 пк, с массами от 10^{-2} до $100 M_{\odot}$ и построены спектры их размеров, концентраций и масс. Отметим, что высокая чувствительность и разрешающая способность антенны позволила увеличить исследованный диапазон в сторону малых масс на 2 порядка (см. рис.15). Сравнение полученного спектра масс с теоретическими показало, что в области больших масс в межзвездной среде преобладает слияние облаков, а не их фрагментация. Обнаруженный нами завал спектра масс в области малых значений масс свидетельствует о существовании механизмов испарения облаков, подобно тому, который действует в модели межзвездной среды Мак Ки и Острайкера: сильное влияние горячей ($T = 10^6$) фазы.

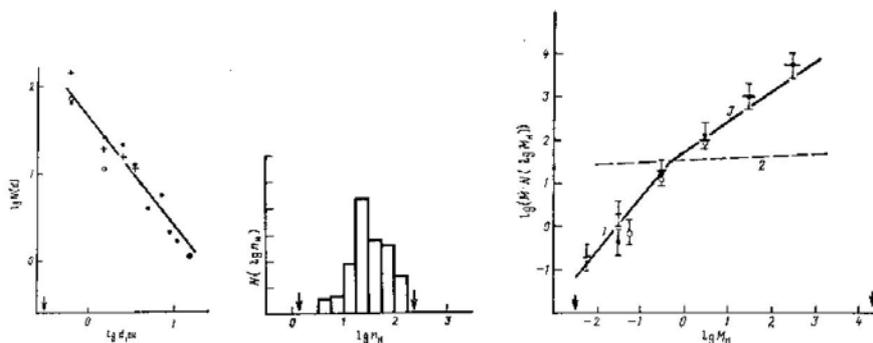


Рис.15. Распределение облаков HI по их диаметрам, концентрациям газа и массам. Штриховая линия (2) – спектр масс при преимущественном влиянии фрагментации облаков.

Масштабные соотношения и внутренние движения в облаках межзвездного нейтрального водорода (1999 г.)

Диаметры, массы и дисперсии скоростей внутренних движений 7600 облаков нейтрального водорода были определены по результатам Обзора HI на РАТАН-600 во втором и третьем квадрантах галактических долгот, а именно: $180^\circ < l < 260^\circ$, $-15^\circ < b < +15^\circ$ и $100^\circ < l < 150^\circ$, $-10^\circ < b < +10^\circ$. Обнаружено, что в среднем линейные диаметры облаков вдоль плоскости Галактики в 2.5 раза больше, чем поперек.

Подтверждено наличие зависимости между концентрацией HI в облаках и их диаметрами вида $n_H \propto d^{-1.25 \pm 0.01}$, по-видимому, не зависящей от эффектов селекции, с коэффициентом корреляции между $\log n_H$ и $\log d$, равным -0.87 (рис.16).

Показано также, что другая важная зависимость дисперсии скоростей внутренних движений газа в облаках от их диаметров, обнаруженная у популяции молекулярных облаков, в случае облаков HI отсутствует, что, вероятно, свидетельствует о незначительной роли внутренней турбулентности в облаках нейтрального газа (рис.17).

Обнаружено, что 36% облаков HI имеют систематический градиент лучевой скорости по диску облака, что характерно для вращательного движения.

Наличие вращения облаков HI может объяснить сравнительно большую ширину профилей их линий излучения. Средняя угловая скорость вращения облаков оказалась порядка 10^{-13} рад. \times с $^{-1}$, средняя энергия вращательного движения $\sim 10^{48}$ эрг, что сравнимо с энергией хаотического движения облаков и, наконец, наблюдаемое количество облаков с противоположными направлениями вращения одинаково с точностью до 5% в обоих квадрантах галактических долгот.

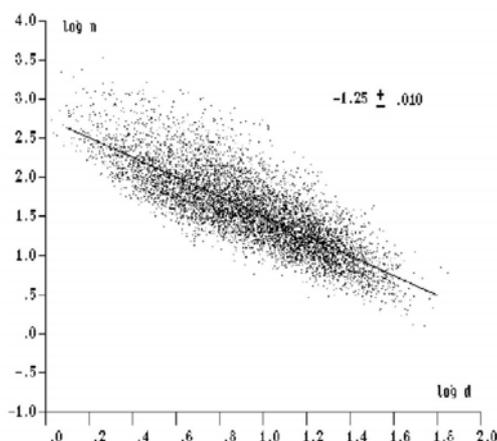


Рис.16. Зависимость концентрации атомов HI в облаках от их линейных диаметров для 7710 облаков II и III квадрантов галактических долгот.

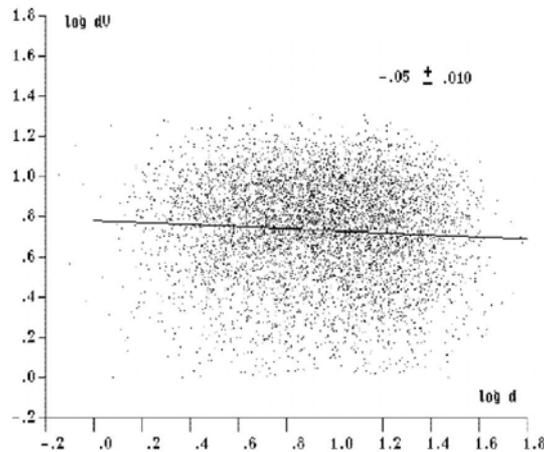


Рис.17. Зависимость полуширины профилей линии излучения HI в облаках от их линейных диаметров.

Пространственная структура галактического газа на высоких широтах (1997 г.)

Статистические характеристики структуры межзвездного газа, полученные по данным наблюдений, можно использовать для проверки теоретических моделей основных физических процессов, определяющих его существование. В нашем случае исследование структуры галактического газа преследовало еще и прикладную цель – получить данные для учета влияния флуктуаций его излучения в непрерывном спектре на результаты измерения уровня флуктуаций реликтового излучения в известном обзоре РАТАН-600 "Холод".

Результаты наблюдений (1999 г.)

Угловая структура излучения межзвездного нейтрального водорода на волне 21 см исследована на склонениях $+5^\circ$, $+16^\circ$, $+27.5^\circ$, $+39^\circ$ и $+50^\circ$ в диапазоне прямых восхождений от 10^h до 16^h (галактические широты от $+45^\circ$ до $+90^\circ$) с помощью радиотелескопа РАТАН-600 с шириной диаграммы направленности в среднем по области $2.0' \times 20'$. Разрешение по частоте 30 кГц (6.3 км/с), средний квадрат шумовых флуктуаций 0.1 К. Крупномасштабная структура газа на высоких широтах исключалась с помощью фильтра верхних частот. Спектр угловых частот излучения межзвездного нейтрального водорода вычислялся в каждом спектральном канале с помощью стандартной программы БПФ и сглаживался на протяжении одного часа по прямому восхождению.

Северная и южная полярные "шапки" (2001 г.)

Угловая структура излучения межзвездного нейтрального водорода на волне 21 см исследована на десяти склонениях в северной и южной

полярных шапках Галактики.

На отрезках длительностью в 1 час (15 град) статистические параметры распределения межзвездного газа можно считать стационарными. Оказалось, что зависимость от галактической широты средних характеристик распределения излучения линии HI по небу на высоких широтах (содержание HI на луче зрения и дисперсия флуктуаций антенной температуры) как в северной, так и в южной полярных областях Галактики в общем соответствует распределению газа в виде плоского слоя.

В области $11^{\text{h}} < \alpha < 13^{\text{h}}$, $27^{\circ} < \delta < 39^{\circ}$ содержание газа на луче зрения оказалось меньше $1.5 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$, т.е. ниже уровня чувствительности обзора, таким образом, в этой области галактический газ очень прозрачен.

Спектры мощности угловых флуктуаций в исследованной области в диапазоне угловых периодов от $10'$ до 6° выглядят степенными, однако, показатели спектра сильно меняются по небу: от -3 до -0.7 и, в среднем, при уменьшении содержания атомов HI на луче зрения спектр флуктуаций излучения межзвездного газа становится более плоским.

Этим, по-видимому, объясняется и значительное увеличение показателя спектра с уменьшением галактической широты.

В северной полярной области это явление выражено гораздо более четко, что, вероятно, связано с тем, что на юге количество газа на луче зрения на высоких широтах, в целом, гораздо больше, чем на севере, так что на юге, в среднем, спектры более крутые, но зависимость от галактической широты более слабая.

С помощью модельных расчетов показано, что наблюдаемый пространственный спектр распределения излучения линии HI можно получить в рамках не только турбулентной, но и облачной модели межзвездного газа, если использовать полученные в предыдущих работах спектры диаметров и масс облаков HI.

Следует заметить, что указанную выше зависимость крутизны пространственного спектра флуктуаций излучения HI от его общего содержания на луче зрения можно объяснить двумя способами: либо это чисто селекционный эффект, связанный с замыванием излучения мелких облаков при увеличении их количества, либо в более плотном, в среднем, газе облака малых размеров не выживают из-за столкновений или испарения в горячей фазе межзвездной среды.

ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ СОЛНЦА НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА РАТАН-600. ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В. М. Богод

Анализируется современное состояние исследований в области солнечной физики с помощью радиотелескопа РАТАН-600. Показаны перспективы будущих исследований в области физики солнечной атмосферы, которые могут быть реализованы в ходе будущих исследований Солнца. Рассматриваются возможности повышения ряда важных антенных и аппаратурных параметров радиотелескопа. Определено место будущих исследований Солнца на РАТАН-600 и их роль в мировой солнечной физике.

Введение

Крупнейший в России, а по ряду параметров и в мире, радиотелескоп РАТАН-600 уже в течении 4-х десятков лет (с 1974 г.) используется в качестве инструмента для радиоастрономических исследований (Парийский Ю.Н. др., 1976; Korolkov D.V. et al., 1979; Parijskij Yu. N., 1993). Совокупность параметров радиотелескопа оказалась уникальной для солнечных исследований. Инструмент имеет рекордное разрешение до 5 угловых секунд для радиотелескопов рефлекторного типа на высокочастотном краю рабочего диапазона волн на волне 8 мм. Паспортный же диапазон радиотелескопа простирается в длинноволновую часть вплоть до волны 30 см. Таким образом, радиотелескоп перекрывает по частоте 5.5 октавы и это уникально в мировой практике. Платой за это оказалось ухудшение других важных параметров, а именно: отсутствие режима слежения, что особенно важно для быстропеременных источников (Солнце). Освоение режима многоазимутальных наблюдений позволило перейти от транзитного режима к режиму с временным разрешением около 4 мин на протяжении 4-х часов (Богод.В.М. и др., 2004). Другим недостатком инструмента является отсутствие возможности регулярного получения двумерных карт. Однако накоплен определенный опыт построения двумерных изображений в различных режимах работы радиотелескопа. Полученный в течение четырех десятилетий опыт работы на радиотелескопе показывает, что, в принципе, указанные выше недостатки могут быть устранены, рабочий диапазон может быть расширен как в сторону коротких, так и в сторону длинных волн. Временной анализ радиоизлучения может быть распространен от нескольких часов вплоть до режима слежения с разрешением до долей мсек. Существуют также возможности и по увеличению пространственного разрешения.

Цель настоящей статьи – рассказ о результатах исследований радиоизлучения Солнца уже полученных с помощью радиотелескопа РАТАН-600, показать его место среди других радиоастрономических инструментов мира, и описать фундаментальные задачи физики Солнца сегодняшнего дня, которые

могут решаться с его помощью.

Физика Солнца и научный прогресс

Все многообразие структурных образований, наблюдаемых в солнечной атмосфере, равно как и проявления солнечной активности, в последние десятилетия связывались с солнечными магнитными полями. Их исследование (экспериментальное и теоретическое) и составило как бы центральную ось физики Солнца середины XX столетия. При этом физика Солнца часто являлась удобным полигоном для развития методов физики плазмы, и исследование поведения горячей плазмы солнечной короны рассматривалось как возможный источник идей для решения технической проблемы управляемых термоядерных реакций.

Между тем, в последние годы наметилось понимание того, что причина структуризации лежит, прежде всего, не только в магнитных полях, но и в нелинейности основных уравнений, описывающих поведение плазмы (ведь ясно выраженные структуры наблюдаются и в земной стратосфере, где магнитные поля не играют значительной роли!). Разумеется, это не означает, что физику солнечной атмосферы можно изучать, не измеряя и не анализируя магнитные поля, но это означает необходимость применения существенно нелинейной теории (и численных экспериментов) при решении соответствующих задач, в частности, исследование неустойчивостей, которые и могут порождать структуры. Солнце, в связи с этим, предоставляет нам уникальную возможность детально изучать структурные плазменные образования уже космического масштаба, с космическими временами жизни, но еще доступные нашему детальному исследованию и с широкой шкалой временных вариаций – от миллисекунд до сотен лет. Нам представляется, что именно с этой фундаментальной проблемой современной науки и будет связан основной интерес человечества к физике солнечных явлений. Ниже мы опишем вклад в изучение различных солнечных структур с помощью исследований на РАТАН-600 и возможные перспективы в этом направлении.

В то же время в общей астрофизике развивается интерес к солнечной физике как части проблемы солнечно-звездной физики. С этим связаны проблемы цикличности, выделения энергии, нагрева короны и генерации солнечного ветра.

Наконец, прикладные аспекты исследований солнечной активности, сопровождающейся жестким электромагнитным излучением, корональными выбросами плазмы и космических лучей останутся важным стимулом к исследованиям Солнца. Можно ожидать, что поиск путей перехода от эмпирических к физически обоснованным методам прогноза геоэффективных воздействий Солнца будет в центре ряда исследовательских программ.

Результаты наблюдений Солнца на РАТАН-600 (1975-2006 гг.)

История солнечной радиоастрономии на РАТАН-600 официально нача-

лась с первого наблюдения Солнца. Оно состоялось 3 ноября 1974 г. после установки 5-волнового спектрально-поляризационного комплекса на Облучателе №1 РАТАН-600 на волнах 2.0 см, 2.3 см, 2.7 см, 3,2 см и 4.0 см (Богод В.М. и др., 1976). Идеология этого комплекса была основана на опыте наблюдений на Большом пулковском радиотелескопе (Гельфрейх Г.Б. и др., 1970) пулковской группы радиоастрономов–солнечников под руководством Г.Б.Гельфрейха. Он и Д.В.Корольков по праву считались идеологами солнечных исследований. В частности, Д.В. стимулировал задачу перекрытия всего частотного диапазона РАТАН-600 (0.8 см – 30 см) в солнечных наблюдениях.

Были сформулированы задачи, основанные на большом различии в излучениях активных областей между 2.0 см (наблюдатель В.Н.Нагнибеда – сейчас сотрудник Института Астрономии в СПб ГУ) и 3.2 см (наблюдатель В.Н.Боровик – сейчас сотрудник ГАО РАН), что указывало на важность спектральных наблюдений в этом диапазоне. Однако 1974 и 1975 гг. относились к минимуму солнечной активности с редким появлением активных областей (АО) на диске. С другой стороны, это способствовало скорой реализации высокой чувствительности радиотелескопа при наблюдениях весьма слабых образований. Результатом стала статья 1975 г. В.М.Богода и Д.В.Королькова “Обнаружение в радиодиапазоне излучения хромосферной сетки” или так называемой “радиогрануляции”.

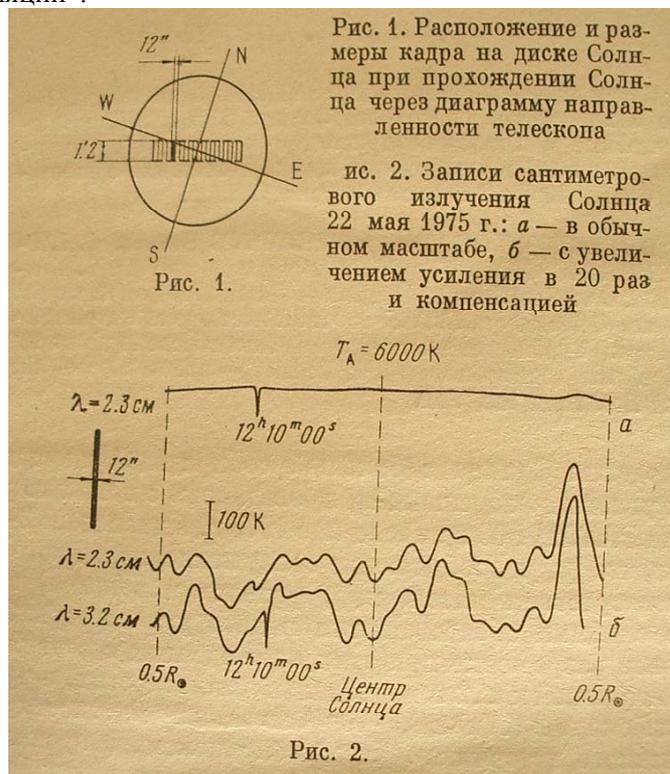


Рис.1. Вырезка из ПАЖ, т.1, №10 (1975) из экспресс-статьи, посвященной обнаружению тонкой хромосферной структуры.

В дальнейшем этот спектральный комплекс был переведен на Облучатель №3, который находился в системе Южного сектора с Перископом. Достоинством этой системы было наличие весьма малых кросс-поляризационных искажений (менее 0.5 %), что весьма важно при изучении поляризации радиоизлучения, вызванной наличием магнитных полей на Солнце.

В истории развития солнечных исследований прослеживается четкая взаимосвязь повышения технического потенциала инструмента и получения новых результатов. Основная цель была в достижении оптимального сочетания уникальных характеристик радиотелескопа (высокой чувствительности, широкодиапазонности и высокой поляризационной точности) с необходимыми для солнечных исследований характеристиками приемной системы (одновременное получение спектральных данных во всем диапазоне, высокий динамический диапазон, высокое временное разрешение инструмента, получение двумерных изображений, высокое пространственное разрешение и др.). За прошедшие 40 лет было создано несколько спектрально-поляризационных комплексов, которые перекрывали весь диапазон РАТАН-600 на ряде отдельных частот (Богод В.М. и др., 1985). Был создан панорамный анализатор спектра на весь диапазон радиотелескопа с 5% частотным разрешением, входной облучатель которого имел единый фазовый центр для всех радиочастот (Богод В.М. и др., 1983; Богод В.М. и др., 1993; Bogod V.M., Vatrushin S.M. et al., 1993). Недавно запущен уникальный в практике солнечных наблюдений спектрально-поляризационный комплекс высокого разрешения (Алесин А.М. и др., 2003).

Получение двумерных изображений на ряде одновременно всегда было предметом длительных исследований на РАТАН-600. Здесь следует отметить пионерские работы Минченко Б.С. (1978), Голубчина Г.С. и Голубчиной О.А. (1981), Nindos A. et al. (1996), Тохчуковой С.Х. (2003). Изучены различные варианты установки поверхности радиотелескопа, при которых формируется многолепестковая диаграмма направленности в широком поле зрения. Наличие многочастотного спектрографа и знание точного положения отражательных элементов антенны позволяют рассчитать ее многолепестковую диаграмму и построить радиокарту телескопа. Эта идеология разрабатывалась Богод В.М. и др. (1996), Гельфрейхом Г.Б., Опейкиной Л.В. (1992) и была апробирована в реальных наблюдениях. Была показана жизнеспособность такой идеи для отдельного специально сконструированного инструмента для солнечных исследований. Однако для такого многопрограммного телескопа, каким является РАТАН-600, этот режим сегодня организационно трудно совместим с другими программами. Практически используемый способ многоволнового картографирования сегодня основан на изменении азимутального угла в течение дня наблюдений. При этом используется антенная система Южного сектора с Перископом, в которой максимальные азимутальные углы между положением диаграммы и суточным перемещением объекта достигаются в периоды, близкие к летнему и зимнему солнцестояниям (Парийский Ю.Н., Шиврис О.Н., 1972; Коржавин А.Н., 1979).

С другой стороны, в периоды, близкие к весеннему и осеннему равноденствиям, напротив, реализуется минимальная разность азимутальных углов в течение дня, что позволяет проводить исследование быстропеременных явлений.

Наблюдения Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 отличаются от исследований, проводимых на других инструментах мира, уникальным сочетанием высокой чувствительности при измерении круговой поляризации излучения (порядка 0.5-1,0% для всего Солнца и до $p < 0.05$ % для точечных источников) с возможностью проведения длительных серий ежедневных наблюдений с временным разрешением до 4 минут при умеренно высоком пространственном разрешении (5" по одной координате в коротковолновой части рабочего диапазона на волне 8 мм, что определено конструкцией инструмента), это позволило производить диагностику физических параметров плазмы в широком классе плазменных структур короны и хромосферы Солнца.

Благодаря широкому многооктавному перекрытию частотного диапазона, исследование Солнца на РАТАН-600 охватывает широкий диапазон его атмосферы: от радиоизлучения хромосферной сетки (радиогрануляции), различных структур в активных областях до внешних структур солнечной атмосферы (солнечного ветра). Изучение поляризации радиоизлучения стало основой для разработки методов измерения магнитных полей в различных корональных структурах радиоастрономическим методом. Разработаны следующие методы.

Метод измерения сильных магнитных полей в короне над пятнами (до 2000 Гс), основанный на гирорезонансном механизме излучения на первых трех гармониках гирочастоты (Akhmedov Sh.B. et al., 1982; Ахмедов Ш.Б. и др., 1987).

Метод измерения слабых магнитных полей в слабоконтрастных структурах типа флоккул (Bogod V.M. et al., 1980), корональных петель (Korzhavin A.N. et al., 1994), протуберанцев (Богод В.М. и Гельфрейх Г.Б., 1978) и волокон (Korzhavin A.N. et al., 1994).

Метод измерения магнитного поля на высотах 100-200 тыс. км по эффекту инверсии знака круговой поляризации (часто неоднократной) (Gelfreikh G.B. et al., 1987; Bogod V.M. et al., 1993; Sych R.A. et al., 1993; Bezrukov D.A. et al., 2005).

Метод измерения магнитного поля крупномасштабной секторной структуры Солнца по эффекту Фарадея (Соболева Н.С., Тимофеева Г.М., 1983).

Методы измерения магнитного поля на плазменных частотах для активной плазмы, генерирующей всплески и микровсплески (Yasnov L., Bogod V., 2003; Богод В., Яснoв Л., 2005).

Большое развитие получили методы изучения трехмерной структуры солнечных образований – угловая и спектральная радиотомография на основе азимутальных и спектральных наблюдений на РАТАН-600 (Bogod V.M. et al., 1994; Богод В.М. и др., 1996).

4.1. Хронология аппаратурно-методических работ

3 ноября **1974 г.** Установка 5-волнового спектрально-поляризационного комплекса на I Облучателе РАТАН-600 (Богод В.М., Болдырев С.И., Ипатова И.А., Романцов В.В., 1976)

1980 г. Установка 8-волнового спектрально-поляризационного комплекса на облучателе № 3 РАТАН-600 (Богод В.М., Гельфрейх Г.Б., Петров З.Е.,

1985)

1978-1990 гг. Внедрение многоволнового облучателя с единым фазовым центром. (Богод, Дикий и др., 1983)

1991 г. Установка нового спектрально- поляризационного панорамного комплекса в диапазоне 1, 7 см – 32 см на Облучателе № 3 РАТАН-600 (Богод В.М., Ватрушин С.М., Абрамов-Максимов В.А., Дикий В.Н., Цветков С.А., 1993)

1997 г. Улучшены параметры уникального солнечного комплекса на РАТАН-600. Достигнуты предельные точности поляризационных измерений на панорамном анализаторе спектра ПАС РАТАН-600: 0.02-0.03% при измерениях по всему диску Солнца и 0.2-0.3% при измерениях точечных источников. Завершена автоматизация полного цикла наблюдений Солнца на РАТАН-600 с выдачей данных ежедневных многоволновых наблюдений в сеть ИНТЕРНЕТ на серверах САО и спутника SOHO (Богод В.М., Гараимов В.И., Комар Н.А., Тохчукова С.Х., Перваков А.А., Шатилов В.А. (серия статей в 1997 г.))

2001 г. Внедрена в эксплуатацию новая система автоматизированного управления Плоским отражателем РАТАН-600, которая позволила на порядок повысить производительность его использования и освоить новые режимы наблюдений. Реализован режим многоазимутальных наблюдений с применением автоматизированного Плоского Отражателя, Южного сектора и высокоточного цифрового привода приемной кабины Облучателя 3. (Богод В.М., Жеканис Г.Н., Мингалиев М.Г., Тохчукова С.Х., 2004)

2004 г. Завершено создание уникального спектрально-поляризационного комплекса высокого разрешения в диапазоне 6-18 ГГц, состоящего из 64 каналов с 1% полосой анализа. По сочетанию основных параметров – частотного перекрытия и разрешения, чувствительности и точности поляризационных измерений такой комплекс является первым прибором в практике солнечной радиоастрономии (Алесин А.М. (Киев), Балдин С.В., Богод В.М., Гараимов В.И., Перваков А.А. (САО))

2004 г. Предложен вариант компаунд-интерферометра для солнечных исследований (Богод В.М., 2004)

4.2. Методы

Азимутальное картографирование (Минченко Б.С., 1978; О.А.Голубчина, В.Н. Ихсанова, 1981; Nindos A., Allisandrakis K. et al., 1996; Тохчукова С.Х., 2003)

Режим радиогелиографа (Богод В.М., Гельфрейх Г.Б., Гребинский А.С., Опейкина Л.В. (цикл работ 1990-2003))

1996 г. С помощью оригинальной методики диагностики структуры Солнечной короны по эффектам рефракции радиоволн (пространственно-частотная томография) в диапазоне волн 2-30 см на радиотелескопе РАТАН-600 впервые независимо от оптических данных измерены значения электронной концентрации, меры эмиссии и скважности корональных петель. Показано, что основная масса вещества сосредоточена в сверхплотных петлях, занимающих менее 10% всего коронального объема (Bogod V.M., Grebinsky A.S., 1997)

4.3. Хронология астрофизических исследований радиоизлучения Солнца на РАТАН-600

1975 г. Обнаружение радиогрануляции (*Богод В.М., Корольков Д.В., 1975; Гельфрейх Г.Б., Кононович Э.В. и др., 1982*)

1980 г.-2003 г. Разработка методов измерения магнитных полей Солнца в его атмосфере

По тепловому тормозному излучению. Радиомагнитограф (*Bogod V.M., Gelfreikh G.B., 1980*)

По циклотронному излучению (*Akhmedov Sh.B. et al., 1982*)

По смене знака в QT-области (*Гельфрейх Г.Б., Петерова Н.Г., Рябов Б.И., 1985*)

По излучению на плазменных частотах (*Яснов Л.В., Богод В.М., 2003*)

1987 г. Обнаружение пекулярных радиоисточников в АО (*Akhmedov Sh.B. et al., 1986; Ахмедов Sh.B. и др. 1987; Kaltman T.I. et al., 1998*)

1993 г. Модель магнитосферы АО.

На основе микроволновых наблюдений Солнца на радиотелескопах РАТАН-600 и БПР с высоким пространственным и частотным разрешением создана модель взаимодействия фотосферных и корональных магнитных полей в активных областях. Модель "магнитосферы" активной области представляется как пространство в атмосфере Солнца, где параметры плазмы, ее структура, значение магнитного поля, процессы энерговыделения определяются взаимодействием корональной плазмы с магнитными полями, являющимися продолжением фотосферных магнитных полей активной области (*Lang K.R., Willson R.F., Kile J.N., Lemen J., Strong K.T., Bogod V.M., Gelfreikh G.B., Ryabov B.I., Hafizov S.R., Abramov - Maximov B.E., Tsvetkov S.V., 1993*)

1994 г. Дециметровое гало.

В результате сопоставления спектров активных областей Солнца по наблюдениям с высоким пространственным разрешением в микроволновом диапазоне на РАТАН-600 (S-компонента) со всплесковой компонентой в метровом диапазоне длин волн на VLA (США) обнаружено наличие мощной и длительной шумовой бури именно в районе слабо распадающейся активной области (при наличии на диске мощных активных областей). Полученные данные указывают на непосредственную связь между обнаруженным ранее на РАТАН-600 "дециметровым гало" с нетепловым излучением длительно существующих источников шумовых бурь (*Bogod V.M., Garaimov V.I., Gelfreikh G.B., Lang K.R., Willson R.F., Kile J.N., 1995*)

1995 г. Шумовые бури.

При сопоставлении данных микроволнового и метрового радиоизлучения с новыми данными РАТАН-600 по инверсии поляризации обнаружено, что узкополосная двойная инверсия поляризации наблюдается в активных областях с шумовыми бурями. Это явление интерпретируется как указание на локализацию токовых слоев в верхней короне Солнца, являющихся источниками ускорения частиц и мест накопления энергии для шумовых бурь (*Wilson R.F., Kile J.N., Lang K.R., Donaldson S., Bogod V.M., Gelfreikh G.B., Ryabov B.I., Hafizov S.R., 1995*)

1996 г. Корональные дыры.

Проведены прямые измерения магнитного поля в корональной дыре на уровне нижней короны; напряженность магнитного поля (растет от значений 0.2 Гс на уровне фотосферы до 7-10 Гс на уровне формирования радиоизлучения на длине волны 18 см и далее сохраняется до уровня формирования радиоизлучения на длине волны 30 см (Совместно с ГАО РАН) (*Боровик В.Н., Медарь В.Г., Коржавин А.Н. и др.*, 1999)

1997 г. Спектр протуберанца.

В результате комплексных исследований протуберанца на РАТАН-600 на W-лимбе Солнца впервые получен его мгновенный детальный спектр излучения в диапазоне от 1.7 до 32 см (на 39 длинах волн). Выделена его многокомпонентная структура и обнаружен источник повышенного нагрева на границе протуберанец-корона (*Bogod V., Garaimov V., Grebinskij A.*, 1998)

1998 г. Обнаружение циклотронных линий.

На радиотелескопе РАТАН-600 при наблюдениях активных областей Солнца: получены экспериментальные доказательства существования циклотронных линий излучения, предсказанных ранее Железняковым В.В. и Злотник Е.Я.; обнаруженная линия находилась в ярком источнике тепловой природы и имела полосу излучения 10-12% на длине волны 8.5 см, с яркостной температурой 107 К; (совместно с ИПФ РАН) (*Bogod V.M., Garaimov V.I., Zheleznyakov V.V., Zlotnik E.Ya.*, 2000)

1998 г. Активные области.

Предложен метод определения высоты основания короны над солнечными пятнами на основе сопоставления радиоастрономических и магнитографических наблюдений на РАТАН-600, значения которой заключены от 500 до 4500 км. Магнитное поле, определенное по третьей гармонике гирочастоты, принимает максимальное значение в основании солнечной короны и расходится со значением, определенным по второй гармонике, что не согласуется с теоретическими ожиданиями (*Kaltman T.I., Korzhavin A.N. et al.*, 1998)

2000 г. Обнаружение предельно слабых микровсплесков.

По наблюдениям радиоизлучения Солнца на РАТАН-600 с рекордной чувствительностью в дециметровом диапазоне волн обнаружены импульсные источники нового типа, что свидетельствует о длительном выделении нетепловой энергии в активных областях (*Богод В.М., Яснов Л.В.*, 2001)

2000 г. Микровсплески.

Показано, что радиоизлучение микровсплесков в активных областях Солнца является проявлением шумовых бурь на фундаментальной плазменной частоте и возникает в результате распространения неустойчивостей в вершинах корональных петель. Шумовая буря представлена как крупномасштабное активное образование, охватывающее слои солнечной атмосферы от десятков до нескольких сотен тыс. км над фотосферой. Совместно с обсерваторией в Нансей (Франция) (*Bogod V.M., Mercier C., Yasnov L. V.*, 2001)

2001 г. Природа гало в активной области на дециметровых волнах.

Наблюдения на РАТАН-600 в дециметровом диапазоне волн указывают на существование длительного нетеплового излучения активных областей, состоящего из континуальной компоненты (дециметровое гало) и всплесковой

компоненты (всплески и микровсплески) Наблюдения и разработанные модели уточняют природу континуума как излучения, возникающего при нелинейном взаимодействии плазменных волн на верхнегибридной частоте. Это доказывает существование в активной области длительного процесса генерации нетепловых электронов. Природа всплесковой компоненты обусловлена возбуждением верхнегибридных волн в условиях двойного плазменного резонанса. Создана методика диагностики физических параметров плазмы в области генерации длительного нетеплового излучения активных областей (*Bogod V.M., Yasnov L.V.*, 2001)

2001 г. Эффект потемнения в активных областях.

При наблюдениях на радиотелескопе РАТАН-600 обнаружены новые проявления солнечной активности, которые позволяют прогнозировать протонные вспышки на Солнце. В предвспышечной плазме найдены источники с большим наклоном спектра и неоднократной инверсией знака поляризации в диапазоне радиоволн 2 - 5 см и обнаружен эффект потемнения микроволнового излучения в отдельных активных областях (*Tokhchukova S.Kh., Bogod V.M.*, 2003)

2002 г. Вспышечно-продуктивные активные области.

По наблюдениям Солнца в микроволновом диапазоне на РАТАН-600 выделен класс вспышечно-продуктивных активных областей, которые характеризуются резкими инверсиями круговой поляризации по частоте и по времени на интервале от нескольких часов до трех суток. Это указывает на существование длительной подготовительной фазы в предвспышечном излучении Солнца. Столь ранняя регистрация предвспышечного состояния открывает возможности для развития новых методов прогнозирования мощных протонных событий на Солнце (*Peterova N.G. et al.*, 2002; *Богод В.М., Тохчукова С.Х.*, 2003; *Богод В.М., Тохчукова С.Х.*, 2004; *Голубчина О.А и др.*, 2004)

2003 г. Активные области и всплески.

На основе нового метода многоазимутальных наблюдений на РАТАН-600 в дециметровом диапазоне найдены прямые доказательства существования длительного нетеплового излучения в магнитосфере солнечной активной области (гало) и предложены объясняющие их природу плазменные механизмы. Совместно с СПбГУ и Пекинской обсерваторией (Китай) (*Богод В.М., Яснoв Л.В.*, 2005)

2004 г. Свойства вспышечно-продуктивных активных областей.

По данным совместных наблюдений на РАТАН-600 и ССРТ показано, что сложные спектрально-поляризационные свойства излучения вспышечно-продуктивных активных областей (такие как рост поляризованного потока излучения на коротких сантиметровых волнах (1.8 –5 см), неоднократные инверсии поляризации по частоте (по данным РАТАН-600) дополняются частыми и хаотическими сменами знака поляризации во времени в двумерном изображении на волне 5.2 см (по данным ССРТ). Это указывает на непрерывные процессы накопления и предварительного разогрева магнитосферы активной области в широком диапазоне высот. Эти данные противоречат современным вспышечным моделям, основанным на относительно стабильных, хотя и сложных магнитных арочных структурах (*Bogod V.M., Garaimov V.I., Kaltman T.I.*, 2005)

4.4. Резюме

Коллективом сотрудников за 40-летний интервал времени пройден большой путь по развитию исследований солнечного радиоизлучения на РАТАН-600, которые включали развитие технических и методических астрофизических задач. При этом :

1. В области приемной аппаратуры было создано 4 спектрально-поляризационных комплекса в диапазоне РАТАН-600 (от 5 до 64 волн).

2. В области систем регистрации пройден путь от многоканальных самописцев до цифровой регистрации на базе системы КАМАК с ЭВМ Электроника-100И, многоканальной цифровой регистрации на персональном компьютере типа РС 386 до многоканальной (128-256) цифровой регистрации на DSP с высоким временным разрешением.

3. В области развития методов наблюдений.

Реализован режим автоматических наблюдений Солнца на Южном секторе с Перископом, Опробован режим радиогелиографа РАТАН-600 с облучателем типа ЗЕНИТ. Реализован режим многоазимутальных наблюдений на Юг+Перископ.

4. В области астрофизических исследований. Обнаружен ряд новых свойств активной солнечной плазмы, которые трудно или невозможно обнаружить на других радиотелескопах.

5. Опубликовано более 600 работ сотрудниками САО, ГАО и другими пользователями, в т.ч. и зарубежными.

6. Во всех направлениях работ приняло участие около 80 сотрудников, из них в группе Солнца на РАТАН-600 – 30 сотрудников. В группе Солнца в ГАО и др. – 15-20 сотрудников,

В совместных работах принимали участие около 30 ученых из других стран.

5. Радиоастрономия и физика Солнца в XXI- веке

Сейчас стало очевидным, что дальнейшее развитие солнечной физики должно опираться на комплексные наблюдательные программы, при которых избранные объекты структуры солнечной плазмы анализируются параллельно во всех возможных диапазонах волн с использованием наиболее развитых средств и методов наблюдений. При этом радиоастрономической методике оказываются доступными задачи, практически нерешаемые другими средствами наземной и космической астрономии. К таким задачам, прежде всего, относятся: измерения магнитных полей в короне Солнца и верхней хромосфере, диагностика плазменной турбулентности, потоки электронов через корону. В ряде случаев радиоастрономия оказывается наиболее эффективным методом измерения локальной электронной плотности, температуры, меры эмиссии, диагностики ускорения электронов, хотя эти параметры могут измеряться и по наблюдениям в других диапазонах, прежде всего в рентгене (со спутников). Следует отметить, что радиоастрономический метод исследования является все еще мо-

лодым направлением в изучении плазменных структур солнечной атмосферы. Радиоспектр перекрывает широкий многооктавный диапазон длин волн, вследствие чего ему присуще значительное разнообразие объектов наблюдения и методов анализа. Ввиду значительной длины волны в радиодиапазоне мы имеем дело с излучением верхних слоев солнечной атмосферы: от верхних слоев хромосферы (в коротком миллиметровом диапазоне) до областей, ответственных за генерацию солнечного ветра (метровый диапазон). Этот диапазон атмосферы характеризуется значительными перепадами физических параметров плазмы:

- диапазон изменения яркостных температур простирается от уровней 10^4 К до 10^{12-15} К;

- диапазон изменения величин магнитного поля от единиц Гаусса (общее магнитное поле Солнца) до нескольких тысяч гаусс (зарегистрировано 4000 Гс);

- диапазон изменения плотностей плазмы в атмосфере Солнца от 10^6 частиц/см³ до 10^{12} частиц/см³.

Изучение плазмы в таком многомерном проявлении ее параметров невозможно проводить с помощью одного инструмента, и важные результаты достигаются обычно в комплексных наблюдениях с привлечением ряда радиоастрономических инструментов, оптических приборов и космических наблюдений со спутников. Несмотря на то, что в мире существует многообразие радиоастрономических инструментов при детальном анализе очевидно, что возможности радиоастрономии реализованы далеко не полностью. Основным источником информации, по-видимому, станут двумерные изображения космических объектов в максимально широком спектральном диапазоне (image spectroscopy), однако реализация такого подхода на радиоволнах с угловым разрешением 1-10" (уже достигнутом в оптическом и рентгеновском диапазонах) еще далека от решения. Для такого протяженного и переменного объекта как Солнце задача осложняется необходимостью одновременного получения широкого поля зрения (порядка 3000") с высоким временным разрешением (единицы миллисекунд). В соответствии с изложенной выше концепцией наблюдения, как правило, должны проводиться во всех диапазонах радиоизлучения Солнца.

Спектрально-поляризационные наблюдения Солнца могут быть использованы для развития методов проекционной и эмиссионной томографии при реконструкции трехмерной структуры солнечных образований (Bogod V.M. et al., 1994; Богод В.М. и Гребинский А.С., 1996).

1. Эмиссионная томография. Наблюдения одного и того же объекта на нескольких длинах волн позволяют разделить вклад разных слоев в излучение и отдельно определить температуру и плотность каждого слоя.

2. Проекционная томография. Наблюдения одного и того же объекта под разными углами позволяют получить информацию о его трехмерной структуре.

3. Солнечная стереоскопия. Коррелируя два изображения одного объекта под разными углами, можно найти его высоту по относительному смещению его проекции с использованием собственного вращения Солнца.

Это позволяет в условиях солнечной короны изучать пространственное распределение меры эмиссии и характер неоднородностей основных структурных элементов по собственному радиоизлучению в см- и дм-диапазонах волн. Результатом объемного моделирования областей спокойного Солнца, корональ-

ных дыр и магнитосфер активных областей над пятнами станет уточнение физических механизмов, ответственных за нагрев короны и циклические явления солнечной активности.

В последние годы интенсивно развиваются методы сейсмологии с использованием колебательных характеристик солнечной поверхности. Применение этих методов в радиодиапазоне позволит понять процессы распространения радиоволн и механизмы их генерации в нижних слоях солнечной атмосферы.

5.1. Развитие инструментальной базы РАТАН-600 для солнечных исследований

Реализация потенциальных возможностей радиодиагностики солнечной плазмы существенно зависит от параметров инструмента, таких как полнота анализа спектра в рабочем диапазоне инструмента, точность поляризационных измерений, пространственное разрешение, динамический диапазон, возможность длительных наблюдений (как в течение дня, так и в течение года).

Уступая по разрешающей способности таким крупнейшим радиотелескопам мира, как VLA и WSRT, РАТАН все же позволил реализовать более полный анализ спектра и более точные поляризационные измерения, а также существенно больший объем наблюдений.

5.2. Широкодиапазонный анализ спектра

Для решения этих задач на РАТАН-600 продолжаются работы по детальному перекрытию всего рабочего диапазона антенны (0,8 - 30 см) с высоким частотным разрешением. Следует отметить, что такая же задача стоит и перед новым проектом FASR США, который планируется к запуску в 2008 г. (Bastian, 2003). Опыт работы на новом СПКВР (Богод В.М. и др., 2005) показывает перспективность такого направления.

5.3. Временные характеристики

Важность изучения динамических свойств отдельных солнечных образований, получения многооктавных спектров интенсивности и круговой поляризации трудно переоценить для столь переменного объекта как солнечная атмосфера. Здесь надежды возлагаются на дальнейшее развитие режима многоазимутальных наблюдений. В частности, определенные надежды возлагаются на режим наблюдения в системе Южного сектора с Перископом с реализацией оптической схемы телескопа Шмидта, в котором время сопровождения источника может достигать 1-2 часа.

5.4. Картографирование на РАТАН-600

В течение ряда лет поисковые работы по развитию методов картографирования на РАТАН-600 (Гельфрейх Г.Б. и Опейкина Л.В., 1992; Богод В.М и Гребинский А.С., 1996) привели к созданию проекта радиогелиографа, на котором было продемонстрировано принципиально возможное решение задачи для многоволнового картографирования солнечного диска. Практическое решение получил метод азимутального картографирования, который будет развиваться как с технической, так и с методической стороны. Принципиальное решение вопроса состоит в создании безынерционной системы, сопровождающей объект (см. ниже).

5.5. Проект превращения РАТАН-600 в компаунд-интерферометр высокого разрешения

Отмечая выше достоинства РАТАН-600 по чувствительности, широкому диапазону частот и точности измерения поляризации и недостатки по пространственному разрешению, картографированию и временному разрешению, нами предложен проект развития системы АПП, полностью устраняющий эти недостатки с возможностью постоянного улучшения основных его параметров (Богод, Гельфрейх, 2003; Богод, 2004).

Идея заключается в развитии антенной системы Южный сектор с Перископом за счет добавления зеркал небольшого размера (3-5 м в диаметре) в направлении W-E и установки таких же зеркал в направлении N-S. Современная микроволновая техника позволяет создать миниатюрные широкодиапазонные приемные устройства, которые можно установить в фокусе этих зеркал. В приемной кабине собирающего зеркала (типа Облучателя №3) устанавливается система матричных радиометров, которая создает на небе линейку вертикальных ножевых диаграмм в широком диапазоне частот. Реализация системы компаунд-интерферометра, в которой совместно с зеркалом Перископа работают малые зеркала, расположенные по осям W-E и N-S, приведет к разбиению вертикальных диаграмм на множество вертикальных лепестков, количество и размеры которых определяются разномом и количеством малых зеркал. Техническая реализация подобных интерферометрических систем мало отличается от существующих в мире, таких как: радиогелиограф в Нобеяма (Япония), радиогелиограф в Нансей (Франция), OVRO (США) и др. и может быть применена в данном проекте. Т.о. проект объединяет достоинства АПП (дешевизна поверхности) и интерферометрии (высокое пространственное разрешение) и позволяет получить многопиксельные диаграммы, которые могут сопровождать объект исследования в широком поле зрения.

Подобный проект отличается небольшой стоимостью и в случае его успеха мог бы служить прототипом для создания крупного проекта, конкурирующего с системами типа SKA (его стоимость оценивалась около 50 млн. \$, что в десятки раз ниже аналогичных проектов SKA)

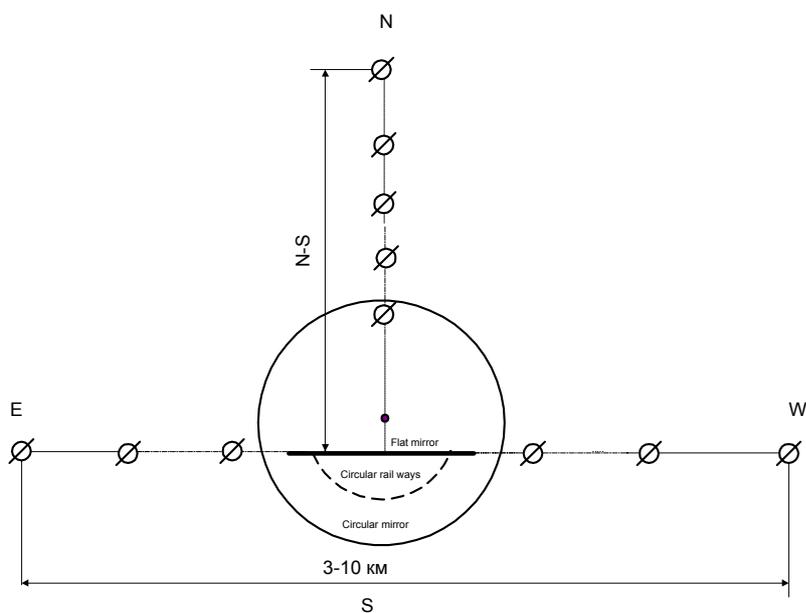


Рис. 2. Схема превращения радиотелескопа РАТАН-600 в компаунд-интерферометр.

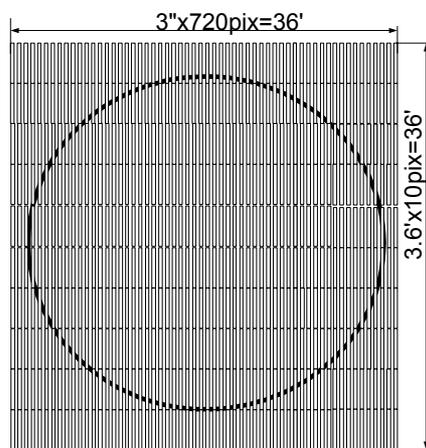


Рис. 3. Одна из версий перекрытия поля зрения $36' \times 36'$ с помощью многопиксельной диаграммы компаунд-интерферометра на волне 2.0 см.

Необходимость создания подобного инструмента отмечается в ряде международных симпозиумов, посвященных разработке нового всеволнового радиогелиографа FASR. Недавно Китай также объявил о подобном проекте. Наш проект отличается от предложенных в США и Китае большей чувствительностью, что важно при изучении процессов зарождения активности на Солнце.

6. Заключение

Нам представляется, что солнечная радиоастрономия и, в частности, радиотелескоп РАТАН-600 имеют значительные перспективы для изучения физики Солнца. При оптимальной государственной поддержке не только отечественная, но и мировая астрофизика получит уникальный инструмент, способный существенно продвинуть проблему структуризации солнечной плазмы как часть общей физической проблематики. С другой стороны, такой успех окажется возможным лишь при проведении солнечных наблюдений в рамках крупных международных программ. Такой подход требует направленного вложения средств: на установление каналов связи с другими обсерваториями, на организацию обработки и интерпретации наблюдательных данных, равно как и на подготовку к публикации. В совокупности эти мероприятия при достаточном вложении материальных и человеческих ресурсов способны обеспечить эффективную исследовательскую работу инструментального комплекса в области физики Солнца на ряд десятилетий.

7. Участники исследований

Основной вклад получен благодаря усилиям научного коллектива солнечной лаборатории САО РАН в составе: В.М. Богод., В.И. Гараимов, О.А. Голубчина, А.С. Гребинский, Т.И. Кальтман, А.Н. Коржавин, Н.Г. Петерова, С.Х. Тохчукова, С.В. Балдин, А.А. Перваков, Л.В. Опейкина, Т.Н. Казанина, Н.В. Хубиева. Многие работы выполнялись при участии сотрудников ГАО РАН (Г.Б. Гельфрейх, В.Н. Боровик, Т.П. Борисевич), СПбГУ (Л.В. Яснов, В.Г. Нагнибеда), ИПФАН (Е.Я. Злотник, В.В. Железняков).

8. Признательности

Автор признает ограниченность данной попытки описания работ крупного направления за длительный период работы, в связи с чем личная точка зрения может сильно превалировать. Он выражает надежду на создание более полного и глубокого описания проведенных исследований радиоизлучения Солнца на РАТАН-600 неформальным коллективом радиоастрономов ГАО и САО. Коллективы выражают признательность академику Ю.Н. Парийскому за содействие в проведении исследований и постоянный интерес, стимулирующий работу коллективов и отдают дань светлой памяти Д.В. Королькова, много сделавшего для становления этих исследований на РАТАН-600.

Мы выражаем признательность коллективам всех подразделений РАТАН-600, руководимым М.Г. Мингалиевым, П.В. Призовым, Г.Н. Жекани-

сом, слаженная и ответственная деятельность которых в основном определила выполнение многих комплексных работ, особенно в тяжелые перестроечные годы.

Значительная помощь была оказана Российским фондом фундаментальных исследований и программами ПАН-30 и ОФН-16.

9. Литература

Алесин А.М., Балдин С.В., Богод В.М., Головков А.А., Голубева Е.Ю., Сугак М.И.: Нижний Новгород 2003, в сб. "Актуальные проблемы физики солнечной и звездной активности", стр.227-230.

Ахмедов Ш.Б., Богод В.М., Боровик В.Н., Вильсон Р.Ф., Гельфрейх Г.Б., Дикий В.Н., Коржавин А.Н., Ланг К.Р., Петров З.Е., *Астрофиз. исслед. (Изв. CAO)*, т.25, 1987, с.105-134.

Akhmedov Sh.B., Gelfreikh G.B., Bogod V.M., Korzhavin A.N., *Solar Physics*, v. 79, 41-58, 1982.

Akhmedov Sh.B., Borovik V.N., Gelfreikh G.B., Bogod V.M., Korzhavin A.N., Petrov Z.E., Dikij V.N., Lang K.R., Willson R.F., *Astroph. Journal*, 1986, 301, 460-464.

Akhmedov, S.B.; Bogod, V.M.; Borovik, V.N.; Gelfreikh, G.B.; Korzhavin, A.N., 1987, *Solar Maximum Analysis. Proceedings of the International Workshop, held in Irkutsk, USSR, June 17-24, 1985*. Editors, V.E. Stepanov, V.N. Obridko; Publisher, VNU Science Press, Utrecht, The Netherlands.

Bastian, T.S., *The Frequency Agile Solar Radiotelescope, 2003*, *Advances in Space Research*, Volume 32, Issue 12, p. 2705-2714.

Bezrukov D.A., Ryabov B.I., Bogod V.M., Gelfreikh G.B., Maximov V.P., Grago F., Lubyshev B.I., Peterova N.G., Borisevich T.P., *Baltic Astronomy*, 2005, v.14, N 1, pp.83-103

Богод В.М., Корольков Д.В.: 1975, *Письма в АЖ*, том 1, N10, 25.[

Богод В.М., Болдырев С.И., Ипатовая И.А., Корольков Д.В., Романцов В.В., 1976, *Солнечные данные*, N 11, 93-100.

Богод В.М.: *Сообщения CAO*, 1978, No 23, 22-42.

Богод В.М., Гельфрейх Г.Б., *Письма в АЖ*, 1978, т.4, N 10, с.483-486.

Bogod V.M., Gelfreikh G.B., 1980, *Solar Physics*, 67, 29-46.

Богод В.М., Дикий В.Н., Корольков Д.В., Сорель В.Е., 1983, *Астрофизические Исследования, "Известия CAO"*, т.17, стр.124 – 130.

Богод В.М., Гельфрейх Г.Б., Петров З.Е., 1985, *Известия CAO* т.20, стр.102

Богод В.М., Абрамов-Максимов В.Е., Дикий В.Н., Ватрушин С.М., Цветков С.В.. *Препринт CAO РАН*, 1993, No 84 Л, сс. 1-28.

Bogod, V.B., Gelfreikh, G.B., Ryabov, B.I., Hafizov, S.R., Abramov-Maximov, V.E., and Tsvetkov, S.V.: 1993, *Ap. J.*, 419, 398.

Bogod V.M., Vatrushin S.M., Abramov-Maximov V.E., Tsvetkov S.V., Dikij V.N., 1993, *ASP Conference Series*, vol.46, pp.306-309. H.Zirin, G.Ai and H.Wang (eds)

Bogod V.M., Gelfreikh G.B., Ryabov B.I., Hafizov S.R., *ASP Conference*

Series, Vol.46, 1993, 302-305.

Богод В.М., Гельфрейх Г.Б., Гребинский А., Опейкина Л.В., Изв.ВУЗов, "Радиофизика", том XXXIX, N5, стр.527-537, 1995

Bogod V.M., Garaimov V.I., Gelfreikh G.B., Lang K., Willson R., Solar Physics, 160, 133-149, 1995.

Богод В.М., Гельфрейх Г.Б., Гребинский А.С., Опейкина Л.В., Изв. ВУ-Зов, Радиофизика, 1996, т.39, No 5, 527-537.

Богод В.М., Гребинский А.С. Радиофизика, 1996, т.39, No 10.

Богод В.М., Гараимов В.И., Комар Н.П., Шатилов В.А., Состояние и перспективы развития, 1997, в сб. "Проблемы современной радиоастрономии", Т.3, стр.132-133, С.Петербург.

Bogod V.M., Garaimov V.I., Grebinskij A.S., Solar Physics, 1998, vol.182, p.139-143

Bogod V.M., Garaimov V.I., Komar N.P., Korzhavin A.N., Proceedings of 9-th European Meeting on Solar Physics, 1999. (ESA SP-448, December 1999), p.1253-1258.

Bogod V.M., Garaimov V.I., Zheleznyakov V.V., Zlotnik E.Ya, Astronomy reports, Vol. 44, №4, 2000, pp.271-277.

Bogod V.M., Mercier C., Yasnov L.V. 2001, Journal Geophysical Research, Vol.106, NoA11, pages 25,353-25,360

Bogod V.M. and Yasnov L.V., 2001, Astronomy Reports vol.45, N8.

Bogod V.M., Tokhchukova S.Kh., Astronomy Letter, 2003, vol. 29, p.263-273

Богод В.М., Г.Б. Гельфрейх, Нижний Новгород 2003, в сб. "Актуальные проблемы физики солнечной и звездной активности", стр.251-254

Богод В.М., Тохчукова С.Х., Письма в АЖ, 2003, том. 29, №3, с.305-316.

Богод В.М. О проекте крупного многоцелевого радиотелескопа России, Москва ВАК-2004

Богод В.М., Жеканис Г.Н., Мингалиев М.Г., Тохчукова С.Х., Известия ВУЗов "Радиофизика", т. XLVII, № 3, стр. 1-12, 2004.

Богод В.М., Яснов Л.В., "Письма в АЖ", № 2, 2005, стр.1-12.

Богод В.М., Алесин А.М., Балдин С.В., Гараимов В.И., Перваков А.А., О технических характеристиках нового спектрально-поляризационного комплекса высокого разрешения СПКВР для микроволновых исследований Солнца на РАТАН-600, Сб. Солнечная активность как фактор космической погоды, 2005, Труды ГАО РАН, стр 628-632.

Bogod, V.M.; Garaimov, V.I.; Kaltman, T.I. Proceedings of the 11th European Solar Physics Meeting "The Dynamic Sun: Challenges for Theory and Observations" (ESA, SP-600). 11-16 September 2005, Leuven, Belgium. Editors: D. Danesy, S. Poedts, A. De Groof and J. Andries. Published on CDROM., p.112.1

Боровик В.Н., Курбанов М.Ш., Лифшиц М.А., Рябов Б.И.:1993, АЖ, 70, 403.

Borovik, V.N.; Medar, V.G., Korzhavin, A.N. Astronomy Letters, Volume 25, Issue 4, April 1999, pp.250-257

Гараимов В.И., Богод В.М., , 1997, в сб. "Проблемы современной радиоастрономии", Т.3, стр.137-138, С.Петербург.

- Гельфрейх Г.Б., Ахмедов Ш.Б., Боровик В.Н., Гольнев В.Я., Коржавин А.Н., Нагнибеда В.Г., Петерова Н.Г., 1970, Известия ГАО, №185, стр 167.
- Gelfreikh G.B., Bogod V.M., Korzhavin A.N., Kononovich E.V. Smirnova, O.B.; Startsev, S.V.; Piotrovich, V.V. Sun and Planetary System, 109 -112, 1982,
- Gelfreikh G.B., Peterova N.G., Ryabov B.I.: Solar Physics, 108, 89-97.
- Гельфрейх Г.Б., Опейкина Л.В.: Препринт САО РАН, 1992, №96, стр31
- Grebinskij A., Bogod V., Gelfreikh G., Urpo S., Perttula M., Shibasaki K. Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 148, 169-180 (2000).
- Голубчина О.А., Голубчин Г.С.: Известия САО, 1981, т.4,125.
- Голубчина О.А., Ихсанова В.Н., Богод В.М., Голубчин Г.С. Солнечные Данные, 1979, №4, стр.108
- Kaltman, T.I.; Korzhavin, A.N.; Peterova, N.G.; Lubyshev, B.I.; Maksimov, V.P.; Alissandrakis, C.E.; Fu, Q. ASP Conf. Series Vol. 155, Ed. by Costas E. Alissandrakis & Brigitte Schmieder. ISBN 1-886733-75-9 (1998), p.140
- Korolkov D.V., Parijskij Yu.N.: Sky and Telescope, 1979, v.57, 4.
- Korzhavin A.N., Bogod V.M., Borovik V.N., Gelfreikh G.B., Makarov V.I.: Space Science Reviews, 1994, 70, 193-198.
- Коржавин А.Н. Известия САО, т. 11, 1979, стр. 145-169.
- Lang K.R., Willson R.F., Kile J.N., Lemen J., Strong K.T., Bogod V.M., Gelfreikh G.B., Ryabov B.I., Hafizov S.R., Abramov - Maximov B.E., Tsvetkov S.V. 1993, Astrophysical Journal, Dec.10, pp. 398-417.
- Минченко Б.С. Известия САО, т. 10, 1978, стр. 99-107.
- Nindos A., Alissandrakis C.E., Gelfreikh G.B., Borovik V.N., Korzhavin A.N., Bogod V.M.: Solar Physics, vol.165, 41-59, 1996
- Соболева Н.С., Тимофеева Г.М., Письма в АЖ, 1983, т. 9 , стр. 409
- Sych R.A., Uralov A.M., Korzhavin A. N.: Solar Physics, 1993, v.144, p.59-68.
- Parijskij Yu. N.: IEEE Ant. and Propag. Mag., 1993, v.35, 4, 7-12.
- Парийский Ю.Н., Шиврис О.Н.,: 1972, Известия ГАО, N 188, 13-39.
- Парийский Ю.Н. и др.: 1976, АЖ, том 53, вып.5, 1017
- Tokhchukova S. Kh., Bogod V. M., Solar Physics, 2003, v.212, Issue 1, p.99-109.
- Тохчукова С.Х., Кандидатская диссертация, 2003
- Yasnov L.V., Bogod V.M., Q.Fu, Y.Yan, Solar Physics, 2003, 215, 343-356.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА РАТАН-600 (История разработки приемной системы для регистрации радиолиний)

А. П. Венгер

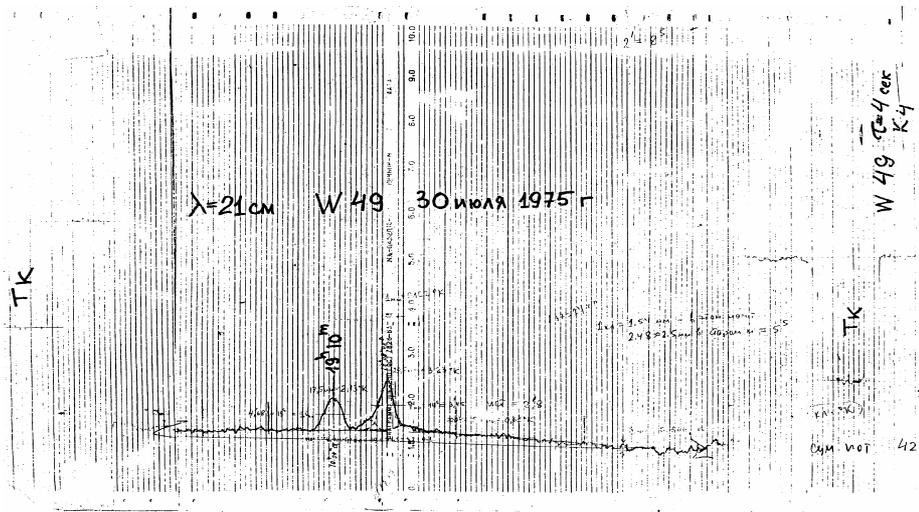
Самым информативным методом исследования космического пространства в радиоастрономии является спектральный метод. Он позволяет получить наиболее полную информацию о динамических процессах и о химическом составе астрофизических объектов. Методология спектральных исследований была разработана задолго до создания радиотелескопа РАТАН-600. Одним из основоположников развития теории и методологии спектральных радиоастрономических исследований является Н.Ф.Рыжков. На базе Большого Пулковского Радиотелескопа (БПР) проводилась отработка методов исследований и сами спектральные исследования с помощью приемных устройств, которые имели рекордные по тем временам чувствительность и информативность. В сравнительно короткий срок группой сотрудников (Т.М.Егорова, Н.С.Евграфов, В.А.Яковлев) во главе с Н.Ф.Рыжковым был создан спектральный комплекс, достаточно совершенный по тем временам, для наблюдения радиолинии нейтрального водорода H I (21 см). Совместно с Н.В.Быстровой, И.В.Госачинским, З.А.Алферовой начато проведение систематических исследований линии H I на БПР. Параллельно разрабатывались новые радиоспектрометры с малошумящими усилителями (МШУ) высокой частоты на входе: мазерами и охлаждаемыми до температуры жидкого азота параметрическими усилителями, что позволило впервые в Советском Союзе провести наблюдения аномально возбужденного гидроксила OH на частоте 1665 и 1667 МГц. Для этих приемников был сконструирован и изготовлен многоканальный фильтровый узкополосный анализатор с цифровым регистрирующим устройством, что позволило полностью автоматизировать обработку наблюдений на ЭЦВМ.

В 1969 году весь отдел Радиоастрономии ГАО был переведен в САО АН СССР. Начиная с этого времени все усилия были направлены на освоение крупнейшего по тем временам радиоастрономического инструмента РАТАН-600. В декабре 1972 года была образована лаборатория спектральных исследований. Первым руководителем этой лаборатории стал доктор физ.-мат. наук Н.Ф. Рыжков.

В первый состав лаборатории вошли Т.М. Егорова, Н.С. Евграфов, А.И. Кутилов, В.А. Прозоров, В.А. Яковлев, А.П. Венгер, В.Г. Грачев, В.Г. Могилева, А.С. Киреев, Н.В. Быстрова, И.В. Госачинский, З.А.Алферова. Основной темой деятельности лаборатории была “Разработка новых методов и аппаратуры для радиоастрономических наблюдений”. Основное внимание было уделено созданию аппаратуры спектрального комплекса РАТАН-600 для исследований всех основных спектральных линий в рабочем диапазоне радиотелескопа, а

также увеличению его чувствительности и информативности. При этом продолжались непрерывные наблюдения на БПР.

С 1974 года основная деятельность Лаборатории радиоспектроскопии переносится на РАТАН-600. Первые пробные наблюдения в непрерывном спектре источника W49 на волне 21 см на облучателе № 2 на Южном секторе РАТАН-600 с Плоским отражателем были проведены 30 июля 1975 года.



К этому времени была сформирована группа сотрудников на РАТАН-600 (Н.П. Комар, Н.В. Панов, А.М. Носова), которая входила в состав ЛРС САО. Основная спектральная аппаратура, изготовленная в Ленинграде (46 ящиков), прибыла на РАТАН-600 19 ноября 1975 года и была установлена в течение 34 дней на облучателе № 2.

23 декабря 1975 года были начаты спектральные наблюдения линии HI с 20-канальным спектроанализатором и записью на перфоленду радиоисточников Лебедь-А и Орион-А. Еще через 6 дней эти наблюдения были обработаны на единственной тогда в САО большой ЭВМ М-222. Новые данные о распределении межзвездного газа вокруг туманности Ориона были опубликованы в 1979 году (Астрон. Ж., т.56, стр. 1191).

Начиная с 1975 года, проводилась большая работа по автоматизации наблюдений: была создана система программного управления спектрометрами, обеспечившая полную автоматизацию наблюдательного процесса. Основные работы под руководством Н.Ф. Рыжкова выполняли В.Г. Могилева, С.Р. Желенков, И.В. Госачинский.

К 1978 году были введены в регулярную эксплуатацию три спектральных приемника: СП-21 (для линии HI), СП-18 (для линии 18 см) и СП-6.2 (для линии P_2CO). В 1979 году в рамках спектральной лаборатории была образована Группа приемных устройств во главе с А.П. Венгером, куда входили Г.Н. Ильин, В.А. Прозоров, А.С. Киреев, А.И. Кутилов. Основной целью данной группы было создание высокочувствительных приемников следующего поколения, а также освоение новых спектральных радиолиний. В 1981 году для наблюдения

мазерных источников введен в эксплуатацию СП-1.35 (для линии водяного пара H_2O). Начиная с 1982 года, производится активное внедрение на входе приемных устройств нового класса МШУ – охлаждаемых транзисторных усилителей на полевых транзисторах. Это позволило существенно упростить эксплуатацию и повысить стабильность работы радиоспектрометров. На базе этих и других новых технологий группой приемных устройств была предложена, разработана и внедрена новая схема универсального приемного устройства дециметрового диапазона (1984 год). Этот приемник включал достаточно широкополосный канал континуума (450 МГц) и два спектральных канала (один фиксированный на НI и один – перестраиваемый на линии ОН). Он позволил заменить действующие до того времени два автономных приемных устройства, существенно улучшить их эксплуатационные характеристики. По этой схеме в дальнейшем был выполнен и СП-1.35. К этому времени была завершена разработка системы нового поколения программного управления двумя спектрометрами. Она позволила автоматизировать не только процесс наблюдения на двух спектрометрах, но и выполнение подготовительных операций, а также программное видоизменение методики измерений. В дальнейшем, из-за помеховой обстановки в этом диапазоне на РАТАН-600 канал континуума применения не нашел.

Начиная с 1985 года, проводились интенсивные исследования возможностей РАТАН-600 в мм-области частот. Для этой цели был разработан вариант мм-приемника на 3.2 мм. С его помощью удалось снять основные характеристики главного зеркала, проводить наблюдения Солнца, Луны и планет в континууме.

Начиная с 1990 года, новые аппаратурные разработки были заморожены из-за общего снижения финансирования радиоастрономических исследований.

ДОЛГАЯ ДОРОГА РАДИОМЕТРОВ СПЛОШНОГО СПЕКТРА

А. Б. Берлин, Н. А. Нижельский

Комплекс из семи высокочувствительных радиометров сплошного спектра несет на РАТАН-600 наибольшую наблюдательную нагрузку, по какой бы методике мы не определяли этот параметр.

Начиналось же все в далекие 50-е годы на Пулковском холме, в только что организованном С.Э.Хайкиным отделе радиоастрономии ГАО. И было все, как положено в мире: “Свет (С.Э.Хайкин) только что отделился от “Тьмы” (В.В.Виткевич), а более ничего не было...” (кроме первых двух радиометров для работы в сплошном спектре, которые были привезены после кандидатских защит их авторов, аспирантов С.Э.Хайкина). Радиометры были изготовлены в ФИАНе и построены, как и все приемные устройства СВЧ в то время, по супергетеродинной схеме с учетом опыта военных лет.

Знакомство Д.В. Королькова, впоследствии лидера основных разработок в области радиометров сплошного спектра, с проблемами радиоастрономии началось с исследования тонких поляризационных инструментальных эффектов в радиотелескопе диаметром 4 м. На нем был установлен поляризационный радиометр, разработанный Э.Г.Мирзабекяном по аналогии с оптическими поляризаторами на основе вращающихся полуволновых и четвертьволновых пластин. Эти исследования привели к первому крупному открытию Пулковской радиоастрономии – обнаружению сильной круговой поляризации солнечных пятен в сантиметровом диапазоне волн.

Для многих целей солнечной радиоастрономии, которыми был увлечен Д.В., главной проблемой была проблема инструментальных эффектов и стабильности радиометров.

Первый радиометр для БПР был создан А.Ф.Дравских по классической схеме военных лет. Однако чувствительность этого радиометра позволяла наблюдать на нем только Солнце.

Здесь мы подходим к причинам перестройки всей тактики в области СВЧ-радиометров пулковской школы.

Целью пулковской радиоастрономии было освоение сантиметрового диапазона, и главным инструментом должен был стать БПР, работающий как «меридианный инструмент». Поэтому сразу две причины вынуждали отказаться от принятых (по аналогии с военными разработками) методов метрового диапазона:

- 1) переход от метрового к сантиметровому диапазону, где сигналы от радиоисточников в 100 раз слабее, и
- 2) невозможность использования длительного времени накопления на БПР.

Радиометры локационного типа были узкополосными в связи с основной задачей обнаружения локационных сигналов длительностью в несколько микросекунд. Первый широкополосный радиометр для БПР был создан с использованием появившихся в 50-х годах «Усилителей с распределенными параметрами» с полосой 200 МГц (УРП). Это позволило поднять чувствительность в несколько раз, но этого было недостаточно. Рассекречивание «ламп бегущей волны» (ЛБВ) позволило еще более расширить полосу (до полосы пропускания волновода) и добиться повышения чувствительности до долей градуса. За короткий период было создано несколько радиометров прямого усиления с рекордной для того времени чувствительностью на волнах 8.3 см, 31 см, 3.2 см,

8 мм. Эти радиометры открыли возможность провести многочисленные наблюдения небесных тел различной природы.

Но шумы ЛБВ лишь немного отличались от шумов смесительных радиометров, и основной выигрыш (в несколько раз) произошел за счет полосы приема. Необходимо было искать качественно новые пути.

Международная радиоастрономия достигла прекрасных успехов, внедряя появившиеся у военных мазеры с рекордными шумовыми характеристиками, но с локационными полосами. Этот вариант был опробован на БПР при локации первого советского спутника (от пулковской школы активно принимали участие Н.Л. Кайдановский и В.А. Прозоров).

Вся дальнейшая работа по радиометрам предельной чувствительности велась небольшой группой во главе с бессменным на протяжении 30 лет лидером этого направления, Дмитрием Викторовичем Корольковым. Трудно, да и бессмысленно сопоставлять параметры первых радиометров с параметрами современных: шумовые температуры измерялись в тысячах, а не в единицах и десятках Кельвин (да и Кельвин как единица измерения еще не существовал, были просто "градусы абсолютной шкалы"), а полосы принимаемых частот – в единицах и нескольких десятках, а не в сотнях и тысячах мегагерц.

Не лучше было и положение с доступной элементной базой: транзисторов не было вообще (а интегральных схем – тем более), из полупроводников были только смесительные и детекторные диоды СВЧ и первые образцы выпрямительных диодов. Вся техника низких и промежуточных частот работала на лампах, то же можно сказать и о технике СВЧ: клистроны (гетеродины) и усилители высокой частоты (ЛБВ) – это тоже лампы. Как следствие, для питания были нужны сотни и тысячи вольт, для цепей накала – единицы и десятки ампер. Для улучшения параметров первых радиометров в первую очередь нужно было повышать стабильность источников питания, отсюда и первая публикация Д.В. Королькова о разработке мощного стабилизатора питания цепей накала. В ряде первых работ рассматривались методы и возможности измерения и улучшения параметров супергетеродинных радиометров. Подобные радиометры в первую очередь применялись на малых зеркалах в установках по исследованию радиоизлучения Солнца. Благодаря тесному (и затем многолетнему) сотрудничеству с НИИ "Домен" стали доступны первые образцы СВЧ-ферритов для фарадеевских модуляторов и фазовращателей, которые заменили вращающиеся четвертьволновые и полуволновые полистироловые пластины и упростили исследования поляризации. Можно отметить, что в первые годы хорошим тоном считалась совместная работа над конкретными проблемами "аппаратурщиков" и "астрофизиков" в рамках динамично складывающихся творческих микроколлективов; эффективность этой интеграции надо учесть следующему поколению.

Д.В. Корольков принял решение включиться в исследования возможностей нового типа усилителей, которые могли иметь и широкие полосы и низкие шумы. Это направление вызывало сомнение у С.Э. Хайкина – он полагал, что параметрическое усиление не даст стабильного усиления, но отговаривать Д.В. не стал.

Забегая вперед, скажем, что эти усилители стали основой всех высокочувствительных радиометров на последующие два десятилетия. Главным активным элементом ПУ является полупроводниковый диод с модулируемой при помощи специального генератора ("накачки") емкостью р-п перехода. ПУ – принципиально двухполюсное устройство, и для разделения входного и усиленного сигналов требует применения специального ферритового элемента – циркулятора. Циркуляторы приходилось делать самим, сначала – на основе фарадеевских ферритовых стержней в круглом волноводе, помещенном в солено-

ид, а затем – на основе волноводных тройников с огромными самодельными электромагнитами. Полностью отсутствовало лабораторное оборудование, на котором можно было исследовать широкополосные устройства, поэтому пришлось разработать и изготовить своими силами свипп-генератор СВЧ на основе клистрона с циклической перестройкой частоты при помощи микроэлектропривода. Разработка ПУ велась в стране многими организациями параллельно. Преимуществом группы ГАО было отсутствие официального "заказчика", которому работу нужно было "сдавать". В короткие сроки Д.В.Корольков и Г.М.Тимофеева сделали сначала действующий макет, а затем и действующий в реальных наблюдениях на БПР радиометр диапазона 3 см. Вместе с новым усилителем была опробована и применена схема радиометра прямого усиления (без преобразования частоты, как это было сделано в радиометрах на ЛБВ ранее). Эта схема надолго стала отличительной чертой "пулковской школы" радиометрии. Схема прямого усиления исключает наличие взаимных помех от сетки основных частот (и их гармоник) множества гетеродинов, что особенно важно для многоволновых комплексов РАТАН-600.

Вскоре после появления входных ПУ со всей остротой встал вопрос о необходимости разработки последующих каскадов усиления с "промежуточным" уровнем шумов, необходимых для согласования по шумам входных ПУ и выходных каскадов. Первоначально эту роль играли так называемые "малошумящие" ЛБВ, для работы которых нужно использовать дорогую и сложную фокусирующую систему с соленоидом, требующую к тому же частой юстировки. На Западе к тому времени появился новый тип усилителей СВЧ – усилитель на туннельном диоде (УТД). С появлением первых отечественных образцов туннельных диодов разработка УТД была предпринята в нашем коллективе. Были сконструированы и изготовлены первые образцы УТД на волне 4 см, быстро внедренные в состав действующего радиометра для БПР, и это было одним из первых практических применений УТД в отечественной радиоастрономии. В течение многих лет, до смены поколений элементной базы, тандем ПУ + УТД служил основой схемотехнического решения для многих радиометров БПР и РАТАН-600. Сочетание ПУ и УТД оказалось столь удачным, что было применено в радиометре экспедиционного солнечного инструмента – интерферометра с малой базой (РИМБ). В этом качестве, вслед за солнечными затмениями, РИМБ объехал полмира (острова Кука, Мексика).

П.А. Фридманом и Д.В.Корольковым была предложена и подробно описана схема радиометра с шумовым пилот-сигналом (по западной терминологии – схема с добавлением шума), отличающаяся от западных аналогов квази-нулевым режимом (т.е. наличием балансировки). Последнее обстоятельство позволяет, как и в классической схеме Дике, исключить флуктуации коэффициента усиления, но, в отличие от этой схемы, убрать из входного тракта между усилителем и первичным рупором практически все элементы с потерями (модулятор). Новая схема оказалась перспективной не только для радиометров сплошного спектра, она снимала ограничения на резкое снижение шумовой температуры входных усилителей для всех однолучевых (без сканирования диаграммы) радиометров, иными словами, снимала ограничения на применение глубокого охлаждения входных каскадов.

Направление "крио-ПУ" начиналось с простых самодельных заливных криостатов с временем сохранения температуры жидкого азота (78 К) порядка нескольких часов. Изготовленный на основе этого ПУ радиометр был установлен на БПР и активно использовался в наблюдениях. На основе тех же комплектующих был изготовлен и введен в действие в 70-х годах первый криорадиометр для РАТАН-600. Заливные криостаты азотного уровня просуществовали, постепенно совершенствуясь, не один десяток лет. Последние вари-

анты были изготовлены заводским способом на вполне профессиональном уровне и удерживали жидкий азот несколько суток.

Дальнейшим шагом в направлении снижения уровня шума ПУ стал переход в 1979 году на совершенно новую технику охлаждения - микрокриогенные системы (МКС) с замкнутым циклом по рабочему газу и уровнем захлаживания 15 К. Д.В.Корольковым было организовано (и сохраняется до сих пор!) тесное сотрудничество с одним из самых передовых предприятий отрасли – НИИ "Сатурн" в Киеве. Полученные оттуда усилители СВЧ на основе крио-ПУ с МКС стали основой для самого чувствительного радиометра РАТАН-600 на волну 7.6 см. Пройдя несколько циклов модернизации, этот радиометр беспрерывно проработал более 20 лет, оставаясь самым чувствительным в своем классе. В этом радиометре удачно сошлось все: структура по "схеме с добавлением шума", т.е. с "чистым" входным трактом; естественный минимум потерь на данной частоте в волноводах входного тракта; достаточно низкая (15 К) физическая температура входных каскадов и возможность ее сохранения практически неограниченное время; полоса усиливаемых частот порядка 15%. При температуре системы не более 40 К реализованная в наблюдениях чувствительность для времени интегрирования 1 сек составляла $2 \div 3$ мК.

В 80-х годах была решена задача минимизации потерь во входных переключателях (модуляторах) радиометров со сканированием (двухлучевых). Сотрудничество с НИИ "Домен" позволило исследовать и внедрить в качестве штатного в коротком сантиметровом диапазоне длин волн новый тип волноводного переключателя (циркулятора) с магнитной памятью. Такой прибор переходит из одного состояния в другое при воздействии импульса (длительностью несколько мксек) сильного тока ($5 \div 15$ А) и не потребляет управляющий ток в статическом состоянии. Последнее означает, что средняя мощность по цепи управления пренебрежимо мала (доли и единицы мВт), и ничто не мешает поместить такой модулятор в криостат. С использованием подобных приборов были разработаны и изготовлены для РАТАН-600 штатные криорадиометры на волны 1,4; 2,7 и 3,9 см и ряд других, использовавшихся короткое время.

Время параметрических усилителей кончилось в конце 80-х – начале 90-х годов. Все усилители стали транзисторными, сначала – на GaAs транзисторах, затем (и по сию пору) на различных вариантах структуры НЕМТ. При реализуемых по шумам и полосе параметрам, близким к параметрам ПУ, усилители на транзисторах обладают рядом несомненных преимуществ, к которым относятся: разделение входного и выходного сигналов без циркулятора, т.е. устройство принципиально четырехполюсное (а не двухполюсное); простота питания постоянным током и отсутствие СВЧ-генераторов мощности накачки. Все эксплуатационные параметры транзисторных усилителей, прежде всего – стабильность формы амплитудно-частотной характеристики, значительно превышают таковые, типичные для ПУ.

Ситуация осложнялась деструктивными процессами в обеспечении отечественной элементной базы, и только перестройка и последующие события открыли доступ к импортным комплектующим приличного качества. С помощью гранта ESA удалось приобрести СВЧ-транзисторы, стали доступны микрополноволновые микросхемы и высококачественные элементы СВЧ-тракта (разделители поляризации).

"Транзисторизации" подверглись абсолютно все усилительные каскады радиометров обсуждаемого комплекса, как выходные (неохлаждаемые), так и входные, в том числе – криогенные. Несколько особняком стоял радиометр на волну 8,2 см с охлаждением входных транзисторных каскадов до -40°C при помощи термоэлектронных охладителей на эффекте Пельтье. Радиометр был работоспособен, но не выдержал конкуренции с криогенными вариантами.

В дециметровом диапазоне волн (13, 31 и 49 см) в течение последних лет непрерывно обостряется ситуация с электромагнитными помехами. Это помехи от радиорелейных линий, стремительно развивающихся систем сотовой связи, телевидения, компьютерных сетей.

На РАТАН-600 разработан и введен в практику наблюдений новый подход к чистке широкополосного сигнала от обычно узкополосной помехи для случая, когда электронная система чистки не справляется со своей задачей (довольно частый случай!); в широкополосном радиометре при этом вся информация гибнет. Предложено разделять полосу радиометра по СВЧ на несколько (4 – 8) частотных интервалов («узкие» каналы, или субканалы), для каждого – свой фильтр, детектор и ПУНЧ, затем общий для всех каналов мультиплексор, АЦП и ЦСП в системе сбора.

Подавление помех осуществляется как в реальном времени – с помощью быстродействующих цифровых сигнальных процессоров (ЦСП) Texas Instruments и Analog Devices отдельно в каждом субканале, так и в постобработке данных. Алгоритм работы микропроцессора состоит в демодуляции сигналов радиометров с последующим удалением импульсных помех пороговым методом. Информация от канала, в котором не удалось избавиться от помех, при обработке игнорируется; решение об этом принимается наблюдателем. Указанный подход позволяет сохранить информацию, хотя и с несколько меньшей чувствительностью; в противном случае информация теряется полностью.

Кратко упомянем о двух разработках последнего пятилетия.

Радиометр на волну 7,6 см был, после 25-летней эксплуатации, заменен на новую разработку на международной волне 6,25 см. Радиометр двухканальный, регистрируются две круговые или две линейные поляризации одновременно. Двухканальный криоблок обеспечивает шумовую температуру не более 10 К в полосе 900 МГц. При шумовой температуре системы на средних углах возвышения антенны не более 38 К реализованная чувствительность составляет $2,3\text{ мК/с}^{1/2}$. Кроме дополнительного выигрыша по чувствительности в корень квадратный из двойки вследствие двухканальности одновременная регистрация двух круговых поляризаций позволяет при последующей обработке данных эффективно вычитать шум от внесосевых точечных радиоисточников, а также шум атмосферы в ближней зоне и вариации излучения земли.

Академиком Ю.Н. Парийским была сформулирована задача перехода, в соответствии с мировыми тенденциями, к матричному построению радиометрической системы на конкретной волне, ибо прямые пути повышения чувствительности одиночного радиометра близки к исчерпанию. Задача разработки МАтричной Радиометрической Системы (МАРС) была поставлена применительно к волне 1 см и решается в три этапа. На первом этапе (МАРС-1) выдвигалась идеология построения одиночного канала, на втором этапе (МАРС-2) была изготовлена и доведена до монтажа на антенне и активного участия в наблюдательном процессе трехэлементная матрица. Испытания показали, что даже в трехэлементном варианте "теплая" матрица сравнима по чувствительности с криорадиометром на волну 1,4 см. На этапе МАРС-3 изготовлена и монтируется на антенне 16-элементная матрица. Каждый элемент матрицы состоит из малогабаритного радиометрического модуля с каналом прямого усиления на микросхемах миллиметрового диапазона с усилением порядка 65 дБ в полосе частот 5 ГГц. На входе каждого модуля установлен коммутатор/модулятор на основе циркулятора с магнитной памятью. Два первичных рупора каждого модуля соединяются с модулятором сменными переходными волноводными секциями с возможностью поворота анализатора поляризации. Каждый из 16 элементов матрицы совершенно автономен, что повышает общую надежность. Объединяющим для всех элементов является только тракт калибровки, рабо-

тающий от единого твердотельного генератора шумовой мощности. Ожидаемая чувствительность по антенной температуре для каждого элемента матрицы составляет $5 \text{ мК/с}^{1/2}$.

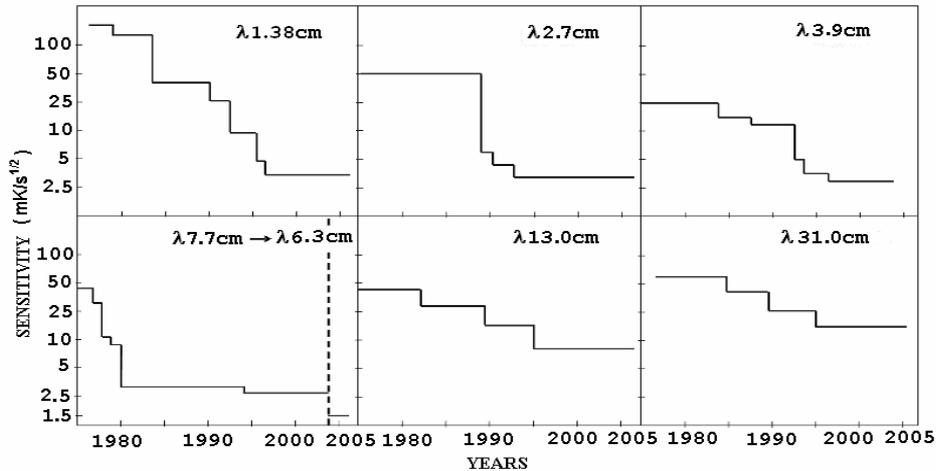


Рис.1. Рост чувствительности радиометров сплошного спектра за 30 лет



Рис.2 Первичные облучатели комплекса радиометров сплошного спектра. Слева – матрица МАРС-2.

Комплекс радиометров РАТАН-600 для работы в сплошном спектре, пройдя множество этапов модернизации, является сейчас полностью твердотельным, с практически неограниченным ресурсом работы (при надлежащем обслуживании).

Комплекс был многократно описан и о нем не раз было доложено на различных конференциях.

Ряд описанных здесь исследований поддерживался грантами РФФИ (0502-17521) и грантами ПРАН и СПбНЦ РАН.

ГЕОДЕЗИЯ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

Ю. К. Зверев

Введение

Изобретатель антенны переменного профиля (АПП) С.Э. Хайкин претворение в жизнь своей идеи – создание большого радиотелескопа рефлекторного типа с высокоточной отражающей поверхностью в виде АПП – непосредственно связывал с возможностями классических геодезических измерений того времени [1], и это выдвигалось им как весомый аргумент успешности проекта. Именно поэтому юстировка Большого пулковского радиотелескопа (БПР) по радиусу выполнялась при помощи инварной проволоки, хотя и 100-метровой (О.Н. Шиврис), а для других операций предполагалось оснастить каждый щит теодолитом ТТ-50 в качестве контрольно-установочного устройства.

Использование геодезических методов при подготовке БПР к радиоастрономическим наблюдениям и для их обеспечения полностью себя оправдало, и они были применены и для реконструкции БПР.

В это же время для юстировки БПР успешно разрабатывались и другие методы: радиотехнический (А.А. Стоцкий), автоколлимационный (не совсем точное название) (А.А. Стоцкий, Н. Ходжамухамедов), и радиоастрономический (Г.Б. Гельфрейх, О.А. Голубчина), которые предполагалось внедрять на проектируемом радиотелескопе РАТАН-600. Каждый из этих методов обладал достоинствами, и каждый из них имел некоторые преимущества перед геодезическими методами. Но несмотря на последнее обстоятельство, внимание к геодезии не ослабевало, что проявилось в том, что геодезические методы по-прежнему рассматривались как рабочие в проекте РАТАН-600 [2].

Сотрудничество с ЦНИИГАиК

Конечно, осуществление проекта РАТАН-600 было немыслимо без привлечения большого числа специализированных институтов и организаций. В области геодезии одним из таковых стал Центральный Ордена Знак Почета научно-исследовательский институт инженеров геодезии, аэрофото съемки и картографии им. Ф.Н. Красовского (ЦНИИГАиК), и в частности, отдел специального применения геодезии этого института (А.Г. Белевитин).

На протяжении всего периода строительства, ввода в эксплуатацию и дальнейших исследований радиотелескопа РАТАН-600 сотрудничество с ЦНИИГАиК было самым тесным, все проблемы обсуждались подробнейшим образом, решения принимались согласованно, многие работы выполнялись совместно, институт организовал в месте строительства радиотелескопа постоянную экспедицию (А.П. Глумов).

Основой геодезических измерений на площадке РАТАН-600 является опорная геодезическая сеть – плановая и высотная. Форма сети, конструк-

ции геодезических знаков (плановых, высотных и планово-высотных), технология их закладки были разработаны совместно, совместно же была разработана первоначальная программа предстоящих геодезических работ [3].

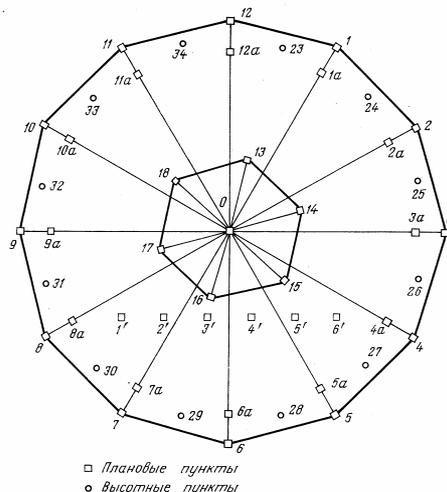


Рис.1. Опорная геодезическая сеть радиотелескопа РАТАН-600.

Сотрудниками ЦНИИГАиК был выполнен большой объем линейных и высотных измерений по определению положения пунктов опорной сети. Линейные измерения выполнялись ежегодно в течение нескольких лет по программе I класса базисным комплектом из 6-ти инварных проволок. В результате были получены абсолютные значения всех «радиусов», данные о стабильности плановых пунктов и прогнозы по точности при использовании пунктов для привязки щитов кругового отражателя по радиусу.

Определение высотного положения пунктов сети (реперов) выполнялось по программе высокоточного нивелирования II класса, впоследствии (с 1977 г.) несколько измененной с целью повышения точности измерений. В результате получены значения высот пунктов и данные об их стабильности во времени.

Сотрудниками ЦНИИГАиК была выполнена важная работа по определению широты и долготы центра радиотелескопа, а также астрономического азимута (по программе определений I класса) опорного направления для ориентирования диаграммы направленности радиотелескопа.

Для обеспечения монтажных работ, а также для проведения контроля за ними в ЦНИИГАиК был спроектирован и изготовлен комплект юстировочных инструментов «ЮС РАТАН-600» – «юстировочная станция РАТАН-600», который использовался уже при заводских испытаниях опытных образцов щитов кругового и плоского отражателей. На этих испытаниях исследовались деформации ферм щитов при их наклонах, правильность вза-

имного положения осей, качество движения и наклонов щитов, величины люфтов и т.п. Исследования выполнены совместно.

Сотрудниками ЦНИИГАиК осуществлялось сопровождение строительных и монтажных работ, в частности, они вели разбивку фундаментов, опорных тумб и домкратов щитов кругового и плоского отражателей, выполняли юстировку опорных балок, ориентирование и горизонтирование угломестных осей. От высотных знаков с известными значениями высот по методике ЦНИИГАиК были выставлены в проектное положение опорные балки щитов всего кругового отражателя и угломестные оси всех щитов. От них же, т.е. от реперов, были установлены опоры щитов плоского отражателя.

Очень большая работа выполнена ЦНИИГАиК по формированию отражающей поверхности щитов как кругового, так и плоского отражателей. Первоначально предполагалось, что поверхность будет формироваться на стапелях для круговых и плоских щитов, а задача геодезистов – установка в проектное положение «ножей» стапеля и периодический выборочный контроль вышедших из-под стапеля щитов. Однако позднее была предложена другая методика, обеспечивающая более высокую точность, – «под нивелир», по которой каждая юстируемая точка поверхности выставляется в проектное положение непосредственно по нивелиру. По такой методике были «обработаны» все щиты радиотелескопа. Эта же методика была использована при повторном формировании поверхности щитов, вызванном сменой материала отражающей поверхности, а также изменением способа крепления щитов под стапелем. В конечном результате после всех усовершенствований методики поверхность щитов формировалась со ср. кв. ошибками $< 0,10$ мм для центральной части щита и $< 0,15$ мм для всей поверхности, что лучше ранее установленных проектных значений [4]. Работа – совместная.

Большая работа выполнена по исследованию изменений высот и наклонов угломестных осей щитов при их радиальном перемещении, обусловленных температурными деформациями фундаментных колонн, а также неплоскостностью рельсов опорной балки. Результаты этого исследования непосредственно учитывались при подготовке радиотелескопа к наблюдениям.

Сопровождение строительных и монтажных работ

Сопровождение строительных и монтажных работ на площадке радиотелескопа РАТАН-600 со стороны САО (а ранее – со стороны отдела радиоастрономии ГАО) осуществлялось на всех этапах сооружения радиотелескопа. Так, уже в январе-феврале 1968 г. было выполнено первое астрономическое наблюдение на площадке РАТАН-600: определен астрономический азимут одной из сторон опорной съемочной сети – по Полярной и по Солнцу.

Для разбивки фундаментов щитов кругового отражателя была разработана методика, позволяющая, опираясь на 38 фиксированных по азимуту с точностью порядка $\pm 1''$ и измеренных с точностью ± 2 мм, выполнить раз-

бивку основных точек фундаментов со ср. кв. ошибкой порядка ± 5 мм [5]. Эта же методика применялась для выборочного контроля положения возведенных фундаментных колонн кругового отражателя.

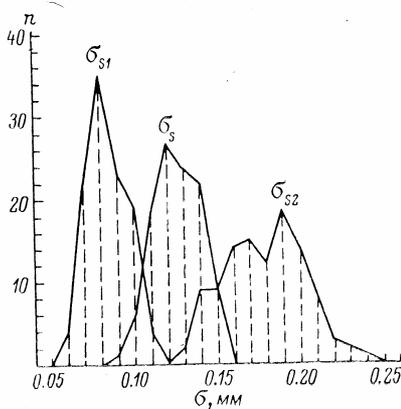
С началом монтажных работ по установке опорных балок, кареток, а затем и щитов геодезические измерения переместились на эстакаду кругового отражателя. Для проверки равномерной расстановки опорных балок на окружности была опробована методика измерений «равномерности» расположения при помощи обычной 50-метровой рулетки не только без учета натяжения ее, но и специально с разным натяжением в разных приемах измерений. Проверка методики дала отличные результаты, в дальнейшем данная методика применялась не только на эстакаде и не только на дуговых сооружениях радиотелескопа.

Наклоны направляющих рельсов опорных балок выявлялись при помощи специально для этого изготовленного микронивелира с ценой деления микрометра 0,01 мм. Были обследованы опорные балки всех щитов, дефекты устранялись, получены данные об отклонениях рельсов от плоскости.

Для ориентирования угломестных осей щитов кругового отражателя имелось несколько методик, наших и ЦНИИГАиК. В конце концов проверку ориентировки осей уже установленных щитов стали выполнять при помощи специального устройства, позволяющего укладывать ось вращения контрольной зрительной трубы параллельно проверяемой угломестной оси щита, а также по методике ЦНИИГАиК при помощи автоколлимационного теодолита, эта методика применялась также для контроля и настройки упомянутого выше устройства. Проверке были подвергнуты все щиты кругового отражателя, операция неоднократно повторялась в процессе эксплуатации радиотелескопа.

Формирование отражающей поверхности элементов кругового и плоского отражателей

Как уже было упомянуто выше, геодезисты САО активно участвовали в работе по формированию поверхности щитов, начиная с этапа «переобшивки». В это время по нашей инициативе был также изменен способ установки и фиксации щита под стапелем при юстировке поверхности: щит теперь опирался на концы своей угломестной оси, как и на опорной балке на эстакаде. Благодаря этому практически было сведено к нулю влияние деформации фермы щита на качество поверхности, и точность поверхности резко возросла [4]. На рис. 2 показано распределение ср. кв. ошибок поверхности всех щитов кругового отражателя с новым материалом «обшивки» и отъюстированных по измененной методике.



Распределение ср. кв. ошибок поверхности щитов, обшитых новым алюминием.
 σ_{s1} — для центральной части; σ_{s2} — для крайних частей щита; σ_s — для всего щита.

Рис. 2.

Технология юстировки щитов предусматривает контрольное нивелирование поверхности каждого щита, из которого определяется не только отклонение полученной поверхности от аппроксимирующей, но и значения кривизны поверхности, неплоскостность положения представительных площадок и расстояния от этих площадок, а значит, и от поверхности до угломестной оси щита. Все эти данные образуют содержание паспорта щита.

Впоследствии было разработано несколько методов и технологий исправления поверхности щитов непосредственно на их «штатном месте», т.е. без их демонтажа и перевозки в стапельное помещение. Благодаря этому удалось выполнить очень большую работу по проверке качества и исправлению поверхности щитов, а также по оснащению всех щитов кругового отражателя защитными экранами («закрылками»), которые в дециметровом диапазоне можно рассматривать как дополнительную отражающую поверхность, существенно увеличившую площадь кругового отражателя. В это же время была проведена фиксация регулируемых точек поверхности (вариант В.Б. Хайкина) для предотвращения ухудшения поверхности со временем. В процессе выполнения описанных операций были обмерены, исправлены и закреплены поверхности всех щитов кругового (895 щитов) и плоского (124) отражателей.

Формирование поверхности вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600

Для формирования отражающей поверхности вторичных зеркал, или облучателей, радиотелескопа РАТАН-600 (облучателей типа II-III и V) был разработан так называемый струнно-оптический метод [6,7]. Сущность метода заключается в том, что панели поверхности облучателя выставляются в проектное положение при помощи оптико-механического приспособления

типа микрометра от струны, натянутой между опорными точками с известными координатами, близкими к координатам проектной поверхности. Опорные точки крепятся на каркасе зеркала с обеих сторон его по параболе (с точностью 1-2 мм). Их прямоугольные координаты определяются из высокоточных геодезических измерений: линейных, проецирования вертикально вверх и нивелирования - и могут быть проинтерполированы на любую точку натянутой струны. Таким образом можно определить положение любой точки юстируемой поверхности, в том числе и точки, регулируемой относительно проектной поверхности, и, следовательно, проконтролировать выставление этой точки в нужное положение. Схема определения координат опорных точек показана на рис. 3.

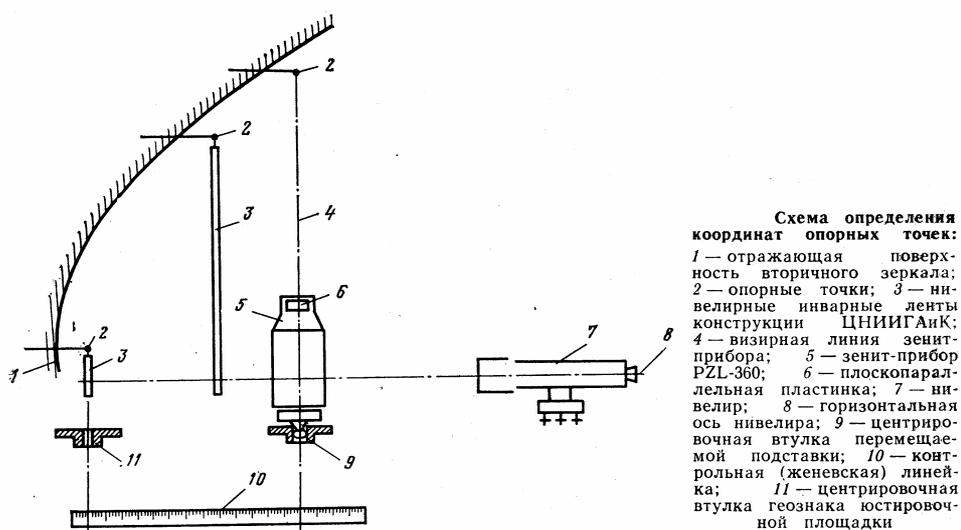


Рис. 3.

Этим методом юстируемые точки поверхности облучателя №1 были выставлены в проектное положение со ср. кв. ошибкой $\pm 0,10$ мм, с учетом ошибок заводского изготовления панелей суммарная ошибка поверхности оказалась не хуже $\pm 0,15$ мм. Из повторных юстировок выяснилось, что опорные точки стабильны в течение 5-6 лет со ср. кв. ошибкой порядка $\pm 0,1$ мм, а положение юстируемых точек ухудшается до ср. кв. ошибки $\pm 0,15$ мм.

Описанным методом были отъюстированы поверхности облучателей №№ 2 и 3 (типа II-III) и, кроме того, он был модифицирован для облучателя типа V, имеющего отражающую поверхность большего размера.

Облучатель типа VI, зенитный, имеет два зеркала: параболическое, диаметром 10 м, и коническое, высотой 5 м. Поверхность параболического

зеркала была сформирована широко применяющимся в юстировочной практике способом – при помощи флаг-шаблона (конструкция Сызранского завода, методика ЦНИИГАиК). Согласно контрольным измерениям ЦНИИГАиК, качество отъюстированной поверхности характеризуется ср. кв. ошибкой $\pm 0,2$ мм. Работа – совместная.

Для формирования поверхности конического зеркала был модифицирован ранее описанный струнно-оптический метод. В этой модификации эталонная коническая поверхность задается вращением струны, натянутой под углом в 45° к вертикальной оси конуса, вокруг этой оси. Один конец струны крепится в точке, совпадающей с вершиной конуса, а другой – к концу вращающейся стрелы, ось вращения которой совпадает как с осью конуса, так и с осью параболы. Схематично все это изображено на рис. 4 [8].

Панели конической поверхности устанавливались от струны при помощи оптико-механического микрометра. После окончания юстировки этим же способом были выполнены контрольные измерения, согласно которым точность поверхности характеризуется ср. кв. ошибкой $\pm 0,3$ мм.



Рис.4:

- а) 1 – поверхность параболического зеркала, 2А и 2В – втулки, задающие ось параболоида, 3 – флаг-шаблон, рабочая рамка шаблона;
 б) 1 – поверхность конического зеркала, 2В и 2С – втулки, задающие ось конуса, совпадающую с осью параболоида, 3 – вращающаяся стрела, 4 – струна.

Формирование поверхности главного зеркала РАТАН-600

Формирование поверхности главного зеркала РАТАН-600 – кругового отражателя – осуществляется путем перемещения щитов из исходного положения в расчетное. Поэтому первейшая задача юстировки – определение мест нулей (МО), т. е. отсчетов по отсчетно-установочным устройствам (ОУУ) в исходном положении щитов. С этой целью были разработаны методы и инструменты для определения положения щитов по радиусу относительно выбранной окружности, по азимуту относительно направления на центр радиотелескопа и по углу места относительно отвесной линии [3].

Принятыми методами определение азимутального и угломестного положения выполняется со ср. кв. ошибками порядка $\pm 10''$ и $\pm 5''$ соответственно, что значительно лучше допустимых значений, а также намного точнее

отработки задания на установку щитов по ОУУ. Поэтому на практике при определении МО измерения выполняются как минимум двумя приемами, чтобы уменьшить влияние погрешностей отработки [9,10].

Определение МО по радиусу выполняется при помощи специально изготовленного устройства, представляющего собой зрительную трубу с окулярным микрометром (обязательный элемент) на длинной (2 м) горизонтальной оси вращения. Своими цапфами на концах оси приспособление прикладывается к представительным площадкам двух соседних щитов, один из которых принимается за опорный, а другой – за подстраиваемый. Визирная ось трубы – перпендикулярна оси ее вращения, поэтому, если наводить трубу на центр радиотелескопа радиальным движением подстраиваемого щита, то в момент визирования центра подстраиваемый щит окажется на одной окружности с опорным. При помощи окулярного микрометра можно весьма точно определить микроотклонения юстируемого (подстраиваемого) щита от выбранной окружности. Положение опорного и подстраиваемого щитов на окружности показано на рис. 5.

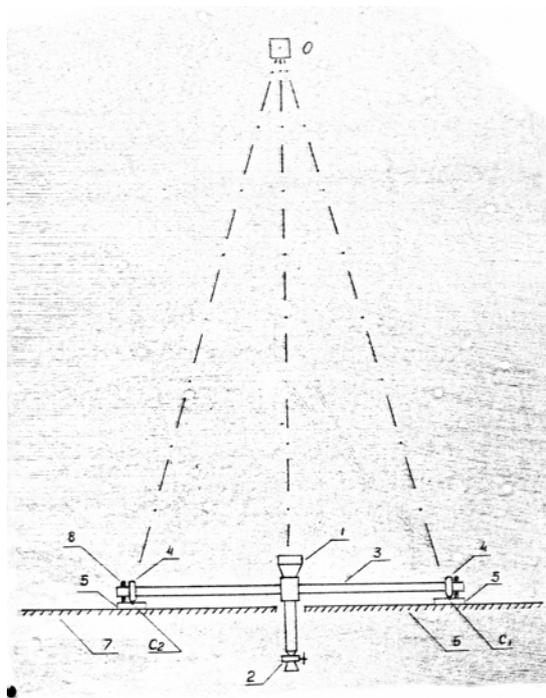


Рис. 5. Выставление подстраиваемого щита на окружность щита опорного: 1 – зрительная труба; 2 – окулярный микрометр; 3 – горизонтальная ось вращения трубы; 4 – цапфы; 5 – представительные площадки; 6 – опорный щит; 7 – подстраиваемый щит.

При проверке метода на группе из 25 щитов северного сектора их радиальное положение, определяемое последовательно от щита к щиту по соседнему, находилось дважды, двумя ходами, из сравнения которых были получены следующие данные по точности: ср. кв. ошибка определения смещения каждого из 25 щитов с соответствующей дуги окружности из

одного хода оказалась равной $\pm 0,032$ мм, а осредненного из двух ходов соответственно $\pm 0,016$ мм. Этот результат экспериментальной проверки позволил внедрить метод в практику юстировок. При геодезической юстировке восточного сектора кругового отражателя по радиусу была получена дуга из 150 щитов, отклонение от которой каждого из них определено со ср. кв. ошибкой $\pm 0,11$ мм [11,12].

По результатам геодезической юстировки северного сектора было проведено первое радиоастрономическое наблюдение на радиотелескопе РАТАН-600: радиоисточник – PKS 0521 – 36, длина волны – 3,9 см, 12 июля 1974 г. Фрагмент записи показан на рис. 6 [9].



Рис. 6. Первое наблюдение на радиотелескопе РАТАН-600: радиоисточник PKS 0521-36, длина волны 3,9 см, 12 июля 1974 г.

Формирование поверхности плоского отражателя

Для того, чтобы в реальности получить поверхность плоского отражателя, необходимо, во-первых, поместить все угломестные оси щитов этого отражателя в одну горизонтальную плоскость, во-вторых – расположить их в одном створе, а уже затем, в-третьих, наклонить щиты на один угол.

Выставление угломестных осей в проектную горизонтальную плоскость проводилось по данным ЦНИИГАиК, полученным посредством высокоточного нивелирования с использованием специальных инварных нивелирных лент и с учетом кривизны Земли.

Поскольку по техническим условиям на изготовление щитов расстояние от угломестных осей до плоскости представительных площадок должно быть одним и тем же для всех щитов, то в створ можно выставлять представительные площадки или, даже лучше, – поверхность. На практике во время юстировки все щиты ставятся вертикально, в том числе и для определения МО угломестных ОУУ.

По разработанной технологии с использованием специальных устройств и приспособлений щиты выставляются в створ по представительным пло-

щадкам (с учетом привязки к ним поверхности каждого щита) от струны. Метод предусматривает получение единого створа, при этом проводятся створные измерения по участкам из 24 щитов каждый. Таким методом можно получить единый створ на всю длину плоского отражателя со ср. кв. ошибкой $\pm 0,2 - \pm 0,3$ мм при точности створа на участках лучше $\pm 0,2$ мм [13].

Периодические юстировки выявили удовлетворительную стабильность положения щитов и, следовательно, сохранности качества отражающей поверхности.

Плоский отражатель участвует в наблюдательном процессе в совокупности с южным сектором кругового отражателя.

Повышение точности поверхности главного зеркала

С момента первого наблюдения на радиотелескопе проводятся всесторонние исследования геодезическими методами кругового (а также и плоского) отражателя с целью определения ошибок в пространственном положении поверхности щитов, обусловленных погрешностями монтажа, а также ошибками заводского изготовления, которые проявляются при движении щитов. Прежде всего было проведено исследование ошибок, возникающих при наклоне щитов по углу места, вследствие заводских и монтажных погрешностей. Для щитов северного сектора оказалось, что средние значения разностей между расчетными и фактическими углами наклона изображаются квадратичной кривой с максимальным значением $+ 6',5$, а график ср. кв. ошибок – почти прямая с максимальным значением $6',8$. Влияние выявленных погрешностей может быть компенсировано путем введения поправок в задания на установку щитов по углу места при подготовке сектора к наблюдениям. Реальность обнаруженных ошибок и эффективность их учета были проверены при наблюдении радиоисточника Лебедь-А: после введения «геодезических» поправок антенная температура этого радиоисточника возросла в 1,8 раза [14]. После этого угломестные ошибки были определены для всех щитов кругового и плоского отражателей, и их учет при расчете установочных заданий стал обязательным элементом подготовки радиотелескопа к наблюдениям.

Аналогичным образом было проведено исследование характера поворотов щитов по азимуту для северного сектора и движения нескольких щитов по радиусу [11,15].

В 1979 году на северном секторе были проведены дополнительные более подробные исследования по выявлению как «статических», так и «динамических», или «кинематических», как их принято называть в литературе по РАТАН-600, ошибок. Из исследований выяснилось, что поверхность сектора, выставленного на радиоисточник Телец-А, отягощена ошибками со стандартным отклонением $\pm 0,82$ мм. Но после введения всех определенных поправок это значение уменьшилось вдвое, т. е. составило $\pm 0,41$ мм. Результат радиоастрономического наблюдения полностью превзошел все ожидания: антенная температура Тельца-А резко и существенно возросла, но

самое главное — до волны 2 см практически исчез рассеянный фон (рис. 7), наличие которого безапелляционно свидетельствует об ощутимых ошибках поверхности, и значит, отсутствие его — о хорошем качестве поверхности. Эффективность принятых мер была подтверждена также результатами наблюдений Луны. По результатам наблюдений были определены ср. кв. ошибка поверхности — $\pm 0,4-0,5$ мм, эффективная площадь отражающей поверхности — 1010 м^2 на волне 2,08 см (произошло увеличение в 1,8 раза) и 1260 м^2 на волне 3,9 см (рис. 8) [16,17].

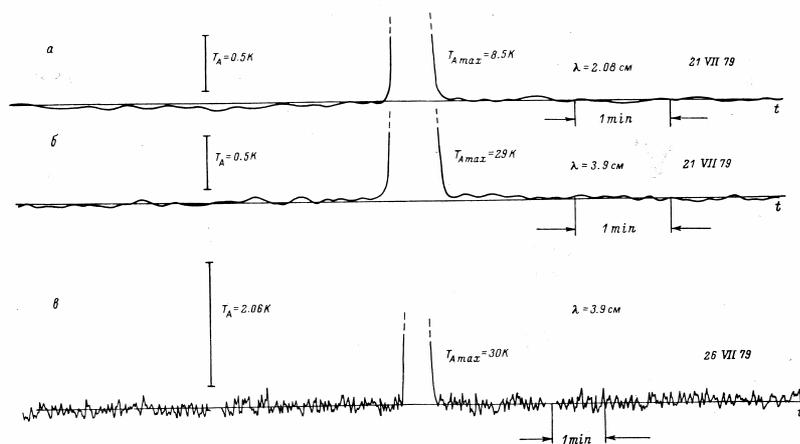
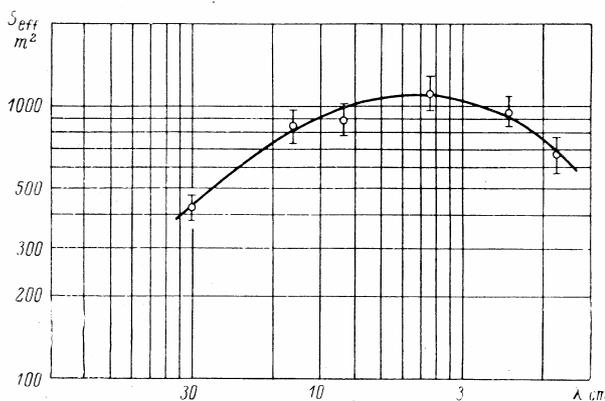


Рис. 7.



Значения эффективной площади Северного сектора РАТАН-600 (укороченный сектор — 175 элементов) для разных длин волн по измерениям в июле—августе 1979 г.

Рис. 8

Геодезическое обеспечение радиоастрономических наблюдений

В этот раздел помимо регулярных определений угломестных и азимутальных МО щитов кругового отражателя и только угломестных МО щитов плоского отражателя можно поставить периодическую проверку установочных уровней и положения поверхности облучателей, фиксацию азимутального положения облучателя №3 на дуговых путях для наблюдений Солнца «в азимутах» и другие повседневные измерения.

В связи с необходимостью обеспечения наблюдений на южном секторе, был разработан и внедрен еще один метод определения радиальных МО – метод угловой засечки. В нем обыгрывается то обстоятельство, что щиты кругового отражателя находятся в фиксированном по азимуту (из центра радиотелескопа на щиты) положении. Поэтому можно считать, что в треугольнике «пункт геосети – центр радиотелескопа – щит» один из углов, а именно центральный, уже известен; следовательно, выставление юстируемого щита на «исходную окружность» сведется к перемещению его в точку пересечения окружности с хордой, рассчитанное направление которой задается теодолитом с пункта геодезической сети от направления на центр РАТАН-600. Для повышения точности определения радиальных МО проводятся дополнительные измерения: теодолитом, установленным на пункте геосети, уточняется направление на юстируемый щит от направления на центр, и путем линейных измерений соответствующей дуги сектора уточняется азимутальное положение этого щита. По этим данным вычисляются «микроотклонения» соответствующего щита от исходной окружности (в данном случае от окружности, проходящей через используемый пункт геодезической сети) [18]. Сравнение радиальных геодезических МО с автоколлимационными выявило их неплохую сходимость, а использование их для радиоастрономических наблюдений дало положительный результат.

«НИР и ОКР»

В перечне исследований, проводившихся геодезическими методами, имеются и такие, результаты которых оказались невостребованными, так как учет исследованных факторов, вероятнее всего, не привел бы к заметным с первого взгляда улучшениям.

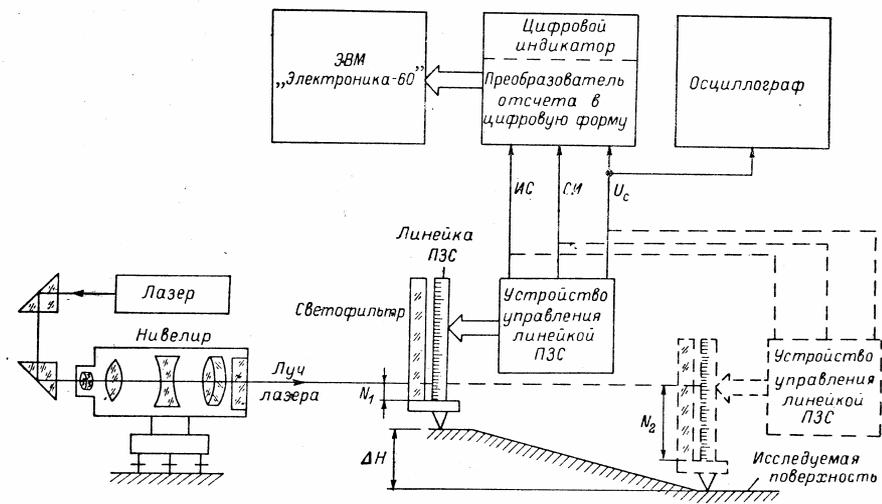
К таким исследованиям можно отнести исследование термических деформаций фундаментных колонн кругового отражателя. Первые наблюдения были выполнены еще в период строительства, на одной колонне без фиксации температуры в разных частях колонны в течение нескольких суток, с интервалом в 2 часа. Измерялись наклоны колонны и ее повороты по азимуту. Затем, уже во время эксплуатации радиотелескопа проводились наблюдения за наклонами колонн в самой высокой над поверхностью земли части кругового отражателя – северной и северо-восточной. Положение колонн фиксировалось относительно пунктов геодезической сети при помощи прибора вертикального проецирования PZL-360, оснащенный

ного плоскопараллельной пластиной с микрометром. Температура измерялась при помощи термоэлектрических датчиков, вмонтированных в тело колонн в разных частях.

Такие же датчики были установлены и на каркасе облучателя №1, но там измерялись наклоны «контрольных баз», установленных по две на каждом «шпангоуте» каркаса.

В обоих случаях измерения выполнялись в течение нескольких суток (до нескольких недель) с интервалом не менее 3-х часов.

Трудоемкость процесса формирования поверхности щитов методом «под нивелир» сделала очевидной необходимость хоть какой-то автоматизации процесса измерений. Поэтому при первой же возможности началась работа по исключению глаза наблюдателя из процесса измерений и замене его прибором с зарядовой связью (ПЗС). Появился термин – «лазерный нивелир». В макете лазерного нивелира обычный, но высокоточный нивелир оставался как важный элемент. Другой важный элемент – лазер, его луч пропускался через оптическую систему нивелира соосно с его визирной осью и фокусировался этой системой. И третий важный элемент – ПЗС-линейка с системой регистрации. Первые измерения в лабораторных условиях показали возможность фиксировать изменения положения ПЗС-линейки по высоте [19], и была начата реализация следующего этапа. На рис. 9 [20] схема макета, испытанного уже в производственных условиях: на стапеле РАТАН-600, с реальной поверхностью реального щита.



Структурная схема лазерного нивелира и схема процесса измерений.

Рис. 9.

Измерения проводились несколькими ходами, ПЗС-линейка устанавливалась в точке измерений вручную, фокусировка лазерного луча выполнялась наблюдателем по осциллографу, отсчеты по ПЗС фиксировались в мини-ЭВМ. Измерения проводились в ночное время, исправлений поверхности не делалось. Из многократных измерений точность определения отметок

точек поверхности щита характеризовалась ср. кв. ошибкой $\pm 0,06$ мм, в то время как при стандартном нивелировании достигалась точность до $\pm 0,03$ мм. Данный метод в дальнейшем не был усовершенствован из-за распада ВНК.

Заключение

Подводя итоги, можно уверенно утверждать, что использование геодезических методов при сооружении, запуске, наладке, исследовании радиотелескопа РАТАН-600, а также при проведении радиоастрономических наблюдений дало положительные результаты. К этим результатам нужно отнести высокоточную поверхность облучателей типа II-III, высокоточную поверхность щитов кругового и плоского отражателей, доказательство возможности получения реальной поверхности сектора кругового отражателя со ср. кв. ошибкой $\pm 0,4$ мм, формирование реальной поверхности плоского отражателя и обеспечение его работы в совокупности с южным сектором отражателя кругового.

В исследованиях принимали непосредственное участие сотрудники группы геодезической юстировки РАТАН-600: Зверев Ю.К., Голосова С.Я., Миленко В.Ф., Хилькова Е.К., Ивкин А.Г., Жаров В.И. (в настоящее время руководитель группы), часть исследований проведена при обязательном участии сотрудников ЛФ САО Коркина Э.И., Чуканова О.В., Фридмана П.А., и практически при проведении всех работ работали вместе с нами сотрудники службы эксплуатации РАТАН-600. Благодарим всех, кто нам помогал!

Литература

1. С.Э. Хайкин и др. Большой пулковский радиотелескоп. Изв. ГАО в Пулкове. 1960, № 164, с.3
2. С.Э. Хайкин и др. Проект радиоастрономической станции и радиотелескопа РАТАН-600. Рукопись. Ленинград, 1967.
3. А.Г. Белевитин, Ю.К. Зверев. Геодезические работы при строительстве и юстировке радиотелескопа РАТАН-600. Изв. ГАО в Пулкове. 1972, №188, с. 114
4. А.П. Глумов и др. Повышение точности поверхности отражающих элементов главного зеркала радиотелескопа РАТАН-600. Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1986, №21, с. 65
5. Ю.К. Зверев. Разбивка фундаментов кольцевых сооружений методом последовательного удвоения числа сторон ломаной линии, вписанной в заданный сектор. Вопросы атомной науки и техники. Проектирование. 1972, Вып. 5, с. 134
6. Ю.К. Зверев и др. Геодезическая юстировка облучателя радиотелескопа РАТАН-600. Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1978, 10. с. 139
7. Ю.К. Зверев. Методика контроля качества поверхности облучателя РАТАН-600. Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1984, №18, с. 125

8. Yu. N. Parijskij et. al. RATAN-600 Radio Telescope in the "Zenit" Mode. Bull. of the Spec. Astroph. Obs. 1994, N 38, p. 58
9. Ю.К. Зверев, Э.И. Коркин. Геодезические методы юстировки радиотелескопа РАТАН-600. VIII Всесоюзная конференция по радиоастрономии. Тезисы докладов. Пушино. 1975, с. 31
10. Ю.К. Зверев и др. Геодезические методы определения мест нулей элементов кругового отражателя радиотелескопа РАТАН-600. Научно-технический отчет. САО АН СССР. 1976.
11. Ю.К. Зверев и др. Геодезическое обследование группы №13 северного сектора кругового отражателя радиотелескопа РАТАН-600. Научно-технический отчет. САО АН СССР. 1978.
12. Ю.К. Зверев и др. Исследование возможности повышения эффективности радиотелескопа РАТАН-600. Научно-технический отчет. САО АН СССР. 1980.
13. В.М. Беляков и др. Геодезическая юстировка плоского отражателя РАТАН-600. В кн. Радиоастрономическая аппаратура, антенны и методы. Всесоюзная радиоастрономическая конференция. Тезисы докладов. Ереван. 1982, с. 250.
14. Ю.К. Зверев, С. Я. Крылова. Исследование угломестных ошибок элементов кругового отражателя радиотелескопа РАТАН-600 (северный сектор). Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1981, 13, с. 106.
15. Ю.К. Зверев. Угловые ошибки положения щитов РАТАН-600 при радиальном перемещении. Геодезия и картография. 1984, №8, с. 17
16. С.Я. Голосова и др. Исследование точности отражающей поверхности главного зеркала РАТАН-600 (северный сектор). Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1982, №15, с. 132
17. Ю.К. Зверев. Повышение точности формирования главного зеркала радиотелескопа РАТАН-600. Геодезия и картография. 1984, №2, с. 11
18. Ю.К. Зверев. Вариант геодезической юстировки радиотелескопа РАТАН-600. Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1986, №22, с. 128
19. Арутюнов А.В. и др. Использование приборов с зарядовой связью при высокоточном нивелировании. Геодезия и картография. 1981, №2, с. 20
20. Есепкина Н.А. и др. Лазерный нивелир для юстировки РАТАН-600. Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1985, №20, с. 131

БОЛЬШОЙ ТЕЛЕСКОП АЗИМУТАЛЬНЫЙ – ТРУДНЫЙ ПУТЬ К УСПЕХУ

Ю. Н. Ефремов

В этом году исполняется 40 лет со времени организации Специальной астрофизической обсерватории (САО) РАН и 30 лет с начала регулярной работы 6-м телескопа, для которого и была создана эта обсерватория. До 1991 года этот "Большой Телескоп Азимутальный" (БТА) оставался величайшим на планете; его зеркало собирает в 36/25 больше света, чем предыдущий чемпион – 5-м рефлектор на Голубиной горе (Маунт Паломар) в Калифорнии, который вступил в строй в 1949 г. Создание БТА было подвигом отечественной промышленности и науки, интегральным доказательством их всеобъемлющей дееспособности, как и успехи в космосе. Конструкции телескопа весом в сотни тонн должны были соответствовать чертежам с точностью до сотых долей миллиметра, а его зеркала – до четверти длины световых волн, десятитысячной доли миллиметра. Все проблемы были преодолены и огромный прибор – первый в мире крупный оптический телескоп на азимутальной монтировке – успешно заработал. Оптическая схема телескопа была традиционной, но его монтировка опередила эпоху на 20 лет.

Бытовавшее на Западе мнение о неудачности БТА явилось следствием его относительно малой продуктивности в первые годы работы. Она объяснялась в основном двумя обстоятельствами – отсутствием современных светоприемников и неважным астроклиматом места установки. Это отрог горы Пастухова на Северном Кавказе, между Архызом и Зеленчукской. Однако за истекшие годы коллектив САО преодолел – или научился обходить – обе эти проблемы. Работающие в Обсерватории энтузиасты создали прекрасные приборы, нашли для них адекватные задачи – и для БТА, занимающего ныне лишь скромное 17-е место в мире по диаметру зеркала, нашлись методы и задачи на переднем крае астрофизики, в которых телескоп может успешно конкурировать со своими сверхгигантскими собратьями.

Железо и стекло

Первым документом, в котором речь идет о будущем телескопе, является, по-видимому, Распоряжение Совета министров СССР №7027 от 16 мая 1953г. "Об окладах работников ГАО АН СССР, занятых разработкой проектного задания и конструированием Большого телескопа". В 1958 г. А.Н.Косыгин сообщил о планах строительства такого телескопа на проходившей в Москве Генеральной ассамблее Международного астрономического союза. Они разрабатывались в Отделе астрономического приборостроения Пулковской обсерватории под руководством Д.Д.Максутова. Было решено остановиться на зеркале диаметром 6 м и с фокусным расстоянием 24 м.

25 марта 1960 г. Совмин СССР принял постановление "О строительстве Специальной астрофизической обсерватории и сооружении для нее Большого

оптического телескопа с диаметром главного зеркала 6 метров". Главным заводом был назначен ГОМЗ имени ОГПУ (позднее ЛОМО им. Ленина). Предварительная стоимость телескопа была определена в 25.8 млн. руб. (к концу строительства она составила более 30 млн. руб); его главным конструктором был назначен Б.К.Иоаннисиани. Разработанный на ЛОМО аванпроект 6-м телескопа на азимутальной монтировке – Большого Телескопа Азимутального – был утвержден в ноябре 1960 г. на совместном заседании Астрономического совета АН СССР и Межведомственного совета по строительству 6-м телескопа, который возглавил академик А.А.Михайлов.

16 декабря того же 1960 г. Президиум АН постановил, что ГАО АН должна продолжить обследовать окрестности Кисловодска и станции Зеленчукской и представить сведения об окончательно выбранном месте к 1 октября 1961 г. Поиски места с хорошим астроклиматом начались в 1959 г. под руководством Н.Н.Кучерова; 16 экспедиций работали в Восточной Сибири, Средней Азии, Кавказе и Крыму – и уже через год остались лишь Кисловодск и Зеленчукская. Кисловодск, однако, отпал без обсуждений ввиду возражений руководства Кисловодской солнечной станции ГАО. Правда, еще в 1964 г. велись определения качества изображений в окрестностях Судака. Обычно астроклиматические исследования ведутся долгие годы...

Имеются недокументированные сведения, что ПредСовмина А.Н.Косыгин настаивал на том, чтобы БТА строился на территории РСФСР. Что это – экономические соображения или политическое предвидение?... Уже тогда были специалисты, которым было ясно, что лучшие в СССР по качеству изображений и количеству ясных ночей места находятся в горах Таджикистана и Узбекистана. Ныне там работают на малых телескопах российские космические войска с лазерными установками, а построенный в ЛОМО для ГАИШ МГУ прекрасный 1.5-м телескоп отошел к Узбекистану.

28 декабря 1963 г. президент АН СССР М.В.Келдыш утвердил "Задание на проектирование САО". В нем перечисляются 8 проблем, для работы над которыми создается САО и БТА – метagalacticкая система, galacticкая система, звезды, туманности и межзвездная среда, тела Солнечной системы, искусственные небесные тела, шкала расстояний во Вселенной, поисковые работы. В задании для САО планировались и вспомогательные телескопы, в частности 2.6-м телескоп системы Максудова... В качестве места установки БТА фигурирует "высота 2100-2400 м (кошары)", – где работала экспедиция ГАО, но телескоп был поставлен на высоте 2070 м в нескольких километрах от исследованного места – оказалось, что там бывает слишком сильный ветер... БТА стоит прямо на кромке ущелья реки Б.Зеленчук, и иногда всплывающие снизу облака застилают башню телескопа – а окрестные горы еще видны.

Смелым для своего времени и полностью оправдавшимся решением Б.К.Иоаннисиани было принятие азимутальной (точнее, альтазимутальной) монтировки. БТА следует за вращением небосвода не одним лишь поворотом оси, направленной в полюс мира, как 5-м телескоп, а одновременным движением по вертикальной и горизонтальной осям; для большинства работ нужна еще и компенсация возникающего при этом вращения поля зрения. Азимутальная монтировка уже применялась для больших радиотелескопов, но впервые

предлагалась для большого оптического телескопа. Этот выбор определялся прежде всего относительной простотой решения проблем механики движения телескопа и монтировки весом 850 тонн, но требовал безукоризненной работы управляющей этими движениями специально созданной ЭВМ; в целом азимутальная установка 6-м телескопа обошлась вдвое дешевле, чем стоила бы экваториальная. Ныне все большие телескопы устанавливаются на азимутальной монтировке, но БТА был первым, на практике доказавшим ее пригодность.

Срок ввода БТА в эксплуатацию был назначен на июль 1969 г.; к 1967 г. телескоп был изготовлен в ЛОМО и в июле 1968 г. его конструкции были транспортированы к месту установки, но только в сентябре 1969 г. начался их монтаж в башне (фото 1). Ее строительство должно было по плану окончиться в декабре 1967 г., но она была сдана в эксплуатацию лишь 27 января 1972 г. Тем не менее, телескоп был смонтирован в башне к декабрю 1970 г. Зеркало пришлось ждать еще долгие четыре года и вместо него отладочные работы велись с бетонным имитатором. Лучше было бы не спешить со сроками, а продолжить исследования астроклимата...



Фото.1.

Масштабы циклопической башни поражали; академик Л.А.Арцимович, неустанно стимулировавший строительство, сравнивал возводимую башню и хаос огромных стальных конструкций рядом с ней с гибридом Колизея и железнодорожной катастрофы. В течение ряда лет на строительство БТА уходило около четверти немалых тогда расходов АН СССР и, здороваясь с астрономами, президент Келдыш приговаривал: “Дорогие вы мои, дорогие...”

Много телескопов превосходят ныне БТА по самому важному параметру – диаметру главного зеркала, но по его фокусному расстоянию (24 м) – и, следовательно, по диаметру башни (45 м) – его уже никто не превзойдет. Это диктовалось выбором светосилы 1:4. Чем больше светосила, тем труднее добиться правильной фигуры зеркала; пулковчане помнили проблемы, возникшие в США при изготовлении 5-м зеркала со светосилой 1:3.3. По игре случая диаметр купола БТА примерно равен диаметру двух других величайших куполов – Пантеона (I век нашей эры) и собора Св. Петра в Риме (XVI век). Никакого прогресса...

Огромное зеркало было нелегко изготовить. Оно отливалось из подмосковных кварцевых песков в Лыткарино. Подготовка заняла три года, затем была изготовлена первая пробная отливка, которую охлаждали с максимальной возможной скоростью – девять месяцев. Она вышла из отжига расколовшейся пополам. Вторую заготовку охлаждали два года. Вес ее составлял 65 тонн, для превращения ее поверхности в сферическую (радиус сферы 48 м) было удалено 23 тонны стекла (пирекса) и израсходовано 12000 каратов алмаза; на эту грубую обработку ушло почти полтора года.

4 сентября 1968 г. заготовка была принята специальной комиссией. Вскоре началась ее шлифовка и полировка; по технологическому графику на этот процесс требовалось 27 месяцев. Установка для алюминирования монтировалась в куполе башни БТА. Но дела в Лыткарино шли не очень хорошо; лишь к 1974 г. был получен относительно приемлемый результат – 98% падающего на зеркало света концентрировалось в кружке диаметром 2". Сотрудники обсерватории активно участвовали в многократно проводившихся определениях качества полируемого зеркала.

В августе 1974 г. зеркало было доставлено в САО, в сентябре 1975 г. оно было алюминировано, 4 декабря 1975 – установлено на телескопе и в конце 1975 г. были получены первые снимки неба. С 1976 г. на телескопе начались регулярные наблюдения. В 1979 г. главное зеркало было заменено на новое, 90% света оно концентрирует в кружке диаметром 0.8". Это меньше, чем обычный угловой диаметр размытого турбулентностью атмосферы изображения звезд над башней. Старое зеркало, главным дефектом которого было неустраняемое наличие двух плохих участков, лежит рядом с башней и, возможно, будет перешлифовано и использовано.

Зеркало БТА сделано из пирекса, как и 5-м зеркало на Маунт Паломар. Хотя это стекло с низким коэффициентом температурного расширения, с толстым (65 см) зеркалом БТА возникают проблемы. При резком изменении температуры работать нельзя и в хорошие ночи, зеркало если и не лопнет, то даст плохие изображения. Мечты о новом зеркале из ситалла остались неосуществленными.

Итак, на строительство телескопа ушло 15 лет. Напомним, что по первоначальному плану сроком начала эксплуатации БТА было начало июля 1969 г. Отставание вызывало напряженность в коллективе астрономов САО, вынужденных превратиться в оптиков и долгие годы остававшихся без телескопа.

Человеческий фактор

В первые годы, как уже говорилось, строительство телескопа велось под "эгидой" ГАО АН СССР (Пулково); Межведомственный совет, который утвердил в 1962 г. место установки БТА, возглавлял директор ГАО академик Михайлов. Затем начались поиски директора для будущей Специальной обсерватории. В ноябре 1965 г. этот пост был предложен сотруднику Крымской обсерватории И.М.Копылову (1928-2000). Он еще не был доктором, но по цитируемости занимал среди наших астрономов второе место после И.С.Шкловского, будучи особенно известен спектральными исследованиями звезд, подтверждавшими создаваемую в 50-е годы в США и общепринятую ныне теорию звездной эволюции. У Копылова был уже большой опыт работы на крупнейших тогда в стране телескопах КрАО – 1.22 и 2.60-метровых. Он пришел вовремя, чтобы отвергнуть запланированные пулковчанами анахроничные проекты спектрографов для БТА, которые были гигантскими повторениями приборов 30-ых годов. Копылов согласился стать директором не сразу. Первая проблема, которая встала перед ним – где быть жилью и лабораториям. Он по своему опыту знал, что жизнь в изоляции у телескопа рождает много проблем и не для всех пригодна психологически, хотя Крымская обсерватория находится всего в 30км от Симферополя. Место же для БТА было выбрано в 30 км от станции Зеленчукской, в 400 км от ближайшего университета. Свое согласие И.М.Копылов обуславливал тем, что работа САО должна быть организована так же, как на больших американских обсерваториях, где на горе находится смена астрономов и инженеров, а живут почти все в городе.

"Я прожил в несравненно более благоустроенном поселке КрАО почти 16 лет, – писал И.М.Копылов в начале 1965 г. – знаю все тонкости и неприятности жизни в таком маленьком изолированном автономном поселке и думаю, что могу говорить об этом со знанием дела [...]. Коллектив обсерватории – это не геологическая экспедиция, располагающаяся в таком поселке несколько месяцев, а люди, живущие там постоянно, имеющие право рассчитывать на минимум бытовых и культурных удобств, необходимых для проведения полноценной научной работы." И далее – "...могу взяться за это дело, если мне станет очевидно, что условия, в которые меня предполагают поставить, не мешают мне добиваться создания самой лучшей обсерватории" [1, с. 29].

Вопрос решался 10 февраля 1966 г. на драматическом заседании Президиума Астрономического совета АН СССР. За поселок вблизи телескопа высказались В.А.Амбарцумян, А.А.Михайлов, Д.Я.Мартынов, В.А.Минин, О.Б.Васильев, О.А.Мельников. Страна должна знать своих героев. За базу в городе – И.М.Копылов, П.П.Добронравин, Н.Н.Михельсон, Б.В.Кукаркин, Б.К.Иоаннисиани. Затем прошло голосование. За Н.Архыз – 10 человек, за Ростов – 7 человек, за Ленинград – 1. "После уточнения предмета: 8 человек – за Архыз, 8 человек – за Ростов. При результатах голосования 50/50 побеждают академики и члены-корреспонденты" [1, с. 30]". При окончательном голосовании Н.Н.Михельсон изменил свое мнение – И.М.Копылов с горечью мне об этом рассказывал. Окончательное решение, впрочем, было за ООФА, и, конечно, вопрос предрешился мнением академиков Амбарцумяна и Михайлова. Оба

ведь жили на обсерваториях и не жаловались, но, может быть, Л.С.Арцимович не знал, что Пулково в 20 минутах езды от Ленинграда, а Бюракан – в часе от Еревана...

3 июня 1966 г. Президиум АН СССР принял Постановление об организации САО и назначении И.М.Копылова ее директором. Предыстория САО закончилась.

Итак, астрономам предстояло жить под телескопом. Строить поселок и лаборатории в станице Зеленчукской или рядом не захотело руководство обсерватории (впрочем, на окраине Зеленчукской был вскоре построен в составе САО гигантский радиотелескоп со всеми аксессуарами – и ныне местное население обвиняет радиоастрономов в том, что излучение (!) телескопа мешает расти евонным огурцам...). Близость станицы была рискованна уже тем, что часть квартир могла быть потеряна. Ближе к телескопу, на южной окраине большой поляны собственно Нижнего Архыза было подходящее место, но там требовалось сначала провести исчерпывающие археологические раскопки – вблизи находятся руины древней столицы Аланского государства и древнейшие на территории РФ христианские храмы, – это потребовало бы времени и денег. Остановились на Буковом лесоучастке, сразу выше Нижнего Архыза, на правом берегу ущелья Зеленчука, где имеется терраса, образованная древним конусом селевых выносов Гороховой балки. Но и оттуда до телескопа еще 18км по горной дороге, каждый километр которой обошелся в миллион (тогдашних!) рублей – и каждый день на гору поднимаются автобусы с астрономами и инженерами.

Изолированность поселка обсерватории в ущелье, за которую пришлось заплатить поздним восходом и ранним заходом Солнца, ныне не спасает САО от проблем. Квартиры покупают чужаки, и районный прокурор давно уже пробил капитальную стену дома для трубы своего камина (фото 2). На упреки этот блюститель закона отвечает предложением подать на него в суд...

К 1971 г. САО имело в станице один пятиэтажный дом, в нем и жили и работали. Как говорил тогда И.М.Копылов, – «мы с Рублевым сидим напротив друг друга и, как римские авгуры, с трудом удерживаемся от смеха»... Но перспективы были заманчивы – башня была построена, в ущелье рубили лес и копали котлованы под роскошные городские квартиры – проект домов был заимствован у тбилисских писателей. В башне БТА был предусмотрен роскошный кабинет директора со всеми удобствами. Посетив в то время и этот кабинет в составе группы астрономов, Я.Б.Зельдович



Фото 2.

выразился так: «Как говорят на Востоке, зачем мне золотой таз, если плевать в него приходится кровью...» Нынче мало кто в САО помнит, что был такой кабинет, после ввода телескопа в строй он ушел для других нужд; отказался И.М.Копылов и от запланированных коттеджей для начальства. А позднее министр Устинов дал ему нагоняй за то, что ручка от двери места общего пользования в коридоре башни оказалась неисправной...

Я думаю и сейчас, что многие беды САО и, прежде всего, конфликты, разъедавшие коллектив до начала 90-ых годов, были обусловлены замкнутой жизнью в глухом ущелье. И.М.Копылов часто вспоминал решение начальства построить институт и жилье вдали от цивилизации. Ситуацию резко усугубляло затянувшееся на годы отсутствие зеркала. Пробные наблюдения на БТА начались лишь в конце 1975 г., а хорошее зеркало появилось телескопа лишь в 1979 г. В работе над новым зеркалом снова активное участие принимали сотрудники САО (прежде всего Л.И.Снежко), которые на годы были оторваны от астрономии.

Изолированность коллектива от центров науки и культуры, как и посредственный астроклимат, исправить нельзя. Имевшиеся проблемы описаны в моей статье [2], некоторые места в которой звучат как обвинения в адрес сотрудников САО. Я сознаю теперь, что они были несправедливы. (Замечу, что эта статья была написана в августе 1991 г. – отсюда детские упования на "Указ №1 Президента России" – кто помнит теперь этот указ – речь шла о зарплатах учителей).

И.М.Копылов сделал все от него зависящее, чтобы 6-м телескоп работал хорошо, отдавая этому все свои силы, пожертвовав собой как исследователь. В октябре 1972 г. он писал одному московскому астроному: "...мы не можем себе позволить, не имеем, наконец, права быть (и стать) второсортным астрономическим институтом, таким слаборазвитым государством, которое или снисходительно похлопывают по плечу или третируют. Мы *обязаны*, мы *сознаем* и мы *сделаем*, чего бы нам это ни стоило, чтобы наша обсерватория стала астрофизическим центром СССР (в области, по крайней мере, наземной астрофизики), чтобы *каждый* астрофизик считал за честь в ней бывать, поддерживать связи, *жить здесь и работать*. Наблюдательная база создается и будет создана, коллектив астрономов-энтузиастов у нас создан и будет крепнуть, вычислительные facilities у нас уже есть и будут расширяться, идеологи у нас уже есть и будут расти как в количественном, так и в качественном плане, нытики у нас есть и, наверное, останутся, трудности есть и будут, но главное, что мы имеем и понимаем, это – перспектива" [1, с. 107].

Эта программа была претворена в жизнь. Обсерватория, вооруженная гигантским телескопом, успешно работает, ее руководство преодолело и преодолевает внешние и внутренние проблемы (фото 3). В 1985 г. И.М.Копылова на посту директора заменил В.Л.Афанасьев (ныне САО возглавляет член-корр. РАН Ю.Ю.Балега), а в 1988 г. И.М.Копылов перешел из САО в Пулково.

Иван Михеевич Копылов умер 29 июня 2000 г. В созданной им обсерватории выросли астрономы-энтузиасты, специалисты мирового класса, с которыми активно сотрудничают и "столичные" и зарубежные исследователи.



Фото 3.

Предвиденное будущее

Начало 70-ых было в нашей астрономии воистину временем больших ожиданий. Еще в 1964 г. Л.А.Арцимович говорил на Президиуме АН, что "наши потомки будут, вероятно, удивляться тому, что мы в такой странной пропорции разделили усилия, направленные на исследование огромного звездного мира и искусственного мира элементарных взаимодействий." И вот теперь мы строили величайший в мире телескоп, и разрабатывался проект большой обсерватории в Средней Азии. Л.А.Арцимович опубликовал пророческую статью, озаглавленную "Будущее принадлежит астрофизике" [3], в которой писал: "Началась новая эра в развитии науки, в которой астрофизике будет принадлежать ключевое положение". Академика-секретаря осторожно поддерживал Я.Б.Зельдович, частенько повторявший, что Вселенная – это ускоритель для бедного человека.

Вслед за статьей Арцимовича должна была идти моя статья "Нужны большие телескопы", а затем статья И.М.Копылова и Е.Л.Ченцова о БТА и САО. В мае 1971 г. я передал Копылову просьбу "Природы" о подготовке такой статьи. Прочтя же мой текст, он написал мне, что в статье все совершенно правильно, но "именно поэтому ее никто, никогда и нигде не опубликует". Все же в "Природе" обещали мою статью опубликовать – после сглаживания углов

– но в начале 1973 г. Л.А.Арцимович умер, и готовый уже набор моей статьи рассыпали. "Сглаженный" текст у меня сохранился, там и впрямь все верно для того времени. И тем более для нашего, когда вместо суперколлайдера США и Европа строят большие с диаметром зеркалом 22 м телескопы и планируют очень большие (100 м), а недавние достижения наблюдательной космологии рассматривают как новую революцию в астрономии и физике (см., например, [4, 5]).

Большой проблемой в первое десятилетие работы БТА было отсутствие современных светоприемников. Повторилась история 2.6-м телескопа имени Шайна (ЗТШ) в КраО, про который В.Б.Никонов, душа проекта ЗТШ, говорил, что вот на кастрюлю деньги дали, а суп сварить не с чем. Век фотографии кончился, электронные приборы были несовершенны, а безумно дорогие сначала CCD-матрицы (приборы с зарядовой связью) только появлялись и долго были недоступны.

Правда, хорошие астрономические фотопластинки в САО поступали. При хороших изображениях прямые фотографии галактик, получавшиеся на БТА после смены зеркала в 1979 г., не уступали получаемым на 5-м телескопе обсерватории Маунт Паломар (кстати, эти фотографии долго не публиковались, что способствовало распространению мифа о неудачности БТА), и при очень целенаправленной программе можно было бы, например, опередить американцев в исследованиях цефеид в других галактиках, что позднее стало главной задачей HST. Понятно, однако, что накопление прямых изображений галактик для поисков в них цефеид и определения постоянной Хаббла потребовало бы неприемлемо большой затраты ночей с наилучшими изображениями в ущерб другим задачам.

Развитие пошло в сторону спектральных наблюдений, что отвечало и специализации большинства сотрудников Обсерватории, и астроклимату БТА, и его светособирающей мощи (первые наблюдатели на БТА вспоминают восхищенные возгласы иностранных астрономов, впервые видевших – в окуляр кассеты Ричи на БТА – изображения звезд в других галактиках просто глазом). Трудоемкая обработка спектрограмм, полученных за одну ночь, занимает часто многие месяцы, неважные изображения можно компенсировать увеличением ширины щели, что для ряда задач не слишком критично.

Ныне в САО есть и хорошие ПЗС, и созданные в обсерватории перво-классные хитроумные приборы, не уступающие мировому уровню, вроде мультиспектрографа, позволяющего всесторонне изучать поле в 256 кв. секунд – что-то вроде абсолютного оружия. Детальная спектроскопия необычных звезд, исследования поля скоростей в галактиках и самих галактик в пространстве, исследования карликовых галактик и ряд других задач, с успехом решаемых на БТА, относятся к самым актуальным в современной астрофизике. Ниже я могу упомянуть только несколько известных мне работ.

* * *

"Принадлежащее астрофизике будущее" пришло. Наблюдения последних лет на больших телескопах привели к потрясающему выводу о том, что мы пребываем в глубоком невежестве – лишь 4% вещества (плотности энергии) Вселенной дано нам в барионах, а остальное ее содержимое открывается нам

лишь косвенным образом в астрономических наблюдениях. Около 21% составляет "темная холодная материя" неизвестной природы, обнаруживаемая лишь по ее гравитации, и около 75% – "темная энергия", соответствующая, скорее всего, физическому вакууму.

Вакуум должен обладать странным свойством – отрицательной гравитацией, и этим объясняют удивительно малые отклонения скоростей галактик от обусловленных расширением Вселенной. По старым теориям, космологическое расширение должно быть заметным лишь на масштабах, превышающих характерную шкалу неоднородностей в пространственном распределении галактик (около 100 Мпк). Как заметил А.Сендидж в 1972 г., его учитель Хаббл в 1929 г. не имел расстояний, превышающих 20 Мпк, и поэтому просто не мог открыть расширение Вселенной! Однако фактически разбегание галактик с малой дисперсией скоростей начинается уже у нашего порога, на расстояниях, превышающих лишь 2-3 Мпк. Это было обнаружено И.Д.Караченцевым и его сотрудниками с помощью наблюдений на БТА и подтверждено затем данными HST. Объяснение парадокса Хаббла-Сендиджа, данное А.Д.Черниным и др. – к которому примкнул и сам Сендидж – состоит в том, что уже на масштабах около 2 Мпк движением галактик управляет антигравитация вакуума и это позволяет даже по близким галактикам оценить его плотность – важнейшую для новой космологии и физики вообще характеристику. Получаемая величина близка к вытекающей из обнаруженного по далеким Сверхновым ускоренного расширения Вселенной (см. [4, 5, 6]).

САО занимает ведущие позиции в исследованиях карликовых галактик. Это направление возглавлял безвременно скончавшийся В.Липовецкий, и его коллеги долгие годы продолжают включать его имя в публикуемые статьи. Возраст звездного населения и химический состав этих галактик представляют огромный интерес для проблемы происхождения галактик – и тем самым для космологической проблемы в целом, поскольку считается, что эти галактики были строительными блоками, из слияния которых сформировались большие галактики. Первичными были флуктуации плотности ненаблюдаемой, но гравитирующей "холодной темной материи", в гравитационных ямах которых образовывались зародыши галактик. Однако во многих компактных голубых карликовых галактиках (BCD-галактиках) наблюдаются и молодые звезды. К таким галактикам относится и DDO 68, недавно исследованная на БТА С.А.Пустильником и его коллегами. Обнаружилось, что содержание тяжелых элементов в ней рекордно низкое и это означает, что звездообразование началось в ней совсем недавно.

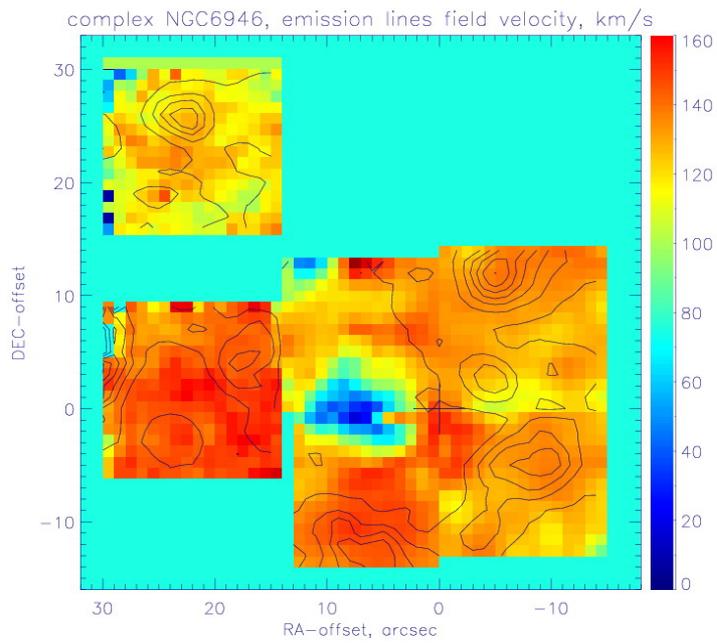
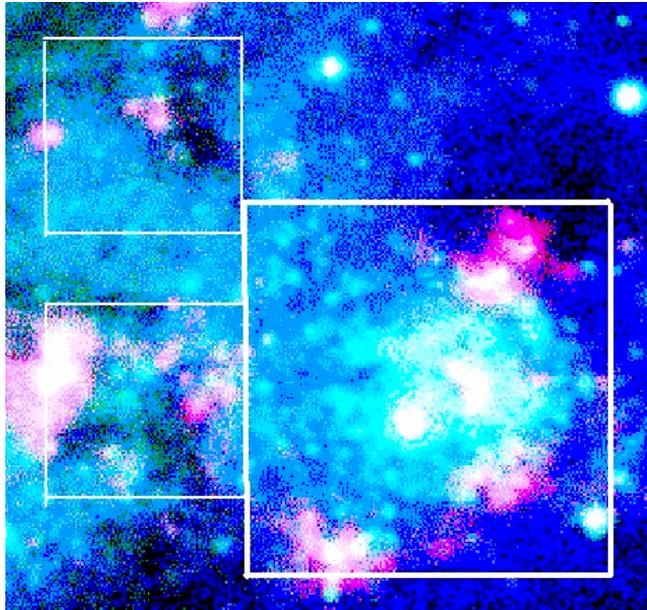
Карликовые галактики интересны еще тем, что в них слишком часто для их малых размеров встречаются сверхгигантские молодые (с возрастом ~10 миллионов лет) звездные скопления. Их массы порядка 10 миллионов солнечных масс, как и у шаровых скоплений, возраст которых обычно около 13 млрд. лет – это старейшие объекты в спиральных и эллиптических галактиках. Считалось, что столь массивные скопления могли образоваться лишь в условиях высокой плотности вещества на заре эволюции галактик, если не раньше. Присутствие таких скоплений в BCD-галактиках может быть связано с тем, что эти

галактики окружены мощными коронами темной материи, создающими глубокую гравитационную яму близ их центров.



Фото 4.

Не так давно подобное сверхгигантское молодое скопление было обнаружено на окраине изолированной спиральной галактики NGC 6946 (фото 4). Оно находится близ центра необычного звездного комплекса, первое спектральное исследование которого провели на БТА с помощью спектрографа с длинной щелью С.А.Пустильник и др. Химический состав газа в комплексе и его лучевая скорость оказались близки к наблюдаемым у NGC 6946, так что его вряд ли можно считать проецирующейся на диск NGC 6946 карликовой галактикой. Затем комплекс наблюдался В.Л.Афанасьевым на созданном им для БТА мультиспектральном спектрографе. В поле лучевых скоростей ионизованного газа в комплексе рядом со сверхскоплением была обнаружена глубокая воронка, находящаяся в центре дыры в газовом диске галактики, существование которой затем подтвердили голландские радиоастрономы (фото 5). В целом, морфология и кинематика газа в области этого комплекса напоминают модели, описывающие результат пролета сквозь газовый диск галактики сгущения "темной материи", не взаимодействующей с обычным веществом. Возможно, этот пролет мог привести и к образованию уникального сверхгигантского скопления. Не исключено, что в этом комплексе мы наблюдаем редчайшие ныне, но обычные в юной Вселенной явления.



Φomo 5.

Текущие итоги

Об успешности научной работы, как известно, судят, прежде всего, по индексу цитируемости. Конечный продукт "чистой" науки – это статья в научном журнале, задача которой – сделать полученный автором результат известным коллегам. Каковы бы ни были причины нулевой цитируемости, она означает, что выстрел был холостой или мимо цели. Возражения против этого метода оценки качества научной работы общеизвестны; минимальным требованием его применимости является большая статистика – в частности, большой временной охват – и применение к ученым одной специальности. Астрофизиков нельзя сравнивать с астрометристами, которые иногда годы затрачивают на один каталог.

И, конечно же, критерий цитируемости не должен быть единственным – все знают, что есть люди, не любящие, или не имеющие времени писать статьи, но оказывающие стимулирующее воздействие на окружающих. Однако можно незаслуженно отсутствовать в списке высоко цитируемых работ, но нельзя туда попасть случайно. Со всеми этими оговорками посмотрим, что индекс цитирования говорит о работе САО. Данные брались из сайта www.scientific.ru.

Из 1542 российских ученых, на работы которых в мире появилось более 1000 ссылок в 1986-2004 гг. и/или более 100 ссылок в 1998-2004 гг., в САО работает 18 человек. Это первое место среди астрономических институтов России, больше чем в ГАИШ МГУ (14 человек) и ИНАСАН РАН (9). (Правда, может быть, следовало бы нормировать именно на число астрофизиков в каждом из этих институтов). Высоко цитируемых астрофизиков в САО (Нижний Архыз) больше, чем таких же ученых *всех* специальностей в 22 городах России, в том числе Иркутске, Томске, Н.Новгороде, Ростове, Уфе, Красноярске, Воронеже и даже чем в Протвино, огромном сравнительно с САО наукограде... Заметим при этом, что в Москве, Питере и Новосибирске сосредоточено около 1000 из 1542 цитируемых исследователей. Этот интегральный показатель свидетельствует, что БТА и его приборы адекватны задачам переднего края мировой науки, что в САО работают энтузиасты, и что наша астрофизика высоко востребована...

Литература

1. Сборник "И.М.Копылов – полвека в астрофизике", ред. Ю.Ю.Балега и В.Г.Клочкова, изд. САО РАН, Н.Архыз, 2003
2. Ю.Н.Ефремов. Уроки Большого азимутального телескопа и судьбы отечественной астрономии. "Природа", №12, 20-30, 1992

3. Л.А.Арцимович. Будущее принадлежит астрофизике. "Природа" №9, с. 2-4, 1972
4. А.Д.Чернин, УФН, т. 171, №11, с. 1153. 2001
5. Ю.Н.Ефремов. "Звездные острова". М., изд. Век-2, 2005
6. А.М.Черепашук, А.Д.Чернин, "Горизонты Вселенной". Новосибирск, изд. СО РАН, 2005.

ОБ УШЕДШИХ КОЛЛЕГАХ

СЕМЕН ЭММАНУИЛОВИЧ ХАЙКИН И ПУЛКОВСКАЯ РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКАЯ ШКОЛА

Ю. Н. Парийский, Н. А. Есепкина – ученики С.Э.Хайкина

Нам посчастливилось работать с С.Э.Хайкиным с начала 50-х годов, в трудное для С.Э. время, до его кончины в 1968 г. О проблемах С.Э. в 40-50-е гг. один из нас (Ю.Н.Парийский) слышал еще школьником от своих родителей, от А.А.Андропова и от М.А.Леонтовича. Это рассказы о трудностях с публикацией известной книги Андропова и Хайкина "Механика", где третьим автором должен был быть Витт, погибший в лагерях по совершенно нелепому доносу, о проблемах на физфаке МГУ, о необоснованных обвинениях С.Э. в космополитизме и идеализме, которые заставили его уйти из ФИАН'а, а затем уехать в Ленинград.

С.Э. – признанный основоположник экспериментальной радиоастрономии в СССР, юридическим началом которой считается 1947 год, когда состоялась экспедиция в Бразилию для наблюдения солнечного затмения с целью выяснения природы солнечной короны («горячая» или «холодная»?). С.Э. со своими учениками принимал активное участие в создании отечественной экспериментальной базы в Крыму, под Москвой, в Горьком и имел свою особую точку зрения на историю и стратегию развития радиоастрономии.

Историю радиоастрономии С.Э. Хайкин любил начинать не с Янского, а с А.С. Попова, который первым высказал возможность исследования природных явлений с помощью радиотелескопов.

Теперь о стратегии развития радиоастрономии в понимании С.Э.

Здесь первым трудным пунктом для многих даже опытных радиоастрономов оказалось его убеждение о важности микроволновой радиоастрономии, включая сантиметровый диапазон. Весь мир тогда вслед за Янским, Ребером, Миллсом, Райлом все усилия направлял на развитие метровой радиоастрономии – там больше мощность радиоисточников и их легче наблюдать. С.Э. же убеждал в особом значении см-диапазона. Малая чувствительность аппаратуры, по его убеждению, – это временные беды. Стоимость инструментов может быть резко уменьшена путем отказа от стандартных решений типа параболоидов вращения. Им был предложен новый вариант радиотелескопа, который одновременно с уменьшением стоимости давал простую возможность на 1-2 порядка повысить относительную точность поверхности радиотелескопа (отношение

погрешности к размеру радиотелескопа). Оппозиция была и в СССР – В.В. Виткевич был самым активным противником перехода к сантиметровому диапазону. После посещения Кэмбриджа и Райла он добился перераспределения средств в пользу метрового диапазона и строительства в СССР крупнейшего крестообразного радиотелескопа ДКР 1000 для включения в спор между Райлом и Миллсом и проверки 2С- и 3С-каталогов. (Отметим, что после завершения строительства плеча В-3 радиотелескопа ДКР 1000 В.В. Виткевич потерял интерес к этому направлению в связи с активной работой Райла по 4С-каталогу.)

Новый подход не получил поддержки в ФИАНе, и тут возник контакт между С.Э. и администрацией восстановленной Пулковской обсерватории (М.С.Зверев). Это произошло при возвращении с Ашхабадского затмения Солнца в 1952 г. С.Э. принял предложение организовать отдел радиоастрономии в Главной астрономической обсерватории (ГАО) и быть его руководителем. Более того, по договоренности с А.А.Михайловым, средства, предусмотренные для восстановления исторической мраморной лестницы (с северной стороны Пулковского холма) предлагалось пустить на сооружение самого крупного радиотелескопа см-диапазона с диаметром 130 метров. Отметим, что здесь С.Э. был полностью на стороне В.А.Амбарцумяна, считавшего радиоастрономию обязательным дополнением к оптическим средствам, необходимо совмещение этих методов в одной обсерватории.

Так, в 1954 г. возник отдел радиоастрономии ГАО и вскоре, в 1956 г., был построен и радиотелескоп нового типа, Большой Пулковский Радиотелескоп (БПР), который потом стал называться Антенной Переменного Профиля (АПП), так как основные особенности радиотелескопа были связаны с изменением профиля отражающей поверхности.

Перечислим, чем этот телескоп был необычен даже для профессионалов-антенщиков.

1. **Диапазон: сантиметры вместо метров** – для 1953 г. это было нестандартным предложением. С.Э. считал, что шум фоновых источников уже является фундаментальным ограничением в метровом диапазоне, в сантиметровом же диапазоне он на несколько порядков меньше. Он был уверен, что малая чувствительность радиометров см-диапазона в те годы – явление временное (что вскоре полностью подтвердилось).
2. **Отказ от ограничений, накладываемых обычно на размеры и точность** поверхности (гравитация, ветер, термические деформации) – Земля заменяет конструкцию, поэтому можно реализовать большую точность.
3. Сплошная поверхность заменяется с помощью N независимых малых элементов (**вариант “ММТ” – multi-mirror telescope**), что позволяет устранить зависимость стоимости от куба высоты, так как высота и горизонтальный размер радиотелескопа не связаны между собой.
4. Переход от ограничений, накладываемых материалом конструкций, к ограничениям на точность определения расстояния между точками на Земле. Первично предполагалось, что даже хорошо изученная **классическая геодезия даст возможность сооружения радиотелескопов типа АПП в 10-100 раз больших, чем обычно.**

5. Было предложено при наблюдениях в различных направлениях изменять параметры аппроксимирующей параболоид поверхности, что теперь называют «**Гомологическим решением**» – телескоп меняет свою форму и фокусное расстояние, оставаясь в классе кривых второго порядка.
6. Сезонные вариации положения малых отражающих элементов можно восстанавливать методом, который сегодня называют «адаптивным», эпизодически привязывая их положение к опорной волне (по существу это – **голографический метод восстановления волнового фронта**).
7. «Одномерность» конструкции предложено дополнять наблюдениями в различных азимутах, что можно считать **вариантом системы апертурного синтеза**, появившейся позже.

И все эти «нововведения» были реализованы в относительно небольшом и простом проекте БПР, состоящего из 90 совершенно независимых одинаковых отражающих элементов с тремя степенями свободы размером 1.5 м×3 м, которые расположены по дуге радиусом 100 м. Рабочий диапазон волн радиотелескопа составлял 3 см-30 см. Физическая площадь радиотелескопа приблизительно была равна площади 25-м параболоида, но разрешение соответствовало зеркалу размером 130 м × 25 м и было рекордным для сплошных зеркал до реконструкции земляной чаши в Аресибо к началу 21 века.

Одновременно с решением о строительстве такого радиотелескопа началось формирование Отдела радиоастрономии ГАО. Здесь проявился организационный талант С.Э. Были привлечены радиоастрономы с большим опытом – Н.Л. Кайдановский, Н.Ф. Рыжков с Т.М. Егоровой, из Москвы перевезены два небольших радиотелескопа, один из которых был разработан в ФИАНе для поляризационных исследований Солнца Э.Г. Мирзабекином. Была организована механическая мастерская с достаточно хорошим оборудованием. В ней работали механики, некоторые из них оказались просто талантливыми. Появилось и микро-КБ.

С.Э. считал, что для успешного развития радиоастрономии должны вместе работать астрофизики и радиофизики – специалисты в области антенн и СВЧ-техники. Поэтому он пригласил на работу радиофизиков, выпускников Ленинградского политехнического института, хорошо знакомых с СВЧ и антенной техникой, и астрофизиков, выпускников Московского государственного университета со специальным радиоастрономическим образованием (кафедра радиоастрономии И.С.Шкловского).

Таким образом, практически за 1-2 года возник Отдел радиоастрономии ГАО, который мог самостоятельно ставить и решать разнообразные задачи в области экспериментальной радиоастрономии.

До пуска БПР, в сооружении которого принимали участие и все сотрудники отдела, наука ограничивалась в основном солнечной радиоастрономией. Этот период оказался весьма полезным для ознакомления с техникой радиоастрономических наблюдений – от создания специализированных радиометров и спектрографов, до фундаментальных исследований тонких инструментальных поляризационных эффектов в рефлекторных телескопах и разработки методов их подавления. В результате была впервые в см-диапазоне обнаружена сильная

круговая поляризация от солнечных пятен, и это был первый успех Пулковской школы С.Э. Хайкина, получивший резонанс как в России, так и в мире. «Непредсказанность» эффекта привела к поиску его теории и необходимости изучения современной физики намагниченной плазмы. Дальнейшее исследование удалось начать сразу, используя метод затмений Солнца (начиная с декабря 1956 г. и целое десятилетие позже). Для проведения этих исследований в отделе радиоастрономии было сооружено около 23 радиотелескопов, были организованы экспедиции почти на все затмения Солнца в разные страны мира. Это направление считалось основным при проектировании специализированного Солнечного крестообразного радиотелескопа в Сибири.

Второе направление было связано с проверкой теории радиоизлучения земной атмосферы в см-диапазоне (диссертация Т.Шмаонова). При этом было обнаружено ощутимое расхождение с достаточно уверенно предсказуемыми теоретическими оценками – выявлена изотропная составляющая 4К. Это несомненно был реликтовый фон, но он не был понят молодыми радиоастрономами Пулково, и этот фундаментальный результат, к сожалению, остался практически незамеченным.

В декабре 1956 года первое же наблюдение на БПР показало прекрасное согласие реальных параметров с проектными, и появился первый радиотелескоп с разрешением 1 угл. мин. на волне 3 см.

Однако вскоре диаграмма направленности радиотелескопа развалилась. На кривой прохождения Солнца пропали пятна и мы поняли, что необходимо иметь специальные методы юстировки антенны, которые бы позволили регулярно проверять отражающую поверхность и диаграмму направленности. Используемый в это время метод юстировки антенн в дальней зоне мы применить не могли, так как дальняя зона для БПР составляла около 1000 км на волне 3 см. И тогда нами был предложен новый метод юстировки антенны в ближней зоне, основанный на специальной фокусировке антенны, либо путем выноса облучателя из фокуса, либо за счет изменения формы отражающей поверхности при юстировке. Такой способ позволил нам определить ошибки отражающей поверхности и настроить радиотелескоп на небольшом расстоянии в ближней зоне. Мы поняли, что одновременно с созданием больших (остронаправленных) радиотелескопов необходимо разрабатывать методы их юстировки в ближней зоне, и это нам позволило в дальнейшем при создании радиотелескопа РАТАН-600 поддерживать его отражающую поверхность в достаточно хорошем состоянии путем регулярных юстировок поверхности в ближней зоне в течение многих лет работы.

Уже в первый год наблюдений на БПР удалось накопить данные, достаточные для надежной оценки свойств «корональных конденсаций» над пятнами, оценить их высоту и многие другие параметры. Многонедельная стабильность этих солнечных «магнитных бутылок» оказалась интересной для ведущих физиков, занимающихся плазменным термоядом и пытавшихся удержать такую плазму в лаборатории хоть 1 секунду (Л.А.Арцимович), и БПР получил признание и у физиков. Данные были доложены на парижском Симпозиуме по радиоастрономии МАС, 1958г.

Результаты, полученные с помощью БПР не только для Солнца, но и для тел Солнечной системы, оказались важными для физики лунной поверхности. Была не только подтверждена теория Троицкого В.С. поляризации ее радиоизлучения, но и реально измерена диэлектрическая проницаемость ее почвы с большей точностью. Перед пуском советского спутника и MARINER-2 на Венеру было решено использовать БПР для разрешения кардинального вопроса о давлении и температуре ее поверхности. Это было решено сделать по изучению распределения радиояркости по диску планеты. Для решения этой задачи в течение одного лета все элементы поверхности (с помощью практически всех сотрудников отдела) были переобшиты, введена кривизна и добавлена новая степень свободы (вращение вокруг горизонтальной оси), освоены новые методы юстировки поверхности и проведены наблюдения на волне 8 мм с разрешением 15 сек. дуги. Данные свидетельствовали в пользу очень горячей поверхности и очень высокого давления. Этот результат был немедленно обсужден при Президенте РАН М.В. Келдыше. Но изменить проект уже было поздно и корабль быстро погиб. МАРИНЕР-2 полностью подтвердил данные БПР тем же методом.

Достижением, широко разрекламированным прессой, было (впервые) разрешение области центра Галактики на БПР на нескольких волнах с выделением области ионизированного водорода и нетепловой оболочки из релятивистского газа (сегодня это т.н. WEST и EAST-компоненты), а также выделение компактной области (позднее оказалось, что это черная дыра). По настоянию Оорта эти результаты БПР были предметом отдельного обсуждения на симпозиуме МАС, 1963г., Австралия.

Первые же широкие исследования Млечного Пути и всех объектов, обнаруженных в 1956 г. в Голландии с низким разрешением на волне 21 см, принесли новые неожиданности при исследовании их в см-диапазоне с высоким разрешением и доложены на МАС в 1964 г. Обнаружены новые остатки сверхновых, многие объекты оказались блендой нескольких, совершенно неожиданные данные получены по фоновому излучению Галактики – он совершенно не соответствовал ожидаемой модели теплового излучения газа, возбуждаемого горячими звездами в Млечном пути.

Первые систематические внегалактические исследования позволили впервые на одиночном зеркале разрешить классическую радиогалактику Лебедь-А на компоненты, детально исследовать их поляризационные свойства (что было использовано Райлом и Лонгэйром при построении классической модели двойных радиогалактик), обнаружить совершенно идентичные спектры компонент и показать наличие магнитно-активной оболочки. Первые десятки радиогалактик, впервые исследованные на БПР на см-волнах, показали завал их радиоспектров к коротким волнам, и была выявлена квадратичная зависимость радиосветимости от оптической светимости родительских галактик, что вторично было обнаружено лишь 20 лет спустя и сегодня активно используется в космологических исследованиях.

В области радиоспектроскопии был проведен обзор в линии нейтрального водорода всего видимого неба с помощью БПР с разрешением выше обзора в НРАО (США), и сделаны независимые оценки обилия дейтерия с помощью быстро построенной с участием всех научных сотрудников антенны, направленной

на источник Кассиопея-А. Однако главный успех пришел неожиданно – впервые в мире была обнаружена радиолиния в областях ионизированного водорода, предсказанная Кардашевым, пересмотревшим полностью прежние негативные предсказания теоретиков. Позднее линия была подтверждена в Москве. Это было открытие, и оно признано миром как одно из основных в отечественной радиоастрономии.

Рекордное для рефлекторов разрешение и рекордная чувствительность радиометров позволили уже в 60-х годах начать исследования анизотропии реликтового фона (в интенсивности и поляризации) и достичь мК-уровня. Эти результаты стимулировали теоретиков и потребовали пересмотра многих модельных схем. Эти же свойства БПР позволили задолго до других обнаружить т.н. эффект «Зельдовича-Сюняева» – рассеяние реликтовых фотонов на горячем газе в скоплениях галактик.

Мы привели все эти результаты для демонстрации широты радиоастрономических исследований Пулковской школы, созданной С.Э. при Большом пулковском радиотелескопе. По существу, в России во всех основных направлениях радиоастрономии коротких волн доминировала школа С.Э. Это было достаточно очевидно для руководства Академии наук и упростило шаги по дальнейшему развитию идеологии АПП и созданию нового радиотелескопа такого типа. Нестандартность радиотелескопа потребовала глубоких методических исследований и привела к высокому профессионализму сотрудников в таких областях, как поляризационные свойства сложных отражающих поверхностей (матрица Мюллера), методы изучения электродинамических характеристик в ближней зоне, теория фазовых и амплитудных атмосферных флуктуаций для больших апертур, не говоря уже о фундаментальной проблеме повышения чувствительности радиометров и спектрографов. Пулковская обсерватория была инициатором создания самого крупного оптического телескопа того времени, 6-м телескопа, основанного на новых принципах. Отдел радиоастрономии был инициатором создания 600-м радиотелескопа РАТАН-600. Здесь же возникли идеи создания крупной крестообразной антенны для исследования Солнца в см-диапазоне, которая потом была построена в Сибири; идеи создания Глобальной и Национальной фазочувствительной сети радиотелескопов (проект ПОЛИГАМ, часть которого, КВАЗАР, реализуется сегодня учениками Пулковской школы радиоастрономии).

В 2006 г. отмечается 50 лет первого наблюдения на Большом пулковском радиотелескопе. Учитывая его большую роль в экспериментальной Отечественной радиоастрономии, предложение членов комиссии по истории радиоастрономии МАС придать ему статус «Memorial Instrument», подобно принятому недавно предложению для радиотелескопа 140f (D=42м) НРАО, США, сооруженному в 1963 г., кажется вполне уместным.

Оказалось, что предложенный С.Э. Хайкиным и Н.Л. Кайдановским подход к сооружению рефлекторных радиотелескопов позволяет реализовать огромные радиотелескопы, совершенно недоступные для стандартных решений того времени. Кроме вариантов для национальной радиоастрономии («Академический Вариант АПП, доложен на МАС в Москве в 1958 г.), был разработан крупный вариант для дальней космической связи (проект «Юпитер»). В 1964 г.

Генеральной Ассамблее МАС в Гамбурге был предложен исторически первый международный проект типа АПП, **крупнее чем SKA**, обсуждаемый сегодня, с площадью до 5 млн.кв.м и с разрешением, **ограниченным только тропосферой, ~1 сек. дуги.**

Позднее **идеология АПП была предложена и для создания радиотелескопа для самых коротких волн (8 мм)**, с диаметром 600 м. Это – **радиотелескоп РАТАН-600**, который и сегодня остается самым крупным по размерам рефлекторным телескопом (и по полной площади, 20000 кв.м). Предполагалось, что этот инструмент будет дополнением к полноповоротному варианту АПП, сооружаемому рядом для нужд ВПК («Юпитер», 100 000 кв.м).

Коллектив С.Э. Хайкина активно исследовал пути расширения возможностей радиотелескопов этого типа. Прежде всего надо было бороться за чувствительность радиометров см-диапазона. Рефлекторность позволяла (в отличие от интерферометров) расширять полосу приема, и ее быстро довели до полос, пропускаемых волноводами. Далее была борьба за снижение шумов. Освоение параметрических усилителей (ПУ) с охлаждением азотом и затем гелием довели уровень шума до шума антенны (Земля + атмосфера) и Пулковская школа долгие годы была мировым лидером по чувствительности радиометров. Эта школа оказалась в числе лидеров по реализации следующего шага по резкому повышению потенциала рефлекторных антенн – использования матричных радиометров в фокальной плоскости радиотелескопа, которые позволяют создать многолучевую диаграмму направленности антенн. Для АПП этот подход особо привлекателен в связи с необычно большой безабберационной зоной при наблюдениях не слишком далеко от зенита. 32-волноводная матрица на предельно короткой волне сейчас находится на стадии внедрения. При ее создании использовался двухлетний опыт эксплуатации 6-волноводного варианта матрицы. Оказалось, что можно использовать матрицу в 3000 элементов и даже превратить ее в фазированную решетку («VLA в фокусе»).

Размеры АПП ограничены лишь кривизной Земли и атмосферным рассеянием. Применение многоэлементной идеологии к любым расстояниям между элементами и к любым атмосферным ограничениям привел к идеологии «Глобального радиотелескопа» с голографической коррекцией атмосферных фазовых искажений методом опорной волны. Сразу после успеха с двухэлементными интерферометрами с независимой регистрацией сигнала было показано, что так можно синтезировать изображение хорошего качества с миллисекундным разрешением. Далее этот подход был предложен для радиоастрономии следующего поколения с использованием как современных средств мобильной связи с площадью приема около 1млрд. кв. м, так и для создания «Эклиптического радиотелескопа» размером в Солнечную систему. Как и в случае АПП, покрытие uv-плоскости оказывается хорошим. При кольцевой апертуре типа РАТАН-600 регистрируются все гармоники в круге диаметром D/λ . Радиотелескопы всего мира при наблюдении объекта вблизи полюса Мира оказываются расположенными по кругу на средних широтах; аналогичная ситуация с эклиптическим телескопом, использующим, например, пояс астероидов. Поэтому и в этих вариантах с заполнением uv-плоскости нет проблем.

Думаю, С.Э. для отечественной радиоастрономии сыграл роль Дж. Болтона в мировой радиоастрономии. Многочисленные аспиранты из республик СССР заражались в пулковском коллективе энтузиазмом и активно содействовали развитию радиоастрономии в своих регионах – Армении, Грузии, Туркменистане, Казахстане, в Сибири. Выезд на затмения пулковских радиоастрономов в другие страны и на разные континенты был, как правило, триггером в развитии там радиоастрономии (Китай, Куба, Мексика).

В отделе радиоастрономии ГАО проходили стажировку и молодые радиоастрономы-астрофизики из Москвы (МГУ, ГАИШ).

В связи с успехами в различных областях радиоастрономии в 1965 г. было принято решение Академией наук о сооружении РАТАН-600 более крупного радиотелескопа типа АПП с включением плоского зеркала для широких обзоров неба, в которых был заинтересован ГАИШ (МГУ). Это зеркало расширяло суточное поле зрения радиотелескопа. Первичный проект предполагал кольцевую структуру радиусом 288 м с 900 элементами размером 2 м×5 м с рабочим диапазоном 21 см-0.8 см. Сегодня высота элементов увеличена до 11.5 м, а диапазон волн расширен до 50 см. Дифракционное изображение сохраняется до волны 3.5 мм. Этот телескоп оказался основным в России в этом диапазоне волн. Он работает круглосуточно по большому числу отечественных и зарубежных программ.

Несколько слов о Семене Эммануиловиче как о человеке и экспериментаторе.

Мы начали работать с С.Э. сразу после окончания института. Нам было тогда около 20 лет, а С.Э. около 50. Но, несмотря на столь большую разницу в возрасте, он стал для нас не только руководителем и учителем, но и коллегой, который обращался с нами как с равными и всегда поддерживал нас. Он отличался исключительной доброжелательностью, всегда одобрял наши новые идеи, помогал публиковать наши работы в ведущих отечественных журналах. С.Э. многому научил нас, не столько даже в нашей профессиональной деятельности, сколько в области человеческих отношений. В большой степени благодаря С.Э. у нас в отделе радиоастрономии сложился прекрасный коллектив, который сумел создать 2 крупнейших радиотелескопа: Большой пулковский радиотелескоп (в свое время крупнейший радиотелескоп сантиметрового диапазона) и радиотелескоп РАТАН-600, который успешно работает уже многие годы. С.Э. всегда отстаивал свои убеждения, чего бы это ему не стоило, и нас учил этому. Так, он считал необходимым в своей книге “Механика” сослаться на Маха, и сделал это, хотя это принесло ему много неприятностей. С.Э. был широко образованным крупным физиком, который всегда мог оценить наши новые идеи.

К сожалению, мы проработали с С.Э. не очень долго, в 1961 г. у него случился первый инфаркт, затем еще несколько, и в 1969 г. он умер. Но все, чему нас научил Семен Эммануилович, мы стараемся передавать нашим ученикам и сотрудникам.

С.Э. так и не стал астрофизиком-радиоастрономом, но интерес его к проблемам радиоастрономии был велик до конца его жизни, и этот интерес, несомненно, был стимулом для молодежи вокруг него и, возможно, секретом успеха его коллектива.

Он был экспериментатором по своей природе, весьма требовательным к чистоте эксперимента. Он был назначен экспертом по проверке данных Н.А.Козырева о превращении времени в энергию по крутильным колебаниям в его приборе, и, несмотря на все попытки Н.А. убедить С.Э., он отказался признать данные достаточными для предлагаемых А.Н. изменений в физике.

Важность некоторых экспериментов, не имеющих даже прямого отношения к радиоастрономии, он понимал немедленно. Так, на семинаре по радиоастрономии в 60-х годах он с энтузиазмом рассказывал об эффекте Казимира – полностью меняющем наше представление о природе вакуума. Для моего поколения это казалось слишком далеким от астрономии. Только много позднее, стало ясно, что это не так – это фундамент современной космологии.

По астрофизике С.Э. не писал статей, хотя была подготовлена одна заметка по интерпретации эффекта усиления яркости Крабовидной туманности при покрытии ее Солнцем. Он предложил эффект, аналогичный Лампе Бегущей Волны (ЛБВ), где замедляющая система сближает скорости плазменных и электромагнитных колебаний и упрощает обмен энергиями между ними. К сожалению, сам эффект не получил подтверждения и публикации не было.

Еще один показательный пример. Для лечения ему рекомендовали модные тогда магнитные кольца, которые надо было носить на запястье. Но на вопрос его: линейный или квадратичный эффект взаимодействия магнитного поля с кровью – никто ему не мог ответить. Это его совершенно не устроило – знак эффекта оказался неизвестным – и он отказался от этого варианта лечения.

Будучи вполне удовлетворенным реализацией проекта БПР и интересом коллектива к возможностям создания более крупных версий радиотелескопа такого типа, С.Э. прекрасно понимал неизбежность возникновения совершенно новых путей развития радиоастрономии и не запрещал их исследовать и своим сотрудникам, иногда даже при негативном личном мнении о реальности успеха. Пример – интерес к параметрическим усилителям, которые заинтересовали сотрудников его отдела. Он убеждал из общих соображений, что параметрический эффект не может быть стабильным в принципе, и этот путь, скорее всего, будет тупиковым. Но он и не думал препятствовать этим разработкам, которые вскоре привели к крупному успеху, и был создан самый чувствительный радиометр, на порядок лучше всех действующих тогда в мире. Другой пример – мой интерес к использованию нового поколения интерферометров с независимой регистрацией сигналов для синтеза изображений с использованием голографического метода восстановления волнового фронта с возможностью создания глобального радиотелескопа. Он не только не сопротивлялся этому «отклонению» от идеологии АПП, но немедленно попросил П.Л.Капицу выслушать на семинаре в Москве наши соображения.

НИКОЛАЙ ФЕДОСЕЕВИЧ РЫЖКОВ (1923-1985)

И. В. Госачинский, Т. М. Егорова, Г. Н. Ильин

Николай Федосеевич Рыжков родился 19 мая 1923 г. в г. Саратове в семье служащего. 26 июля 1941 г. он был призван в Красную Армию и направлен в Куйбышевское военно-техническое училище связи. В звании младшего лейтенанта воевал на Воронежском фронте, где 12 августа 1942 г. был тяжело ранен. После госпиталя был зачислен в запас в прежнем звании. В 1956 г. ему было присвоено звание инженер-лейтенант. В 1944 г. Н.Ф.Рыжков поступил и в 1950 г. окончил Московский энергетический институт по специальности радиотехника. По распределению он был направлен в ФИАН СССР им. Лебедева, где 15.08.1950 г. был зачислен на должность инженера для работы в крымской экспедиции. Перед отъездом он женился на Тамаре Михайловне Егоровой, которая окончила вместе с ним радиотехнический факультет. Она также была принята на работу в крымскую экспедицию, где в то время экспериментальная радиоастрономия делала первые шаги.



Антенна морского интерферометра Крымской экспедиции ФИАН СССР

Н. Ф. Рыжков сразу же включился в работу по настройке аппаратуры на волну 4 м, которая работала в системе морского интерферометра и с помощью которой 2 ноября 1950 г. было зарегистрировано (впервые в Союзе) радиоизлучение от источника Телец-А. До ноября 1951 г. Н.Ф.Рыжков был начальником выездной группы на горе Кабель, где проводились наблюдения источников Телец-А и Дева-А на волне 4 м. В июне 1951 г. ему посчастливилось участвовать в первой попытке В.В.Виткевича наблюдений «просвечивания» Солнечной короны излучением радиоисточника Телец-А.



*Участники наблюдения солнечного затмения 25 февраля 1952 г. в Ашхабаде.
Справа во втором ряду – Н.Ф.Рыжков*

В Ашхабадской экспедиции ФИАНа по наблюдению солнечного затмения 25 февраля 1952 г. он провел наблюдения на волнах 3,5 и 6 м.

В июне 1952 г. распоряжением Президиума АН СССР Н.Ф.Рыжков вместе с супругой были переведены в ГАО АН СССР. Здесь он 25.06.1952 г. был зачислен на должность м.н.с., 01.08.1953 г. переведен на должность старшего инженера, а в 1965 г. он был назначен на должность ведущего конструктора.

До 1954 г. основная работа Н.Ф.Рыжкова в ГАО была связана с организацией лаборатории радиоастрономии при Отделе физики Солнца. К 1954 г. эта лаборатория была укомплектована необходимыми материалами и оборудованием и послужила базой для организации Отдела радиоастрономии ГАО. В этот же период Н.Ф.Рыжков выполнял отдельные поручения, связанные со строительством Большого пулковского радиотелескопа и здания Отдела радиоастрономии ГАО.

В 1954-55 гг. Н.Ф.Рыжков был занят разработкой интерферометра для Горной станции ГАО на волну 1.7 м и его установкой. В 1956 г. совместно с Т.М.Егоровой он приступил к разработке аппаратуры для обнаружения радиолиний дейтерия (91,6 см) и возбужденного водорода (91,2 см). В начале 1958 г. Н.Ф.Рыжков участвовал в экспедиции по наблюдению Солнечного затмения 19 апреля 1958 г. в КНР. Накопленный опыт работы позволил Николаю Федосеевичу с группой сотрудников (Т.М.Егорова, Н.С. Евграфов, В.А.Яковлев) в сравнительно короткий срок создать достаточно совершенную аппаратуру для наблюдения радиолинии нейтрального водорода НI (21 см) и вместе с Н.В.Быстровой, И.В.Госачинским, Т.М. Егоровой и З.А.Алферовой начать

проведение систематических исследований H I с помощью БПР. Параллельно разрабатывались новые радиоспектрометры с малошумящими усилителями (МШУ) высокой частоты на входе: мазерами и охлаждаемыми до температуры жидкого азота параметрическими усилителями, что позволило впервые в Советском Союзе провести наблюдения anomalно возбужденного гидроксила OH на частоте 1665 и 1667 МГц. Для последних спектрометров был разработан многоканальный фильтровый узкополосный анализатор с цифровым регистрирующим устройством, что позволило полностью автоматизировать обработку наблюдений на ЭЦВМ.



*Н.Ф. Рыжков на БПР в момент заливки мазера жидким гелием.
Крайний слева – Н.С.Евграфов*

В 1969 г. весь Отдел радиоастрономии ГАО был переведен в САО АН СССР. Вскоре Н.Ф.Рыжкова назначают заместителем главного конструктора по электронному оборудованию строившегося в то время крупнейшего в мире рефлекторного радиотелескопа РАТАН-600. В 1971 г. он представил, как соискатель, в Ученый совет ГАО диссертацию на тему «Методы радиоспектроскопии межзвездной среды и некоторые результаты наблюдений в радиолиниях дециметрового диапазона» (специальность радиоастрономия). В марте 1972 г. за эту диссертацию ему была присуждена ученая степень доктора физ.-мат. наук. В декабре 1972 г. он избран на должность заведующего лабораторией радиоспектроскопии, сотрудники которой работали по теме «Разработка новых методов и аппаратуры для радиоастрономических наблюдений». Основное внимание он уделял созданию аппаратуры спектрометрического комплекса РАТАН-600 для исследования всех основных спектральных линий в рабочем диапазоне радиотелескопа, а также увеличению его чувствительности и информативности.

В 1978 г. на РАТАНе были введены в эксплуатацию три спектральных приемника: СП-21 (для линии H I), СП-18 (для линии OH) и СП-6.2 (для линии H_2CO). С 1981 г. для наблюдения мазерных источников используется СП-1.35

(для линии водяного пара – H₂O). Проведена большая работа по автоматизации наблюдений: система программного управления спектрометром СП-21, обеспечившая полную автоматизацию процесса наблюдений, находилась в регулярной эксплуатации с 1975 г.

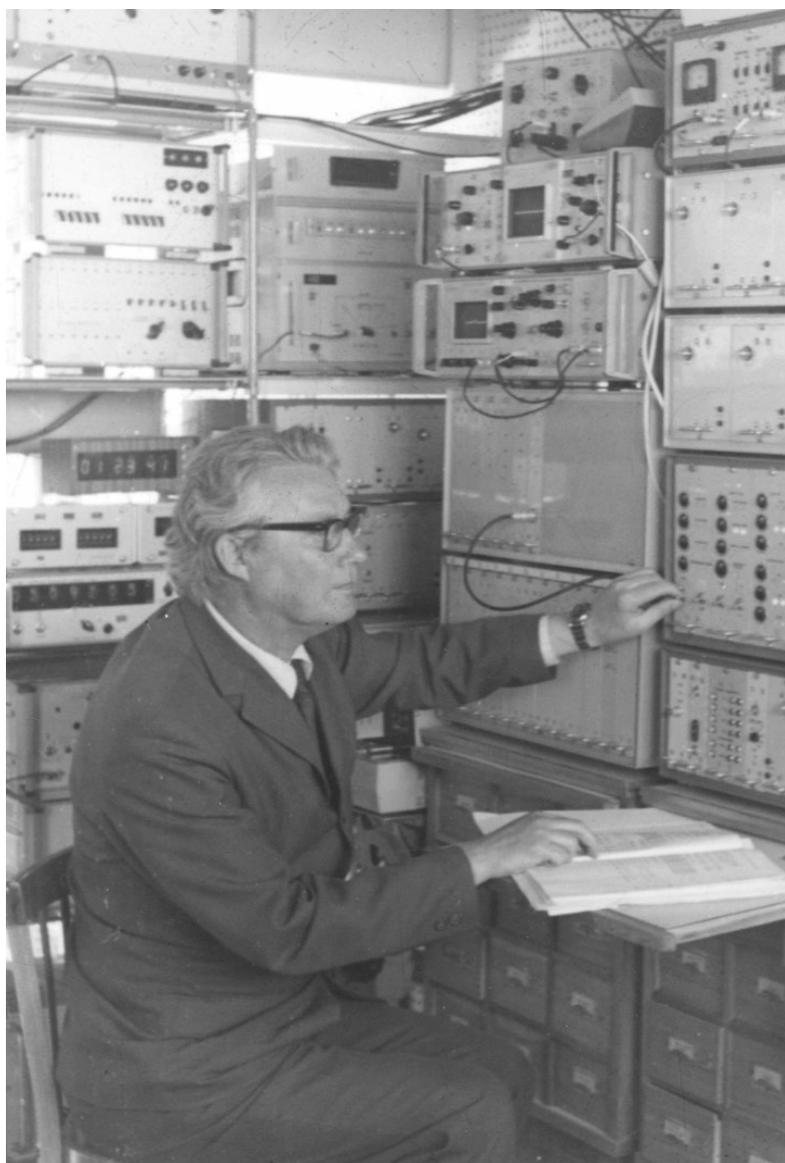
Аппаратура спектрального комплекса постоянно совершенствовалась. В 1984 г. под руководством Н.Ф.Рыжкова впервые внедрен в регулярную эксплуатацию новый класс МШУ – охлаждаемый транзисторный усилитель на волну 21 см, позволивший существенно повысить стабильность работы соответствующего приемного устройства.

К 1984 г. была завершена разработка системы программного управления двумя спектрометрами, которая позволяет автоматизировать не только процесс наблюдения на двух спектрометрах одновременно, но и выполнение подготовительных операций, а также программное видоизменение методики измерений.

Из-за перенесенного в 1982 г. инфаркта миокарда Н.Ф.Рыжков не мог часто бывать на РАТАНе, поэтому 31.05.1983 г. он переходит на должность ст.н.с. и продолжает по-прежнему активно помогать сотрудникам ЛРС в их разработках аппаратуры спектрального анализа сигналов. Уйдя из жизни 12 августа 1985 г., он оставил дружный коллектив соратников-единомышленников. Более 10 человек защитили диссертации на материале, к которому Николай Федосеевич имел непосредственное отношение и четверо из них были его учениками-аспирантами.

Н.Ф.Рыжков являлся членом МАС, куда был избран 24 августа 1973 г. на XV Генеральной Ассамблее в г. Сидней. Входил в состав Ученого совета САО и специализированных советов ЛПИ и САО. Награжден орденом Знак Почета в январе 1978 г., имеет 7 медалей. О деятельности Н.Ф.Рыжкова помещены сведения в научном сборнике «Очерки истории радиоастрономии в СССР», г. Киев, 1985 г. Им опубликовано 90 научных работ, главные из них:

1. Радиоспектрограф на волну 21 см, Н.Ф.Рыжков – Известия ГАО, 1972 г., N 188, с.172-179.
2. Аппаратные методы радиоспектроскопии межзвездной среды:
I. Основные сведения, Н.Ф.Рыжков – Изв.САО, 1974 г., том 6, с.96-143.
II. Сравнительная оценка методов, Рыжков Н.Ф. – Изв.САО, 1976 г., том 8, с.89-118.
3. Спектрометрический комплекс радиотелескопа РАТАН-600, А. Венгер и др. – Сообщения САО, 1982 г., 35, с.5-32.
4. Аппаратура управления двумя радиоспектрометрами радиотелескопа РАТАН-600, В.Г.Могилева, А.С.Морозов, В.А.Прозоров, Н.Ф.Рыжков – Астрофиз.исслед. (Изв.САО), 1987 г., 24, с.191-204.



*Н.Ф.Рыжков за пультом управления спектрометром на облучателе
№ 2 РАТАН-600*

ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ ШИВРИС (1928-1994)

Ю. К. Зверев

По словам О.Н.Шивриса, толчком для его поступления на работу в Пулковскую обсерваторию послужила лекция сотрудника ГАО АН СССР В.А.Наумова в Ленинградском планетарии. Содержание лекции так заинтересовало О.Н., что у него возникло непреодолимое желание работать в Пулково, тем более, что лектор упомянул о своей причастности к штурманской профессии, а Шиврис был именно штурманом по образованию. Сам он считал все случившееся делом случая, но я считаю, что это не случайность, это была судьба. Так О.Н. Шиврис появился в отделе радионастрономии Пулковской обсерватории.

Одной из важных работ отдела в то время (середина 50-х годов) была реализация идеи С.Э. Хайкина антенны переменного профиля (АПП). Одним из ближайших помощников Хайкина в развитии и разработке идеи АПП был О.Н. Шиврис, он выполнил очень важную часть этой работы: перевод идеи на математический язык, т.е. математическое описание геометрии АПП, что придало идее радиотелескопа нового типа законченный вид. Следить за ходом мыслей автора при выводе формул АПП было так же увлекательно, как, наверное, шахматисту разбирать партии маститого гроссмейстера.

Как и все сотрудники отдела, О.Н. Шиврис принимал участие во вспомогательных работах на площадке строящегося Большого пулковского радиотелескопа (БПР), имеющего в качестве главного зеркала именно антенну переменного профиля, радовался результатам первых радионастрономических наблюдений на новом радиотелескопе, созданном, можно сказать, своими руками, испытал шок от неожиданного развала радиоизображений и облегчение после нахождения и устранения причины этого. Ухудшение результатов наблюдений было вызвано сезонными подвижками фундаментов отражающих элементов БПР, и для устранения дефекта оказалось достаточным провести очередную юстировку радиотелескопа, что на практике доказало эффективность и перспективность этого нового типа радионастрономических инструментов.

В 1965 г. началась реконструкция БПР, вызванная необходимостью повышения эффективности радиотелескопа за счет повышения точности поверхности АПП. Было очевидно, что улучшить поверхность АПП можно заменой плоской поверхности отражающих элементов, или щитов, на цилиндрическую и усовершенствованием методов юстировки и отсчетных устройств. Во всех этих работах принимал активное участие О.Н. Шиврис. В частности, он дополнил геометрию АПП «материализацией» дополнительного «движения» щитов – расчетом небольшого поворота их вокруг радиальной оси, а также рассчитал ошибки поверхности, вызванные фактом наличия одного для всех щитов радиуса кривизны их поверхности.

В это же время в отделе началась работа с проектом РАТАН-600. Одним из руководителей и главных исполнителей проекта был О.Н. Шиврис. В сферу его ответственности входили вопросы проектирования строительных конструкций, несущих и подвижных металлоконструкций элементов радиотелескопа, полное конструирование вторичных зеркал (облучателей), вопросы, связанные с материализацией поверхности отражающих элементов кругового и плоского зеркал (отражателей), включая выбор материала, технологию «обшивки» и способы юстировки, а также вопросы, связанные с перемещением и фиксацией щитов при радиоастрономических наблюдениях: выбор способа, проектирование устройств и т. п. и вопросы дальнейшей автоматизации. В связи с этим ему приходилось устанавливать деловые контакты со многими проектными, исследовательскими, производственными организациями и вузами, и курировать их работу по проекту РАТАН-600 (Гидропроект, ГИПРОНИИ, ЦНИИГАиК, Сызранский завод, Ереванский институт автоматики, Ленинградский политехнический институт, Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта и др.). Во время строительства радиотелескопа к этому списку добавились многочисленные строительные организации.

В этот период, будучи уже главным конструктором РАТАН-600, О.Н. Шиврис значительную часть своего рабочего времени проводит непосредственно на площадке строящегося радиотелескопа. Сфера его деятельности постоянно расширяется, к научным и производственным задачам добавляются организационно-административные, нередко отнимающие больше сил, чем наука или производство.

Из этого времени запомнилась организация Шиврисом рабочего места для монтажа и формирования отражающей поверхности щитов кругового и плоского зеркал РАТАН-600, так называемого стапеля. Здесь все было тщательно продумано и не менее тщательно выполнено, в том числе и подбор работников.

По мере приемки от строителей и монтажников частей и элементов радиотелескопа, проводилась их настройка, исследование и передача для выполнения радиоастрономических наблюдений. В 1974 году было проведено первое наблюдение на радиотелескопе РАТАН-600. О.Н. Шиврис участвовал во всех работах или руководил ими.

Результаты научных, научно-технических и проектных работ и исследований О.Н. Шивриса представлены в многочисленных статьях, отчетах, трудах всесоюзных и международных конференций по радиоастрономии.

Трагический случай вырвал из жизни Олега Николаевича Шивриса. Он мог бы сделать еще очень много, и было, что делать, и планов было много, но – не довелось. Но уже сделанное с его участием (а, значит, и им) работает и по сей день, и каждый день дает результат. Значит, и в сегодняшних успехах ратановских радиоастрономов есть его вклад.

ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ КОРОЛЬКОВ (1925-1984)

А. Б. Берлин, Г. М. Тимофеева

Димы нет уже 22 года. Трудно представить себе его тихо стареющим в кресле перед камином, он ушел, как и жил – на бегу.

Эти заметки написаны сотрудниками, проработавшими с Д.В. десятки лет, и имеют, безусловно, личностный характер.

Первым практическим (и опубликованным) проектом Д.В. была разработка стабилизатора тока накала радиоламп на магнитном усилителе (это было продолжением темы его дипломной работы). В начале декабря 1954 г. сборка первого макета стабилизатора была закончена и Д.В. приступил к наладке. Я маялся у него за спиной. В нашем подвальном помещении было очень холодно, батарея не грела, и я решил, пока есть время, отвернуть пробку и спустить воздух. Пробка никак не поддавалась, пришлось применить рычаг. Раздался громкий щелчок и из батарей хлынула толстая струя горячей воды. Всеобщая паника. Спасательная операция – выносим приборы. Д.В. спокойно оборачивается, оценивает обстановку, подходит к вешалке и надевает чьи-то галоши (у него – не было), после чего приступает к руководству спасательной операцией. Собирается вся администрация ГАО во главе с академиком А.А.Михайловым. В полном унынии я спрашиваю Д.В., когда мне подавать заявление об увольнении: сейчас или завтра утром? Он берет меня за рукав, отводит в сторону и говорит: "Вот что: тут прозаседал техсовет и решил, что произошел скачок давления в системе. Не будем разубеждать. Тихо иди домой". А дело-то было в том, что в пробке на батарее – левая резьба! И виновник уже 52-й год – без наказания.

Д.В. воевал и, потом, всегда был старше окружающих его людей, но ему и в голову не приходило кичиться своим ветеранством. Он был в знаменитом провальном Керченском десанте, когда войска высадили в голую грязную глинистую степь и оставили без поддержки. Д.В. прекрасно знал, сколь ужасна война и не любил вспоминать о ней, а если приходилось, – было видно, как это ему тяжело.

Д.В. был членом партии "военного" призыва. Все свои "регалии" – партийность и ветеранство – Д.В. всегда откровенно использовал для помощи людям.

Д.В. был весьма разносторонним человеком и занимался многими вещами. Будем говорить только о высокочувствительных радиометрах, о прочих научных интересах Д.В. лучше скажут другие.

Основной его вклад в развитие радиоастрономической приемной техники – это организация "с нуля" исследований, разработок и внедрения в практику сверхмаломощных регенеративных усилителей СВЧ. В конце 50-х – начале 60-х параметрические усилители (ПУ) были модной новинкой, ими занимались все. Теперь трудно вообразить, на каком уровне была тогда техника: например, ферриты для работы на СВЧ уже были, а постоянных магнитов для обеспечения работы ферритовых развязывающих устройств (а без них ПУ немислимы) – еще

не было. Своими руками делали электромагниты, и Д.В. лично наматывал громкие катушки на токарном станке.

Д.В. стал активно внедрять в практику радиометры прямого усиления (без частотного преобразования). Это стало особенно важно с появлением широкополосных входных ПУ. Выявилась также потребность в твердотельных усилителях умеренного качества – для использования в схеме прямого усиления после ПУ. И Д.В. поставил задачу разработки нового типа усилителей СВЧ – усилителей на туннельных диодах (УТД), задача была успешно решена.

Заслугой Д.В. было то, что под его руководством дело не ограничивалось привычной "демонстрацией и исследованием возможностей", а было доведено до практического применения в наблюдательных программах на БПР и РАТАН-600, в том числе и в криогенном варианте (с жидким азотом). Много позже, в 1979 г., уже для РАТАН-600, Д.В. организовал поставку разработанных в промышленности для специальных применений сверхмалозумящих ПУ с глубоким охлаждением до уровня 15 К с помощью микрокриогенных систем (МКС) с замкнутым циклом по рабочему газу (гелию). Основанное Д.В. направление с использованием МКС с тех пор стало базовым и обеспечивает основной поток данных наблюдений на четырех длинах волн.

Дима был успешным студентом, но однажды, не успев подготовиться, получил тройку по радиоприемным устройствам у профессора Д. (он был не только профессор, но и большой начальник в крупном НИИ). Прошло несколько лет, и в ГАО приходит профессор Д. "для консультации с Дмитрием Викторовичем". Ему было совершенно непонятно, как это в радиоастрономических приемных устройствах получается такая высокая чувствительность даже при умеренных шумовых характеристиках компонентов? (Понятие "радиометрический выигрыш" и до сих пор доходит до классических локаторщиков с трудом).

Несомненен вклад Д.В. в теорию радиометров. Предложенный им (совместно с П.А.Фридманом) тип радиометрической схемы – радиометр с добавлением шума – был известен ранее, но в упрощенном, годном лишь для грубых измерений варианте. Д.В. показал возможность реализации этой схемы в режиме полного баланса, когда пользователь обращается с ним так же, как с привычным модуляционным радиометром, но во входном тракте радиометра практически отсутствуют элементы с потерями (кроме собственно фидерных линий). При обсуждении реализуемости предлагаемой схемы были высказывания некоторых "корифеев" в стиле: "я все посчитал, и это работать не будет". С ними не спорили, ибо к тому времени первый макет такого радиометра на волне 8 см, изготовленный В.Я.Гольневым под руководством Д.В., уже работал в лаборатории. В последующем инициированная Д.В. схема построения высокочувствительных радиометров стала основной для радиометров облучателя № 1.

Здесь уместно упомянуть о еще одном таланте Д.В. – таланте популяризатора. "Объяснять" – это было его любимым занятием, и делал он это с блеском. В одном весьма крупном НИИ в Ленинграде на его лекции по радиоастрономии и радиоастрономической аппаратуре собиралась огромная аудитория, и эти лекции там помнят до сих пор. По свидетельству очевидцев, однажды он целую ночь, на пути из Горького в Москву, рассказывал попутчикам об астрономии и проблемах Мироздания. Слушатели хранят ощущение необыкновенного события до сих пор.

Не подлежит сомнению литературный вкус и талант Д.В. Он был блестящим редактором, которому доверяли свои тексты и электронщики, и антеннщики, и астрофизики. Пытался писать сам – в жанре иронической научной фантастики: там был персонаж по имени Онли Вумен и сестры Фор – Сема Фор и Света Фор.

Все эти таланты в одном человеке вызвали к жизни еще один замечательный талант – талант "делать друзей". В любом человеческом коллективе, в котором Д.В. побывал, у него оставались друзья. И, редчайший случай: складывается впечатление, что ему удалось прожить жизнь, не имея врагов!

Незауряден общественный темперамент Д.В. – он участвовал всегда и во всем: в многочисленных туристическо-спортивных затеях, капустниках, выпуске юмористических газет (любил рисовать). Он обладал несомненным высоким авторитетом, и как-то само собой получалось, что в любой конкретной ситуации микроколлективом руководил он. В то же время Д.В. никогда не прибегал к "трехэтажным" разносам. Высшей степенью порицания у него были слова "ты поступил нехорошо..."

ПАМЯТИ ДМИТРИЯ ВИКТОРОВИЧА КОРОЛЬКОВА

Г. Б. Гельфрейх

Когда осенью 1954 года, будучи студентом мат.-мех. факультета ЛГУ, я пришел в Пулковое, в новый тогда формировавшийся Отдел радиоастрономии, С.Э. Хайкин определил меня под начало Дмитрия Викторовича Королькова. Под его руководством я стал паять приёмник для приёма сигналов радиостанции со стабилизированной несущей частотой (по счастью, я занимался радиолюбительством и мог паять схемы приёмников). Так началось наше знакомство и совместная деятельность, которая продолжалась до самой его трагически бессмысленной кончины.

Дима Корольков был выдающимся деятелем науки и техники, организатором, педагогом, исключительной порядочности человеком. Не случайно его фотопортреты до сих пор встречаешь на стенах практически каждого радиоастрономического учреждения нашей страны. Для меня он стал учителем, который существенно продвинул мое понимание основ радиофизики и радиоастрономии. Вероятно, самое главное – под его руководством я овладел методикой научных экспериментов.

В эпоху, когда наши астрономы о радиоастрономии знали очень мало, он активно развивал такие важные для практики научных исследований направления, как конструирование чувствительных приемников, методы измерения поляризации с полным её анализом и минимумом паразитных эффектов, помех, наблюдения солнечных затмений с целью анализа структуры локальных источников радиоизлучения Солнца как в интенсивности, так и поляризации, разработку и создание новых крупных радиотелескопов. Исходным зачинателем этих направлений был, естественно, основатель пулковской радиоастрономии Семён Эммануилович Хайкин. Однако практической реализации этих методов, с внесением многих новых идей, безусловно, мы обязаны Королькову. Он прошел тяжелую школу жизненных испытаний, начиная с участия в боевых действиях советской армии еще в школьные годы, пережил сталинские репрессии по отношению к его отцу и многое другое. Это закалило его характер и определило особое внимательное и справедливое отношение к людям, вместе с которыми он трудился.

Я пришел в отдел радиоастрономии на самой ранней стадии его становления, когда у нас еще не было ни одного радиотелескопа и лишь шла подготовка к некоторым программам наблюдений. Это определило то, что я прошел рядом с Димой практически всю научную школу, овладел рядом методов решения проблем в области физики Солнца.

Летом 1955 года в ГАО были переданы два 4-метровых зеркала с приёмниками 3-см диапазона, изготовленные в ФИАНе под руководством С.Э. Хайкина и Н.Л. Кайдановского. На одном из них проводились первые поляризационные измерения в этой области спектра. Под руководством Д.В. Королькова были проведены обширные работы по совершенствованию аппаратуры, сниже-

нию паразитных антенных эффектов, повышению чувствительности. На этой основе зимой 1955-56 гг. были проведены исследования линейной поляризации Луны, предсказанной в работах Горьковской школы, а летом 1956 года обнаружена круговая поляризация радиоизлучения Солнца и установлена её связь с солнечными пятнами. Развитие методики и чувствительности поляризационных измерений позволило успешно, с беспрецедентной чувствительностью провести в Пулковско наблюдение затмения 2 декабря 1956 года. Неожиданно для теории радиоизлучения того времени было обнаружено, что поляризованные источники активных областей Солнца имеют размеры и положение, совпадающие с таковыми для ядер солнечных пятен.

Этот эффект был понят и корректно интерпретирован теоретиками лишь пять лет спустя, когда появилась теория теплового магнитнотормозного (циклотронного) излучения ярких источников над солнечными пятнами.

Результативность указанных наблюдений затмения инициировала в пулковском отделе радиоастрономии приложить усилия как на всестороннее развитие поляризационных наблюдений, так и на дальнейшие программы затменных методов. Затмение 30 апреля 1958 года наблюдалось уже на нескольких волнах см-диапазона и внесло решающий вклад в становление новой теории природы радиоизлучения АО Солнца. Так было установлено, что излучение над пятнами в диапазоне 2 см на порядок ниже, чем на 3 см, и что источники сильной круговой поляризации расположены в короне на очень малой высоте, практически вплотную к переходной области между короной и хромосферой. Конечно, это был труд не одного Королькова, а целого коллектива, но Дмитрию Викторовичу всё же здесь принадлежит ведущая роль. Уместно также отметить, что окончательная формулировка и даже признание этих результатов заняли годы и долгое время зачастую вызывали недоверие.

Наблюдения затмения 1958 года с полной силой продемонстрировали, что реализовать пространственное разрешение в канале интенсивности намного труднее, чем в поляризационных каналах. Дело в том, что при анализе затменных кривых с целью получения радиоизображения активной области Солнца достигается высокое пространственное разрешение в канале поляризации, где сигнал от спокойного Солнца практически отсутствует. Однако в канале интенсивности возникает множество паразитных флуктуаций, обусловленных как колебаниями атмосферы, так и нестабильностями приёмной аппаратуры. Для преодоления этих трудностей Корольковым была предложена идея радиоинтерферометра с малой базой (РИМБ). Расстояние между двумя зеркалами РИМБа выбирается так (около 137 длин волн), чтобы интерферометрическая кривая имела на рабочей волне инструмента нулевой сигнал (используется фазовая модуляция, на частоте которой производится регистрация). Такой интерферометр на волну 4 см был изготовлен в ГАО для наблюдения затмения 30 апреля 1965 г. в экспедиции на о. Кука. Затем, по возвращении, он был успешно использован для исследования слабых всплесков радиоизлучения Солнца и сыграл решающую роль в установлении того факта, что открытые в Горьком квазипериодические флуктуации радиоизлучения Солнца возникают в его активных областях. В 1970 г. РИМБ был успешно использован для наблюдений солнечно-

го затмения в Мексике и оставлен там для развития радиоастрономических исследований.

Всё же наиболее значительный вклад в отечественную науку Д.В. Королькова следует связать с развитием применения высокочувствительных широкополосных приёмников сантиметрового диапазона. Эти приёмники определили на первом этапе основные результаты галактических и метagalactic исследований на Большом пулковском радиотелескопе (БПР), который в те годы (конец 50-х - 60-е) был самым крупным рефлекторным телескопом мира, позволявшим проводить детальные спектральные исследования Вселенной. С началом разработки проекта РАТАН-600 указанное направление было продолжено на этом крупнейшем инструменте. На протяжении многих лет и до самой смерти (1984 г.) Корольков возглавлял одно из центральных технических направлений, обеспечивших успех РАТАНа. Ему же мы во многом обязаны созданием многоволнового аппаратного комплекса для солнечных наблюдений на этом инструменте, который определил ряд уникальных результатов солнечной радиоастрономии.

Необходимо также отметить роль, которую Дмитрий Викторович сыграл в развитии радиоастрономии в других институтах нашей страны. Здесь, в первую очередь, хочется остановиться на нашем сотрудничестве и взаимодействии с учеными СибИЗМИРа (Иркутск, теперь ИСЗФ). Не будет преувеличением сказать, что развитие радиоастрономии в этом институте под руководством Г.Я. Смолькова, происходило по рекомендациям и с реальной аппаратной помощью Д.В. Королькова. Поскольку исследование Солнца довольно рано стало основным направлением в моей работе, я также принимал активное участие в этом сотрудничестве.

На первых этапах (начало 60-х годов) в СибИЗМИРе были реализованы поляризационные измерения сантиметрового излучения Солнца. Их особенностью была возможность параллельного измерения всех четырёх параметров Стокса, т.е. анализ эллиптической поляризации и её степени. Уместно напомнить, что на поляризационной установке, которая была разработана под руководством С.Э. Хайкина в ФИАНе и передана в ГАО, одновременно мог регистрироваться только один параметр Стокса. Использование пулковской методики в Иркутске было реализовано, в основном, В.П. Нефедьевым, который в диапазоне 3 см исследовал большое количество всплесков и, в частности, на многих из них наблюдал линейную компоненту, проявление которой в солнечном радиоизлучении встречает много трудностей в теоретической интерпретации. Проблема эта в полной мере не решена до сих пор.

Вторым направлением исследований, которые развивались в СибИЗМИРе под влиянием работ ГАО, была разработка и создание новых радиointерферометров с малой базой. Там наблюдательное направление с использованием РИМБа успешно и даже весьма оригинально развивалось В.Г. Зандановым, которым были разработаны два варианта РИМБа оригинальной конструкции и получены интересные наблюдательные результаты.

Наконец, наиболее важным инициативным предложением Королькова, оказавшим решающее значение на развитие радиоастрономии в СибИЗМИРе, была идея нового оригинального радиогелиографа. Когда она пришла ему в

голову, я не знаю. Однако на обратном пути нашего путешествия на наблюдение солнечного затмения на островах Кука мы из Владивостока полетели не прямо в Ленинград, а в Иркутск, где пробыли около недели и занимались обсуждением под руководством Г.Я. Смолькова путей развития солнечной радиоастрономии в СибИЗМИРе. Там, неожиданно для меня, Дима высказал идею нового крупного радиогелиографа сантиметрового диапазона. Он должен был иметь на порядок более высокое разрешение по двум координатам, чем другие интерферометры того времени. В отличие от них, он должен был строить радиоизображения Солнца каждые несколько минут, а не одно изображение в день, как существовавшие в то время радиогелиографы в Японии, Австралии и США. Новая идея состояла в сканировании диаграммы направленности методом частотного сканирования с параллельным многоканальным приёмником, обеспечивающим регистрацию яркости сотни или больше точек на поверхности Солнца. Проект в первом представлении был поддержан руководством института, и мы приступили к его детальной разработке. Выбор основных параметров инструмента (длины волны, разрешения, числа антенн и др.) был поручен мне. В следующие годы мы совместно с рядом сотрудников ГАО и СибИЗМИРа провели расчет основных параметров проекта. Эти расчеты были опубликованы в ряде статей. Мы надеялись, что сотрудникам СибИЗМИРа удастся реализовать основные параметры радиотелескопа уже к очередному максимуму солнечной активности, где-то около 1968 г. Однако, в силу ряда неудачных решений и ошибок (в частности, удаливших Королькова от реализации проекта), добиться реализации заложенных в него параметров удалось лишь где-то в начале 90-х годов, т.е. на десятилетия позже, чем мы планировали. Тем не менее, в настоящее время радиогелиограф в Бадарах, именуемый официально Сибирский Солнечный радиотелескоп (ССРТ), является крупнейшей интерферометрической антенной мира, включающей 256 антенн. Это единственный инструмент в диапазоне 5 см, проводящий параллельно картографирование всего диска Солнца с двумерным разрешением около 20 угловых секунд. Проект был удостоен Государственной Премии, среди участников был и Корольков.

У всех, кому посчастливилось работать в тесном сотрудничестве с Дмитрием Викторовичем Корольковым, на долгие годы останется светлая память об этом прекрасном человеке, замечательном учителе, внёсшем большой вклад в развитие отечественной радиоастрономии.

О ДМИТРИЕ ВИКТОРОВИЧЕ КОРОЛЬКОВЕ

В. М. Богод

Я тоже отношу себя к тем, кому посчастливилось учиться у Д.В.Королькова и работать с ним. Впрочем, никакого его превосходства никто при этом не испытывал. Он прекрасно чувствовал людей. Часто к нам устраивались на работу молодые специалисты, которых он заразил любовью к науке беседами в поезде, на лекциях в НИИ или на волейбольной тренировке. Когда я к нему пришел 2 января 1968 г. в Пулково, то первое, что он мне поручил – спаять источник питания для выходной ЛБВ для радиометра на БПР. После успешного завершения этой работы я почувствовал, что приобрел надежного руководителя и друга. Удивительно, но все современные проблемы физики тогда были и нашими проблемами. Когда был открыт эффект Джозефсона в сверхпроводящих пленках, то он и Ира Игнатьева организовали стенд с охлаждением до температуры жидкого гелия, с помощью которого этот эффект изучался для создания малозумящего криогенного усилителя и входного переключателя. А когда при этом возникли принципиальные физические проблемы, то он, не стесняясь, съездил к П.Л.Капице, хотя по своей природе он был весьма скромным человеком.

Долгое время тема параметрических усилителей, которой он руководил, была ведущей не только в Союзе, но и успешно конкурировала с приемными системами на других радиотелескопах мира. Как истинный ученый, Дмитрий Викторович не признавал тупиков в науке. Например, будучи моим научным руководителем, он предложил мне заняться созданием широкодиапазонных спектральных комплексов, что помогло бы использовать широкодиапазонность РАТАН-600 для изучения солнечной короны в широком интервале ее высот. Однажды, после создания первой версии спектрального солнечного комплекса, я спросил его о далеких перспективах такого направления. Ответ был образный – когда взбираешься на гору, то трудно увидеть далекий горизонт. Взберись на эту гору и ты увидишь множество новых проблем. Время показало, что это действительно так. Обладая великолепным чутьем на открытия, он с удовольствием передавал его своим ученикам. Как-то в беседе с ним я обсуждал возможные новые пути применения РАТАНа для солнечных задач. И пожаловался, что РАТАН-600 начал свою работу в годы минимума солнечной активности и что новые результаты по активным областям получим нескоро. Проблемы же малоконтрастных образований нам труднодоступны. Это его зацепило и через неделю мы уже испытывали схему с двойной компенсацией сигнала и смогли зарегистрировать новые структуры, названные в дальнейшем радиогрануляцией. Это было первым реальным открытием на РАТАНе.

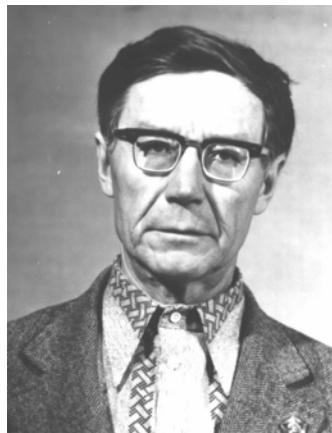
Главное, что остается после УЧИТЕЛЯ, это идущее через всю жизнь желание примерять текущую деятельность с меркой настоящего Ученого.

И еще одно – Корольков Дмитрий Викторович был первым и последним зав. Отделом радиоастрономического приборостроения САО. После его гибели отдел распался, однако все его бывшие сотрудники до сих пор ощущают себя его членами.

ВАЛЕРИЙ СТЕПАНОВИЧ РЫЛОВ (1923–1989)

Н. Ф. Войханская

В.С. Рылов родился 5 сентября 1923 г. на станции Зуевка Кировской области. Отец его был железнодорожным инженером, мать – учительницей начальных классов. После неоднократных переездов, связанных со службой отца, семья вернулась в Зуевку, где в 1941 г. он окончил среднюю школу. По ложному доносу отец был арестован. После продолжительного следствия его выпустили из тюрьмы, но запретили работать по основной специальности. Пришлось перебиваться случайными работками. Только перед самой войной, когда стала ощущаться нехватка квалифицированных кадров, ему разрешили снова работать по специальности. Сразу после окончания школы В.С. Рылов был призван в Красную армию и направлен на учебу на курсы военных переводчиков. Он рассказывал, что курсантам жилось нелегко. Было очень голодно, голод мучил постоянно. Учебная нагрузка была большой: в день надо было активно усвоить 50 слов, и при этом курсантов посылали на разные хозяйственные работы вроде погрузки-разгрузки вагонов.



После окончания курсов он был направлен в разведотдел штаба 80-й стрелковой дивизии, а через год переведен в разведотдел штаба 119-го стрелкового корпуса Первой ударной армии. Валерий Степанович участвовал в прорыве блокады Ленинграда, ему не раз приходилось ходить с разведчиками за линию фронта, допрашивать пленных прямо на поле боя. За боевые заслуги он награжден орденами Красной Звезды, Отечественной войны 2-ой степени и многими медалями. В ноябре 1945 г. был демобилизован из армии в звании старшего лейтенанта.

В 1946 г. Валерий Степанович поступает в Ленинградский политехнический институт на физико-механический факультет. В 1951 г. окончил его по специальности техническая физика с квалификацией инженера-исследователя и был направлен на работу в Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе. В Физтехе он занимался физикой изотопов и в 1958 г. защитил кандидатскую диссертацию.

В 1962 г. директор ФТИ Б.П. Константинов организовал астрофизический отдел. Перед отделом была поставлена задача поиска антивещества в околоземном пространстве. Идея была подвержена резкой критике. Помню ее обсуждение на кафедре астрофизики ЛГУ, где я тогда была аспиранткой. Общее мнение было резко отрицательным. Тем не менее, будучи неправильной, она стимулировала исследования по ряду важных направлений современной космологии и оказалась плодотворной как теоретически, так и экспериментально. Это

позволило укрепить и расширить отдел, который существует и успешно работает до настоящего времени. Новые идеи и возможности сулили много интересного, и В.С. Рылов перешел работать в астрофизический отдел в сектор оптических наблюдений комет и метеоров. Начались работы по созданию новой аппаратуры и отработке новых методов наблюдений. Они проводились в горах под Ташкентом и в Крыму в Симеизе.

В 1967 г. Валерий Степанович перешел на работу в САО АН СССР. Перед ним была поставлена задача оснащения строившегося 6-метрового телескопа (БТА) современными приборами и приемной аппаратурой. Он сразу же включился в работу: организовал и возглавил Лабораторию астросветоприемников. Им проделана большая работа по ревизии технических заданий на штатную спектральную аппаратуру, обоснованию новых технических заданий и требований к ней. Он принимал активное участие в процессе проектирования, изготовления и тестирования аппаратуры, выполняя функции заказчика от имени САО АН СССР. Созданные при его участии основной звездный спектрограф, светосильный спектрограф первичного фокуса, эшелный спектрограф, планетный спектрограф многие годы являлись базой для выполнения наблюдательных программ на БТА.

Одновременно с созданием спектральной аппаратуры велась работа по оснащению ее высокочувствительными приемниками. В 1968 г. начались переговоры с Московским институтом оптико-физических измерений о разработке для БТА современных электронно-оптических преобразователей. Переговоры проходили трудно, т.к. Валерий Степанович добивался создания ЭОПов с пороговыми характеристиками, которые в нашей стране тогда не делались. Ему пришлось обратиться за поддержкой к своему бывшему директору, а тогда вице-президенту АН СССР Б.П. Константинову. Поддержку он получил, т.к. Б.П. Константинов считал, что аппаратурное оснащение обсерваторий СССР оставляет желать лучшего, и в этом направлении предстоит провести большую работу. В результате были созданы высокочувствительные малошумящие ЭОПы с большим полем и волоконной шайбой на выходе. В Лаборатории астросветоприемников САО к этим совершенным тогда ЭОПам сконструировали и изготовили уникальную оснастку: фокусирующую систему на постоянных магнитах. Кроме того, сумели отказаться от перебрасывающей оптики, что заметно уменьшало потери света. В дальнейшем эта светоприемная система была внедрена на нескольких телескопах у нас в стране и за рубежом.

Помимо большого объема текущей работы по поддержанию приборного парка БТА и разработке новых приборов, в лаборатории велась целенаправленная работа по созданию новых светоприемников. Был создан 40-канальный счетчик фотонов – диокон. Валерий Степанович рассматривал его создание как первый шаг. Следующим шагом должно было стать создание диодной линейки для регистрации спектров, а затем – матрицы. К сожалению, этим планам не суждено было сбыться.

Насколько глубоко понимал Валерий Степанович тенденции развития астроприборостроения говорит следующий факт. По его инициативе был создан эшелный спектрограф. Первоначально планировалось, что он будет оснащен широкопольным ЭОПом. Но увлечение сканером помешало этому. Долгое

время спектрограф не находил применения. Некоторые ведущие сотрудники не раз называли его ненужным и даже мертвым прибором. На что Валерий Степанович отвечал, что это прибор будущего, что для него пока нет хорошего приемника, но он скоро будет создан. Жизнь подтвердила его правоту. С появлением матриц эшельные спектрографы стали основными приборами при спектральных исследованиях.

По инициативе Валерия Степановича были закрыты балконы БТА. Это было сделано для удобства работы со светоприемной аппаратурой. Надо сказать, что не только многие сотрудники, но даже генеральный конструктор БТА Б.К. Иоаннисиани возражал против этого, т.к. считал, что испортится общий вид телескопа. Однако, когда все было сделано, он согласился, что получилось хорошо.

Результатом многолетней научной деятельности В.С. Рылова стали многочисленные публикации, а его добросовестный труд был оценен: он награжден медалью «За доблестный труд» и орденом «Трудового Красного Знамени».

В жизни Валерий Степанович был скромным, внимательным к людям и очень отзывчивым. А еще он был веселым, общительным человеком и поборником здорового образа жизни. Он принимал самое активное участие в общественной жизни поселка. Заядлый турист, он исходил страну от Заполярья до Дальнего Востока. Он пропагандировал занятия оздоровительным бегом, организовал в САО клуб любителей бега. На традиционный пробег в День науки иногда выходил почти весь поселок. Кто бежал, кто «болел», кто помогал организаторам. Дистанции были от 3 км до марафонской. Другой традиционный пробег был в День Победы. Стартовали от памятника погибшим воинам в станице Зеленчукской. Финиш был на Березовой поляне у памятника погибшим партизанам недалеко от поселка. Участники пробега по очереди несли зажженный факел. На поляне их встречало много народу, от факела зажигали большой костер, пели песни. Очень жаль, что эти традиции теперь утрачены.

В памяти коллег и друзей Валерий Степанович Рылов остался честным тружеником, очень неравнодушным и принципиальным человеком, а еще очень доброжелательным, веселым и отзывчивым.

В САО С 1972 ГОДА: ОБ И.М.КОПЫЛОВЕ, С.В.РУБЛЕВЕ, В.Ф.ШВАРЦМАНЕ И ДРУГИХ

В. В. Соколов

Недавно, в конце 2005-го, я слушал доклад А.М.Черепашука в ИКИ о черных дырах (см. в журнале "Земля и Вселенная", да и на ТВ была передача об этом же в "Очевидном и невероятном"), где было сказано, что объекты с такими свойствами еще не открыты, а то, что поспешили назвать черными дырами (ЧД), – это все еще (и вот уже более 40 лет) "кандидаты в ЧД". Поскольку вся драма поисков этих "кандидатов" прошла на моих глазах здесь, в САО с 1972 г., а также то, что эти поиски имеют прямое отношение к тем большим (как сейчас говорят – амбициозным) планам/проектам, ради которых и строилась САО, то я в своих воспоминаниях буду идти в основном от главных для меня обстоятельств, связанных с общением с такими людьми, как И.М.Копылов, С.В. Рублев и В.Ф.Шварцман. Конечно, это не воспоминания о них (тут нужно другое...), но так уж получилось, что в САО у меня многое было связано именно с ними. С Иваном Михеевичем Копыловым (и другими сотрудниками) мы разбирались с эволюцией массивных звезд с момента моего поступления на работу в САО и фактически до его ухода. Сергей Владимирович Рублев в тот короткий (зеленчукский) промежуток времени, в который мне посчастливилось с ним поработать и пообщаться, просто "поставил меня на курс" и в какой-то момент помог тогда удержаться на нем, не разочароваться в своем выборе. В очень плодотворных для меня дискуссиях (спорах) с Викторием Фавловичем Шварцманом мне все больше становился понятным результат эволюции массивной звезды – релятивистский коллапс ядра звезды, что привело меня потом к уверенности, что эти самые коллапсы мы и наблюдаем в виде космических гамма-всплесков.

Конечно, эти люди – основатели САО как научного центра – в конце концов повлияли на многих, в том числе (и очень существенно) на мою судьбу, в чем я хочу здесь признаться, вспомнив какие-то эпизоды из их жизни, отдать и свой долг их светлой памяти.

Работа тут (в Архызе) всегда была нашим главным "развлечением" – а о чем же еще и вспоминать? И, наверное, о многом можно было бы вспомнить (как-нибудь напишу...) – фактически ведь, кроме САО, у меня и нет ничего. Но надо от главного (по крайней мере, для себя) отталкиваться. Помню, на одной из первых вечеринок (1972 г., кажется) с сотрудниками САО (в гостях у Жоры и Ларисы Алексеевых – Царство им небесное!) меня так прямо и спросили (Юра Антропов): "Зачем ты тут? Какая у тебя задача? С начальством подружиться или на Небе разглядеть что-то?" Помню, что я не смутился (хотя и стеснялся всех тогда). Наоборот! Я понял, что попал к своим (в свою стаю!), и тогда, как мог, сформулировал ответы на эти крутые вопросы. Конечно, я говорил им о релятивистской физике и о гравитации... Да я и сейчас, через много лет, наверное, ничего нового не скажу про себя своим коллегам. Интересно, что с самого первого момента нашего знакомства с Иваном Михеевичем Копыловым полу-

чилось так, что сначала на эти же вопросы мне пришлось честно ответить директору (в первый же день моего пребывания в САО). Правда, зато потом уже не нужно было ничего выдумывать и хитрить. Да так и легче, хотя и проблемы были, конечно...

А случилось все так.

Я познакомился с Иваном Михеевичем в июне 1972 г. Сейчас не помню точно, какого числа, но это была суббота. Я приехал в Зеленчукскую из Черкесска на автобусе часов в 9 утра и сразу пошел на улицу Бережного, 167, где тогда находилась Дирекция обсерватории и Дирекция строящихся научных объектов САО. Никого из сотрудников на работе не было, поскольку был выходной день. Я вышел во двор, вошел в первый подъезд (мне сказали, что там живут сотрудники) и стал стучаться в дверь заместителя директора САО Рублева Сергея Владимировича. Мне никто не ответил, но открылась соседняя дверь. На пороге стоял худощавый строгий мужчина в обычном спортивном костюме, который спросил, кого я ищу. Когда я объяснил, что собираюсь устраиваться на работу в САО, он пригласил меня к себе домой, повел на кухню, напоил чаем и все про меня расспросил – где я учился, чего хочу, что меня интересует больше всего и т.д. Он представился мне как Копылов Иван Михеевич, но тогда мне эта фамилия еще ничего не говорила. Да я и не спрашивал у него про его должность – разговор был о главном для меня, и меня внимательно слушали. Ничего начальственного и подавляющего в его внешности и поведении не было, и я легко "раскололся", хотя разговор был деловой и заинтересованный с обеих сторон (это я почувствовал сразу). Помню, Иван Михеевич мне сказал: "Да не нужно мне на ваш диплом смотреть – и у меня такой есть. Вы лучше скажите мне, что вас больше всего волнует и интересует". Да, как-то тогда все получилось просто (я ему искренне признался в моих представлениях о науке и в том, что я тут хотел бы делать). Но теперь я понимаю, что этот наш самый первый разговор все и определил в моей жизни. Можно сказать, что мне просто повезло. (Хотя не всем так везло, как мне, с первой встречей.) Разумеется, тогда я не знал, что это и был директор обсерватории. Мы договорились, что сначала я поеду к себе домой (в Кизляр) и оттуда позвоню директору САО. А пока Иван Михеевич сам поговорит с начальством и выяснит возможные вакансии в подразделениях.

Через неделю я позвонил по указанному телефону. Трубку подняла секретарь Елена Ивановна Рыжикова и сказала, что сейчас я буду разговаривать с директором САО Иваном Михеевичем Копыловым. Можно представить мои чувства в тот момент, ведь тогда за чаем я действительно честно рассказал ему все о себе и о своем желании заниматься астрофизикой так, как я тогда себе это представлял. Но, по крайней мере, такое наше неформальное знакомство, наверное, помогло И.М. Копылову быстро определить место работы для меня, поскольку ответ его был коротким: "Приезжайте. Встречайтесь с Сергеем Владимировичем и устраивайтесь на работу. Детали – на месте. До свидания". И положил трубку. Дел тогда у него было очень много. Обсерватория ведь только начиналась.

С 1 августа я уже был на работе в САО. Иван Михеевич и Сергей Владимирович определили меня в ОФЗиТ (Отдел физики звезд и туманностей) заниматься звездными спектрами вместе с Леонидом Исааковичем Снежко. Прав-

да, перед этим Сергей Владимирович водил меня по другим отделам и группам, чтобы я сам поговорил с их сотрудниками. Помню, на первом этаже, в Отделе (или группе?) внегалактической астрономии и релятивистской астрофизики сидели и занимались своими делами Валя Караченцева, Боря Артамонов, Валентин Липовецкий и Гриша Царевский. Гриша сразу же стал меня отговаривать работать в САО: "Понимаешь, мы сюда устраивались с такими трудами. Готовы были работать и работали даже дворниками, только бы нас взяли сюда. А ты кто такой? Ведь ты же физик, не астроном. Езжай-ка ты домой. Позанимайся там, поготовься. Мы тебе и задания будем высылать. Потом проэкзаменуем..." Тут Боря Артамонов отвлекся от своих дел и сказал Грише что-то такое, после чего Гриша перестал меня атаковать: "Гриша! Все это ты напридумывал с дворниками! Оставь молодого человека и займись своими делами!" (Пусть меня Гриша простит, а Боря поправит. Может быть, я и не совсем точен, но смысл сказанного Борей я так запомнил). Гриша Царевский сейчас в Австралии живет. А я все тут, в САО, торчу. (Наверное, действительно чудак...) Помню, меня тогда выручил Сергей Владимирович. Он приоткрыл дверь, увидел все и позвал с собой. По-моему, он сразу все понял и повел меня на 2-й этаж, в Отдел ФЗИТ (на ул. Бережного еще). Там сидел задумчивый и красивый (с красивой фамилией) Леонид Исаакович Снежко. (По-моему, он как раз тогда размышлял о своей гипотезе "Перемены ролей в ТДС"). Снежко недолго со мной беседовал и сразу же определил для меня задачу – расчеты спектров горячих (а значит, и массивных) звезд. Дали мне место – рабочий стол у окна на Бережного. Тут же рядом была вычислительная машина "Мир", на которой я и научился программированию под руководством веселого и симпатичного Жоры Алексева. Мы с ним быстро подружились, и он познакомил меня с другими сотрудниками ОФЗИТ.

Помню, что в том же августе (числа 6-го) состоялись первые наблюдения в САО на телескопе Цейсс-600. Я видел объявление на доске приказов об этих наблюдениях. Кажется, это были самые первые наблюдения в т.н. эксперименте МАНИЯ. Тогда же мне Жора Алексеев рассказал и о молодом, талантливом физике – о Викторе (Виктории) Шварцмане, который приехал в САО для того, чтобы проверить самое странное утверждение теории относительности – о черных дырах. Помню, как эта неожиданная новость сильно меня тогда взбудоражила. Я понял, что попал на работу именно туда, куда всегда стремился (еще учась в университете). Правда, понял и то, что мне нужно много прочитать самому (ведь в Петрозаводском университете нас не учили астрофизике), тем более что изучить надо было релятивистскую астрофизику – тогда это была совершенно новая область науки. А тут еще и всю остальную астрофизику надо было пройти самому. (Гриша Царевский был прав – досамообразовываться мне пришлось потом еще лет 5). Но опыт такого самообразования у меня был, и я засел за книги, чтобы быть хорошо готовым и к работе по моделированию звездных спектров, и к встрече с В.Ф.Шварцманом (он в то время жил на горе, в гостинице, кажется). Да и сомнения о справедливости выбора решений уравнений Эйнштейна с сингулярностью у меня были давно... Вообще-то, любая сингулярность в нормальной физике – всегда признак несоответствия математического решения физике реального объекта. (Я и сейчас так думаю, правда, сейчас поговорить об этом в САО уже почти не с кем). По сути дела, катастрофу (тео-

рии, конечно) пытаются выдать за Победу. Что-то тут не так... Несмотря на свой небольшой жизненный опыт (а мы все прожили во времена КПСС с ее "победами"), у меня это обстоятельство всегда вызывало внутренний протест. А тут я узнал, что в САО есть человек, который ищет эту самую сингулярность! В общем, я стал готовиться к встрече со Шварцманом как к экзамену. И не напрасно...

Когда мы жили еще в Зеленчукской, мы встречались с И. М. Копыловым довольно часто, несмотря на всю его занятость. Он всегда находил время поинтересоваться, как у меня идут дела, и это меня сильно стимулировало в работе. Мне казалось, что если я не буду успевать достаточно быстро реагировать на задания, которые мне давались в ОФЗиТ Снежко Л.И. и Рублевым С.В., то меня просто выгонят. И пришлось сидеть ночами, осваивать звездную астрофизику, программирование, моделирование атмосфер звезд. Кроме того, мне хотелось принимать участие и в семинарах САО. Семинары ОФЗиТ проводил С.В.Рублев. Иногда летом (когда позволяла погода) семинары проводились прямо во дворе (на ул. Бережного). Помню, как меня удивил Сергей Владимирович тем, каким он был возбужденным и радостным после одного из таких семинаров (речь шла о его любимых WR-звездах...). Наша Наука ведь не злая (в принципе), это физики могут говорить высокомерно, что они "не оперируют понятиями добра и зла" (изобретая свои страшные игрушки...). А мы ведь Небом занимаемся. Доброта и наивная способность удивляться новому как Чуду Божьему оказываются обычным делом у больших Астрофизиков, – это я сейчас так думаю, вспоминая, как Сергей Владимирович ходил тогда по кабинету и говорил: "Какой интересный семинар получился! Как хорошо он (докладчик) излагал и, главное, обо всем удалось поговорить, поспорить!"

Помню, что перед тем, как нам всем переезжать на Буково, Иван Михеевич и Сергей Владимирович позвали меня в кабинет директора, я увидел на столе большую схему первого многоквартирного дома. Иван Михеевич прохаживался по кабинету, покуривая, а Сергей Владимирович сказал мне: «Вот, выбирайте себе квартиру». После всех моих мытарств с частными квартирами (а наши нынешние молодые сотрудники про такое и не знают!) я просто опешил от неожиданности и спросил: «Что, любую?» Сергей Владимирович улыбнулся и сказал: «Ну, почти». Тогда я сказал: «Вот эту». Тут они оба заулыбались, и Сергей Владимирович говорит: «Эту уже выбрал Иван Михеевич». В конце концов, я тогда определился с квартирой в первом (директорском) подъезде. Да и в дальнейшем я чувствовал заботу и внимание Отцов-Основателей САО ко всем своим проблемам, в том числе и к бытовым. Наверное, не только я, но и другие сотрудники подтвердят, что жили мы тогда все не богато, но старались помогать друг другу.

И вообще, в отделе Сергей Владимирович умел создать атмосферу искренности и доверия. Молодые сотрудники это хорошо чувствовали. Был у нас тогда свой кино клуб, который Сергей Владимирович (по-моему) и организовал, и принимал активное участие в просмотрах и обсуждении фильмов, которые нам давали посмотреть под его же ответственность. Тогда почему-то известный фильм "Рукопись, найденная в Сарагосе" надо было смотреть только по спец. разрешению... Кажется, представители из известной конторы (которая тогда

"знала" кому, что и где можно посмотреть) были не очень довольны такой активностью С.В.Рублева. Скажу честно, мне это очень нравилось в Рублеве – его искренность и независимость. Да и не только мне. Все молодые сотрудники относились к нему с любовью и большим уважением. Все мы чувствовали его поддержку во всем, даже в бытовых мелочах (а для нас это были тогда совсем не "мелочи" – многие жили на частных квартирах, жили бедновато...). По-моему, Сергей Владимирович и Иван Михеевич специально проводили такую политику, чтобы как-то отвлечь сотрудников от их бесконечных бытовых проблем зеленчукской жизни (уголь, дрова, заготовки картошки на зиму и т. д.). Тогда мы часто собирались вместе. На наших (как сейчас сказали бы – корпоративных) вечеринках Сергей Владимирович читал своего любимого поэта Сашу Черного и рассказывал нам о своей одесской юности...

Конечно, я совсем мало знал Сергея Владимировича, но всегда осознавал, что он сильно повлиял на все, чем я потом занимался (да и сейчас занимаюсь) в САО. Для меня это был короткий, но во многом решающий (зеленчукский) период 1972-1975 гг. Уже к осени 1974-го Рублев тяжело заболел и лежал в зеленчукской больнице, куда мы приходили, приносили ему арбузы и обсуждали наши обсерваторские дела. Помню, как он прямо повлиял (будучи в больнице) на решение (парткома, профкома и еще какого-то "кома") дать мне квартиру в Зеленчуке около почты, мотивируя это тем, что астрофизик тут в САО – основная рабочая единица. Мне потом это передали... Конечно, я был очень смущен таким вниманием к себе – ведь я только начинал работать, какой там "астрофизик"... Но теперь я понимаю, что тогда в молодости для нас было очень важно почувствовать доверие, понимание и поддержку своих старших и маститых коллег. И нигде их не обмануть... Ведь мы могли тогда только обещать ("подавать надежды"), а до результатов было далеко. Конечно, были и соблазны, глупости, интриги, как в любом коллективе. Может быть, некоторым и нравилось принимать горячее участие в интригах, но для этого надо быть слишком умным, и тут мне легко было попасть в дурацкое положение – мозгов на это мне никогда не хватало, а пример Сергея Владимировича Рублева убедил меня в том, что главное – Наука и научные результаты.

Тем более, что тогда, кроме работы по моделированию спектров звезд (и это в отделе все знали) я сидел и за релятивистской астрофизикой (мой спор с В.Ф.Шварцманом уже начался). А тут еще Л.И.Снежко активно включился сам и привлек меня к работе (метод Гартмана) по приемке главного зеркала БТА. С.В.Рублев и Л.И.Снежко обратили внимание на мои метания, и Сергей Владимирович предложил мне сделать доклад по гравитационной физике тут же, на семинаре ОФЗиГ. Не знаю, что поняли сотрудники тогда из моего сбивчивого рассказа, но Сергей Владимирович понял, что у меня это серьезно и надолго. Он-то понимал, что эти проблемы (релятивистский коллапс и т. д.) как раз и содержатся в том, чем я тогда начал заниматься (горячие массивные звезды, их эволюция). Мне самому ведь к этому пониманию еще только предстояло (лет через 10) прийти, и то, что С.В.Рублев тогда меня подбодрил, удержал от поспешных решений (уйти к Шварцману в группу) и подчеркнул важность профессионализма(!) в любом деле, помогло мне потом определиться со своей темой, в конце концов. Сергей Владимирович никогда и не скрывал своей увле-

ченности наукой, и стремление к свободе выбора (а я это сразу в нем почувствовал) в науке для него было понятным и естественным. "Все придет со временем. Работайте побольше. Научитесь и говорить точно, и писать. А экзамены – не переживайте, все это наживное. Все будет хорошо!" До сих пор помню слова этого доброго и прекрасного Человека, которые он мне сказал на ступеньках при входе в САО (на ул. Бережного). Мы с ним курили, и я рассказывал, что сдал кандидатский экзамен по астрофизике на 4. Да! Мне повезло с моими первыми научными руководителями. И спасибо Судьбе за такие встречи. Царствие Вам Небесное, Сергей Владимирович! Я всегда о Вас помню.

Я понимал, что в тот момент, особенно когда мы еще жили в Зеленчуке, у Ивана Михеевича было очень много забот, часто весьма далеких от науки. Но в Буково, конечно, с Иваном Михеевичем мы встречались уже гораздо чаще, поскольку сначала кабинет его находился прямо в нашем подъезде. Удавалось больше говорить о науке. Тогда в общении с Иваном Михеевичем стали определяться мои научные интересы. Кстати, это самая тонкая материя в нашем цехе – иметь собственные и внятные научные интересы. Оказывается, не у всякого они есть, либо если и есть, то не свои, а чьи-то (талантливого коллеги, заявителя набл. программы на БГА) интересы и цели... Чтобы были свои, одних деклараций мало – настоящие (свои!) научные интересы отстаивают в трудах и жестких дискуссиях у всех на виду, а не просто тихо о них думают по ночам, вытирая сопли после нормальной трепки на семинаре. Наука ведь не политика с ее гнусными методами. Тут либо все должно быть при свете, либо остается трусливо молчать, как рыба, дополняя свое молчание злобным шипением, так никогда и не сумев ничего путного и внятного сказать своим коллегам про свои собственные научные интересы. В этом случае развиваются не интересы, а комплексы. ("Говорить-то могу. И красиво. Правда, сказать мне нечего"). Это тоже я понял, общаясь и с И. М. Копыловым, и с В. Ф. Шварцманом – жесткими и бескомпромиссными профессионалами в своем деле.

В конце концов, и для меня это очень лестно, Иван Михеевич сам предложил мне поступить к нему в аспирантуру. По сути дела, это и была моя астрофизическая школа, поскольку работы, сделанные с Иваном Михеевичем (с Л. И. Снежко и другими сотрудниками), и опыт, который я приобрел тогда, я фактически использую до сих пор. Тот же подход к работе с молодыми сотрудниками («взялся за то, что тебе нравится, так делай это как следует») позволял Ивану Михеевичу с пониманием относиться и к моему увлечению теорией гравитации. Он мне сразу тогда сказал, что по гравитации защититься будет очень тяжело, а если уж меня интересуют релятивистские объекты, то «давайте займемся сверхгигантом в Лебеде X-1». Мне кажется, что нам тогда удалось сделать хорошие работы на эту тему. Мы измерили массу голубого сверхгиганта в двойной системе Лебедь X-1, получили надежное ограничение на массу релятивистского объекта и даже обнаружили эффекты прецессии оптической звезды. Тогда же Иван Михеевич увлек меня эволюцией массивных звезд, рассказывая о своих работах в Крыму. Когда мы писали эти статьи, я приходил к нему в кабинет, он просил своих секретарей заварить нам чай (сейчас, в 2006 г., это просто невозможно), откладывал другие дела (наверняка, очень важные), и мы увлеченно обсуждали наши проблемы, обменивались мнениями, спорили. Я до

сих пор с теплотой вспоминаю это время. Было видно, что Иван Михеевич уставал от большой административной нагрузки, и ему нравилось говорить о своих любимых идеях, тем более, что ко всем его советам и замечаниям по работе я относился внимательно. Конечно, он и ругал, когда меня слишком заносило. Его большой жизненный опыт позволял ему всегда точно и тактично дать мне понять, что «вот это дело я могу сделать, а за то сейчас пока лучше и не брать-ся».

Потом, когда моя кандидатская диссертация была защищена, я снова вернулся к своей любимой гравитации, но все-таки продолжал работу и по горячим звездам, наблюдал на ОЗСП БТА. И теперь Иван Михеевич внимательно следил за моей деятельностью, делился своим наблюдательским опытом и опытом интерпретации спектров горячих звезд. В то время все командировки шли только с согласия директора. Иван Михеевич относился с пониманием к моей увлеченности теорией гравитации, и частые командировки по этой теме, прямо не связанные с основной моей тематикой, всегда мне предоставлялись. По возвращении я рассказывал, а он внимательно слушал, что происходит в этой сфере. Его вопросы и замечания часто приводили к тому, что я что-то дополнял или исправлял в своих статьях.

Помню однажды, кажется, году в 1988-м, мы вместе оказались в Крымской обсерватории. По вечерам, после работы, мы с ним прогуливались. Иван Михеевич рассказывал, как он начинал здесь свою работу, как складывались его научные интересы, о том, как ему – одному из первых в Советском Союзе – пришлось отстаивать правильные представления об эволюции звезд (эволюционные треки и т.д.). Он рассказывал о строгой и не очень сытой жизни в те времена. В этих разговорах самым главным для меня было то, что увлеченность наукой помогала жить и тогда. Мне всегда нравились люди, которые сделали себя сами. Как я понял, именно таким человеком и был Иван Михеевич.

Сейчас, когда бываю там, на Пулковской горе у его могилы и читаю надпись "Основателю САО", думаю, что ведь не только я, но и многие из нас не понимали тогда, насколько ему было трудно быть этим самым основателем. Что бы там ни было потом, его главное Дело было сделано: собрал людей, поставил телескоп – сделал Институт. Эта работа – на его костях. Со временем все больше осознаю и то, что, начиная с той первой нашей встречи в 1972-м, мне просто повезло общаться и работать с большим Ученым и интересным Человеком. Я глубоко благодарен за все, чему научил меня мой Учитель – Иван Михеевич Копылов.

Как я уже говорил выше, так уж получилось, что фактически с самых первых минут знакомства с Иваном Михеевичем у нас сложились достаточно доверительные отношения, но в то же время я всегда чувствовал ответственность. Иван Михеевич мне сразу дал понять: ладно, делай то, что ты можешь, и то, что тебе нравится, но если уж взялся за свои релятивистские дела, то сделано должно быть все профессионально и на "отлично". (И эту манеру общения со своими аспирантами уже через много лет я фактически перенял от него). Свобода свободой, но про ответственность и профессионализм не забывай никогда. Это прямо касалось и нашего спора с В. Ф. Шварцманом, который начался сразу же, как только я стал ходить на его семинары. Иногда они проходили на горе,

в башне БТА (в конференц-зале). А часто мы просто встречались в той же башне – я неделями жил там и программировал на М-222 метод Гартмана для 6-метрового зеркала, а Виктор жил тогда (до 1975 г.) в гостинице (тут же, на горе).

Я готовился к встречам с В. Ф. Шварцманом, но его поведение на семинарах своей группы сначала мне не понравилось. Жуткий напор! Желание сбить с ног докладчика, которого перебивают с первой же фразы. Издевательский смех над неумением точно сформулировать свою же мысль. Но удивительно, – все это меня только разозлило, а не обидело (как некоторых...). Я быстро понял (да Виктор и сам прямо говорил), что наука не в книжках, не в задачниках (с ответами в конце), и даже не в статьях. Настоящая, азартная и свободная(!) Наука в непосредственном общении, в споре. В драке, наконец! Да! В споре научная истина и рождается. Ну, если не можешь в драке принимать участие, то займись чем-то другим (философией, худ. самодеятельностью, выращиванием телят, интригами...)

Азарт. Риск. И неизвестный ответ! Ох, как это увлекает. Что там, за поворотом? И, самое главное, – Свобода! Думаю, как хочу. И никому не подчиняюсь! Молюсь только Истине = Богу! И ни под каким видом – человеку! Уж если раб, то только Божий. И все это – мой одноклассник! (Как мне его сейчас не хватает! Его семинаров. А тогда и ругались крепко...)

Я и с И. М. Копыловым (так сложились наши отношения) мог спорить и высказываться о своем отношении к КПСС... А Шварцман просто потряс меня, когда (в одной из откровенных бесед, в споре) я как-то усомнился в том, насколько он действительно свободен в своем выборе – он чуть ли не бросился на меня с кулаками! Да, грешен! Я завидовал этой его независимости (и прямо говорил Виктору это), хотя тогда уже понимал, как нелегко иногда быть свободным и общаться с окружающими (и молодыми, и старыми, умными и не очень).

Но несмотря на наш спор (а он и сейчас продолжается), мы никогда не прерывали своих отношений. Я потом и со своей темой определился (система Лебедь X-1, масса релятивистского объекта), находясь под влиянием наших разговоров. В его группу решил не идти – свой путь был мне милее, но релятивистской астрофизикой занимался и продолжаю заниматься по сей день. Виктор и сам говорил, что результат – главное! А эволюция массивных звезд, которой меня научил И. М. Копылов, в конце концов оказалась для меня той самой, конкретной и настоящей релятивистской астрофизикой с внятными результатами. Правда, чтобы быть понятным своим коллегам (формулировать понятно!), мне пришлось "пропахать" те книги и курсы, которые Виктор прошел как физик-теоретик на Физфаке МГУ. Опыт у меня был в этом деле, еще в университете я прочитал и прорешал все задачки из первых 3-х томов Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица. Помню, мы с Виктором хвастались друг другу: он мне показывал свою истрепанную книжку Зельдовича и Новикова ("Релятивистская астрофизика"), а я ему показывал такую же истрепанную "Теорию поля" дедушки Ландау. Да! Витя, несмотря на наши научные разногласия и пристрастия, относился ко мне хорошо. Это мне он подарил (за мою любовь к Л. Д. Ландау) книгу воспоминаний Майи Бессараб о Ландау. (А кто-то удостоился другого подарка Виктора – книжки "О выращивании телят в зимних условиях"...). И потом, когда мне пришлось жить снова в Зеленчуке (1980 г., всякие семейные дела и

проч.) у нас в гостях вечером вдруг появился Виктор в строгом черном костюме и с букетом цветов. Помню, как он поздравил нас, произнес тост, и мы толпой поехали в Преградную. Как я был рад, что он вспомнил про мои дела. (А ведь мы с Татьяной все старались скрыть от буковской общественности.)

Я показал эти свои мемуары Евгению Леонидовичу Ченцову, который знает меня с 72-го года. Женя (спасибо ему!) подсказал мне отличную мысль о Шварцмане, а самому мне это как-то и не приходило в голову – отсутствие зависти к результатам своих коллег. Во всяком случае, я этого не заметил, хотя эта (профессиональная) “болезнь” в нашем цеху встречается довольно часто, и скрыть ее симптомы очень трудно. Наверное, это естественно для настоящего талантливого человека, каким был Шварцман. Ему завидовали – это точно. И тихо не любили за быструю и точную реакцию на глупость и спесь. А уж он-то мог “стряхнуть пыль с длинных ушей” кому угодно (даже академику)! Зато мог порадоваться за своего коллегу, если у того что-то наконец получалось, если человек не разочаровывался в своем деле. Я и на себе это испытал когда, наконец, после долгих мучений вышел на цель (система Лебедь X-1 и т.д.) и сел писать кандидатскую. Я помню точно и место, и время, когда он говорил со мной об этом, потому что поддержка такого человека (с которым не раз приходилось круто спорить) для меня была очень существенной. Какая там зависть! У Шварцмана?! А вот чувство одиночества – это в нем было. Кстати, в том же разговоре о моих делах он вдруг сказал и о своих. Хотя вокруг него всегда было много людей и специалистов, его, наверное, сильно “доставало” то, что только он на достижение своей цели “ставит” все, что у него есть... Не скрою, мне именно это в нем нравилось больше всего. Хотя это и опасно. Забредешь куда-то один, а вокруг – никого... Да, отсутствие зависти и одиночество – и этим В. Ф. Шварцман сильно отличался от многих из нас.

Суть нашего спора или дискуссий с Виктором в том, что решения уравнений могут быть всякими. Но решения с сингулярностью для описания какой-либо реальной физики совершенно непригодны (это я тогда так напал). Но если никаких других решений нет, то, значит, дело в самих уравнениях? Значит, в них чего-то не хватает? Тогда (еще до переезда на Буково) Виктор мне фактически поставил задачу, с которой я потом долго разбирался – посмотреть все возможные альтернативные варианты теорий гравитации без сингулярности (без ЧД). И, самое главное, в этих заумных теориях должны быть четкие наблюдательные тесты. (“Поднимать и опускать индексы – этому и дурак научиться. А ты скажи мне, что и как на Небе наблюдать! И формулы должны быть написаны в черных векторах! Как в школьных учебниках.”) Я думаю, что я помог ему и в своих сомнениях разобраться, выполняя эту работу. Начал еще в Зеленчуке, а “в черных векторах” получилось только после его смерти. (Помню, я как раз сидел и готовился к разговору с ним, когда мне сообщили эту ужасную весть. Но вот, правда, не знаю до сих пор, как я смог бы удержать его от этого поступка...)

На моих глазах он и сам формулировал наблюдательные тесты, которые бы показали наличие или отсутствие поверхности у массивных компактных объектов – кандидатов в ЧД. Это он мне говорил примерно в 1985 г. об источниках гамма-всплесков как о возможных массивных коллапсирующих звездах.

И от него я впервые услышал (хотя и дошло потом до меня это лет через 5) о своеобразном "принципе неопределенности": $E \times \Delta t \sim \text{Const}$, из которого следует, что (стохастическая) переменность блеска компактного объекта тем короче (тем меньше Δt), чем больше частота (или энергия E), на которой эту переменность наблюдают. По крайней мере, тут, в России, мне удалось убедить некоторых своих коллег (которые знали Виктора), что это как раз и может решить загадку GRB (гамма-всплесков). И все продолжается! Это как раз и есть та самая релятивистская астрофизика компактных объектов, о которой мы спорили до хрипоты. Фактически к тому и приходят сейчас все: в ходе гамма-всплеска мы наблюдаем сам релятивистский гравитационный коллапс массивного ядра звезды, закончившей свою эволюцию.

А МАНИЯ? Тут я хотел бы сказать о случае, который произошел году в 1977-78. Телескоп уже работал с первым зеркалом, а я был во временной группе по исследованию главного зеркала методом Гартмана. Как-то мы сидели на 2-м этаже башни БТА в программистской (напротив комнаты отдыха наблюдателей) и тасовали свои колоды из перфокарт (тогда так программировали). И вдруг в комнату входит Главный Конструктор БТА Баграт Константинович Иоаннисиани, здоровается и начинает по очереди всех расспрашивать о том, чем каждый занят. Помню, что я стал лихорадочно соображать – а что же я скажу? Не о методе же Гартмана и о кружке рассеяния толковать с Главным? Но до меня так очередь и не дошла (к счастью!). Когда он выслушал одного из сотрудников группы МАНИЯ, который с гордостью ему рассказал о том, что им удалось разрешить субимпульс пульсара в Крабе, он произнес целую речь (я ее и сейчас помню): "Ребята! Я же вам сделал такой телескоп! Самый большой в мире! С введением в строй всех крупных инструментов в науке всегда происходили принципиальные прорывы. А вы? Что вы отнаблюдали на БТА такого, чтобы это перевернуло современную Астрономию?" (Крутой вопрос! Не мешало бы и сейчас о нем помнить на наших УС.)

Конечно, МАНИЯ в нынешнем виде не имеет отношения к релятивистской астрофизике так, как это задумал сам Викторий Фавлович. По крайней мере, всем понятно, что этот эксперимент давно закончен, и его результат ясен: одиночных компактных объектов с ожидаемыми (в эксперименте МАНИЯ) свойствами нет в окрестностях Солнца. Конечно, это понимал и сам Виктор! Наверняка понимал лучше всех своих сотрудников. Но ведь любой результат в науке идет в дело. И ничего не было зря! "Ничего не проходит бесследно", как поется в старой песне. Это может просто означать, что объектов со свойствами ЧД действительно нет, а компактные массивные объекты (кандидаты в ЧД) имеют совсем другие свойства, и искать их надо как-то совсем иначе...

Да, по пути была создана методика. Но, в конце концов, ее основа – это известная всем быстрая фотометрия оптических объектов. А метод обработки данных (МАНИЯ), нацеленный на поиск ЧД в оптике, – всего лишь метод обработки, и никто сейчас не ищет (стохастическую) переменность компактных массивных объектов (кандидатов в ЧД) в оптике и на временах переменности, соответствующих времени жизни некоторых элементарных частиц... Может, это и неприятно сейчас кому-то признать честно, но уж Шварцман-то это осознавал лучше всех, когда говорил, что исследование вспыхивающих звезд становится

его основным занятием. Да – интересно, да – полезно. Но это не релятивистская астрофизика все-таки...

Просто очень, очень жаль, что такой талантливый и искренний человек, каким был Викторий Фавлович Шварцман, не продолжил начатое – исследование физических свойств "кандидатов в ЧД", массивных и компактных объектов, найденных в тесных двойных системах, о которых он знал и думал.

Вечная тебе память, Виктор! Наше уважение и любовь. А я все равно (хоть и говорят, что нельзя) буду просить Господа за тебя. Я ведь (хоть и невольно) тебя тогда обидел... Значит часть греха и на мне. Но и обычным "камланием" около твоего имени не могу и не хочу заниматься. Пусть меня поймут правильно те, кто и сейчас числит себя в друзьях Виктора. Настоящие друзья, а некоторые из них эти мои воспоминания слышали не раз, наверняка поймут все как надо. Уж очень существенное влияние оказывал Викторий Фавлович (да и сейчас оказывает) на мои дела с теми же GRB. Наука ведь – это совершенно конкретные люди в САО, которые были тогда и есть сейчас.

Я мог бы много рассказать о Викторе. Нет! Я не буду набиваться к ним (Копылову и Шварцману) в друзья даже сейчас. Один был моим строгим руководителем, первым директором САО, крепким оппонентом и просто старшим, которого надо было слушать даже тогда, когда с ним не был согласен. Другой был умным, блестящим и азартным спорщиком, который часто совсем не щадил самолюбие собеседника (это на себе не только я испытал...), споры с которым иногда кончались и ссорами.

Но именно спор и общение с такими людьми (Иван Михеевич, Сергей Владимирович, Викторий Фавлович) действительно сильно помогают точно формулировать мысль. Без такого общения становится и скучно и тоскливо. Начинаешь раздражаться. Кажется невесть что... Оцениваешь все так, что потом самому же стыдно становится. Я это состояние называю "Поговорить не с кем!!!" Иногда иду на то место, где Викторий Фавлович сейчас лежит и где мы с ним катались на беговых лыжах (Виктор тоже на горных не катался), и веду пьяные беседы с ним и с теми, кого нет уже давно: Жоры и Ларисы Алексеевых, Валентина Липовецкого, Нади Юдаевой – вечная им Память.

Сейчас надо куда-то далеко ехать, чтобы найти такое же общение у любимых коллег-друзей (дай, Господь, им – всем живущим – здоровья и всяких благ!). А тогда они были рядом... И мы думали – так будет всегда. Ругались, спорили. В спорах этих иногда (часто!) были беспощадны к слабостям этих великих Одинок из моей стаи (так я их зову теперь про себя). Правда, мне тогда казалось, что они такие сильные, что мои-то атаки (в спорах) легко ими отбиваются и переживаются. Да не так! Только потом (когда они ушли) я понял, что им было и больно, и неприятно, и обидно от глупых вопросов и совсем ненужного пафоса, когда кажется, что твоя идея берет верх. Да! Теперь вот плачу и прошу у них прощения тут (за ручьем) и в Питере (на Пулковской горе).

А в спорах все-таки погибает что угодно, но не Истина! Истина бессмертна по определению. Это ложь подохнет рано или поздно (тоже по определению), какой бы красивой и большой она ни была.

С. В. Рублев (1930-1974)

БЫЛ ОН ДУШОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Е. Л. Ченцов

Сергей Владимирович Рублев был в САО на «ты», кажется, только со своими давними друзьями Р.Н.Кумайгородской (однокурсницей по Одесскому университету) и И.М.Копыловым. В этих записках я не смог обойтись кратким С.В.: непривычно и неуютно, как «и.о.» вместо единственно нужного человека. Поэтому отказываюсь от экономии места и пишу его имя-отчество полностью.

Он не дожил до «первого света» БТА и до вселения в первый буковский дом, остался в далеком уже детстве САО. Но в ту пору на нем сходились все нити нашей жизни. Как родственный феномен на ум приходит М.Волошин в Коктебеле или Э.Багрицкий в Одессе, что-то общее с ними видится даже в его внешнем облике. Он был заместителем директора по науке, заведовал отделом физики звезд и туманностей, и он был душой обсерватории. Детство отдалось, а он нет: душе время нипочем, как и расстояния. И сейчас, через тридцать с лишним лет, Сергей Владимирович так же близок, как солнце, что одновременно скрывается в эвкалиптах Стэнфорда и встает над елками Рожена. Как и Буково, эти заветные места я осваивал в мысленном общении с ним: «показывал» ему, что сам видел, присоединял «его впечатления» к своим.

А когда еще и двух лет не прошло, в августе 1976 г., находясь в Музее истории Петербурга и пройдя уже пару залов, я вдруг услышал за спиной его голос. Говорил экскурсовод, я немедленно присоединился к его группе и целый час блаженствовал: рублевскими были не только интонация, экспрессия, но и пластика, манера общения. Он и курильщиком оказался таким же заядлым.

Сегодня мне хочется разглядеть истоки этого чудесного сходства. Одним из них может быть то, что Сергей Владимирович сумел бы не хуже своего «двойника» провести экскурсию, он хорошо знал российскую историю. И сразу же другой: я это понял еще в 1964 г., когда и познакомился с ним, хотя раньше уже видел его в Крыму. И случилось это рядом, в Пушкине, на школе по теории звездных спектров. Для нашей группы из 15–20 человек, сходявшихся на ночлег во флигеле Екатерининского дворца, он сразу стал тьютором: мы вываливали в общую кучу все накопленное за день на лекциях и в блужданиях по Ленинграду и окрестностям, а он эту кучу разгребал. Вместе с другими, конечно, но только он по-настоящему проблематизировался и через день-два обязательно добивал вопрос, который сразу не давался, – независимо от того, касался он астрофизики, архитектуры или истории.

Позднее он водил нас с Юрой Ефремовым по Одессе Паустовского. Мы шли по Черноморской, вознесенной высоко над морем, заросшей и безлюдной улице-односторонке. Миновали санаторий для нервных больных из «Времени больших ожиданий», на глухой стене ограды мелом, как на школьной доске, было выведено: ул. Паустовского... Он и на Северном Кавказе с первых дней занялся краеведением, аланами, и полученными сведениями сразу же снабжал

новых сотрудников. Библиотека САО была еще очень бедна даже астрономической литературой, но Сергей Владимирович настаивал на том, чтобы приобретались и исторические материалы. Его стараниями устраивались встречи с археологами и реставраторами и, конечно, – экскурсии. Никогда потом мы столько не ездили, как в первые годы, с Рублевым.

«Двойник» Рублева – ярко выраженный гуманитарий, но и сам он был таковым, что совершенно естественно сочеталось в нем со страстью к астрономии. Речь не о дополнении одного другим, а о полном слиянии. Во всяком случае никакого зазора не было заметно. Он знал по личному опыту и стремился обратить наше внимание на то, что природа художественного и научного творчества одна и та же. Приводил слова Н.Гумилева: «В минуты творчества поэт должен быть обладателем какого-нибудь ощущения, до него не осознанного и ценного. Это рождает в нем чувство катастрофичности, ему кажется, что он говорит свое последнее и самое главное, без познания чего не стоило Земле и рождаться». Удивлялся: разве вы не испытываете того же самого при написании статьи? Не удержусь – приведу здесь страницу из его диссертации (Рис.1). По-моему, даже формулы у него смотрятся как строки стиха, особенно на тусклом фоне 5-го экземпляра машинописного текста.

$$\times \frac{1 + 1/\eta}{1 + \frac{g_1}{g_2} \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{\nu_{13}}{\nu_{23}}\right)^3 \left[1 + \frac{g_2}{g_2} \left(\frac{\nu_{12}}{\nu_{13}}\right)^3 \frac{B_{23} \rho_{23}}{B_{2c} \rho_{2c}} \cdot \frac{1}{\eta}\right]} \quad (IV.14)$$

Теперь при помощи (IV.13) и (IV.14) с учетом определения (III.29) левая часть (IV.9) трудно получить:

$$\frac{2b_4}{b_4 \beta_{34}} = H(D, T_e, X_*) = 1 + \frac{\ln 10}{4} \left(\frac{\nu_{12} \nu_{24}}{\nu_{23} \nu_{34}}\right)^3 \bar{S}_3(T_e) \times$$

$$\times \frac{h\nu_{1c} D}{kT_e} \frac{1 + \frac{\ln 10}{32} \left(\frac{\nu_{12}}{\nu_{24}}\right)^3 \bar{S}_2(T_e) \cdot \frac{h\nu_{1c}}{kT_e} \cdot \frac{\varphi_1(X_*)}{\varphi_2(X_*)} \cdot \frac{W_{1c}}{W_{2c}} \cdot D +}{1 + \frac{2 \ln 10}{27} \left(\frac{\nu_{12}}{\nu_{23}}\right)^3 \bar{S}_2(T_e) \cdot \frac{h\nu_{1c}}{kT_e} \cdot \frac{\varphi_3(X_*)}{\varphi_2(X_*)} \cdot \frac{W_{3c}}{W_{2c}} \cdot D +}$$

$$\frac{+ \left[1 + \frac{1}{4} \ln 10 \cdot \left(\frac{\nu_{14}}{\nu_{24}}\right)^3 \bar{S}_2(T_e) \frac{h\nu_{1c}}{kT_e} \cdot D\right] \cdot \eta}{+ \left[1 + \frac{1}{4} \ln 10 \cdot \left(\frac{\nu_{13}}{\nu_{23}}\right)^3 \bar{S}_2(T_e) \frac{h\nu_{1c}}{kT_e} \cdot D\right] \cdot \eta} \quad (IV.15)$$

здесь принято во внимание, что

$$\frac{S_i(T_e)}{G K(T_e)} = \bar{S}_i(T_e) \cdot \frac{h\nu_{1c}}{kT_e} \cdot \ln 10, \quad (IV.16)$$

Рис. 1.

Надо сказать, что первые стихи Гумилева я прочел в подаренном Рублевым самодельном сборнике. Для меня, как и для многих моих сверстников, Серебряный век вообще долго оставался незнакомым. Вместо него в наше время проходили пресловутый ждановский доклад. Сологуб, Кузмин, А.Белый в нем хотя бы упоминались как обитатели «безыдейного реакционного литературного болота» (а Ахматова даже цитировалась). Гумилев же был просто стерт из памяти.

Тот музей размещается в комендантском доме Петропавловской крепости и выстроен вокруг зала оглашения приговора декабристам. В нем много интересных подлинных вещей, но по стилю он «театральный»: фанера, холсты – декорации. Чтобы их оживить, требуется артист-импровизатор. Как и тот экскурсовод, Рублев ни за что не стал бы озвучивать утвержденный текст. И он так же смело отходил от темы, ветвил ее, как дерево выбрасывает ветви. Ни у того, ни у другого не было «отсебятины», тема оставалась прежней, но уже пропущенной через себя.

Как-то, еще в Зеленчукской, в разговоре о вступлении в общество «Знание» я привлек строку Хикмета: «...И если мы светить не будем, то кто же здесь разгонит тьму?» Потешившись вволю: «Просветители! Сияющие над беспросветными массами!» – Сергей Владимирович стал горячо советовать не искоренять заблуждения, а напротив, использовать их: «Потому что это их собственные заблуждения! Только тут не лекции, тут диалог нужен!» Я это усвоил позднее, в работе над буковским вариантом программы STAR. Уверен, она бы пришлась ему по душе: привычное *show and tell* заменено на *ask and do*, забота учителя – не загружать пустые детские головы, а создавать условия, в которых вскрываются и корректируются их «наивные теории». Конечно, сам Сергей Владимирович был прирожденным просветителем, азартным и опытным. Публикуя в стенгазете одно из своих стихотворений, в котором встречается слово «ламентации», он растолковал его, используя тогдашнюю ситуацию в коллективе: «детальные жалобы вроде докладных записок». Да с ним просто было светло. Моей дочери запомнился не столько сам Рублев, сколько, как она говорит, «его отражение» от нас, родителей, и наших коллег – наверно, вроде того, как в светлой комнате воспринимаешь картину на стене, страницу книги, лицо собеседника, а не лампу, которая их освещает...

Теперь о научной стороне сопряжения Рублев – Ленинград. До САО, в Одессе и потом в Ростове, он работал в одиночку, статьи писал без соавторов, но и предмет, и аппарат, и стиль его исследований (он любил поговорку «стиль – это человек») были ленинградскими. Его место было здесь, у В.В.Соболева, в его, как сейчас говорят, команде. Рассказывали, что Соболев выделял Рублева, пригласил к себе защищаться. Не помню точно, но возможно, он и в Пушкине включил его в число лекторов. Годом раньше Рублев прочел обзорную лекцию в КрАО на школе-семинаре по космической газодинамике; в компании Пикельнера, Шкловского, Зельдовича он был единственным лектором без степени.

Глава ленинградской школы не скрывал неприязни к авторам однотипных диссертаций, паразитирующих на прогрессе вычислительных средств и стандартных программах – неясно, мол, что они сами-то сделали и понимают ли собственные результаты. То ли дело, когда решение задачи прозрачно, эле-

гантно, а приложение собственных рук несомненно (см. тот же рис.1). Забавляло тождество эмоций академика и шофера из популярной тогда песни Галича (его счастливый соперник – эксплуататор ЭВМ: «Сам сачкует, а она работает»).

Конечно, в обоих университетах Рублев еще читал лекции студентам, занимался строительством учебных наблюдательных станций и сам наблюдал на маленьких телескопах... Почему-то именно сюда просится его более раннее четверостишие. Осенняя ночь, тесный сарайчик с откатной крышей и:

Южный ветер сильно ду-
ет и дрыга-ет звезду,
И дрожит, как наблю-да-
тель проклятая звезда.

Автореферат его диссертации «Температуры и светимости звезд Вольфа-Райе» необычен: нет научного руководителя, нет и неизбежных сегодня актуальности, новизны, апробации и пр. Но все это, конечно, предьявлено – и весьма выпукло. Всего полстраницы нужно автору, чтобы не только ввести в курс дела, но и заинтересовать.

Полвека назад звезды Вольфа-Райе (WR) – еще экзотика, ими больше любят, чем исследуют. «Красота ненужная в семье». А Рублев выводит на первый план и умело использует именно «семейные связи» звезд WR. В одном случае – это физическое родство, в другом – генетическая связь, в третьем – пространственная близость, часто два или все три варианта одновременно. «У этого крайне немногочисленного класса звезд в предельно-резкой форме выражены спектроскопические особенности, в той или иной мере присущие ряду других нестационарных объектов; поэтому изучение их представляет не только самодовлеющий интерес». Изолированность феномена WR мешает покончить с неестественным обилием разнородных объяснений его природы. Самое привлекательное из них – гипотеза Билса об истечении вещества под действием светового давления, но с ней конкурирует «сверхтермическая» модель Томаса – разогрев и поддержание протяженной атмосферы турбулентными движениями; автору очевидно, что звезды WR уже потеряли большую часть исходной массы, но Сахаде и Андерхилл уверены, что это молодые объекты в стадии сжатия. «Неопределенность связана, в значительной мере, с отсутствием надежных сведений о фундаментальных параметрах звезд WR – таких, в частности, как светимости и температуры. В то же время имеющийся обширный наблюдательный материал до сих пор с количественной стороны освоен далеко не полностью. Здесь сказываются недостатки методики, используемой при его анализе: на звезды WR распространяются методы, развитые либо для стационарных звезд, либо для газовых туманностей, т.е. для случаев, являющихся предельными. Промежуточный случай звезд WR – объектов с оболочками малого радиуса – физически более сложен и требует модификации существующих приемов исследования.»

Короткая ясная логическая цепочка. Рублев любил и умел выражаться «лапидарно», то есть кратко и четко. Мне кажется, этот термин (идуший от огранки драгоценных камней) несет еще оттенок «хитовости» что ли, неотразимо-

сти. Но лапидарно и увлекательно Сергей Владимирович мог говорить часами, при этом совершенно не подавляя собеседников. Видимо, благодаря своему дару эмпатии, отзывчивости и со-чувствия. Мне приходилось наблюдать, какое удовольствие от общения с ним получали самые разные люди – от академика Сагдеева до мясника с соседнего рынка по прозвищу «супчик-борщик». Садясь с ним за стол, мы выпадали из времени – до тех пор, пока кто-нибудь не замечал, что на дворе давно уже новые сутки.

В 1970 г. Г.С.Шведова имела два предложения заведовать библиотекой: от одного подмосковного института и от САО. Нашей библиотеке предстояло еще целых 10 лет ютиться в крохотных комнатках первого дома в станице и потом в полуподвальных помещениях первого дома в Буково. Лабкорпуса не было и в помине, но у Сергея Владимировича были его проектные чертежи! Он разложил перед Галиной Сергеевной план 3-го этажа, сказал, что он целиком отдается библиотеке, и попросил ее посидеть над ним и решить, что где будет размещено...

Кажется, он и писал сразу набело, исписывая одну за другой любимые свои тонкие школьные тетрадки. Необычен его почерк (образец на рис.2, май 1974 г.), быстро катящиеся округлые буквы сцеплены, как петли у хорошей вязальщицы. А заполненные ими страницы напоминают мне рисунки Ван Гога арльского периода (кроме визуального впечатления еще и быстротой исполнения). Это я к тому, что диссертацию он осилил бы легко. Однако долго не писал и не защищался. На уговоры родных и коллег отвечал: «Из науки нельзя шить штаны». Очень похоже у Случевского: «Из рифм одежд не ткать», только смысл тут обратный: Нельзя? Тогда для чего они нужны, и поэзия, и наука?..

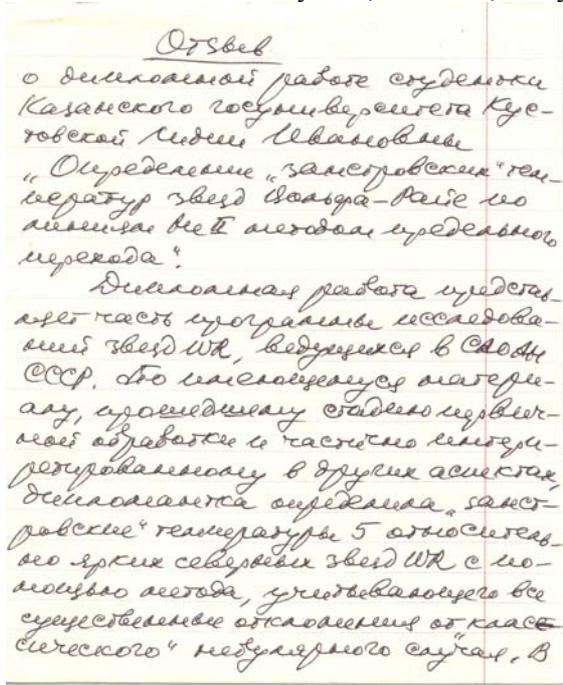


Рис. 2.

Я всегда понимал, как мне повезло «пересечься» с Сергеем Владимировичем, побыть рядом с ним несколько лет. Но только сейчас, через эти записки, до меня дошло, что научно-то я с ним все-таки разминусь. Мог хотя бы пройти у него спецкурс по звездам Вольфа-Райе. Более того, тогда уже обозначилась привлекательная для нас обоих проблема, а значит, и возможность совместной работы – LBV. Их еще на порядок меньше, чем звезд WR. Если сравнить последние с жирафами среди копытных, то LBV – разве что единороги. Собственно, Рублев-то уже вошел – со своей стороны – в эту тему: тестировал свои расчеты по Р Суг, привлекал оболочки LBV в Киле, только что открытые на прямых снимках. Но главное, он исследовал общий для этих объектов феномен псевдофотосферы. Его бы уже в 70-е годы не удивил термин, предложенный совсем недавно Р.Хэмфрис: звезды-«самозванцы». Я же оставался при своих сверхгигантах, и даже получив с помощью БТА первые спектры кандидатов в LBV, извлекал из них лишь свидетельства усиления звездного ветра со светимостью. Вразумил меня, подтолкнул к пониманию их своеобразия короткий разговор с А.С.Шаровым, который много лет занимался этими переменными, а именно – его удивление: неужели они действительно при поярчании не синеют, а краснеют? Это случилось в 1981 г., а поговори я на эту тему с Рублевым, могло случиться намного раньше.

Когда в ком-нибудь, как в питерском экскурсоводе, обнаруживаются черты сходства с Сергеем Владимировичем (в CAO, например, таким человеком для меня был Валентин Липовецкий), я воспринимаю это как привет от него. А с Лаури Луудом был передан еще и подарок – совместная с ним работа, в которой мы использовали упомянутые выше спектры...

Отправляясь в 1974 год, в последнее лето Рублева, беру с собой два извлечения из словаря Даля: «тоска» происходит от «теснить» – «стеснение души», «междоусобица» – «домашнее несогласие», «раздор внутри общины»; и одно из Хроники в Известиях CAO, т.8, с.144: «В течение 1974 г. коллектив CAO АН СССР продолжал плановые астрофизические исследования, разрабатывал новую аппаратуру для БТА и готовился к его опытной эксплуатации. В октябре 1974 г. было установлено главное 6-метровое зеркало и проведены первые пробные наблюдения. Полученные в рабочих условиях данные показали хорошее качество оптики, механики, системы управления и астроклиматических характеристик».

Значит, все ОК? Проглядывающее из-под лака облегчение действительно тогда испытывалось.

Зеркало наконец принято, такое, какое есть – исследовать для начала, а по возможности и совершенствовать навесные приборы, набираться опыта самих наблюдений и их организации на необычном мультипрограммном инструменте можно и с плохим зеркалом. А тем временем подоспеет новое. Но задержка на несколько лет не прошла безболезненно для коллектива.

Из той же Хроники:

«Успешно работающий телескоп Цейсс-600 только частично обеспечивает наблюдательным материалом научные работы, ведущиеся в обсерватории, поэтому сбор наблюдательных данных осуществляется также в других обсерваториях, имеющих крупные инструменты». Эти данные обрабатываются, публи-

куются статьи, астрономы САО участвуют во всех отечественных и в ряде зарубежных конференций. А самый большой инструмент планеты – рядом, он движется, можно даже наблюдать, но пока лишь с таким же, как у Цейсса, 60-сантиметровым зеркалом (оно имеет то же фокусное расстояние, что и главное, и укреплено на его бетонном имитаторе) или с 70-сантиметровым гидом. В 1974 г. наступает кризис – коллектив поляризуется. У его инженерно-технической части дел много – принимают БТА, но и у астрономов вроде бы тоже – ведь это им его сдают!

И тут являются «астрономы нового типа». Они в новом Отделе научно-технических проблем БТА. Это инженеры, физики, молодые люди с астрономическим образованием, но без опыта наблюдений. Традиционным астрономам они заявляют: в наших руках главное – передовая техника, а астрономия приложится, мы самодостаточны и, в принципе, можем обойтись без вас, сами наблюдаем, сами проинтерпретируем. По-нынешнему – приватизация процесса производства научных знаний.

Директор САО и зав. ОНТП И.М.Копылов успокаивает: отнеситесь с юмором, потерпите, заработает телескоп и все встанет на свои места. Так потом и выйдет, но Рублев ждать не может. В августе в Москве на симпозиуме МАС он с трудом зачитывает свой итоговый обзор по звездам WR, а вернувшись в Зеленчукскую, ложится в больницу. До этого он к врачам не обращался, повышенное давление относил за счет наследственной гипертонии и не подозревал о катастрофе в почках.

Но он и НЕ ХОЧЕТ ждать, не согласен мириться даже с временным отлучением от БТА. Прежде всего, это просто непрактично. У наблюдателя в крови «принцип Бесселя»: прибор изготавливается дважды – сначала в мастерской, на заводе, потом в обсерватории, где астроном находит все его отклонения от идеального. А идеал формируется годами практики. В нашем случае отклонения были огромны. В Основном звездном спектрографе, например, вскрылось полтора десятка конструктивных ошибок – когда я показал отчет о его исследовании Э.Бартлю, он даже позавидовал: «Какой у вас интересный спектрограф! Наш (в Таутенбурге) исследовать было скучновато – почти все по техзаданию...» Но почти весь 1974 г. я провел – в незабываемой дружеской компании нашего механика Виктора Запорожца и ленинградского телевизионщика Валентина Маларева – за исследованием и аттестацией Сборки 22. Это светоприемная часть гида БТА, очень интересный фотометрически-астрометрический комплекс. Кроме офсетного гидирования, он позволял точно измерять блеск и координаты звезд, но в его переусложненном оптическом тракте терялась большая часть собранного света. Насколько мне известно, в полном объеме возможности этого комбайна были использованы лишь однажды, тогда же, в 1974-ом: с приехавшим полковником космической службы мы обеспечивали коррекцию орбиты ракеты, запущенной к Луне. А к спектрографу я был допущен только в 1976-ом, когда телескоп на весь год был отдан сотрудникам САО.

Затем – ответственность перед коллегами, которые собрались здесь ради БТА. Рублев – наш лидер «и по должности и по душе». Некоторых принимал на работу, ко всем всегда был внимателен, если надо, защищал. На моей памяти впервые это понадобилось осенью 1968 г., когда пришло время вселения в но-

вый дом. Иван Михеевич был в отъезде и Сергей Владимирович оставался за директора. Дом был маленьким, в нем предстояло разместиться и жилью и рабочим помещениям, к тому же мы его делили с Дирекцией строящейся САО. Строителям отошли освобожденные площади в другом доме, но они пытались занять явочным порядком и часть наших. Сергей Владимирович отбивался в райкоме, потом в обкоме и одновременно организовал «оборону»: мы ночевали, запершись в пустых квартирах, а во дворе стояли грузовики с мебелью готовых на штурм строителей...

И наконец, ответственность перед самим собой. В защите нуждались глубины собственной души, стиль и смысл подходившей к концу жизни. Сергей Владимирович был оптимистом, всегда излучал бодрость и веселье, но к тому, что происходило тогда, не смог отнестись с юмором, он видел в этом посягательство на науку и культуру вообще. И потому одинаково естественны обе его реакции. Одна – план альтернативного «освоения БТА силами астрономов». Он взял меня с собой на обсуждение этого плана с директором. Участвовал я в нем недолго, разговор сразу же резко накалился, Иван Михеевич сбавил тон только чтобы сказать: «Жене лучше выйти»... Другой реакцией были стихи. В 1973-74 гг. годах регулярно выпускалась и была очень популярной стенгазета. Сергей Владимирович ее активно поддерживал, как и киноклуб, книжный кооператив и другие культурные начинания. Он радовался творческой активности сотрудников, был членом редколлегии и в каждый номер давал что-нибудь свое. Публиковались все без чинов, под псевдонимами. Газета поочередно вывешивалась в коридорах башни БТА и нашего дома в станице, и в первых ее номерах шла шутовская стихотворная перепалка между «группой БТА» и «научниками» (обычно их представлял Гомо Куцый – Рублев). Но постепенно газета сделалась ареной междоусобицы, позволявшей вести борьбу в приличной форме. Творчество стало вытесняться «политикой», выжило оно только у Рублева, который сменил псевдоним: «Ввиду древнего права шутов пренебрегать административной правдой в интересах Истины, Гомо Куцый, порвавший со стенгазетой САО, восстановил добрачную фамилию Шут».

Иван Михеевич на поминках говорил: «...Единственный друг, такой надежный, интеллигентный, отзывчивый, откровенный...» Помолчав, уточнил: «Иногда слишком откровенный».

Вот одно стихотворение из тогдашнего цикла «Как прекрасен мир» (видимо, переключка с названием песни Тухманова, творчество которого нравилось Рублеву).

Цыц скандалам! Отстрадала, стихла САО.
Стала даже лучше, чем была.
Кто, глядишь, схлопочет по сусалам,
Кто, напротив, ткет свои дела.

Враз скрутив научных – строптивцев,
Наведя порядок и мораль,
Наш Крупнейший некие счастливицы
Сводят как кобылу со двора.

Этой силе ломкую солому
Не становь, дурашка, супротив.
Вновь предайся волхвованью злomu,
К звездам взоры тихо обратив.

Пусть язвят, стыдают и ругают
За небесны пакостны дела...
Муза Ура'ния! Дорогая!
Ты б хоть раз – р-раза кому дала.

Как только в башне БТА появились первые жилые комнаты, в одной из них астрономы стали встречаться с техническими работниками для взаимного просвещения: мы им – основы общей астрономии и практической астрофизики, они нам – сначала по чертежам, а потом и в натуре – устройство и назначение отдельных узлов телескопа. Сергей Владимирович горячо поддерживал этот астрономо-инженерный ликбез. Нам бы сохранить эти встречи подольше, но, к сожалению, вскоре они прекратились. Главной заботой Рублева стал рост научного коллектива, количественный, и особенно качественный. Будучи ярко выраженным экстравертом, он стремился также к тому, чтобы в САО побывало и прониклось перспективами работы на БТА как можно больше коллег из других обсерваторий и университетов. Когда заработал Цейсс-600, ознакомительные визиты стали совмещаться с наблюдениями. Так, в 1974 г. Сергей Владимирович организовал приезд из ГАИШа Х.Ф.Халиуллина с уникальным, изготовленным в МГУ спектрофотометром, а из Кауровской обсерватории пригласил Т.А.Карташеву. Татьяна Аркадьевна была принята в САО осенью, уже после смерти Рублева, а летом он спешил ее известить: вопрос о переходе к нам еще не решен, зато есть возможность поработать с новым прибором – «Вы же наблюдатель, приезжайте понаблюдать!»

Его нервировала бытовавшая в столицах максима: «Большому телескопу нужны большие астрономы». Т.е. в те ли руки он попал? Но ведь ее можно перевернуть: «Большим астрономам нужен большой телескоп», – и теперь он у вас есть, берите! Важнейший 3-й пункт Постановления о создании САО, 40-летие которого мы сегодня отмечаем, определяет владельцев БТА – он «предназначается для проведения исследований всеми обсерваториями Советского Союза». Впервые у отечественных астрономов появилась общая обсерватория, вроде ESO. Только почему-то вне САО этот пункт не вызвал энтузиазма, возможно, он был воспринят как оговорка: новая обсерватория тоже приватная, но с правом ограниченного пользования – мы не владельцы, мы лишь пользователи время от времени. Внутри энтузиазм вначале был: работа вместе со столичными коллегами, преодолеем свою провинциальность. И вот давно уже в САО выросли свои «большие», всемирно признанные астрономы, и, конечно же, каждый из нас приведет примеры личного участия в успешных совместных работах, а энтузиазм тот, увы, иссяк. Давно оставлены попытки отказаться от календарного распределения наблюдательного времени – «игра в рулетку», растягивающая исследования и уродующая результаты, по-прежнему привлекательна.

В этой связи вспоминается первая сессия КТШТ. Она прошла летом 1976 г. в КрАО как настоящий мозговой штурм, в комплексе обсуждались заявляемые программы, технические возможности их реализации, организационные проблемы. Я защищал заявку на спектроскопию Лебеда X-1. Показал первые полученные спектры, отметил, что они отличаются от типичного спектра O9.5 I лишь немногими деталями, и сказал, что выявлением этих аномальных деталей и прослеживанием их изменений со временем мы и хотим заняться. Последовало возмущенное выступление Я.Б.Зельдовича:

- Как? Лебедь X-1 – кандидат в черные дыры номер 1, а для вас он всего лишь обычный сверхгигант?!...

Как повел бы себя Рублев? Скорее всего, он сделал бы шаг навстречу:

- А что бы Вы предложили? Если трудно сходу, – а задача ведь стоящая – давайте соберем небольшую рабочую группу...

Нам следовало бы поступить так же, но мы с Иваном Михеевичем кинулись отбиваться:

- У нас уже есть, как видите, и будет пополняться хороший наблюдательный материал! У нас есть опыт работы с такими именно спектрами! У нас есть теоретик, специалист по черным дырам Викторий Щварцман!..

Мы тоже самодостаточны...

В конце 1968 г. на открытом партсобрании в последний раз обсуждался вопрос о размещении поселка САО. Весь небольшой коллектив обсерватории, включая и партсекретаря К.И.Козлову, а также руководитель Дирекции строящейся САО Ю.Е.Якунин были за очень симпатичный, почти парковый участок вблизи РАТАНа (теперь он разобран на дачные участки), ехать в ущелье никто не хотел. Администрацию представлял Рублев. Он сказал, что настроение наше ему, как и отсутствующему И.М.Копылову, понятно, но Нижний Архыз (Буково) определен окончательно, и у него уже совсем другое настроение: надо переключиться на обустройство Буково, заказать, например, пока не поздно, ландшафтно-архитектурный проект. Вскоре мы с Юрием Евгеньевичем Якуниным побывали в Москве и выбрали подрядчика, а Сергей Владимирович послал в ЛО ГИПРОНИИ, головную проектную организацию, прошение о передаче ему субподряда. Из Ленинграда пришел отказ: все, что вам положено, в нашем проекте уже учтено. Но мечта все-таки нашла воплощение – в дипломной работе Толи Глотова, выпускника Московского архитектурного института (он приезжал сюда со студенческим отрядом реставрировать Северный храм). Вместо реализованного убожества у него основные здания сдвинуты в единый комплекс, напоминающий большой замок, а высвободившееся место по склону и балке Гороховой превращено в парк. С полянки, что рядом с 3-им домом под дорогу к БТА уходит туннель, в нем спрятан гараж на 200 машин. Его должны были прорыть метростроевцы, которые тогда работали на Терскольской нейтринной станции.

При Рублеве ни одно дерево на месте будущего поселка не могло быть спилено безнаказанно, доходило даже до судебных разбирательств. Лесники, строители недоумевали: все равно ведь убирать будете. «Конечно, – отвечали мы, – но только то, что будет предписано проектом». С тех пор мне неприятен звук мотоциклетного мотора: напоминает о бензопиле.

Сергей Владимирович подхватил девиз, завершающий книгу Дж. Саймондса «Ландшафт и архитектура»: «Проектируйте не объект, а настроение!» Настаивал: это должно быть творческое настроение. За год или два до переезда он организовал КОАПП – сокращение переняли от популярной радиопередачи, но у нас оно означало: Комитет Объединения (?) Архызских Пионеров-Переселенцев – для обдумывания и разрешения всевозможных проблем будущей жизни. Жилье, транспорт, медобслуживание, обучение детей, привыкание к новому месту, наконец: ощущалось некоторое родство нашего КОАПП и горьковского «Комитета Поддержания Бодрости Среди Интеллигентов». Моя дочь вспоминает: по контрасту со станичным воображался пейзаж с астрономами-философами, гуляющими по берегу горной реки под пальмами и платанами. (Вместо «чинарей» – чинары!) О набережной, действительно, говорилось, но говорилось и о школе-интернате, и о студенческом кампусе. Набережная-эфемера прочно забыта, а свой учебный центр был в то время реален, и эта упущенная возможность вспоминается часто.

Самыми естественными «рублевцами» стали буковские дети: это мы – переселенцы, мигранты, а они – коренные жители. Когда приходит тепло, и малышня начинает разрисовывать мелом асфальт, рядом с ромашками и красотками появляются силуэты купола БТА. Он бы это оценил – башня вверху и башни под ногами...

В беседах об истории САО с нашими гостями я раньше использовал один экспонат из Музея истории Петербурга. Это газета с объявлением: продается скрипка итальянской работы и в придачу к ней – скрипач-виртуоз, тоже выученный в Италии. Мы, мол, здесь такое же приложение к дорогому инструменту. Но мысленно предлагая эту метафору Сергею Владимировичу, я слышу его возражение:

- Можно быть крепостным и творчески свободным. Как Рокотов, Воронихин...

И не он ли на днях подкинул мне строчку Евтушенко: «Если ты хоть немножко Пушкин, любая дыра – Петербург»?

Я думаю, это убеждение пришло к нему, вернее было найдено им вместе со звездами и стихами, еще в оккупированной Одессе, где он прожил с 11 до 14 лет. А будь он на пару лет старше, мог бы сгинуть, как его старшие товарищи, в Яско-Кишиневской мясорубке. Герман Гессе писал как раз в то время и как раз об этой «удивительной возможности» человека, не угасающей даже в самые бесчеловечные времена. Сам он создал «Игру в бисер» с ее образом Касталии, который так легко ложится на Буково, при Гитлере.

В заключение – еще одно стихотворение Рублева с небольшими комментариями.

Я давно не перечитывал его и забыл это сравнение Ориона с широко шагающим Петром I с известной картины В.Серова. Иначе обязательно упомянул бы его в популярной заметке о зимнем небе. Но в моем ощущении Ориона этот образ жил, и я привлек других «страйдеров» – карачаевского Бийнегера, толкинского Арагорна.

К нему есть хорошая фотоиллюстрация: журнал Astronomy (1992), V.20, S.66. Американскому астроному-любителю удалось сделать дивный сни-

мок: звезды Ориона, несмотря на длинную выдержку, «мелкие», не передержанные, но «острые» (по ним гидировали), действительно путаются в тянущихся за ними, размытых ветвях и похожих на водоросли волокнах последней зелени.

О жанре. Это один из «переводов с чужих языков, написанных сначала по-русски». У Рублева много таких переводов-стилизаций: с латинского, с фарси, с «одесского». Этот – с китайского.

Гидируа астрограф, размышляю о некоторых аспектах жизни

Некто из плеяды поэтов эпохи Тан

Вечер ветра влажною губкой
Стер с вещей косметику дня.
Ты опять дитя: снова кубиком
Посадили тебе синяк...

И зажав в кулачке обиду,
Ты уходишь в глубинный слой,
Где проходит, где проще выдохнуть,
Забывая былое зло,

Где часы Неизбежности тикают,
Где пушистый мрак, где гнездо
Твоей смерти, пульсируя тихо,
Зачисляет за вздохом вздох...

Там ступени. И пыль... Здесь – бесея,
Ветер вязнет в тенетах волос
И деревья качает, просеивая
Невесомый пепел звезд.

Вздорный ветер забытым пропитан.
И тревожит. И глух горизонт...
Раздирая камзол, как Герр Питер
Через ночь прошагал Орион.

1952 г. Рублеву 22 года – как раз середина жизни.

В. Ф. Шварцман (1945-1987)

В СТРЕМЛЕНИИ К ПРЕДЕЛАМ...

Г. М. Бескин

Необычное и глубокое отчетливее видится на расстоянии и, чем больше времени проходит, тем лучше понимаешь, насколько сложно выразить в конечных терминах нашего языка ощущение, возникающее от знакомства, работы, жизни с любым человеком, а особенно с таким многогранным, сложным, противоречивым, красивым, слабым, ужасным, сильным, каким был Витя Шварцман. Но попытки эти необходимы. Мы продлеваем своими воспоминаниями жизнь ушедших. Пока живы сами... Конечно, ни о какой их полноте, ни о какой завершенности картины, исчерпанности набора этих ощущений, этих впечатлений говорить не приходится. Так, краткие заметки... Прежде всего, в связи с Витиными занятиями проблемой Внеземных Цивилизаций. Мне кажется, как нигде, в этих размышлениях о поисках другого разума, о поисках другого СЕБЯ проявлялись особенности его личности.

На мой взгляд, исключительно важным свойством Витиной природы была необходимость проживания каждого момента на пределе возможностей: физических, интеллектуальных, эмоциональных. Это проявлялось в любых его занятиях – наукой, искусством, людьми, в его отношении к миру и к человеку. Стало уже привычным представление о развитии наших знаний как процессе продвижения границы известного в область еще не известного. Вот и Витя занимался наукой на этой самой границе. Если он погружался в какую-то научную проблему, то она пока едва-едва осознавалась в таком качестве. Космология – это что-то предельное, это Вселенная, это ВСЕ и не меньше. Если, скажем, занятия, элементарными частицами, то это – неуловимое нейтрино и поиски его исчезающе малой массы. Если исследования конкретных астрофизических объектов, то это особые экстремальные объекты, типа черных дыр или нейтронных звезд. Если работа над собой, то добиться того, чтобы 50 раз подтягиваться или 100 раз отжиматься, или 100 раз присесть на одной ноге. Если празднование Нового года, то где-нибудь в горах, под вой волков, в одиночестве, в снегах, в холоде. Он был человеком ГРАНИЦЫ. Границы человеческих возможностей – интеллектуальных, логических, физических, эмоциональных.

Разумеется, он должен был с необходимостью прийти к занятию проблемой поиска Внеземных Цивилизаций, потому, что это и есть, собственно, граница нас самих, всего Человечества. Кто-то другой и есть тот предел, до которого простираемся мы сами. И здесь он тоже проявился как человек пограничья. Он не просто обдумывал проблему Внеземных Цивилизаций, он искал и находил способы их поиска и контакта, которые до него, если и предлагались, то в чисто умозрительной форме.

Здесь проявляется очень важное Витино свойство как человека-на-границе. Жизнь на пределе не может и не должна быть чисто интеллектуальной. И для Вити любое размышление влекло за собой действие, приводило к экспе-

риментальным проблемам. Для него важно было не просто спекулировать, не просто рассуждать о том, как мог бы быть устроен мир, или какие отношения могли бы быть между людьми. Для него важно было проверить экспериментально, каким все это действительно является. И по этой причине, как ни странно, будучи по складу теоретиком и пройдя прекрасную теоретическую школу, он всегда тяготел к реальному живому эксперименту. Если он занимался космологией, то его глубокие работы выливались в постановку и реализацию оригинальных наблюдательных программ. То же самое с черными дырами. Получив очень интересные теоретические результаты по свойствам одиночных черных дыр, он ввязался в безумную для многих людей, знавших его, затею с экспериментом МАНИЯ. Ставилась задача найти черные дыры, доказав, что наблюдательные характеристики неких астрофизических объектов и есть проявления горизонта событий – родового признака черных дыр. Речь шла о наблюдениях по поиску сверхбыстрой переменности специально отобранных астрономических объектов. Этот эксперимент потребовал разработки особого математического аппарата (абсолютно оригинального по тем временам), специализированной аппаратуры, подбора специальной команды (из персон, склонных к игре на флейте перед тюльпанами, – как Эразм Дарвин – авось что-то получится...). Впрочем, довольно быстро стало ясно, что все придуманное и сконструированное может использоваться не только для поиска черных дыр. А люди, привлеченные идеями Шварцмана и его личностью (надо отметить, что с Витей сотрудничали десятки различных специалистов), готовы заниматься другими задачами и объектами, где необходимы наблюдения с высоким временным разрешением. Поиски сигналов ВЦ и есть одна из таких задач. Речь шла не просто о том, что нужно порассуждать на эту тему, а нужно ставить эксперимент, нужно отбирать объекты, которые могут быть связаны с Внеземными Цивилизациями, искать их сигналы и доказывать, что это действительно сигналы Внеземных Цивилизаций.

Очень важным проявлением Витиной способности существования на границе было свободное пересечение границ разных сфер интеллектуальной, духовной жизни и естественное их (сфер) сопряжение. Он находил совершенно неожиданные комбинации. Например, музыка и астрофизика. Поиск переменности по характеру звучания совокупности импульсов, соответствующих потоку фотонов. Пульсар в Крабе звучит неприятно – очень низка частота, туманность могла бы звучать намного интересней и разнообразней. Это сопряжение различных областей приводило к каким-то совершенно новым поворотам в понимании. Если, скажем, в эксперименте МАНИЯ искали черные дыры как объекты со сверхбыстрой переменностью, то и проявления внеземных цивилизаций искали как сигналы очень тонко структурированные, где могло бы быть заложено максимальное количество информации. При этом и черные дыры, и маяки ВЦ должны выглядеть непривычно для астрофизических объектов – иметь спектры, лишённые линий.

Именно следствием сопряжения разнородных сфер был и его взгляд на проблему Внеземных Цивилизаций как проблему культуры в целом. Он считал, что здесь нужно использовать не только научные методы поиска, формирования и отождествления передач, не позитивистские, не рациональные, имея в виду

музыку, поэзию, игру, как содержание передач для Внеземного разума. Кстати, "Вояджеры" несут на борту в качестве послания, предназначенного для ВЦ, множество художественных произведений...

Он здесь нащупывал, искал границы человеческого языка, языка, как средства общения, средства диалога, средства достижения и выражения понимания. Витя отчетливо сознавал временность рациональных, позитивистских, научных способов познания. В его работах ощущалось жгучее желание выйти за пределы рационального, показать его ограниченность. Он писал, что в стихотворении Мандельштама не меньше открытий, чем в работах Эйнштейна. Понятно, что эти открытия в значительной мере невыразимы, они не опосредуются средствами логического рационального дискурса. Речь шла именно о том, чтобы использовать другие способы общения, причем не только с Внеземными Цивилизациями, – а вот на этой границе МЫ-ОНИ нащупать возможности другого типа контактов внутри самого человечества, между отдельными неповторимыми людьми.

По происхождению, воспитанию, культуре, личному позиционированию Витя был человеком западным и несомненно атеистом. Однако вся его жизнь – интересы, выбор занятий, отношения с людьми близкими и далекими, ценности и значимости, стремление к границам – свидетельствовала об устремленности к обретению собственной целостности в метафизическом горизонте существования. Такого рода стремление можно назвать, следуя Г. Флоровскому, "заблудившейся жадной Бога". Кого – "Бога философов и ученых" либо "Бога Авраама, Исаака и Иакова", согласно дихотомии Паскаля, либо Шакьямуни обрел бы Витя, – мы никогда не узнаем...

Витя много думал о том, что означает Великое Молчание Вселенной, искал способы его рассеять, прорвать. Важным и определяющим в нем было глубокое ощущение человеческого содержания любого объективированного, выведенного за пределы человека занятия. Он хорошо понимал, что для этой молчащей непостижимой Вселенной мерилom является маленький, противоречивый, несовершенный человек. Каждый из нас...

И в завершение несколько строчек, может быть они помогут выразить оставшееся вне слов...

Шорох листьев осенних,
Взмах руки на прощанье
И снежинки метанье
В бесконечном собраньи
Ничтожных мгновений
Остаются навечно,
Как клад человеческий,
В каждой точке зарытый,
Случайной вселенной,
Ей судьбу приносящий,
Тайный смысл придающий,
Ее появлению...

В. А. Липовецкий (1945-1996)

ОН БЫЛ СОБИРАТЕЛЕМ...

Г. М. Бескин

Валик... Крупный человек – высокий, большие ладони, ступни. Внешне – жесткий, определенный, всегда знающий, как поступать в любой ситуации. В глубинах – очень чувствительный, воспринимающий тончайшие нюансы настроения собеседника, способный потерять сознание от резкой боли, физической ли, душевной ли...

Собиратель... Книг, знаний, галактик, людей. Очень многое было ему интересно. Интерес всегда порождал желание углубиться, изучить. Изучение это было особым – не только рациональное накопление информации, ее систематизация, логический анализ, но и какое-то истовое, почти телесное и уж заведомо душевно-эмоциональное погружение в предмет. Эмпатия какая-то...

Это могли быть открытия. Они накапливались годами, новые покупались при малейшей возможности. Здесь были подборки из крупнейших музеев и провинциальных галерей, репродукции великих полотен, фотографии великих скульптур, серии работ известных художников. Разные эпохи, страны, стили... Наступало время упорядочивания вновь приобретенных шедевров. Все раскладывалось по уже присутствующим в коллекции авторам, для новых имен писались бирочки. Сокровища заполняли десятки посылочных ящиков, с которых время от времени стиралась пыль, а содержимое проветривалось. Надо было видеть лицо Валика в эти часы! Он был не здесь – в Лувре, Эрмитаже, галерее Уффици. Жорж де ла Тур и Утамаро беседовали с ним. Он растворялся в этих линиях, мазках, цветах. Проникался тайнами сфумато, меццо-тинто, нецке... Он не умел рисовать или лепить, но я уверен – мог отождествить себя с Роденом или Магриттом. А потом открытия откладывались, ящики выстраивались стеной – приходило время науки. Валикина наука по сути тоже была собирательством, коллекционированием, самозабвенным и страстным.

Разумеется, все помнят, что знаменитый Маркарянковский обзор, программа отбора и исследования галактик с УФ-избытком, придуманная Маркаряном, – был практически проведен Липовецким. Сотни часов на телескопе, сотни фотографических пластинок... Пластинка укладывается в деревянную подставку, – лупа и глаз – прекрасные приборы. Он просмотрел сотни тысяч низкодисперсионных спектров, каждый длиной несколько миллиметров. Разумеется, существовали достаточно формальные критерии отбора искомых объектов, однако интуиция Валика, его способность перейти границу между собой и пластинкой, ощутить, что перед тобой – не обычная галактика, а особый объект, была определяющей в этой гигантской работе...

Валик занимался наукой как искусством. Когда процесс, состояние являются и средством, и целью...

Глубинный артистизм его природы ярко выразился в занятиях театром. Был период в истории САО, когда мы (десять, двадцать, сорок человек) только и думали о системе Станиславского, артикуляции, сценическом общении, Шекспире, Шварце. И Валик был первым среди равных. Писались тексты, шились костюмы, репетиции были жизнью, а жизнь превращалась в спектакль...

Что-то похожее происходило у него и с изучением английского. Погружения, клуб, оригинальные кинофильмы, чтение подлинников. Он освоил язык блестяще – свободно разговаривал, читал, писал. И не только он – многие были вовлечены Валиком в эту лингвистическую стихию. Он, конечно, был лидером, обладал харизмой. И в то же время прекрасно выполнял функции ведомого, если так складывалась ситуация. Он просто жил в полную силу в соответствии со своими глубинными движениями, а кто лучше, кто умнее и сильнее, его не волновало.

Валик относился к редкому сорту «говорящих мыслителей». Он лучше всего придумывал новое, оттачивал найденное в ходе беседы. Длительность ее была неограниченной – здесь наличествовали и парадоксы («уезжать надо тогда, когда можно и остаться» – это об эмиграции) и воспоминания о детстве («котлеты с ладонь размером, приходилось выкидывать в форточку – съесть было невозможно»), и философские построения глобальных масштабов (сочинялся трактат о структуре мира с названием «Всё»). В разговорах цитировались «Веды», «Библия», Кнут Гамсун, Лао-Цзы, Ромен Роллан. В целом, их окраска имела восточные тона, добавлялась (в свое время) и эзотерическая нота. «Тайная доктрина» была отпечатана с пленок и высилась двумя метровыми стопками, «Йога дипика» переплетена и снабжена изображениями асан. Пару слов а parte – во время наблюдений в Бюракане Валик, чтобы согреться, полностью разделся и просидел полчаса в «лотосе». Вспотел. Работы по дзэн-буддизму ксерокопировались, прочитывались и использовались в жизни. Потом, правда, чуть ли не зарывались в землю в чьем-то подвале – прошел слух, что КГБ готовит налет. До сих пор где-то хранятся...

Беседы имели и терапевтический характер. Это была такая самобытная версия психоанализа, где соединялись шокирующие вопросы Ли-Цзы, построения Кришнамурти и этика Рерихов. Не берусь описывать случаи просветления, но то, что собеседнику становилось спокойнее, он легче переносил несовершенства окружающих и начинал понимать, что важнее заниматься собственным содержимым, – это зафиксировано.

Вообще слово «саморефлексия» было одним из самых распространенных в лексиконе Валика. Он, прежде всего, был склонен и способен анализировать мотивы собственных движений, внешних и внутренних. До последних глубин. Когда голоса стыда и совести звучат все громче и громче... Немногие способны на это... По-видимому, эта самая саморефлексия, видение, знание собственных комплексов, барьеров, проблем, позволяли ему столь эффективно помогать делать шаги к освобождению и другим, приходившим к нему. Ну, и конечно, та самая эмпатия...

Обсуждались проблемы и профессиональные – повышение эффективности детекторов, постановка критических наблюдательных программ, использование новых возможностей вычислительной техники (он по-детски радовался,

когда впервые удалось передать за границу и получить вновь черновик статьи), – и личные, интимные даже, вплоть до налаживания отношений в семье.

Он порождал вокруг себя атмосферу удачливости, не предвкушение успеха, а то особое ощущение нового понимания, желание работать, продвигаясь к нему, и при этом не в одиночку, а вместе с другими, умными, близкими...

Валик и оставил у многих следы таких ощущений, да и серьезные результаты совместных работ. И перспективы новых. После завершения основных исследований в рамках Маркарянковского обзора, он нащупал новое направление изучения галактик с использованием результатов обзора. Привлек и старых, и молодых коллег. Работы эти продолжаются, а фамилия Валика еще долго фигурировала в заголовках статей, появлявшихся после его смерти.

Валик прожил яркую, многогранную, сложную жизнь. Было много друзей, любовь, дети и внуки, яркие интеллектуальные и эмоциональные озарения, увлечения и страсти, периоды мудрого понимания и принятия мира. Были душевные травмы, предательства... Все необходимое для выполнения миссии человеческого существа в этой вселенной. Он справился...

Валик ушел рано. Последние дни его были тяжки. И здесь он остался собой – видящим, чувствующим, понимающим и принимающим неизбежное...

Уход любимых из мира живых обостряет воспоминания и оставляет надежду встречи...

ИЗ ИСТОРИИ САО

О ТОМ, КАК МЫ ИСКАЛИ МЕСТО ДЛЯ НАУЧНОГО ПОСЕЛКА САО АН СССР

А. Ч. Узденов

Начиная с 1968 года, сотрудники САО строили догадки о том, где все-таки будет построен научный поселок для обсерватории.

Слухи ходили разные: кто-то уверял нас, что поселок будет находиться в (и там будет жить и работать основная масса научных сотрудников и администрация, а только эксплуатационные службы будут работать вахтовым методом на ВПП и в Зеленчукской), кто-то говорил про Кисловодск.

Однажды на общем собрании сотрудников САО Сергей Владимирович Рублев, наш замечательный зам. директора по научной работе, высказался определенно, как о решенном вопросе: поселок будет построен в Зеленчукском районе и как можно ближе к телескопу БТА, и нам, сотрудникам САО, надо участвовать в выборе места для академгородка. С этого дня сотрудники САО начали активно обсуждать этот злободневный вопрос. Начались поездки на предполагаемые места, где могло бы начаться строительство поселка.

Первый выезд был на поляну недалеко от РАТАН-600: лесистый пригорок за речкой Хуса (там сейчас вырос сосновый лесок). Место нам понравилось, мы даже поставили там палатки и заночевали. Понравилось тем, что территория находится вдали от шумной автомобильной трассы и тем, что РАТАН-600 рядом (радиоастрономы могли бы ходить на работу даже пешком). Правда, нас удручало обилие комаров (недалеко находились пруды, а был месяц июль).

В следующий раз мы совершили поездку в Верхнюю Ермоловку. От бывшего русского поселка остались только плодовые сады, а место было очень солнечное и открытое. Из Верхней Ермоловки открывались замечательные виды на главный Кавказский хребет и долину Зеленчука. Но наиболее прагматично настроенные наши коллеги предрекали: «Здесь строить поселок не разрешат, т.к. неудобно добираться до телескопов БТА и РАТАН, да и воды маловато – всего-навсего один ручей».

Были поездки и на Богословку, и в Нижний Архыз... Очень хорошее впечатление на нас произвела широкая долина около аланских храмов в Нижнем Архызе: много солнца, тепло, рядом древние храмы...

Естественно, мы хотели и надеялись, что поселок будет строиться именно на этом месте. Но археологи и музейное начальство думали по другому: они сделали все, чтобы строительство поселка не навредило будущим археологическим раскопкам и всему музейному делу. В итоге, поселок построили южнее

бывшего аланского города, и все получилось не так уж плохо. А в шестидесятые годы, когда мы пришли на территорию сегодняшнего поселка, нам место очень не понравилось. Казалось, что места тут мало и оно сырое и несолнечное. Вырубка при строительстве леса, возведение жилых домов, производственных зданий, благоустройство и асфальт на самом деле привели к тому, что здесь на Буково стало суше, светлее и даже исчезли комары.

Нам здесь хорошо!

ИНФОРМАЦИЯ О СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ САО РАН

А. В. Захаров

По постановлению Совета Министров СССР в 1965 году начато строительство научных объектов АН СССР на территории Зеленчукского района Ставропольского края.

В 1966 году на Верхней научной площадке начато строительство фундамента башни БТА, одновременно велось строительство линии электропередачи ВЛ-5 КВ с трансформаторной подстанцией 35/10 КВ и ВЛ-10 КВ и автомобильной дороги станция Зеленчукская – Нижняя научная площадка – Верхняя научная площадка.

Первым директором по строительству объектов САО АН СССР был Васильев Олег Борисович. Впоследствии директорами были: Якунин Юрий Евгеньевич, Крапивин Владимир Васильевич и Захаров Александр Владимирович. Активное участие в строительстве принимали главный инженер заказчика Еремеев Юрий Вениаминович, главный механик Бобков Борис Яковлевич, главный энергетик Мяконький Леонид Герасимович, начальник отдела комплектации Воробьева Марина Никифоровна, начальник ПТО Свербиль Александр Петрович, начальник ПЭО Миронычева Нина Филипповна.

Основные строительные-монтажные работы на объектах САО были выполнены генподрядчиком – строительным управлением треста "СевКавГидро-ЭнергоСтрой" во главе с Курятовым Львом Дмитриевичем. Монтаж металлоконструкций и алюминиевых панелей башни БТА выполнен черкесским монтажным участком треста "ЮжстальКонструкция" – начальник Заярный Николай Анастасович, монтаж металлоконструкций и облучателей радиотелескопа РАТАН-600 выполнен МУ треста "СпецГидроЭнергоМонтаж" – начальник Бурьлов Борис Иванович.

Металлоконструкции РАТАН-600 и облучатели изготовлены Сызранским механическим заводом.

Первоначально доставка строительной техники и материалов осуществлялась по построенной гравийной дороге с. Маруха – пос. Звездный – место строительства башни БТА (подножие горы Пастухова).

На Верхней научной площадке за время строительства построены: башня БТА с крупнейшим в мире в то время оптическим телескопом с диаметром зеркала 6 м, технический блок, гостиница для астрономов-наблюдателей, восьмиквартирный жилой дом, склад площадью 216 кв. м, павильон с оптическим телескопом диаметром один метр.

Для обеспечения строительства башни БТА смонтирован уникальный кран грузоподъемностью 100 тонн.

На Нижней научной площадке построены: лабораторный корпус с гостиницей, четыре жилых дома, техблок, оптико-механические мастерские, детский сад на 90 мест, школа на 280 учащихся, гараж на 10 автомашин, пожарное депо, гараж-стоянка на 50 автомашин, очистные сооружения, котельная, склад площадью 216 кв. м, корпус информатики, инженерные сети.

Одновременно велось строительство радиотелескопа РАТАН-600 в ст. Зеленчук-

ской с диаметром антенны 600 метров, лабораторный корпус, механические мастерские, корпус общего назначения, стапель для сборки и юстировки элементов отражающих поверхностей, теплохолодный склад, выполнены работы по комплексу автоматизации РАТАН-600, смонтированы четыре облучателя и 12 радиальных путей с опорно-поворотным кругом.

В ст. Зеленчукской построены 9 жилых домов, в том числе 6 домов для сотрудников САО, очистные сооружения, канализационный коллектор, пожарное депо, здание ГАИ, расширенная телефонная станция. Учитывая научную важность и уникальность радио- и оптического телескопов, во время строительства эти объекты неоднократно посещали Президент АН СССР Келдыш М.В., председатель Совмина СССР Косыгин А.Н., Министр обороны Устинов Д.Ф.

О ЖИТИИ И РАЗВИТИИ КОЛЛЕКТИВА САО НА ПРОТЯЖЕНИИ БОЛЕЕ 30 ЛЕТ ГЛАЗАМИ И МЫСЛЯМИ ОЧЕВИДЦА, ПОМОЩНИКА ДИРЕКТОРА САО РАН

Е. И. Рыжикова

Неповторимая наша САО, единственная, шестиметровая и поэтому специальная, ты ещё сильна! Тебе бы внимания побольше со стороны власть предержащих... Всего 40 лет! Сердечно поздравляю!!! А ведь 40 – это только выход на вершины, к которым стремились мы в 70-80-е годы молодым, уверенным шагом, полные оптимизма, сил и надежд.

Идейный наш вдохновитель и организатор, заместитель директора по научной работе в области оптической астрономии Сергей Владимирович Рублёв заглядывал как-нибудь в конце дня в приёмную директора САО, тогда ещё на ул. Бережного, 167 в ст. Зеленчукской и говорил с улыбкой: «А не посетить ли нам сегодня Нижнюю стройплощадку?». Так называли мы тогда наш будущий посёлок. Иван Михеевич Копылов, директор САО АН СССР, я – его референт, сидим каждый в своём кабинете, уткнувшись в горы бумаг. Связь тогда шла только по почте (!) и телеграфу с десятками заводов-изготовителей, НИИ, обсерваторий, заинтересованных лиц, и проч., и проч., и проч.

И вот мы мчимся на «Волге» директора на ННП. Я счастлива, что меня взяли! Я влюблена в горы, лес, реку, во всех САОвцев, таких оптимистов, энтузиастов, умниц. За рулём бессменный Митя Пирогов, рядом Иван Михеевич (он ещё насуспен – оторвали от бумаг!), сзади В.А.Шалдырван, зам. директора по ХЧ, С.В.Рублёв и я. На ННП пока один – 1-й дом и огромный котлован под фундамент лабораторного корпуса. Уже есть котельная, ещё «зачатки» каких-то строений. Недостроенный первый дом в ямах и кучах битого кирпича, строительного мусора. Потом, на субботах, мы отгружали и очищали всё это весело и азартно, предвкушая переезд с временных квартир из ст.Зеленчукской. Мы обходили вслед за Рублёвым весь дом, «общупывали» и рассматривали сделанное строителями. Я слушала и впитывала в себя их разговоры, споры, мнения. Дух захватывало, когда они начинали мечтать вслух – два друга и соратника – Иван Михеевич и Сергей Владимирович. О задачах, которые будут под силу Большим Телескопам, о людях, которые приедут сюда и будут работать на БТА. Как переберёмся все жить в эту чистоту и красоту. Это надвигающееся событие было и радостным и тревожным, много было говорено на эту непростую тему!... Каким будет академгородок? Здесь ещё встанут дома, здесь – лабораторный корпус, там мастерские, спортивная и детская площадки, ясли-сад...А пока тьма опять и выскакивающие прямо под ноги строителям из нетронутых ещё зарослей дикие поросята! Придёт время и в полную силу будут работать телескопы, а коллектив будет целеустремлённым и продуктивным. **Они были первыми.** Они были правы. Так всё и было. Или почти так...

Но уже скоро две горькие утраты понесла САО – погиб на Лыткаринском заводе оптического стекла (ЛЗОС) «за идею» талантливый Серёжа Солдатов

(первая смерть в коллективе, ошарашившая всех нас) и не дожидаясь переезда на Буково С.В. Рублёв, так светло и настойчиво мечтавший об этом переселении, курировавший от САО строительство посёлка. Его ездили хоронить в г.Одессу поздней осенью, пребывая в шоке и отчаянии, сознавая, что утрата эта для САО невосполнима.

Коллектив САО с первых лет существования складывался **уникальный**. Во многом это была заслуга И.М.Копылова. С каждым самостоятельно поступающим или приглашённым на работу в САО специалистом он находил время поговорить подробно и обстоятельно, несмотря на свою абсолютную занятость. И бывало – не по одному часу! **Грани одного большого алмаза** – И.М.Копылов, самоотверженный, незаурядный человек и учёный; Кумайгородская Р.Н., его верная спутница жизни, соавтор научных работ, на протяжении многих лет буквально разрывающаяся между Ленинградом (где жили и учились двое их детей) и ст. Зеленчукской; С.В. Рублёв, соратник и друг И.М. Копылова, душа коллектива, энтузиаст, учёный и просто замечательный человек; Перерва В.М., учёный секретарь, переводчик, редактор, неутомимый труженик; Шведова Г.С., основатель и организатор библиотеки САО, ОНТИ, деятельная и целеустремлённая, отдающая на протяжении десятилетий всю себя любимому детищу, гордости САО – научной библиотеке. И коллектив всегда подбирала себе под стать! Глаголевский Ю.В. и Козлова К.И., пара – «не разлей вода», астрономы и удивительно талантливые люди, он – художник-любитель, оба – исследователи-путешественники, он – любитель-конструктор, оба – меломаны в лучшем смысле этого слова, всегда доброжелательные, всегда готовые поделиться новым, интересным. Снежко Л.И., светлая голова (характеристика И.М.Копылова), учёный-астроном, красивый и интеллигентный молодой человек, центр притяжения нашей и не нашей передовой молодёжи, возглавлявший тогда Отдел физики звёзд и туманностей; Афанасьевы Виктор и Галя, в то время незаметные, обаятельные и музыкальные; А.Богудлов, Г.Царевский, Э.Витриченко – шустрые, всегда взвинченные от вершимых дел, казалось вот-вот дым из ушей повалит! Татьяна Васильевна Леонова, основательница делопроизводства САО, а потом и Отдела кадров, востребованная на работе до 76 лет, ветеран Великой Отечественной войны, прошедшая со своим авиационным полком всю войну, от Ростова до Берлина, строгий наш учитель и мама для всех, вечно подкармливающая пирожками и тортиками холостую молодёжь САО. Хочется сказать обо всех, помню всех, но слишком мало отпущено страниц! Это и Алла Шаповалова, которая свой рабочий заряд получила, кажется, в момент рождения и не ослаб этот заряд вплоть до сегодняшнего дня! Валя и Игорь Караченцевы, Саша и Юра Коровяковские, Наташа Войханская (и сейчас в строю!); В.С.Рылов, истово занимающийся спектральной аппаратурой БТА (и умерший раньше положенного, кажется, от этой истовости); наш «князь» Абдуллах Узденов, красавец и эрудит, как и Л.Снежко, центр притяжения молодёжи САО и ст.Зеленчукской; Жора и Лариса Алексеевы, оба яркие и талантливые, безвременно ушедшие из жизни; братья Лев и Семён Пустильники, молодые учёные, доброжелательные и весёлые; братья Тлисовы, Валера Леушин, Володя Соколов, другие ребята – молодой, подающий надежды народ; Гриша Бескин, с широким кругозором и независимыми суждениями; Женя Ченцов –

кроме астрономии отдавший вместе с Саидой столько сил, знаний и времени подрастающим нашим и не нашим детям. Они рассказывали им без устали в школах, детсадах, на экскурсиях, на различных детских форумах и в частных беседах о наших удивительных, благословенных местах, истории и географии, о природе и книгах, вообще о добре и мире на Земле; В.Ф.Шварцман, наша гордость и саднящая утрата; Ваня Найдёнов, Толя Бармин, другие ребята – талантливые инженеры, каждый в своём направлении проделавшие огромную работу для САО; Витя Штоль, изобретатель и рационализатор, а уж сколько он отнаблюдал, сколько времени отработал на БТА – этот рекорд никем, наверное, не будет побит! Он жил на БТА!

«...Сойдёмся мы в одной из комнат БТА,
Почти всегда в окно к нам лезут облака,
Зимой ревёт, гнёт, давит стёкла ураган,
Надсадно воем рядом с башней кран.
Но иногда в окно посветит нам луна
И вот видна уже звезда сквозь облака!

(В. Штоль)

Володя Шаповал, юморист и сама доброта, квалифицированный переводчик («даже думаю на английском языке» – шутил он иногда!); Саша Фоменко, талантливая и трагическая фигура; Володя Витковский – какая же информатика без Витковского и какое же ВЦ без Коровяковского! Витя Дубрович, учёный-философ, пока ещё так и не реализовавший свои глобальные задумки. Как-то зимним днём 1974 года прибыли в ст.Зеленчукскую два «зелёных» молодых человека, ничем не впечатливших девочек-машинисток Любочку Вяткину и Валюшу Иноземцеву, без умолку, с утра до вечера, строчивших на «Оптимах» за моей спиной (до онемения пальцев рук!). Это были Иосиф Романюк и Юра Балега. Иван Михеевич, по своему обыкновению, долго с ними беседовал, а потом ещё и заказал для них дежурный УАЗик на ВПП, чем вызвал недовольство А.Ф. Канахина, нашего завгара. Но Ивану Михеевичу и подумать перечить никто не смел! Может быть, уже тогда усмотрел наш мудрый и проницательный директор, что у ребят большое будущее! Валя Клочкова, которую, как казалось мне, на протяжении всех лет победоносно вела по жизни сила осознанного призвания. Другие «первопроходцы», каждый энтузиаст своего дела, каждый – **личность**.

Я была в силу своей должности связующим звеном всех образовавшихся «ячеек» в САО. Все шли в приёмную директора с вопросами, просьбами, проблемами, предложениями.... И.М Копылов, С.В.Рублёв, В.М. Перерва, Т.В. Леонова учили меня благожелательности, выдержке, вниманию к каждому входящему, терпению и пунктуальности. Учили блюсти субординацию, хотя тогда мы все как-то были равны, не ощущали начальственных персон, обращались друг к другу по именам – Юра, Дима, Алла, Лёва, Лена... И только Копылов всегда и для всех был Иваном Михеевичем и сам всех без исключения называл по имени-отчеству. Жили мечтой, кипели. Ожидали большой работы на Больших телескопах. А пока научные кадры стажировались, читали лекции в других институтах и обсерваториях, продумывали задачи, составляли и корректировали планы и темы, учились, дискутировали. Меня тоже неоднократно отправля-

ли в командировки на стажировку, на обучение грамотному ведению делопроизводства в Пулково (г. Ленинград) – ЛФ и ГАО, а в 80-е годы в г. Москву, в ООФА и даже в Президиум АН СССР, когда вводилась единая система делопроизводства для НИИ АН СССР.

Наш коллектив состоял как бы из двух организмов – оптиков и радиоастрономов. «Отец» РАТАНА и зам. директора САО по научной работе в области радиоастрономии, Ю.Н. Парийский, – зав. Отделом радиоастрономического приборостроения, Д.В.Корольков, Н.Л.Кайдановский, О.Н.Шиврис, А.Ф. Дравских, Н.С. Соболева, М.Н.Наугольная – другие радиоастрономы, талантливые, зрелые и молодые учёные, создатели РАТАН-600, много и увлечённо работали. Проводились научные семинары, на которых готовились задачи для крупнейшего радиотелескопа, говорилось о задачах двух крупнейших телескопов мира и об общности этих задач. Несмотря на горячее желание оптиков и р/астрономов начать наблюдения, строительство РАТАН-600 и других объектов САО шло низкими темпами по огромному ряду причин. Но всё же процесс шёл! Президент АН СССР Мстислав Всеволодович Келдыш благоволил к вновь строящемуся институту. Ходатайства руководства САО зачастую удовлетворялись – принимались решения о ведомственном статусе жилья, об увеличении ассигнований, об ускорении работ по автоматизации РАТАН-600, о дополнительных штатах и т. п. А пока душа РАТАНа Корольков Д.В., возвращаясь из очередной командировки в г. Ленинград, всегда привозил целую авоську апельсинов (этой роскоши не было же тогда в ст. Зеленчукской!) и все кабинеты и этажи нашего общего дома на Бережного, 167 благоухали! Он входил в приёмную со своей удивительно застенчивой, добрейшей улыбкой, водружал на стул авоську и говорил: «Вот!»... Он – такая же невосполнимая и ранняя утрата для САО, как и С.В.Рублёв... Трагическая и нелепая смерть забрала у нас талантливейшего, умнейшего, достойнейшего Дмитрия Викторовича Королькова, друга и соратника Парийского Ю.Н., других РАТАНовцев и не РАТАНовцев тоже.

Ведущие специалисты и руководство САО в буквальном смысле носились на крыльях между Москвой, Ленинградом и Минеральными Водами (и далее в ст.Зеленчукскую). Идёт строительство, а в коллективе уже создаются научные отделы, поступают на работу и назначаются руководителями отделов и подразделений научные и инженерные кадры. В 1973 году сдаётся в эксплуатацию первая очередь РАТАН-600.

Ведутся работы по исследованию 6-м зеркала БТА сотрудниками ЛОМО, ЛЗОС, САО, ГОИ, контроль со стороны АН. Трудные времена... Напряжение предельное.

Разыгрывается драма внутри коллектива – первый и жестокий конфликт. Я тоже оказалась причастна. Как-то в конце рабочего дня, сняв трубку междугородного телефона на короткий звонок и не успев ничего сказать, услышала голос телефонистки «соединяю» и тут же заговорил один из наших ведущих сотрудников (он говорил из общежития, со 2 этажа, с параллельного телефона) с куратором САО из ООФА (г. Москва). Докладывал «наш товарищ» о Копылове, о его «недальновидной политике по ведению дел САО», о его «неправильном» поведении (все «моги», а Копылов «не моги»! Р.Е.И.), о его конфликтном ха-

рактуре. Приводились бессовестно утрированные примеры, всё ставилось с ног на голову. Я могла судить об этом, так как знала, видела ежедневно, как работает Копылов! Это было так неожиданно страшно слушать! В растерянности я не положила трубку, а стояла оглушённая, тем более, что внешне отношения И.М.Копылова и «свистящего» на него товарища» были нормальными, с бесконечными совещаниям и семинарами, совместными поездками на БТА, в КРАО, Москву, на ЛЗОС и т.д. Это было предательство. Впервые в жизни я поняла, что такое шок. Убежала с работы в какие-то заросли за Зеленчуком, бродила там, рыдая и поминутно умывая лицо и руки в ледяной воде, ощущая чужую мерзость, как свою собственную и мучительно соображая – что же делать? Рассказать Ивану Михеевичу об услышанном или просто вообще уйти из САО? Слишком я уважала этих людей и не могла поверить, что вот так может быть!... Глубоким вечером вошла в приёмную. Двери настежь, в своём кабинете в сигаретном дыму сидит и пишет что-то Копылов. Подняв голову, сказал: «Вы, Е.И., сегодня как-то по-английски исчезли с работы». Спросив разрешения войти, я выпалила ему всё услышанное по телефону. Он выслушал молча. Не задал ни одного вопроса. Налил в стакан воды, встал и подал мне (видимо, мои распухшие глаза и нос не оставили его равнодушным!). Сказал: «Подслушивать чужие разговоры неприлично». Я ответила, что вижу, как он работает – дни и ночи, спуски и подъёмы, БТА и РАТАН, приём потока посетителей, горы бумаг, приёмка объектов, научные семинары, постоянные командировки, заседания, совещания, и не только в САО, но и в Райкоме и Обкоме КПСС, всего не перечислить - и вдруг такие слова в его адрес, как «... днями не бывает на рабочем месте, отсиживается в своей берлоге...». Что сотни бумаг проходят через приёмную директора, почти всё это я читаю, регистрируя, что-то понимаю, что-то может быть и нет, но ощущаю, как старается весь коллектив – строители, монтажники, энергетики, техники, весь научный персонал – ускорить начало той работы, ради которой все мы здесь собрались со всех концов страны, что рассказала я всё это, чтобы ему было легче «держать оборону», зная, какая возня идёт у него в тылу. Впервые в тот вечер Иван Михеевич говорил со мной на равных, впервые рассказал мне многое касательно текущих дел, проблем, служебных отношений между нашими людьми. Сказал, что мне это по долгу службы даже полезно знать, но что мои корректность и доброжелательность должны оставаться всегда и для всех одинаковыми. После этого разговора «по душам» у нас с Иваном Михеевичем установились доверительные отношения на весь период нашей совместной работы. Мы подружились и с Раисой Николаевной, бывали друг у друга в гостях, часто отмечали вместе дни рождений и собирались на праздники. Я счастлива и горжусь этой дружбой, благодарю судьбу, что работала десятилетия рядом с такими замечательными старшими друзьями. Их советы в моей жизни всегда были своевременными и мудрыми. С Раисой Николаевной мы и сейчас переписываемся, перезваниваемся, а иногда удаётся даже встречаться. У нас всегда есть что рассказать друг другу, чем поделиться, о чём поговорить. Много хорошего сделала семья Копыловых для моей семьи и я искренне благодарна им за это.

Но выстоял коллектив, сотрудники САО во главе с И.М.Копыловым – Ю. Коровяковский, А. Фоменко, другие **подвижники** – довели до нужных пара-

метров ГЗ БТА. Работы на ЛЗОСе шли непрерывно. И совершенно неясно было – когда эти люди отдыхали, когда занимались какими-то ещё другими своими делами. В оптическом секторе идёт организация отделов, лабораторий, групп. За всем этим стоят люди, каждый со своими проблемами, своим характером, своим пониманием происходящего. И.М. Копылов старается вникать во все дела САО, в различные бытовые проблемы.

9 апреля 1975 года первые две семьи – Алексеевы и Рыжиковы – вселяются в выделенные им квартиры в доме №1, что в п.Нижний Архыз! И дальше каждый день грузовая машина САО везла и везла переселенцев из ст. Зеленчукской! Все устраивались. Квартиры, кабинеты, ясли – всё в одном доме! По вечерам – волейбол, изучение близлежащих окрестностей или благоустройство территории вокруг дома. В Архыз за грибами выезжали на автобусе САО семьями, с детьми, с перекусом. Так же ездили на море на 2-3 дня, в основном в п. Джубгу со своими палатками, с песенными кострами по вечерам, с общими обедами-котлами для всех, весело и дружно. Помню, как Иван Михеевич полупуштя-полусерьёзно потихоньку твердил мне – командиру санитарной дружины ГО САО, что: «не надо занимать первых мест в районных соревнованиях санитарных дружин ГО, ... а то зашлют вас всех в Черкесск, потом в Ставрополь, а как мы тут без вас?!». А мы смеялись, занимали 1-е места, ехали дальше, а потом ещё нас и премировали поездкой на море! А когда возвращалась через пару недель сандружина-победительница домой, все просили нас – 30 «девчат» (почти у всех по двое детей!), промаршировать в парадной форме мимо ЛК, с песней отряда и мы победители (вот смешные!), наряжались, маршировали и пели, а из всех окон всех этажей ЛК смотрели на нас смеющиеся лица приветствовавших нас САОвцев!

На оптическом телескопе начинаются рабочие испытания. Столько лет ожидавшие живого дела астрономы поднимаются на наблюдения. **Дождались!** Это так гордо звучало – «поднялись на наблюдения на БТА» или «они на наблюдениях на РАТАНе»!

9 мая 1975 года в квартирах дома № 1 праздновались долгожданные новоселья, а на БТА случилась страшная авария – рухнуло забрало купола башни БТА. И снова весь коллектив в шоке. Что же дальше? Какими могут быть последствия? Созданная АН СССР комиссия прибывает на телескоп – специалисты, знающие своё дело. Среди них и Б.К. Иоаннисиани – гл. конструктор БТА. Внимательно и неоднократно проводится осмотр телескопа, его основных узлов, Главного зеркала. Заседают, делают расчёты, спорят, что-то доказывают друг другу. После работы многих десятков людей (сотрудников САО, монтажников, наладчиков, членов комиссии) делаются выводы, что не так всё безысходно, как казалось сразу после аварии. Комиссия констатировала, что сам БТА и его основные узлы не пострадали. Предусмотренная при строительстве сейсмоустойчивость БТА до 9 баллов сберегла телескоп при ударе забрала о землю. Комиссией составлен план послеаварийных работ. Я слежу за прохождением всех документов, связанных с аварией, с трепетом и повышенным вниманием, вместе с девушками из машбюро мы стараемся без единой минуты задержки оформлять и отправлять адресатам все акты, протоколы, согласования и прочую документацию. Е.В.Рыжиков, начальник механо-энергетической

службы БТА (тогда только эта служба насчитывала около 30 человек), который был давно приглашён И.М.Копыловым «оставить скитания по геологическим партиям и работать на БТА, поскольку здесь он нужнее со своим высшим инженерно-техническим образованием и двумя подрастающими дома сыновьями»), был командирован в г. Москву, в Институт стали и сплавов с образцами металла в местах разрыва сварочных швов. Специалисты института делают вывод, что конкретной вины эксплуатационных служб телескопа в падении забрала нет. В акте было указано Тбилисскому авиазаводу на необходимость повышенного контроля качества сварочных швов на конструкциях нового забрала. Но директору Копылову, конечно же, досталось в первую очередь. Распоряжением ПАН СССР ему ставились в вину «серьёзные недостатки в технической эксплуатации объектов САО», указывалось на «необходимость наведения порядка в служебной документации САО...» и многое другое. В декабре 1975 года и ГЗ на телескоп установлено, и новое забрало, и наконец получены первые фото участков звёздного неба. Определился первый состав КТШТ, разрабатывается светоприёмная аппаратура. Заканчивает основные работы ЛОМО, и БТА передаётся на баланс САО с оценкой «отлично»! Я работаю помощником директора САО и каждый день как будто читаю продолжение удивительной книги, об удивительных делах и удивительных людях. Два крупнейших тогда в СССР и в мире телескопа живут, действуют, люди на них работают, решают задачи, делают открытия – исследуют космос. И я с грустью вспоминаю наши первые выезды на Нижнюю стройплощадку во главе с С.В. Рублёвым!...

В конце лета 1976 года коллектив САО АН СССР отпраздновал своё 10-летие!

Торжественная часть прошла в Доме культуры ст. Зеленчукской, с десятками поздравлений, начиная от АН СССР, наших и зарубежных обсерваторий, и заканчивая местными организациями. Мне поручили прочитать с трибуны праздничный приказ, огромный, с поздравлениями и премированием всех сотрудников по всем подразделениям, за что «перепало» потом директору от бдительных сотрудников РК КПСС. «Повыше чином никого не нашли праздничный приказ огласить?» – спросила 2-й секретарь РК КПСС И.Бобкова. Иван Михеевич сказал ей, что дело не в чине, а в правильной дикции и звонком голосе. Она укоризненно покачала головой. Потом, на природе, куда отправились мы на автобусах на заслуженный отдых, все потешались над этим «происшествием». «Издевались» надо мной, говорили, что высокое райкомовское начальство боялось, что ты ошибёшься вдруг и прочтёшь, например, не «машинист паровых котлов», а «машинист половых котлов»! Иван Михеевич сам был большой шутник и так искренне хохотал над этой шуткой! Гуляли весело, с песнями, с волейболом и футболом, с костром, шулюмом и шашлыками. С перетягиванием каната (транспортный цех победил научные подразделения!). С традиционным бегом в мешках – вот уж нахохотались вволю! Я принимала самое активное участие в организации празднества, в организации игр и соревнований. Все получили премии. Все были счастливы и пока ещё молоды! Тогда продолжали работать на горе бригады монтажников, наладчиков из Ленинграда, из Ростова. Мы пригласили их и они тоже праздновали с нами. Это был квалифицированный народ, знающий своё дело, не считающийся со вре-

менем и погодой. Они умели работать и умели отдыхать – петь, шутить, ходить по горам, сплаваться по рекам. Они оставляли надолго свои уютные квартиры, семьи, свои города и, живя здесь без привычного комфорта, героически трудились – собирали, строили, монтировали БГА и РАТАН-600, массу других объектов.

«Бессемейные, бесшабашные, в руки взяв небольшой чемодан,

Улетают лихие монтажники на высокие стройки, в туман»

– пели они о себе.

Коллектив все 80-е годы бурлит, работает по нарастающей. Сдаются один за другим объекты на ННП. Вступил в строй лабораторный корпус, корпус общего назначения (КОН). Появилось, наконец-то, место, где можно было собираться всем коллективом, устраивать вечера для детей и жителей посёлка, крупные форумы САО – коллоквиумы, симпозиумы, международные и все-союзные совещания. Заработал клуб, почти с двумя десятками кружков (!) для детей и взрослых. Первый новогодний бал в КОНе! А до этого праздновали мы Новый Год то в помещении нижней столовой, теперь разрушенной и заброшенной, то в недостроенном помещении почты, по дощечкам проходили туда, чтобы не рухнуть в яму, то в коридоре второго этажа ЛК – всё это было, было... И вот бал в КОНе! Мы пригласили и сотрудников СНО и сотрудников СУ САО, гостей из ст.Зеленчукской и из аула Архыз, из г. Черкесска и даже из г.Москвы. Собрался весь народ САО! С потрясающей выдумкой прошёл подготовленный парад маскарадных костюмов, с сияющей ёлкой посредине нового, нарядно украшенного Большого конференцзала. Играл **наш** первый эстрадный оркестр. А до этого мы перевозили все запакованные инструменты со склада СНО из ст.Зеленчукской. Инструменты и «одежда» для БКЗ были предусмотрены при строительстве для укомплектования КОНа. Всё было поставлено Центракадемнабом – черное сукно на окна. Временно! А потом должны были быть заказаны – занавес на сцену, занавеси на окна, расшитые серебряной и золотой нитью, представленные в САО в виде эскизов-картин. Эскиз занавеса на сцену БКЗ и сейчас красуется в холле 2 этажа, а на окна были предусмотрены 4 занавеса удивительной красоты, изображающие четыре времени года в астрономической греческой мифологии. Были все инструменты, начиная с рояля и заканчивая ударником. Три электрогитары – соло, бас и ритм, электронный клавишный инструмент «Ионика» и даже маракасы! Ночами распаковывали мы всё это на сцене БКЗ, тут же настраивали и начинали играть – Юра Антропов, Ваня Найдёнов, Витя Штоль, Валера Михайлов, Серёжа Моисеев, Наташа Перепелицына, другие неравнодушные и одержимые «музыканты». Мы уходили из КОНа в 3-4 часа ночи, а утром к 8 мчались на работу, так как опаздывать на работу в те времена было не принято. Иван Михеевич, поручив мне организовать на начальной стадии работу КОНа, сказал на прощанье слова: «Желаю Вам счастливо кувырнуться!... Как же я потом поняла и оценила это напутствие!... Но мы победили! За 4 месяца самоотверженных ночных репетиций подготовили несколько номеров приличного звучания и содержания плюс другие самодеятельные номера, которые народ наш встречал на бис и ура! С Гришей Бескиным днём мы мчались в Ставрополь в Краевой Драматический театр, выпрашивали там софиты, зеркала для балетного класса, костюмы, какой-

то крепёж и подставки. Гриша знал всё, что было нужно для приличной работы на сцене. Мы вылезали из их запасников в пыли и паутине, но счастливые, что нам отдают и то и другое и третье!...Тащили всё это в машину под недовольное «шипение» водителя. И так много раз. А как все танцевали, кружились в вальсах, нежились в танго, скакали в твистах и шейках! Сколько было талантов, азарта! А кружки для детей и взрослых?! Бальные танцы – бессменная Наташа Хорунжая, спортивная гимнастика – Таня Сомова, вязание и макраме – Олеся Орфинская, кукольный театр – Люба Захарова, фотография – Володя Романенко, астрономия – Женя Ченцов, Лена Барсукова, аэробика – Света Загорская, театр – Гриша Бескин, эстрадный оркестр – Юра Антропов, художественное слово – я, хор и вокал – Юра Смоляков, кройка и шитьё – Лариса Алексеева, картинг – Вася Удодов, горнолыжная спортивная секция – Лев Гвягянен, Юра Маметьев, гитара – Толя Бармин, секция стрельбы – Олег Георгиев. Уверена, что ещё не всё вспомнила! И все они работали бесплатно, азартно, успешно! И время от времени демонстрировали свои успехи всем жителям разрастающегося посёлка. Ещё с тех пор все полюбили так называемые «свои концерты художественной самодеятельности». Приглашённых артистов тоже любили. Даже С. Юрский приезжал по нашему приглашению с чтением стихов Пушкина, других классиков,! Но когда готовили концерты или спектакли своими силами – тут уж аншлаг! «Святая святых». А Друце (в постановке Гриши Бескина) – это просто шедевр на любительской сцене, так же как и капустники и КВН. Восторг! А сколько детей научил уметь и любить фотографировать Володя Романенко! Сам высокоталантливый фотограф, он делал это всегда бесплатно и чистосердечно. А какие спектакли позже ставил он, не считаясь со временем и даже со своим здоровьем! Какое же счастье, что всё это было, было! Всё это кратко, даже очень кратко, но всё же надеюсь, напомнила всем, что мы совсем недавно так вот жили! А ещё походы в горы, лыжные соревнования, поездки в ВДЦ «Орлёнок» детей и взрослых, приезды «орлят» к нам! Был заключён первый двусторонний «Творческий Договор между САО и «Орлёнком»» на 3 года (1977-80 гг.), подписанный руководством САО и «Орлёнка» и курировавшийся сначала Л.Пустильником, а потом более 20 лет мною. А со стороны «Орлёнка» – вначале С.Войновым, а далее – Л.Н.Филипповой. Договор продлевался и продлевался обеими сторонами. Десятки детей сотрудников САО съездили по пионерским путёвкам на прекрасные пляжи «Орлёнка», в замечательный лагерь, лучший в России. А САО выполняло различные технические работы для обсерватории «Орлёнка» с целью выделения для наших детей путёвок в лучшие месяцы, в лучшие дружины и по льготной стоимости.

А какие газеты выпускались к праздникам! Вспомните Володю Небелицко-го, который теребил всех, начиная с Ивана Михеевича, собирая материал в очередной уморительный «Лопус». И всё это после каждодневной работы, спусков и подъёмов на БТА, поездок на РАТАН и с РАТАНа. Но помимо того светлого, чем жил коллектив, была ещё и конфликтная сторона, потихоньку нарастающая, как снежный ком. Думается, что часть этого конфликта была обусловлена оторванностью от цивилизации, всё равно получалось, что жили мы замкнутыми на самих себя. С ростом коллектива растёт и зреет неудовольствие не только в профессиональной, но и в социальной сфере. Не хватает жилья, становится

тяжёлым элементарное материальное и продуктовое снабжение жителей посёлка. Очереди «по подъездам» и по «полкило в руки»! Копылов стоит с нами в очередях в битком набитом магазине и на предложение продавщицы подойти и купить без очереди всегда отвечает: «Нет, я постою. Я такой же, как все». Банки с молоком только для тех, у кого маленькие дети. Учёный народ «матерееет» и некоторые из всех сил стараются доказать директору, что его методы руководства и мировоззрение устарели, что надо давать дорогу молодым.

К тому времени уже пополнился коллектив такими достойными кадрами, как П.И Туполов., Вера Нагаева, «мать Тереза» для многих на Буково, человек кристальной чистоты и бескорыстия. Л.Т и В.И. Станкевичи, С.Н Додонов, С.Трушкин и Е. Майорова, А. Крупейченко и Е.И Морозова, благодаря которым служба времени РАТАНа работала без сбоев и проблем, что архиважно для наблюдателей. М.Мингалив, В. Кононов, Н. и Е. Нижельские, Серёжа Фабрика, Лидия Долина, возглавившая отдел снабжения, проводивший тогда громадную работу по снабжению САО самыми разнообразными материалами; Витя и Лариса Бычковы, Саша и Флёра Копыловы, Володя Комаров, Оля Швецова, приведшая наконец в полный порядок гостиницу, ЛК и столовую САО, Толя Ломакин, Серёжа Никитась, В.П Мелашенко, Гена Юрков, наш бессменный, всезнающий доктор (что бы мы вообще делали без него?!), Галя Коледа, Оля Неизвестная (и сейчас на переднем крае, в строю!), Володя и Валя Романенко, Люба Спангенберг, чей вклад своих знаний в печатную продукцию института трудно переоценить, Лена Фаас, Оля Курдюмова, «пчёлочка» наша бессменная, Таня Соколова, высокой и тонкой души человек, редкий эрудит, пока ещё не успевшая реализовать свои способности и феноменальную память; Люда Кузнецова, умница, красавица, спортсменка (и не комсомолка!); Валера Мурзин, Алексей Назаренко, в буквальном смысле мастер на все руки, Серёжа Драбек, Женя Перепелицын, Серёжа Маркелов, Серёжа Моисеев и другие талантливейшие инженеры. Кажется, что без таких ребят САО просто не состоялась бы! Нет, всех не перечислить! Книгу тогда надо писать! А книги должны писать писатели, а не помощники директора по организационной работе. Иван Михеевич собирался написать свои подробные воспоминания о рождении и жизни САО, да не успел...

Мне предложили написать воспоминания об Иване Михеевиче ко дню его 75-летия. Я написала, но расстаться с ними не смогла, не отдала в редакцию – и всё тут. Теперь предложили написать воспоминания к 40-летию САО, а я соединила и «первые» и «вторые» воспоминания. А как иначе? Я просто подумала – а ведь к 50-летию САО уже могу и не успеть? ...А кто ж тогда всё это напишет для народа **интересующегося?!** Вот и пишу, измучила себя воспоминаниями. Простите, кого не вспомнила. Простите, кого, может быть, ненароком обидела. Вот, что вспоминается, то и пишу, а вы напишите, как помните вы.

Вот какой замечательный народ пришёл в САО, делал и продолжает делать то великое, о чём мечтал коллектив примерно из 40 человек (но уже САО!) – в конце 60-х – начале 70-х гг.

В 1985 г. на смену Ивану Михеевичу пришёл новый директор САО Виктор Леонидович Афанасьев. А Иван Михеевич, все годы директорско-

организационной работы буквально тосковавший по научной работе, на которую практически почти никогда у него не оставалось времени, ушёл в неё с головой и энтузиазмом, всецело и увлечённо. Моральное состояние его было тяжёлым, но самообладание одержало верх и он никогда и никому не позволил унижить себя, снизить до «разборок». Мы знаем сейчас, а он знал уже тогда, что сделал всё от него зависящее, чтобы заработали БТА и РАТАН. Он пожертвовал любимой наукой, собой как исследователем, потому что все силы и время его ушли на создание и запуск в работу его детищ – Больших Телескопов.

Зимой 1988 года И.М. Копылов с семьёй уезжает из САО... Многие, кто глубоко уважали его и Раису Николаевну, пришли к ним домой буквально в момент отъезда, принесли с собой какое-то угощение к чаю, быстро организовали стол. Стульев уже не было, за исключением нескольких, и все, кто пришёл, посидели-постояли на прощанье, договорившись не держать лица «постными», а глаза мокрыми. Вот передо мной эта фотография!... Да, мы все улыбаемся. А хочется плакать. Сквозь улыбки светится грусть и какой-то азарт несогласия. В Санкт-Петербурге он работает в ГАО, уважаем, загружен научной работой, востребован в полную силу. А 29 июля 2000 года его не стало. Ещё одна невосполнимая утрата для науки астрофизики, для семьи, для многих САОвцев...

Последняя наша встреча с Иваном Михеевичем произошла у них дома, в Санкт-Петербурге. Я отправилась в командировку с группой сотрудников САО для ведения некоторых организационных дел. Допоздна заседал Совет по защита́м, а по его окончании меня и Ивана Михеевича отвёз прямо к дому, где живут Копыловы, Саша Ипатов. Раиса Николаевна и Леночка (их дочь) уже дважды разогревали ужин, ожидая нас. И вот мы сидим втроём (Лена, поужинав, ушла спать) и не можем наговориться. Обо всём, обо всём... Мы были дружны более четверти века и нам было о чём поговорить. Двенадцать ночи, час, два, три... Иван Михеевич уходит спать, ему к 9 утра в Пулковку на очередное заседание Совета. И прощальный раз, выглянув из-за двери спальни со своей обаятельной хитренькой улыбкой, говорит: «Вы тут не шепчитесь, а то я буду прислушиваться! Разговаривайте громко. Спокойного остатка ночи вам, милые дамы». И закрыл дверь. Это была его последняя улыбка, последний взгляд, последняя забота. Мы с Раисой Николаевной улеглись после 4-х утра и я не слышала, как ушёл на работу Иван Михеевич. Это было в октябре 1998 года.

В следующий мой приезд в г. Санкт-Петербург, в сентябре 2002 года, я стояла на Пулковской горе, склонившись к памятнику «Основателю и первому директору САО РАН», глотая слёзы, а от жёлтых хризантем поднимался горький аромат горькой утраты.

«... Души не заживающий ожог.
Рыдать устал над мёртвыми рожок...»
(А. Городницкий).

Итак, с апреля 1985 г. по март 1993 г. В.Л. Афанасьев выкладывается на посту директора САО «по полной программе»! Новый директор непонятно когда отдыхает. Его работоспособность не знает границ. Он стрелой носится по эта-

жам ЛК, по кабинету, по БТА и РАТАН-600, по механическим мастерским, гаражу, хоздворам. По командировкам зарубежным и союзным, по конференциям, совещаниям и собраниям. Я и то зачастую не могу пробиться к нему с какой-то важной бумагой или сообщением. Я уйду вечером с работы – он усаживается за бумаги и компьютер, просит поставить чайник, прихожу утром на работу – он уже здесь и чайник закипает! И так круглосуточно и круглогодично! Новая метла по-новому метёт. Много полезного сделал на своём посту Виктор Леонидович. Но лес рубят – щепки летят. А он и мёл по-новому и рубил смело... И щепки часто бумерангом летели обратно и прямо в лоб рубившему. И Дж. Степанян уже был приглашён на должность зама по науке, и другие перестановки сделаны. Но научный коллектив не утихомиривался. Думаю, об этом может быть, напишет кто-либо другой (для полноты картины движения коллектива вперёд – или назад), а я расскажу о том времени только со своей позиции, так будет этичнее. Ведь мы пока все – вот они.

Ещё нельзя не рассказать, что во все времена существования САО мы никогда не забывали своих пенсионеров и ветеранов труда и ВОВ. И первый и второй директор всегда поддерживали нас, организаторов этого нужного и доброго дела. Я, как помощник директора по организационным вопросам, всегда считала своим долгом организовать поздравление наших пенсионеров, ветеранов с юбилеями, с праздниками. Совместно с ОК, с профкомом мы приглашали их – Н.Ф.Харламову, В.А.Шалдырвана, М.Т.Удовицкого, Т.В.Леонову, Н.А.Костину, Н.Г.Ивахненко, многих других бывших наших сотрудников, на подготовленные вечера в честь 8 марта, и 23 февраля, Новый Год и уж особенно 1 и 9 мая. Они приезжали к нам, мы рассказывали им новости САО, угощали чаем, показывали концерты. Расспрашивали об их делах, рассказывали о наших новостях. Потом отвозили домой в ст.Зеленчукскую, счастливых и возбуждённых, верящих, что – они **наши**, САОвцы. А когда им трудно стало ездить к нам, мы сами собирались по 6-8 человек и обязательно ехали поздравлять их с круглыми датами-юбилеями, с 9 мая – с подарками, цветами, новыми фото САО. Надо было видеть, как они ждали и встречали нас! Сколько счастья было в их стариковских глазах. Как они расспрашивали обо всех, кого помнили, как всё им было о нас интересно!

А тут и 20-летие САО подоспело. С Джеваном и Абдуллахом мы искали самое красивое во всей округе место. Меня угораздило тогда сильно простыть. Принять участие в подготовительных мероприятиях я ещё успела, а вот в самом праздновании уже не получилось. Друзья рассказывали мне о нем по очереди, приходя проведать «почти захолонувшую» подругу, по выражению А.Антиповой. Говорили, что было весело и многолюдно. Праздновали на длинной поляне на левом берегу Зеленчука, в направлении Архыза. Гуляли с песнями, с раскатами хохота над переворачивающимися в воду Зеленчука облегчающимися флягами с вином, которые тут же снова становились полными! И из них снова так же с удовольствием черпали ковшом и пили! Жаль, что фильма никто не снял о праздновании 20-летия. А вот о 30-летию фильм есть, хоть и любительский, но представление составить можно. Людочка Кузнецова сняла, умница, спасибо ей. Об этом, возможно, позже. Не прошло и трёх лет, как Виктор Леонидович в один из вечеров (по заведённой им привычке), усев-

шись по окончании рабочего дня в приёмной в кресло напротив меня, чтобы поговорить о делах текущих и о делах предстоящих, пооткровенничал, что «...побыв в шкуре директора, на многое посмотрел другими глазами, многое увидел совсем в ином свете и даже Копылова понял как бы с другой стороны».

Юрий Юрьевич Балега пришёл в директорство весной 1993 года. Молодой, довольно уверенный и знающий, что надо делать в первую очередь, во вторую, завтра, послезавтра. Несколько лет он был комсомольским вожаком в САО, с активной жизненной позицией, весёлый, коммуникабельный, талантливый и работоспособный сотрудник, примерный семьянин. Страсти стали стихать. 90-е годы. Коллектив опять «выстроился» единым фронтом под его руководством и начал «выдавать» слаженную, продуктивную работу. Юрий Юрьевич вёл директорскую политику умно и перспективно, несмотря на тяжёлые перестроечные годы, доставшиеся на его долю, когда очередное финансирование надо было не ждать из ПФУ РАН, а «выбивать»; дела не решать, а «разруливать»; нужные для БТА и РАТАНа материалы не получать из Центракадемнаба по заранее оформленным заявкам, а «доставать», причём где угодно и как угодно, а необходимых людей не выбирать и назначать, а «раскручивать».

А 30-летие САО отметили в октябре 1996 года с русским размахом! Командовали продовольственной частью и кострами – Дж. А. Степанян и А. Ч. Узденов, идеологической – Ю.Ю.Балега, организационно-художественной – я, транспорт – А.Ф.Канахин и Надя Самойленко и т. д. После торжественной части в КОНе, после добрых, нужных, умных слов и награждений, все прыгнули в автобусы и умчались на большую, удивительной красоты поляну, что расположена за дальним храмом возле пробковой рощи. Ах, какая там была красота! Осень! Буки «пылают» огненным светом. Всё САО и весь РАТАН – в сборе! С нами дорогие гости – все члены КТШТ и Спец. совета по защитам – Копылов, Хачикян, Гнедин, Варшалович, Гаген-Торн, Афанасьев, Парийский, другие мужи – профессора, академики, член-корр. У всех отличное настроение, отличная погода. Срываю голос, зачитываю поздравления из «Орленка» на всю поляну, чтоб слышно было, так как поздравления только что передали и мы не смогли провозгласить их в КОНе. «Орлятская» бутылка шампанского плывёт над протянутыми бокалам и хоть по кусочку «пены морской» в каждый бокал!

Да здравствует САО РАН, да здравствуем мы, да здравствует дружба, да здравствует небо!

Весельчак Кутепов (командированный на РАТАН-600) разворачивает баян и некогда бежать за шашлыками! Поем песни, они сменяют одна другую, договор – не повторяться! Вот это хор! Другие играют в волейбол, третьи заползли в кусты и уже хотят отдохнуть! Другие помчались в речку освежиться. Третьи играют в футбол. Руководство разных рангов САО и не САО уселось на полянке, говорят о делах, о веселящихся людях, о том, что вот и тридцатник и время летит, но мы на плаву, на весу, работаем, дышим, живём, изучаем!

Удалось тридцатилетие САО РАН! Все довольны, многие премированы, многие награждены.

А тех, кто о чём-то ворчал, как-то никто и не расслышал – не до того было! Но уже не такие молодые и не все, кто был на 10 и 20-летия, возвращались с праздника домой в автобусах САО...

«Воды немало с тех пор ушло,
Сверкает башня дюраль-стекло!
Лежит лениво РАТАНа круг,
Посёлок вырос, где рос лишь бук!»

(Из самодеятельных песен 80-х)

И вот на подходе **сорокалетие** САО РАН. Ай да молодцы! Мы всё ещё вместе!. Но уже с оговоркой, примерно так, как у Александра Галича: «Все улицы **как-будто** стали краше! И Солнце **как-бы** входит в каждый дом! Сегодня все трудящиеся наши и не наши, испытывают радостный подъём!». Но нам, наверное, лучше, чем многим и многим. Недаром же к нам со всех сторон едут набираться сил, отдохнуть!

КАК ПАДАЛО ЗАБРАЛО

А. Ф. Максимов

9 мая 1975 года советский народ праздновал 30-летие Победы в Великой Отечественной войне. Однако судьбе было угодно "привязать" светлую дату в истории нашей страны к драматическим событиям, случившимся на верхней научной площадке обсерватории, там, где установлен БТА.

В ту пору начался период пробной эксплуатации крупнейшего в мире оптического телескопа. Этот могучий инструмент уже был снабжен 6-метровым зеркалом, на метр большим, чем его американский собрат, почти четверть века не знавший конкуренции. Итак, 9 мая 1975 года я, тогда еще совсем молодой инженер АСУ БТА, приступил к своим обычным обязанностям на центральном пульте управления телескопа (ЦПУ). Хотя обязанности эти были почти чисто операторскими, мы, «асушники», как нас обзывали другие сотрудники, не любили, когда нам приклеивали ярлык оператора, предпочитая гордое звание инженера.

В мае ночи становятся короткими, и наблюдения начинаются около 8-9 часов вечера. К этому времени уже заканчиваются профилактические работы на телескопе, и наблюдатели занимают свои рабочие места, готовясь провести ночь наедине с небом. Интересным местом в те далекие времена была кабина первичного фокуса БТА, для краткости названная «стаканом». Наблюдатель втискивался туда вместе с аппаратурой, тулупами, подстилками и даже умудрялся прихватить с собой термос с горячим чаем. Высидеть там всю ночь, особенно если это была длинная, зимняя, морозная ночь, было делом непростым, учитывая, что стакан не отапливался, а чая старались пить как можно меньше по известным причинам. Но в обсерватории всегда были люди, не считавшие за подвиг из ночи в ночь, неделями просиживать в «стакане», чтобы получить нужные результаты. Не все результаты тогда были сугубо научными. Шла интенсивная работа по отладке системы управления телескопа, проверке качества оптики, настройке основных узлов и механизмов купола. В тот вечер к наблюдениям готовился Виктор Афанасьев – уже в то время один из опытнейших астрономов обсерватории. Дав команду дежурной смене на начало наблюдений, он не спеша забрался в стакан и с предвкушением, сродни чувству охотника перед охотой, начал готовить аппаратуру к наблюдениям.

А тем временем совсем молодой старший лаборант группы астроклимата Юрий Балега в нескольких метрах от застекленного помещения ЦПУ в подкупольном пространстве готовил свой небольшой телескоп к работе. В то время регистрация астроклиматических параметров велась с особой тщательностью. Для определения качества изображений перед наблюдениями использовались независимые методы и различные инструменты. В обязанности сотрудника астроклимата также входили измерения метеопараметров: давления, наружной и внутренней температуры, влажности и пр. Ю.Балега, привычно мурлыкая под

нос «Yesterday», крутил ручки моста сопротивлений и записывал показания индикаторов.

А тем временем его молодая жена Илдико Балега (со дня их свадьбы прошло менее трех месяцев), всюду его сопровождавшая, на этот раз решила оставить мужа одного и зайти в помещение ЦПУ полюбоваться величественным процессом открытия забрала.

Тогда все манипуляции с куполом, забралом и шторой проводились из помещения ЦПУ.

А поскольку автоматизированное управление еще не было отлажено, часто возникали нештатные ситуации. Решались они различными способами, вплоть до применения «приборов», против которых нет приема. Поэтому во время начала наблюдений дежурный электрик и механик должны были находиться в подкупольном пространстве. Но в тот вечер никаких неприятностей не возникало, и электрик Иван Братчиков, стаж работы которого был всего три месяца, просто стоял на верхнем ярусе подкупольного, облокотившись на перила.

Дежурный механик Виктор Запорожец, сделав обход помещений системы маслопитания, собирался подняться в подкупольное пространство. Смена воензированной охраны башни из двух человек начала подготовку к сытному ужину.

А тем временем вся огромная страна уже сидела за праздничным столом и наблюдала салют в честь 30-й годовщины Великой победы. Поднимались тосты и в нашем строящемся поселке на нижней научной площадке. Обитатели восьмиквартирного дома и гостиницы на верхней научной площадке, в большинстве своем работавшие непосредственно в башне телескопа, тоже приступили к празднованию.

Итак, в 21:10 мною была получена команда на открытие забрала. Надо отметить, что эта подвижная часть купола представляет собой довольно простую конструкцию. По рельсовым путям, проложенным на опорных фермах купола, вдоль широкой одиннадцатиметровой щели двигаются катки, прикрепленные к металлоконструкциям забрала. Своей передней частью забрало жестко соединено с несущей балкой, которая, в свою очередь, связана цепной передачей с редукторами привода. Вот эта балка и таскает туда-сюда по куполу всё забрало.

В 21:15 я нажал кнопку «Открыть» на пульте и вся 33-тонная масса металла двинулась вверх. Процесс открытия обычно занимает около пяти минут, включая прохождение зоны торможения. Всю эту величественную картину открывания рукотворного ока во Вселенную лучше всего наблюдать непосредственно из подкупольного пространства. Дополненное шумом вращающихся двигателей и скрежетом металла зрелище завораживает и остается в памяти на долгие годы. Вот так и стояли некоторые из нас в тот вечер, задрав головы, и безмятежно смотрели на все более увеличивающуюся полосу вечернего неба. Любоваться оставалось три минуты.

На часах 21:18. В этот момент раздается звук, похожий на звук рвущейся плотной бумаги. И рывок, как будто кто-то слегка дернул купол. Через пару секунд все повторилось, но с уже более сильным эффектом. Еще доля секунды – и

нижний срез забрала с невероятной скоростью исчезает за куполом. А затем – грохот!!! Створки купола заходили ходуном, как будто были сделаны не из стали, а из мягкой жести. Остекление центрального пульта вибрировало с огромной амплитудой. Пол же только слегка задрожал. Я дернулся на правую половину пульта, где находилась клавиша аварийного отключения питания. Слабо понимал происходящее, в голове было только одно желание – поскорее нажать эту клавишу. Нажал. Освещение пульта вырубилось, но с ним пришло осознание того, что этим делу уже не поможешь, и случилось что-то ужасное. К этому времени наступила полная гнетущая тишина.

Оглянувшись, я увидел округленные глаза Илдико и уже слабо контролируя себя, сказал:

- Ну всё! П.....ц!!!

В то время с русским у Илдико были большие проблемы (она наполовину венгерка) и впоследствии, на допросе у следователя, когда ее спрашивали о действиях оператора на ЦПУ, она никак не могла объяснить смысл сказанной им фразы.

В помещение влетает Ю. Балага, с юмором у него всегда было в порядке, и спрашивает:

- Что – открылись?

Хотя сам уже понимает весь трагизм происходящего.

Начинаем соображать, какие первые шаги надо делать. Конечно, надо звонить директору. Лезут дурацкие мысли:

- Все же еще за столом... Только что салют отгремел... У нас тоже!... Не успели еще рюмки на стол поставить... Посторонние на ЦПУ... Вломают по первое число... Может, уже тюрьма... Но телескоп, похоже, цел...

Входит В.Афанасьев.

- Что у вас здесь происходит, какой-то шум, я сидел в кабине. Что это было? – спрашивает он.

Мы показываем ему на купол – забрала-то нет. Он мрачно заключает:

- Тогда мы все накрылись медным тазом. Звони Копылову.

Я беру трубку и набираю номер телефона в квартире И.М. Копылова. На другом конце линии, как я и ожидал, слышна музыка, смех и веселый голос Ивана Михеевича:

- Да, я слушаю.

Дрожащим голосом я говорю:

- Иван Михеевич, Вас, конечно, с праздником, но у нас, по-моему, забрало упало???

В ответ очень долгое молчание, потом вопрос: -

- Повторите еще раз, что у вас случилось?

Я начинаю путано объяснять ситуацию и слышу в ответ короткие гудки. Кладу трубку. Через минуту звонок и совсем другой голос Копылова уже без музыкального сопровождения:

- Объясните еще раз внятно и толково, что произошло в башне БТА?

Тут уже я собрался и коротко доложил о случившемся.

- Вы уверены, что забрало все-таки упало? Что Вы видите?

- – спрашивает он.

Я отвечаю, что слышал сильный грохот, среза забрала под куполом не видно, посредине щели видна опорная балка... И тут до меня начинает доходить, что же на самом деле произошло. Раз балка на месте – это означает, что после прохождения точки равновесия, когда балка перестает толкать перед собой забрало и оно повисает на ней, произошел отрыв и надежды на то, что забрало осталось на куполе, уже нет и на земле валяется искореженная груда металла. Эти мысли, как обычно пишут, вихрем пронеслись в голове.

- Неужели жертвы?

Как бы читая мои мысли, Иван Михеевич спрашивает:

- Пострадавшие есть? Что с телескопом?

- По поводу пострадавших ничего не могу сказать, с телескопом вроде бы все в порядке.

- Вроде бы – или в порядке? – с раздражением спрашивает он.

- Ну я не вижу внешних повреждений.

- Все оставайтесь на местах, в башню никого не впускать и из башни не выпускать, – дает он распоряжения.

На ЦПУ прибегает запыхавшийся В.Запорожец. Он искал дежурного электрика и нигде не мог его найти. С момента происшествия прошло уже минут двадцать. Как потом выяснилось, И. Братчиков настолько был ошеломлен увиденным, что не стал искать лестницу, соскочил с четырехметрового верхнего яруса подкупольного, как будто того и не существовало, и уединился в машинном зале на первом этаже башни.

Я с Балегами спустился на первый этаж. В нос ударил запах свежесваренного борща. На мраморном полу вестибюля виднелась огромная багровая лужа с остатками капусты и кусочками мяса. Подумалось – только бы без жертв. Но с этим было все нормально. Просто один из охранников в момент удара нес кастрюлю с борщом своему напарнику и слабо помнит, когда он выпустил ее из рук. Второму повезло еще больше. За минуту до падения забрала он встал с кушетки около окна, на которой он обычно лежа смотрел телевизор, и сел за обеденный стол в глубине комнаты. А через минуту кушетку расплющило как спичечный коробок. Мы вошли в комнату охраны. Обалдевшие и еще не оправившиеся от шока охранники начали спрашивать нас, что происходит. Окна на одной из четырех стен в комнате не было. Вместо него торчали согнутые в три погибели обломки металлических уголков. Мы передали охране распоряжение директора, а сами вышли из башни.

Открывшаяся картина еще более поразила нас. На земле лежала огромная груда алюминиевых панелей вперемешку с искореженными металлоконструкциями, чем-то напоминающая положенную на бок букву «М» на ресторанах «McDonald's». Ничего похожего на забрало. Изредка раздавался сильный скрежет – происходила усадка металла.

Со слов охраны, никто перед этим из башни не выходил и никакого движения вблизи замечено не было. Это уменьшало вероятность того, что кого-то придавило обломками. Но было страшно представить, чем бы это могло кончиться, если бы все произошло днем, когда вокруг гуляла масса экскурсантов и прочего люда.

Снизу послышался шум подъезжающей машины. Из нее вышло несколько человек во главе с И.М. Копыловым. Никому ни слова не говоря, он подошел к груде металла и стал взбираться по обломкам наверх. Металл угрожающе лязгнул и алюминиевые панели резко просели.

- Иван Михеевич – назад!!! – закричали все.

Но он упорно лез наверх, как бы желая воочию убедиться, что все это не сон, и сегодня День победы, и все так нелепо.

Наконец он остановился, присел, посидел с минуту и начал спускаться.

Ко мне подошел Геннадий Ласкин, бывший в ту пору моим непосредственным начальником.

- Ну что, сухари уже сушишь!?

- Да я вроде бы все делал по инструкции, профилактику провел, никаких замечаний не было – ответил я.

- Журнал осмотра на месте? Электрики и механики расписались?

- Да, все подписи есть.

- Ты балку-то видел, где отрыв произошел, знаешь?

- Да вон она висит, посередине.

- Ну тогда можешь успокоиться, твоей вины здесь нет. Но нервы, конечно, помутят.

И словно в подтверждение его слов темноту осветили фары нескольких машин. Из первой важно вышли несколько сотрудников Зеленчукского КГБ в штатском. В других машинах приехали ребята из «Южстальконструкции» и ЛО «Гипронию». Башня постепенно начала заполняться людьми. Время подходило к полуночи. Кончался день 30-й годовщины Победы.

Начиналась длинная ночь заседаний, допросов, объяснительных записок. В директорском кабинете на первом этаже расположился штаб по чрезвычайным ситуациям. Там сначала было проведено общее заседание, затем стали приглашать всех, кто находился в башне в момент падения. Все были обязаны написать объяснительные записки, кто и где находился, что делал, с кем разговаривал и т.д. Начались допросы свидетелей. Представителей органов в первую очередь интересовал вопрос: как это могло случиться именно во время салюта. Привычного сейчас слова «теракт» в употреблении еще не было. Но о возможном вредительстве говорили повсюду. Три раза я побывал в кабинете на беседе, если сказать мягко. Во всей этой кутерьме и прошла первая бессонная ночь.

К утру удалось выяснить, что в работе системы управления, приводов, системы энергоснабжения никаких нарушений не было, и причиной падения забрала явились трещины в сварных швах, соединявших опорную балку с самой конструкцией. А уж почему появились эти трещины, помогли выяснить дальнейшие исследования с помощью специализированного оборудования. Основной причиной была некачественная проварка швов соединения. Нарекания были и в адрес отдела технической эксплуатации. В то время автоматика управления была очень несовершенной, и забрало несколько раз «грохали» об козырек купола. Это, конечно, не способствовало упрочнению конструкции.

Наступил день. Была проведена проверка работоспособности телескопа. Как выяснилось, падение забрала никак не сказалось на его работе, все системы работали без сбоев.

Но телескоп оказался совершенно беззащитным перед природными катаклизмами.

Как хорошо известно из многолетних наблюдений, май – это месяц, когда начинается сезон дождей. К середине дня скапливаются тучи, затем все это выливается, иногда с градом, а вечером опять светит солнце. Теперь купол закрывал только часть пространства над телескопом. В куполе зияла огромная, ничем не прикрытая щель. Если бы в эту щель хлынул дождь, можно было бы представить, что произойдет с поверхностью зеркала, механизмами и высокоточной аппаратурой, расположенной на телескопе.

Поэтому встала задача, каким образом с первого же дня защитить подкупольное пространство от проникновения влаги. Было решено до изготовления нового забрала на Тбилисском авиационном заводе закрыть щель в куполе временными панелями. Но на доставку панелей уйдет несколько дней. А дожди идут каждый день с нарастающей интенсивностью.

В создавшейся ситуациигодились альпинистские навыки наших сотрудников.

Во главе с Рамазаном Тлисовым – в то время начальником группы астроклимата – была создана бригада, задачей которой было – растянуть над телескопом брезент. В бригаду вошли Г. Алексеев, В. Афанасьев, Ю. Балег, В. Федоров и еще несколько человек, которые самоотверженно трудились на 30-метровой высоте и к середине дня обеспечили более-менее эффективную защиту телескопа. Но дождю все-таки удалось проникнуть в подкупольное. Огромные массы воды скапливались в провисшем брезенте и ее нужно было куда-то выливать. Наверху под проливным дождем и в свете сверкающих молний ребята в обвязках старались вылить воду из брезента за ограждение забрала. Внизу сновали люди с ведрами, тряпками ловили непокорные струи, не давая им заливать оборудование. Картина была достойна кисти сюрреалиста. Так продолжалось несколько дней, пока наконец не начали завозить панели, и рабочие «Южстальконструкции» прямо с панелевозов приваривали их к куполу.

Несколько месяцев телескоп находился под саркофагом из алюминиевых листов и не выходил на небо. Новое забрало собиралось тут же на площадке перед башней и по частям монтировалось на куполе. Особое внимание было уделено узлу крепления его к несущей балке. Это место было усилено дополнительными «косынками» и швеллерами. Наконец, осенью, прошли испытания забрала и на телескопе вновь возобновились наблюдения.

Так закончилась эта эпопея – один из самых ярких и драматических эпизодов в моей жизни. Это был единственный случай, когда мне пришлось не спать три ночи подряд и, конечно, он запомнился мне навсегда.

ТРИ ЭПИЗОДА ИЗ РАННЕЙ ИСТОРИИ СПЕЦИАЛЬНОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

И. И. Романюк

Автор этой заметки был зачислен в штат Специальной астрофизической обсерватории АН СССР более 30-ти лет назад – 1 июля 1975 г. Он с Ю.В. Глаголевским 2 января 1977 г. провел первые штатные наблюдения на БТА согласно официальному расписанию. Поэтому претензии автора на написание небольших мемуаров, надеюсь, имеют под собой объективный фундамент.

События 30-летней давности постепенно уходят из памяти, стираются. Приходит осознание того, что история обсерватории, частью которой являешься Ты, забывается. Мир значительно изменился за эти годы, исчезло с карты мира наше государство СССР, в котором отношение к науке и к научным работникам было совсем другим, чем в наше время. Считаю необходимым хоть в какой-то мере описать нашу прошлую жизнь, может быть, будет польза новому поколению астрономов, работающих на 6-м телескопе, который еще долго будет оставаться крупнейшим в России.

Эпизод 1. "Слава КПСС"

В конце июня 1975 г. директор САО АН СССР Иван Михеевич Копылов принимал меня на работу. Обсудили почти все вопросы, и под конец разговора он мне сказал: "Вы будете жить в Славе КПСС". Увидев мои вытаращенные от изумления глаза, он улыбнулся и объяснил, что в САО на Верхней научной площадке (ВНП, там, где БТА) есть 3 дома, на крыше каждого написан лозунг. Моим будет тот, который он указал. Кроме Верхней, была и Нижняя научная площадка (ННП, т.е. Буково). На Буково уже был сдан первый дом, в котором несколько квартир были заняты под общежитие, но предполагалось, что я буду работать на БТА, и жить возле телескопа было удобнее.

На ВНП САО недалеко от БТА было 3 кирпичных одноэтажных дома-барака, покрытые шифером. На крыше каждого краской был выведен один из лозунгов: "Слава Науке", "Слава КПСС" и "Слава строителям". В "Славе науке" было бюро приборов, в "Славе строителям" размещалась столовая. Надо сказать, что наиболее благоустроенным был наш – в нем была проведена вода, впрочем, «удобства» были на улице. Он был самым большим, и в нем было общежитие. Но несколько помещений были служебными. В одном из них делали магнитометр с интерферометром Фабри-Перо для 6-м телескопа, и мне было удобно приходить на работу, не выходя из помещения. Кроме указанных трех "Слав", на верхней площадке, уже дальше от БТА, были еще несколько домиков, которые получили название "Шанхай", вероятно, потому, что были наименее благоустроенными из всех на ВНП.

Сильнейший зимний ветер через щели в окнах продувал "Славу КПСС" насквозь; неоднократно утром, вылезая из-под трех одеял, обнаруживал на себе

снег. Тем не менее, вода не перемерзала даже зимой, чего нельзя сказать о соседнем "Шанхае". Брать воду соседи приходили к нам. Самыми благоустроенными на ВВП были двухэтажные здания гостиницы и 8-квартирного дома. В последнем жили, в основном, специалисты из ЛОМО.

Все так привыкли говорить – я живу в "Славе КПСС", что не замечали явную несуразность этого выражения. Как я уже писал выше – его употреблял даже директор САО. Следует отметить, что в идеологическом смысле в САО царил очень свободная обстановка. Партийная организация, которая существовала, естественно, идеологически не "давила" жизнь в обсерватории. Думаю, что в этом большая заслуга директора И.М. Копылова.

Время, о котором я говорю, было знаковым в истории обсерватории – как раз за пару месяцев до моего появления в САО строителями был сдан в эксплуатацию первый дом на ННП и многие семьи, занимавшие ранее гостиницу и 8-квартирный дом на ВВП, получили жилье на Буково. Массовые переселения в новые квартиры происходили во время майских праздников 1975 г.

Надо же было такому случиться, что 9 мая в 9 вечера при открывании забрало рухнуло на землю. Поскольку это случилось как раз тогда, когда в Москве происходил праздничный салют по поводу 30-летия Победы, разговоры, что это диверсия, долго бродили среди сотрудников. Насколько мне известно, никто из сотрудников САО виновным назван не был, комиссия установила заводской дефект в самой конструкции, и к осени забрало было восстановлено.

Жизнь протекала бурно, все были полны энтузиазма. Кроме работы было еще одно увлечение – все ходили в горы. Государственной границы тогда еще не было, поэтому места для походов было предостаточно.

Эпизод 2. Баграт Константинович

Сотрудники ЛОМО (или Ломы – как мы их называли) жили в восьмиквартирном доме. Но Главный Конструктор – Баграт Константинович Иоаннисиани – имел свой личный номер в гостинице. Уже не помню почему, но освобонилось место в восьмиквартирном доме и весной 1976 г. я с удовольствием принял предложение о переселении туда: третьим в квартиру к Володе Небелицкому и Саше Максимову. Бытовые условия в этом доме были несравненно лучше, чем в "Славе КПСС".

Володя был очень начитанным, интересным в общении человеком, любил горы и разные путешествия. К сожалению, он очень рано умер; уверен, что он сделал бы много для отечественной астрономии. Небелицкий был коренным питерцем, закончил Ленинградский университет и к нему, как земляку, любил захаживать в гости Баграт Константинович. В те годы, когда был всеобщий дефицит всего, Володя умудрялся доставать где-то хороший чай, и Баграт Константинович приходил к нему на чаепитие.

Он был у нас в квартире много раз, и я рад, что судьба позволила мне познакомиться с этим интеллигентнейшим человеком. Какой это был разительный контраст с работягами из ЛОМО, которые, чего греха таить, – и выпить могли достаточно, и скандалить... Тем не менее, уважение к Баграту среди работяг было сильно выраженное.

Наша первая встреча показала, насколько тесен наш мир. А произошло все так. Однажды, ранней весной 1976 г. Баграт Константинович пришел на чай к Небелицкому и увидел новенького.

Мы разговорились и вдруг оказалось, что мы могли видеться и раньше. Когда он узнал, что я родом из Закарпатья, сказал, что раньше (до начала монтажных работ на БТА) часто ездил отдыхать в Карпаты летом и останавливался в селе Деловое у хорошего человека Ангела Корадини. Я чуть не подскочил – в Деловом я заканчивал среднюю школу, а Ангела Корадини знали все, так как он был единственным парикмахером на всю округу. Он был по происхождению итальянцем, его предки в середине 19 века строили железнодорожные тоннели в Карпатах. У Корадини был большой дом и он часто сдавал жилье туристам, которых тогда в Карпатах было полно. Возможно, среди них я мог видеть и Баграта Константиновича, но кто тогда знал...

Когда я спросил еле живым голосом – не у парикмахера-ли Корадини он жил, то в свою очередь крайне удивился Главный конструктор БТА. Так мы нашли общих знакомых. Баграт (так за глаза все его называли) сказал, что он получил "Волгу" за 2.6-м телескоп ЗТШ Крымской обсерватории и с середины шестидесятых до начала активных работ по монтажу БТА (т.е. около 10 лет) ежегодно приезжал из Ленинграда в Деловое с семьей на машине, ему очень нравились мягкая природа и чистый воздух Карпат.

На чаепитиях у Небелицкого Баграт Константинович рассказывал очень много о том, как возник проект БТА, о роли и вкладе разных личностей и организаций, о том, как идет дело. Одним из болезненных вопросов был – кто и как выбирал место для установки БТА. Все видели, что в САО часто идут дожди и погода далека от наблюдающейся в лучших по астроклимату местах в мире. Мы и спрашивали Баграта – почему крупнейший в мире телескоп не поставили в Средней Азии – ведь слава такого места, как Майданак, уже гремела по всему Союзу.

Начальство нам говорило, что официальные причины – экономические (отсутствие дорог в Средней Азии, тяжелое положение с квалифицированными кадрами) + пыльные бури и сейсмическая опасность. Недавнее сильнейшее Ташкентское землетрясение вроде бы подтверждало правоту тех, кто принимал решение. Но Баграт откровенно нам рассказывал, что все эти проблемы были решаемы, за исключением одной – А.Н. Косыгин дал указание – телескоп должен быть построен на территории Российской Федерации. И Б.К. не мог понять – почему. А лучшего места, чем наше, на территории России не нашли.

Мы, конечно, негодовали по поводу этих политиканов и бюрократов из Правительства, которые ни фиги не понимают и в угоду какой-то непонятной политике загнали крупнейший в мире телескоп в посредственное место. Но жизнь показала, что по большому счету прав-то оказался А.Н. Косыгин. Россия теперь не имела бы крупного телескопа, будь он построен в Средней Азии.

И возникает вопрос – неужели наши правители знали или предчувствовали, что Союз может развалиться – еще за четверть века до того, как это реально случилось?

Эпизод 3. Приезд Комитета по Ленинским Премиям

В апреле 1977, дней за 10 до дня рождения Владимира Ильича (22 апреля), в САО пожаловал Комитет по Ленинским Премиям. БТА был сдан в эксплуатацию, уже проводились плановые наблюдения по расписанию КТШТ и прошел слух, что создателям дадут награды, в частности, Ленинскую Премию.

И вот помню ситуацию. После экскурсии по башне телескопа, члены Комитета по Ленинским Премиям (сплошь академики и другие важные руководители), Баграт Константинович, другие представители ЛОМО в окружении администрации САО и толпы молодых астрономов выходят из башни и направляются в гостиницу. Там была столовая и все вместе шли ужинать, Баграт Константинович что-то увлеченно рассказывал. Мы только начали спускаться по лестнице, как со стороны телескопа Цейсс раздалось оглушительное лягушачье кваканье. Вредоносных голосов было не менее десятка и пели они очень громко. Иоаннисиани и все САОвцы обреченно замолчали. "Баграт Константинович" – спросил Главный из приехавших (не знаю, может быть и Председатель Комитета – "Это что такое, лягушки? Как ж это Вы позволили телескоп в такое место, в болото, поставить ?"

Тяжело вздохнув, Главный конструктор телескопа сказал, что он был против этого места, но Косыгин сказал – только в России. "И что – на территории России нет места лучше этого болота ?" "Не нашли" – сказал Баграт. Далее все молча, под аккомпанемент лягушачьего хора пошли в гостиницу.

Через несколько дней после этого заместитель директора САО А.Ф. Фоменко позвонил Небелицкому и попросил провести экскурсию в Архыз для членов Комитета. Володя спросил меня – не поеду ли я с ними вместе, может, помогу чем-то. Конечно, я согласился, когда же еще вместе с членами Комитета по Ленинским Премиям удастся прокатиться.

Нам дали ПАЗик, ехали человек шесть из Комитета, Баграт Константинович и мы с Небелицким. Асфальтовой дороги в Архыз не было, она заканчивалась километрах в 2-х выше Буковского моста. Как могли, мы пытались развлекать гостей во время 2-часового путешествия по ухабам строящейся дороги.

В Архызе было делать решительно нечего, всюду был снег и автобус наш дальше поселка не проехал. Хорошо, что хоть солнечно было и можно было на красивые горы посмотреть. Опять возник вопрос о климате на месте БТА.

Обратный путь запомнился очень хорошо. Где-то километров за 10 до САО строители дороги произвели взрыв и метров 200 склона были обрушены, так что самой дороги не было видно. Мы с Небелицким подошли к бульдозеристам, которые разгребали склон, и попросили проделать проход, так как у нас важное начальство. Нас они послали далеко-далеко. И мы уныло побрели обратно к автобусу и сообщили сидевшим, что как минимум часа 3 придется здесь стоять.

Тогда один из членов Комитета, академик, со звездой Героя и множеством орденов на груди, встал и пошел к ним. К немалому нашему изумлению, один из бульдозеров начал делать проход, а наш академик вскочил на его подножку и начал руководить действиями бульдозериста. Главный из Комитета

сказал: "Он несколько атомных реакторов построил, а тут какой-то проход сделать – сущая ерунда". Через 20 минут проход был готов, и мы проехали.

Я, дрожащим от волнения голосом спросил у академика – "Как это Вам удалось?" "Очень просто – дал ему 5 рублей на бутылку. В России вопросы часто легче решить не криком, молодой человек". Мы сразу поняли, что это за люди и насколько они отличались от многих местных мелких начальников, которые любили своих гостей привозить на телескоп.

А 22 апреля 1977 г стало известно, что создателям БТА присуждена Ленинская Премия.

Автор выбрал 3 запомнившихся эпизода из жизни обсерватории 30-летней давности, к которым он имел некоторое отношение и которые в какой-то мере отражают колорит той эпохи. Прошло много времени, большинство участников описываемых событий ушли из жизни. Их памяти автор посвящает эти строки.

МАЛЕНЬКИЕ ИСТОРИИ

В. Г. Штоль

История первая

В октябре 1972 года на Верхней научной площадке, недалеко от БТА (он тогда еще не работал) был введен в эксплуатацию 60-сантиметровый телескоп “Цейсс-600” и на нем начались наблюдения. Появился журнал наблюдений и расписания наблюдений. Расписания вывешивались на БТА и в коридоре первого этажа дома № 167 по ул. Бережного в ст. Зеленчукской. Там тогда помещалась администрация САО. В этом доме также были принадлежащие САО квартиры, общежитие и гостиница. Расписания составлялись на месяц и утверждались заместителем директора обсерватории по науке. В них указывались программы наблюдений и фамилии наблюдателей.

После переселения в посёлок Нижний Архыз расписания следовали за администрацией и вывешивались сначала в доме №1, потом в гостинице, а затем в лабораторном корпусе до тех пор, пока “Цейсс-600” не переехал на Казанскую станцию, после чего наблюдения на нём прекратились. Не ведутся они и по сей день, хотя телескоп и вернули на прежнее место.

Но вернёмся в прошлое – во второй половине семидесятых круг наблюдателей на телескопе “Цейсс-600” и наблюдательных программ, выполняемых ими, был более или менее очерчен и фамилии вносились в расписания, как правило, без инициалов – и так ясно. И вот в одном из расписаний в графу наблюдателей были внесены две фамилии без инициалов: Неизвестный – в верхней строчке, а Копылов – в нижней. А через несколько дней возле фамилий появилась приписка: “А когда же будет наблюдать известный?” С Серёжей Неизвестным на телескопе “Цейсс-600” наблюдал Саша Копылов. Кстати, БТА тогда уже работал.

История вторая

В общежитии на Бережного часто возникали споры на разные темы. В спорах иногда участвовало несколько человек и каждый отстаивал свою точку зрения. Во время одного из таких споров в комнате появился Гриша Царевский и стал молча слушать. Когда спор утих, он сказал: “То, о чём говорил Богудлов – это богудловщина, о чём говорил Бескин – бескинианство, а о чём Штоль – штоленизм. Мне же ближе точка зрения Васи Краснобабцева.”

История третья

Проводилась юстировка аппаратуры на балконе телескопа БТА. Балкон тогда ещё был открытым. А в помещении центрального пульта управления (ЦПУ) телескопа, отгороженного от подкупольного пространства башни, за

стеклянной стенкой сидел один из электриков, кажется, Володя Фёдоров, читал книгу и курил. Юстировка выполнялась с помощью лазера. Витя Бычков навёл луч лазера через стекло стенки ЦПУ на книгу. Увидев на странице книги красное пятно, электрик на мгновение оторопел, затем бросил книгу на пол и стал топтать её ногами, в страхе оглядываясь по сторонам.

Дело в том, что курить на ЦПУ было строго запрещено – могли даже уволить с работы.

История четвёртая

В начале семидесятых был принят на работу в САО и зачислен в одну из групп молодой специалист с университетским математическим образованием. Группа занималась разработкой и изготовлением светоприёмной аппаратуры для БТА. Молодой специалист сразу же – с места в карьер, как когда-то говорили кавалеристы – начал осваивать инженерно-слесарное дело с астрофизическим уклоном.

Так тогда работало большинство сотрудников САО, да и теперь тоже, хотя и в меньшей степени и количестве. Наиболее активные поклонники такого метода работы постарели, а молодёжи почти нет. Молодёжь либо уезжает за рубеж, либо уходит в коммерческие структуры.

Но вернёмся к нашему молодому специалисту. Ему наряду с другими работами поручили отслеживать изготовление деталей в механической мастерской БТА. Для изготовления одной из них, а деталь нужна была срочно, потребовалась токарная заготовка диаметром около 150 миллиметров. Её нужно было отрезать от прутка соответствующего диаметра.

В САО (да и не только в САО) всегда любили пошутить, тем более над молодыми специалистами, например: предлагали смазать оптическую ось телескопа или принести стакан первичного фокуса, или что-либо в этом роде.

В нашем случае было предложено отпилить заготовку вручную ножовкой по металлу, ссылаясь на то, что нет пил для станка, режущего заготовки, и в ближайшее время не будет. Другой бы повернулся и ушёл, сообщил об этом руководителю и занялся другой работой. Но не таков был наш молодой специалист. Он “засучил рукава” и, “посадив” около десятка, а может быть, и больше ножовочных полотен (благо их тогда в мастерских САО было немеренное количество), отпилит заготовку вручную.

Один из фрезеровщиков, уже далеко не молодой человек, сказал: “Этот парень далеко пойдёт, если его не остановят”. И он не ошибся – молодого специалиста не остановили, и он теперь доктор наук.

История пятая

Дело было в общежитии на Бережного в начале семидесятых годов. Четверо сотрудников “сели” за преферанс в пятницу, а в субботу один из игроков присоединился к компании, которая что-то там отмечала: то ли окончание похода в горы, то ли предстоящий поход. Через некоторое время игрок (назовём его так) заявил, что ему пора спать, встал и пошёл, но, выходя из комнаты, по-

вернул не направо, а налево. Открыл дверь встроенного в стену платяного шкафа, вошёл, упёрся лбом в стенку и застыл в недоумении. Через некоторое время кто-то из участников застолья обнаружил его в шкафу и привёл к столу.

Игрок молча выпил, немного посидел с компанией и ушёл. Но опять был обнаружен в шкафу. Так повторялось несколько раз, пока игрока не отвели в его комнату.

Дело в том, что в комнате, где играли в преферанс, входная дверь была налево, а дверь встроенного платяного шкафа – направо.

История шестая

Во второй половине семидесятых В. Ф. Шварцман начал поиск “чёрных дыр” на БТА. На наблюдения поднималась вся его группа, а иногда и сотрудники других групп САО, чтобы поучаствовать в семинарах. Семинары проводились как перед наблюдениями, так и во время оных и после, если было что обсуждать.

Наблюдения велись в первичном фокусе БТА на электрофотометре ЭФИР (электрофотометр имени Рылова – так когда-то шутили в САО). В кабине первичного фокуса телескопа, в “стакане”, находился единственный наблюдатель – Серёжа Неизвестный. В его “руках” была сосредоточена вся техника фотометра, управление им во время наблюдений, и вообще весь процесс получения первичной наблюдательной информации.

В то время ещё не было дистанционного управления механизмами светоприёмной аппаратуры и электронно-оптических подсмотров поля зрения телескопа, тем более подсмотров с ПЗС-системами.

Смеркалось. Приближалось время одного из наблюдений. Труба телескопа с Серёжей в “стакане” была у верхней посадочной площадки – “ласточкина гнезда”, расположенной на внутренней стороне купола башни, где-то на половине высоты подкупольного пространства.

И тут, при окончательной проверке, выяснилось, что Серёжа забыл внизу, в помещении будущей аппаратной, какую-то деталь из атрибута наблюдателя, что-то там к фотометру. Чтобы сэкономить время, решили послать к Серёже “гонца” с деталью. “Гонец” ушёл, но у Серёжи в “стакане” не появился. Послали второго “гонца”, чтобы найти первого с деталью, людей-то было много. Но и второй пропал. После третьего “гонца”, а может быть, и четвёртого, начали разбираться – куда пропадают “гонцы”. В итоге, выяснилось, что “хотели как лучше, а получилось как всегда”.

Дело в том, что подняться на “ласточкино гнездо” можно только по лестницам межкупольного пространства, где не было освещения – его просто не включили (но, как у каждого себя уважающего наблюдателя, у “гонцов” были с собой фонарики). Не горел к тому же световой указатель двери посадочной площадки – просто не включился после “стыковки” двери “стакана” с площадкой. В поисках этой двери “гонцы” разбрелись по лестницам (а их там... много этих лестниц), перекликаясь между собой, но не понимая слов из-за многократного эха.

Кончилось всё как в одной из песен В. С. Высоцкого: “... пришёл тягач

и там был врач, и МАЗ попал куда положено ему.” Правда, обошлось без врача. “Гонцы” были “выловлены” с помощью эксплуатационного персонала БТА после того, как включили освещение лестниц. Деталь попала к Серёже Неизвестному. Наблюдения состоялись, а может быть, и нет – возможно, к тому времени “затянуло” небо. Но такие мелочи в устных преданиях САО не сохранились.

История седьмая

Это произошло в годы наиболее бурного “расцвета” застоя – на грани семидесятых и восьмидесятых годов. Был “разграблен” один из уникальных измерительных приборов “Аскорекорд”. Снята оптика, электроника и кое-что из точной механики. Прибор хранился на складе Верхней научной площадки САО. Сотрудники БТА сгоряча хотели сразу обратиться в милицию, но, подумав, решили, что надо сначала сообщить о случившемся директору обсерватории – что и сделали. Реакция была неожиданной: “Сообщившего в милицию уволю без выходного пособия” – таким, мягко говоря, странным был ответ. И это была не шутка, а реакция на предыдущее аналогичное событие.

Незадолго до происшествия с “Аскорекордом” с того же склада были украдены палатки зарубежного производства, принадлежащие одной из экспедиций какого-то там научно-исследовательского института. Палатки были оставлены на временное хранение. Естественно, администрация САО обратилась в милицию. Приехала следственная группа с собакой. Походили, понюхали, потом выпили, закусили и уехали. А через некоторое время на бюро райкома КПСС был объявлен строгий выговор директору обсерватории “за плохую организацию работ по хранению социалистического имущества” (возможно, формулировка основания для вынесения выговора была и несколько иной).

Вот как наши партийные органы и прославленное МВД способствовали формированию олигархического строя на территории, тогда ещё бывшей Советским Союзом.

История восьмая

Было начало третьего тысячелетия. На БТА наблюдали ирландцы. Зима была снежной и в районе башни БТА дорога к гостинице в результате расчистки снега превратилась в снежный каньон. Высота стенок каньона достигала двух, а в отдельных местах с наветренной стороны, и трёх метров.

В один из достаточно тёплых, по зимним меркам, безветренных солнечных дней ирландцы возвращались на башню из гостиницы после обеда. С ними шёл один из наших сотрудников. Ирландец, более или менее сносно владевший русским языком, в разговоре с сотрудником спросил, не опасно ли находиться на БТА – он ведь так далеко от населённых пунктов, высоко в горах и практически без охраны – а Чечня ведь близко. Сотрудник оглянулся и, увидев спускавшийся по дороге от гостиницы бронетранспортёр (он использовался для перевозки людей и оборудования при снежных заносах), сказал: “А вон они едут.” После перевода сказанного реакция ирландцев была практически мгновенной. Они с какой-то безнадежной обречённостью, что-то возбуждённо крича друг

другу, бросились на почти отвесную осыпающуюся стенку каньона, в отчаянии пытаясь вскарабкаться по ней.

Сотруднику потом было сказано: “Ещё одна такая шутка, и мы с Вами вынуждены будем расстаться”.

История девятая – и последняя

Девятая история могла бы начаться так: “Дело было в Пенькове”, если бы она писалась к шестидесятилетию САО (очень надеюсь, что оно, это шестидесятилетие, состоится). Но пока у нас на Буково деревьев всё-таки больше, чем пеньков.

Итак, была весна 1975 года. Состоялись первые пробные наблюдения на БТА. Началось переселение на Буково. Пошли навоселья.

И вот, 9 мая, когда вся страна отмечала праздник тридцатилетия победы, в восемь часов вечера, в то время, когда во всех городах-героях гремел салют, прогремело, упав, и забрало башни БТА. Начались будни по ликвидации аварии. Наряду с другими работами пошли разбирательства с участием представителей КГБ обстоятельств падения забрала.

В такой напряжённо-нервной обстановке в один из дней первой недели безалаберной и сумбурной деятельности вокруг этого события, в “курилке” первого этажа башни (тогда было не до формальной пожарной безопасности) сидело и стояло несколько сотрудников САО.

Один из сотрудников рассказывал, что они втроем отмечали 9 мая в гостинице Верхней научной площадки. Услышав грохот падающего забрала, один из них предположил, что сошла лавина с горы Пастухова, другой – что это сухой гром, а он – рассказчик – что упало забрало, имея в виду забрало башни 60-сантиметрового телескопа “ТТ-600”, оно ведь падало неоднократно и к этому привыкли (телескоп “ТТ-600” находился в сотне метров от гостиницы).

Выслушав рассказчика, один из присутствующих в “курилке” сотрудников улыбнулся и сказал, что ему скоро идти на очередное разбирательство и там он немного добавит к этому рассказу, так, сущую безделицу, что тот, кто сказал, что упало забрало, перед тем как сказать это, посмотрел на часы.

Вот как шутили в САО. Немая сцена. К нам едет ревизор, а может быть, конвой. Но это тоже шутка – конвоя не было – было уже другое время.

P. S. Всё это было так, может, не совсем так, а может быть, – и совсем не так.

Ф О Т О А Л Ь Б О М

В фотоальбоме содержатся фотографии из фотоархива САО РАН, а также снимки из личных архивов сотрудников обсерватории

НАЧАЛО...



Так выглядел склон г. Семиродники до начала строительства телескопа в июне 1965 г.



В начале прокладки автотрассы к вершине г. Семиродники применялись взрывные методы. Взрыв горной породы 20.05.1965 г.



День начала строительства на Верхней площадке САО – 11 июля 1965 г.



*Первый пласт грунта
поднял бульдозерист
А.П.Коротков*



*Рук. дирекции строящейся
САО О.Б.Васильев. 1965 г.*



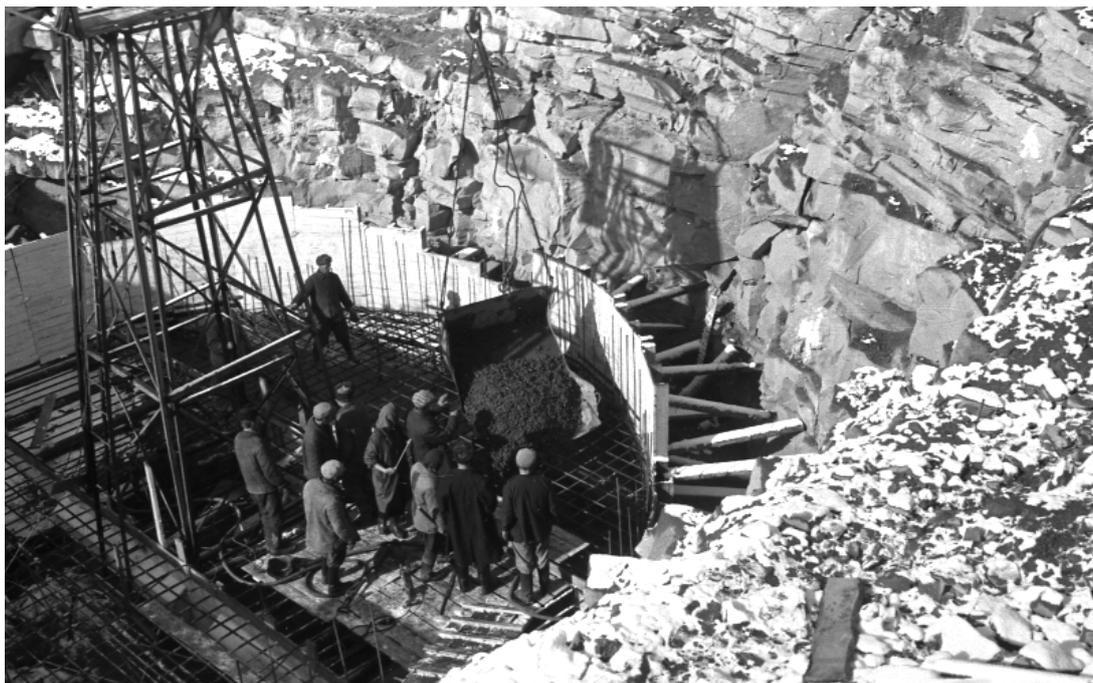
*Закладка места оси азимута БТА. Координаты места:
**+43°39'12" северной широты, 41°26'30" восточной
долготы.** Закладку выполняет Н. Всесветский*



Временный жилой посёлок «Шанхай». Ноябрь 1965 г.



Подготовка котлована под фундамент телескопа БТА, январь 1966 г. В основании телескопа и башни БТА – плита камня-песчаника. Для сохранения монолитности этой плиты взрывные технологии при проходке не применялись. Работы велись практически вручную, с использованием отбойных молотков и перфораторов



Первый бетон!



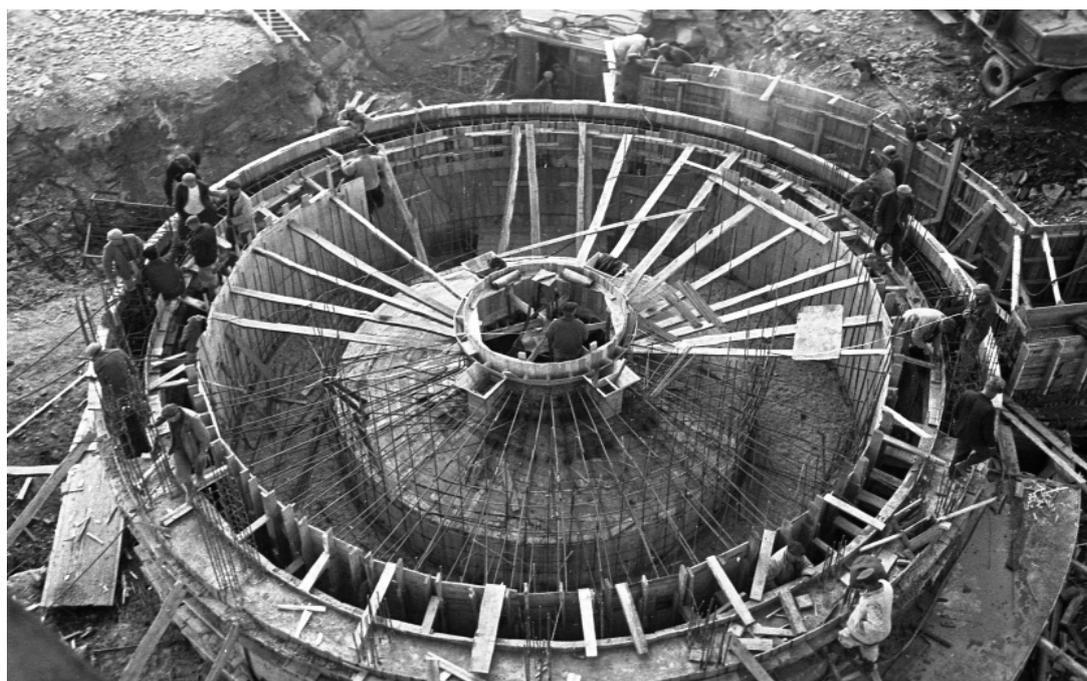
18 марта 1966 г.

*В основание фундамента БТА
заложена памятная бронзовая
плита, залитая первым ков-
шом бетона. Эту дату вполне
можно считать днём начала
возведения башни БТА*

3 июля 1966 г. вышло Постановление Президиума АН СССР, согласно которому учреждалась Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР как научно-исследовательский институт. Первым директором САО назначен И.М.Копылов



И.М.Копылов. 1966 г.



Строительство фундамента телескопа БТА. Апрель-май 1966 г.



На снимке: Президент АН СССР М.В.Келдыш (в центре), далее направо: уполномоченный Президиума АН СССР К.Н. Чернопятов, директор САО РАН И.М.Копылов, академик Л.А.Арцимович



Начало строительства техблока. 1966 г.



*Арматурные работы
под фундамент башни.
Осень 1966 г.*



*Монтаж каркаса помещений башни. Работы ведет Ростовское
управление треста «Южстальконструкция», 1967 г.*



*Директор САО И.М.Копылов и зам. директора по науке С.В.Рублев
на строящемся куполе башни БТА. 1968 г.*



*Установка пер-
вой опорной
дуги купола.
Лето 1968 г.*

Первое здание САО на ул.Гагарина в ст. Зеленчукской. На снимке: О.Васильев, П.Лубенец, Л.Кравченко, С.Рублев, В.Цирипова, М.Удовицкий, Л.Лобова, Н.Войханская. Июль 1968 г.



Первый жилой дом САО АН СССР. На снимке: В.Мороз, Н.Чунакова, Б.Артамонов, Н.Войханская, А.Узденов, Г.Сухарева, Ю.П.Коровяковский, А.Коровяковская, С. и М.Ченцовы

Сотрудники САО и члены их семей на экскурсии у строящегося БТА: В. М. Перерва, Ю.В. Глаголевский, Саша Копылов, Лена Копылова, Марина Ченцова, И.М.Копылов, Р. Н. Ку-майгородская, К.И.Ко-злова, сотрудник. Шемахинской АО С. Зейналов.





Каркас купола баини в сборе. Лето 1968 г.

Склад составных частей забрала и телескопа. Январь 1969 г.





Монтажники «Южстальконструкции» ведут монтаж механизмов забрала башни БТА. Декабрь-январь 1970 г.



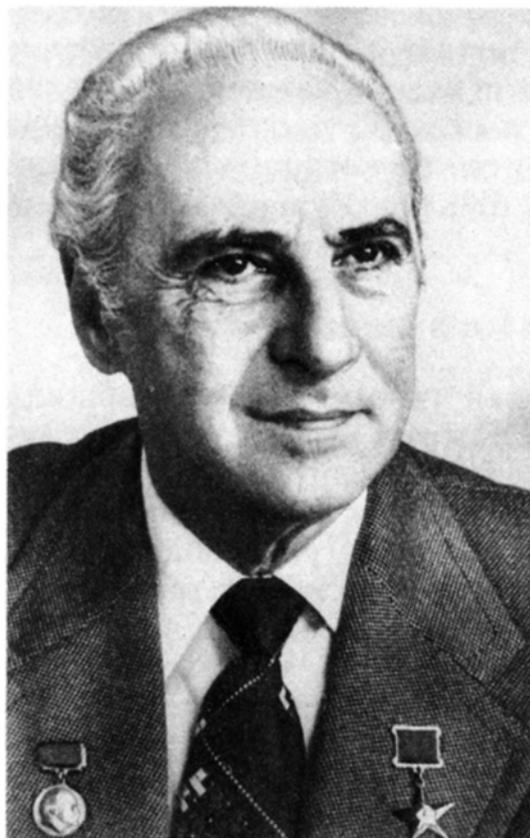
1969 год. Обустройство подкупольного зала...



*Чл.-корр. АН СССР
Д. Д. Максutow, автор
первых проработок про-
екта БТА*



*Чл.-корр. АН СССР
О.А. Мельников, руководи-
тель подготовки проекта
Обсерватории*



*Главный конструктор Большого
телескопа азимутального (БТА) –
Лауреат Ленинской премии, Герой
Социалистического труда
Б.К. Иоаннисиანი.*



*Крупногабаритные части БТА доставлены в ст. Зеленчукскую.
22 июля 1968 г.*



Директор САО И.М.Копылов встречает автопоезд. 22.07.1968 г.



*Транспортировка
стоек и зубчатых
колес приводов БТА.
22.07.1968 г.*

*Проблема габарита и
ширины дороги.
22.07.1968 г.*





*Б.К.Иоаннисиани,
И.М.Копылов и
В.А.Минин. 1970 г.*



С.В.Рублев. 1968 г.



С.В.Рублёв и И.М.Копылов у имитатора главного зеркала, ст. Зеленчукская



Март 1970 г. Лыжные соревнования в Домбае. Команда САО: А. Леушина, Н.Войханская, С. Ченцова, Б. Артамонов, Г. Ласкин, В.Леушин.



8 марта 1970 г. Мужчины САО готовят поздравление прекрасной половине САО...



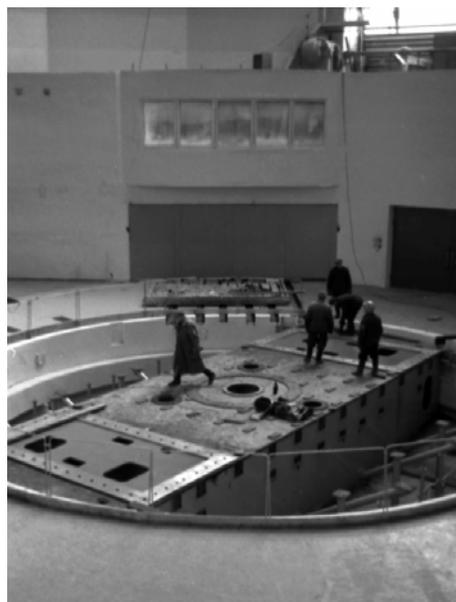


*Монтаж стоек БТА.
Лето 1970 г.*

*Платформа БТА перед
установкой стоек*



*Транспортировка верхней
части трубы и стакана пер-
вичного фокуса*





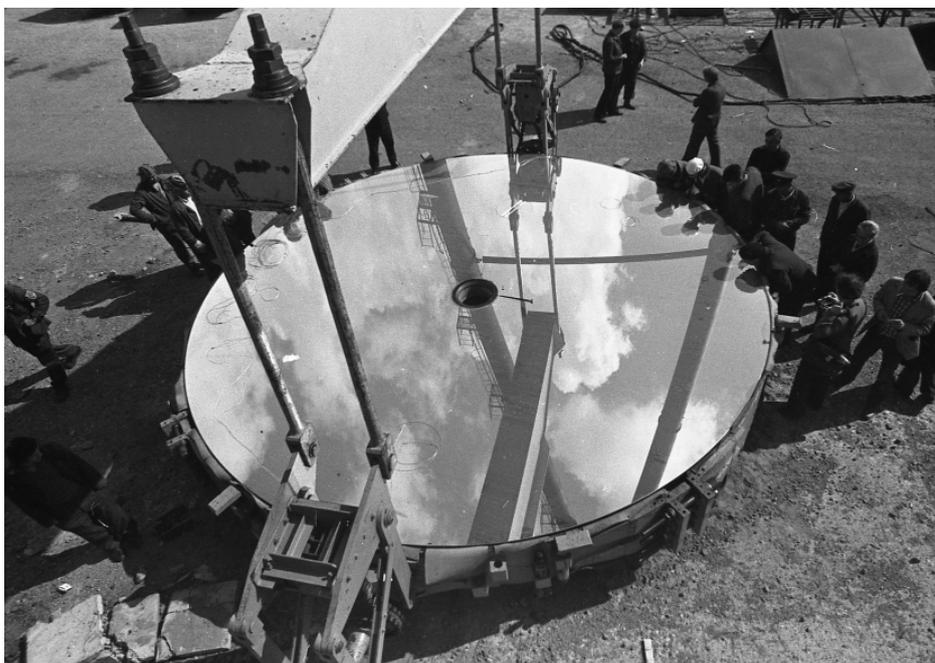
*Соединение верхней и нижней частей трубы в единую конструкцию.
Лето 1970 г.*



*Монтаж ЭЦУМ – электронной цифровой
управляющей машины телескопа*



Доставка главного зеркала БТА – сложнейшая транспортная операция 1974 г.



Подготовка главного зеркала к монтажу

УНИКАЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП

**УЧЕНЫМ, КОНСТРУКТОРАМ, ИНЖЕНЕРАМ, ТЕХНИКАМ И РАБОЧИМ,
КОЛЛЕКТИВАМ И ОРГАНИЗАЦИЯМ, ПРИНИМАВШИМ УЧАСТИЕ В СОЗДАНИИ И ВВОДЕ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ КРУПНЕЙШЕГО В МИРЕ
АСТРОНОМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА**

Дорогие товарищи!

Сердечно поздравляю вас с замечательной трудовой победой — вводом в эксплуатацию крупнейшего в мире оптического телескопа с главным зеркалом диаметром шесть метров в астрофизической обсерватории Академии наук СССР.

Создание уникального телескопа — крупное достижение отечественной науки и техники. Перед советскими учеными открылись возможности еще шире развернуть научный поиск, более глубоко проникнуть в тайны Вселенной, внести новый вклад в сокровищницу познаний человечества.

Ввод в эксплуатацию крупнейшего астрофизического комплекса является результатом совместной творческой деятельности многих научных и конструкторских коллективов, промышленных предприя-

тий, организаторской и политической работы партийных, профсоюзных и комсомольских организаций. Это — хороший пример успешного претворения в жизнь планов Коммунистической партии и Советского государства по развитию науки, новое убедительное свидетельство научно-технического прогресса нашей Родины, творческого энтузиазма советских людей, трудовыми успехами встречающих XXV съезд КПСС.

Желаю вам, дорогие товарищи, новых свершений во славу нашей великой социалистической Родины.

Л. БРЕЖНЕВ,

Генеральный секретарь Центрального Комитета
Коммунистической партии Советского Союза.





**ПЕРВЫЕ
НАБЛЮДЕНИЯ.
1975 г.**



Центральный пульт управления во время наблюдений. 1975 г.

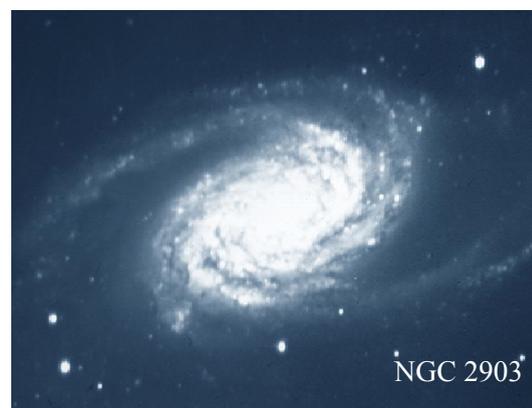
**Первые снимки БТА
(1974-1975 гг.)
авторы:
Ю.П.Корвяковский,
М.Ф.Шабанов,
И.Д.Караченцев.**



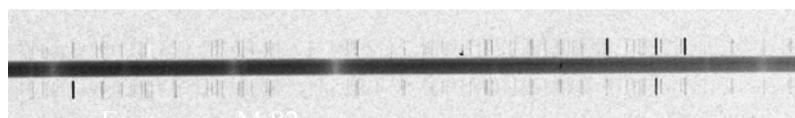
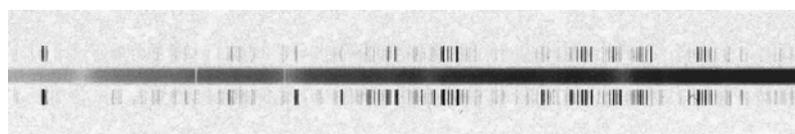
М 1 – «Крабоидная
туманность»



Шаровое скопление
М 92



NGC 2903



**Первые спектры, полученные на основном звездном
спектрографе (ОЗСП)**



Территория Нижней научной площадки (ННП) – будущего поселка Нижний Архыз. 1970 г.



*Первый жилой дом в посёлке
Нижний Архыз*



*Строительство лабораторного корпуса и
Большого конференц-зала*



Благоустраиваем поселок...



...тушим лесные пожары



*Мастера – взрослые
(М.М. Кононов и
Т.А. Скосырская)...*



...и дети – помощники



Открытие библиотеки САО, 1980 г.



Зав. ОНТИ Г.С.Шведова и директор САО И.М. Копылов на церемонии открытия



1984 г. Строится школа

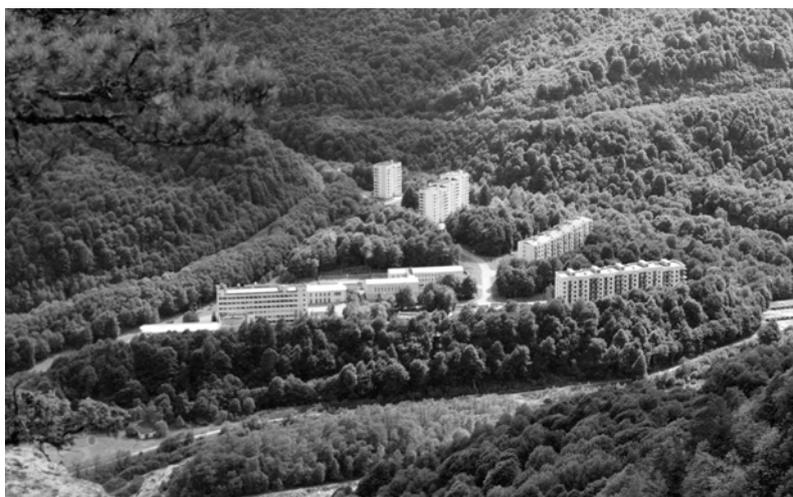
*Сборка стеллажей
для школьной
библиотеки.
В.Л.Афанасьев и
С.Н.Додонов, 1985 г.*



*Школа открыта.
Директор СУ САО
А.Г. Алешников
вручает символичес-
кий ключ от школы
ее первому директору
О.В.Соколовой*



*1 сентября 1985 г.,
Нижний Архыз*

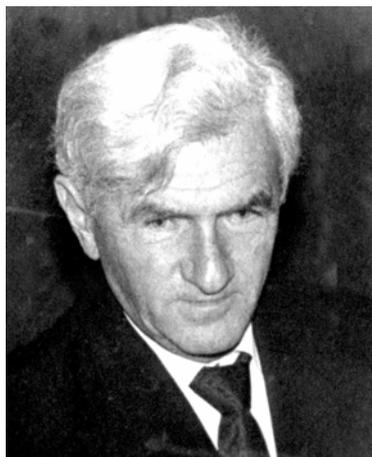


Пос. Нижний Архыз, 2005 г.

В круге РАТАНа



С.А.Хайкин (1901-1968)



Н.Л.Кайдановский



*Осмотр предполагаемого места строительства радиотелескопа
РАТАН-600. На снимке: Л.А. Арцимович, М.В. Келдыш, Ю.Н. Парийский,
И.М. Копылов и др. 1966 г.*



*Центр главного зеркала
РАТАНа...*



*... и подготовка опалубки под
заливку бетона. 1969 г.*

*Фундаменты опор элементов главного
зеркала РАТАНа...*



... и установка этих опор. 1969 г.



Визит Президента АН СССР М.В. Келдыша на строительство радиотелескопа. 17 июля 1969 г.



Осмотр стройки. М.В.Келдыша сопровождает директор СНО Ю.Е. Якунин. 17 июля 1969 г.



Ю.Н.Парийский и академик Л.А. Арцимович



Сборка металлоконструкций опор главного зеркала



Строительство лабораторного корпуса



Прораб строительства А.П. Свербиль



Сборка плоского зеркала радиотелескопа



Монтаж облучателя №6



Поздравление ученым и строителям радиотелескопа РАТАН-600 от Генерального секретаря ЦК КПСС Л.И.Брежнева. 20 марта 1977 г.

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

Коммунистическая партия Советского Союза

ПРАВДА

Центрального Комитета КПСС

РАТАН-600 действует!

Строителям, рабочим, монтажникам, инженерно-техническим работникам, служащим, ученым, коллективам организаций и предприятий, всем участникам создания, строительства и ввода в действие радиотелескопа РАТАН-600

Дорогие товарищи!

Сердечно поздравляю вас с новым успехом в развитии советской астрономической науки и техники — с вводом в действие крупнейшего в мире радиотелескопа РАТАН-600 в ставице Зеленчукской Ставропольского края.

Создание этого уникального астрономического прибора стало возможным благодаря самоотверженному труду и творческому содействию ученых, строителей, монтажников, инженерно-технических работников и служащих Академии наук СССР, Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, предприятий Министерства энергетики и электрификации СССР, Министерства энергетического машиностроения и других организаций.

РАТАН-600 по своим важнейшим параметрам превосходит все известные радиотелескопы. В его оригинальной конструкции воплощены лучшие достижения отечественной науки и техники. Советские ученые получили совершенный астрономический инструмент, который значительно расширяет возможности в проведении фундаментальных исследований Солнечной системы, нашей Галактики и других объектов Вселенной.

Желаю вам, дорогие товарищи, в преддверии 60-летия Великой Октябрьской социалистической революции дальнейших успехов в развитии советской науки.

Л. БРЕЖНЕВ



Первые наблюдатели на РАТАН-600 (слева направо): Г.М. Тимофеева, Н.С.. Соболева, Л. С. Уголькова (ГАИШ) и Ю.Н.Парийский



С.Р.Желенков в кабине облучателя



Отладка программы. В.С Шергин и М.Г. Мингалиев. 1981 г.



«Круг» РАТАНа – место работы...



...и спортивная арена. Весенняя эстафета 1982 г.

Научные форумы

SETI, 1975 г.



Академик В.С.Троицкий



*К.П.Феоктистов, ученый,
космонавт СССР*



И.С. Шкловский



Л.М. Гиндилис



С.А.Каплан



*В.И. Мороз и
Л.В. Ксанфомалити*



В.И.Слыш



В.Ф.Шварцман



Н.С.Кардашев



*Экскурсия для
участников
конференции на
радиотелескопе
РАТАН-600*

67-й коллоквиум МАС, 1981 г.



*Д. Латам, Р. Энджел (США) и
Д. Браун (Канада)*



Н.В. Стешенко и Н.Н. Михельсон.



*Е. Ричардсон
(Канада)*



Зал заседаний под куполом БТА



В.Б. Небелицкий



В.А. Липовецкий



Г. Н. Алексеев



С. Рауф (Ирак)



Л.И. Снежко



Г. Леливр (Франция) и В.С. Рылов



Ж.Бекерс (США)



Ю.Ю.Балега



Э.Б. Гажур



*Д.Хармер Англия)
и Т.Барнс (США)*



*Знакомство со схемой ячеистого
зеркала. Справа– Б.К.Иоанисиани*



*Ж.Буллистекс
(Франция)*



*Заключительный ужин. На снимке:
Т.Киппер, К.Хэмпри (Шотландия),
И.М.Копылов и Б.К. Иоанисиани*

Конференция молодых европейских радиоастрономов, 1984 г. (КМЕРА-84)



Участники конференции у радиотелескопа РАТАН-600



*Экскурсию проводит академик
Ю.Н.Парийский*



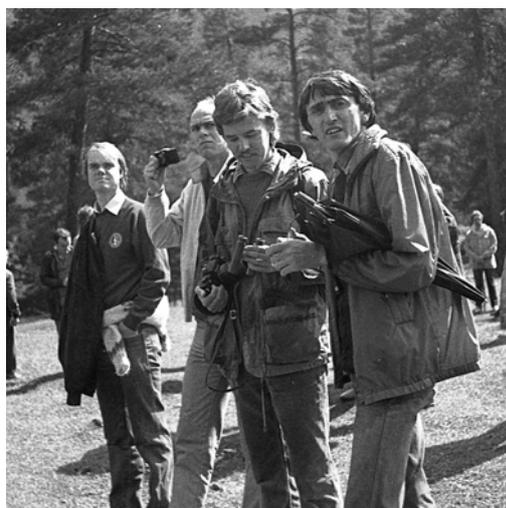
К. Д. Алиакбаров



*С. А. Трушкин,
Н. А. Юдаева и
Т. Соколова*



*Рассказ о Карачаево-
Черкесии. Выступает
В. И. Хубиев, Председатель
Исполкома автономной
области*



*Участники конференции на
экскурсии в Архызе*

Будни, праздники, коллеги...



*Идут наблюдения. На снимке:
Ю.Н.Гнедин, И.М.Копылов, С.Н.Фабрика
и Т.М.Нацвливили. 80-е годы*



*Аппаратная БТА. На снимке:
А.И.Копылов, С.Н.Митронова,
Л.А.Пустильник и А.И. Шаповалова*



Е.А.Барсукова



Н.Н.Сомов и Е.Л. Ченцов



*Спекл-интерферометрические
наблюдения на БТА. В центре –
Г.Вайгельт (инст. им.М.Планка
–ФРГ). 1992 г.*



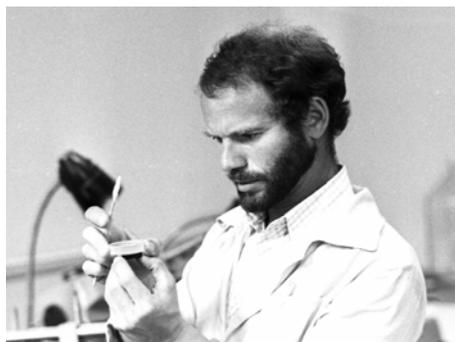
*Лабиринты электроники.
С. В.Моисеев. 80-е годы*



*Лаборатория перспективных разработок, 70-е годы. На снимке:
Г.С.Чепурных, В.Б.Небелицкий, В.Прядченко, С.В.Маркелов,
В.И.Удодов, Г.А.Чунтонов, А.Н.Борисенко, С.Н.Клочков,
И.И.Балега, О.И.Спиридонова, И.Уймаева, А.Ф.Фоменко,
Л.Фоменко, Т.Сомова, Л.В.Громакова*



Токарь Б.Г.Верич



Оптик Е.И.Перепелицын



*Конструкторы-
Ю.М.Гажур...*



...и З. Сухорукова.



На смену – через заносы...



...через пургу



А.М.Притыченко у главного привода азимута БТА



М.Казанцев и В.М.Черепков готовят к работе вакуумную установку алюминирования зеркала



Сотрудники СЭЖ БТА – участники алюминирования главного зеркала БТА. 2006 г.



И.М.Копылов и Ю.В.Глаголевский



А.И. Шаповалова



И.Д. Караченцев



О.В. Федорова



Н.Ф. Войханская



Ю.П. Коровяковский



Ю.Н.Парийский



Д.В.Корольков



И.В.Госачинский



С.Р.Желенков



В.М.Богод



С.А.Трушкин



Л.Н.Труфанова



Е.И.Рыжикова



Л.Д.Долина



М.Т.Удовицкий



Т.В.Леонова



К.И.Козлова



Детсад САО. Праздничный утренник проводит С.В. Ченцова. 70-е годы



Сцена из спектакля «Насреддин в Бухаре», поставленного сотрудниками САО РАН и учащимися Нижне-Архызской СШ. 2005 г.



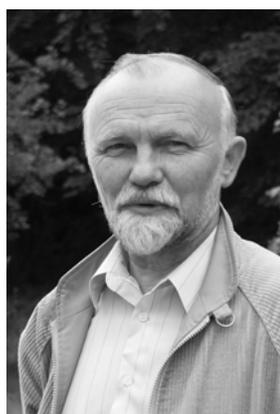
А.Н. Буренков



1979 г. На уборке картофеля...



*Техн. директор САО
А.Ч. Узденов*



Нач. ОКСа А.В. Захаров



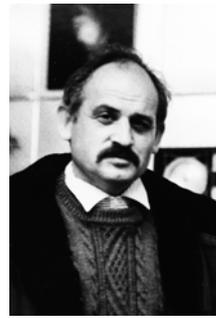
*Врач амбулатории САО –
Г.А. Юрков ...*



*...и лаборант
В.И. Романенко*



Строительство 1-метрового телескопа. 1988 г.



Нач. участка малых телескопов В.П.Романенко



Участники конференции «15 лет наблюдений на 1-метровом телескопе»: А.Н.Буренков, В.П.Горанский, И.Д.Найденов, Н.Н.Сомов, Е.Л.Ченцов, В.В.Власюк, Н.В.Борисов, В.Д.Бычков, Л.В.Бычкова, И.М.Варваркин, Е.А.Фоменко, И.П.Костюк, В.Р.Амирханян, С.Н.Митронова, Е.А.Барсукова и В.П.Романенко. 2004 г.



Научные доклады...



...и концерт И.Д.Найденова



День бегуна. 1980 г.



Соревнования по горнолыжному спорту, 1982 г. Справа – тренер детской секции Л.В.Гвягянен



Финиш на 10 км



«Факельный пробег» в честь 45-летия Победы...



...и праздник военной песни. 1980 г.



Участники конференции по звездному магнетизму. 2003 г.



И.И.Романюк



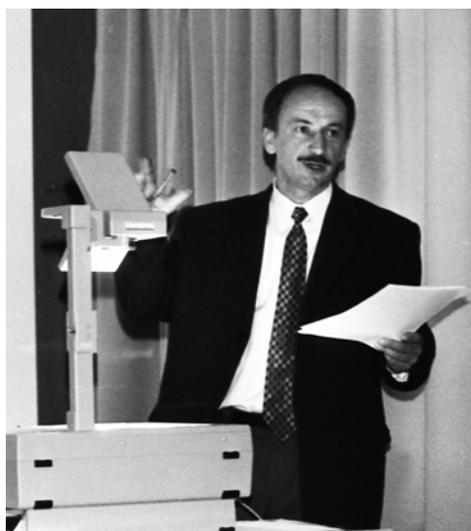
Д. Ландстрит



Архыз, продолжение конференции



Участники совещания «Информационные системы в фундаментальной науке. Июль 2005 г.



*Директор САО РАН
член-корреспондент
РАН Ю.Ю.Балега*

В.Е.Панчук



В.В.Витковский





*2002 г. Участники выездного заседания президиума ООФА РАН в САО:
ак. Н.С.Кардашев, А.М.Романов, член-корр. А.М.Черепашук, ак. О.Н. Крохин,
В.А.Заяц, ак. А.А.Боярчук, ак. Ю.Н.Парийский, В.В.Власюк, ак. А.Ф.Андреев,
Ю.В.Глаголевский, И.П.Костюк, член-корр. Ю.Ю.Балега, В.Л.Афанасьев*



*Полное солнечное затмение в САО
РАН. 29 марта 2006 г.*

*Президент КЧР
М.А.-А.Батдыев и
директор САО РАН
Ю.Ю.Балега на
наблюдениях
солнечного затмения
на Верхней научной
площадке САО РАН*



*Заседание Комитета по тематике больших телескопов
(КТБТ) – 2005 г.*



Г.Вайгельт



Г.М.Бескин



А.М. Черепанук и В.Л.Афанасьев



*КТБТ: В.В.Власюк, А.В.Засов, А.В. Степанов, Ю.Ю.Балега,
Ю.Н.Гнедин, И.И.Романюк, А.М.Черепанук,
В.А. Гаген-Торн, Ю.Н.Парийский, М.Г.Мингалиев*

О Г Л А В Л Е Н И Е

40 лет Специальной астрофизической обсерватории <i>Ю.Ю.Балега</i>	5
История развития научных направлений в САО РАН	23
Развитие методов спектроскопии слабых объектов на 6-м телескопе. <i>В.Л.Афанасьев</i>	23
30 лет работы БТА: спектроскопия высокого разрешения. <i>В.Е. Панчук</i> <i>и В.Г. Клочкова</i>	32
История развития телевизионной техники в САО. <i>Ю.Ю. Балега,</i> <i>С.В.Маркелов</i>	68
Информатика в САО. <i>В.В. Витковский</i>	77
Проблемы главного зеркала БТА в течение 30 лет работы телескопа. <i>Л.И. Снежко</i>	105
6-м телескоп в поиске проявления эволюции звезд вблизи AGB. <i>В.Г. Клочкова</i>	107
История исследований звездного магнетизма в САО РАН и перспективы развития. <i>Ю.В. Глаголевский, И.И. Романюк</i>	149
Двойные звезды. <i>С.Н. Фабрика</i>	170
Исследование гамма-всплесков в САО – оптическое отождествление первой десятки GRB и пульсары. <i>В.В. Соколов</i>	182
История внегалактических исследований на БТА. <i>И.Д. Караченцев и</i> <i>В.Е.Караченцева</i>	190
Генетический Код Вселенной. <i>Ю.Н. Парийский</i>	198

Радиоастрономия: от БПР к РАТАН-600, «далее везде». <i>Ю.Н. Парийский, М.Г. Мингалиев, Ю.К. Зверев, В.Б. Хайкин, И.В. Госачинский, Г.В. Жеканис, А.Б. Берлин, Н.А. Нижельский, А.Ф. Дравских, Н.Н. Бурсов, С.А. Трушкин, Е.К. Майорова, Г.М. Тимофеева, В.М. Богод, Н.С. Соболева, А.В. Темирова</i>	230
Основные результаты исследования межзвездной среды в Галактике с помощью радиолиний на радиотелескопе РАТАН-600. <i>И.В. Госачинский</i>	234
Исследование атмосферы Солнца на основе спектрально-поляризационных наблюдений на РАТАН-600. Достижения и перспективы. <i>В.М. Богод</i>	255
Спектральные исследования на РАТАН-600. <i>А.П. Венгер</i>	273
Долгая дорога радиометров сплошного спектра. <i>А.Б. Берлин, Н.А. Нижельский</i>	276
Геодезия на радиотелескопе РАТАН-600. <i>Ю.К. Зверев</i>	282
Большой телескоп азимутальный – трудный путь к успеху. <i>Ю.Н. Ефремов</i>	297
Об ушедших коллегам	311
С.Э. Хайкин и Пулковская радиоастрономическая школа. <i>Ю.Н. Парийский</i>	311
Николай Федосеевич Рыжков (1923-1985). <i>И.В. Госачинский</i>	320
Олег Николаевич Шиврис (1928-1994). <i>Ю.К. Зверев</i>	325
Дмитрий Викторович Корольков (1925-1984). <i>А.Б. Берлин, Г.М. Тимофеева</i>	327
Памяти Дмитрия Викторовича Королькова. <i>Г.Б. Гельфрейх</i>	330
О Дмитрие Викторовиче Королькове. <i>В.М. Богод</i>	334
Валерий Степанович Рылов (1923-1989). <i>Н.Ф. Войханская</i>	336
В САО с 1972 г: об И.М. Копылове, С.В. Рублеве, В.Ф. Шварцмане и других. <i>В.В. Соколов</i>	339

С.В.Рублев (1930-1974). Был он душой обсерватории. <i>Е.Л. Ченцов</i>	350
В. Ф. Шварцман (1945-1987). В стремлении к пределам. <i>Г.М. Бескин</i>	362
В.А.Липовецкий (1945-1996). Он был собирателем... <i>Г.М. Бескин</i>	365
Из истории САО	368
О том, как мы искали место для научного поселка САО АН СССР. <i>А.Ч.Узденов</i>	368
Информация о строительстве объектов САО РАН. <i>А.В. Захаров</i>	370
О жизни и развитии коллектива САО на протяжении более 30 лет глазами и мыслями очевидца, помощника директора САО РАН. <i>Е.И. Рыжикова</i>	372
Как падало забрало. <i>А.Ф. Максимов</i>	386
Три эпизода из ранней истории Специальной астрофизической обсерватории. <i>И.И. Романюк</i>	392
Маленькие истории. <i>В.Г. Штоль</i>	397
Фотоальбом	402

Научное издание

**СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

40 лет

Юбилейный сборник

Утверждено к печати

Ученым советом

Специальной астрофизической обсерватории
Российской академии наук

Оригинал-макет книги подготовили к печати

О.М.Неизвестная, Г.Н.Коледа

Обложка – В.П.Романенко



1966 - 2006