

75 ЛЕТ ФИЗИЧЕСКОМУ ИНСТИТУТУ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

## Пушинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра ФИАН: вчера, сегодня и завтра

Р.Д. Дагкесаманский

*Становление и развитие отечественной радиоастрономии неразрывно связаны с Физическим институтом АН СССР. С конца 40-х и почти до конца 50-х годов прошлого века большая часть радиоастрономических исследований проводилась на базе крымских экспедиций и станций ФИАН. С конца 1950-х годов центр тяжести этих работ переместился в южное Подмосковье, где менее чем за 20 лет была создана одна из крупнейших не только в стране, но и в мире радиоастрономических обсерваторий. Кратко излагается история создания уникальной экспериментальной базы Пушинской радиоастрономической обсерватории ФИАН, основные направления исследований и некоторые из достижений её научного коллектива. В заключение обсуждаются возможные перспективы обсерватории, входящей сейчас в состав Астрокосмического центра ФИАН.*

PACS numbers: 01.30.Bb, 01.65.+g, 07.57.-c, 95.55.Jz

DOI: 10.3367/UFNr.0179.200911i.1225

### Содержание

1. ФИАН — колыбель отечественной радиоастрономии (1225).
  2. Строительство радиотелескопов и первые научные исследования в Пушино (1226).
  3. Современное состояние экспериментальной базы и научных исследований в Пушинской радиоастрономической обсерватории (1230).
  4. Наши перспективы (1232).
- Список литературы (1235).

### 1. ФИАН — колыбель отечественной радиоастрономии

Сравнительно молодой небольшой городок Пушино на Оке Московской области известен в мире как крупнейший центр биологических исследований. Но не только замечательными биологическими институтами и работающими в них учёными-биологами славен этот городок. Здесь расположена и Пушинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (ПРАО АКЦ ФИАН) — одно из крупнейших в нашей стране астрономических учреждений. Это самое первое в молодом городе науки учреждение было основано во второй половине 1950-х годов и в разное время носило название Окской научной экспедиции, а затем Радиоастрономической станции ФИАН. Своё нынешнее название ПРАО

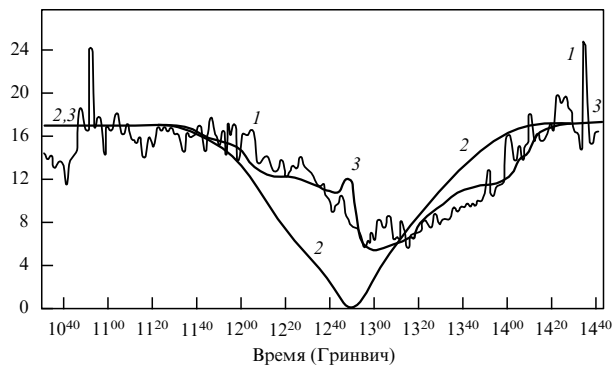
АКЦ ФИАН получила в 1996 г. — в год своего сорокалетия.

Днём рождения ПРАО АКЦ ФИАН принято считать 11 апреля 1956 г. В тот день вышло Распоряжение № 2006-р Совета Министров СССР, разрешающее "Академии наук СССР построить в Серпуховском районе здание радиоастрономической станции ФИАН и установить на этой станции радиотелескоп". Этому, несомненно важному, решению предшествовало славное десятилетие зарождения и становления отечественной радиоастрономии, колыбелью которой по праву считается ФИАН.

В 1946 г. заведующий лабораторией колебаний ФИАН Николай Дмитриевич Папалекси, задумавшийся над возможностью осуществить радиолокацию Солнца, обратился к молодому теоретику В.Л. Гинзбургу с просьбой рассчитать уровень, от которого будут отражаться радиоволны метрового диапазона. Выполненные В.Л. Гинзбургом расчёты показали, что этот уровень находится в верхней короне Солнца, а значит, диаметр Солнца в метровом диапазоне должен быть заметно больше оптического. Это предсказание было блестяще подтверждено в ходе радионаблюдений полного солнечного затмения 1947 г., проведённых у берегов Бразилии группой сотрудников лаборатории колебаний ФИАН во главе с Семёном Эммануиловичем Хайкиным [1] (рис. 1). Окрылённые первым успехом сотрудники ФИАН организуют несколько постоянно действующих экспедиций в Подмосковье и Крыму. Самой крупной экспериментальной базой стала Крымская научная станция в Качивели. Ещё в 1953 г. на территории станции не было ни одного инструмента. Однако буквально за 3–4 года в мастерской станции под руководством талантливого конструктора Павла Дмитриевича Калачёва было создано несколько замечательных инструментов. Самым значительным из

Р.Д. Дагкесаманский. Пушинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, 142290 г. Пушино, Московская обл., Российская Федерация  
Тел. (496) 733-01-85. E-mail: rdd@prao.ru

Статья поступила 25 мая 2009 г., после доработки 4 июня 2009 г.



**Рис. 1.** Результаты наблюдения полного солнечного затмения 20 мая 1947 г. на волне 1,5 м. Кривая 1 — изменение плотности потока радиоизлучения Солнца в ходе затмения, 2 — изменение видимой площади солнечного диска, 3 — ход затмения эруптивных протуберанцев и волокон. Все кривые приведены в относительных единицах.

них был радиотелескоп сантиметровых волн диаметром 32 м, представлявший собой неподвижную земляную чашу, управление лучом которой в небольших пределах осуществлялось посредством перемещения облучателя в фокальной плоскости. На этих инструментах и были получены первые блестящие научные результаты. В качестве наиболее ярких из них упомянем:

- открытие свехкороны Солнца (В.В. Виткевич [2], 1953 г.), давшее толчок дальнейшим исследованиям верхних слоёв атмосферы Солнца и межпланетной плазмы;
- обнаружение поляризации радиоизлучения Крабовидной Туманности (А.Д. Кузьмин и В.А. Удальцов [3], 1957 г.), подтвердившее синхротронную природу радиоизлучения этого остатка вспышки сверхновой;
- первые отечественные исследования галактических туманностей в радиолнии 21 см (Р.Л. Сороченко [4], 1958 г.).

В эти первые годы становления отечественной радиоастрономии фиановцы выполнили и большой объём прикладных исследований, способствовавших развитию теории радиосвязи и распространения радиоволн. Эти работы, наряду с фундаментальными исследованиями, стимулировали развитие радиоинтерферометрического метода, преимущества которого были блестяще проиллюстрированы первыми координатными измерениями района прилунения советских ракет типа "Луна" [5].

Наблюдения, проведённые сотрудниками лаборатории колебаний ФИАН на крымских антеннах, явились крупным вкладом в радиоастрономию тех лет. Однако они же показали, что дальнейшее развитие радиоастрономии не может продолжаться в Крыму: во-первых, потому что невозможно было создать большой телескоп с высокой чувствительностью на сравнительно небольших участках территории Крымской станции и, во-вторых, из-за наличия большого уровня помех. Тогда и было решено построить крупную экспериментальную базу радиоастрономии на правом берегу Оки вблизи г. Серпухова.

## 2. Строительство радиотелескопов и первые научные исследования в Пушино

За упомянутым выше Распоряжением Совета Министров СССР вскоре последовали необходимые для дальнейшей

работы Распоряжение Президиума АН СССР, решения Московского областного и Серпуховского районного исполкомов депутатов трудящихся, и уже в конце того же 1956 г. в районе деревень Харино и Пушино на правом берегу Оки, примерно в 15 км от Серпухова вниз по течению, высадился первый десант фиановских радиоастрономов.

Несмотря на отсутствие сколько-нибудь благоустроенного жилья, надёжного сообщения даже с ближайшим городом Серпуховом, да и многие другие трудности, работа шла быстро. Уже в конце 1956 г. была произведена закладка фундамента и начато строительство первого крупного радиотелескопа, ныне широко известного полноповоротного 22-метрового параболического радиотелескопа миллиметровых волн РТ-22 ФИАН. В следующем, 1957-м, году начались работы по созданию другого инструмента — гигантского крестообразного радиотелескопа метровых волн, состоящего из двух параболических цилиндров, размером 1000 × 40 м каждый.

Параллельно со строительством этих крупнейших для своего времени радиотелескопов и созданием для них приёмной аппаратуры шло формирование коллектива пушинских радиоастрономов. К концу 1950-х годов в Пушине уже жили и работали ныне хорошо известные астрономы Ю.П. Илясов, В.И. Слыш, А.А. Корчак, М.В. Конюков и Р.И. Носкова. Однако общий тон и ритм работы в те годы задавался всё же ведущими сотрудниками сектора радиоастрономии лаборатории колебаний ФИАН, такими пионерами отечественной радиоастрономии, как В.В. Виткевич, П.Д. Калачёв, А.Д. Кузьмин, А.Е. Саломонович и др. Их опыт и энтузиазм передавались молодым сотрудникам. Благодаря их энергии, напору и оптимизму работа по созданию уникальных радиотелескопов продвигалась более чем успешно. Достаточно сказать, что уже в мае 1959 г., т.е. через 2,5 года после начала работ по закладке фундамента, на совершенно пустом месте, а точнее на месте большого пахотного поля, каким был до того времени высокий пушинский холм, стоял готовый к наблюдениям красавец РТ-22. Спустя 5,5 лет начались наблюдения по научным программам и на антенне Восток – Запад Диапазонного крестообразного радиотелескопа (ДКР-1000).

Созданный в конце 1950-х годов радиотелескоп РТ-22 ФИАН в течение многих лет обладал рекордно высоким среди всех одиночных радиотелескопов мира угловым разрешением. Дело в том, что предложенный и реализованный на практике главным конструктором этого телескопа П.Д. Калачёвым оригинальный принцип подвески и распределения нагрузок главного зеркала инструмента свёл к минимуму как тепловые деформации конструкции, так и деформации, обусловленные изменением её ориентации в пространстве. Результирующие отклонения поверхности зеркала от расчётного параболоида вращения составили около 0,3 мм, что позволило эффективно работать на волне 8 мм с угловым разрешением, лучшим, чем 2 угловые минуты [6] (рис. 2). До этого таким разрешением не обладал ни один из одиночных радиотелескопов мира. Лишь в 1966 г. по чертежам П.Д. Калачёва был сооружён ещё один 22-метровый радиотелескоп — РТ-22 — Крымской астрофизической обсерватории с несколько улучшенными параметрами.



Рис. 2. Полноповоротный радиотелескоп сантиметрового и миллиметрового диапазонов РТ-22 ФИАН.



Рис. 3. Антенна Восток–Запад Диапазонного крестообразного радиотелескопа ДКР-1000 ФИАН.

Второй из крупных радиотелескопов Пушчинской радиоастрономической обсерватории — Диапазонный крестообразный радиотелескоп (ДКР-1000). Этот инструмент состоит из двух параболических цилиндров с апертурой  $40 \times 1000$  м каждый, вытянутых с востока на запад и с севера на юг соответственно. В конце 1964 г. были выполнены первые наблюдения радиоисточников на антенне Восток–Запад ДКР-1000. Антенна Север–Юг вошла в строй спустя несколько лет. В отличие от лучших зарубежных инструментов такого типа, работающих в фиксированных и сравнительно узких частотных диапазонах, ДКР-1000 обеспечивает возможность проведения одновременных наблюдений на любых волнах с длиной в диапазоне от 2,5 м до 10 м (рис. 3). Это качество инструмента в сочетании с его высокой чувствительностью и сегодня обеспечивает его уникальные возможности по целому ряду научных направлений.

Рекордно высокое в 1960-е годы для одиночных радиотелескопов угловое разрешение РТ-22 в сочетании с его высокой чувствительностью позволили выполнить, в частности, многие пионерские работы по построению радиоизображений Солнца и отождествлению радиопятен с активными образованиями на его поверхности [7]. Другим, не менее плодотворным, направлением исследований на РТ-22 ФИАН было изучение физиче-

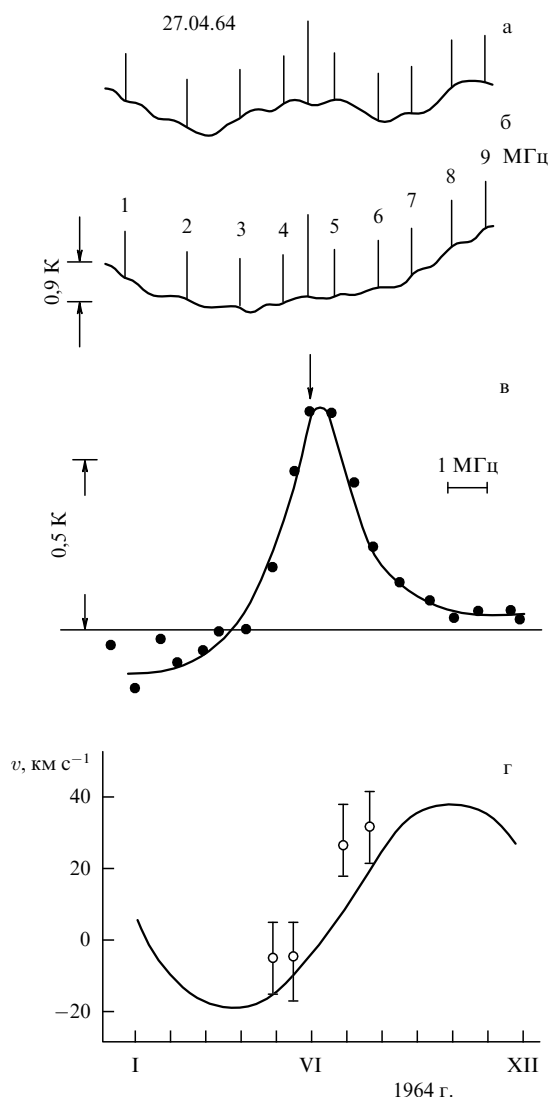
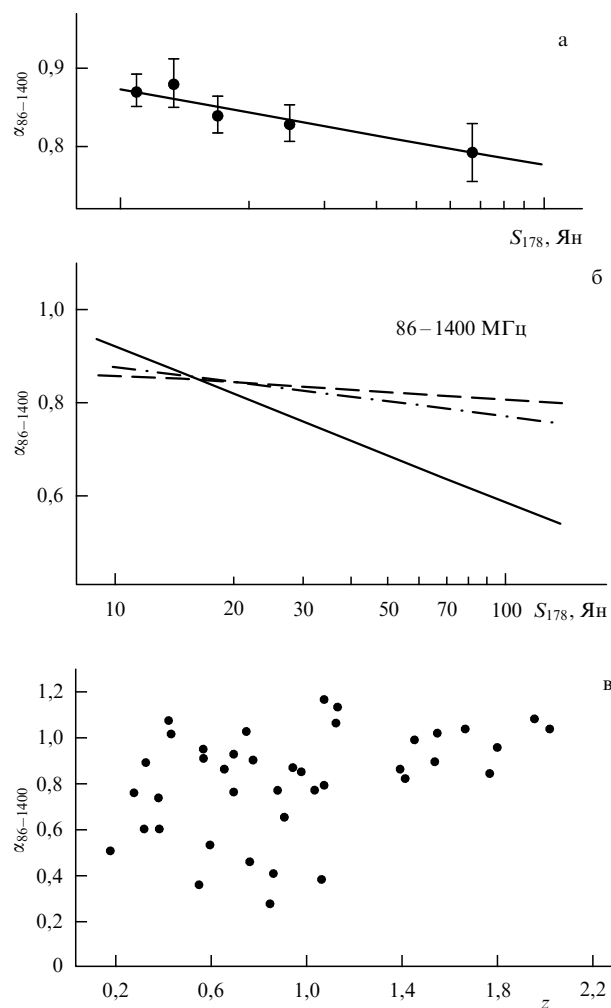


Рис. 4. Первые спектрограммы линии возбуждённого водорода  $H_{912}$  с хорошим отношением сигнал/шум, полученные на радиотелескопе РТ-22 ФИАН. (а) Спектрограмма в направлении на Туманность Омега. (б) Контрольная спектрограмма при антенне, отведённой от источника. (в) Усреднённая по нескольким записям разность спектрограмм (а) и (б), полученная в апреле 1964 г., стрелкой показана расчётная частота линии с учётом эффекта Доплера. (г) Изменение лучевой скорости наблюдателя относительно источника в течение 1964 г., кривая представляет собой расчётное изменение лучевой скорости вследствие орбитального движения Земли.

ских характеристик поверхностных слоёв Луны, а также условий в атмосферах и на поверхностях планет. На основе наблюдений на РТ-22 в 1962 г. А.Д. Кузьминым был опубликован один из первых каталогов радиоисточников на сантиметровых волнах [8], а установленный в ходе этих наблюдений высокочастотный излом в спектре радиогалактики Лебедь-А позволил получить первую экспериментальную оценку возраста объектов этого класса [9].

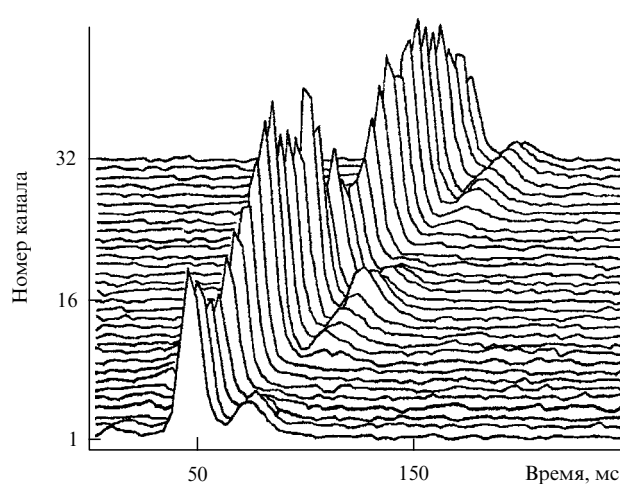
Наконец, именно на РТ-22 ФИАН в 1964 г. Р.Л. Сороченко с сотрудниками своей группы впервые наблюдал рекомбинационную радиолинию водорода. Обусловленная переходами электрона с 91-го уровня на 90-й уровень атома водорода, эта линия наблюдалась в спектре Туманности Омега на длине волны около 3 см [10] (рис. 4).



**Рис. 5.** Регрессионная зависимость двухчастотного спектрального индекса  $\alpha_{86-1400}$  от плотности потока  $S_{178}$  для всех внегалактических радиоисточников из Третьего кембриджского каталога (а), те же регрессионные зависимости в отдельности для квазаров (сплошная линия), радиогалактик (штриховая линия) и неотожествлённых радиоисточников (штрихпунктирная линия) из того же каталога (б) и диаграмма (спектральный индекс  $\alpha_{86-1400}$  – красное смещение  $z$ ) для той же выборки квазаров (в).

Независимо аналогичные наблюдения выполнили на Большом пулковском радиотелескопе (БПР) А.Ф. Дравских и З.В. Дравских, которые обнаружили в спектре Туманности Ориона линию, соответствующую переходу со 101-го уровня атома водорода на 100-й уровень. На протяжении многих лет исследования излучения газовых туманностей в рекомбинационных радиолниях атомов водорода, гелия и углерода были основным направлением работ на радиотелескопе РТ-22 ФИАН. Проблема штарковского уширения линий, анализ физических условий в газовых туманностях и областях звездообразования, оценка относительного обилия гелия — вот далеко не полный перечень задач, решение которых было продвинуто по результатам наблюдений рекомбинационных радиолний межзвёздных атомов.

В числе первых работ, выполненных на ДКР-1000 в середине 1960-х годов, можно назвать наблюдения большой выборки радиоисточников на частотах 38, 60 и 86 МГц [11–13], приведшие к обнаружению зависимости спектрального индекса от плотности потока для



**Рис. 6.** Усреднённый импульс пульсара B0329+54 по наблюдениям на 32-канальном анализаторе спектра в диапазоне 102,5 МГц. Отчётливо видна модуляция амплитуды сигнала по частоте, вызванная эффектом Фарадея в межзвёздной среде.

внегалактических радиоисточников [14, 15] (рис. 5), а также исследования окосолнечной и межпланетной плазмы по наблюдениям мерцаний компактных радиоисточников [16]. В конце 1960-х годов по одновременным наблюдениям на антенне Восток–Запад ДКР-1000 и на двух радиотелескопах меньшего размера, специально сооружённых вблизи г. Переславля-Залесского (Ярославская обл.) и г. Старицы (Калининская обл.), были выполнены первые в мире измерения скорости солнечного ветра на сравнительно близких к Солнцу расстояниях и на высоких гелиоширотах [17]. Наряду с этим был определён характерный размер неоднородностей, ответственных за мерцание источников.

В 1970-е–1980-е годы на радиоинтерферометре с переменной базой, основным элементом которого служила антенна Восток–Запад ДКР-1000, были измерены параметры структуры около полутора сотен радиоисточников на частоте 86 МГц с угловым разрешением около  $20''$  [18]. Данные о структуре некоторых радиоисточников с ещё более высоким угловым разрешением (примерно до  $0,1''$ ) были получены по наблюдениям на ДКР-1000 мерцаний этих источников на неоднородностях межпланетной плазмы [19].

Когда в начале 1968 г. появилось сообщение об открытии нового класса радиоисточников — пульсаров, выяснилось, что ДКР-1000 как нельзя лучше подходит для исследования их радиоизлучения. Уже в том же, 1968-м, году был открыт первый пушинский пульсар PP 0943 [20]. Всего за несколько лет было получено много ярких результатов в исследовании спектров индивидуальных и усреднённых импульсов пульсаров (рис. 6), частотной зависимости поляризации их излучения, изменения профилей импульсов с изменением частоты, обнаружено сверхдисперсионное запаздывание импульсов пульсаров на низких частотах, обусловленное деформацией магнитных силовых линий дипольного поля в области светового цилиндра [21].

Использование антенны Север–Юг ДКР-1000 было значительно более ограниченным. Причина такого положения кроется в трудностях обеспечения надёжной работы сложной фазированной системы, какой является

антенна Север–Юг, тем более работающая в широком диапазоне частот. Но для задач, требующих большого времени накопления сигнала, использование этой антенны, обладающей широкой диаграммой направленности по прямому восхождению, оказалось достаточно выгодным. Именно на этой антенне были выполнены наблюдения низкочастотных рекомбинационных радиолиний углерода в спектре остатка сверхновой Кассиопея А. Так, проводя наблюдения радиолиний, обусловленных переходами не только между соседними энергетическими уровнями атома (так называемые  $\alpha$ -переходы), но и переходами электронов через один уровень ( $\beta$ -переходы), на антенне Север–Юг ДКР-1000 удалось зарегистрировать атомы углерода, находящиеся в энергетических состояниях с главными квантовыми числами  $n \approx 750$  (!) [22]. Эти высоковозбуждённые состояния атомов, судя по всему, очень близки к предельно возможным устойчивым состояниям, определяемым взаимодействием атомов углерода с фоновым излучением Галактики. Заметим, что размер такого атома оказывается настолько большим, что за время его жизни в столь возбуждённом состоянии он неоднократно пронизывается атомами нейтрального водорода, практически не оказывающими возмущающего воздействия на соответствующие энергетические уровни.

Обнаружение мерцания компактных радиоисточников на неоднородностях межпланетной плазмы, а затем и открытие пульсаров показали, что эффект "путаницы" ("confusion"), обусловленный конечной разрешающей способностью радиотелескопа и проявляющийся в возникновении на записях источников специфических флуктуаций нешумового характера, не играет существенной роли при решении некоторых очень важных наблюдательных задач. В таких наблюдениях вполне можно использовать большие радиотелескопы с заполненной апертурой и нет необходимости прибегать к сооружению крестообразных антенн или других инструментов подобного типа. Поэтому в самом конце 1960-х годов В.В. Виткевич принял решение о создании в Пушине ещё одного радиотелескопа метровых волн — Большой сканирующей антенны (БСА ФИАН). Созданный за сравнительно короткий срок и небольшие средства этот радиотелескоп с собирающей площадью 7,2 га, состоящий из более чем 16 тыс. диполей, и сегодня обладает рекордно высокой чувствительностью в метровом диапазоне волн [23] (рис. 7).

Наблюдения на длине волны около 3 м ( $\nu = 102$  МГц) по научным программам были начаты на БСА ФИАН в 1974 г. (К несчастью, Виктор Витольдович Виткевич не увидел в работе это последнее своё детище — он скончался в феврале 1972 г. в самом расцвете творческих сил, когда ему не было ещё и 55 лет.) Высокая чувствительность БСА ФИАН обеспечила возможность проведения на этом радиотелескопе ежедневных наблюдений мерцаний на неоднородностях межпланетной плазмы около полутора сотен компактных радиоисточников. Эти, по сути патрульные, наблюдения за состоянием межпланетной среды позволяют следить за динамикой возмущений, распространяющихся от Солнца к внешним границам Солнечной системы, и, как было показано, могут использоваться для краткосрочного прогнозирования различных видов геомагнитных возмущений [24]. Регулярное картографирование состояния межпланетной плазмы на протяжении уже нескольких десятков лет



Рис. 7. Большая сканирующая антенна (БСА) ФИАН.

выявило зависимость основных параметров солнечного ветра от фазы цикла солнечной активности.

Но наблюдения мерцаний компактных радиоисточников на неоднородностях межпланетной плазмы несут информацию не только о состоянии неоднородной среды, через которую распространяется излучение радиоисточников, но и о структуре самих источников. Так, спектр мощности вариаций интенсивности принимаемого излучения, обусловленных мерцаниями, для "точечного" источника будет целиком определяться спектром угловых размеров неоднородностей и скоростью движения дифракционной картины относительно наблюдателя. В то же время при наблюдении источника с размерами, сравнимыми с угловыми размерами неоднородностей или их превышающими, этот спектр будет уже, да и амплитуда вариаций будет меньше, чем у источника с той же плотностью потока, но с меньшими размерами. Это обстоятельство позволяет по измерениям спектров мощности мерцаний радиоисточников судить о наличии в них компактных деталей, измерять интенсивности этих деталей и их характерные угловые размеры. Такие наблюдения были выполнены на БСА ФИАН для нескольких сотен внегалактических радиоисточников разных классов, что позволило установить степень их компактности, оценить физические условия в центральных областях галактик различных типов, а, кроме того, исследовать особенности распределения компактных радиоисточников во Вселенной [19].

По наблюдениям на БСА ФИАН была построена функция радиосветимости богатых скоплений галактик и определены особенности радиоизлучения скоплений, богатых горячим межгалактическим газом [25]. Наблюдения нашей ближайшей соседки, Туманности Андромеды, выявили наличие у этой спиральной галактики протяжённого радиогало, ответственного за большую часть её излучения на низких радиочастотах [26].

И все же, как и следовало ожидать, основная масса интересных результатов была получена на БСА ФИАН в области исследования пульсаров. Рекордно высокая для метрового диапазона чувствительность позволяет регистрировать на этом радиотелескопе большинство известных пульсаров северного неба. С использованием данных, полученных на БСА ФИАН, и данных, полученных на других радиотелескопах, был составлен каталог

усреднённых профилей импульсов на нескольких частотах более чем для 150 пульсаров [27]. Были выявлены пульсары с несколькими устойчивыми модами излучения. В случае наиболее мощных пульсаров удаётся регистрировать индивидуальные импульсы излучения и исследовать их микроструктуру с высоким временным разрешением.

Интересное направление исследований представляет собой высокоточное хронометрирование прихода импульсов пульсаров. Пульсары, как известно, представляют собой космические источники импульсного излучения с очень стабильной частотой следования импульсов. Основываясь на этом, группа сотрудников ПРАО ФИАН совместно с сотрудниками из Всесоюзного научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений Госстандарта СССР предложила в 1974 г. новую Пульсарную шкалу времени [28]. Эта идея была одобрена в том же году соответствующей комиссией Международного астрономического союза (МАС), и в настоящее время такая шкала принята несколькими обсерваториями мира, в том числе ПРАО ФИАН. Точность пульсарной шкалы существенно возросла после открытия так называемых "миллисекундных" пульсаров, период следования импульсов у которых составляет всего несколько миллисекунд. Теперь уже на интервалах примерно в один год эта точность становится сравнимой с точностью шкалы, основанной на лучших атомных стандартах, и даже превышает её. Существенным преимуществом пульсарной шкалы времени является её независимость от конкретных событий, происходящих в пункте её ведения, а также возможность построения этой шкалы на основе нескольких эталонов, далеко отстоящих друг от друга даже по космическим масштабам.

### **3. Современное состояние экспериментальной базы и научных исследований в Пушинской радиоастрономической обсерватории**

До 1990 г. Пушинская радиоастрономическая обсерватория (а точнее, Радиоастрономическая станция ФИАН, как она тогда называлась) представляла собой основную часть отдела радиоастрономии ФИАН. В 1990 г. в ФИАНе на правах одного из научных отделений института был создан Астрокосмический центр (АКЦ), в состав которого вошли отдел радиоастрономии ФИАН и сотрудники бывшего отдела астрофизики Института космических исследований РАН во главе с Н.С. Кардашевым. Без сомнения, это объединение оказалось полезным для обоих коллективов. В частности, научная тематика обсерватории обогатилась исследованиями компактных радиоисточников методами радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ), включая и наземно-космическую интерферометрию. В настоящее время радиотелескоп РТ-22 ФИАН оснащён аппаратурой для работы в сети РСДБ. Сотрудники ПРАО АКЦ ФИАН неоднократно принимали участие в наземных РСДБ-экспериментах и в наблюдениях по программе наземно-космического интерферометра VSOP/HALCA (Very Large Baseline Interferometry Space Observatory Programme/Highly Advanced Laboratory for Communication and Astronomy). На базе ПРАО сооружён полигон для испытаний будущих космических радиотелескопов.

Испытания первого из таких радиотелескопов, а именно 10-метрового космического радиотелескопа, предназначенного для установки на борту космического аппарата "Спектр-Радиоастрон", прошли с сентября 2003 г. по февраль 2004 г.

Несмотря на то, что основные инструменты ПРАО, а именно радиотелескопы РТ-22, ДКР-1000 и БСА ФИАН, были созданы уже много лет назад, их потенциал до сих пор полностью не исчерпан, а их наблюдательные возможности непрерывно расширяются. Этому способствует большая работа всего коллектива обсерватории по поддержанию и развитию уникальной экспериментальной базы обсерватории. Эта работа включает в себя совершенствование систем облучения и формирования диаграмм направленности радиотелескопов, разработку и изготовление новых усилителей, радиометров и анализаторов спектра. Наконец, внедрение современных цифровых методов регистрации сигнала, автоматизация процесса наблюдений, создание локальной вычислительной сети обсерватории — всё это тоже повышает эффективность работы научных сотрудников ПРАО и обеспечивает получение наблюдательных результатов самого высокого уровня. В середине 1990-х годов, когда в прежнем рабочем диапазоне радиотелескопа БСА ФИАН (101–104 МГц) появилось множество радиовещательных станций, коллективом обсерватории была выполнена гигантская и очень ответственная работа по перестройке всей антенны радиотелескопа в диапазон частот 109–113 МГц. В результате удалось сохранить для научных исследований самый высокочувствительный в мире радиотелескоп метровых волн. Но модернизация БСА ФИАН не ограничилась только перестройкой антенны в новый частотный диапазон. Примерно в те же годы была разработана и создана вторая диаграммообразующая система этой антенны [29]. В результате сегодня на этом радиотелескопе можно одновременно вести наблюдения по двум независимым научным программам, ориентируя одну из диаграмм направленности на один из интересующих нас объектов, в то время как вторая диаграмма антенны используется для исследования другой области неба.

Одним из основных направлений научных исследований, которые сегодня проводятся в ПРАО, является изучение неоднородной межпланетной и межзвёздной плазмы методом просвечивания. Этот метод, на который опирался и который активно развивал В.В. Виткевич при исследовании сверхкороны Солнца и солнечного ветра, теперь не менее успешно применяется и для анализа данных о неоднородной межзвёздной плазме, получаемых путём просвечивания её радиоизлучением пульсаров и компактных внегалактических радиоисточников. Анализируя эффекты распространения излучения пульсаров или активных галактических ядер через среду, расположенную между источником излучения и наблюдателем, удаётся определить основные параметры этой среды и даже указать положение на луче зрения слоя, наиболее эффективно влияющего на проходящее через него излучение [30]. Уникальную возможность для таких исследований предоставляет регистрация так называемых гигантских импульсов пульсаров. Например, гигантская мощность излучения в отдельных импульсах пульсара в Крабовидной Туманности в сочетании с высокой чувствительностью радиотелескопов БСА и ДКР-1000 ФИАН позволили найти не только средние характе-

ристики рассеивающей среды, но и зафиксировать вариации этих характеристик на временных интервалах в несколько недель, что свидетельствует о динамических процессах в этом остатке вспышки сверхновой [31].

Особо следует упомянуть о верхнем пределе плотности энергии гравитационных волн во Вселенной, который получен по ограничениям на вариации времени прихода импульсов пульсаров, ожидаемые от взаимодействия излучения пульсара с этими волнами [32]. Соответствующие наблюдения организованы сотрудниками ПРАО на 64-метровом радиотелескопе дециметрового диапазона Особого конструкторского бюро Московского энергетического института (ОКБ МЭИ), расположенном недалеко от г. Калязина.

Другим следствием высокой чувствительности пуштинских радиотелескопов метрового диапазона является обнаружение импульсного радиоизлучения замечательного рентгеновского источника "Геминга" [33–35] и ряда других аномальных рентгеновских пульсаров. Иногда к обнаружению нового источника космического радиоизлучения приводит не длительное накопление сигнала с известным периодом, как это имеет место в случае обнаружения радиоизлучения рентгеновских пульсаров, а регистрация одиночного импульса с аномальной мощностью. В этом случае основным критерием, свидетельствующим в пользу космической природы регистрируемого сигнала, служит дисперсионное запаздывание радиоволн с низкими частотами относительно радиоволн с более высокими частотами [36].

Одним из замечательных свойств радиопулсаров, как известно, является очень высокая стабильность частоты следования их импульсов. Поэтому регистрация даже очень небольших остаточных отклонений времени прихода импульсов от предсказываемых значений может дать важную информацию как об упоминавшихся выше эффектах распространения излучения в межзвёздной среде, так и о механизме радиоизлучения пульсара, физических процессах в его магнитосфере и наличии вблизи пульсара других тел с достаточно большой массой. Более того, такие наблюдения являются сегодня единственной возможностью проверить существующие модели внутреннего строения нейтронных звёзд. Дело в том, что некоторые из пульсаров обнаруживают редкие и неожиданные скачки периодов следования их импульсов ("glitches"). Подобные изменения могли бы происходить при перестройке твёрдой коры (так называемое звёздотрясение) или ещё более глубоких слоёв нейтронной звезды. По наблюдениям на радиотелескопах ПРАО АКЦ ФИАН были обнаружены не только типичные резкие, но и сравнительно плавные вариации периода следования импульсов, а у одного из пульсаров время от времени наблюдаются даже изменения периода следования импульсов обоих типов [37]. Но самое главное, получены свидетельства в пользу существования определённой зависимости между амплитудой изменения периода и интервалом следования вариаций [38]. А это уже позволяет эмпирически предсказать примерное время следующего заметного изменения периода, что представляется очень важным для объяснения всего явления в целом.

Как уже отмечалось выше, основным направлением исследований, проводимых на радиотелескопе РТ-22 ФИАН, являются исследования спектров межзвёздных атомов и молекул. Наряду с наблюдениями спектраль-

ных линий высоковозбуждённых атомов водорода, гелия и других элементов, описанных подробно в монографии [39], большое место занимают исследования мазерных радиолиний межзвёздных молекул, в первую очередь молекулы водяного пара. На протяжении многих лет ведутся регулярные наблюдения радиолинии  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\lambda = 1,35$  см) в спектрах около полутора сотен областей звёздообразования и звёзд поздних спектральных классов. Для некоторых из этих объектов ряды практически ежемесячных наблюдений охватывают около 30 лет. Это уникальный архив, свидетельствующий о динамических процессах в окрестностях красных гигантов и протозвёзд. Тщательный анализ наблюдаемых изменений спектров этих объектов позволяет в ряде случаев обнаружить свидетельства существования протопланетных дисков в областях звёздообразования, выяснить механизмы накачки верхних уровней молекулы водяного пара и другие физические условия в областях формирования мазерных линий (см., например, [40, 41]).

В конце 1980-х годов сотрудниками ПРАО АКЦ ФИАН и Института ядерных исследований (ИЯИ) РАН был предложен радиоастрономический метод детектирования космических нейтрино сверхвысоких энергий. В основе метода лежит высказанная ещё в начале 1960-х годов Г.А. Аскарьяном [42] идея о детектировании частиц высокой энергии по всплескам черенковского излучения, возникающим при взаимодействии таких частиц с веществом плотного диэлектрика. В радиоастрономическом методе было предложено использовать приповерхностный слой Луны в качестве гигантской мишени, а большие наземные радиотелескопы — в качестве высокочувствительных детекторов [43]. Сегодня этот метод применяется не только российскими, но и австралийскими, американскими, голландскими, индийскими учёными и считается наиболее перспективным для регистрации нейтрино с энергиями более  $10^{20}$  эВ. Верхние пределы потока высокоэнергичных нейтрино, полученные на сегодня сотрудниками ПРАО и ИЯИ по наблюдениям на Калязинском 64-метровом радиотелескопе, а также на 70-метровом радиотелескопе в Голдстоуне (США), уже закрывают некоторые из наиболее экзотических моделей Вселенной [44].

Как показывает весь опыт развития науки, даже самые, казалось бы, далёкие от повседневной деятельности человека направления исследований в конце концов оказываются полезными и для практического использования. Выше уже упоминалось об использовании разработанных в своё время сотрудниками ФИАН радиоастрономических методов и полученных знаний при определении координат прилунения космических аппаратов серии "Луна" и проведении экспериментов со спускаемыми на поверхность Венеры автоматическими зондами. Упоминалось и о предложении использовать пульсары в качестве хранителей времени. В последнее время большой интерес вызывает сформулированное ещё в 1980-е годы предложение сотрудников ПРАО АКЦ ФИАН о развитии радиоастрономического метода прогнозирования геомагнитных и других возмущений в околоземном пространстве, вызываемых летящими от Солнца потоками высокоэнергичных частиц.

Хорошо известно, как сильно подобная солнечная активность влияет на процессы, протекающие в земной магнитосфере и атмосфере, как она сказывается на биосфере и здоровье людей. С развитием космических

исследований и особенно полётов человека за пределы земной атмосферы весьма актуальной стала проблема прогнозирования так называемой "космической погоды". Как было показано сотрудниками ПРАО АКЦ ФИАН, регулярные наблюдения нескольких сотен радиодистанций, мерцающих на неоднородностях межпланетной плазмы, дают возможность делать краткосрочный прогноз ситуации в космическом пространстве. При поддержке Института прикладной геофизики Госкомгидромета в настоящее время проводится очередная модернизация радиотелескопа БСА ФИАН, которая призвана обеспечить регулярный мониторинг состояния межпланетной плазмы и распространения в ней возмущений, грозящих здоровью космонавтов. Уже через два года ПРАО АКЦ ФИАН окажется важнейшим звеном в системе прогнозирования космической погоды.

Рассказ о научных результатах, полученных в Пушинской радиоастрономической обсерватории был бы не полным, если не упомянуть хотя бы о наиболее важных теоретических работах пушинских астрономов. Предложенный В.В. Виткевичем в начале 1950-х годов метод просвечивания нашёл широкое распространение и активно используется в последние годы не только для исследований околосолнечной и межпланетной плазмы, но и для определения физических условий в межзвёздной среде. Этому в значительной степени способствовали работы В.И. Шишова [45, 46], в которых была развита аналитическая теория сильных мерцаний, выведено уравнение для функции когерентности четвёртого порядка поля волны и получены решения этого уравнения, описывающие развитие сильных и насыщенных флуктуаций интенсивности когерентного и частично когерентного излучения. Анализ экспериментальных результатов привёл теоретиков обсерватории к выводу о том, что основным источником нагрева короны Солнца и ускорения солнечного ветра являются низкочастотные альвеновские волны, генерируемые в верхней хромосфере Солнца, а структура короны, сверхкороны и межпланетной плазмы определяется в первую очередь напряжённостью магнитного поля в основании короны [47, 48]. Динамическая эволюция богатых скоплений галактик, явление галактического ветра и, как следствие, истечение газа из скоплений галактик рассмотрены в работах М.В. Конюкова [49, 50]. Наконец, следует упомянуть о теоретическом осмыслении богатейшего наблюдательного материала, полученного в обсерватории по пульсарам, которое нашло отражение в монографии [51].

С организацией в 1990 г. Астрокосмического центра ФИАН заметно расширились и научные контакты Пушинской радиоастрономической обсерватории с другими астрономическими учреждениями в нашей стране и в мире. В последние годы совместные наблюдения и исследования ведутся с сотрудниками Научно-исследовательского радиофизического института (Нижний Новгород), Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга и физического факультета МГУ, Радиоастрономического института Национальной АН Украины (Харьков, Одесса), Абастуманской астрофизической обсерватории АН Грузии, Института радиоастрономии Научного общества М. Планка (Бонн, ФРГ), Национальной радиоастрономической обсерватории и НАСА (США), с австралийскими, английскими, голландскими и японскими коллегами. Ежегодно в Пушино на базе ПРАО АКЦ ФИАН проводится три-четыре, а то и

больше астрономических школ, совещаний и конференций. В последние годы заметно расширился круг участников ежегодных конференций по актуальным проблемам внегалактической астрономии, организуемых с начала 1980-х годов совместно с Астрономическим институтом Санкт-Петербургского государственного университета; в июле 2009 г. пройдёт уже 5-я ежегодная Школа современной астрофизики. Высоким научным уровнем отмечены и проводимые на базе Пушинской обсерватории ежегодные научные сессии АКЦ ФИАН.

#### 4. Наши перспективы

Размышляя о перспективах обсерватории и её экспериментальной базы, следует иметь в виду намечающиеся общие тенденции развития радиоастрономических исследований в мире, а также возможные пути совершенствования инструментария, методов приёма космического радиоизлучения и анализа экспериментальных данных. В последние годы и даже десятилетия всё большее число создаваемых и проектируемых в мире радиотелескопов приобретают статус международных инструментов. Причины этой тенденции к "глобализации" очевидны:

- требование всё более высокой чувствительности инструментов приводит к необходимости сооружения всё более грандиозных и дорогостоящих установок;
- эффективная работа этих высокочувствительных радиотелескопов возможна, как правило, только в небольшом числе точек на Земле, где имеются подходящие климатические условия и гарантируется низкий уровень помех;
- создание инструмента, обладающего несомненными преимуществами перед всеми существующими, предъявляет самые высокие требования к технологии изготовления составляющих его частей и блоков, что, в свою очередь, приводит к необходимости интеграции опыта самых передовых научных коллективов и промышленных фирм.

Всё сказанное как нельзя лучше подтверждается опытом работы по проектированию и созданию таких радиотелескопов XXI в., как многоэлементный миллиметровый радиотелескоп ALMA (Atacama Large Millimeter Array), строящийся в пустыне Атакама (Чили) на высоте 5 тыс. метров, и радиотелескоп SKA (Square Kilometer Array) сантиметрового и миллиметрового диапазонов с собирающей площадью в 1 км<sup>2</sup>, который будет сооружаться в пустынных районах западной Австралии или ЮАР. Активное участие России в подобных проектах очень важно для российских учёных и, в конечном итоге, должно быть очень выгодным для крупнейших радиотехнических предприятий страны. В настоящее время ПРАО АКЦ ФИАН входит в состав Европейского консорциума по проектированию и созданию радиотелескопа SKA, а представитель АКЦ ФИАН имеет статус наблюдателя в Международном координационном комитете по созданию этого инструмента. Строительство этого радиотелескопа будет осуществляться в течение всего следующего десятилетия и должно завершиться в 2021 г. Очень важно не только сохранить, но и упрочить позиции российской стороны в реализации проекта, в котором, помимо стран Объединённой Европы, самое активное участие принимают США, Канада, Австралия, ЮАР, Индия, Китай и Новая Зеландия.

Перечень важнейших научных задач, для решения которых создаются радиотелескопы ALMA, SKA, равно как и LOFAR (Low Frequency Array — радиотелескоп метрового диапазона, строящийся в основном на территории Голландии с участием Германии, Франции и некоторых других европейских государств), включает в себя:

- исследование ранних этапов эволюции Вселенной, в том числе эпохи реионизации;
- исследование природы тёмной материи и проблемы тёмной энергии;
- изучение процесса звёздообразования в нашей Галактике и в галактиках, удалённых на несколько миллиардов световых лет;
- изучение физических процессов в активных галактических ядрах;
- поиск и изучение переменных радиоисточников различной природы;
- детектирование частиц сверхвысоких энергий;
- радиоастрономические исследования Солнца и объектов Солнечной системы;

- изучение проблемы происхождения жизни во Вселенной и поиск сигналов от внеземных цивилизаций и многое, многое другое. Короче говоря, легче назвать задачи, которые не предполагается решать с помощью этих замечательных инструментов. Это требование универсальности и определяет во многом их высокую стоимость, которая, например, для SKA заметно превысит 1 млрд долларов, поэтому практически все подобные проекты реализуются объединёнными усилиями нескольких стран или даже всего мирового сообщества.

С другой стороны, такой телескоп, несомненно, способен решать не только те задачи, которые уже сегодня стоят перед наблюдательной радиоастрономией, но и те, которые могут возникнуть в будущем. Другими словами, универсальные инструменты в гораздо меньшей степени подвержены моральному старению, чем установки, нацеленные строго на решение конкретной задачи. Активное участие России в создании этого телескопа обеспечит нашим учёным возможность работы на лучшем в мире инструменте, по крайней мере, в течение первой половины XXI в.

В то же время надо иметь в виду, что участие в международных проектах является совершенно необходимым, но всё же не достаточным условием развития отечественной радиоастрономии. Наряду с этим необходимо также создание новых национальных инструментов. В частности, представляется целесообразным сооружение телескопа, который, не являясь универсальным в полном смысле слова, тем не менее заметно превосходил бы существующие инструменты, хотя бы по одному или нескольким параметрам. Такой радиотелескоп, конечно, будет намного дешевле международных проектов, тем не менее он предоставит астрономам новые наблюдательные возможности, а значит, и для него всегда найдётся задача, решение которой он сможет обеспечить заметно лучше любого другого из существующих инструментов. Более того, при удачном выборе концепции таких задач может быть достаточно много и уж заведомо тем больше, чем более существенными оказываются параметры, по которым данный телескоп превосходит другие телескопы. В этом плане весьма убедительным примером можно считать радиотелескоп ДКР-1000 ФИАН. Этот инструмент создавался для решения очень актуаль-

ной на момент начала строительства (вторая половина 1950-х годов) задачи — уточнения распределения радиоисточников по плотностям потоков, что было необходимо, в частности, для ответа на вопрос: эволюционирует ли наша Вселенная? Однако случилось так, что ответ на этот вопрос был получен ещё до ввода в строй даже антенны Восток–Запад ДКР-1000. Что касается задач, для решения которых успешно использовался этот инструмент, то это были наблюдения мерцаний радиоисточников на неоднородностях межпланетной плазмы, измерение скорости солнечного ветра, исследование спектров и структуры внегалактических радиоисточников, радиотелескопических гигантских атомов углерода и, наконец, исследование пульсаров. Успешное использование ДКР-1000 во всех этих случаях было обусловлено его высокой чувствительностью и большим диапазоном — сочетание, которое и сегодня может считаться уникальным для радиотелескопов метровых волн.

Поэтому, задумываясь над возможными перспективами научных исследований, проводимых в ПРАО АКЦ ФИАН, мы не ограничиваемся только участием в международных проектах по созданию упомянутых выше крупнейших универсальных радиотелескопов XXI в. Наряду с этим мы рассматриваем возможность существенной модернизации экспериментальной базы обсерватории. В частности, последняя, только недавно завершённая, модернизация радиотелескопа РТ-22 преследовала цель обеспечить возможность использования его не только в непосредственных радиоастрономических исследованиях, но и в качестве антенны станции слежения в рамках проекта "Радиоастрон", а может быть, и в других последующих космических проектах. Наряду с этим продолжают работы по совершенствованию приёмного аппаратного комплекса радиотелескопа для проведения исследований как в непрерывном спектре, так и в спектральных радиотелескопах.

Осуществляемая сегодня модернизация уникального комплекса метрового диапазона обсерватории нацелена на повышение чувствительности и помехоустойчивости радиотелескопов Восток–Запад ДКР-1000 и БСА ФИАН, а также на расширение их поля зрения. Уже в рамках программы "космическая погода", о которой шла речь выше, намечено увеличить число полностью автономных диаграммообразующих систем радиотелескопа БСА ФИАН, как минимум, до трёх. Одна из этих систем, предназначенная главным образом для мониторинга состояния межпланетной плазмы, будет формировать 64 стационарных луча, которые обеспечат плотное перекрытие склонений в интервале от  $-8^\circ$  до  $55^\circ$  в плоскости меридиана места (небесного меридиана, проходящего через зенит в точке наблюдений). Другие диаграммы направленности, как и сегодня, будут иметь меньшее число лучей, но с возможностью их переключения в более широком интервале склонений — от  $-20^\circ$  до  $90^\circ$ .

Параллельно с этим ведётся разработка цифровой системы сбора информации от отдельных секций антенны Восток–Запад ДКР-1000, включающей в себя и цифровую диаграммообразующую систему этого радиотелескопа. Предполагается, что сигналы от всех секций после предварительного усиления будут оцифровываться с сохранением информации во всей рабочей полосе частот (30–120 МГц) радиотелескопа. Все дальнейшие этапы сбора и обработки информации должны

выполняться с использованием современных цифровых методов, что повысит надёжность работы радиотелескопа, обеспечит большую гибкость и лучшую помехозащищённость системы в целом.

За десятилетия, прошедшие после ввода в строй последнего из трёх крупных радиотелескопов ПРАО АКЦ ФИАН, появились новые задачи и даже новые объекты исследований. Сегодня внимание астрономов приковано к явлениям, которые нередко развиваются на временных масштабах, составляющих несколько долей суток и менее, иногда даже несколько долей секунды. Некоторые из этих явлений, несомненно, связаны с эффектами распространения излучения в межзвёздной и в межгалактической среде. Поэтому их исследование несёт важную информацию не только о структуре самого источника излучения, но и о характерных параметрах неоднородностей в среде, находящейся между источником и наблюдателем, будь то неоднородности электронной концентрации или гравитационного поля. Сюда можно отнести эффекты гравитационного линзирования, аномально сильного рассеяния или, напротив, фокусировки радиоизлучения достаточно компактных радиоисточников.

Однако, как свидетельствуют наблюдения, во многих случаях быстрая переменность отражает реальные события мощного энерговыделения на коротких временных масштабах. Наиболее характерным примером таких явлений могут служить гамма-всплески, а также так называемые рентгеновские и гамма-транзиенты. То, что подобные события наблюдаются чаще всего в рентгеновском и гамма-диапазонах, не удивительно — именно здесь относительно неплохо налажен мониторинг всевозможных явлений всплещного характера, для чего используются системы с очень широким полем зрения. Аналогичные системы в других диапазонах волн пока просто отсутствуют. В то же время оценка потока излучения объекта, ответственного за гамма-всплеск, в других диапазонах волн была бы очень важна для выяснения природы этих загадочных явлений.

Итак, мониторинг транзиентных источников и всплесков излучения в диапазонах волн, отличных от гамма- и рентгеновского диапазонов, представляется сегодня одной из наиболее актуальных астрофизических задач. Налаживание такого мониторинга в радиодиапазоне, причём именно на волнах метрового диапазона, представляется вполне реальным делом, которое можно было бы осуществить в довольно короткие сроки с затратой сравнительно небольших средств. В числе других объектов и явлений, сопровождающихся мощными спорадическими всплесками или резкими вариациями интенсивности радиоизлучения, укажем следующие:

- гигантские импульсы пульсаров, в несколько сотен и более раз превосходящие по потоку средние потоки пульсара в импульсе, представляющие собой одно из интереснейших явлений в астрофизике;
- магнетары и другие аномальные рентгеновские пульсары;
- всплески сверхновых звёзд;
- быстрая переменность потока внегалактических радиоисточников;
- активные процессы на Солнце и в околосолнечной плазме;
- очень короткие всплески радиоизлучения, сопровождающие широкие атмосферные ливни или взаимо-



Рис. 8. Макет модуля радиотелескопа метровых волн нового поколения, разрабатываемого сотрудниками ПРАО АКЦ ФИАН.

действие космических лучей предельно высоких энергий с веществом лунного грунта.

Решения этого широкого круга актуальных задач возможно лишь при существенной модернизации экспериментальной базы метрового диапазона ПРАО АКЦ ФИАН. С другой стороны, за последние годы достигнут очень большой прогресс в радиофизике, антенной технике и радиотехнике, не говоря уже о компьютерных технологиях. С использованием этих достижений сегодня сравнительно легко решаются многие технические проблемы, которые ещё десять или двадцать лет назад казались непреодолимыми. При этом создание на основе новых технологий нового инструмента во многих случаях оценивается как значительно более дешёвое, чем работы по необходимой для решения тех же задач модернизации уже существующих установок. С учётом этого обстоятельства в обсерватории была разработана концепция радиотелескопа метровых волн нового поколения. По замыслу разработчиков этой концепции новый радиотелескоп должен состоять из основного ядра и нескольких периферийных станций. Эффективная площадь ядра радиотелескопа должна составлять не менее 60 % суммарной площади ядра и периферийных станций. И ядро, и антенны периферийных станций представляют собой набор идентичных модулей, каждый из которых состоит из 16 пар ортогональных широкополосных вибраторов, обеспечивающих эффективный приём сигнала в диапазоне частот 35–75 МГц. Сложение сигналов, поступающих от отдельных модулей, производится после их оцифровки. Такая система диаграммообразования должна обеспечить возможность одновременного приёма космического радиоизлучения из более чем 1000 направлений, полностью перекрывающих всё поле зрения инструмента, которое будет составлять около 2 ср.

В настоящее время в обсерватории ведётся работа по макетированию отдельных модулей (рис. 8), разрабатываются системы оцифровки и сложения сигналов от отдельных модулей. Общая стоимость такого радиотелескопа оценивается примерно в 120 млн рублей. Создание такого инструмента не только существенно продвинет решение перечисленных выше фундаментальных проблем, но и значительно повысит надёжность прогноза космической погоды, который до этого будет

осуществляться на основе наблюдений на радиотелескопе БСА ФИАН.

## Список литературы

- Хайкин С Э, Чихачев Б М *ДАН СССР* **58** 1923 (1947)
- Виткевич В В *Астрон. журн.* **32** 106 (1955)
- Кузьмин А Д, Удальцов В А *Астрон. цирк.* **187** 14 (1957)
- Сороченко Р Л *Астрон. журн.* **38** 478 (1961) [Sorochenko R L *Sov. Astron.* **5** 355 (1961)]
- Виткевич В В и др. *ДАН СССР* **132** 85 (1960) [Vitkevich V V et al. *Sov. Phys. Dokl.* **5** 457 (1969)]
- Калачев П Д, Саломонович А Е *Труды ФИАН* **17** 13 (1962)
- Саломонович А Е *Труды ФИАН* **17** 42 (1962)
- Кузьмин А Д и др. *Астрон. журн.* **37** 975 (1960) [Kuz'min A D et al. *Sov. Astron.* **4** 909 (1961)]
- Кардашев Н С, Кузьмин А Д, Сыроватский С И *Астрон. журн.* **39** 216 (1962) [Kardashev N S, Kuz'min A D, Syrovatskii S I *Sov. Astron.* **6** 167 (1962)]
- Сороченко Р Л, Бородзич Э В *ДАН СССР* **163** 603 (1965) [Sorochenko R L, Borodzich E V *Sov. Phys. Dokl.* **10** 588 (1966)]
- Артюх В С, Виткевич В В, Дагкесаманский Р Д *Астрон. журн.* **44** 984 (1967) [Artyukh V S, Vitkevich V V, Dagkesamanskii R D *Sov. Astron.* **11** 792 (1968)]
- Асланян А М и др. *Астрофизика* **4** 129 (1968) [Aslanyan A M et al. *Astrophys.* **4** 39 (1968)]
- Артюх В С, Дагкесаманский Р Д, Виткевич В В, Кожухов В Н *Астрон. журн.* **45** 712 (1968) [Artyukh V S, Dagkesamanskii R D, Vitkevich V V, Kozhukhov V N *Sov. Astron.* **12** 567 (1969)]
- Дагкесаманский Р Д *Астрофизика* **5** 297 (1969) [Dagkesamanskii R D *Astrophys.* **5** 140 (1969)]
- Dagkesamanskii R D *Nature* **226** 432 (1970)
- Виткевич В В, Антонова Т Д, Власов В И *ДАН СССР* **168** 55 (1966) [Vitkevich V V, Antonova T D, Vlasov V I *Sov. Phys. Dokl.* **11** 369 (1966)]
- Виткевич В В, Власов В И *Астрон. цирк.* **396** 1 (1966)
- Володин Ю В, Губанов А Г, Дагкесаманский Р Д *Труды ФИАН* **189** 173 (1988)
- Артюх В С *Труды ФИАН* **189** 223 (1988)
- Алексеев Ю И и др. *ДАН СССР* **187** 1019 (1969) [Aleksseev Yu I et al. *Sov. Phys. Dokl.* **14** 781 (1970)]
- Davies J G et al. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **211** 57 (1984)
- Лехт Е Е, Смирнов Г Т, Сороченко Р Л *Письма в Астрон. журн.* **15** 396 (1989) [Lekht E E, Smirnov G T, Sorochenko R L *Sov. Astron. Lett.* **15** 171 (1989)]
- Виткевич В В, Ильясов Ю П, Кутузов С М *Изв. вузов. Радиофизика* **16** 1904 (1973) [Vitkevich V V, Ilyasov Yu P, Kutuzov S M *Radiophys. Quantum Electron.* **16** 1482 (1973)]
- Власов В И *Геомагнетизм и аэрономия* **21** 441 (1981)
- Губанов А Г, Дагкесаманский Р Д *Труды ФИАН* **189** 43 (1988)
- Володин Ю В, Дагкесаманский Р Д *Астрофизика* **13** 617 (1977) [Volodin Yu V, Dagkesamanskii R D *Astrophys.* **13** 367 (1977)]
- Izvekova V A et al. *Austr. J. Phys.* **32** 25 (1979)
- Ильин В Г и др. *ДАН СССР* **275** 835 (1984) [Il'in V G et al. *Sov. Phys. Dokl.* **29** 252 (1984)]
- Кутузов С М и др. *Труды ФИАН* **229** 3 (2000)
- Shishov V I et al. *Astron. Astrophys.* **404** 557 (2003)
- Kuzmin A D, in *Proc. of the 363 WE-Heraeus Seminar on Neutron Stars and Pulsars* (MPE-Report, 291, Eds W Becker, H H Huang) (Garching bei München: Max Planck Inst. Für Extraterrestrische Physik, 2007) p. 72
- Потапов В А, в сб. *Проблемы современной астрометрии: Труды первой Московской астрометрической школы, Звенигород, 2007*
- Кузьмин А Д, Лосовский Б Я *Письма в Астрон. журн.* **23** 323 (1997) [Kuz'min A D, Losovskii B Ya *Astron. Lett.* **23** 283 (1997)]
- Shitov Yu P, Pugachev V D *New Astron.* **3** 101 (1997)
- Malofeev V M, Malov O I *Nature* **389** 697 (1997)
- Шитов Ю П и др. *Астрон. журн.* **86** 607 (2009) [Shitov Yu P et al. *Astron. Rep.* **53** 561 (2009)]
- Шабанова Т В *Астрон. журн.* **86** 505 (2009) [Shabanova T V *Astron. Rep.* **53** 465 (2009)]
- Shabanova T V *Astrophys. J.* **700** 1009 (2009)
- Сороченко Р Л, Гордон М А *Рекомбинационные радиолнии: физика и астрономия* (М.: Физматлит, 2003)
- Лехт Е Е, Пашченко М И, Толмачев А М *Астрон. журн.* **84** 592 (2007) [Lekht E E, Pashchenko M I, Tolmachev A M *Astron. Rep.* **51** 531 (2007)]
- Лехт Е Е, Муницын В А, Краснов В В *Астрон. журн.* **84** 30 (2007) [Lekht E E, Munitsyn V A, Krasnov V V *Astron. Rep.* **51** 27 (2007)]
- Аскар'ян Г А *ЖЭТФ* **41** 616 (1961) [Askar'yan G A *Sov. Phys. JETP* **14** 441 (1962)]
- Дагкесаманский Р Д, Железных И М *Письма в ЖЭТФ* **50** 233 (1989) [Dagkesamanskii R D, Zheleznykh I M *JETP Lett.* **50** 259 (1989)]
- Березняк А Р и др. *Астрон. журн.* **82** 149 (2005) [Beresnyak A R et al. *Astron. Rep.* **49** 127 (2005)]
- Шишов В И *Изв. вузов. Радиофизика* **11** 866 (1968) [Shishov V I *Radiophys. Quantum Electron.* **11** 500 (1968)]
- Шишов В И *ЖЭТФ* **61** 1399 (1971) [Shishov V I *Sov. Phys. JETP* **34** 744 (1972)]
- Чашей И В, Шишов В И *Геомагнетизм и аэрономия* **17** 984 (1977)
- Чашей И В, Шишов В И *Астрон. журн.* **65** 157 (1988) [Chashei I V, Shishov V I *Sov. Astron.* **32** 81 (1988)]
- Конюков М В *Труды ФИАН* **189** 64 (1988)
- Конюков М В *Труды ФИАН* **189** 113 (1988)
- Малов И Ф *Радиопульсары* (М.: Наука, 2004)

## P.N. Lebedev Physical Institute Astro Space Center Pushchino Radio Astronomy Observatory: yesterday, today and tomorrow

R.D. Dagkesamanskii

Pushchino Radio Astronomy Observatory, Astro Space Center  
of P.N. Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences,  
142290 Pushchino, Moscow region, Russian Federation  
Tel. (7-496) 733-01 85. E-mail: rdd@prao.ru

The coming and development of Russian (formerly Soviet) radio astronomy is indissolubly linked with the RAS Physics Institute. From the late 1940s, the Institute conducted most of its radio astronomy research in Crimea, on a station or field trip basis, and in the late 1950s the center of gravity of research moved to the southern Moscow region where, within less than twenty years, one of the largest radio astronomy observatories in the country, and indeed the world was developed. The Observatory's unique instrumentation system is briefly reviewed in historical perspective. Key research areas and some major achievements are outlined, and finally the prospects of the Observatory as (currently) part of the FIAN Astro Space center are examined.

PACS numbers: 01.30.Bb, **01.65. + g**, 07.57. – c, 95.55.Jz

DOI: 10.3367/UFNr.0179.200911i.1225

Bibliography — 51 references

Received 25 May 2009, revised 4 June 2009

*Uspekhi Fizicheskikh Nauk* **179** (11) 1225–1235 (2009)

*Physics – Uspekhi* **52** (11) (2009)