

Некоторые этапы развития радиоастрономических наблюдений в миллиметровом диапазоне длин волн в Радиоастрономическом институте НАН Украины

В. М. Шульга, Л. Н. Литвиненко, В. В. Мышенко

*Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: shulga@rian.kharkov.ua*

Статья поступила в редакцию 23 сентября 2005 г.

В статье сделана первая попытка показать работы, проводимые в Радиоастрономическом институте НАН Украины в области миллиметровой радиоастрономии, в их развитии и дать представление об уровне современных наблюдений на радиотелескопе РТ-22 и возможностях их расширения. За прошедшие годы созданы высокочувствительные приемные системы на базе смесителей на диодах с барьером Шоттки и усилителей на НЕМ транзисторах в дециметровом, сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн. Это позволило начать в РИ НАНУ многочастотные спектральные наблюдения и изучение природы биполярных потоков вещества в областях активного звездообразования, проводить исследования излучения космических мазеров на молекулах гидроксила, метанола, водяного пара. Увеличение пространственного разрешения наблюдений может быть осуществлено при развитии работ по радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами в миллиметровом диапазоне.

При организации Радиоастрономического института НАН Украины изучение космоса в миллиметровом диапазоне рассматривалось как одно из основных направлений научных работ. Поэтому первыми, кто инициировал исследования в области миллиметровой радиоастрономии в Украине, были академики Л. Н. Литвиненко и С. Я. Брауде. Предпосылки к этому были. Во-первых, известные результаты наблюдений в миллиметровом диапазоне указывали на их значимость и перспективу; во-вторых, опыт работы на сверхвысоких частотах, накопленный в Институте радиофизики и электроники НАНУ, являлся хорошим фундаментом для освоения новой для недавно организованного института области научных исследований. Конечно, были очевидны и трудности. Основной из них являлось полное отсутствие опыта миллиметровых

радиоастрономических наблюдений на телескопах. Это же можно было сказать и о постановке наблюдательных задач и о знании методов обработки данных наблюдений, их интерпретации и т. п. Более того, надо было принять решение, где и на каких инструментах проводить наблюдения, так как собственной антенны миллиметрового диапазона в институте не было. Решить эти проблемы за относительно короткий срок можно было только в кооперации с другими радиоастрономическими центрами бывшего Советского Союза и зарубежья. Как оказалось, был выбран правильный путь, причем даже в условиях влияния глобальных социальных и политических событий, которые произошли уже после организации Радиоастрономического института.

С нашей точки зрения, в работах в миллиметровой радиоастрономии, проведенных

в РИ НАНУ, можно выделить два временных периода: период романтической наивности и период тяжелой творческой работы. Каждый из них имел свою специфику и принес свои результаты.

Период романтизма

Мы считаем, что этот период закончился рано утром 19 августа 1991 года. Событие, которое произошло в Москве, было для нас неожиданным. К другому событию мы шли несколько лет, но оба события повлияли на выбор направлений дальнейших исследований на миллиметровых волнах в РИ НАНУ. В утренние часы 19 августа мы закончили картографирование с помощью нашего мазерного приемника темного молекулярного облака ГМС-1 в линии синильной кислоты на радиотелескопе РТ-22 в пос. Симеиз. Это было наше первое полноценное радиоастрономическое наблюдение объекта в межзвездной среде и наш первый астрофизический результат, который стал основой для первой в институте журнальной публикации в области наблюдательной миллиметровой радиоастрономии [1].

Наш романтизм в тот период основывался на планах строительства новых телескопов: самого большого в мире миллиметрового радиотелескопа РТ-70 с диаметром главного зеркала 70 м и радиотелескопа РТ-16 в нашем институте. Инициатором строительства телескопа РТ-70 в Узбекистане был Астро-космический центр АН СССР в г. Москва. Этот радиотелескоп должен был стать уникальным радиоастрономическим инструментом XXI века, на котором впервые предполагалась реализация адаптивного главного зеркала, т. е. зеркала с активной коррекцией его параболической отражающей поверхности с точностью в несколько десятых миллиметра в процессе сопровождения источника. По предложению Астро-космического центра СССР в РИ НАНУ был разработан метод измерения в реальном времени профиля поверхности зеркала с диаметром 70 м с точностью в несколько десятков микрон [2]. К сожалению, строительство

этого радиотелескопа так и не состоялось. Эта же участь постигла и проект радиотелескопа РТ-16, который разрабатывался в нашем институте.

Второй причиной для романтизма (в этом случае, лучше сказать, наивности и упрощенного подхода к работам по радиоастрономии) было недостаточное понимание важности выбора объектов наблюдений, знания методов обработки данных и интерпретации получаемых результатов. В тот период отсутствие опыта, культуры и традиций радиоастрономических наблюдений, которые накапливаются от поколения к поколению, не рассматривались нами как сильно препятствующий началу работ фактор. Естественно, что уже после первых наблюдений стала очевидной необходимость воспитания радиоастрономов, которые обладали бы достаточными знаниями для профессионального решения задач наблюдательной радиоастрономии и астрофизики. Но это уже выполнялось на втором этапе нашей работы.

Еще одной базой для нашего романтизма был имеющийся опыт в разработке методов высокочувствительного приема электромагнитных волн миллиметрового диапазона. К моменту возникновения задач, связанных с наблюдениями, нами была разработана серия миллиметровых квантовых усилителей (мазеров). В сантиметровом диапазоне мазеры в свое время сыграли уникальную роль в наблюдательной радиоастрономии, обеспечив повышение чувствительности приемных систем более чем на порядок. Но трудности создания и, что важно для наблюдений, сложность эксплуатации на антеннах не позволили реализовать на практике их уникальные характеристики в миллиметровом диапазоне. После длительных дискуссий в институте было принято решение доработать имеющийся лабораторный макет мазера 3-мм диапазона до уровня, позволяющего использовать его на радиотелескопе, и тем самым устранить существующий у радиоастрономов-наблюдателей скептицизм относительно такой возможности. Выбор 3-мм диапазона был сделан исходя из пла-

нируемых задач в области спектральных исследований излучения космических молекул.

Первые успешные испытания нашего мазера были проведены на радиотелескопе РТ-25×2 Института прикладной физики АН СССР (г. Горький). Этот телескоп пассажного типа не обеспечивал больших возможностей для наблюдений, но именно на нем мы получили первые сигналы от планет Венера и Юпитер и, основное, первый опыт наблюдений. Только после этого нам удалось убедить заведующего лабораторией на радиотелескопе РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории Н. С. Нестерова в возможности испытания нашего мазера на антенне. Имеющий опыт работы с мазерами сантиметрового диапазона и понимающий перспективы использования мазера в миллиметровых наблюдениях Н. С. Нестеров (к сожалению, рано ушедший из жизни) стал одним из активных сторонников наших работ.

Работу в области наблюдательной миллиметровой радиоастрономии на первом этапе мы можем охарактеризовать следующими результатами.

Были проведены первые наблюдения в миллиметровом диапазоне с помощью созданного нами мазерного приемника [3], и полученный при этом опыт позволил определить развитие дальнейших исследований. Следует отметить, что этот мазерный приемник 3-мм диапазона до настоящего времени остается рекордсменом по шумовой температуре при однополосном приеме.

Это в свою очередь способствовало установлению научных контактов и созданию научной кооперации, без которой полноценных измерений могло и не быть. Совместные работы объединили коллективы из Крымской астрофизической обсерватории (к. ф.-м. н. Н. С. Нестеров, а в настоящее время к. ф.-м. н. А. Е. Вольвач), Института прикладной физики АН СССР (д. ф.-м. н. И. И. Зинченко), Ленинградского политехнического института (проф. Н. А. Есепкина). Появились первые научные связи и с зарубежными астрономическими центрами в Финляндии, Швеции, Германии.

Период напряженной работы

К сожалению, этот период совпал с теми изменениями в политико-социальном окружении, которые коренным образом повлияли не только на развитие миллиметровой радиоастрономии. После 1991 г. мы для работы многое потеряли, но что-то приобрели. Если упоминать только некоторые экономические и организационные изменения, то в те времена во много раз ухудшились (или совсем исчезли) возможности приобретения оборудования, нарушились связи с российскими участниками нашей кооперации, исчезла возможность строительства новых радиотелескопов. Убийственным для наблюдений стало нулевое финансирование поездок на телескопы, да и вообще командировок.

К нашим приобретениям можно отнести завершение формирования программы научных исследований. Уже в 1991 г. стало понятно, что выбранный частотный диапазон и возможности нашей приемной аппаратуры при наблюдениях на одиночном телескопе позволяют проводить полноценные исследования областей активного звездообразования. Происходящие в газо-пылевых облаках процессы, приводящие к рождению звезд, сопровождаются излучением большого числа молекул, и картографирование этих объектов является информативным методом их изучения. В миллиметровом диапазоне звездообразование сопровождается двумя интересными явлениями: биполярными выбросами, т. е. движущимися в противоположные стороны от центра звездообразования потоками вещества, которые возникают одновременно с процессами гравитационного сжатия газо-пылевой среды; возникновением космических мазеров из-за перехода молекулярной квантовой системы в инвертированное состояние при определенных условиях в межзвездной среде. Сейчас поиск и наблюдение эти явлений активно проводятся в миллиметровом диапазоне длин волн.

Происшедшие события, приведшие к исчезновению СССР, и изменения условий

финансирования науки в Украине привели к тому, что мы уже не имели возможности использовать в полной мере технические разработки сотрудничавших с нами ИПФ РАН и Ленинградского политехнического института. Более того, стали невозможными наблюдения с мазерным приемником по реально возникшей причине полного отсутствия в Крыму жидкого гелия, который необходим для охлаждения квантового усилителя. Жидкого гелия нет ни в Крыму, ни в нашем институте и по сей день. Фактически мы были вынуждены начать заново все работы по радиоастрономическим приемникам миллиметрового диапазона.

У нас было два возможных пути организации радиоастрономических наблюдений. Один из них появился с расширением международных связей и состоял в использовании телескопов за пределами Украины. Именно такой путь – наблюдения на зарубежных инструментах – стал основным для многих астрономов и в Украине, и в России. В определенной мере воспользовались им и мы. Но все же основным направлением развития миллиметровых исследований мы выбрали создание условий для постоянных наблюдений на украинском радиотелескопе РТ-22. Следует отметить, что проведенный позже анализ показал, что первый путь был менее затратным как по объему работ, так и по финансам, и он быстрее приводил к радиоастрономическим результатам. В этом случае при наличии соответствующей задачи не надо было разрабатывать аппаратуру, поддерживать антенну в рабочем состоянии, а достаточно было найти деньги на дорогу до телескопа. Плата за использование телескопа за рубежом, как правило, не взимается, а проживание на телескопе стоит дешевле проживания в украинских гостиницах. Наш выбор был обусловлен многими причинами, и не последней среди них были чувство патриотизма и ответственности за взятые институтом обязательства, а также желание иметь собственную программу наблюдений, объединяющую многочастотные исследования разнообразных космических объектов, работу в режиме РСДБ

и т. д. Кроме того, выбор первого пути мог поставить окончательную точку в развитии в РИ НАНУ высокочувствительных приемных систем миллиметрового диапазона для радиоастрономии и других применений.

Но после такого выбора возникла проблема финансирования. Она была основной и самой болезненной проблемой на протяжении последнего десятилетия. Даже при появлении стабильности в выплате зарплаты НАН Украины не могла обеспечить закупку приборов, комплектующих элементов, которые были крайне необходимы для создания приемной аппаратуры, и, в особенности, финансирование поездок на РТ-22. В нашем институте с этой целью старались использовать все возможные и доступные средства: гранты INTAS и УНТЦ, спонсорство, внебюджетные деньги.

Стратегический план работ на радиотелескопе РТ-22 основывался на выбранном направлении радиоастрономических наблюдений областей активного звездообразования, и его можно представить следующим образом.

Надо было разработать новую приемную аппаратуру 3-мм диапазона, которая не уступала бы по чувствительности используемой на зарубежных телескопах. Она должна обеспечивать работы по картографированию молекулярных облаков в линиях различных молекул при изучении биполярных выбросов и поиске объектов, где они существуют.

Поскольку процессы звездообразования сопровождаются возникновением космических мазеров, было решено создать приемную аппаратуру для наблюдений практически всех известных мазеров, излучение которых происходит как в миллиметровом (метаноловые мазеры, SiO мазеры), так и в других диапазонах длин волн (мазеры на молекуле гидроксила на частотах около 1.6 и 4.8 ГГц и мазер на парах воды с частотой около 22.1 ГГц).

Исчезнувшая возможность использовать новые разработки участников существовавшей ранее кооперации поставила дополнительную задачу разработки спектроанализаторов, которые могли бы обеспечить регистрацию спектров излучения молекул.

Диаграмма направленности одиночного радиотелескопа не может обеспечить пространственное разрешение, необходимое при изучении пространственной структуры областей мазерного излучения и центральной части области звездообразования. Поэтому ставилась задача создания приемных систем, которые могли бы обеспечить работу РТ-22 в международных сетях радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) как на длинных волнах, так в перспективе, по мере развития сети РСДБ, и в миллиметровом диапазоне.

Для проведения наблюдений и интерпретации получаемых данных необходимо было создать программное обеспечение системы управления телескопом РТ-22, разработать методы обработки данных и, самое сложное, теоретические расчетные модели, необходимые для определения и анализа астрофизических характеристик изучаемых объектов. Рассмотрением процессов, происходящих в областях звездообразования, до нас в институте никто не занимался, и мы не могли использовать наработки коллег-теоретиков.

Следует отметить, что все пункты этого плана были выполнены, хотя и с неполностью удовлетворяющими нас качеством и сроками. В условиях лучшего финансирования и организации работ можно было бы сделать значительно больше.

Несколько слов об антенне радиотелескопа РТ-22 и проведенных работах по улучшению ее характеристик. Радиотелескоп РТ-22 является одним из двух больших телескопов миллиметрового диапазона касегреновского типа, построенных в СССР. Его размещение на высоте, соответствующей уровню моря, было не лучшим решением для миллиметровой радиоастрономии. Влияние атмосферы Земли позволяет проводить на нем наблюдения современного уровня на длинах волн не короче 2 мм. При этом точность изготовления поверхности главного зеркала РТ-22 изначально была таковой (среднеквадратичное отклонение от поверхности параболоида 0,22 мм), что эффективная площадь антенны даже в 3-мм диапазоне не превышала 100 м². Про-

шедшие годы, естественно, не улучшили эти характеристики, а лишь привели к физическому износу элементов антенны. В какой-то момент времени мы столкнулись с ситуацией, когда проводить наблюдения в миллиметровом диапазоне из вторичного фокуса РТ-22 стало невозможным: пришло в полную негодность вторичное зеркало – контррефлектор. Изготовить новый контррефлектор для РТ-22, даже с учетом того, что телескоп получил статус национального достояния, Крымской астрофизической обсерватории не удавалось. Поэтому решение этой проблемы РИ НАНУ пришлось полностью взять на себя. Не имея никакого опыта подобных работ, нам удалось разработать и изготовить новый контррефлектор и восстановить работу телескопа на миллиметровых волнах из вторичного фокуса. Его диаметр 1510 мм, а погрешность изготовления гиперболической поверхности не превышает 50 мкм. Это заведомо точнее, чем требуется для наблюдений во всем миллиметровом диапазоне. Неоценимую помощь в изготовлении при чрезвычайно скудном финансировании нам оказали Институт проблем литья и сплавов НАН Украины, подготовивший специальный алюминиевый сплав и выполнивший 200-килограммовую отливку с необходимой точностью, и ОАО «Турбоатом», где была сделана окончательная обработка поверхности гиперболоида. Работа по изготовлению и установке нового контррефлектора отняла у нас и у наблюдений более 3 лет. Но она была абсолютно необходимой.

Работы по оснащению РТ-22 приемной аппаратурой привели к созданию нескольких высокочувствительных приемных систем для спектральных исследований на частотах 4,8, 22 и 85 ÷ 115 ГГц. Первые две из них были разработаны совместно с ОАО «НПК «Сатурн»». Это приемники с сверхмалощумящими НЕМТ усилителями на входе, что позволяет получить шумовую температуру около 10 К на 4,8 ГГц и не выше 30 К на 22 ГГц.

При создании нового приемника 3-мм диапазона вначале прорабатывались два

варианта. В свое время совместно с ИПФ РАН был разработан и испытан на РТ-22 прототип приемника с SIS смесителем [4], в котором для регистрации спектров принимаемого сигнала использовался акусто-оптический спектроанализатор [5]. Но происшедшие после 1991 г. события привели к приостановке совместных работ, а экономические условия не позволили нам проводить их самостоятельно. Мы выбрали вариант разработки криогенной приемной системы со смесителем с диодом на барьере Шоттки, который не требует охлаждения до гелиевых температур. Свертывание работ над приемником со сверхпроводниковым смесителем произошло в основном под влиянием независимых от нас обстоятельств и иногда подвергалось критике со стороны некоторых радиоастрономов при обсуждении планов модернизации и проведения совместных наблюдений на РТ-22. На большинстве радиотелескопов используются SIS смесители. Но наши предшествующие разработки и опыт работы с высокочувствительными приемными системами давали основания полагать, что вопрос о величине различия между шумовыми температурами SIS и полупроводниковых смесителей не изучен окончательно. Поэтому мы поставили перед собой задачу создать приемную систему со смесителем на диоде с барьером Шоттки, не намного отличающуюся по чувствительности от сверхпроводниковых смесителей, используемых в настоящее время на лучших радиотелескопах. Для этого нам пришлось пересмотреть многие подходы к разработке основных узлов приемника и оптимизации их параметров. Ограниченные в средствах, мы тем не менее провели большой объем исследований, что позволило приступить к их изготовлению. Почти все узлы приемника изготовлены в РИ НАНУ. Энтузиазм и профессионализм сотрудников института (н. с. А. М. Королева, н. с. В. И. Подъячего) привели к появлению в институте лучших в мире по своим характеристикам усилителей дециметрового диапазона, которые используются в приемнике в качестве усилителей промежуточ-

ной частоты [6], полупроводниковых смесителей миллиметрового диапазона [7], входных цепей с минимальными потерями и пр. Основным результатом этих работ для радиоастрономических наблюдений стал созданный приемник, перестраиваемый в интервале частот от 85 до 115 ГГц, с шумовой температурой в двухполосном режиме (DSB) около 55 К [8]. Это примерно в 4 раза больше, чем у нашего мазерного приемника, и всего примерно в $2 \div 2.5$ раза больше, чем у лучших SIS приемников. Такая шумовая температура полностью удовлетворяет условиям наблюдений на телескопе, расположенном на уровне моря, где существенное ухудшение чувствительности происходит из-за поглощения в атмосфере. С использованием данного приемника был создан измерительно-приемный комплекс для многочастотного картографирования областей звездообразования в молекулярных линиях и мазерного излучения молекул метанола на всех их переходах в 3-мм диапазоне длин волн. В состав этого комплекса входит разработанный в институте (м. н. с. А. В. Антюфеев) цифровой фурье-спектроанализатор с полосой анализа до 8 МГц и частотным разрешением в несколько кГц [9]. От всех известных спектроанализаторов для радиоастрономических наблюдений он отличается тем, что в нем используется обычный персональный компьютер, а не специально разработанные микропроцессоры. Поэтому стоимость необходимых для его изготовления дополнительных комплектующих элементов не превышает нескольких сотен гривен. В настоящее время в разработке находится 64-канальный фильтровый спектроанализатор с полосой анализа 64 МГц, который при необходимости более высокого частотного разрешения может сопрягаться с цифровым фурье-спектроанализатором.

Оснащение радиотелескопа РТ-22 несколькими высокочувствительными приемными комплексами позволило проводить полноценные радиоастрономические наблюдения. Начатые с облака ТМС-1 работы по картографированию молекулярных облаков были расширены в плане изучения

их ядер с использованием зарубежных телескопов. Но для нас наибольший интерес представляют все-таки результаты наблюдений на радиотелескопе РТ-22 [10].

Примером их может быть наблюдение пространственного распределения излучения молекул ^{12}CO и ^{13}CO из протяженного инфракрасного источника G122.0-7.1. Этот источник предположительно был отнесен к числу областей звездообразования, так как в нем были обнаружены точечный IRAS источник и H_2O мазер. Вопрос о существовании в нем биполярных выбросов оставался открытым, а попытки обнаружить их в близкой окрестности точечного IRAS источника были недостаточно информативны. Приняв во внимание большую отдаленность G122.0-7.1 от Земли (примерно 7.1 кпк), мы провели детальное картографирование расширенной области, выбрав ее размеры по данным наблюдений в инфракрасном диапазоне на 60 мкм. Наблюдения были выполнены на двух радиотелескопах: РТ-22 и РТ-14 (Метсахови, Финляндия). Нами были обнаружены две области с биполярными выбросами, что свидетельствует о существовании в G122.0-7.1 двух областей звездообразования.

Для интерпретации результатов наблюдений было разработано математическое описание свойств излучения молекул ^{12}CO и ^{13}CO из областей с биполярными выбросами. Это позволяет моделировать форму спектральных линий излучения молекул в различных точках биполярного выброса в зависимости от его свойств (плотности молекул, скорости их движения, температуры и т. д.) [11]. Следует отметить, что такое моделирование излучения молекул из областей с биполярными выбросами было сделано нами одними из первых. Возможность сравнения расчетных и наблюдательных данных по всему пространству, занимаемому биполярным выбросом, существенно повысило надежность определения его характеристик.

На радиотелескопе РТ-22 начаты наблюдения метаноловых мазеров в миллиметровом диапазоне длин волн. Миллиметровые

метаноловые мезеры в настоящее время найдены всего лишь в нескольких десятках объектов. Нами впервые был обнаружен мазер на частоте 95 ГГц в молекулярном облаке, взаимодействующем с остатком сверхновой. Эти исследования показали, что картографирование достаточно протяженных областей молекулярных облаков в окрестности метаноловых мазеров помогает определить, с какими объектами и процессами связано их образование.

Интересными оказались исследования мазерного излучения молекул гидроксила на частоте около 4.8 ГГц, находящихся в квантовом состоянии $F_2(1/2)$. В отличие от многократно наблюдаемых мазеров основного состояния $F_1(3/2)$ молекулы OH (на частоте около 1.6 ГГц), которые широко распространены во многих областях межзвездной среды, 4.8 ГГц мазеры относятся к числу редко наблюдаемых. Сейчас нами начат их поиск в областях, где можно предполагать существование столкновительных механизмов возбуждения молекул OH , например, в остатках сверхновых звезд.

H_2O мазеры на частоте 22 ГГц не относятся к числу редко наблюдаемых. Их возникновение очень часто происходит в непосредственной близости к месту образования новой звезды. Поэтому мы совершенно осознанно дополнили изучение областей звездообразования наблюдениями этих мазеров. Уже почти два года ведется работа по мониторингу H_2O мазеров и поиску новых объектов, где они существуют. Одновременно ведется подготовка к работе в системе РСДБ на этих частотах. Уже были проведены первые испытания нового НЕМТ приемника, разработанного для этих целей. К сожалению, работы сдерживаются по причине отсутствия системы регистрации, используемой при РСДБ наблюдениях. Имеющееся в настоящее время оборудование (Марк III) морально устарело и уже несколько лет не используется в международной сети РСДБ. Поэтому первые результаты РСДБ наблюдений мы ожидаем после приобретения для РТ-22 нового регистратора Марк V, что для нашего института является одной из первоочередных задач.

Оценивая работы второго этапа, мы считаем, что за эти годы был заложен фундамент для полноценных спектральных наблюдений на РТ-22 в миллиметровом диапазоне, которые были расширены наблюдениями мазеров в двух участках сантиметрового диапазона. Все созданные для этого приемные системы не уступают по чувствительности лучшим мировым аналогам, которые используются на других радиотелескопах. Проведенные наблюдения являются подтверждением этого. В РИ НАНУ сформировался коллектив профессионалов высокого уровня, объединяющий специалистов по разработке приемной аппаратуры с предельно достижимой чувствительностью и методов радиоастрономических наблюдений и радиоастрономов-наблюдателей, решающих задачи от обоснования астрофизических направлений исследований и выбора объектов наблюдений до разработки собственных методов обработки данных и создания новых физических моделей наблюдаемых источников радиоизлучения. И все же нельзя по-настоящему оценить работу этого коллектива за прошедшие годы без понимания будущего развития миллиметровых исследований на радиотелескопе РТ-22.

Возможные направления развития радиоастрономических наблюдений

Опыт разработки высокочувствительных приемных систем позволяет в ближайшем будущем расширить диапазон частот наблюдений. Это даст возможность завершить наши планы по обеспечению на РТ-22 в полной мере многочастотных спектральных наблюдений.

Для сокращения времени по картографированию протяженных источников уже сейчас очевидна необходимость разработки приемных систем миллиметрового диапазона нового уровня на базе матричных приемников, обеспечивающих многолучевые наблюдения.

Повышение требований к увеличению пространственного разрешения при наблюдениях заставляет нас планировать разви-

тие работ по РСДБ в миллиметровом диапазоне. По мере расширения международной миллиметровой сети РСДБ значимость участия в ее работе РТ-22 будет становиться все более очевидной.

Следует отметить, что для развития предполагаемых направлений исследований (многолучевые наблюдения, многочастотная спектроскопия межзвездной среды, миллиметровая РСДБ) основа в РИ НАНУ уже заложена в предшествующие годы.

Литература

1. Шульга В. М., Мыщенко В. В., Назаров Е. А., Антофеев А. В., Литвиненко Л. Н., Князьков Л. Б., Зинченко И. И., Лапинов А. В., Пирогов Л. Е. Структура молекулярного облака ТМС-1 в линии HCN J=1-0 // Радиофизика и радиоастрономия. – 1996. – Т. 1, №1. – С. 54-60.
2. Shulga V. M., Shamanin Yu. N., Slysh V. I., Litvinenko L. N. Principles of a measurement system for surface control of large aperture radio telescopes // Abstracts XXIII General Assembly of the URSI. – Prague (Czech). – 1990. – P. 1045.
3. Shulga V. M., Zinchenko I. I., Nesterov N. S., Myshenko V. V., Andriyanov A. F., Isaev V. F., Knyaz'kov L. B., Lapinov A. V., Litvinenko L. N., Mal'tzev V. A., Pirogov L. E., Shanin V. N., Shtanyuk A. M. Molecular line observations in the 85-90 GHz band using a maser receiver at the Crimean Astrophysical Observatory 22-meter radio telescope // Pis'ma Astron. Zh. – 1991. – Vol. 17. – P. 1084-1089.
4. Zinchenko I. I., Baryshev A. M., Vdovin V. F., Zamyatin I. V., Koshelets V. P., Lapinov A. V., Lapkin I. V., Myshenko V. V., Nesterov N. S., Pirogov L. E. Spectroscopic radioastronomical observations with the RT-22 radio telescope of the Crimean Astrophysical Observatory equipped with a 3-mm SIS receiver // Astron. Lett. – 1997. – Vol. 23. – P.123-126.
5. Есепкина Н. А., Зинченко И. И., Саенко И. И., Мыщенко В. В., Круглов С. К., Шульга В. М. Спектральные наблюдения в 3-мм диапазоне на радиотелескопе РТ-22 с использованием акустооптического анализатора спектра // Изв. вузов. Радиофизика. – 2000. – Т. XLIII, №11. – P. 354-361.
6. Королев А. М., Шульга В. М. Режим сверхнизких шумов в широкополосном неохлаждаемом усилителе на РНЕМТ в дециметровом диапазоне // Радиофизика и радиоастрономия. – 2003. – Т. 8, №1. – С. 21-27.

7. Pidlichii V. I., Peskovatskii S. A. A broad-band low-noise Schottky diode full-height waveguide mixer from 80 to 115 GHz // *Int. J. Infrared Millimeter Waves*. – 2003. – Vol. 24, No. 1. – P. 44-54.
8. Pidlichii V. I., Shulga V. M., Korolev A. M., and Myshenko V. V. High doping density Schottky diodes in the 3mm wavelength cryogenic heterodyne receiver // *Int. J. Infrared Millimeter Waves*. – 2005. – Vol. 26, No. 9. – P. 1307-1315.
9. Антюфеев А. В., Шульга В. М. Спектральный анализатор на базе персонального компьютера для радиоастрономических исследований // *Радиотехника*. – 2005. – №10. – С. 145-148.
10. Pirogov L. E., Lapinov A. V., Zinchenco I. I., Myshenko V. V., Shulga V. M. $H^{13}CN$, $H^{13}CO^+$, HCN observations of dense gas in galactic molecular clouds // *Astron. Astrophys. Suppl.* – 1995. – Vol. 109. – P. 333-340.
11. Antyufeev A. V., Shulga V. M. Model of the CO molecule emission from the cloud with bipolar outflows // *Кинематика и физика небесных тел*. – 2000. – №3. – P. 143-145.

**Деякі етапи розвитку
радіоастрономічних спостережень
в міліметровому діапазоні довжин
хвиль в Радіоастрономічному
інституті НАН України**

**В. М. Шульга, Л. М. Литвиненко,
В. В. Мищенко**

У статті зроблено першу спробу продемонструвати роботи, що проводяться в Радіоастрономічному інституті НАН України в галузі міліметрової радіоастрономії у часі, показати рівень сучасних спостережень на радіотелескопі RT-22 і можливості для їх розширення. У минулі роки створено високочутливі приймальні системи на базі змішувачів на діодах з бар'єром Шоттки та підсилювачів на НЕМ транзисторах в децимет-

ровому, сантиметровому та міліметровому діапазонах довжин хвиль. Це дозволило розпочати в РІ НАН України багаточастотні спектральні спостереження та вивчення природи біполярних потоків речовини в ділянках активного зореутворення, проводити дослідження випромінювання космічних мазерів на молекулах гідроксилу, метанолу, водяної пари. Покращення просторової роздільної здатності спостережень стане можливим з подальшими зусиллями у галузі радіоінтерферометрії з наддовгими базами в міліметровому діапазоні.

**Some Development Stages in the
Millimeter Wavelength Radioastronomy
Observations at the Institute
of Radio Astronomy NAS-Ukraine**

**V. M. Shulga, L. M. Lytvynenko,
and V. V. Myshenko**

The millimeter wave radio astronomy activity at the Institute of Radio Astronomy NAS Ukraine is first endeavored to be historically shown, thus giving a clear view of the level of current observations at the RT-22 radio telescope and of the possibilities for their expansion. For the past years, highly sensitive receiving systems using the Schottky diode mixers and HEMT amplifiers operating decimeter, centimeter and millimeter wavelengths have been created. This has allowed the IRA NAS-Ukraine to launch multifrequency spectral observations and to study the nature of bipolar outflows of matter in the regions of active star formation, also to investigate the radiation of space masers on molecules of hydroxyl, methanol and water vapor. Higher space resolution of observations will be expected in the further millimeter wavelength VLBI activity.