

УДК 523.947

## РСДБ исследования – супер разрешение

*Л.И. Матвеевко*

Институт Космических Исследований РАН, Россия, lmatveen@iki.rssi.ru

Поступила в редакцию 25 сентября 2005 г.

**Аннотация.** Рассмотрена история зарождения и развития радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ). Возникновение РСДБ связано с освоением космоса. В начале 60-х вблизи Евпатории строится центр дальней космической связи (ЦДКС). ФИАН участвует в создании радиоинтерферометра для измерения координат космических аппаратов. Проводится поиск компактных радиоисточников – реперов. Методом покрытий исследуются Крабовидная туманность и объект 3С 273, выделяются компактные источники, обнаруживается переменность радиоизлучения. Весной 1962 г. предлагается создать радиоинтерферометр с независимой регистрацией сигналов Евпатория – Симферополь. В конце 1962 г. обсуждение РСДБ на семинарах в ФИАН и ГАИШ, предлагается запатентовать метод. Летом 1963 г. ЦДКС посещает Б. Ловелл, обсуждается вопрос создания радиоинтерферометра Евпатория - Джодрелл Бэнк на волну 32 см. 1965 г. – публикация РСДБ метода. Впервые метод РСДБ реализован американскими и, независимо, канадскими учеными. Обращение американских ученых в ФИАН о проведении эксперимента РТ-22 Пушино – РТ-43 Грин Бэнк на волне 3 см. В 1969 г. проводятся наблюдения на волнах 6 и 2.8 см на базе Симеиз – Грин Бэнк. Доказана возможность реализации РСДБ с предельным угловым разрешением, обнаружена сложная структура квазаров, сверхсветовые скорости движения. Проводится эксперимент с привлечением РТ-64 Голдстоун на волне 3.55 см и РТ-37 на волне 1.35 см. Обнаружены источники мазерного излучения в активных зонах туманностей. Крупные радиотелескопы мира объединяются в глобальную сеть, исследуются объекты с активными ядрами, области звездообразования, решаются прикладные задачи.

VLBI STUDY - SUPERRESOLUTION, *by L.I.Matveenko*. VLBI history is considered. VLBI is connected with a space exploration. In the early 60s DSN station is constructed near Evpatorija. FIAN participated in creation of radio interferometer for measurement of position of space rockets. Point sources were researched. We observed the Crab Nebula and 3C 273 object by occultation method, discovered compact sources and radio variability. At the spring time 1962 radio interferometer with independent signal registration was proposed. At the end of 1962 VLBI seminars took place in FIAN and GAISH, and it was proposed that VLBI should be patented. B.Lovell visited DSN in summer 1963s, and we discussed VLBA Evpatorija – Jodrell Bank at 32 cm. Publication of VLBI method was in 1965. VLBI was realized by American and independently Canadian scientists in 1967. American scientists proposed FIAN to organize experiment RT-22 Pushino and RT-43 Green Bank at 3 cm. In 1969 observations Simeiz-Green Bank at 6 and 2.8 cm were carried out. The possibility of interferometry with transcontinental baseline is proved, complex a quasar structure and super luminosity are found out. Experiments at 3.55 cm with RT-64 Goldstone and RT-37 Haystack at 1.35 cm have been realized. Maser sources in the active zones of nebulae are discovered. The biggest radio telescopes of the world are combined in the global VLBI network, AGN objects, star formation regions are studied, applied problems are to be solved.

**Ключевые слова:** радиоинтерферометрия

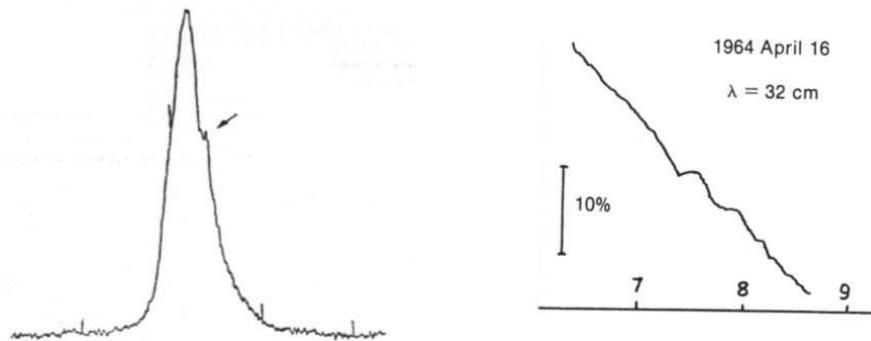
---

## 1 Введение

Радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (РСДБ) открыла новую страницу астрофизики. Угловое разрешение РСДБ в десятки тысяч раз превышает разрешающую силу лучших оптических инструментов. И если труба Галилея открыла человечеству Солнечную систему, то РСДБ - весь окружающий мир. История создания и развития РСДБ непосредственно связаны с освоением космического пространства. В конце 50-х годов подготавливаются к старту первые космические ракеты – “Лунники”. К моменту запуска “Лунника - 1” 2.01.1959 г. ФИАН вводит в действие в Качивели радиоинтерферометр для определения точки прилунения аппаратурного контейнера. Задача была успешно решена и получила высокую оценку С.П. Королева. Полученный опыт радиоастрономы используют при создании радиоинтерферометрического треугольника. С его помощью в мае 1960 г. были обнаружены и измерены траектории движения выбросов солнечной плазмы [1]. Скорости потоков превышали вторую параболическую и через несколько дней они достигли Земли, вызывая шумовые бури. Сразу же после запусков “Лунников” в Крыму вблизи Евпатории создается Центр дальней космической связи (ЦДКС). ФИАН участвует в разработке интерферометра с базой 500 м (рук. Л.И. Матвеевко). Необходимо было обеспечить точность координатных измерений порядка  $0.1''$ . Соответственно нужны были репера - интенсивные компактные источники с точными координатами. Для нахождения таких объектов привлекаются аспиранты И.С. Шкловского: Г.С. Хромов, Г.Б. Шоломицкий и В.Н. Курильчик.

## 2 Источники релятивистских частиц – переменные радиоисточники

Это была эпоха бурного развития и становления радиоастрономии, период переосмысливания окружающего нас мира, переход от наблюдений к изучению природы астрономических объектов - протекающих в них физических процессов. Объекты предстали перед исследователями как уникальные космические лаборатории с экстремальными условиями. Молодые энтузиасты порой оспаривали устоявшиеся взгляды и представления. И нужно отдать должное И.С. Шкловскому, который всячески поддерживал своих учеников. Это принесло свои плоды. Центральной проблемой был вопрос об источниках релятивистских частиц. Спектры ряда радиоисточников, в частности известный радио источник Лебедь А, имеют излом. Н.С. Кардашев объяснил это отличием возраста релятивистских электронов, что предполагало наличие их источника. Такие объекты могли быть искомыми реперами и активно нами исследовались. Интересы астрономов и промышленности совпадали, что немало способствовало успеху. Наиболее вероятным объектом была Крабовидная туманность - остаток вспышки сверхновой 1054 г. Ее синхротронное излучение определяется релятивистскими электронами, время жизни которых в оптике и рентгене существенно меньше времени жизни туманности. Предполагалось, что одна из центральных звездочек - искомый источник. Чтобы обнаружить этот источник, нужен был инструмент с высоким угловым разрешением. Для этого мы использовали метод покрытия. При приближении края Луны к компактному радиоисточнику возникает дифракция. На дециметровых – метровых волнах угловое разрешение этого инструмента достигает нескольких секунд дуги. В 1964 г. наблюдаются покрытия Крабовидной туманности во всем спектре радиоволн от сантиметровых до метровых включительно, в том числе на антеннах ЦДКС. Этим наблюдениям придавалось огромное значение. По указанию М.В. Келдыша на ЦДКС были остановлены сеансы связи с “Венерой” и проведены измерения покрытий. Дифракционная картинка была обнаружена на волне 32 см, рис. 1. При этом было открыто не менее удивительное явление – изменение яркости компактной области в ЮВ части туманности. На записи прохождения источника через диаграмму направленности



**Рис. 1.** Запись прохождения Крабовидной туманности через диаграмму направленности антенны АДУ 1000 (рис. 2) на волне 8 см, 15 апреля 1964 г. (слева). Кривая покрытия на волне 32 см, дифракционные лепестки, 16 апреля 1964 г. (справа)

антенны видна деталь, излучение которой существенно снизилось на следующий день, показана стрелкой на рис. 1 (слева), [2]. Столь быстрые изменения противоречили синхротронному излучению. Методом покрытий в объекте ЗС 273 был также выделен компактный радиоисточник – квазар и измерен его спектр [3]. Обнаружение компактных источников заострило вопрос о переменности радио излучения. При исследовании радиоисточников с пекулярными спектрами Г.Б. Шоломицкий обратил внимание на возможную переменность объекта СТА102 в дециметровом диапазоне. В отличие от Крабовидной туманности это был внегалактический объект. Результат был неожиданным и порождает экзотические объяснения вплоть до сигналов внеземных цивилизаций. Радиоастрономы проанализировали данные многолетних наблюдений и подтвердили переменность высокочастотного радиоизлучения объектов. Начались активные исследования в миллиметровом диапазоне радиоволн на РТ-22 ФИАН, а в дальнейшем и КраО.

### 3 Радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами - РСДБ

Открытие компактных переменных радиоисточников определялось развитием новой техники, созданием крупных антенн, освоением высоких радиочастот, маломощных охлаждаемых усилителей, вычислительной техники, усовершенствованием методики покрытий. Однако покрытия повторяются редко и не для всех объектов, или не видны в местах расположения крупных радиотелескопов, да и угловое разрешение метода покрытий недостаточно для измерений структуры квазаров. Ранней весной 1962 г. на совещании на ЦДКС мы с Г.Я. Гуськовым рассматривали вопрос снижения эффективных площадей антенн АДУ 1000. Был затронут вопрос о длиннобазовых доплеровских измерениях координат космических аппаратов. Эти измерения осуществлялись путем преобразования принятых сигналов с помощью атомных стандартов частоты, регистрацией их на магнитофонах и последующей обработкой - выделением разностной частоты. Но так же может работать и интерферометр. Но для этого нужно измерить не разность частот, а разность фаз зарегистрированных сигналов. Когерентность преобразованных сигналов при записи и воспроизведении можно восстановить с помощью пилот-сигналов, формируемых от тех же атомных стандартов. Таким образом, элементы интерферометра физически не связаны между собой и могут быть разнесены на сколь угодно большое расстояние. Г.Я. Гуськов предложил провести эксперимент на антеннах АДУ-1000 и 32-м, расположенной вблизи Симферополя. Они были оснащены необходимой аппаратурой: атомными стандартами частоты и магнитофонами с полосой регистрации до 100 кГц. Осенью идея РСДБ была доложена мною на семинаре Лаборатории Радиоастрономии ФИАН в Пущино, ведущей радиоастрономической организации страны. Решение: “Этого не может быть, потому что не может быть никогда”. Пришлось обратиться к ведущим

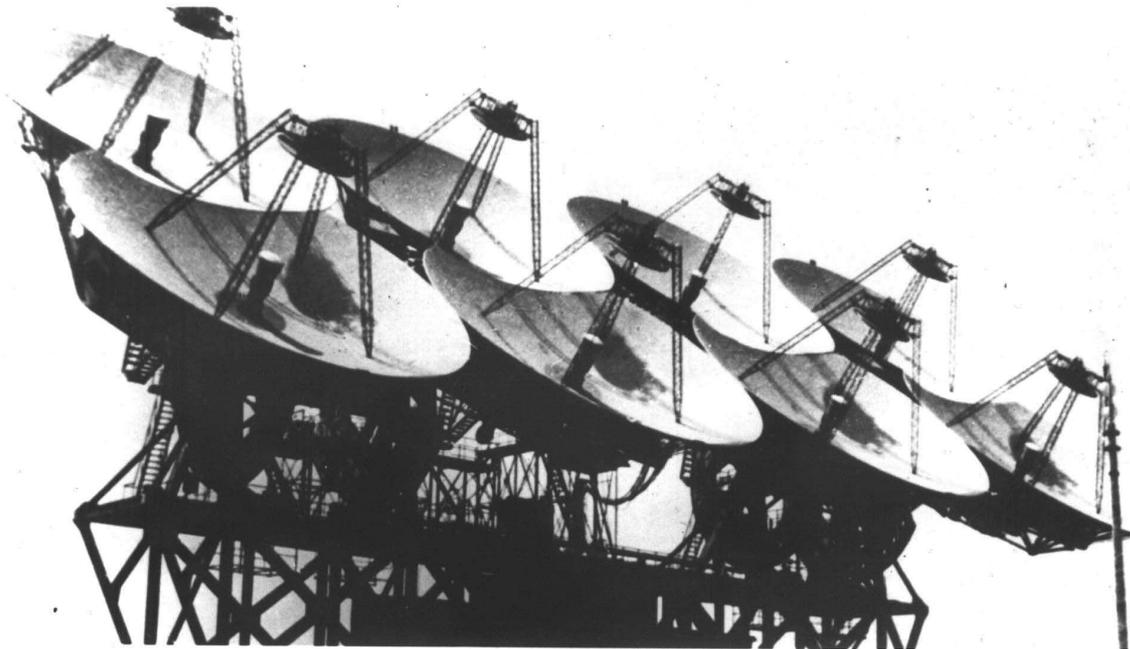
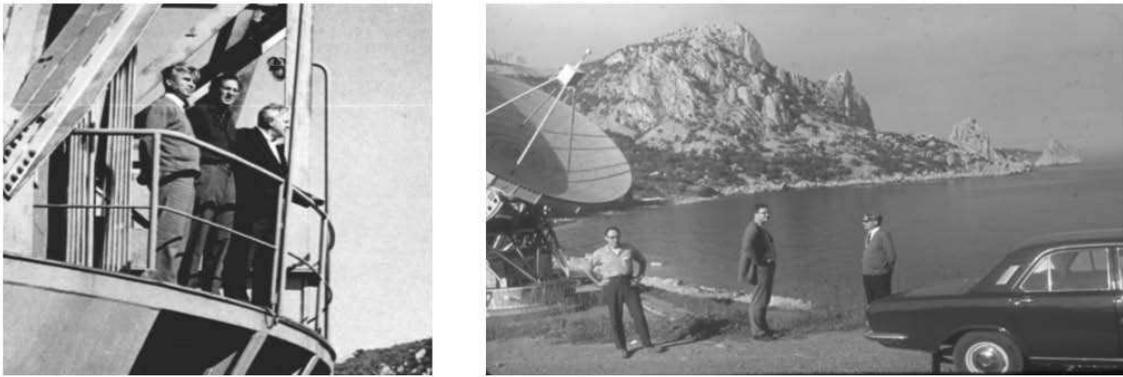


Рис. 2. Антенна АДУ 1000 Состоит из восьми 16-м параболических зеркал, соединенных синфазно

астрономам в ГАИШ. Мой доклад совместно с молодыми астрономами получил диаметрально противоположную оценку Семинара - патентовать. Но это автоматически накладывало запрет на публикацию. В декабре 1962 г. заявка Л.И. Матвеевко, Н.С. Кардашева и Г.Б. Шоломицкого поступает в Патентное бюро.

Летом 1963 г. мне (как руководителю радиоастрономического направления) было поручено принять на ЦДКС гостя АН СССР, директора Радио обсерватории Джодрелл Бэнк Б. Ловелла. На встречу был приглашен И.С. Шкловский и в качестве переводчика Г.С. Хромов. В это время они находились в КраО на летней школе. Был рассмотрен радионтерферометр с независимой регистрацией сигналов и показано аппаратное обеспечение. Ловелл оценил идею, но высказал сомнение в необходимости сверхвысоких угловых разрешений. Излучение мощных радиоисточников определяется их большими угловыми размерами. При этом их яркостные температуры не превышают  $10^7$  К. Радиоизлучение звезд слишком мало, так как их яркостные температуры  $T_b \sim 10^4$  К. Гипотетический радиоисточник в Крабовидной туманности и квазары были еще неизвестны. Но Иосиф Самуилович заметил весьма прозорливо: "Неизвестны, потому что нам нечем было их измерить". В результате был согласован меморандум о создании радионтерферометра Евпатория - Джодрелл Бэнк на волне 32 см. Б. Ловелл предполагал обсудить со своими специалистами детали эксперимента и сообщить свое решение. Но ответа на ЦДКС мы не получили. Много лет спустя Пальмер познакомил меня с книгой воспоминаний Б. Ловелла, который обсуждал эксперимент со своими канадскими коллегами на волну 75 см, а Пальмер приезжал в КраО. Но в это время в КраО только строили антенну РТ-22 и визит ограничился знакомством с достопримечательностями южного берега Крыма. В декабре 1963 г. Патентное бюро разрешило публикацию работы и статья была направлена в журнал Радиофизика. После долгих дискуссий с рецензентом и исключения слов о возможности выноса одного из элементов на орбиту вокруг Земли (по соображениям секретности?) статья была опубликована [4]. Рецензент же продолжал подготовку к реализации метода. Не останавливаясь на деталях становления и развития РСУДБ у нас в стране, могу лишь отметить, что основными проблемами были не бюрократические препоны, а "поддержка" коллег. Впервые РСУДБ метод был реализован в 1967 г. учеными США и независимо Канады. По завершении эксперимента



**Рис. 3.** Участники эксперимента И. Моисеев, К. Келлерманн и В. Виткевич, (слева) и М. Коуэн, Б. Кларк с И. Моисеевым, (справа)

М.Х.Коуэн (Калтех) и К.И. Келлерманн (НРАО) обратились 23 февраля 1968 г. к В.В. Виткевичу с предложением провести эксперимент между 22-м антенной в Пушино и 43-м в Грин Бэнк на волне 3 см. В.В. Виткевич передал мне письмо со словами: “Это Ваша идея, Вам ее и реализовывать”. При этом он откровенно высказал сомнение в возможности проведения эксперимента, прежде всего по политическим причинам, причинам холодной войны. Обращение американских коллег напомнило ФИАНу о РСДБ. Н.Г. Басов и Д.В. Скобельцын открыли зеленый свет. Директивные органы дали согласие на проведение эксперимента, но только на удаленном от Москвы РТ-22 в Симеизе. Мы получили поддержку А.Б. Северного и сообщили американской стороне об участии РТ-22 КраО. В.И. Костенко и В. Пушкарев подготовили аппаратуру и настроили совместно с И.Г. Моисеевым и А.В. Ефановым антенну, а Л.Р. Коган исследовал возможность приема сигналов южной и северной цепочек навигационной системы Лоран-С. В январе 1969 г. мы с И.Г. Моисеевым вылетели в НРАО для согласования технических условий. Одним из основных вопросов был выбор компактных источников с максимально возможными потоками. Для гарантии было решено начать наблюдения на волне 6 см, а затем перейти на волну 2.8 см. Осенью приехали К. Келлерманн, Б. Кларк и Д. Пайн с аппаратурой, включая систему регистрации типа МК-1. Для синхронизации времени в Москву был доставлен из Грин Бэнк в горячем состоянии рубидиевый стандарт (атомные часы). Во время перелета в Крым в районе Харькова часы остановились, емкость аккумулятора оказалась недостаточной. Келлерманн обратился к О.Ридбеку и вылетел с Л. Коганом в Ленинград для встречи вторых рубидиевых часов из Швеции. Подготовка к эксперименту была завершена. В сентябре прошли тестовые наблюдений на волне 6 см. Магнитная лента с записью была отправлена В. Виткевичем в НРАО, через несколько дней нам сообщили о получении радиоинтерференционных лепестков и мы провели всю программу. На рис. 3 показаны участники эксперимента на РТ-22.

На волне 2.8 см были получены лепестки от источников 3С 273 и 4С 39.25, угловое разрешение достигало  $0.0005''$ . Таким образом, была реализована интерферометрия на сантиметровых волнах с предельным угловым разрешением. В квазарах были обнаружены яркие компактные компоненты. Оказалось, что квазары имеют сложную структуру и для их исследований необходимы наблюдения на радиоинтерферометрах с базами разной длины и ориентации [5].

Масштабы работ РСДБ выходили за пределы возможностей Лаборатории радиоастрономии ФИАН и данное направление передается в июне 1969 г. в ИКИ. Очередной эксперимент (июнь 1971 г.) на волне 3.5 см включает дополнительную 64-м антенну в Голдстоуне. Для повышения чувствительности РТ-22 ИКИ совместно с КраО и промышленностью были разработаны малошумящий усилитель мазерного типа (В. Штейншлейгер, рис. 4.) и каскадная система облучения антенны (Л. Бахрах). Б.Кларк создал новую широкополосную систему регистрации и обработки данных МК-2 на основе студийных видеоманитофонов. Для улучшения кратковременной стабильности применили высокостабильный кварцевый генератор, захваченный

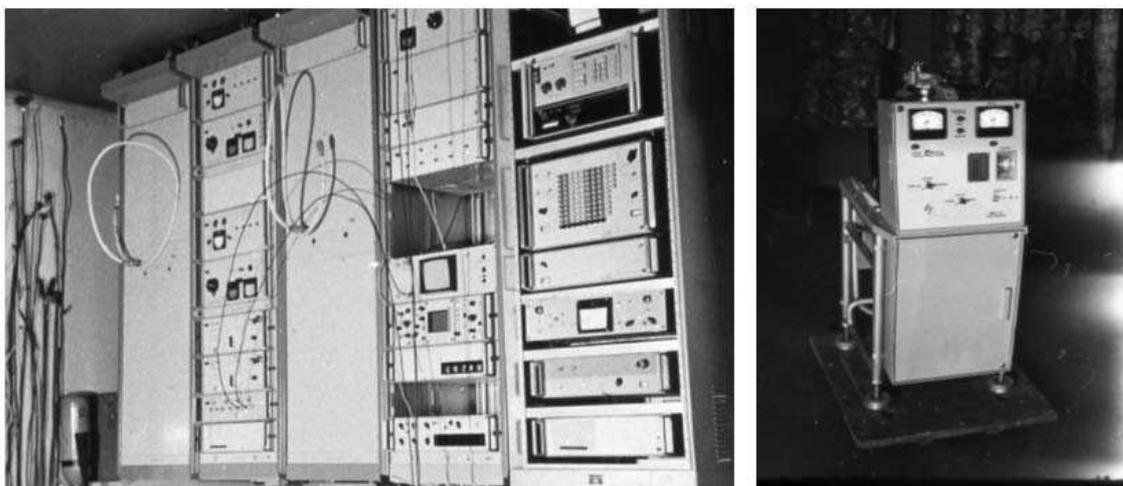


Рис. 4. Водородный стандарт частоты и квантовый парамагнитный усилитель на волну 1.35 см, ИКИ

рубидиевым стандартом. На радиотелескопах в Грин Бэнк и Голдстоуне применялись водородные стандарты частоты. Наблюдения проводятся в июне 1971 г. Было обнаружено в квазарах движение компонентов со скоростями выше скорости света, яркостная температура компонентов достигала  $T_b \sim 10^{12}$  К [6].

### 3.1 Глобальная сеть

Проведенные эксперименты доказали возможность существования РСДБ и установили сложную структуру квазаров. Создается глобальная сеть, включающая инструменты всех стран и континентов, рис.6. Этому способствовало создание Йеном (Канада) простой и надежной системы МК-2 на основе видеоманитофонов кассетного типа. Водятся в строй радиотелескопы: 100-м, Германия; 32-м, Медичина и Ното, Италия; включаются 64-м антенны НАСА в Канберре, Мадриде и Голдстоуне. Охватывается весь спектр радиоволн, включая миллиметровые. Чувствительность инструментов достигает предельных значений, они оснащаются водородными стандартами частоты и маломощными приемниками.

Существенное развитие отечественной РСДБ в 1985 г. связано с проектом ВЕГА – измерение траекторий движения аэростатных зондов в атмосфере Венеры. Под руководством ИКИ создается РСДБ сеть на основе отечественных антенн: 22-м, Симеиз и Пушино; 70-м, Уссурийск и Евпатория; 25-м, Улан Удэ; 64-м, Медвежьи Озера. Антенны оснащаются водородными стандартами частоты (рис. 4.), маломощными усилителями, системами регистрации МК-2. Создается система корреляционной обработки данных. Выбор волны  $\lambda=18$  см определялся требованиями борта и земли. На этой волне излучаются интенсивные узкие линии гидроксила – естественные имитаторы борта, что существенно упростило поверку системы [7].

### 3.2 Объекты с активными ядрами

Не так давно мы представляли окружающий нас мир как нечто постоянное. РСДБ внесло свои коррективы. Квазары – черные дыры оказались активными ядрами галактик, окруженные аккреционными дисками. Из ядер выбрасываются с околосветовой скоростью потоки релятивистской плазмы - джеты. Всплески радиоизлучения – выбросы плотных облаков. Потоки “завернуты” подобно кокону в тепловую плазму, наблюдаемую в эмиссионных линиях. Поглощение стенки кокона ограничивает видимость области инжектора даже на сантиметровых волнах.

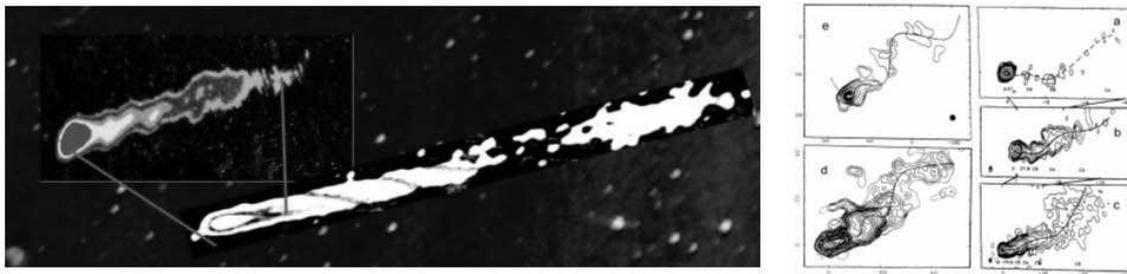


Рис. 5. Структура джета в Деве А,(слева) и квазаре 3С 345, (справа)

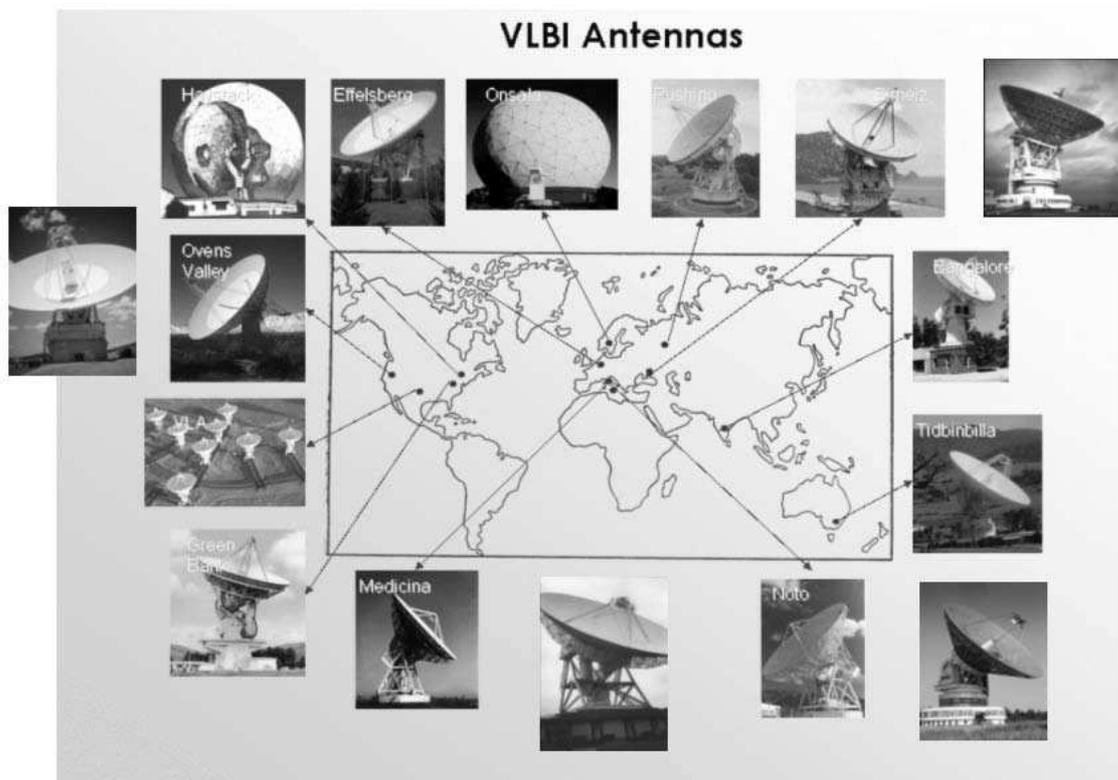


Рис. 6. Глобальная РСДБ сеть – основные радиотелескопы

Изменение ионизации - прозрачности стенки вызывает низкочастотную переменность радиозлучения. Вращения инжектора скручивает поток Девы А в жгут, рис. 5, а прецессия формирует спиральную структуру джета квазара 3С 345 [8,9].

### 3.3 Области образования звезд и планетных систем

В январе 1969 г. в Калифорнийском Университете в Беркли на семинаре Ч. Таунса У. Велч докладывал об открытии в ряде газопылевых туманностей источников, излучающих интенсивные линии водяного пара на волне 1.35 см. Чтобы установить природу этих объектов, необходимо было измерить их яркостные температуры. Мы рассмотрели возможность наблюдений их на межконтинентальном радиоинтерферометре, а через несколько дней в Массачусетском



Рис. 7. Группа «мазерщиков» в Мисхоре и Тидбинбилле

технологическом институте (МИТ) согласовали с Б.Ф. Берком и инженером К. Папа параметры аппаратуры. Для отработки методики измерений было решено провести тестовые наблюдения в пределах США, а затем перейти на межконтинентальную базу Симеиз - Хайстек. Наблюдения в пределах США показали, что излучение в линиях определяется компактными областями, яркостная температура которых достигает  $10^{10}$  К. Для продолжения исследований в июне 1971 г. в Крым прибыли Б. Берк, Д. Моран, К. Папа (МИТ) и С. Ноулс (NRL), рис. 7 (слева) [10].

Угловое разрешение радиointерферометра Крым-Хайстек достигает 0.1 мсек. дуги. В газопылевых комплексах в линиях  $H_2O$  были выделены скопления компактных компонент. В объекте W 49 наблюдалась мощная вспышка, ее размеры не превышали 0.07 а.е., а яркостная температура достигала  $10^{16}$  К. С открытием компактных мазерных источников ИКИ пересматривает планы космической интерферометрии. В 1972 г. мы приступили к разработке космического радиотелескопа на волну 1.35 см с параболическим зеркалом диаметром 3.1 м. в космосе, рис. 8 (слева). Руководитель проекта В.П. Мишин, научный рук. Л.И. Матвеевко, техн. рук. Вал. И. Костенко. Отражающая поверхность зеркала антенны крепились на тонких инваровых стержнях, что обеспечивало работу при широком перепаде температур в космосе. Точность поверхности обеспечивала работу в ИК диапазоне. Была применена касегреновская система облучения, что обеспечивало точное наведение антенны корректировкой положения вторичного зеркала. Параметры орбиты были приняты равными 30 – 100 тыс. км исходя из структуры мазерных источников [11]. Проект разрабатывается в рамках широкого международного сотрудничества. Расширяется программа исследований тонкой структуры мазерных источников, в наблюдения включаются радиотелескопы Австралии, США, Швеции, Германии, Италии, Южной Африки. Определяются физические параметры объектов, отрабатывается методика измерений, уточняются оптимальные параметры. Но неумолимо приближалась “перестройка”, которая внесла свои коррективы. Однако наши идеи получили свое отражение в японском проекте VSOP. Обсуждение РСДБ задач с Хирабаяши во время одной из встреч, рис. 8.

В 1979 – 1987 гг. в туманности Ориона наблюдается  $H_2O$  супермазерное излучение. Область излучения имела S-образную форму длиной около 30 а.е., в которой вкраплены яркие компактные источники. Их размеры не превышают 0.05 а.е., а  $T_b = 10^{16}$  К. Структура соответствует аккреционному диску, разделенному на протопланетные кольца, наблюдаемые с ребра. Из центральной части инжектируется биполярный поток и пули кометоподобной формы. Окружающая оболочка усиливает излучение более чем на два порядка, Рис. 9. [12]. Эта структура сопутствует рождению звезды и, как образно выразился И.С.Шкловский: “Мазерное излучение, подобно крику ребенка, извещает об этом”.

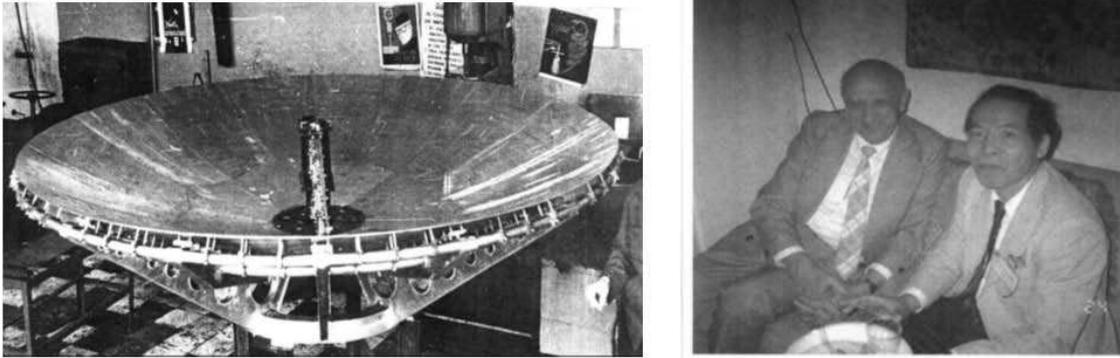


Рис. 8. Параболическая антенна КРТ-3, встреча автора с Хирабаяши, руководитель VSOP

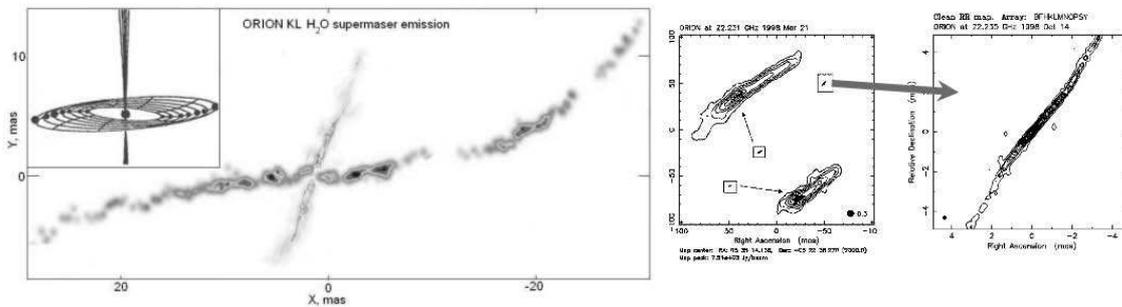


Рис. 9. Структура области звездообразования в Орионе KL, эпоха 1985 г, слева; эпоха 1999 г, справа

### 3.4 Прикладные задачи

РСДБ широко используется для решения прикладных задач. Одним из первых применений РСДБ было измерение передвижения астронавтов по лунной поверхности (программа “Аполлон”, 1971-1972 г.). Точность определения положения тележки относительно лунного модуля достигала 20 см. В 1974 г. нами было предложено исследовать динамику атмосферы Венеры путем измерения траекторий движения свободно плавающих аэростатов, сбрасываемых с пролетных аппаратов, - проект “ВЕГА”. Сброс состоялся 11 и 15 июня 1985 г. Измерения проводились на глобальной сети, включавшей 20 антенн. Калибровка проводилась по мазерному источнику W3OH. Интерферометрический сигнал, полученный на базе Уссурийск-Евпатория, показан на рис. 10. Аэростаты плыли на высоте около 53 км со скоростью 68 м/с параллельно экватору. Расстояние до Венеры достигало 110 млн. км, мощность бортового передатчика 1 Вт. При приближении к горному массиву Афродиты восходящий поток отклонил аэростат ВЕГА-2 к северу на 1.1 км и далее плавание продолжалось параллельно экватору, рис. 10 (справа) [7].

РСДБ явилось принципиально новой основой для решения геодинимических, астрометрических и астронавигационных задач. Для успешного их решения в марте 1992 г. в Сокорро было решено оснастить пункт Симеиз широкополосной системой регистрации МК-3. Это повышало чувствительность РТ-22 и обеспечивало возможность радиоастрономических исследований на миллиметровых волнах. ИПА были установлены радиометры на волны 3 и 13 см. В июне 1994 г. проведены первые наблюдения. Достигнута миллиметровая точность определения геодезических координат, первая публикация приведена на рис. 11 справа. В настоящее время создана прецизионная инерционная сеть на основе внегалактических объектов – квазаров. Измерительная точность достигает долей мсек дуги. Достигнутые успехи РСДБ заложили основу для создания навигационной системы – GLONASS и GPS

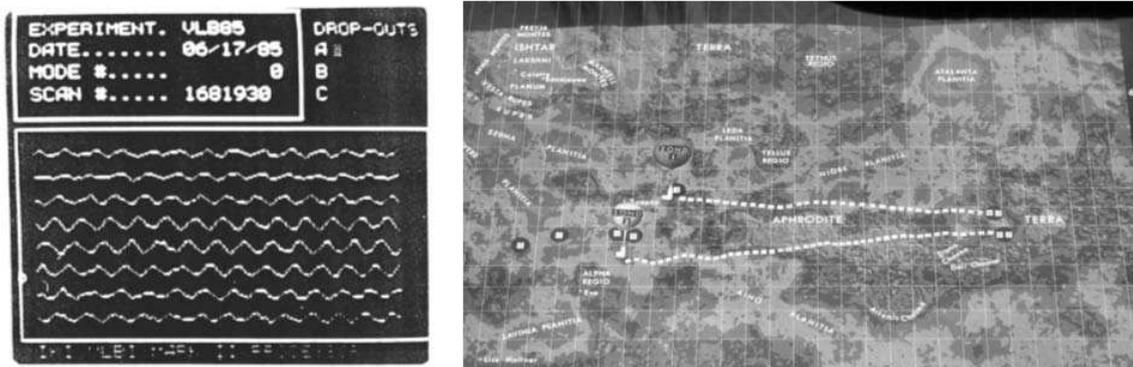


Рис. 10. Лепестки от W3 OH. Интерферометр УС-ЕВ, на экране процессора ИКИ



ПИСЬМА В АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1995, том 21, № 2, с. 129 - 131

УДК 524.5

**ПРЕЦИЗИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ СТАНЦИИ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕТИ "СИМЕИЗ"**

© 1995 г. Т. А. Кларк\*, Дж. Босворт\*, Н. Ванденберг\*, Д. Гордон\*, Е. Хамич\*, Д. Шаффер\*, А. Витгей\*\*, Б. Корей\*\*, А. Нисл\*\*, С. Томас\*\*, Д. И. Матвеев\*\*\*, Р. Х. Мусни\*\*\*, А. В. Шевченко\*\*\*, Н. С. Несероп\*\*\*, А. В. Степанов\*\*\*\*, П. С. Никитин\*\*\*\*, А. В. Илатов\*\*\*\*, В. В. Мардышкин\*\*\*\*, Д. В. Иванов\*\*\*\*, Я. С. Яцкив\*\*\*\*, М. М. Медведский\*\*\*\*

\* Годдардский космический центр, США  
 \*\* Хайтекская радиообсерватория, США  
 \*\*\* Институт космических исследований РАН, Москва  
 \*\*\*\* Крымская астрофизическая обсерватория ГХИТ Украины  
 \*\*\*\*\* Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург  
 \*\*\*\*\* Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев

Поступила в редакцию 06.10.94 г.

На радиointерферометрической станции "Симеиз" введен в действие комплекс аппаратуры на длинах волн 3,6 и 13 см с совмещенным облучателем, установлена система регистрации МК-3. Эквивалентные площади системы равны 800 и 1500 кв.м на волнах 3,6 и 13 см соответственно. Эффективная площадь антенны - 150 кв.м на обеих волнах. Измерено положение антенны с точностью <math>< 10 \mu\text{m}</math>.

Рис. 11. Участники встречи в Сокоро - Ф.Ф. Даймонд (NRAO), Л.И. Матвеев (ИКИ), Т. Кларк (GSFC), Р. Поркас (MPIFR) и А. Ценсус (NRAO). Принятие решения об оснащении СДБ станции Симеиз системой Марк - III Т.Кларк, (слева) Первая публикация по геодинамическим наблюдениям на РСДБ станции Симеиз (справа)

## 4 Перспективы

Прошедшие 45 лет, срок не столь уж большой для такой древней науки как астрономия. Но успехи, достигнутые РСДБ, превосходят даже самые смелые ожидания. Получены радиоизображения компактных астрономических объектов с угловым разрешением, остигающим долей мсек. дуги. Точности геодезических измерений в глобальных масштабах достигают миллиметров, а астрометрических микросекунд дуги. Высокая надежность и совершенство аппаратуры и методики измерений позволили создать комплексы РСДБ, работающие в автоматическом режиме. Такой системой является VLBA, США, охватывающая практически весь спектр радиоволн. Широкополосные системы регистрации позволяют реализовать предельную чувствительность, а оптоволоконные системы передачи сигналов в недалеком будущем переведут работу инструментов в режим квазиреального времени. Перспективы наземной РСДБ связаны с восточным полушарием, где находятся крупные радиотелескопы. В том числе 70-м антенны в Австралии, России, Украине, Испании, 100-м Германии, строятся 64-м инструмент в Италии и 70-м недалеко от Ташкента. Существенным дополнением является специализированная система КВАЗАР, состоящая из трех 32-м антенн, расположенных в Бадарах, Зеленчукской и Светлом [13].

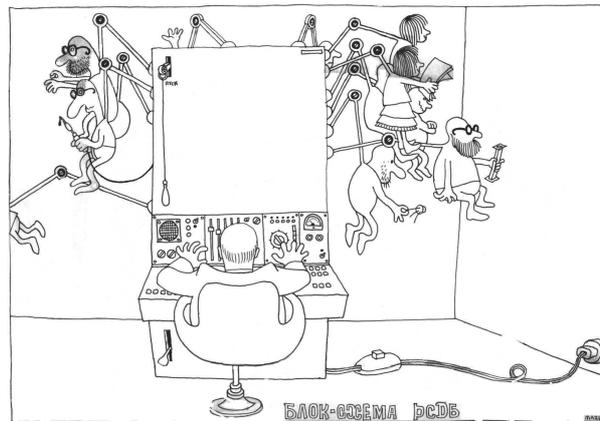


Рис. 12. Один из рабочих моментов наблюдений РСДБ

#### 4.1 Предельное угловое разрешение

Ряд причин ограничивает угловое разрешение РСДБ. В AGN - объектах видимость ядра-инжектора ограничена прозрачностью окружающей ионизованной среды и доступна лишь в миллиметровом диапазоне. Сантиметровый диапазон – оптимален для исследования джетов, в том числе в поляризованном свете. Излучение спектральных линий преобладает в миллиметровом-сантиметровом диапазонах.

Угловое разрешение РСДБ определяется чувствительностью и размерами базы, в то время как видимые размеры источника - рассеянием на неоднородностях ионосферы, межпланетной и межзвездной среды. Влияние последней преобладает на волнах дециметрового-метрового диапазонов. Угол рассеяния межзвездной среды равен  $\phi_{sc} \sim 10^{-6} \lambda^2 |\sin(b)|^{-0.5}$  сек дуги и зависит от галактической широты  $b$ ,  $\lambda$  - выражена в см. Рассеяние накладывает ограничение на длину базы. На волнах метрового диапазона этот предел меньше диаметра Земли и существенно зависит от состояния ионосферы. Выход в космос целесообразен на волнах сантиметрового-миллиметрового диапазонов. VSOP - первый успешный шаг в этом направлении. Близок к реализации проект Радиоастрон.

РСДБ – результат четкой самоотверженной повседневной работы высококвалифицированных специалистов многих организаций и обсерваторий разных стран и континентов. РСДБ – удалось решить неразрешимую задачу – коллективный труд и персональный результат. К сожалению, мы не можем похвастаться этим, как всегда наши научные интересы преобладают над технологией, которая представлена дружеским шаржем И. Максимова (рис. 12). В заключение хотелось бы закончить статью словами одного из пионеров РСДБ К.И. Келлерманна: “В результате мы стали немного лучше понимать не только Вселенную, но и самих себя”.

#### Литература

- Берк Б.Ф., Джонстон К.Д. и др. // Астрон. журн. 3. 465. 1972. 10а.  
 Бродерик Д.Д., Виткевич В.В., Джонси Д.Д. и др. // Астрон. журн. 4. 784. 1970. 5 а.  
 Демичев В.А., Матвеенко Л.И. // Астрон. журн. 81. 1074. 2004.  
 Келлерманн К.И. и др. // Astrophys.J. 169. 1. 1971.  
 Кларк Б., Бродерик Д.Д., Ефанов В.А. и др. // Астрон. журн. 4. 700. 1972.  
 Костенко В.И., Матвеенко Л.И. // Космические исследования. 1. 149. 1982.  
 Матвеенко Л.И. // Радиофизика. 4. 660. 1963.  
 Матвеенко Л.И. // Письма в Астрон. журн. 7. 13. 1975.  
 Матвеенко Л.И., Кардашев Н.С., Шоломицкий Г.Б. // Радиофизика. 4. 651, 1965.

Матвеевко Л.И., Витцел А.И. // Письма в Астрон. журн. 9. 1. 1999.

Матвеевко Л.И. // Письма в Астрон. журн. 2. 100. 1981.

Рейд М.Д., Биретта Д.А., Джуноу У. и др. // *Astrophys. J.* 1999.

Сагдеев Р.З. и др. // Письма в Астрон. журн. 4. 364. 1988.

Финкельштейн А.М. и др. // Письма в Астрон. журн. 32. С. 152. 206. 2006.

Шоломицкий Г.Б., Слепцова Н.Ф., Матвеевко Л.И. // Астрон. журн. 6. 1135. 1965.