

УДК 524.7-77

## КВАЗИОДНОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ АКТИВНЫХ ЯДЕР ГАЛАКТИК НА РСДБ СЕТИ И НА РАТАН-600

© 2004 г. А. Б. Пушкарев<sup>1</sup>, Ю. Ю. Ковалев<sup>2,3</sup>, И. Е. Молотов<sup>1</sup>,  
М. Б. Нечаева<sup>4</sup>, Ю. Н. Горшенков<sup>5</sup>, Дж. Туккари<sup>6</sup>,  
К. Стангелини<sup>6</sup>, Ш. Хонг<sup>7</sup>, Дж. Куик<sup>8</sup>, Ш. Доугхерти<sup>9</sup>, Ш. Лю<sup>10</sup>

<sup>1</sup> Главная астрономическая обсерватория, С.-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Национальная радиоастрономическая обсерватория, Грин Бэнк, США

<sup>3</sup> Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия

<sup>4</sup> Научно-исследовательский радиофизический институт, Н. Новгород, Россия

<sup>5</sup> Особое конструкторское бюро Московского энергетического института, Москва, Россия

<sup>6</sup> Институт радиоастрономии, Ното, Италия

<sup>7</sup> Астрономическая обсерватория, Шанхай, Китай

<sup>8</sup> Радиоастрономическая обсерватория, Харт, Южная Африка

<sup>9</sup> Национальная радиоастрономическая обсерватория, Пентиктон, Канада

<sup>10</sup> Астрономическая обсерватория, Урумчи, Китай

Поступила в редакцию 10.03.2004 г.; принята в печать 27.05.2004 г.

В ноябре–декабре 1999 г. проведены РСДБ–наблюдения ряда квазаров и объектов типа VL Lac на частоте 1.66 ГГц. В эксперименте принимали участие шесть антенн (Медвежьи Озера, Пушино, Светлое, Ното, ХартРАО, Шанхай). Представлены и обсуждаются восстановленные изображения шести источников (0420+022, 0420–014, 1308+326, 1345+125, 1803+784 и DA 193) с миллисекундным угловым разрешением, а также их широкополосные (1–22 ГГц) спектры, измеренные на РАТАН-600 на эпохи, близкие к РСДБ–эксперименту. Сравнение полученных РСДБ–изображений с наблюдениями этих источников на стандартных зарубежных РСДБ–сетях и квазиодновременными измерениями полного потока на РАТАН-600 позволяет сделать вывод о достоверности результатов и работоспособности РСДБ–сети LFN.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

С 1996 г. осуществляется проект “Низкочастотная РСДБ–сеть LFN (Low Frequency VLBI Network)” [1], главной задачей которого является создание международной РСДБ–кооперации с участием российских радиотелескопов. За время выполнения проекта 13 антенн, а именно Медвежьи Озера РТ-64, Пушино РТ-22, Зименки РТ-15, Старая Пустынь РТ-14 (Россия), Евпатория РТ-70 и Симеиз РТ-22 (Украина), Вентспилс РТ-32 (Латвия), Ното РТ-32 (Италия), Торунь РТ-14 (Польша), Ути 500х30 (параболический цилиндр) и Пуне РТ-45 (Индия), Урумчи РТ-25 и Шанхай РТ-25 (Китай) были дооснащены приемно-регистрирующей радиоастрономической аппаратурой. Организовано 18 РСДБ–экспериментов с использованием в разных комбинациях радиотелескопов Англии, Индии, Италии, Канады, Китая, Латвии, Польши, России, США, Украины, Южной

Африки и Японии, а также центров корреляционной обработки в Канаде, России и США.

К настоящему моменту, сложилось три направления развития проекта LFN: (1) подсистема на основе терминала регистрации Mk-2 и коррелятора НИРФИ-3 в Н. Новгороде для исследования солнечного ветра и солнечных микровспышек “спайков” в диапазонах 327 МГц и 610 МГц; (2) международная сеть на базе более широкополосного канадского терминала записи S2 [2, 3] и коррелятора в Пентиктоне [4], для изучения активных галактических ядер, источников мазерного излучения и активных звезд в диапазонах 1.66 ГГц и 4.82 ГГц; (3) РСДБ–локатор на частоте 5010 МГц с трансляцией принятых эхо–сигналов в центр обработки в Ното [5] через Интернет для измерений параметров движения планет земной группы, сближающихся с Землей астероидов, и так называемых объектов “космического мусора”.

В работе международной сети радиотелескопов с регистратором S2 участвовали Медвежья Озера, Светлое РТ-32, Пушино (Россия), Грин Бэнк РТ-43 и Аресибо РТ-300 (США), Ното (Италия), ХартРАО РТ-26 (Южная Африка), Шанхай (Китай). Начиная с 1998 г. были проведены эксперименты INTAS98.2, INTAS98.5, INTAS99.4, INTAS00.3 и LRVN03.1 на длине волны 18 см. Первые четыре наблюдательные сессии были успешно обработаны на корреляторе в Пентиктоне, результаты вторичной обработки одного из них (INTAS99.4) представлены и обсуждаются в данной статье. Результаты обработки других экспериментов отнесены на последующие публикации.

В статье используется значение постоянной Хаббла  $H_0 = 70h$  км с<sup>-1</sup> Мпк<sup>-1</sup> и параметра замедления  $q_0 = 0.5$ .

## 2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА

Наблюдения проводились с 30 ноября по 3 декабря 1999 г. (эпоха 1999.91) на сети LRVN на частоте 1.66 ГГц. Общая продолжительность эксперимента составила 43 ч со средней длительностью скана около 30 мин. Каждый из источников наблюдался в течение 5–8 сканов. На рис. 1 приведено результирующее заполнение  $(u, v)$ -плоскости на примере наблюдений источника DA 193.

В эксперименте участвовало шесть антенн: Медвежья Озера, Пушино, Светлое, Ното, Шанхай и ХартРАО. Некоторые параметры радиотелескопов, полученные нами от штата обсерваторий, приведены в табл. 1 (диаметр, системная температура и эквивалентная системная плотность потока SEFD). Участие антенны ХартРАО (ЮАР) существенно повысило угловое разрешение в направлении Север–Юг. Длина максимальной проекции базы достигала 10170 км для пунктов Шанхай и ХартРАО. Для записи данных использовалась система регистрации S2, разработанная в Канаде. Ширина полосы составила 4 МГц при 256 спектральных каналах по 15.625 кГц каждый. Наблюдения проводились в левой круговой поляризации с однобитным квантованием сигнала. Корреляция данных эксперимента была проведена на корреляторе Национальной радиоастрофизической обсерватории Канады (DRAO) в Пентиктоне со временем осреднения 2 с.

Анализ данных, их редактирование и калибровка, а также восстановление радиоизображений методом гибридного картографирования (подробнее см. [6]) было проведено в пакете AIPS (NRAO) с применением стандартных процедур. Для амплитудной калибровки данных использовались кривые усиления и системные температуры, измеренные

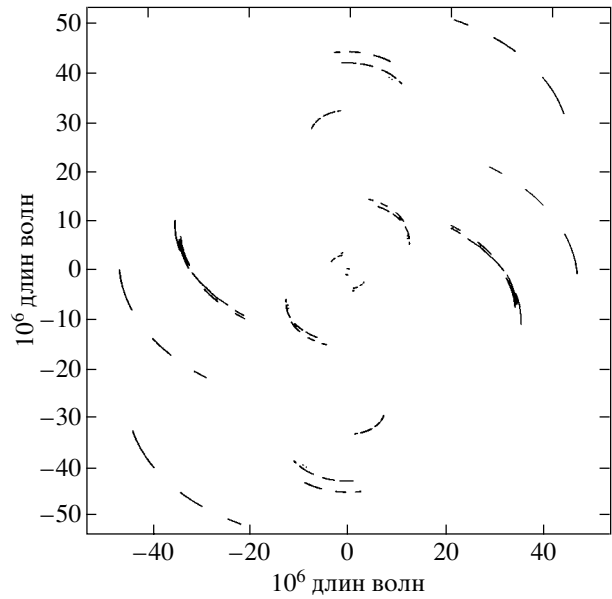


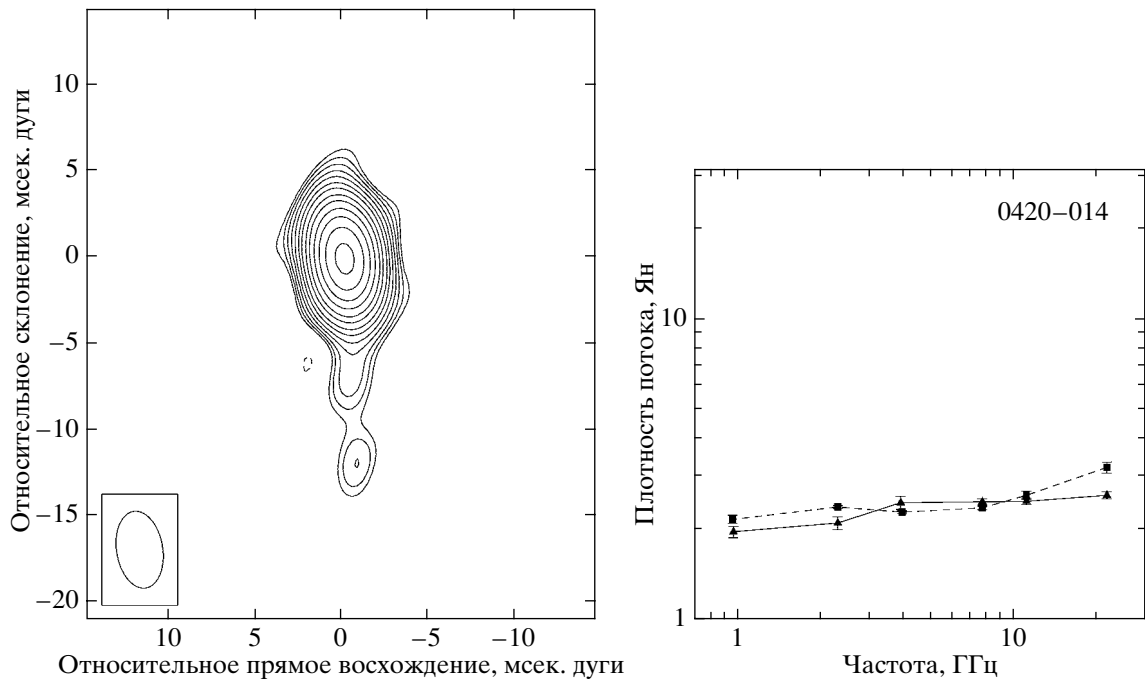
Рис. 1. Заполнение  $(u, v)$ -плоскости для источника DA 193 при LRVN-наблюдениях INTAS99.4 на длине волны 18 см.

на каждой из антенн, принимавших участие в наблюдениях. Первичная калибровка фаз производилась с помощью процедуры AIPS FRING с когерентным временем интегрирования 120 с и последующей корректировкой фаз за остаточные задержки на время всего эксперимента с использованием телескопа Медвежья Озера в качестве опорной антенны. При гибридном картографировании для каждого источника в качестве первоначальной модели использовалась модель точечного источника в фазовом центре.

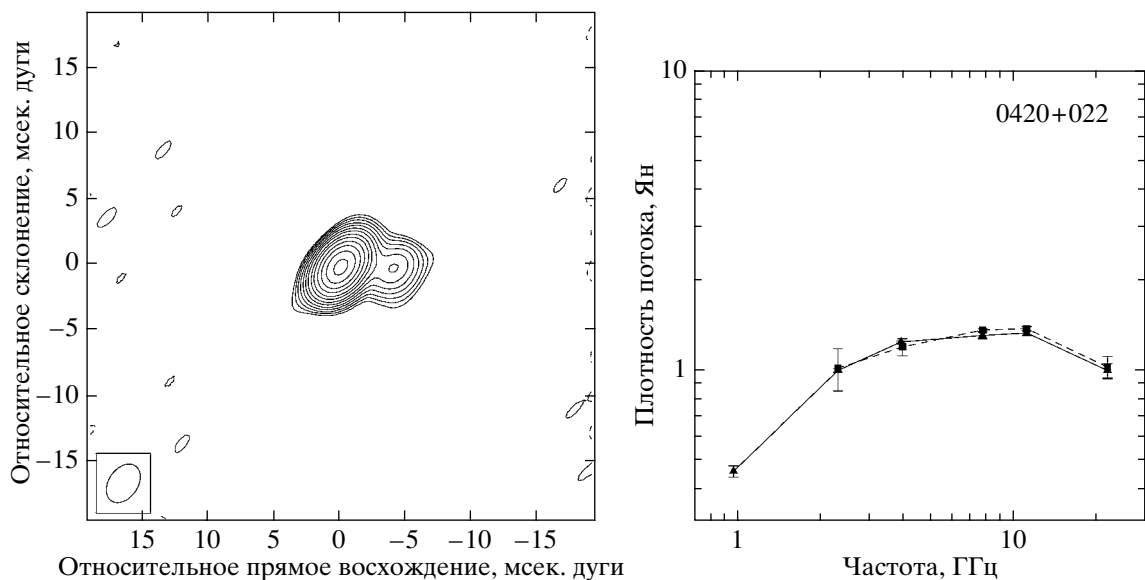
Наблюдения широкополосных спектров источников проведены в рамках продолжающейся программы мониторинга компактных внегалактических объектов на крупнейшем отечественном радиотелескопе РАТАН-600 САО РАН. В работе

Таблица 1. Антенны и их характеристики на частоте 1.66 ГГц

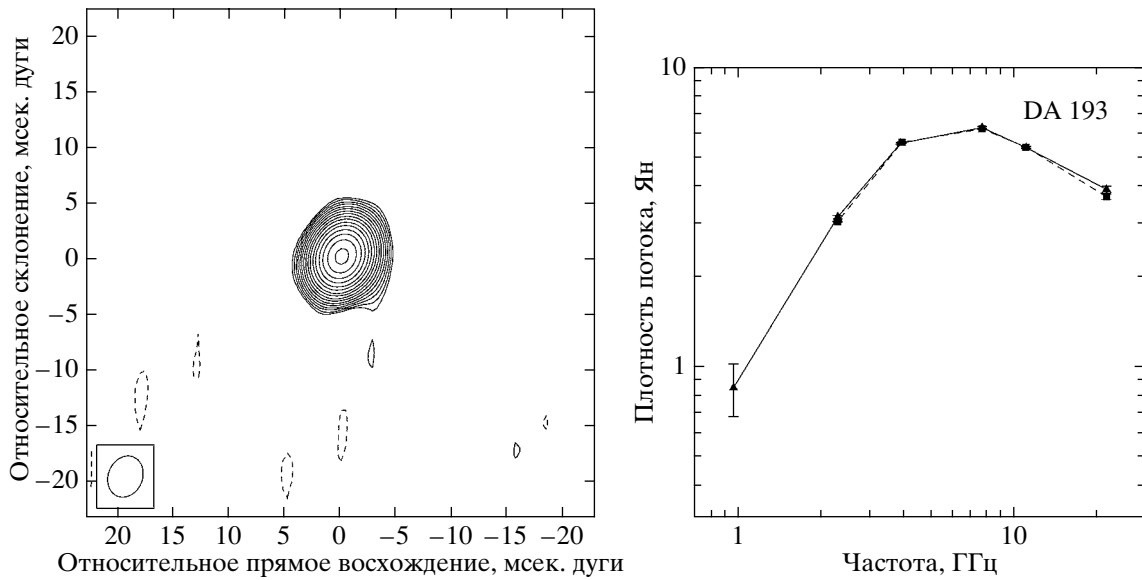
Антенна	Диаметр, м	$T_{sys}$ , К	SEFD, Ян
Светлое (Россия)	32	71	394
Медвежья Озера (Россия)	64	95	156
Пушино (Россия)	22	111	1586
ХартРАО (ЮАР)	26	50	500
Ното (Италия)	32	107	1070
Шанхай (Китай)	25	100	1250



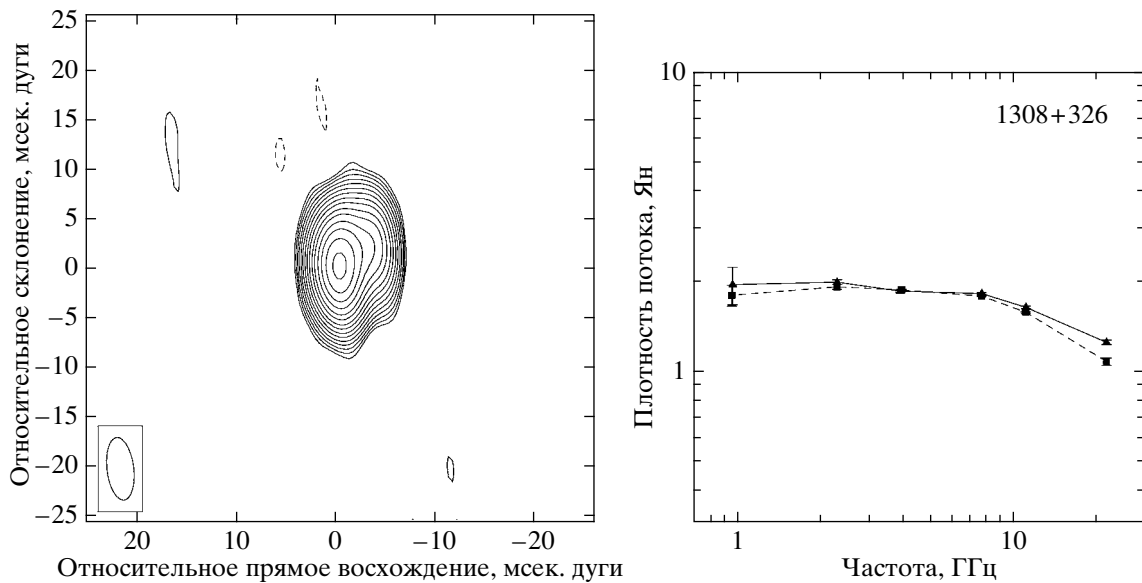
**Рис. 2.** Слева — LFVN-изображение 0420–014 на 1.66 ГГц с пиком видимой интенсивности 1370 мЯн в луче. Нижний контур проведен на уровне 1.4% от максимума. Контуров равной интенсивности проведены с шагом в  $\sqrt{2}$ . Размер главного лепестка синтезированной диаграммы направленности, использованный для восстановления изображения, составляет  $3.6 \times 2.2$  мсек. дуги, позиционный угол большой оси равен  $-8^\circ$ . Справа — широкополосный спектр, измеренный на РАТАН-600. Отдельные измерения показаны с ошибками  $\pm 1\sigma$  и соединены линиями. Темные треугольники и сплошная линия соответствуют эпохе наблюдения сентябрь 1999 г., темные квадратики и штриховая линия — апрель 2000 г.



**Рис. 3.** Слева — LFVN-изображение 0420+022 на 1.66 ГГц с пиком видимой интенсивности 775 мЯн в луче. Нижний контур проведен на уровне 1.4% от максимума. Контуров равной интенсивности проведены с коэффициентом  $\sqrt{2}$ . Размер главного лепестка синтезированной диаграммы направленности, использованный для восстановления изображения, составляет  $3.2 \times 2.2$  мсек. дуги, позиционный угол большой оси равен  $-35^\circ$ . Справа — то же, что на рис. 2б, для источника 0420+022.



**Рис. 4.** Слева — LFN изображение DA 193 (0552+398) на 1.66 ГГц с пиком видимой интенсивности 1833 мЯн в луче. Нижний контур проведен на уровне 0.5% от максимума. Контурсы равной интенсивности проведены с коэффициентом  $\sqrt{2}$ . Размер главного лепестка синтезированной диаграммы направленности, использованный для восстановления изображения, составляет  $3.7 \times 3.0$  мсек. дуги, позиционный угол большой оси равен  $-48^\circ$ . Справа — то же, что на рис. 2б, для источника DA 193 (0552+398).



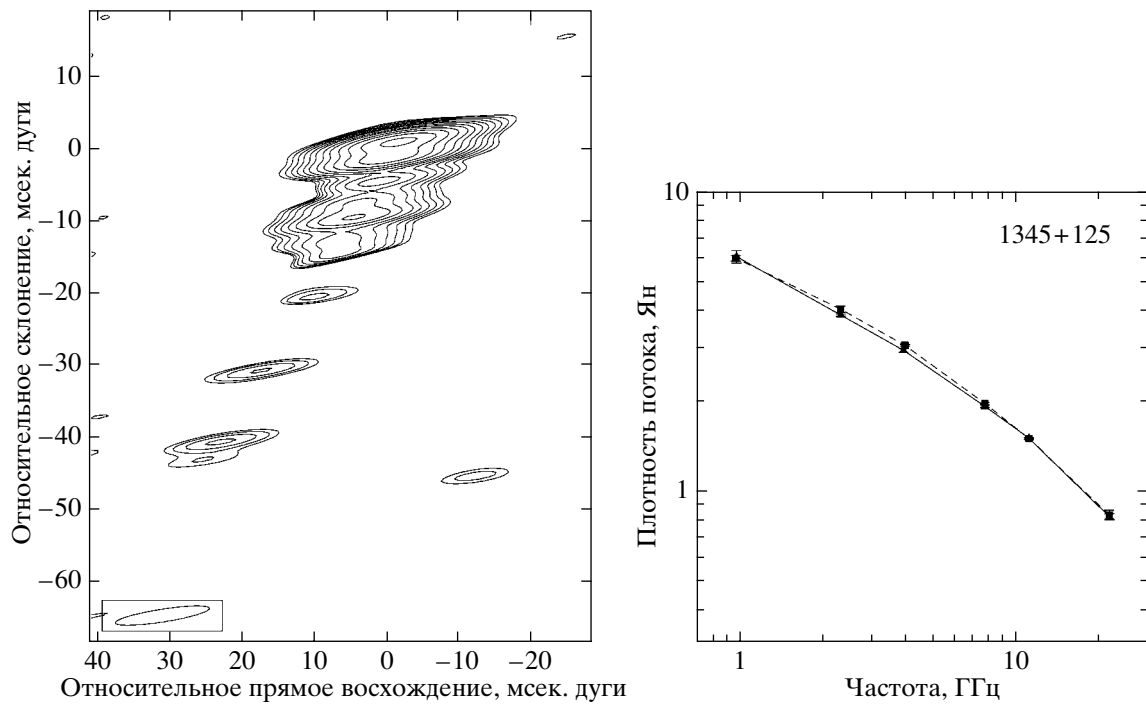
**Рис. 5.** Слева — LFN изображение 1308+326 на 1.66 ГГц с пиком видимой интенсивности 1565 мЯн в луче. Нижний контур проведен на уровне 0.7% от максимума. Контурсы равной интенсивности проведены с коэффициентом  $\sqrt{2}$ . Размер главного лепестка синтезированной диаграммы направленности, использованный для восстановления изображения, составляет  $6.2 \times 2.6$  мсек. дуги, позиционный угол большой оси равен  $8^\circ$ . Справа — то же, что на рис. 2б, для источника 1308+326.

Ковалева и др. [7] можно найти описание программы, процедуры наблюдений и обработки данных.

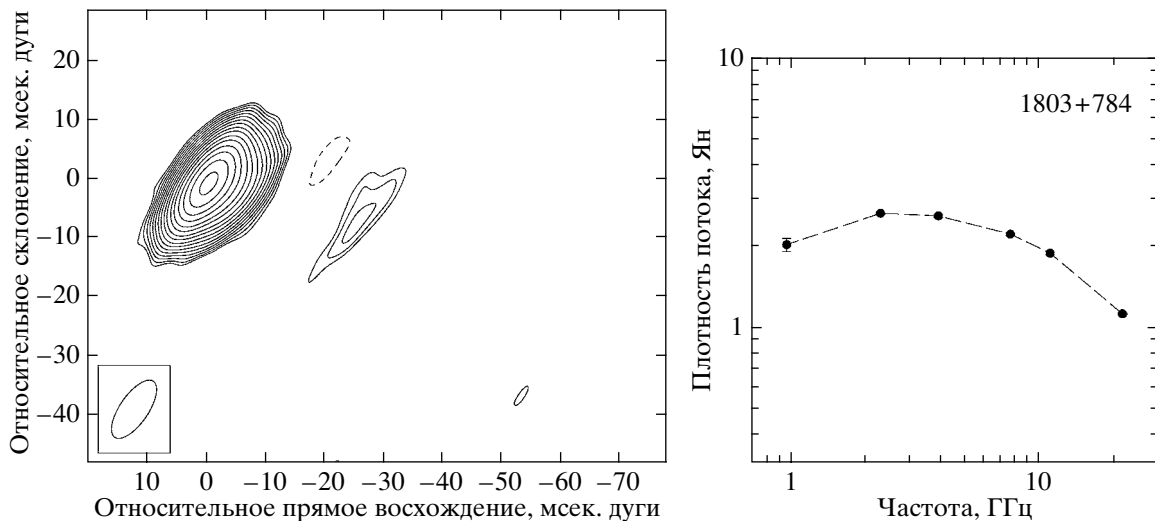
### 3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ниже приведены результаты наблюдений шести внегалактических объектов. На рис. 2–7 пред-

ставлены LFN-изображения и широкополосные спектры источников, полученные на РАТАН-600 на эпохи, ближайšie к дате РСДБ-эксперимента. Моделирование структуры источников проводилось с использованием круговых гауссовых ком-



**Рис. 6.** Слева — LFN изображение 1345+125 на 1.66 ГГц с пиком видимой интенсивности 515 мЯн в луче. Нижний контур проведен на уровне 5.6% от максимума. Контуров равной интенсивности проведены с коэффициентом  $\sqrt{2}$ . Размер главного лепестка синтезированной диаграммы направленности, использованный для восстановления изображения, составляет  $12.1 \times 1.8$  мсек. дуги, позиционный угол большой оси равен  $-82^\circ$ . Справа — то же, что на рис. 2б, для источника 1345+125.



**Рис. 7.** Слева — LFN изображение 1803+784 на 1.66 ГГц с пиком видимой интенсивности 1480 мЯн в луче. Нижний контур проведен на уровне 0.5% от максимума. Контуров равной интенсивности проведены с коэффициентом  $\sqrt{2}$ . Размер главного лепестка синтезированной диаграммы направленности, использованный для восстановления изображения, составляет  $11.5 \times 4.8$  мсек. дуги, позиционный угол большой оси равен  $-34^\circ$ . Справа — то же, что на рис. 2б, для источника 1803+784 на эпоху наблюдения сентябрь 1998 г.

попутем сравнения модели и полностью калиброванных данных наблюдений в плоскости пространственных частот ( $u, v$ ) с помощью РСДБ-пакета Brandeis [8]. Модели источников представ-

лены в табл. 2. В первой колонке даны названия объектов, во второй — приведен интегральный поток компонента модели, в третьей и четвертой — положение компонента на карте в полярных ко-

Таблица 2. Модели источников

Источник	$I \pm \sigma_I$ , мЯн	$r \pm \sigma_r$ , мсек. дуги	$\varphi \pm \sigma_\varphi$ , град.	$\theta \pm \sigma_\theta$ , мсек. дуги
0420–014	1309 ± 42	...	...	<0.5
	110 ± 23	1.78 ± 0.12	159 ± 5.5	<0.5
	30 ± 4	7.06 ± 0.22	–176 ± 0.7	<0.5
	20 ± 5	12.59 ± 0.38	–176 ± 0.8	<0.5
0420+022	772 ± 28	...	...	<0.5
	52 ± 9	1.78 ± 0.14	–41 ± 4.6	<0.5
	61 ± 8	2.31 ± 0.21	–86 ± 4.8	0.63 ± 0.25
	73 ± 8	4.53 ± 0.25	–93 ± 3.3	<0.64
DA 193	1872 ± 8	...	...	0.55 ± 0.05
1308+326	1389 ± 44	...	...	1.11 ± 0.10
	925 ± 68	2.33 ± 0.13	35 ± 3.1	1.97 ± 0.23
	299 ± 60	4.99 ± 0.15	54 ± 1.8	1.45 ± 0.61
1803+784	1459 ± 87	...	...	1.10 ± 0.26
	80 ± 16	2.80 ± 0.23	–100 ± 4.1	0.89 ± 0.31
	322 ± 31	4.83 ± 0.46	–104 ± 5.2	1.99 ± 0.88
	36 ± 9	26.24 ± 0.87	–103 ± 1.2	1.18 ± 0.35

ординатах  $r$  и  $\varphi$  по отношению к самому яркому компоненту, в последней колонке дан размер гаусс-компонента по уровню половинной мощности. Формальные ошибки приведены на уровне  $1\sigma$ , что соответствует увеличению величины  $\chi^2$  для полученной модели на единицу (см. подробнее [9]). Для объекта 1345+125, имеющего сложную структуру, оказалось невозможным получить адекватную модель источника из-за недостаточного покрытия  $(u, v)$ -плоскости.

Перейдем к обсуждению исследуемых объектов.

**0420–014.** Этот источник является сильнопеременным и высокополяризованным квазаром (красное смещение  $z = 0.915$ ) с плоским радиоспектром (рис. 2). 0420–014 был идентифицирован с источником гамма-излучения на основании анализа [10, 11] данных наблюдений телескопа EGRET космической обсерватории CGRO. В 1992 г. в этом объекте были зарегистрированы одновременные оптические и гамма-вспышки, а также значительное увеличение радиоизлучения, которое впоследствии было отождествлено с появлением нового компонента струи. Анализ данных вспышки 1992 г. позволил предположить наличие двойной черной дыры в этом источнике [12].

Наше изображение источника 0420–014 показывает доминирующее РСДБ-ядро и несколько

слабых компонент в выбросе в южном направлении (рис. 2). Морфология этого источника представляет собой похожую структуру типа ядро–выброс в южном направлении и на килопарсековых масштабах [13]. Ближайший к РСДБ-ядру компонент струи, находящийся на угловом расстоянии 1.78 мсек. дуги от ядра (табл. 2) может быть отождествлен с компонентом, наблюдавшимся на эпоху октября 1995 г. (1995.83) на частоте 5 ГГц [14]. Проекция видимой угловой скорости движения компонента составила  $\sim 0.035$  мсек. дуги год $^{-1}$ , что соответствует проекции видимой линейной скорости  $\beta_{\text{app}} = 1.3h^{-1}$ . Скорость движения этого компонента между эпохами 1992 и 1995 гг. была выше и составляла  $\beta_{\text{app}} = 4.1h^{-1}$  [14], что согласуется с моделью замедляющейся струи, когда скорость движения РСДБ-компонентов уменьшается с расстоянием от ядра.

**0420+022.** Первоначально источник 0420+022 с плоским радиоспектром (рис. 3) был классифицирован как возможный кандидат в объекты типа VL Lас [15]. Однако вскоре было установлено его красное смещение:  $z = 2.28$  [16]. Такое большое значение величины красного смещения нетипично для объектов типа VL Lас — как правило, оно не превышает единицы [17]. Мы, следуя [16], классифицируем его как квазар.

В результате мониторинга широкополосного спектра на РАТАН-600 у этого объекта был обнаружен нетипичный вид переменности. В некоторые периоды времени (на масштабах месяцев) наблюдалась сильная переменность полной спектральной плотности потока на частотах менее 10 ГГц при слабой переменности выше этой частоты, причем амплитуда переменности увеличивалась с уменьшением частоты. РСДБ-наблюдения этого источника проводились с целью отождествления механизма, ответственного за наблюдавшуюся нетипичную переменность. Подробное рассмотрение этого явления с привлечением результатов, представленных здесь, а также других РСДБ-наблюдений и наблюдений на РАТАН-600 будет содержаться в отдельной статье Ю.Ю. Ковалева и др., которая готовится к публикации.

LFVN-карта источника (рис. 3) обнаруживает структуру типа ядро-выброс на миллисекундных масштабах. Струя распространяется в западном направлении на расстояние около 5 мсек. дуги ( $\sim 28$  пк в проекции на картинную плоскость) на уровне чувствительности около 10 мЯн.

**DA 193.** Квazar 0552+398 (DA 193,  $z = 2.36$ ) с переменным излучением классифицирован как GPS [18], что отражает наличие широкополосного радиоспектра с пиком на дециметровых-сантиметровых волнах (рис. 4). DA 193 наблюдался в нашем эксперименте в качестве калибратора. Это один из самых компактных радиоисточников, известных на сегодняшний день. На рис. 1 приведено полученное в INTAS99.4 заполнение ( $u, v$ )-плоскости для этого источника. Наши наблюдения на частоте 1.66 ГГц не обнаруживают выброса, детектируется только “голое” РСДБ-ядро размером 0.55 мсек. дуги (рис. 4). РСДБ-выброс в западном направлении становится обнаружим на частоте 5 ГГц [14] и более высоких частотах. На частоте 43 ГГц удалось измерить скорости движения компонентов в выбросе, которые оказались сверхсветовыми, что нетипично для GPS-источников [19].

**1308+326.** Этот переменный источник ( $z = 0.996$ ) с плоским спектром (рис. 5) входит в полную выборку лацертид северного неба, ярких в радиодиапазоне [20]. Есть основания полагать, что источник может быть классифицирован как квазар [21]. 1308+326 является кандидатом в объекты, в которых наблюдается эффект микролинзирования. Структура 1308+326 на килопарсековых масштабах представляет собой яркое ядро, компонент на расстоянии около  $11''$  в северном направлении, а также более слабый компонент в восточном направлении на расстоянии около  $6''$  [22].

В нашем эксперименте этот объект наблюдался для установления связи между излучением, регистрируемым на секундной (килопарсековые масштабы) и миллисекундной (парсековые масштабы) шкале углового разрешения. Изображение объекта (рис. 5) показывает, что структура источника на 18 см компактная, состоящая из РСДБ-ядра и двух компонентов струи, внешний из которых расположен на расстоянии 5 мсек. дуги (30 пк) в северо-западном направлении ( $\varphi = 54^\circ$ ). Таким образом, детектируемый нами выброс слишком короткий, чтобы проследить направление струи на промежуточных масштабах; для решения этой задачи будет предпочтительно использовать комбинацию больших и малых баз РСДБ-сети (например, EVN+MERLIN или VLBA+NMA).

**1345+125.** Этот объект ( $z = 0.122$ ) является одним из самых близких ярких GPS-источников (рис. 6). Хозяйская галактика этого источника содержит два компонента — западный и восточный. Радиоисточник 1345+125 отождествляется с западным компонентом, представляющим собой эллиптическую галактику [23]. По-видимому, мы наблюдаем процесс слияния двух галактик, который и порождает активность в радиодиапазоне [24].

Наблюдения этого объекта были важны с точки зрения его классификации — он, возможно, принадлежит к классу компактных симметричных объектов (CSO). Источники этого класса характеризуются следующими свойствами в радиодиапазоне: это мощные и компактные объекты с общим размером не более одного килопарсека; как правило, доминирующее излучение приходится на области струи и горячих пятен по обеим сторонам от “центральной машины”; по-видимому, это источники слабо подверженные эффекту доплеровского уярчения [25]. Малые размеры этих источников вероятно являются следствием их молодости ( $< 10^4$  лет). Это гипотеза была подтверждена после обнаружения разлета горячих пятен и оценки их скорости в CSO-источниках [26]. Большинство отождествленных CSO-источников являются GPS-объектами, поскольку имеют соответствующую форму широкополосного радиоспектра. Из-за высокой степени компактности этих объектов, их структура может быть разрешена только с помощью РСДБ-наблюдений.

Наше изображение 1345+125 на 18 см показывает очень богатую структуру источника. РСДБ-выброс детектируется на расстоянии вплоть до 50 мсек. дуги (103 пк) от ядра в юго-восточном направлении с позиционным углом  $\sim 150^\circ$ . Согласно утверждению Фая и др. [27], ядро источника не детектируется на 1.6 ГГц из-за сильного самопоглощения в околоядерной области. Наши наблюдения подтверждают результаты (EVN+GEO)-наблюдений 1345+125 на 8.4, 2.3 и 1.6 ГГц [28]

**Таблица 3.** Сравнение спектральной плотности потока излучения источников, измеренной на LFVN (интеграл по карте) и РАТАН-600

Инструмент	Полная спектральная плотность потока на 18 см, Ян					
	0420–014	0420+022	DA 193	1308+326	1345+125	1803+784
РАТАН-600*	2.0	0.76	1.9	2.0	4.7	<2.4
LFVN	1.5 <sup>1</sup>	0.96	1.9	2.6	2.0	1.9 <sup>2</sup>

\* Значения получены интерполяцией между данными наблюдений на 31 и 13 см.

<sup>1</sup> Источник значительно разрешен на килопарсековых масштабах.

<sup>2</sup> Эпохи наблюдений LFVN и РАТАН различаются на 1 год.

и вывод о том, что этот объект является CSO-источником. К сожалению, отсутствие данных для этого источника на короткой базе Медвежьих Озер–Пущино не позволило нам протестировать излучение самых протяженных областей источника [29], что в свою очередь привело к значительной недооценке его интегрального потока (табл. 3).

**1803+784.** Источник 1803+784 с плоским спектром (рис. 7) является объектом типа BL Lac и входит в 1-Ян каталог лацертид [20] ( $z = 0.68$  [30]).

Цель наблюдения 1803+784 заключалась в исследовании структуры лацертиды, а также в установлении связи между морфологией источника на парсековых и килопарсековых масштабах. Изображения этого объекта на килопарсековых масштабах [31, 32] показывают наличие протяженных компонентов, один из которых расположен в 2'' в юго–западном направлении от ядра, а другой, более слабый – примерно в 45'' в направлении  $\sim -165^\circ$ , а также очень слабого излучения между ними [33, 34]. Общий размер наблюдаемой радиоструктуры источника составляет  $\sim 180$  кпк. С другой стороны, РСДБ-наблюдения с космическим радиотелескопом HALCA [35] позволили исследовать субпарсековую структуру источника и выяснить направление РСДБ-выброса в областях ( $\sim 0.5$  мсек. дуги), близких к центральной машине. Струя сначала распространяется в северо–западном направлении с позиционным углом  $\sim -65^\circ$ , потом поворачивает на юго–запад [36].

Полученное нами LFVN-изображение объекта на 18 см представлено на рис. 7. Источник имеет ряд компонентов струи в юго–западном направлении с позиционным углом  $\sim -100^\circ$ . Самый удаленный компонент в выбросе, регистрируемый на нашей карте, находится на расстоянии 26 мсек. дуги (143 пк). Направление струи и расположение компонент находится в согласии с результатами, полученными при наблюдениях этого источника на более чувствительной сети (VLBA, VLA, Голдстоун) для эпохи 1998.55 [37].

Таким образом, 1803+784 является источником со значительной разницей в направлении выброса между парсековыми и килопарсековыми масштабами ( $\sim 100^\circ$  в проекции на картинную плоскость). Это может объясняться эффектом проекции или взаимодействием струи с окружающей средой.

Моделирование широкополосных спектров, представленных в работе (см. подробности процедуры моделирования в [38]), а также имеющиеся в литературе данные VLA-наблюдений этих источников показывают наличие протяженной радиоструктуры в половине рассматриваемых объектов. В табл. 3 приведены значения интегральной плотности потока источников с LFVN-карт и полной плотности потока, полученной в результате интерполяции данных наблюдений на РАТАН-600. С учетом точности использованных калибровочных кривых и измерений системных температур участвовавших в РСДБ-эксперименте антенн, полная ошибка интегрального потока от областей с РСДБ-масштабами составляет  $\approx 10\%$ . Полную ошибку величины спектральной плотности потока, полученную при использовании данных РАТАН-600, мы оцениваем как не превышающую 5% (учитывая ошибки интерполяции и измерений; рис. 2–7).

В случае источников 0420+022 и 1308+326 превышение интегральной плотности потока с РСДБ-карт (декапарсековые масштабы) над значением плотности потока по данным РАТАН-600 может быть объяснено погрешностью амплитудной калибровки LFVN, а также не строгой одновременностью РСДБ-наблюдений и наблюдений на РАТАН-600 (минимальный интервал между эпохами наблюдений составил два месяца). Последнее может играть некоторую роль для переменного на низких частотах источника 0420+022 (более подробно будет описано в готовящейся публикации Ю.Ю. Ковалева и др.).

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены результаты наблюдений шести внегалактических радиисточников на



РСДБ-системе LFVN с участием трех отечественных и трех зарубежных радиотелескопов. В результате обработки стандартным методом с использованием стандартного пакета восстановлены распределения видимой интенсивности излучения объектов с миллисекундным угловым разрешением. Полученные результаты обсуждены с привлечением данных широкополосных спектральных наблюдений РАТАН-600 и имеющихся в литературе карт источников, построенных по наблюдениям на зарубежных РСДБ-системах апертурного синтеза EVN и VLBA. Проведенное сравнение изображений позволяет нам сделать вывод о достоверности результатов РСДБ-сети LFVN и ее работоспособности. Нами высказывается пожелание об уточнении калибровочных кривых некоторых из участвовавших в эксперименте телескопов для улучшения точности амплитудной калибровки данных. Получен положительный опыт планирования и проведения РСДБ-экспериментов. Использование в экспериментах имеющихся полноповоротных отечественных радиотелескопов способствовало их сохранению в эксплуатации и дооснащению радиоастрономической аппаратурой. Налаженная кооперация отечественных и зарубежных обсерваторий и центров обработки позволяет низкочастотной РСДБ-сети LFVN ежегодно проводить наблюдательные сессии для решения широкого спектра научных задач, в частности, наблюдений активных ядер галактик.

Работы проводились при поддержке грантов INTAS (96-0183, 2001-0669) и NSFC (19973014). А.Б. Пушкарев выражает благодарность РФФИ (грант 03-02-27173). Измерения на РАТАН-600 были частично поддержаны ФЦНТП "Астрономия" (грант 1.2.5.1), Министерством промышленности, науки и технологий РФ по субконтракту САО РАН с АКЦ ФИАН, а также Российским фондом фундаментальных исследований (код проекта 02-02-16305). Ю.Ю. Ковалев участвовал в работе в качестве стипендиата "NRAO Karl Jansky postdoctoral fellowship". Авторы выражают благодарность сотрудникам обсерваторий и Центра корреляционной обработки, сделавших этот эксперимент возможным.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I. E. Molotov, S. F. Likhachev, A. A. Chuprikov, *et al.*, *The Universe at Low Radio Frequencies*, eds. A. Pramesh Rao, G. Swarup, and Gopal-Krishna, IAU Publ. **199**, 492 (2002).
2. R. D. Wietfeldt, D. Baer, W. H. Cannon, *et al.*, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* **45**, 923 (1996).
3. W. H. Cannon, D. Baer, G. Feil, *et al.*, *Vistas Astron.* **41**, 297 (1997).
4. B. R. Carlson, P. E. Dewdney, T. A. Burgess, *et al.*, *Publ. Aston. Soc. Pacif.* **111**, 1025 (1999).
5. G. Tuccari, I. Molotov, S. Buttaccio, *et al.*, *Booklet of the third IVS general meeting*, (Ottawa, Canada, Geodetic Survey Division, Natural Resources Canada, 2004), p. 40.
6. А. Р. Томпсон, Дж. М. Моран, Дж. У. Свенсон, *Интерферометрия и синтез в радиоастрономии* (Москва: Физматлит, 2003), изд. 2.
7. Y. Y. Kovalev, N. A. Nizhelsky, Yu. A. Kovalev, *et al.*, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **139**, 545 (1999).
8. D. C. Gabuzda, T. V. Cawthorne, D. H. Roberts, and J. F. C. Wardle, *Astrophys. J.* **347**, 701 (1989).
9. D. H. Roberts, J. F. C. Wardle, and I. F. Brown, *Astrophys. J.* **427**, 718 (1994).
10. J. R. Mattox, R. C. Hartman, and O. Reimer, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **135**, 155 (2001).
11. D. Sowards-Emmerd, R. W. Romani, and P. F. Michelson, *Astrophys. J.* **590**, 109 (2003).
12. S. Britzen, A. Witzel, T. P. Krichbaum, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **360**, 65 (2000).
13. R. R. J. Antonucci and J. S. Ulvestad, *Astrophys. J.* **294**, 158 (1985).
14. X. Y. Hong, T. Venturi, T. S. Wan, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **134**, 201 (1999).
15. M. P. Veron-Cetty and P. Veron, *Astron. and Astrophys.* **412**, 399 (2003).
16. S. L. Ellison, L. Yan, I. M. Hook, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **379**, 393 (2001).
17. M. Stickel, J. W. Fried, and H. Kühr, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **98**, 393 (1993).
18. C. P. O'Dea, S. A. Baum, and C. Stanghellini, *Astrophys. J.* **380**, 66 (1991).
19. L. M. Lister, A. P. Marscher, and W. K. Gear, *Astrophys. J.* **504**, 702 (1998).
20. M. Stickel, P. Padovani, C. M. Urry, *et al.*, *Astrophys. J.* **374**, 431 (1991).
21. D. C. Gabuzda, R. I. Kollgaard, D. H. Roberts, and J. F. C. Wardle, *Astrophys. J.* **410**, 39 (1993).
22. D. W. Murphy, I. W. A. Browne, and R. A. Perley, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **264**, 298 (1993).
23. N. A. Shaw, A. K. Tzioumis, and A. Pedlar, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **256**, 6 (1992).
24. T. M. Hechman, E. P. Smith, and S. A. Baum, *Astrophys. J.* **311**, 526 (1986).
25. P. N. Wilkinson, A. G. Polatidis, A. C. S. Readhead, *et al.*, *Astrophys. J.* **432**, L87 (1994).
26. I. Owsianik and J. E. Conway, *Astron. and Astrophys.* **337**, 69 (1998).
27. A. L. Fey, A. W. Clegg, and E. B. Fomalont, *Astrophys. J.* **105**, 299 (1996).
28. L. Xiang, C. Stanghellini, D. Dallacasa, and Z. Haiyan, *Astron. and Astrophys.* **385**, 768 (2002).
29. M. L. Lister, K. I. Kellermann, R. C. Vermeulen, *et al.*, *Astrophys. J.* **584**, 135 (2003).
30. A. Witzel, C. J. Schalinski, K. J. Johnston, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **206**, 245 (1988).
31. R. R. J. Antonucci, P. Hickson, E. W. Olszewski, and J. S. Miller, *Astrophys. J.* **92**, 1 (1986).
32. R. I. Kollgaard, D. H. Roberts, J. F. C. Wardle, and D. C. Gabuzda, *Astron. J.* **104**, 1687 (1992).

33. R. G. Strom and P. L. Bierman, *Astron. and Astrophys.* **242**, 313 (1991).
34. P. Cassaro, C. Stanghellini, M. Bondi, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **139**, 601 (1999).
35. H. Hirabayashi, H. Hirose, H. Kobayashi, *et al.*, *Publ. Astron. Soc. Japan* **52**, 955 (2000).
36. D. C. Gabuzda, *New Astron. Rev.* **43**, 691 (1999).
37. D. C. Gabuzda and V. A. Chernetskii, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **339**, 669 (2003).
38. Y. Y. Kovalev, Y. A. Kovalev, N. A. Nizhelsky, and A. V. Bogdantsov, *Publ. Astron. Soc. Austral.* **19**, 83 (2002).

## Quasi-Simultaneous VLBI and RATAN-600 Observations of Active Galactic Nuclei

**A. B. Pushkarev, Yu. Yu. Kovalev, I. E. Molotov, M. B. Nechaeva, Yu. N. Gorshenkov,  
G. Tuccari, C. Stanghellini, X. Hong, J. Quick, S. Dougherty, and X. Liu**

VLBI observations of several quasars and BL Lacertae objects were carried out at 1.66 GHz in November–December 1999. Six antennas participated in the experiment (Medvezh'i Ozero, Svetloe, Pushchino, Noto, HartRAO, and Shanghai). Milliarcsecond-resolution images for the six sources 0420+022, 0420–014, 1308+326, 1345+125, 1803+784, and DA 193 are presented and discussed together with their broadband (1–22 GHz) spectra obtained on RATAN–600 at epochs close to the VLBI observations. Comparison of the VLBI maps with observations of these sources obtained on standard VLBI networks and with quasi-simultaneous RATAN–600 total-flux measurements indicate the reliability of the results obtained on the Low Frequency VLBI Network and the good efficiency of this network.