

УДК 520.27

ЭФФЕКТИВНАЯ ПЛОЩАДЬ РАДИОТЕЛЕСКОПА РТ-22 ПУЩИНСКОЙ РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ

Л. М. Шарипова

Наблюдаемая переменность радиоисточников на высоких (> 20 ГГц) частотах позволяет оценить как характеристики межзвездной плазмы, так и физические условия в активных ядрах галактик (АЯГ). На радиотелескопе РТ-22 Пущинской радиоастрономической обсерватории (ПРАО) проведены работы по оценке возможности исследования переменности компактных радиоисточников на имеющейся аппаратуре РТ-22. С этой целью проведены расчеты эффективной площади ($A_{\text{эфф.}}$) РТ-22 на частоте 22 ГГц (1.35 см) на основе долговременных наблюдений трех калибровочных радиоисточников DR21, 3C123, NGC7027, а также оценена флуктуационная чувствительность радиотелескопа.

Ключевые слова: переменность радиоисточников, эффективная площадь.

Введение. Современная наблюдательная астрономия является многоволновой и решает множество научных и практических задач. В число научных задач входит исследование переменности внегалактических радиоисточников. На высоких частотах оценка плотности потока связана с постоянным контролем состояния антенны. Наблюдаемая переменность активных ядер галактик может быть внутренней [1], связанной с процессами в активном ядре, и/или внешней [2], связанной с межзвездными мерцаниями. В зависимости от вида переменности можно извлекать либо физические условия в активном ядре, либо характеристики межзвездной плазмы на луче зрения. Для получения кривой блеска (зависимости наблюдаемой плотности потока от времени) нужно делать оценки плотности потока и постоянно отслеживать возможные погрешности при получении этих оценок. Полученная кривая блеска с учетом известных ошибок оценок

Филиал “Пущинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН”, 142290 Россия, Московская обл., г. Пущино, Радиотелескопная ул., 1А; e-mail: sharipova@prao.ru.

плотности потока позволяет проводить анализ переменности. В случае наблюдений на полноповоротных антеннах есть специфика, связанная с тем, что одновременно проводятся наблюдения исследуемого источника и фона. Разница антенных температур (K) источника и фона позволяет далее сделать оценку плотности потока наблюдаемого радиоисточника. Для перевода получаемых в ходе наблюдений величин в единицы плотности потока – Янские – нужно знать эффективную площадь антенны ($A_{\text{эфф.}}$). Радиотелескоп РТ-22 Пушинской радиоастрономической обсерватории (ПРАО) конструктивно представляет собой параболоид вращения (полноповоротная антенна) с двухзеркальной системой облучения. В фокусе вторичного зеркала размещены приемники, принимающие радиоизлучение на длинах волн 0.8 см и 1.35 см. На настоящий момент времени почти все наблюдательные программы на РТ-22 связаны с наблюдениями спектральных линий. При наблюдениях спектральных линий оценивается их ширина, доплеровское смещение, отношение сигнала к шуму (S/N) в линии. При этом оценка плотности потока в единицах Янских, как правило, не производится. Нами планируется запуск новой программы по исследованию переменности плотности потока, регистрируемого от компактных радиоисточников (АЯГ). Для получения корректных оценок плотности потоков необходима ежедневная оценка эффективной площади радиотелескопа.

Наблюдательные данные и их обработка. С целью определения текущего состояния эффективной площади РТ-22 был проведен наблюдательный мониторинг трех калибровочных источников – DR21, 3C123, NGC7027. Плотности потоков (F_{ν}) указанных источников взяты из работы Baars et al., [3] и составляют 19 Ян, 5.87 Ян и 3.71 Ян, соответственно. Можно отметить, что первый и третий из трех вышеуказанных калибраторов являются молекулярным облаком и планетарной туманностью в созвездии Лебедя, соответственно, второй – известный квазар 3-го Кембриджского каталога (3C). Мониторинг длился с октября 2021 г. по май 2022 г. Наблюдения проводились с использованием штатного оборудования телескопа, включая приемник радиоизлучения (радиометр) на длине волны 1.35 см (22 ГГц). Метод проводимых наблюдений, использованный нами, достаточно подробно описан в работе [4]. Необходимо отметить, что при наблюдениях исследуемых объектов вклад излучения атмосферы заметно снижается методом диаграммной модуляции. Радиосигнал от наблюдаемого источника регистрировался в полосе 50 МГц, а ширина частотного канала составляла 0.0244 МГц. Спектрограммы наблюдаемых источников калибруются с помощью генератора шума (ГШ). В свою очередь ГШ привязывается к потокам калибровочных источников на небе, и величина его сигнала хорошо откалибрована в единицах антенной температуры

(К). Таким образом, каждая спектрограмма представляет собой зависимость регистрируемого шумового сигнала в каждом канале, выраженного в единицах антенной температуры, от номера соответствующего канала. Полученные наблюдательные данные обрабатывались с использованием программных пакетов, разработанных в ПРАО. С помощью этого пакета программ осуществляется управление телескопом, а также визуализация, сбор и хранение получаемых во время наблюдений спектральных данных. В обработке данных использовался также программный пакет “ORIGIN”. Оригинальные сканы непрерывного спектра вышеуказанных калибровочных источников, полученные из наблюдений, представлены на рис. 1. По осям абсцисс и ординат отложены номера регистрируемых каналов спектрального скана и антенная температура шумового сигнала, регистрируемого от исследуемого источника, в каждом канале, выраженная в шкале градусов Кельвина, соответственно.

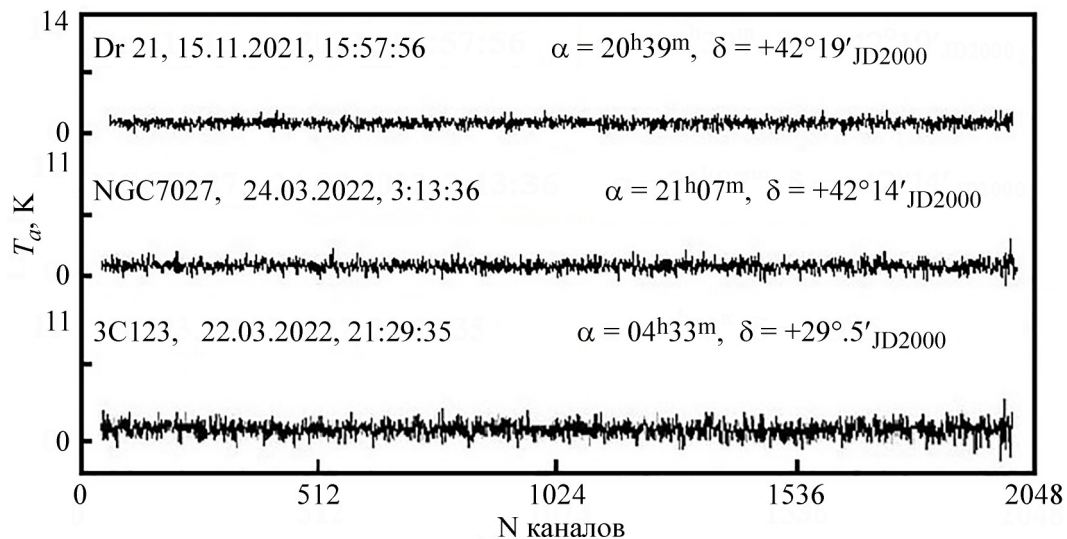


Рис. 1: Вид непрерывных спектров калибраторов DR21, NGC7027, 3C123 в полосе 50 МГц.

В левой верхней части каждого из трех сканов указаны название объекта, дата и время регистрации скана. Правая верхняя часть сканов отражает координаты наблюдаемого объекта на эпоху 2000 года. В результате проведенного мониторинга трех калибровочных источников было получено ~650 спектральных сканов. С учетом помех разного рода в окончательную обработку было взято меньше – 440 сканов. Длительность сессии (наблюдения одного скана) была от 10 до 40 минут.

Т а б л и ц а 1

Результаты расчета эффективной площади телескопа RT-22 ПРАО
по наблюдениям калибровочных источников DR21, NGC7027, 3C123

Дата, калибровочный источник	Кол-во сканов	T_a , К (средняя)	$A_{эфф.}$, м ²
1	2	3	4
DR21	13	1.13 ± 0.07	164
26.10.2021			
27.10.2021	12	1.20 ± 0.06	174
28.10.2021	21	1.12 ± 0.04	162
15.11.2021	8	1.25 ± 0.02	181
16.11.2021	18	1.24 ± 0.03	180
17.11.2021	8	1.42 ± 0.03	206
17.12.2021	24	1.09 ± 0.06	158
18.12.2021	6	1.13 ± 0.10	164
21.03.2022	3	1.37 ± 0.01	199
22.03.2022	11	1.24 ± 0.13	180
25.03.2022	15	1.21 ± 0.04	176
18.04.2022	3	1.16 ± 0.05	168
19.04.2022	19	1.35 ± 0.03	196
13.05.2022	20	1.44 ± 0.05	209
РЕЗУЛЬТАТ	181	$1.28 \pm 0.03(2.5\%)$	$186 \pm 5(\sim 3\%)$
NGC7027	5	0.30 ± 0.05	141
17.12.2022			
18.12.2021	18	0.29 ± 0.03	136
19.12.2021	4	0.42 ± 0.02	197
22.03.2022	10	0.38 ± 0.02	179
24.03.2022	35	0.38 ± 0.02	179
25.03.2022	20	0.44 ± 0.06	207
19.04.2022	12	0.28 ± 0.02	132
20.04.2022	12	0.37 ± 0.02	174
12.05.2022	3	0.39 ± 0.29	183

Продолжение Таблицы 1

РЕЗУЛЬТАТ	119	$0.36 \pm 0.02(5\%)$	$170 \pm 9(5\%)$
3C123 27.10.2021	6	0.18 ± 0.04	134
28.10.2021	2	0.17 ± 0.13	126
15.11.2021	8	0.23 ± 0.03	171
16.11.2021	25	0.21 ± 0.02	156
17.11.2021	26	0.18 ± 0.02	134
18.11.2021	13	0.19 ± 0.02	141
21.03.2022	7	0.20 ± 0.02	149
22.03.2022	6	0.20 ± 0.01	149
23.03.2022	9	0.20 ± 0.02	149
24.03.2022	8	0.34 ± 0.07	253
19.04.2022	14	0.21 ± 0.02	156
11.05.2022	8	0.21 ± 0.06	156
12.05.2022	4	0.36 ± 0.10	267
13.05.2022	4	0.23 ± 0.07	171
РЕЗУЛЬТАТ	140	$0.21 \pm 0.02(9\%)$	$156 \pm 12(\sim 8\%)$
ИТОГ:			
По 3 калибров. источникам	В обра- ботку взято 440		$175 \pm 9(5\%)$

Результаты обработки. Расчет эффективной площади телескопа РТ-22 осуществлялся по известной в радиоастрономии формуле: $A_{\text{эфф.}} = 2K \cdot T_a / F_\nu$, где K – постоянная Больцмана, T_a – антенная температура калибровочного источника, расчет которой производится на основе спектрограммы, полученной из наблюдений, F_ν – плотность потока в полосе частот в Янских, взятая из каталога калибровочных радиоисточников [3]. Результаты проведенных расчетов эффективной площади РТ-22 собраны в табл. 1. В первой колонке таблицы указано название калибровочного источника и дата наблюдений. Во второй колонке представлено количество спектральных сканов, взятых в обработку в соответствующую дату наблюдений для каждого из трех источников. Третья, четвертая колонки содержат средние значения антенной температуры калибровочных

источников, величину эффективной площади антенны, а также точность расчета этих двух параметров, полученных в соответствующую дату наблюдений. В табл. 1 в строке “РЕЗУЛЬТАТ” для всех трех калибровочных источников приведено общее количество спектральных сканов, полученных за время наблюдательного мониторинга (октябрь 2021 г. – май 2022 г.). Указанная строка содержит также усредненное значение антенной температуры выбранных калибровочных источников, эффективной площади телескопа и ошибки расчета этих параметров по данным наблюдений, взятых в обработку. Знание эффективной площади радиотелескопа позволяет оценить флуктуационную чувствительность антенны (σ_n). Согласно формуле радиометрического выигрыша:

$$\sigma_n = (K \cdot T_{\text{sys.}}) / (A_{\text{эфф.}} \cdot \sqrt{\Delta\nu \cdot \tau}),$$

где K – постоянная Больцмана, $T_{\text{sys.}}$ – суммарная шумовая температура, компоненты которой – шумы приемника и антенны. $A_{\text{эфф.}}$ – эффективная площадь телескопа, $\Delta\nu$ – полоса принимаемых частот, τ – время накопления сигнала. Исходя из полученной величины средней эффективной площади $A_{\text{эфф.}} = 175 \text{ м}^2$, а также известных характеристик приемной аппаратуры ($T_{\text{sys.}} = 80 \text{ К}$, полоса приема 50 МГц), было оценено, что на уровне $\text{С/Ш} > 7$ на РТ-22 можно наблюдать на частоте 22 ГГц источники с плотностью потока до 26 мЯн (накопление 10 минут), а при времени накопления сигнала 1 час – источники с плотностью потока $\sim 11 \text{ мЯн}$.

Длительный наблюдательный мониторинг трех калибровочных источников DR21, 3C123, NGC7027, проведенный с октября 2021 г. по май 2022 г., позволил оценить величину эффективной площади антенны РТ-22. Текущее значение этого параметра радиотелескопа 175 м^2 . Оценка флуктуационной чувствительности РТ-22 показывает следующее. При времени накопления 10 мин регистрируемая плотность потока исследуемых источников на частоте 22 ГГц достигает 26 мЯн. С увеличением времени накопления (порядка 1 часа) становятся доступными для наблюдений более слабые источники с плотностью потока до $\sim 11 \text{ мЯн}$.

В заключение хочу поблагодарить С. А. Тюльбашева за обсуждение результатов и ценные замечания в процессе написания статьи. Выражаю благодарность А. П. Цивилеву за помощь в ходе выполнения наблюдений на телескопе РТ-22. Также благодарю А. М. Толмачева за полезные советы в ходе выполнения работы. Приношу искреннюю благодарность рецензентам за комплекс замечаний, улучшивших представленную работу.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] H. Teräsranta, M. Tornikoski, A. Mujuunen, et al., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **132**, 305 (1998). DOI: 10.1051/aas:1998297.
- [2] B. J. Rickett, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **28**, 561 (1990). DOI: 10.1146/annurev.aa.28.090190.003021.
- [3] J. W. M. Baars, R. Genzel, I. I. K. Pauliny-Toth, A. Witzel, *A&A* **61**, 99 (1977). <https://scholar.google.com/citations?user=2B2eBRgAAAAJ&hl=ru>.
- [4] Р. Л. Сороченко, И. И. Берулис, В. А. Гусев и др., *Труды ФИАН* **159**, 54 (1985). <https://proceedings.lebedev.ru/0159-1985/>

Поступила в редакцию 20 сентября 2022 г.

После доработки 24 октября 2022 г.

Принята к публикации 25 октября 2022 г.