

УДК 524.74-77

НАБЛЮДЕНИЕ БЫСТРОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ ДВУХ ОБЪЕКТОВ ТИПА VL Lac J2005+77 И J2022+76 НА РАТАН-600

© 2009 Ю. В. Сотникова^{1*}, М. Г. Ларионов^{2**}, М. Г. Мингалиев^{1,3***}

¹Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

²Астрокосмический Центр ФИАН, Москва

³Южный федеральный университет (Ростовский государственный университет) Ростов-на-Дону

Поступила в редакцию 14 октября 2008 г.; принята в печать 4 февраля 2009 г.

В работе представлены результаты наблюдений двух объектов типа VL Lacertae J2005+77 и J2022+76. Наблюдения выполнены на радиотелескопе РАТАН-600 на частотах 11.2, 7.7 и 4.8 ГГц. Нами были обнаружены вариации радиоизлучения на масштабах порядка суток. Для источника J2022+76 такая переменность обнаружена впервые. Для сравнения привлечены многолетние многочастотные исследования этих источников в радиодиапазоне, выполненные на РАТАН-600 по другим наблюдательным программам. Проанализирован характер переменности источников и приведены аргументы в пользу предпочтительных механизмов генерации излучения в исследуемых объектах.

Ключевые слова: *радиоисточники*

1. ВВЕДЕНИЕ

Со времени открытия быстрой переменности в радиодиапазоне [1, 2] (временные масштабы порядка суток), которая присуща многим компактным внегалактическим источникам с плоским спектром, нерешенным остается вопрос о ее физической природе. Вариации интенсивности и поляризации указывают на яркостные температуры $10^{15}–10^{21}$ К, значительно превышающие Комптоновский предел (10^{12} К) [3]. Поэтому быстрая переменность не может быть объяснена в рамках стандартной модели сферически-симметричного однородного адиабатически расширяющегося облака релятивистских электронов [4, 5]. В настоящее время существует несколько основных моделей, описывающих механизмы быстрых вариаций плотности потока радиоизлучения внегалактических источников. Это, в первую очередь, модель межзвездных мерцаний [6, 7], модель ударной волны [8, 9], гравитационное микролинзирование [10] и модель когерентного излучения [11]. Эти модели не всегда могут описать наблюдаемую переменность. Кроме того, в разных источниках причины переменности могут быть разными (внутренними и внешними). Переменность в различных диапазонах, как правило, носит характер случайных всплесков,

хотя корреляция (между диапазонами) иногда имеется [12, 13]. Во время всплеска значение плотности потока источника возрастает на десятки процентов или даже в несколько раз. Причина переменности, являясь самостоятельным вопросом, с энергетической точки зрения тесно связана с природой главного источника энергии в квазарах и галактиках [14].

В работе рассмотрена переменность радиоизлучения двух источников J2005+77 и J2022+76, относящихся к классу VL Lacertae. Для исследования переменности на масштабах порядка суток объекты наблюдались в августе 2007 г. в течение 30 дней. Эти источники наблюдались на РАТАН-600 ранее по программам изучения дискретных радиоисточников мало исследованной области Северного неба вблизи Полюса Мира:

- в 1999 г. [15] — в полной по плотности потока ($S \geq 400$ мЯн на частоте 1.4 ГГц) выборке источников; работа была инициирована необходимостью учета вклада дискретных радиоисточников при фоновых исследованиях;
- в 2005 г. [16] — в полной по плотности потока ($S \geq 200$ мЯн на частоте 1.4 ГГц) выборке радиоисточников с целью отбора источников со спектральными индексами $\alpha \geq -0.5$ (при $S \sim \nu^{-\alpha}$);

*E-mail: sjv@sao.ru

**E-mail: mgl@asc.rssi.ru

***E-mail: marat@sao.ru

- в 2006, 2007 и 2008 г.г. [17] — в программе по исследованию спектрального поведения и долговременной переменности объектов приполярной области Северного неба.

Вышеуказанные наблюдения проводились на Южном Секторе РАТАН-600 с использованием штатного комплекса радиометров (<http://www.sao.ru/hq/lrk/ind2.html>) вторичного зеркала Облучателя N1 на частотах 0.9, 2.3, 4.8, 7.7, 11.2 и 22.7 ГГц. Результаты этих наблюдений также использованы в настоящей работе.

Радиоисточник J2005+77 [18] ($z=0.34$, по данным NED) неоднократно исследовался с целью обнаружения и изучения быстрой переменности [1, 19–21]. Источник отличается вариациями плотности потока радиоизлучения на масштабах порядка суток. В 1997 г. объект J2005+77 исследовался в широком диапазоне длин волн — 60 μm , 100 μm , 1.3 см, 2 см, 3.6 см и 20 см, 650 нм. Для этого использовались: космический телескоп ISO (Infrared Space Observatory), радиотелескопы VLA и Effelsberg, 0.7 м оптический телескоп Heidelberg и 1.2 м оптический телескоп Calar Alto (The German-Spanish Astronomical Centre, Calar Alto, is operated by the Max-Planck-Institut fur Astronomie). В результате была обнаружена быстрая переменность разной амплитуды во всех исследованных диапазонах [22]. В радиодиапазоне амплитуда переменности составила около 5%, в инфракрасном — около 20%, в оптике — порядка 50%.

Радиоисточник J2022+76 ранее не исследовался на наличие быстрой переменности, его красное смещение оценено как $z \geq 0.2$ [23].

2. НАБЛЮДЕНИЯ ОБЪЕКТА J2005+77 НА РАТАН-600

Исследование быстрой переменности радиоисточника J2005+77 на РАТАН-600 проводилось в августе 2007 г. В результате переменность радиоизлучения на масштабах суток была обнаружена на трех частотах 4.8, 7.7 и 11.2 ГГц. Методика наблюдений и обработки описана нами подробно в работе [17]. Статистический анализ наблюдаемых данных проводился тем же способом, что в исследованиях 1997 г. [1, 22]. Первоначально находился модуляционный индекс исследуемого и опорного источника, далее по критерию χ^2 определялось является ли источник переменным, и в случае положительного результата определялась амплитуда переменности [17]. В исследованиях 1997 года амплитуда переменности источника J2005+77 увеличивалась с ростом частоты. Исследования 2007 г.

не подтвердили такое быстрое изменение амплитуды переменности с частотой, оно носит более плавный характер. Величина амплитуды переменности в исследованиях 2007 г. уменьшилась в несколько раз на близких частотах. Амплитуда переменности J2005+77 в 2007 году не превышала 3% на частотах 11.2, 7.7 и 4.8 ГГц, тогда как в 1997 году она достигала 6–9% в этом диапазоне. Изменения амплитуды переменности радиоисточника J2005+77 с частотой в наблюдениях на РАТАН-600 в 2007 г. представлены на Рис. 1, для сравнения на рисунке приведены также результаты наблюдений на VLA и Effelsberg в 1997 г.

На Рис. 2 представлены одновременные радиоспектры источника J2005+77, полученные на РАТАН-600 в период 1999–2008 г.г. Здесь темно-серые кружки — измерения 1999 г., темно-серые треугольники — 2005 г., светло-серые кружки — 2006 г., темно-серые квадраты — апрель 2007 г., черные квадраты — август 2007 г., черные кружки — сентябрь 2007 г., черные треугольники — 2008 г. Пунктирной линией и черными крестиками показана часть спектра, полученного в 1997 г. в работе [22] и совпадающего со спектрами, полученными на РАТАН-600 в 1999 и 2005 г.г. Из рисунка видно, что изменение плотности потока радиоизлучения на достаточно длительном временном масштабе происходит практически одинаково на всех представленных частотах. Вероятно, в данном случае наблюдается составляющая переменности, не зависящая от частоты [24]. Из радиоспектра J2005+77 видно, что при наблюдениях в августе 2007 г. источник находился не в самом активном состоянии (черные квадраты), а наибольшее значение плотности потока наблюдалось в 1999 г. (темно-серые кружки).

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТА J2022+76

Для исследования переменности потока излучения на масштабах порядка суток источник J2022+76 наблюдался на РАТАН-600 в августе 2007 г. Переменность на указанных временах была обнаружена на трех частотах 4.8, 7.7 и 11.2 ГГц [17]. Ранее источник не исследовался на переменность на коротких временных масштабах. Такая переменность для J2022+76 обнаружена впервые. Красное смещение источника не определено точно, но в работе [23] дается его нижний предел $z \geq 0.2$. Кривые изменения плотностей потоков со временем представлены на Рис. 3 (а). Кривые демонстрируют точное совпадение по времени максимумов плотностей потоков на трех частотах. Коэффициент корреляции между кривыми на 11.2 и 7.7 ГГц — 0.7, а между 7.7 и 4.8 ГГц — 0.6. Амплитуда переменности растет с уменьшением

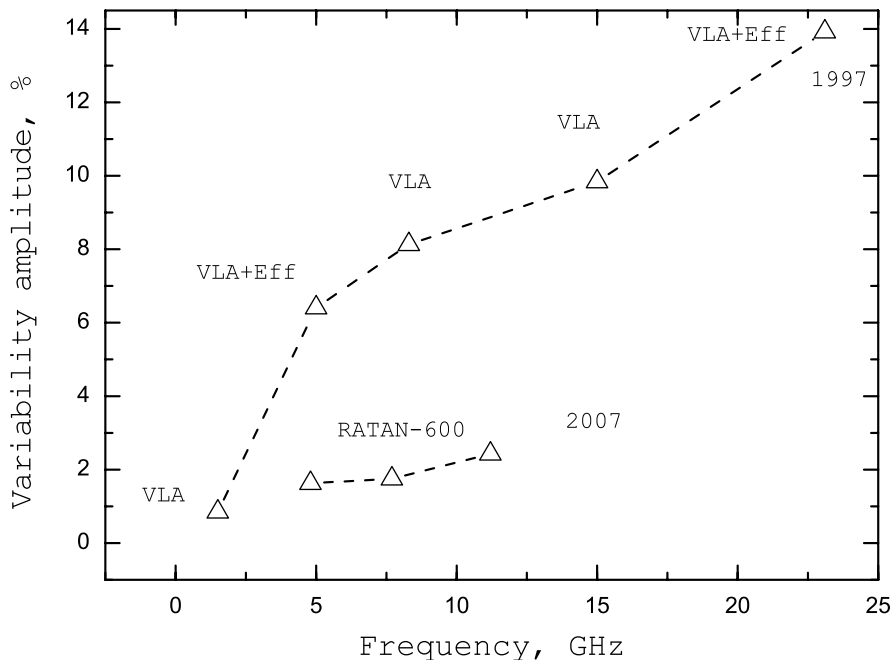


Рис. 1. Изменение амплитуды переменности радиоисточника J2005+77 с частотой в наблюдениях на VLA и Effelsberg в 1997 г. и на РАТАН-600 в 2007 г.

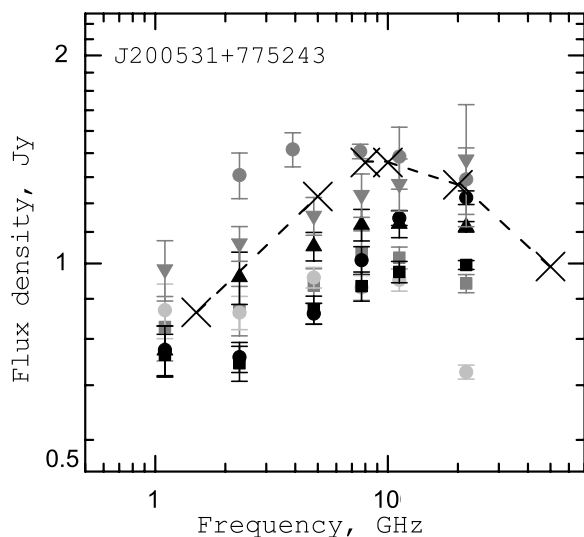


Рис. 2. Мгновенные радиоспектры источника J2005+77, полученные на РАТАН-600 в период 1999–2008 гг. Разными значками показаны измерения в разные годы: темно-серые кружки — измерения 1999 г., темно-серые треугольники — 2005 г., светло-серые кружки — 2006 г., темно-серые квадраты — апрель 2007 г., черные квадраты — август 2007 г., черные кружки — сентябрь 2007 г., черные треугольники — 2008 г. Пунктирная линия и черные крестики — часть спектра из [22].

частоты: на частотах 11.2, 7.7 и 4.8 ГГц — соответственно 3.13%, 4.56% и 4.60% и в максимуме достигает 4.6%. На Рис. 3 (b) представлены одновременные радиоспектры источника J2022+76, полученные в период 1999, 2005 и 2007 гг. Два из них можно разделить в рамках двухкомпонентной модели [25] на протяженную (степенную) компоненту и компактную, которую можно представить квадратичной функцией. Большая переменность в период 1999–2007 гг. присуща части спектра на частотах $\nu \geq 2$ ГГц. Спектральный индекс в период 1999–2007 гг. на частоте 22.7 ГГц меняется незначительно — от -0.1 до -0.2; на частоте 2.3 ГГц меняется аналогично — от -0.1 до -0.2. Отметим, что мгновенный радиоспектр источника J2022+76 достигает максимума плотности потока (около 0.65 Ян на 7.7 ГГц) именно в августе 2007 г., в момент исследования быстрой переменности. В РСДБ-структуре объекта (РСДБ — радиоинтерферометр со сверхдлинной базой), полученной в исследованиях VLBI, различается ядро и джет (<http://lacerta.gsfc.nasa.gov/vlbi/images/>). Исследуемый источник представляет интерес для дальнейших исследований как мало изученный в различных диапазонах длин волн.

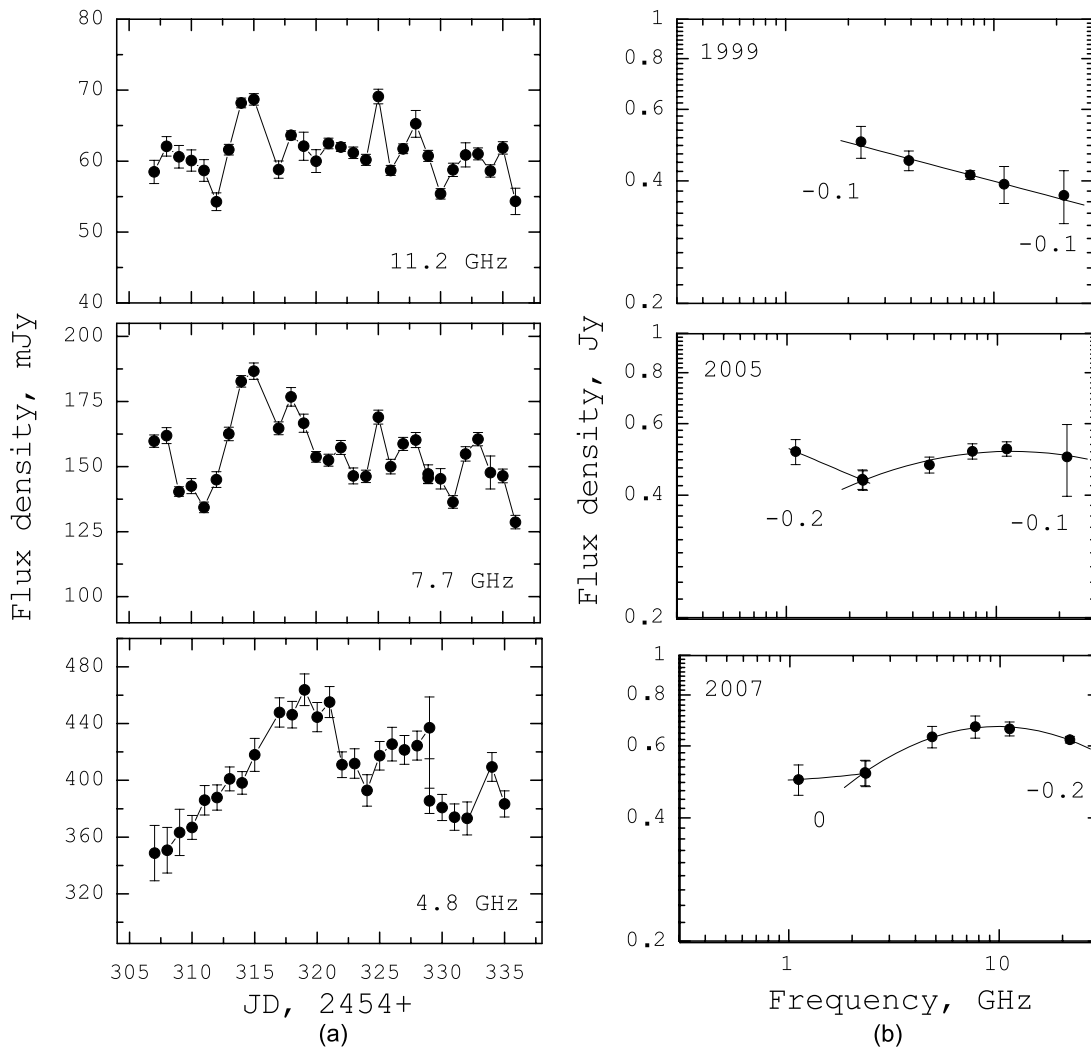


Рис. 3. (а) — изменение плотностей потоков J2022+76 на частотах 4.8, 7.7 и 11.2 ГГц в августе 2007 г.; (б) — мгновенные радиоспектры источника J2022+76 в 1999, 2005 и 2007 гг., внизу спектров указаны спектральные индексы на крайних частотах.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Общий спектр радиоисточника J2005+77 в диапазонах, исследованных в 1997 г. (радио, инфракрасный, оптический), представлен в работе [22]. Авторы описывают его как комбинацию нескольких степенных функций с максимумом вблизи частоты 8.4 ГГц и изломом вблизи 1100 ГГц. Часть спектра, полученная в этой работе показана пунктирной линией и черными крестиками на Рис. 2. Спектральный индекс на частотах 1–5 ГГц равен -0.33 , что больше, чем типичный спектральный индекс спектра самопоглощения в однородном источнике синхротронного излучения. Это указывает на то, что излучение может состоять из нескольких компонент со спектральным максимумом на различных частотах. Большинство последних VSOP (VLBI Space Observatory Programme, a radio astronomy space mission led by the Institute

of Space and Astronautical) наблюдений на 5 ГГц показывают многокомпонентную структуру типа ядро–джет в источнике J2005+77 [26]. Эта структура вместе с джетом имеет размеры порядка $1''$. Если предположить, что ударная волна в этом источнике является устойчивым феноменом, то должна наблюдаться переменность.

Распространение ударной волны обычно рассматривается как одна из возможных причин переменности потока радиоизлучения в АГН (Active Galactic Nuclei — активные ядра галактик) [27, 28]. Временная шкала, характерная для данной модели составляет от нескольких недель до месяцев. Кроме того, в рамках этой модели предсказывается, что максимум плотности потока радиоизлучения достигается сначала на высоких частотах, затем, он несколько уменьшается и смещается в сторону низких частот. Такая картина полностью

соответствует переменности источника J2005+77 в 1997 г. [22].

Процесс рассеяния излучения на межзвездной среде может вызывать вариации плотности потока радиоизлучения. Но такое рассеяние является достаточно слабым уже вблизи 10 ГГц [29]. Однако в наблюдениях 1997 г. мы видим увеличение амплитуды переменности с ростом частоты. К тому же рассеяние на межзвездной среде не может вызывать вариации излучения на наблюдаемых временах в оптическом и инфракрасном диапазонах. Поэтому, такое предположение о причине переменности потока излучения отвергается для источника J2005+77. Следовательно, возможная связь оптических, инфракрасных и радио вариаций излучения, исключает феномен межзвездного рассеяния как причину быстрой переменности источника J2005+77 [22]. Тем не менее, из-за малых угловых размеров источника [22, 26] и коротких временных масштабов переменности потока мы не можем полностью исключить влияние этого эффекта в радиодиапазоне.

Гравитационное микролинзирование звездой является частотно независимым эффектом и может также быть причиной быстрых вариаций излучения. Существует два признака, позволяющие отличить кривую блеска источника при микролинзировании от кривой блеска обычного переменного источника: при микролинзировании кривая блеска должна быть симметричной относительно своего максимума и не должна зависеть от длины волны [30]. Для исследуемого объекта J2005+77 фоновым источником является только галактика с $z=0.165$ (проекция расстояния $30''$), поэтому предположение о возможном гравитационном микролинзировании как причине переменности плотности потока исключается.

Объект J2005+77, возможно, является типичным представителем AGN, в котором наблюдается активность в различных частотных диапазонах. Он похож на блазар 3C454.3, в излучении которого присутствуют составляющие переменности потока излучения, на различных шкалах времени — от часов до десятков лет. В этом объекте установлено детальное совпадение быстрых изменений потока в оптическом и радио диапазонах с временным сдвигом, зависящим от частоты наблюдений [14].

Другой радиоисточник J2022+76 ранее не исследовался на наличие быстрой переменности. Рост амплитуды переменности с уменьшением частоты и малые угловые размеры источника допускают интерпретацию его переменности как рассеяние излучения на межзвездной среде. При этом, амплитуда переменности должна иметь максимум вблизи частоты 5 ГГц. В нашем случае максимальный индекс переменности наблюдается

на частоте 4.8 ГГц, что близко к ожидаемой и составляет 4.6%.

Интерпретировать переменность источника J2022+76 гравитационным линзированием сложно из-за отсутствия измеренного красного смещения исследуемого источника и объекта, находящегося близко к лучу зрения. Угловое расстояние между J2022+76 и геометрическим центром близкого объекта приблизительно $7''$ [23], что, в принципе, не исключает действие этого эффекта, в том случае, если этот источник ближе к наблюдателю, чем J2022+76.

По имеющейся информации можно сделать только некоторые предположения о природе быстрых вариаций излучения в этом объекте. Наличие корреляции изменений потока на разных длинах волн радиодиапазона может указывать как на внешние причины переменности потока, так и на внутренние.

5. ВЫВОДЫ

На радиотелескопе РАТАН-600 проведены наблюдения двух источников типа VL Lacertae J2005+77 и J2022+76 с целью исследования переменности потока излучения на коротких временных масштабах (порядка суток). Указанная переменность была обнаружена на частотах 11.2, 7.7 и 4.8 ГГц. Для анализа переменности частично привлекались данные, полученные в оптическом и инфракрасном диапазонах. Источник J2005+77, по-видимому, является типичным представителем AGN, в котором развитие вспышечной активности происходит с временной задержкой от оптического к радио диапазону. Амплитуда переменности для него меняется со временем.

В объекте J2022+76 переменность радиоизлучения на трех частотах (11.2, 7.7 и 4.8 ГГц) на масштабах порядка суток обнаружена впервые. Амплитуда переменности источника уменьшается с ростом частоты. Обнаружена корреляция изменений потока излучения на разных частотах радиодиапазона. Изменение величины амплитуды переменности для этого источника указывает на внешний характер переменности, а наличие корреляции между изменениями потока на разных частотах может указывать на внутренние причины. Отсутствие измеренного красного смещения и экспериментальной информации в других диапазонах длин волн не позволяет провести однозначную интерпретацию полученных наблюдательных данных. Объект J2022+76 наблюдался мало. Исследование подобных радиоисточников является важным для пополнения списка уже известных быстропеременных объектов, а также для будущих исследований миссии Planck в области высоких частот, где такого рода источники могут быть непредсказуемо яркими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. S. Heeschen, Th. Krichbaum, C. J. Schakinski, and A. Witzel, *Astronom. J.* **94**, 1493 (1987).
2. A. Witzel, D. S. Heeschen, C. Schalinski, and T. P. Krichbaum, *Mitt. D. Astron. Gesell.* **65**, 239 (1986).
3. K. I. Kellermann and I. I. K. Pouligny-Toth, *Astrophys. J.* **155**, L71 (1969).
4. И. С. Шкловский, *Астрон. ж.* **37**, 256 (1960).
5. H. Van der Laan, *Nature*. **211**, 1131 (1966).
6. B.J. Rickett, A. Quirrenbach, R. Wegner, et al., *Astronom. and Astrophys.* **293**, 479 (1995).
7. M.A. Walker, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **294**, 307 (1998).
8. S.J. Qian, A. Witzel, A. Kraus, et al., *ASP Conf. Ser.* **100**, 55 (1996).
9. M. Spada, M. Salvati and F. Pacini, *Astrophys. J.* **511**, 136 (1999).
10. S. J. Wagner and A. Witzel, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **33**, 163 (1995).
11. G. Benford and H. Lesch, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **301**, 414 (1998).
12. А. Г. Горшков, В. К. Конникова, М. Г. Мингалиев, *Астрон. ж.* **77**, 188 (2000).
13. B. J. Rickett, T. J. Lazio, and F. D. Ghigo, *Astronom. J.* **165**, 439 (2006).
14. А. Е. Вольвач, Л. Н. Вольвач, Н. С. Кардашев и др., *Астрон. ж.* **85**, 963 (2008).
15. M. G. Mingaliev, V. A. Stolyrov, R. D. Davies, et al., *Astronom. and Astrophys.* **370**, 78 (2001).
16. М. Г. Мингалиев, Ю. В. Сотникова, Н. Н. Бурсов и др., *Астрон. ж.* **84**, 1 (2007).
17. М. Г. Мингалиев, Ю. В. Сотникова, Н. С. Кардашев и М. Г. Ларионов, *Астрон. ж.* 2009 (в печати).
18. M. Stickel, J. W. Fried, and H. Kuerh, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **80**, 103 (1989).
19. T. P. Krichbaum, C. Jin, A. Kraus, et al., in *Proceedings of the VSOP Symposium, Sagamihara, Kanagawa, Japan, 2000*, Ed. by: H. Hirabayashi, P. G. Edwards, and D. W. Murphy, Published by the Institute of Space and Astronautical Science, p. 133.
20. A. Quirrenbach, A. Kraus, A. Witzel, et al., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **141**, 221 (2000).
21. A. Kraus, T. P. Krichbaum, R. Wegner, et al., *Astronom. and Astrophys.* **401**, 161 (2003).
22. B. Peng, A. Kraus, T. P. Krichbaum, et al., *Astronom. and Astrophys.* **353**, 937 (2000).
23. M. Stickel and H. Kuerh, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **115**, 11 (1996).
24. А. Е. Вольвач, А. Б. Пушкарев, М. Г. Ларионов и др., *Астрофизика* **50**, 325 (2007).
25. А. Г. Горшков, В. К. Конникова, М. Г. Мингалиев, *Астрон. ж.* **77**, 407 (2000).
26. C. Jin, T. P. Krichbaum, A. Witzel, and J. A. Zensus, in *Proceedings of the 5th european VLBI Network Symposium, Gothenburg, Sweden, 2000*, Ed. by: J. E. Conway, A. G. Polatidis, R. S. Booth, and Y. M. Pihlstrom, Published Onsala Space Observatory, p. 249.
27. R. D. Blandford and A. Konigl, *Astrophys. J.* **232**, 34 (1979).
28. A. P. Marscher and W. K. Gear, *Astrophys. J.* **298**, 114 (1985).
29. B.J. Rickett, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **28**, 561 (1990).
30. А. М. Черепашук, *Соросовский образовательный журнал*, 92 (1998).

OBSERVATIONS OF THE RAPID VARIABILITY OF THE TWO BL LAC TYPE OBJECTS J2005+77 AND J2022+76 WITH THE RATASN-600 RADIO TELESCOPE

Yu.V. Sotnikova, M.G. Larionov, M.G. Mingaliev

We report here the results of observations of two BL Lacertae type objects, J2005+77 and J2022+76, using the RATAN-600 at frequencies 11.2, 7.7, and 4.8 GHz. We found variations of radio emission on timescales of one day and we are the first to discover a variability of this type for J2022+76. We compare our observations with long-term multifrequency radio observations of the same sources performed on RATAN-600 within the framework of other observational programs. We analyze the behaviour of variability of the two sources and provide arguments in favour of the preferred emission generation mechanisms for the objects studied.

Key words: *radiosources*