

УДК 524.6

МОНИТОРИНГ БЛАЗАРА J0238+1636 НА РАТАН-600 И РТ-32 В 2014–2019 гг.

© 2020 г. М. А. Харинов^{1,*}, В. К. Конникова², А. В. Ипатов¹, И. А. Ипатова¹, А. К. Эркенов³

¹ Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

³ Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

*E-mail: kharinov@iaaras.ru

Поступила в редакцию 09.09.2019 г.

После доработки 03.12.2019 г.

Принята к публикации 20.12.2019 г.

Представлены результаты наблюдений блазара J0238+1636 на радиотелескопе РАТАН-600 САО РАН на частотах 2.3, 4.8, 8.2, 11.2 и 21.7 ГГц в 2014–2019 гг. и на антеннах РТ-32 обсерваторий “Зеленчукская” и “Бадары” ИПА РАН на частотах 4.84 и 8.57 ГГц в 2015–2017 гг. На долговременной кривой блеска зарегистрированы две вспышки. Временная шкала переменности по восходящей ветви первой вспышки $\tau_{\text{var}} = 0.5$ г., верхний предел линейного размера излучающей области на 21.7 ГГц равен 0.3 пк, углового – 0.05 mas. Яркостная температура $T_b \geq 2.6 \times 10^{13}$ К, Доплер-фактор $\delta \geq 3$. В трех сетях ежедневных наблюдений источника длительностью до трех месяцев после вычитания долговременной переменности не обнаружено значимой переменности на масштабах дни-недели (day-to-day). Внутрисуточная переменность (IDV) по данным РТ-32 на частоте 4.84 ГГц обнаружена в трех сеансах из 15, на 8.57 ГГц – в двух из 13. Характерные времена переменности – 4–5 ч.

DOI: 10.31857/S0004629920050023

1. ВВЕДЕНИЕ

Блазар J0238+1636 (АО 0235+16, OR 103) – один из наиболее интенсивно изучаемых объектов. Источник исследуется в широком диапазоне длин волн от радио до гамма и характеризуется значительным диапазоном переменности плотности потока на различных масштабах времени, компактностью структуры, высокой яркостной температурой, наличием компонентов со сверхсветовыми движениями и значительной поляризацией радио и оптического излучения. Библиография источника подробно представлена в работах [1–4].

Красное смещение источника $z = 0.940$ [5], галактическая широта – $b = -39^\circ$. Мониторинг долговременной плотности потока источника в радиодиапазоне проводится на 26-м телескопе Мичиганской обсерватории (UMRAO) на 4.8, 8.0 и 14.5 ГГц [6] и 14-м телескопе Метсахови (Финляндия) на 37 ГГц [7]. Многочастотный мониторинг объекта с помощью Whole Earth Blazar Telescope (WEBT) проведен в 2003–2005 гг. [8]. Исследовалась переменность в радио, оптической и близкой инфракрасной области по широкому ряду временных шкал, включая внутрисуточную пе-

ременность (IDV). Переменность источника в радио, оптическом и гамма диапазонах в 2006–2015 гг. описана в работе [9]. Зарегистрированы мощные вспышки в 2006 и 2008 г. Физические характеристики блазара по объединенным данным длительного мониторинга 1974–2014 гг. от радио до гамма-диапазона представлены в работе [10].

По данным интерферометрических наблюдений блазар является очень компактным со структурой менее $0.001''$, что приводит к яркостной температуре больше 6×10^{13} К [11]. Источник также наблюдался с помощью “Радиоастрона” с наземными антеннами [12]. Получены изображения объекта на частотах от 1.7 до 43.2 ГГц. Зарегистрирована высокая яркостная температура – до 10^{14} К.

В данной работе мы представляем результаты наблюдений блазара J0238+1636 на радиотелескопе РАТАН-600 САО РАН на частотах 2.3, 4.8, 8.2, 11.2 и 21.7 ГГц в 2014–2019 гг. и на антеннах РТ-32 обсерваторий “Зеленчукская” и “Бадары” комплекса “Квазар-КВО” ИПА РАН на частотах 4.84 и 8.57 ГГц в 2015–2017 гг. Исследовалась вспышка на долговременной кривой блеска, переменность на масштабах дни-недели (day-to-

day) и внутрисуточная переменность во время вспышки.

2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

2.1. РАТАН-600 САО РАН

Наши наблюдения блазара J0238+1636 проводились с июня 2014 г. по июнь 2019 г. на Северном секторе РАТАН-600. Для обработки наблюдений использовался пакет программ, позволяющий получать как плотность потока индивидуального наблюдения источника, так и среднюю плотность потока за любой интервал внутри цикла наблюдений. В основу обработки положена оптимальная фильтрация исходных данных, подробно методика описана в [13].

В 2015, 2016 и 2017 г. были проведены длительные ежедневные наблюдения источника (сети) для поиска короткой переменности от нескольких дней (day-to-day). Наблюдения проводились одновременно на частотах 2.3, 4.8, 8.2, 11.2 и 21.7 ГГц в периоды: 16.06–14.09.2015, 15.06–08.09.2016 и 02.06–04.09.2017 г. (в 2014–2015 гг. без частоты 2.3 ГГц).

Поиск и исследование переменности day-to-day подробно описаны в работах [14, 15]. Мы приведем здесь основные этапы обработки. После фильтрации измеренных плотностей потоков, испорченных помехами (погодными условиями или техногенными причинами), с использованием критерия Фишера и вычитания долговременной переменности на всех частотах определялась средняя плотность потока источника в течение всего сета наблюдений. Затем рассчитывалось значение нормированной величины χ^2 для цикла (или части цикла) наблюдений для числа степеней свободы $N - 1$, где N – число наблюдений в данном сете:

$$\chi^2 = \frac{1}{N - 1} \sum \left(\frac{S_i - \langle S \rangle}{\Delta S_i} \right)^2. \quad (1)$$

Здесь S_i и ΔS_i – соответственно плотность потока и ее ошибка в i -й день, $\langle S \rangle$ – средняя плотность потока по всем дням наблюдений. Переменность считалась обнаруженной, если величина χ^2 превышала теоретическое значение χ^2 при уровне значимости, не превышающем 1% для $N - 1$ степеней свободы на двух и более частотах одного сета, либо на одной и более частотах в разных сетах.

При обнаружении переменности ее характеристики (характерные времена и дисперсии пере-

менного компонента) получаются из анализа структурных функций первого порядка (SF)

$$D^1(\tau) = \left\langle [f(\tau) - f(t + \tau)]^2 \right\rangle,$$

где τ – временной сдвиг.

По виду структурной функции можно оценить характерные времена переменности. Выше уровня аппаратных шумов структурная функция растет по степенному закону, пока не достигает уровня насыщения. Пересечение степенной части функции с уровнем насыщения дает характерное время.

Структурные функции также используются для определения дисперсии переменной составляющей:

$$\sigma_{\text{var}}^2 = \sigma_{pr}^2 - \sigma_n^2,$$

где $\sigma_{pr}^2 = \sum_{i=1}^n (S_i - \langle S \rangle)^2 / (N - 1)$ – дисперсия процесса; $\sigma_n^2 = D^1(1)/2$ – дисперсия шумовой составляющей; $D^1(1)$ – значение SF при сдвиге на одни сутки.

Величину переменной составляющей обычно характеризуют индексом модуляции (в процентах), который определен как

$$m = 100\sigma_{\text{var}} / \langle S \rangle,$$

где σ_{var} – стандарт переменной составляющей.

Для более точного определения характерного времени используют автокорреляционные функции (ACF), и по ее первому минимуму определяется характерное время τ_{acf} . По виду ACF можно определить не только характерное время, но и характеристики переменности, в частности, является ли процесс периодическим, представляет собой одну или несколько хаотических вспышек или может быть комбинацией этих процессов.

При всех наблюдениях на РАТАН-600 в качестве калибровочного источника использовался опорный для РАТАН-600 источник J0521+1638 (3С 138), для него приняты плотности потока: 6.18, 3.78, 2.65, 2.16 и 1.38 Ян на частотах 2.3, 4.8, 8.2, 11.2 и 21.7 ГГц соответственно. Спектр опорного источника аппроксимируется степенной функцией $S = 10.77\nu^{-0.667}$ Ян.

2.2. РТ-32 ИПА РАН

Поиск внутрисуточной переменности J0238+1636 проводился на частотах 4.84 или 8.57 ГГц на радиотелескопах РТ-32 обсерваторий “Зеленчукская” и “Бадары” комплекса “Квазар–КВО” Института прикладной астрономии (ИПА РАН). Наблюдения проводились в режиме “плавного” сканирования по углу места, в процессе которого антенна сопровождает источник по азиму-

ту и производит сканирование по углу места. Для накопления цикл сканирования повторяется необходимое количество раз. В дальнейшем N циклов (сканов) накопления опорного или исследуемого источника мы будем называть сетом, а совокупность всех сетов за сутки наблюдения — сеансом. Подробно методика наблюдений описана в работах [16, 17].

Все наблюдения в течение часа или получаса усреднялись (до 30 сканов исследуемого источника в зависимости от скорости сканирования и количества отбракованных записей). Вся дальнейшая работа по определению плотности потока переменного компонента S_{var} проводилась только с усредненными данными.

Обработка наблюдений с радиотелескопов РТ-32 проводилась в специальном программном пакете “Class Visual” и далее в оригинальной базе данных радиометрических наблюдений [18, 19]. Указанные программные средства позволяют получать антенные температуры источника, проводить чистку и фильтрацию данных и в итоге строить кривую усиления по опорным источникам и получать результирующую плотность потока исследуемого источника

По формуле (1) рассчитывалось значение χ^2 для суточных наблюдений, в данном случае S_i и ΔS_i соответственно средняя плотность потока и ее ошибка в i -м сете, $\langle S \rangle$ — средняя плотность потока за N сетов, число степеней свободы $(N - 1)$, где N — число сетов, полученных в рассматриваемую дату. Для данных наблюдений $(N - 1)$ колеблется от 1 до 20. Погодные условия и качество наблюдений не всегда позволяли провести сканирование источника в течение всего доступного для наблюдений времени.

Переменность считалась обнаруженной, если величина χ^2 превышала теоретическое значение χ^2 при уровне значимости, не превышающем 0.1% для $(N - 1)$ степеней свободы. При наблюдениях на двух антеннах одновременно величина χ^2 рассчитывалась по всем полученным данным.

Ужесточение требований к уровню значимости при наблюдениях на антеннах ИПА РАН связано с большим числом параметров, которые нужно учитывать при определении плотности потоков в каждом суточном сеансе наблюдений.

Плотность потока переменного компонента в данном сеансе наблюдений определялась в соответствии формулой, взятой из [20]:

$$S_{\text{var}} = [(N - 1)(\chi^2 - 1)/\Sigma \Delta S_i^{-2}]^{0.5}.$$

Рассчитывался также индекс переменности

$$m = \frac{100S_{\text{var}}}{6\langle S \rangle}.$$

При наблюдениях использовался опорный источник J0318+1628 (СТА 21, PKS 0316+152), принятые плотности потока составляют 3.09 и 1.72 мЯн на 4.84 и 8.57 ГГц соответственно. Более точная аппроксимация по всем существующим данным каталога CATS [21] показала, что принятая плотность потока на 8.57 ГГц завышена примерно в 1.2 раза. J0318+1528 не является общепринятым стандартом, но при наблюдениях требовался источник как можно ближе к исследуемому и заведомо постоянный. Это связано с частым перенаведением антенны с опорного на исследуемый источник.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Долговременная переменность в 2014–2019 гг. и интегральные спектры

На рис. 1 показана кривая блеска на частотах 2.3, 4.8, 8.2, 11.2, 21.7 ГГц., полученная на РАТАН-600 с июня 2014 г. по май 2019 г. Наблюдения на 2.3 ГГц начались с 2016 г. Приведенные плотности потока на долговременной кривой блеска усреднены за 7–10 дней наблюдений.

На частотах 8.2, 11.2 и 21.7 ГГц наблюдалась высокочастотная вспышка плотности потока, амплитуда вспышки увеличивалась с ростом частоты. Длинный сет 16.06–14.09.2015 г. захватил растущую часть вспышки, включая максимум. На рис. 2 приведена кривая блеска в сете 2015 г. на частотах 4.8–21.7 ГГц. На 21.7 ГГц максимум наблюдался 16 августа, на 4.8 ГГц — на 6 дней позже.

Временная шкала переменности по восходящей ветви вспышки составляет около 6 мес. Временная шкала определена как $\tau_{\text{var}} = dt/d \ln(S)$. Методика определения временной шкалы отдельной вспышки по всем промежуточным данным предложена в работе [22], и также подробно описана в [23].

Из полученной временной шкалы вспышки 2015 г. оцениваем верхнее значение линейного размера излучающей области $R = c\tau_{\text{var}}$ и соответственно угловой размер

$$\Theta = R(1+z)^2/r_{\text{bol}}, \quad (2)$$

где c — скорость света, r_{bol} — болометрическое расстояние до объекта. При расчете болометрического расстояния постоянная Хаббла принималась равной $H = 65$ км/с/Мпк, параметр замедления $q = 0.5$.

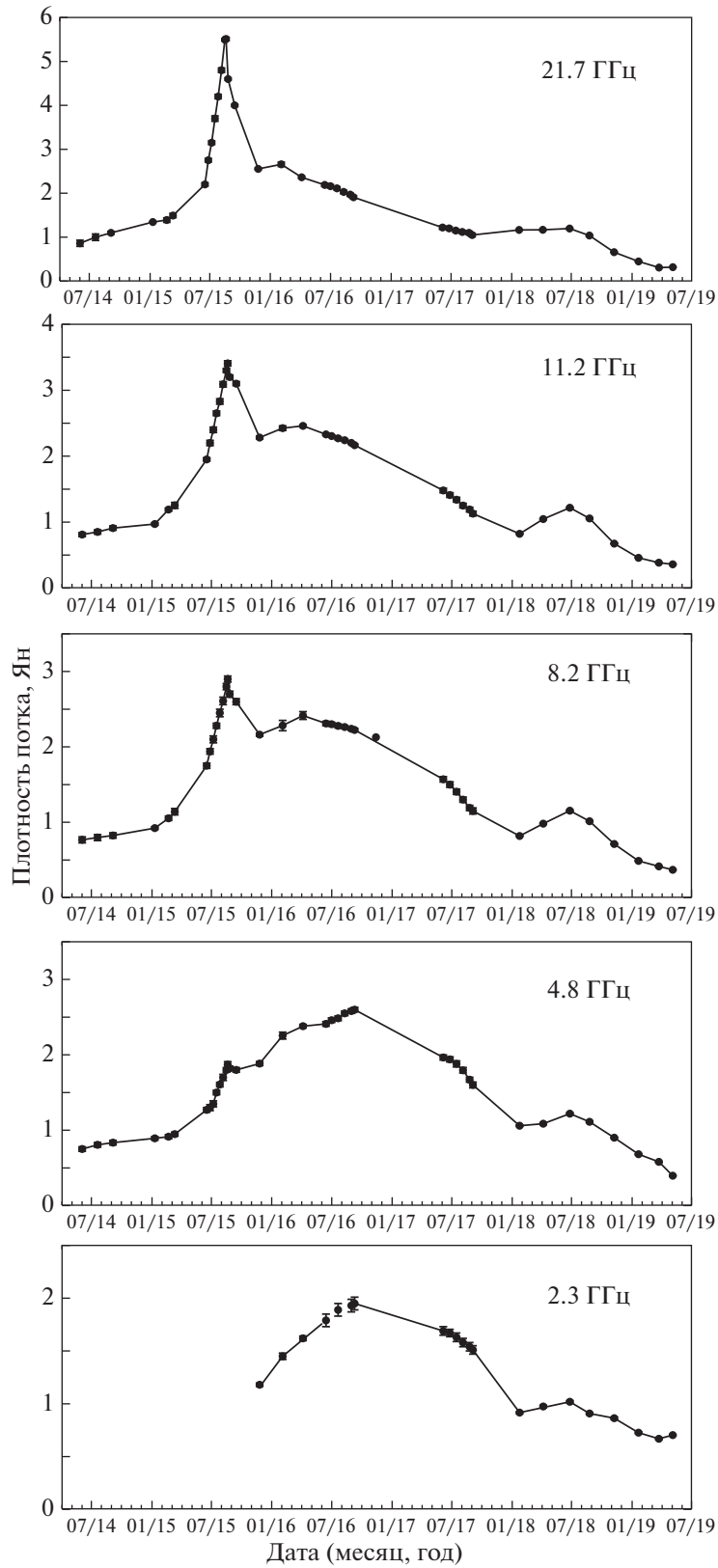


Рис. 1. Кривые блеска блазара J0238+1636 на частотах 21.7, 11.2, 8.2, 4.8 и 2.3 ГГц, полученные на РАТАН-600 в 2014–2019 гг. (на 2.3 ГГц – с 2016 г.).

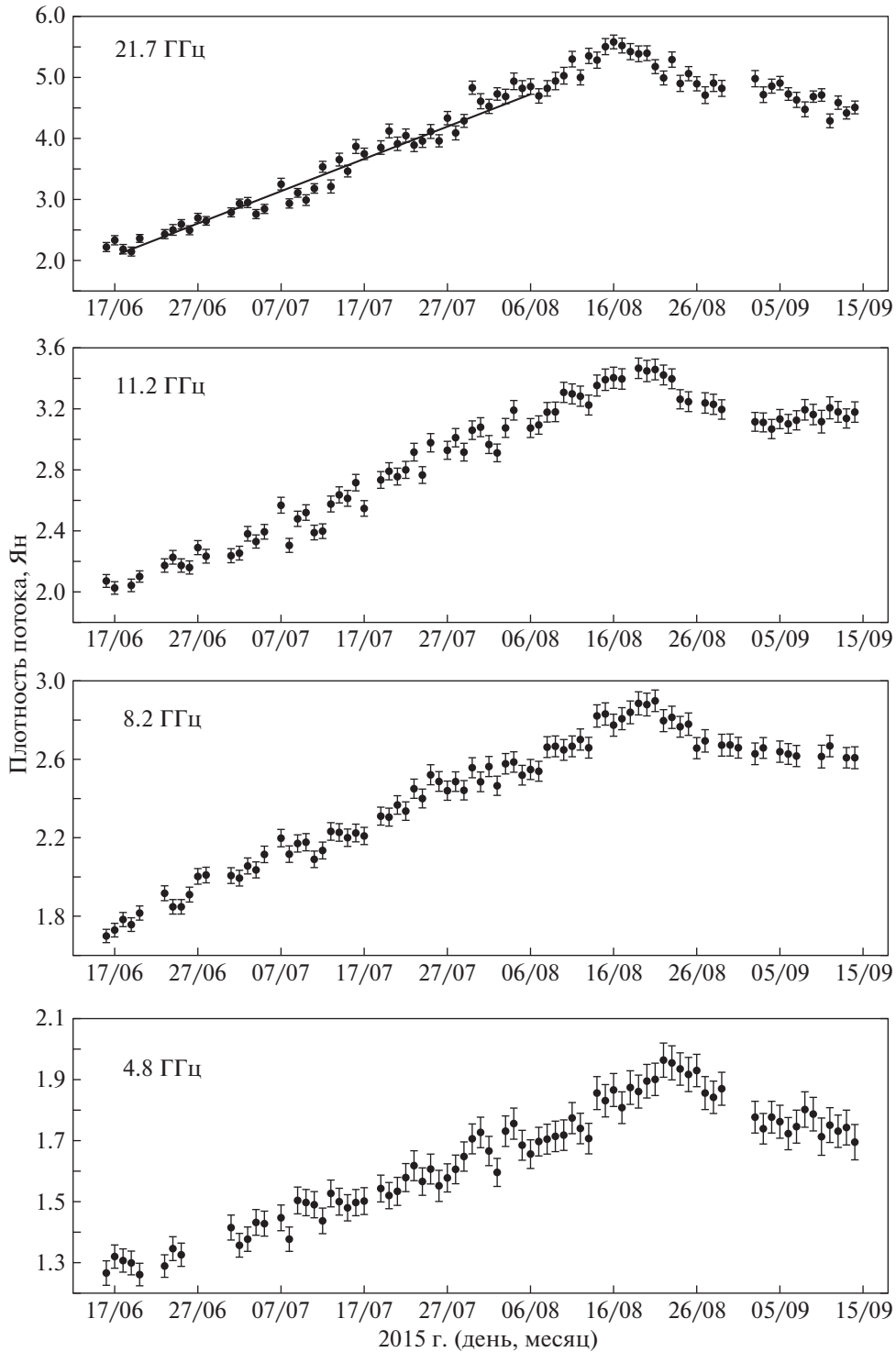


Рис. 2. Кривые блеска в длинном сете 2015 г. на частотах 21.7, 11.2, 8.2 и 4.8 ГГц.

В системе покоя источника яркостная температура в максимуме вспышки оценивалась по формуле

$$T_b^0 \geq \Delta S \lambda^2 (1+z)^3 / 2\pi k \Theta^2, \quad (3)$$

где ΔS – амплитуда вспышки.

Из условия, что максимальная яркостная температура не может превышать комптоновский предел $T_b = 10^{12}$ К, получаем значение Доплер-фактора

$$\delta_{\text{var}} \geq (T_b^0 / 10^{12})^{1/3}. \quad (4)$$

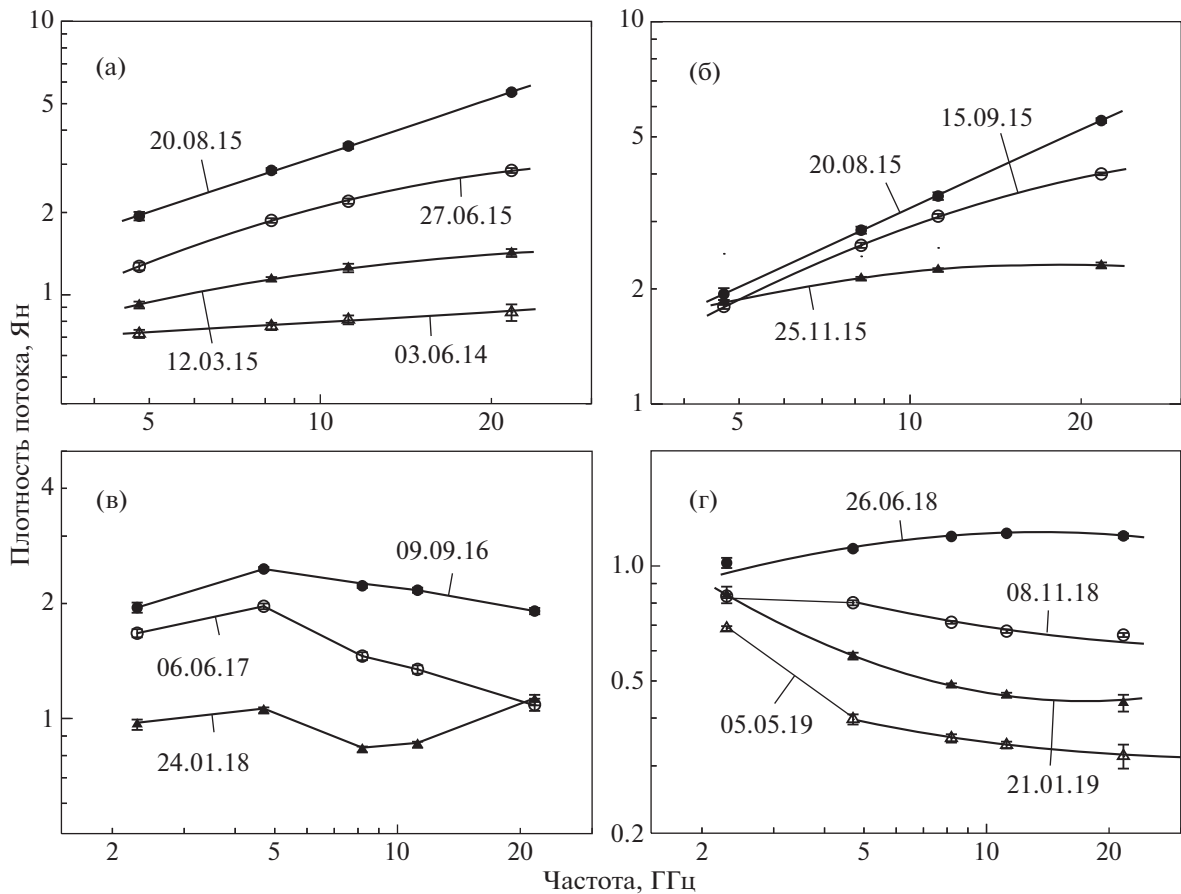


Рис. 3. Интегральные спектры источника J0238+1636 в разных фазах долговременной кривой блеска, приведенной на рис. 1.

Для характерного времени $\tau_{\text{var}} = 0.5$ лет восходящей ветви вспышки параметры излучающей области, вычисленные по формулам (2)–(4), на частоте на 21.7 ГГц таковы: $\tau_{\text{var}} = 0.5$ лет, линейный размер $R \leq 0.3$ пк, угловой размер $\theta \leq 0.05 \text{ mas}^1$, яркостная температура $T_b \geq 2.6 \times 10^{13}$ К, Доплер-фактор $\delta \geq 3$. На частоте 8.2 ГГц яркостная температура $T_b \geq 12 \times 10^{13}$ К, Доплер-фактор $\delta \geq 5$.

На нисходящей ветви первой вспышки началась вторая вспышка, амплитуда которой имеет максимальное значение на частотах 4.8 и 2.3 ГГц. Видно значительное запаздывание максимума к низким частотам, на 21.7 ГГц максимум наблюдался 12.2015, на 8.2 ГГц – 04.2016, на частотах 4.8 и 2.3 ГГц – 09.2016 или несколько позже, точная дата не определена из-за отсутствия наблюдений в районе максимума.

После второй вспышки плотность потока уменьшается, и к июню 2019 г. после небольшого максимума 07.2018 плотность потока вернулась к

минимальному значению за время наблюдения, спектр становится падающим к высоким частотам со спектральным индексом $\alpha = -0.15$.

На рис. 3а–3г приведены интегральные спектры в разные фазы долговременной переменности. Рис. 3а показывает спектр источника в эпоху от начала наблюдений вспышки 06.2014 до максимальной плотности потока 08.2015, спектральный индекс меняется от значения $\alpha = +0.12$ до $+0.7$. На рис. 3б – спад вспышки от максимальной плотности потока до начала следующей вспышки 25.11.2015.

В течение всей первой вспышки максимум в спектре находится выше исследуемого диапазона, т.е. основная активность происходит на более высоких частотах. Приведенные на рис. 3а, б спектры в течение всей первой вспышки показывают, что динамика развития вспышки соответствует модели, в которой переменность является результатом эволюции ударной волны в джете радиоисточника, вспышка начинается на более высоких частотах, и по мере развития вспышки максимум в спектре приходит в низкочастотную область и становится практически плоским в

¹ mas (milliarcsecond) – угловая миллисекунда

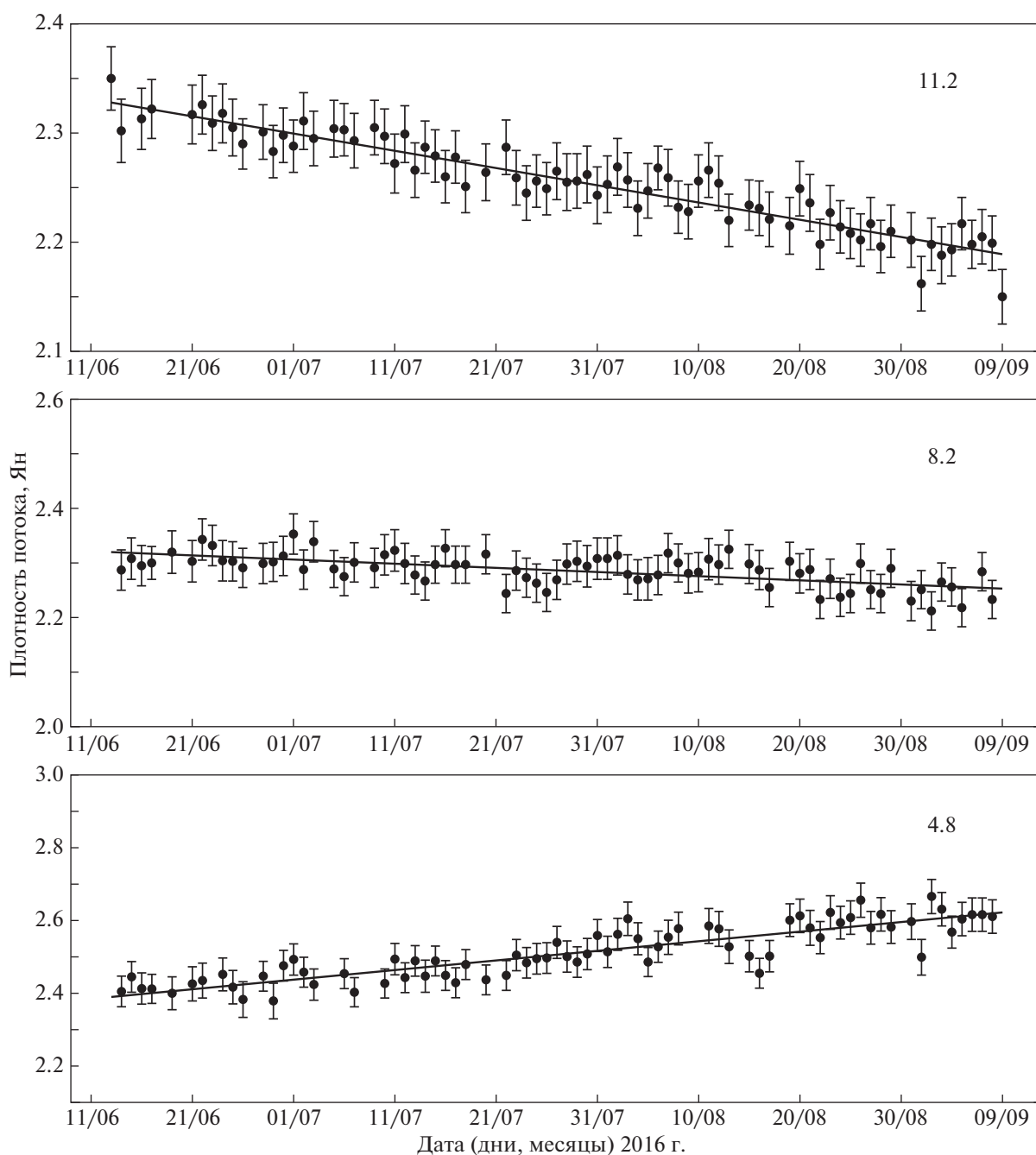


Рис. 4. Кривые блеска в длинном сете 2016 г. на частотах 11.7, 8.2 и 4.8 ГГц.

минимуме. Это подтверждает выводы ряда авторов, что ответственность за переменность в данном объекте связана с прохождением по джету ударной волны (см., напр., [24]).

На рис. 3в приведен спектр 09.09.2016 в максимуме второй вспышки на частотах 2.3 и 4.8 ГГц, на более высоких частотах виден спад первой вспышки. В спектре 06.06.2017 г. наблюдаются нисходящие ветви обеих вспышек, он был получен в начале длинного сета 2017 г. Спектр

24.01.2018 получен в минимуме излучения на всех частотах перед началом небольшого подъема плотности потока. В этих спектрах присутствуют обе вспышки, и выделить спектр отдельной вспышки трудно.

На рис. 3г спектры от небольшого максимума 07.2018 до минимального значения плотности потока на всех частотах показывают постепенное продвижение вспышки в низкочастотную об-

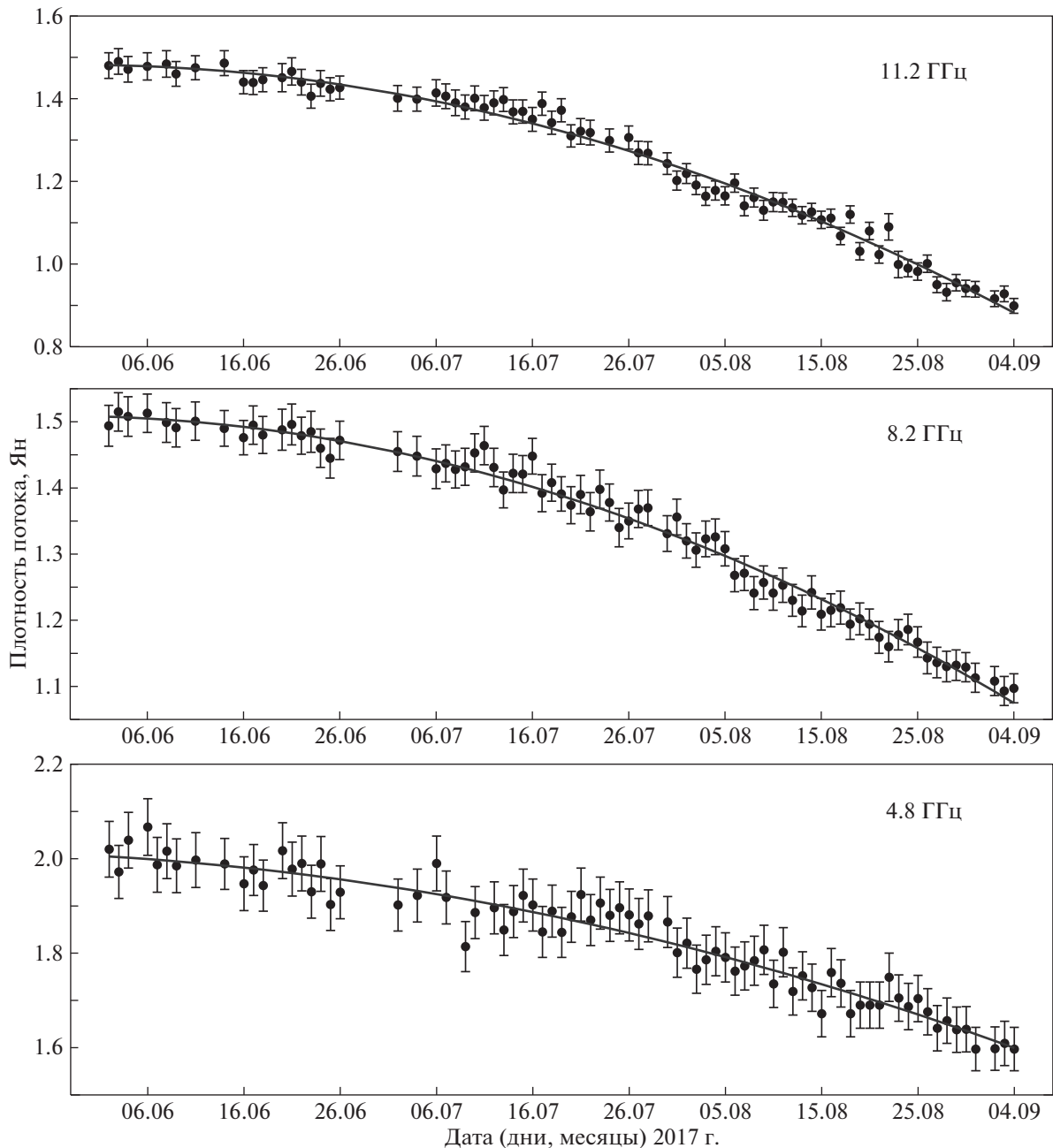


Рис. 5. Кривые блеска в длинном сете 2017 г. на частотах 11.7, 8.2 и 4.8 ГГц.

ласть. Последний спектр – 05.05.2019 – по-видимому, квазистационарное состояние источника.

Предыдущая вспышка объекта наблюдалась в 2009 г. [11]. В отличие от исследуемой вспышки спектр в максимуме вспышки 2009 г. в диапазоне 4.8–14.5 ГГц был практически плоским и имел большее характерное время восходящей ветви. Повторные вспышки после основной – обычное явление [5], но вспышки с максимумом на низких частотах не наблюдались.

3.2. Переменность day-to-day

В ряде работ исследовалась переменность на масштабах несколько дней. Переменность с временной шкалой около 4 дней обнаружена для источника J0238+1636 в октябре 1992 г. на антенне VLA на частотах 1.49, 4.86 и 8.44 ГГц [25]. За 20 дней наблюдений наблюдались две вспышки с максимальной амплитудой 0.4 Ян.

В наших наблюдениях на РАТАН-600 три сетя продолжительностью около трех месяцев каждый после вычитания долговременной переменности

Таблица 1. Внутрисуточная переменность J0238+1636 на частоте 4.84 ГГц

Дата	$\langle S \rangle$	ΔS	m	χ^2	$\chi^2(0.1\%)$	$N - 1$	S_{var}	τ	Observatory
06.12.2015	2.23	0.20	2.2	6.58	3.47	7	0.13	5.3	B + Z
07.12.2015	2.29	0.07	—	0.82	3.47	7	—	—	B + Z
10.01.2016	2.653	0.087	1.0	1.78	2.84	11	0.058	—	Z + B
17.01.2016	2.668	0.114	1.4	2.98	2.84	11	0.084	4.0	Z + B
24.01.2016	2.716	0.127	0.4	1.05	2.96	10	0.021	—	Z + B
31.01.2016	2.633	0.096	1.3	1.66	3.47	7	0.077	—	Z + B
07.02.2016	2.709	0.102	1.3	2.13	2.96	10	0.075	—	Z + B
18.03.2016	2.965	0.048	—	0.60	4.10	5	—	—	B
15.05.2016	3.108	0.062	0.7	1.73	4.10	5	0.041	—	B
19.06.2016	3.058	0.065	0.2	1.07	2.51	15	0.015	—	B + Z
26.06.2016	2.907	0.021	—	0.16	2.96	10	—	—	B + Z
13.08.2016	2.994	0.116	1.5	3.90	3.47	7	0.089	4.0	Z
14.08.2016	2.923	0.078	0.9	1.90	2.96	10	0.054	—	B + Z
20.08.2016	2.912	0.054	0.5	1.47	2.84	11	0.029	—	Z
21.08.2016	3.043	0.062	0.5	1.28	2.74	12	0.031	—	B + Z

не показали значимой переменности плотности потока в диапазоне от нескольких дней до нескольких месяцев ни на одной из пяти частот. Для реальных наблюдений χ^2 в 1.2–1.5 раза меньше теоретических значений для $N - 1$ сеансов, уровень значимости значительно меньше принятого 1%. На рис. 4, 5 приведены кривые блеска на частотах 4.8–11.2 ГГц в сетях 2016 и 2017 г. без вычитания долговременной кривой блеска, на рисунках видна только долговременная переменность. Ошибки ежедневных наблюдений на частотах 21.7 и 2.3 ГГц значительно выше, чем на приведенных кривых блеска, на этих частотах реальные χ^2 в 3–4 раза меньше вычисленных. На кривой блеска 2015 г. (рис. 2) после вычитания вспышки также не найдено значимой короткой переменности.

Пока не выявлено зависимости самого факта наличия или отсутствия значимой переменности day-to-day от вида или фазы активности на долговременной кривой блеска. Переменность от нескольких дней обнаруживается как во вспышках, так и в минимумах долговременных кривых блеска [26, 27].

3.3. Внутрисуточная переменность

Поиски IDV в данном объекте были предприняты еще в 1976 г. [28], но переменность не была обнаружена.

В наблюдениях WEBT 18 января 2004 г. на 100-м телескопе в Эффельсберге на частотах 4.9 и 10.5 ГГц IDV переменность зарегистрирована на уровне значимости 2–3% [8].

В оптическом диапазоне на 1.02-м оптическом телескопе (Китай) обнаружена внутрисуточная переменность в фильтре R , источник наблюдался 9 января, 10 января и 19 марта. Зарегистрировано изменение звездной величины за одну ночь в $\sim 1^m$ [29].

В 2015–2016 г. проведено 15 сеансов на частоте 4.84 ГГц и 13 на 8.57 ГГц. Результаты наблюдений источника J0238+1636 на частотах 4.84 и 8.57 ГГц представлены в табл. 1 и 2, где в столбцах 1–9 последовательно приведены дата наблюдений; средняя плотность потока за сутки в Ян (350 и более сканов); ошибка средней плотности потока за сутки; индекс модуляции в процентах; нормированные величины χ^2 для реальных наблюдений; теоретические $\chi^2(1\%)$ для уровня значимости 0.1% для числа степеней свободы из седьмой колонки; число степеней свободы; плотность потока переменного компонента в Ян; характерное время переменности τ в часах, полученное из анализа структурных функций. В последнем столбце указана обсерватория, где проведены наблюдения: B – Бадары, Z – Зеленчукская, B + Z – наблюдения проведены одновременно на двух обсерваториях.

На рис. 6 приведены примеры автокорреляционных функций на указанные даты. Характерные времена τ в сеансах с обнаруженной внутрисуточной переменностью получены из автокорреляционных функций по первому минимуму. Для кривой блеска на рис. 7з характерное время взято между минимумом и максимумом.

Таблица 2. Внутрисуточная переменность J0238+1636 на частоте 8.57 ГГц

Дата	$\langle S \rangle$	ΔS	m	χ^2	$\chi^2(0.1\%)$	$N - 1$	S_{var}	τ	Обсерватория
12.02.2016	3.055	0.054	—	0.85	4.10	5	—	—	Z
14.02.2016	3.186	0.063	—	0.93	4.62	4	—	—	Z
13.03.2016	3.042	0.095	1.4	3.65	2.96	10	0.084	4.4	B + Z
20.03.2016	3.352	0.023	—	0.15	4.10	5	—	—	B + Z
03.04.2016	3.254	0.201	3.3	10.31	2.96	10	0.199	4.0	B + Z
08.05.2016	2.986	0.098	1.1	1.83	2.27	20	0.064	4.1	B + Z
22.05.2016	2.864	0.024	—	0.14	2.66	13	—	—	B + Z
06.08.2016	2.841	0.075	0.4	1.15	2.51	15	0.025	—	B + Z
07.08.2016	2.980	0.053	—	0.89	5.42	3	—	—	B
12.11.2016	2.329	0.080	0.8	1.81	3.47	7	0.047	—	Z
13.11.2016	2.348	0.024	—	0.18	2.84	11	—	—	B
04.12.2016	2.190	0.023	—	0.24	3.10	9	—	—	B
09.07.2017	1.815	0.071	0.4	2.02	3.47	7	0.044	—	B + Z

В таблицы не включены данные с числом степеней свободы меньше 3 (т.е. меньше четырех часов наблюдения). Погодные условия и качество наблюдений не всегда позволяли провести скани-

рование источника в течение всего доступного для наблюдений времени.

На 4.84 ГГц с принятым уровнем значимости 0.1% переменность обнаружена в трех сеансах, на

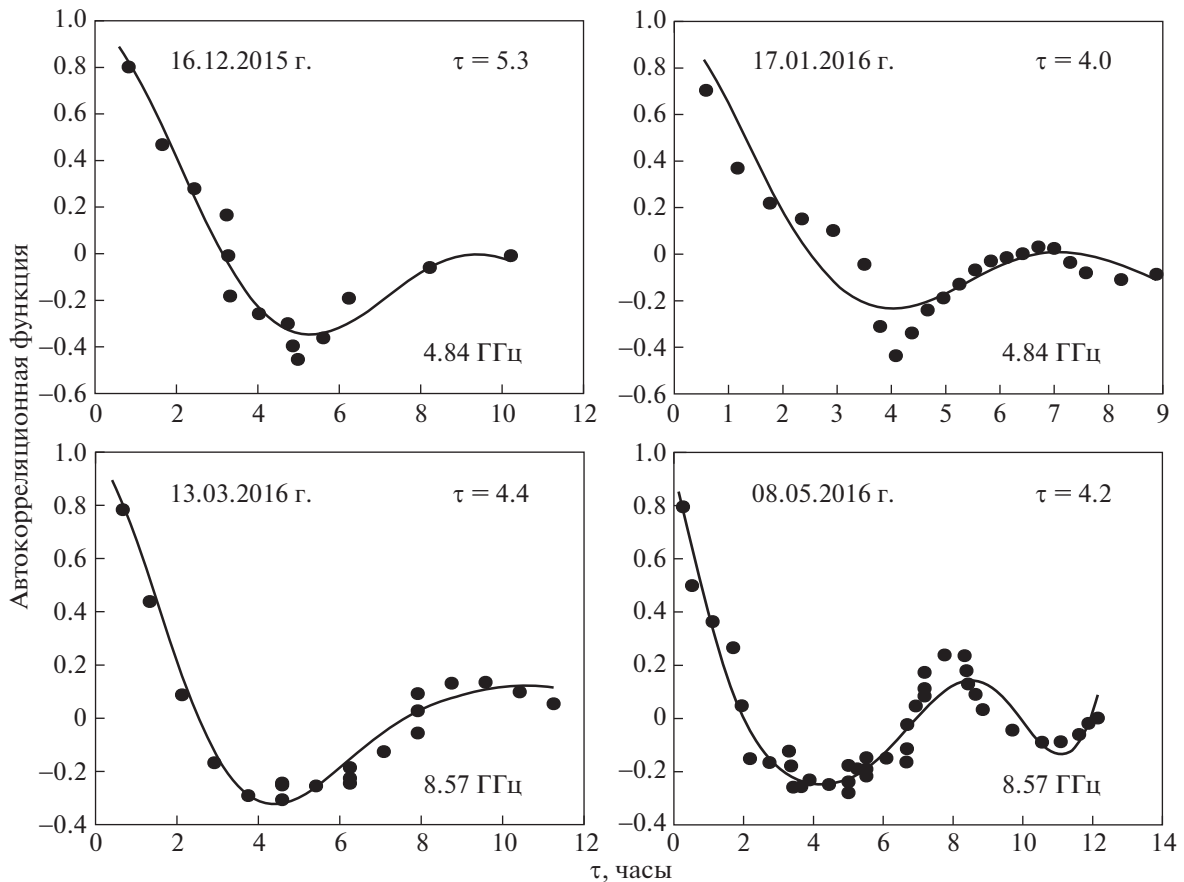


Рис. 6. Автокорреляционные функции для кривых блеска внутрисуточной переменности в указанные даты.

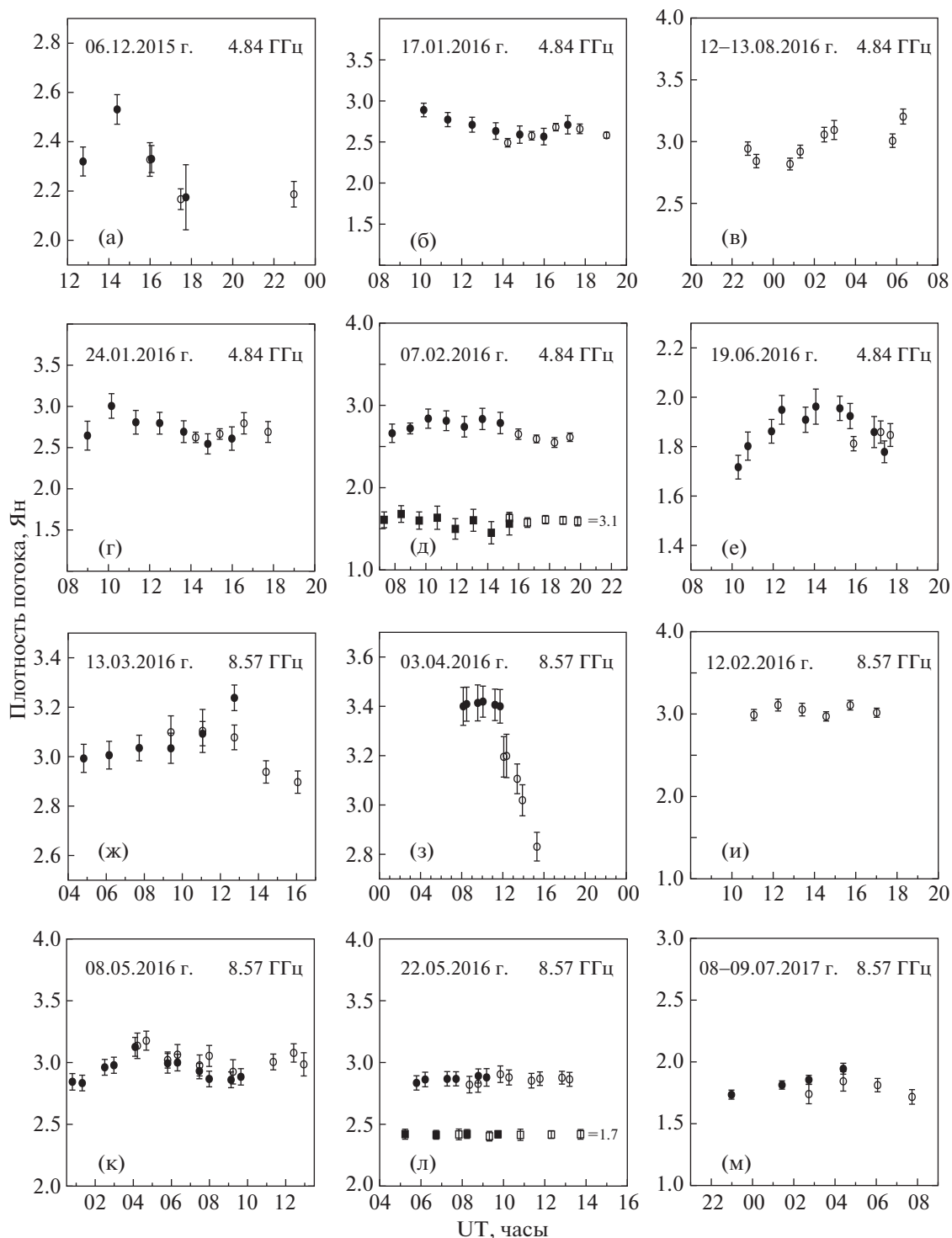


Рис. 7. Кривые блеска источника J0238+1636 на частотах 4.84 (а–е) и 8.57 ГГц (ж–м), полученные на обсерваториях Бадары (черные кружки) и Зеленчукская (светлые кружки). Каждая точка на графиках представляет собой усредненную за сет плотность потока. На фрагментах д, л, кроме кривых блеска IDV, показаны кривые блеска опорного источника на 4.85 и 8.57 ГГц (цифры справа – плотности потока).

8.57 ГГц в двух, и в одном – с близким уровнем значимости.

На рис. 7а–в приведены кривые блеска на частоте 4.84 ГГц с обнаруженной на принятом уров-

не значимости переменностью, на рис. 7г–е – кривые блеска на этой частоте с меньшим уровнем значимости, но хорошо заметной переменностью. На рис. 7д вместе с исследуемым источ-

ником показана кривая блеска опорного источника на 4.84 ГГц.

На рис. 7ж–к приведены кривые блеска на 8.57 ГГц с обнаруженной переменностью, на рис. 7л – кривые блеска исследуемого и опорного источников.

Характерное время переменности составляет 4–5 ч. Кривые блеска показывают один или два максимума, в одном случае (рис. 7з) зарегистрировано резкое падение плотности потока.

08.05.2016 самое большое время наблюдения, автокорреляционная функция по кривой блеска на 8.57 ГГц показывает два минимума, характер переменности квазипериодический, для остальных кривых блеска короткая продолжительность наблюдения не позволяет точно определить характер переменности по автокорреляционной функции.

Внутрисуточная переменность может присутствовать в один день и отсутствовать в следующие дни. Это означает, что время жизни переменного компонента с данным характерным временем заведомо меньше нескольких суток.

IDV обнаружена только в максимальной фазе долговременной кривой блеска. Это подтверждает наши предыдущие выводы об обнаружении IDV, в основном, в активных фазах долговременных кривых блеска [23, 27].

Большинство авторов считают, что наиболее вероятная модель внутрисуточной переменности – это рассеяние на неоднородностях межзвездной среды (см., напр., [30]). Если переменность вызвана процессами в самом источнике, то при характерном времени 4–6 ч вычисленная по формулам (2)–(4) яркостная температура превысит 10^{17} К. Такое превышение яркостной температуры над комптоновским пределом маловероятно.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

• В наблюдениях блазара J0238+1636 с 2014 по 2019 г. зарегистрирована высокочастотная вспышка с максимумом на частотах 21.7 ГГц 16.08.2015 г. На частоте 4.8 ГГц максимум наблюдался на 5–6 дней позже.

Временная шкала восходящей ветви первой вспышки $\tau_{\text{var}} \approx 6$ мес. Полученные параметры по восходящей ветви вспышки 2015 г. на 21.7 ГГц: $\tau_{\text{var}} = 0.5$ лет, линейный размер $R \leq 0.3$ пк, угловой размер $\theta \leq 0.05$ mas, яркостная температура $T_b \geq 2.6 \times 10^{13}$ К, Доплер-фактор $\delta \geq 3$. На частоте 8.2 ГГц яркостная температура $T_b \geq 1.6 \times 10^{14}$ К, Доплер-фактор $\delta \geq 5.5$.

На нисходящей ветви первой вспышки наблюдалась вторая вспышка, низкочастотная; на двух

низких частотах амплитуда второй вспышки превышает амплитуду первой, максимум наблюдался позже (09.2016 г.).

• Получены интегральные спектры блазара в разных фазах долговременной кривой блеска.

• В трех сетях ежедневных наблюдений в 2015, 2016 и 2017 г. длительностью около трех месяцев после вычитания долговременной переменности не обнаружена переменность day-to-day.

• С 2015 по 2017 г. проведено 16 сеансов на частоте 4.84 ГГц и 11 на 8.57 ГГц. На уровне значимости 0.1% IDV обнаружена в двух и трех сеансах соответственно. Характерные времена переменности составляют 4–5 ч.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа по внутрисуточной переменности проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (ГК 14.518.11.7054) с использованием оборудования центра коллективного пользования комплекса “Квазар-КВО” ИПА РАН.

Наблюдения на телескопе РАТАН-600 выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. M. Raiteri, M. Vilatta, H. D. Aller, M. F. Aller, et al., *Astron. and Astrophys.* **377**, 396 (2001).
2. C. M. Raiteri, M. Vilatta, M. A. Ibrahimov, V. M. Larionov, et al., *Astron. and Astrophys.* **438**, 39 (2005).
3. C. M. Raiteri, M. Vilatta, M. Kadler, M. A. Ibrahimov, et al., *Astron. and Astrophys.* **459**, 731 (2006).
4. C. M. Raiteri, M. Vilatta, V. M. Larionov, M. F. Aller, et al., *Astron. and Astrophys.* **480**, 339 (2008).
5. M. P. Veron-Cetty and P. Veron, *Astron. and Astrophys.* **518**, 10 (2010).
6. H. D. Aller, M. F. Aller, G. E. Latimer, and P. E. Hodge, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **202**, 1801 (2003).
7. H. Teräsranta, J. Achren, M. Hanski, J. Heikkilä, et al., *Astron. and Astrophys.* **427**, 769 (2004).
8. C. M. Raiteri, M. Villata, M. Kadler, M. A. Ibrahimov, et al., *Astron. and Astrophys.* **459**, 731 (2006).
9. В. А. Гаген-Торн, В. М. Ларионов, Д. А. Морозова, А. А. Архаров, Е. И. Гаген-Торн, Е. С. Шабловинская, М. С. Прокопьева, В. А. Яковлева, *Астрон. журн.* **95**, 114 (2018).
10. А. Е. Вольвач, М. Г. Ларионов, Л. Н. Вольвач, А. Лахтеенмаки, М. Торникоски, М. Ф. Аллер, Х. Д. Аллер, М. Сасада, *Астрон. журн.* **92**, 168 (2015).
11. S. Frey, L. I. Gurvits, H. D. Aller, M. F. Aller, and H. Hirabayashi, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **52**, 975 (2000).
12. A. M. Kutkin, I. N. Pashchenko, M. M. Lisakov, P. A. Voytsik, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **475**, 4994 (2018).
13. А. Г. Горшков, В. К. Конникова, М. Г. Мингалиев, *Астрон. журн.* **80**, 978 (2003).

14. А. Г. Горшков, В. К. Конникова, М. Г. Мингалиев, *Астрон. журн.* **77**, 188 (2000).
15. А. Г. Горшков, В. К. Конникова, М. Г. Мингалиев, *Астрон. журн.* **87**, 986 (2010).
16. Д. В. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Ипатова, В. В. Мардышкин, А. Г. Михайлов, М. А. Харинов, *Труды ИПА РАН* **12**, 93 (2005).
17. А. Г. Горшков, А. В. Ипатов, И. А. Ипатова, В. К. Конникова, В. В. Мардышкин, М. А. Харинов, А. Г. Михайлов, *Астрон. журн.* **86**, 428 (2009).
18. М. А. Харинов, А. Е. Яблокова, *Труды ИПА РАН* **24**, 342 (2012).
19. Д. В. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Ипатова, В. В. Мардышкин, А. Г. Михайлов, М. А. Харинов, *Труды ИПА РАН* **24**, 93 (2012).
20. G. A. Seielstad, T. J. Pearson, and A. C. S. Readhead, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **95**, 842 (1983).
21. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, V. N. Chernenkov, *Bull. SAO* **58**, 118 (2005).
22. E. Valtaoja, A. Lähteenmäki, H. Teräsraanta, and M. Lainela, *Astrophys. J. Suppl.* **120**, 95 (1999).
23. А. Г. Горшков, А. В. Ипатов, И. А. Ипатова, В. К. Конникова, В. В. Мардышкин, М. Г. Мингалиев, М. А. Харинов, *Астрон. журн.* **95**, 193 (2018).
24. V. A. Hagen-Thorn, V. M. Larionov, S. G. Jorstad, A. A. Arkharov, E. I. Hagen-Thorn, N. V. Efimova, L. V. Larionova, and A. P. Marscher, **672**, 40 (2008).
25. A. Kraus, A. Quirrenbach, A. P. Lobanov, T. P. Krichbaum, et al., *Astron. and Astrophys.* **344**, 807 (1999).
26. А. Г. Горшков, А. В. Ипатов, И. А. Ипатова, В. К. Конникова, В. В. Мардышкин, М. Г. Мингалиев, М. А. Харинов, А. А. Евстигнеев, *Письма в Астрон. журн.* **42**, 560 (2016).
27. В. К. Конникова, М. А. Харинов, А. В. Ипатов, И. А. Ипатова, В. В. Мардышкин, М. Г. Мингалиев, *Астрон. журн.* **96**, 311 (2019).
28. J. M. MacLeod, B. H. Andrew, and G. A. Harvey, *Nature* **260**, 751 (1976).
29. A. C. Gupta, J. H. Fan, J. M. Bai, and S. J. Wagner, *Astron. J.* **135**, 1384 (2008).
30. J. Roland, S. Britzen, A. Witzel, and J. A. Zensus, *Astron and Astrophys.* **496**, 645 (2009).