

АНОМАЛЬНАЯ ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ БЛАЗАРА 3С454.3 В 2005-2011гг.

А.Е.ВОЛЬВАЧ¹, А.М.КУТЬКИН², Л.Н.ВОЛЬВАЧ¹, М.Г.ЛАРИОНОВ²,
А.АХТЕЕНМАКИ³, М.ТОРНИКОСКИ³, Е.НИЕППОЛА³,
П.САВОЛАИНЕН³, Дж.ТАММИ³, М.Ф.АЛЛЕР⁴, Х.Д.АЛЛЕР⁴

Поступила 5 мая 2011

Принята к печати 25 мая 2011

Выполнен анализ аномальных вспышечных явлений, наблюдаемых в блазаре 3С 454.3 в 2005-2011 гг. Исследование активности выполнено в широком диапазоне длин волн - от радиодиапазона до гамма диапазона. Мощные вспышки в гамма диапазоне, происходящие в этом объекте, сопровождаются значительным подъемом уровня излучения и в других диапазонах длин волн с различной задержкой в зависимости от частоты наблюдений. Получено выражение, описывающее зависимость задержек появления вспышек от частоты наблюдений, которое описывается обратным логарифмическим законом и выполняется для трех вспышек в 3С454.3, произошедших за последние шесть лет. Из общей картины динамики развития вспышек следует, что самая мощная текущая вспышка может продолжиться и во второй половине 2011г. В рамках модели двойной системы сверхмассивных черных дыр из анализа развития вспышечных явлений можно сделать вывод о том, что в результате прецессионных движений в системе 3С 454.3 угол между плоскостью орбиты и аккреционным диском уменьшается, в результате чего компаньон длительное время находится в аккреционном диске центральной сверхмассивной черной дыры, инициируя характерную форму последней вспышки.

Ключевые слова: *галактики: активные ядра: аккреционные диски*

1. Введение. Внегалактический источник 3С 454.3 в настоящий момент является самым мощным представителем активных ядер галактик (АЯГ) с основной долей излучения в рентгеновском и гамма-диапазонах. Так, в гамма-диапазоне (0.1-300) ГэВ, во время вспышки в конце 2010г., светимость этого блазара превышала 10^{50} эрг/с [1]. Для обеспечения такого мощного энерговыделения в объекте необходимо наличие эффективных источников ускорения заряженных частиц, разгоняющих их до релятивистских скоростей.

Полученная ранее детальная корреляция переменности оптического и радиоизлучения на масштабах времени от недели до года с частотно-зависимыми временными сдвигами явления вспышки может указывать на то, что в этих диапазонах излучение приходит к нам из коллимированного выброса источника-джета, где оно инициируется единым механизмом [2,3]. В этих работах высказана гипотеза, согласно которой в ядре 3С454.3 находится тесная двойная система из сверхмассивных черных дыр (ДСЧД).

В такой системе центральная СМЧД имеет аккреционный диск (АД). Менее массивная СМЧД (компаньон) в перицентре орбиты пересекает АД со сверхзвуковой скоростью. Ударные волны, распространяясь по диску, достигают истоков выброса и инициируют вспышку (см. также [4]).

Временные и амплитудные характеристики трех последних вспышек в объекте свидетельствуют в пользу того, что из-за прецессионных движений в системе угол наклона плоскости орбиты ДСЧД к плоскости диска уменьшается, и компаньон, двигаясь по орбите, значительное время остается внутри АД.

В данной работе проведен многочастотный анализ мощнейших вспышек в источнике 3С 454.3 и предложена их интерпретация в рамках модели тесной двойной системы СМЧД.

2. Наблюдения.

2.1. *Радио.* Наблюдения на частотах 22.2 ГГц и 36.8 ГГц проводились с помощью 22-м радиотелескопа (РТ-22) Крымской астрофизической обсерватории (КраО) с использованием модуляционных радиометров. При диаграммной модуляции применялась стандартная методика приема сигналов с последовательным наведением на источник каждого из рупоров - "режим ON-ON" [5]. Поглощение излучения в атмосфере Земли учитывалось методом "разрезов атмосферы", проводившихся каждые 3-4 часа. При указанной процедуре фиксировались значения антенной температуры на определенных углах места радиотелескопа при известном изменении оптической толщи атмосферы в зависимости от одного до другого угла места радиотелескопа.

Измеренные антенные температуры, исправленные за поглощение излучения в атмосфере Земли, пересчитывались в плотности потоков на основе данных наблюдений калибровочных источников. Калибровочные источники и их параметры представлены в табл.1. В первой колонке таблицы указана частота, во второй - принятые плотности потоков и яркостные температуры.

Таблица 1

Частота, ГГц	Принятые величины для источников			
	DR21, Ян	3С 274, Ян	Юпитер, Т К	Сатурн, Т К
36.8	18.3	14.3	158	148
22.235	19.5	21.5	138	128

При пересчете антенных температур в плотности потоков учитывалось изменение эффективной площади антенны $A_{\text{эф}}$ в зависимости от угла места h . Значения $A_{\text{эф}}$ радиотелескопа, определенные по данным наблюдений

калибровочных источников, аппроксимировались зависимостью вида:

$$A_{\text{эф}} = a \sin h + b \cos h + c, \quad (1)$$

где коэффициенты a , b и c определялись по методу наименьших квадратов.

В среднеквадратичные ошибки плотностей потоков включались также погрешности измерений антенной температуры σ_1 и аппроксимации $A_{\text{эф}}$ - σ_2 . Типичные значения $\sigma_1 = (2+4)\%$, $\sigma_2 = (3+6)\%$. При такой методике обработки данных автоматически учитываются ошибки измерений, возникающие вследствие шумов аппаратуры, неточностей наведения телескопа, ошибок определения коэффициента поглощения, нестабильности коэффициента усиления радиометра.

Обработка данных выполнялась в режиме "ON LINE", который позволяет сразу получать результаты и вносить необходимые коррективы в программу наблюдений, связанные с погодными условиями и характеристиками исследуемых объектов.

На 26-м радиотелескопе (РТ-26) обсерватории Мичиганского университета выполнены наблюдения источника на частотах 4.8 ГГц, 8 ГГц, 14.5 ГГц по методике, описанной в работе [6].

Данные на частоте 37 ГГц получены с помощью 14-м радиотелескопа РТ-14 Радиоастрономической обсерватории Метсахови университета Аалто. Методика наблюдений и обработка данных аналогична использованной на РТ-22 КрАО. Полученные данные на РТ-14 Метсахови и РТ-22 КрАО находятся в хорошем согласии между собой и дополняют друг друга.

2.2. Оптика. Оптические данные получены в рамках международной кооперативной программы "Всемирный блазарный телескоп" (WEBT - The Whole Earth Blazar Telescope) и хранятся в архиве WEBT в Туринской астрономической обсерватории Национального института астрофизики Италии.

Часть данных получена AAVSO (<http://www.aavso.org/>) [7], а также в рамках проекта Yale Fermi/SMARTS (<http://www.astro.yale.edu/smarts/glast>) [8].

2.3. Гамма. Данные в гамма-диапазоне получены в рамках миссии FERMI на инструменте LAT (http://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/analysis/scitools/extract_latdata.html). Гамма-источник 1FGL 2253.9+1608 был позиционно ассоциирован с блазаром 3С 454.3 [9].

На рис.1 приведены кривые блеска источника на пяти частотах радиодиапазона за все время мониторинга источника, на рис.2 приведены более детальные кривые блеска источника за последние 6 лет наряду с данными в оптическом и гамма-диапазонах. На основе полученных данных в радио и оптическом диапазонах проведен гармонический анализ вариаций плотности потока излучения методом Шустера [10].

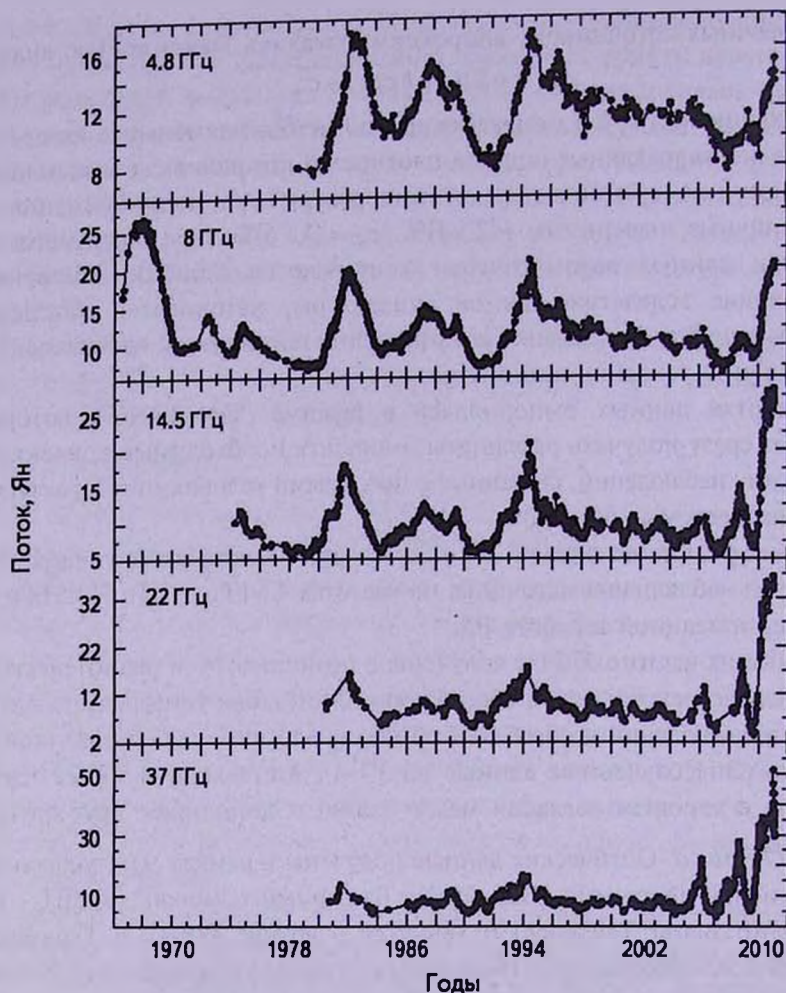


Рис.1. Кривые блеска 3C 454.3 на пяти частотах радиодиапазона.

3. *Задержки появления вспышек на разных частотах.* В работах Вольвача и др. [3,11] определена эмпирическая зависимость задержки вспышечного явления 2005-2007гг. в 3C 454.3 на разных частотах радиодиапазона относительно оптического. Использование более поздних данных по вспышкам в 2005-2011гг. с привлечением наблюдательных данных в других диапазонах позволило определить эту зависимость от радио- до гамма-диапазона:

$$\Delta T \approx \frac{1.4}{\log v} - \frac{1.4}{\log v_0}, \quad (2)$$

где ΔT - задержка появления вспышки на частоте v (в ГГц) относительно частоты v_0 . На рис.3 представлен график этой зависимости (при $v_0 = \infty$).

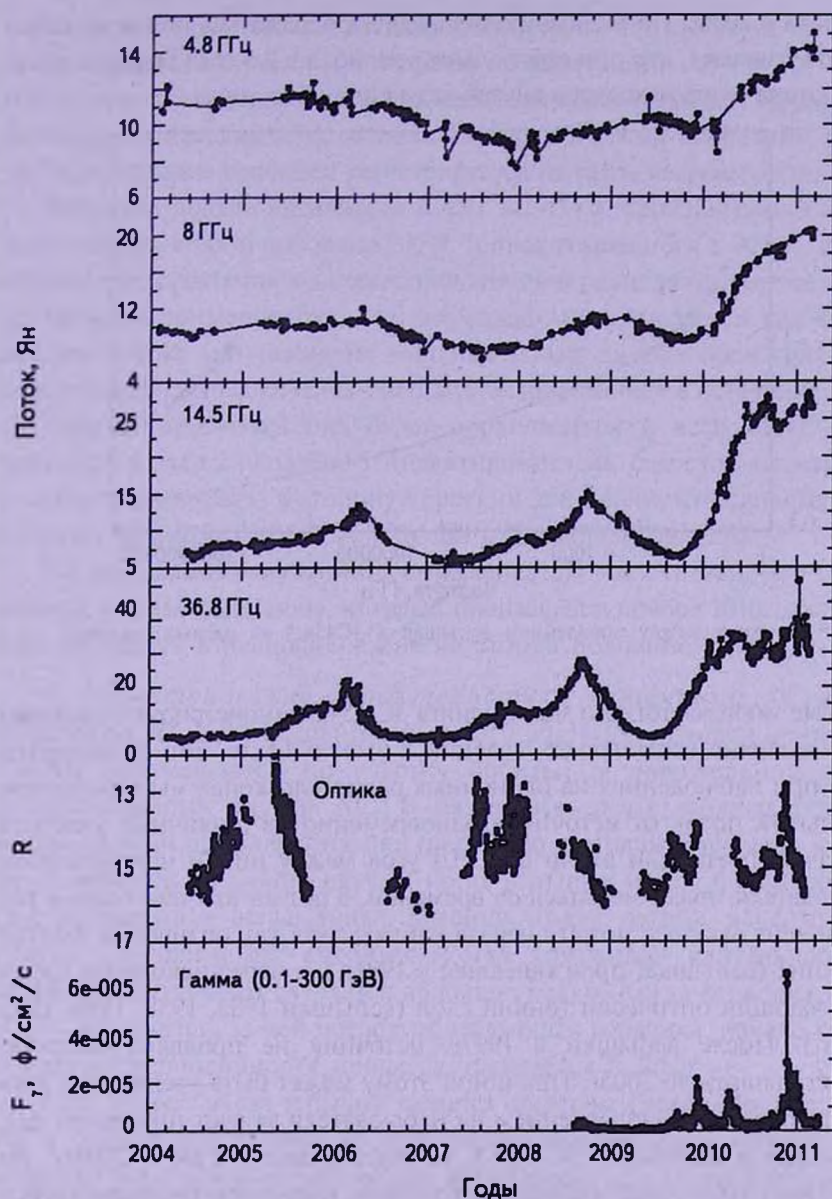


Рис.2. Кривые блеска 3C454.3 трех последних вспышек в оптическом и радиодиапазонах.

Две точки рентгеновского диапазона получены с использованием данных Swift и RXTE [см. 11].

Из рис.1 и 2 видно, что вспышки 2006, 2008гг. различаются по амплитуде и длительности, но имеют схожую между собой форму. При этом они подчиняются соотношению (2). Длительность вспышек последовательно увеличивается. Если вспышка 2006г. продолжалась год, то следующая - уже примерно полтора года. Тогда можно спрогнозировать длительность вспышки,

начавшейся в 2009г. По-видимому, она будет продолжаться почти до конца 2011г. Это означает, что при орбитальном периоде в 2.5 года большая часть орбиты компаньона находится внутри аккреционного диска.

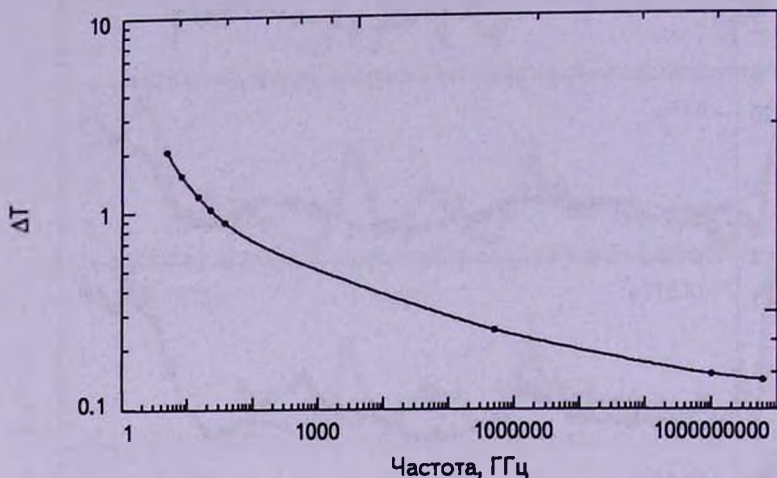


Рис.3. Задержка между появлением вспышек в 3С454.3 на разных частотах.

Кривые многочастотного мониторинга 3С 454.3 демонстрируют сложную картину развития вспышечных явлений в этом объекте. Это объясняется тем, что при наблюдениях на одиночных радиотелескопах мы принимаем интегральный поток от источника одновременно из различных участков джета. Из-за прецессии джета в ДСЧД угол между ним и направлением на наблюдателя может меняться со временем, в результате чего один и тот же компонент выброса может сначала наблюдаться как оптически толстое образование (вспышка, произошедшая в 1991г.), а через некоторое время как излучающий оптически тонкий слой (вспышки 1983, 1988, 1990, 1995 и 1997гг.). После вспышки в 1997г. источник не проявлял высокую активность вплоть до 2005г. Причиной этому может быть увеличение угла между выбросами и направлением на наблюдателя за счет прецессии АД.

Вспышки в источнике 3С 454.3, произошедшие в 2006 и 2008гг. по спектральным характеристикам соответствовали излучению расширяющейся оптически толстой области, расположенной достаточно близко к истокам джета, на расстоянии $R \approx (0.1 - 0.2)$ пк, в соответствии с выражением (2). Процесс развития вспышечного явления в джете можно представить следующим образом. Вблизи истоков джета происходит вспышка в гамма-диапазоне. Здесь могут быть локализованы мощные электрические и магнитные поля, обеспечивающие разгон частиц до релятивистских скоростей. Через месяц, с расстояния $R \approx 4 \cdot 10^{16}$ см от истоков джета, мы видим вспышку в рентгене. Через два с половиной месяца ($R \approx 10^{17}$ см) вспышка

наблюдается в оптическом диапазоне длин волн. Только через 10 месяцев, когда область излучения находится на расстоянии $R \approx 5 \cdot 10^{17}$ см, мы наблюдаем вспышечное явление на миллиметровых волнах. И на расстоянии около трети парсека от источника вспышки в гамма-диапазоне, через 20 месяцев, явление вспышки регистрируется на сантиметровых длинах волн.

Мощный подъем активности в АЯГ 3С 454.3, произошедший в гамма-диапазоне во второй половине 2009г. и продолжавшийся в 2010г., согласно нашим представлениям должен проявиться в радиодиапазоне со сдвигом во времени примерно год, что, возможно, и наблюдается как сильный подъем потока излучения на миллиметровых длинах волн (рис.2). Это самая мощная вспышка когда-либо зарегистрированная в источнике 3С454.3. По нашим прогнозам она будет продолжаться и весь 2011г. Спектр вспышки в радиодиапазоне - инвертированный, с ростом спектральной плотности излучения в сторону коротких длин волн, что свидетельствует в пользу высокой оптической толщи излучающей области.

На основании полученного выражения (2) мы считаем, что мощный всплеск в гамма-диапазоне, который произошел в ноябре 2010г., возможно, еще проявится в радиодиапазоне во второй половине 2011г.

4. Геометрические характеристики источника 3С 454.3 и динамика ДСЧД. По-видимому, в 2010-2011гг. компаньон центральной СМЧД перемещается по участку орбиты, в значительной степени расположенному внутри АД. В результате этого наблюдается также нехарактерный профиль вспышки (рис.2). До настоящего времени в объекте не отмечалось ни одного случая, когда вспышка имела бы такую форму (все предыдущие вспышечные явления имели острые максимумы без плато). По-видимому, ситуация, когда компаньон длительное время находится внутри АД случается довольно редко. Когда вспышка в конце 2011г. закончится, за ней последует следующая вспышка, начало которой, исходя из периодичности процесса, ожидается в 2012г.

Если происходящая вспышка является следствием совпадения плоскостей АД и орбиты компаньона, то естественно предположить, что после этой вспышки будут наблюдаться еще две, аналогичные тем, которые наблюдались в 2006 и 2008гг. (панель 36.8 ГГц). Так что общая активность, возможно, будет продолжаться непрерывно около 13 лет, что близко к величине прецессионного периода в этой системе (период прецессии АД - $T_{АД} = 14$ лет [2]).

Таким образом, можно предположить, что не в последнюю очередь, динамические характеристики ДСЧД определяют наблюдаемые свойства их вариаций потоков в широком диапазоне длин волн. Кроме того, наличие корреляции между оптическим и радиодиапазонами может указывать на общий источник первичного энерговыделения, связанный с потерей орбитального момента в системе ДСЧД.

5. Выводы.

1. Проанализированы вспышечные явления в источнике 3C454.3 в оптическом и радиодиапазонах за период 2005-2011 гг. Форма изменения потока во время вспышек может указывать на процесс прохождения компаньона центральной сверхмассивной черной дыры в периферии через аккреционный диск, расположенный под некоторым углом к орбите компаньона.

2. Уточнены величины задержек появления вспышек на разных частотах радиодиапазона относительно оптического диапазона, на основе которых выведен единый для вспышек закон изменения задержек появления вспышек от частоты наблюдений.

3. В результате экстраполяции зависимости задержек явлений вспышек от оптики до гамма-диапазона получено выражение, описывающее задержки во времени появления вспышек от радио до гамма-диапазона.

4. В рамках модели ДСЧД кривые блеска источника 3C 454.3 могут быть объяснены тем, что в результате прецессионных движений в системе угол между плоскостями орбиты ДСЧД и АД уменьшается.

5. Прогнозируется, что текущая вспышка будет продолжаться до конца 2011 г. и за ней будут наблюдаться еще две мощные вспышки.

¹ Лаборатория радиоастрономии НИИ "Крымская астрофизическая обсерватория", Кацивели, Ялта, Украина

² Астрокосмический центр Физического института им. П.Н.Лебедева РАН, Москва, Россия, e-mail: kutkin@gmail.com

³ Радио обсерватория Метсахови, Аалто университет, Финляндия

⁴ Радио обсерватория Мичиганского университета, Анн Арбор, США

ABNORMAL FLARE ACTIVITY OF BLAZAR 3C454.3 IN 2005-2011

A.E.VOL'VACH¹, A.M.KUT'KIN², L.N.VOL'VACH¹, M.G.LARIONOV²,
A.LAKHTEENMAKI³, M.TORNIKOSKI³, E.NIEPPOLA³,
P.SAVOLAINEN³, J.TAMMI³, M.F.ALLER⁴, H.D.ALLER⁴

We present results of multiwavelength analysis of the last three outbursts (2005-2011) in blazar 3C 454.3. Strong gamma flares in the object are followed by flux density increase in other spectral ranges with the time delay which depends on the observational frequency. We present the obtained relation between time delay of a flare and observational frequency, which is well

approximated by inverse logarithmic law. The observed light curves of 3C 454.3 can be interpreted in the frame of supermassive black holes binary model assuming that the angle between accretion disk and orbital plane decreases due to disk precession in the system. Based on the common picture of the outbursts in 3C 454.3 during 2005-2011 we conclude that the current super-flare will continue till the end of the year 2011.

Key words: galaxies: active nuclei: accretion disks

ЛИТЕРАТУРА

1. *G.Ghisellini*, ArXiv:1104.0006v1 [astro-ph.CO], 2011.
2. *А.Е.Вольвач, Л.Н.Вольвач, М.Г.Ларионов и др.*, Астрон. ж., **84**, № 6, 503, 2007.
3. *А.Е.Вольвач, Л.Н.Вольвач, М.Г.Ларионов и др.*, Астрон. ж., **85**, №11, 963, 2008.
4. *F.K.Liu, X.-B.Wu*, Astron. Astrophys., **388**, 48, 2002.
5. *В.А.Ефанов, И.Г.Мусеев, Н.С.Нестеров*, Изв. КрАО, **60**, 3, 1979.
6. *M.F.Aller, H.D.Aller, P.A.Hughes*, Bull. Amer. Astron. Soc., **33**, 1516, 2001.
7. *T.Krajci, K.Sokolovsky, A.Henden*, The Astronomer's Telegram, 3047, 2010.
8. *R.Chatterjee, C.Bailyn, E.W.Bonning*, arXiv:1101.3815, 2011.
9. *A.A.Abdo, M.Ackermann, M.Ajello et al.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **188**, 405, 2010.
10. *А.Е.Волвач, Л.Н.Волвач, М.Г.Ларионов et al.*, Astronomical and Astrophysical Transaction, **25**, №5-6,385, 2006.
11. *А.Е.Вольвач, М.Г.Ларионов, Л.Н.Вольвач и др.*, Космическая наука и технология, **17**, №2, 68, 2011.