

УДК 523.9

Мониторинг вспышечного явления 2014—2018 гг. в блазаре 3C454.3

¹ Вольвач А. Е., ¹ Вольвач Л. Н., ² Ларионов М. Г.

¹ Отдел радиоастрономии и геодинамики,
Крымская астрофизическая обсерватория
Ялта, 298688, Российская Федерация

² Астрокосмический центр Физического института им. П. Н. Лебедева РАН
Москва, 117810, Российская Федерация
volvach@bk.ru

Статья поступила: 20 февраля 2019 г.

Отрецензировано: 1 марта 2019 г.

Принято к публикации: 12 марта 2019 г.

Аннотация: Проанализированы вариации потока радиоисточника 3C454.3 на различных временных шкалах (от десятков лет до года) по данным длительного многочастотного мониторинга. Спектральный анализ кривых изменения потоков на разных частотах выявил наличие пяти периодических компонент. Аномально длительная вспышка, произошедшая в объекте в 2013—2018 гг., вдвое превышает продолжительность возможного орбитального периода вращения компаньона сверхмассивной черной дыры (СМЧД), расположенной в центре материнской галактики. Сопровождающие вспышку мелкомасштабные флуктуации плотности потока излучения могут быть следствием неоднородностей материи размерами порядка 10^{15} см и более в АД центральной СМЧД и прилегающих к нему областях.

Ключевые слова: радиотелескоп, радиоизлучение, АЯГ, блазары.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Вольвач А. Е., Вольвач Л. Н., Ларионов М. Г. Мониторинг вспышечного явления 2014—2018 гг. в блазаре 3C454.3 // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2019. Т. 2, № 1. С. 5—12.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Вольвач, А. Е. Мониторинг вспышечного явления 2014—2018 гг. в блазаре 3C454.3 / А. Е. Вольвач, Л. Н. Вольвач, М. Г. Ларионов // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2019. Т. 2, № 1. — С. 5—12.

Monitoring of the 2014–2018 flare event in blazar 3C454.3

A. E. Volvach¹, L. N. Volvach¹, and M. G. Larionov²

¹ *Radio Astronomy and Geodynamics Department, Crimean Astrophysical Observatory
Yalta, 298688, Russian Federation*

² *Astro Space Center, P. N. Lebedev Physical Institute, RAS
Moscow, 117810, Russian Federation
volvach@bk.ru*

Received: February 20, 2019

Peer-reviewed: March 1, 2019

Accepted: March 12, 2019

Abstract: *Variations of the 3C454.3 radio source flux on different time scales (from decades to a year) are analyzed according to the data of long-term multi-frequency monitoring. The anomalously prolonged outbreak that occurred in the facility in 2013–2018 is twice as long as the possible orbital period of the rotation of the supermassive black hole (SMBH) companion located in the center of the parent galaxy. The small-scale fluctuations of the radiation flux density accompanying the flare can be a consequence of the inhomogeneities of matter with dimensions of the order of 10^{15} cm or more in the central SMBH's AD and adjacent areas.*

Keywords *radio telescope, radio emission, AGN, blazar.*

For citation (IEEE): A. E. Volvach et al. “Monitoring of the 2014–2018 flare event in blazar 3C454.3,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 5–12, 2019. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2019.02.1.01

1. Введение

Нестационарные внегалактические источники в коротковолновом участке сантиметрового и в миллиметровом диапазонах длин волн составляют заметную долю от всех радиоизлучающих объектов. Данное соотношение не соответствует относительному составу квазаров и радиогалактик, обнаруженных в низкочастотных обзорах.

Нестационарные источники излучения, как правило, представляют собой компактные образования в центральных областях галактик, состоящие из массивных двойных черных дыр, вращающихся вокруг общего центра тяжести по эллиптическим орбитам [1]. Более массивный компонент содержит в своем составе аккреционный диск. Вращение диска, его

прецессия и аккреция на него во многом определяют динамику и процессы излучения в системе [2].

Блазар 3C 454.3 является одним из ярчайших представителей активных ядер галактик (АЯГ). Основная доля энергии, излучаемая блазаром, сосредоточена в рентгеновском и гамма-диапазонах длин волн. Различные механизмы излучения в разных диапазонах длин волн, по-видимому, связаны с динамикой процессов, происходящих в джетовой составляющей АЯГ и с локализацией областей излучения.

Долговременный многочастотный мониторинг на одиночных радиотелескопах является независимым способом исследования внутренней, субпарсековой структуры источников, недоступной даже для глобальной интерферометрии. Эти исследования служат важным дополнением к существующим РСДБ методам изучения АЯГ. Многочастотные долговременные исследования блазаров поставляют важную информацию о физических процессах, ответственных за излучение во всех спектральных интервалах, от радио- до гамма-диапазона.

В предлагаемой работе анализируются новые данные, полученные во время детального мониторинга продолжительной вспышки в 3C 454.3 на миллиметровых волнах в течении 2013—2018 гг. Предложена интерпретация необыкновенного по длительности вспышечного явления.

2. Оборудование и наблюдения

Долговременный мониторинг на частотах 22.2 и 36.8 ГГц выполнялся с помощью 22-метрового радиотелескопа (РТ-22) Крымской астрофизической обсерватории. Приемные системы на этих частотах представляли собой модуляционные радиометры с диаграммной модуляцией [3]. Подобная система позволяла уйти от аномального спектра флуктуаций коэффициентов усиления усилителей (находящегося вблизи нулевых частот) посредством перемещения спектра сигналов с нулевых частот на частоту переключений диаграмм направленности (порядка 103 Гц). Вторым преимуществом используемого способа приема было снижение уровня тепловых флуктуаций атмосферы, которые существенны на сантиметровых и миллиметровых волнах.

Наблюдения проводились методом поочередной установки одного и другого входных рупоров на источник [4]. Антенные температуры от измеряемых источников корректировались с учетом поглощения излучения в атмосфере Земли. В процессе наблюдений фиксировались также антенные температуры от калибровочных источников, параметры которых указаны в табл. 1 (в первой колонке таблицы указана частота, во второй – принятые плотности потоков).

Таблица 1.

Частота, ГГц	Принятые значения потоков для источников, Ян			
	DR 21	3C 274	NGC 7027	3C 286
36.8	18.3	14.3	5.1	1.56
22.235	19.5	21.5	5.4	2.37

Пересчет антенных температур в плотности потоков выполнялся на основе зависимости:

$$P = 2kT/S_{\text{эфф}}, \quad (1)$$

где P — поток радиисточника, k — постоянная Больцмана, а T — антенная температура от источника, $S_{\text{эфф}}$ — эффективная площадь радиотелескопа.

Антенная температура исследуемых объектов находилась с помощью калибровочной ступеньки — температурного перепада, подававшегося на вход приемной системы от полупроводникового генератора (ГШП). Калибровка этого сигнала осуществлялась по стандартному температурному перепаду на входе приемной апертуры. Этот перепад соответствовал разнице температур согласованных нагрузок на входе приемной системы, находящихся при температуре окружающей среды и температуре жидкого азота соответственно.

Зависимость эффективной площади антенны $S_{\text{эфф}}$ от угла места h определялась по данным наблюдений калибровочных источников на разных h и азимутах места антенны и использовалась при определении потоков радиисточников введением соответствующих поправочных коэффициентов. На углах места от 60° до 90° изменений $S_{\text{эфф}}$ практически не отмечено и на этих углах поправочные коэффициенты не вводились.

В среднеквадратичные ошибки плотностей потоков входили ошибки измерений антенной температуры типичные значения которых находились в пределах (3—6) %. При данной методике наблюдений и обработки данных учитываются ошибки, возникающие вследствие изменений уровня шумов аппаратуры, вариаций коэффициента поглощения в атмосфере, нестабильности коэффициента усиления радиометра, ошибок наведения радиотелескопа.

3. Продолжительная вспышка в 3C454.3 (B2251+158)

Исследования переменности потока излучения источника 3C454.3 проводятся в обсерватории Мичиганского университета начиная с 1966 года на частоте 8 ГГц, на частоте 14.5 ГГц — с 1974 года, а с 1980 г. мониторинг начат и на частоте 4.8 ГГц.

С 1980 г. проводятся наблюдения на частотах 22.2 ГГц и 36.8 ГГц в Крымской астрофизической обсерватории [4].

К настоящему времени долговременные кривые блеска источника исследовались в работе [5], и было отмечено, что в вариациях потока присутствует периодическая составляющая с периодом около 6 лет. Там же указывалось, что на периодическую составляющую наложены более быстрые изменения потока (импульсная составляющая изменения потока).

Кривые блеска блазара 3C 454.3 в радио- и гамма-диапазоне приведены на рис. 1. Результирующие значения ошибки в большинстве случаев сравнимы с размерами символов на рисунке.

В кривых блеска блазара на частотах радиодиапазона от 4 ГГц до 36.8 ГГц видны квази гармонические составляющие с периодом 13.5 лет, которые были поставлены в соответствие с прецессионным периодом в двойной системе [6—9].

Самый короткий квази период отождествлялся с периодом орбитальным движением компаньона центральной сверхмассивной черной дыры СМЧД ($T_{orb}=1.55$ года). Этот период был выделен на основе мониторинга на высоких частотах 22.2 ГГц и 36.8 ГГц. В системе координат, связанной с блазаром, и с учетом влияния γ -фактора $T_{пр}$ и T_{orb} равны соответственно 182 годам и 21 годам.

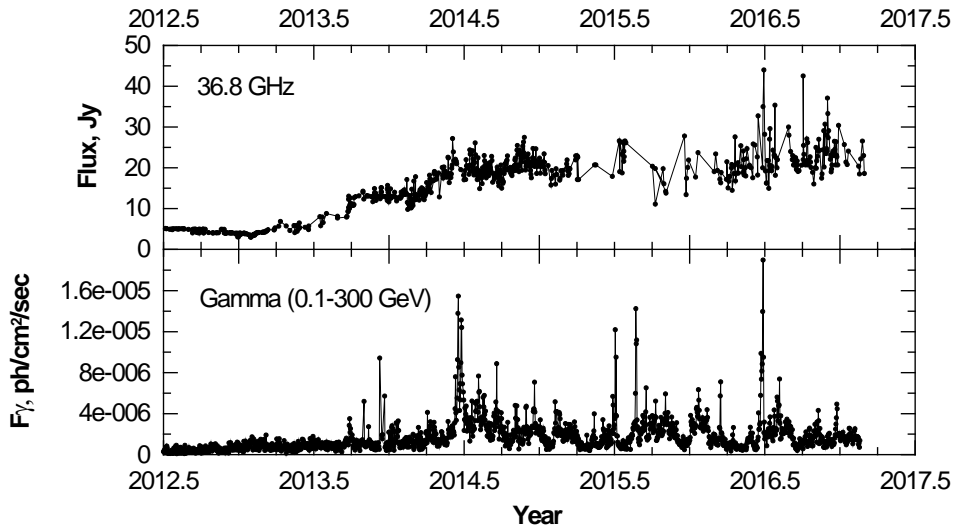


Рис. 1. Вспышечные явления в блазаре 3C 454.3.

Fig. 1. Outbreaks in blazar 3C 454.3

Из-за прецессионных движений в системе, компаньон в своем движении по орбите пересекает аккреционный диск (АД), создавая заметное повышение уровня плотности потока, выражающееся в наблюдаемых вспышках.

Беспрецедентное удлинение вспышки, начавшейся в 2013 году, трудно было спрогнозировать. Очередной 13-летний цикл в настоящее время отмечается максимумом.

При этом возникает вопрос, за счет какого механизма (эффекта) происходит такое изменение длительности вспышечного явления? Если в процессе прецессии АД происходит изменение угла между выбросами материи и направлением на наблюдателя, то мы обязаны фиксировать изменение γ -фактора отражающие значительное пролонгирование вспышки. В настоящее время она продолжается уже 5 год, что по крайней мере вдвое превышает длительность предыдущей вспышки. Такие изменения в продолжительности подъема излучения в объекте должны сопровождаться изменениями γ -фактора по крайней мере в два раза, учитывая, что вспышечное явление еще не закончилось.

Можно предположить, что в результате прецессии мы наблюдаем погружение компаньона в АД на время нескольких орбитальных периодов $T_{\text{орб}}$, например (2—3) $T_{\text{орб}}$. Некоторое уменьшение амплитуды в полтора раза с 30—35 Ян до 20—25 Ян можно объяснить структурой АД, в котором двигается компаньон. Даже за время наблюдаемой вспышки 2013—2018 гг. произошло монотонное увеличение плотности потока на 15—20 %. Эти величины можно считать не существенными по сравнению с реальными изменениями плотности потока от 13 Ян до 43 Ян во время вспышки, то есть более, чем в 3 раза. Эти изменения можно связать с неоднородностями материи в АД, которые встречаются на пути движения компаньона. Длительность этих выбросов бывает менее одного дня, что при скорости движения компаньона по орбите в $5 \cdot 10^3$ км/сек соответствует размерам неоднородностей менее $5 \cdot 10^{13}$ см. Другими словами эти размеры соизмеримы с величиной орбиты Земли и менее величины орбиты Марса.

Сколько еще будет продолжаться эта вспышка можно только предполагать. Если допустить длительность вспышки 5 лет, то это составляет более трети прецессионного периода системы. Для размеров орбиты компаньона, принятых в [10] и размеров АД, можно оценить время нахождения компаньона в пределах АД. Были получены значения $D_{\text{орб}} = 1.3 \cdot 10^{17}$ см и $d_{\text{ад}} = 6 \cdot 10^{15}$ см. При таких данных угол прецессии, при котором компаньон находится в АД составляет величину $\psi = d_{\text{ад}}/D_{\text{орб}} \approx 2.60$. Для угла между направлением выброса и лучом зрения в 5° и углом раствора прецессии не

более этого значения [11] мы получим около 50 % времени от периода прецессии 12 лет, т. е. 6 лет.

Таким образом, около 6 лет мы можем наблюдать вспышечное явление в блазаре 3C 454.3, и в этом случае вспышка может закончиться. Но это только оценки.

Нами были проведены исследования возможного наблюдения аналогичного эффекта длительного вспышечного явления в других активных ядрах галактик (АЯГ). Наиболее подходящим случаем, как нам кажется, является активность в одном из ярчайших АЯГ 3C 273. В работе [12] приведены результаты длительного многочастотного мониторинга этого АЯГ. Длительность вспышки составляет величину около 5 лет. Примерно столько же, несколько более, прогнозируется и длительность вспышечного явления в 3C 454.3.

4. Заключение

1. Проведен длительный цикл наблюдений блазара 3C454.3 на частоте 36.8 ГГц с использованием радиотелескопа РТ 22 КрАО. Мониторинг вспышечного явления (2014—2018) гг. проводился большую часть времени с интервалом времени один день.

2. Наличие орбитального периода в данных вспышечного явления может свидетельствовать в пользу того, что изменение его длительности не связано с увеличением γ -фактора, а напрямую зависит от прохождения компаньона центральной СМЧД сквозь среду аккреционного диска за счет совпадения плоскостей АД и орбиты компаньона.

3. Падение вдвое спектральной плотности потока излучения во вспышке 3C 454.3 (2014—2017 гг.) по сравнению с максимальным потоков в предыдущей вспышке может косвенным образом свидетельствовать о том, что АД является оптически толстым по томпсоновскому рассеянию.

4. За время последней вспышки в 3C 454.3 получен богатый наблюдательный материал для исследования структуры среды АД.

Список литературы

1. Sillanpaa A., Takalo L. O., Pursimo T. и др. Confirmation of the 12-year optical outburst cycle in blazar OJ 287 // *Astron. and Astrophys.* 1996. Т. 305, № 17. С. L17—L20.
2. Lobanov A. P. Mergers and binary systems of SMBH in the contexts of nuclear activity and galaxy evolution // *Proceedings of the MPA/ESO/MPE/USM Joint Astronomy Conference Held at Garching, Germany, 21—25 June 2004.* С. 354—355.
3. Volvach A. E., Volvach L. N., Kut'kin A. M. и др. Multi-frequency studies of the non-stationary radiation of the blazar 3C 454.3 // *Astronomy Reports.* 2011. Т. 55, № 7. С. 608—615.

4. Ефанов В. А., Моисеев И. Г., Нестеров Н. С. и др. Наблюдение радиосточников на РТ-22 КАО и РТ-14 РХУТ в миллиметровом диапазоне волн // Изв. КрАО. 1981. Т. 64. С. 103—108.
5. Ciaramella A., Bongardo C., Aller H. D. и др. A multifrequency analysis of radio variability of blazars // *Astron. and Astrophys.* 2004. Т. 419, № 2. С. 485—500.
6. Volvach A. E., Volvach L. N., Kutkin A. M. и др. Sub-parsec Structure of Binary Supermassive Black Holes in Active Galactic Nuclei // *Astronomy Reports.* 2010. Т. 54, № 1. С. 28—37.
7. Mohan P., Agarwal A., Mangalam A. и др. Frequency-dependent core shifts and parameter estimation for the blazar 3C 454.3 // *Monthly notices of the Royal Astronomical Society.* 2015. Т. 452, № 2. С. 2004—2017.
8. Ефанов В. А., Моисеев И. Г., Нестеров Н. С. Обзор внегалактических радиосточников на волне 1,35 см // Изв. Крым. астрофиз. обс. 1979. Т. 60. С. 3—13.
9. Aller M. F., Aller H. D., Hughes P. A. The Longterm Centimeter-band Total Flux and Linear Polarization Properties of the Pearson-Readhead Survey Sources // *Bull. of American Astronomical Society.* 2001. Т. 33. С. 1516.
10. Vol'vach A. E., Kut'kin A. M., Larionov M. G. и др. A prolonged flare in the blazar 3C 454.3 // *Astronomy Reports.* 2013. Т. 57, № 1. С. 46—51.
11. Volvach A. E., Volvach L. N., Larionov M. G. и др. The variability of a 3C 454.3 blazar over a 40-year period // *Astronomy Reports.* 2007. Т. 51, № 6. С. 450—459.
12. Vol'vach A. E., Larionov M. G., Vol'vach L. N. и др. An unusually prolonged outburst in the blazar 3C 454.3 // *Astronomy Reports.* 2017. Т. 61, № 11. С. 954—961.

Информация об авторах

Вольвач Лариса Николаевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Вольвач Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Ларионов Михаил Григорьевич, доктор физико-математических наук, заместитель руководителя Астрокосмического центра Физического института им. П. Н. Лебедева РАН г. Москва, 117810, Российская Федерация.

Information about the authors

Larisa N. Volvach, PhD. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Alexandr E. Volvach, Dr. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Michail G. Larionov, Dr. Sci., Astro Space Center, P. N. Lebedev Physical Institute, RAS, Moscow, Russian Federation.