

## НАБЛЮДЕНИЯ ГАЛАКТИКИ MRK 501 В МАЕ-ИЮНЕ 2006г. В РЕНТГЕНОВСКОМ И ГАММА-ДИАПАЗОНАХ СВЭ

В.В.ФИДЕЛИС

Поступила 27 октября 2011

Принята к печати 22 июня 2012

Галактика Mrk 501 наблюдалась на спаренном атмосферном черенковском телескопе ГТ-48 в течение 9 безлунных ночей в мае-июне 2006г. Для отбора  $\gamma$ -ливней от фоновых ливней было использовано около 9 часов наблюдательного времени источника, взятых при хороших погодных условиях. Избыток  $\gamma$ -подобных событий был зарегистрирован с достоверностью  $\approx 6\sigma$ . Оценка потока была сделана в предположении Крабо - подобного спектра Mrk 501 в диапазоне энергий  $E > 350$  ГэВ с использованием данных квази-одновременных наблюдений на телескопе Уиппла. Источник находился в состоянии низкой активности в ТэВ-ном диапазоне, что было подтверждено данными его наблюдений на других черенковских телескопах. Хотя кривая блеска от наблюдаемого объекта, согласно наземным наблюдениям, не показала существенных вариаций на дневной шкале, данные наблюдений в мягких и жестких рентгеновских лучах показали наличие наибольших амплитуд вариаций на наименьших энергиях.

Ключевые слова: *объекты BL Lac: Mrk 501: рентгеновское и гамма-излучение: наблюдения*

1. *Введение.* Большинство открытых внегалактических объектов в  $\gamma$ -лучах сверхвысоких энергий (СВЭ,  $E > 100$  ГэВ) принадлежат к объектам BL Lac (лацертидам), являющимися членами более общего класса активных ядер галактик (АЯГ) - блазаров. Они характеризуются нетепловой радиацией в пределах всего электромагнитного спектра, которая сконцентрирована в пределах релятивистского джета, направленного близко к наблюдателю [1,2]. В соответствии с эффектом Доплера это течение из области сверх-массивной черной дыры усилено с типичным объемным фактором Лоренца  $\gamma \approx 10$ , что модифицирует светимости, наблюдаемые при углах  $\theta$  с лучевым фактором  $\delta = 1/(\gamma(1 - \beta \cos \theta))$ .

Наблюдаемые свойства лацертид указывают на то, что их спектральное распределение энергии (СРЭ) характеризуется двумя широкими компонентами: низкочастотная компонента имеет максимум в промежутке от инфракрасного до рентгеновского диапазона, а высокочастотная компонента - в пределах МэВ-ных - ТэВ-ных энергий. Наиболее популярной радиационной моделью, объясняющей излучение в двух компонентах, является собственная синхротронно-комптоновская (ССК) модель [3-6]. Согласно этой модели

синхротронные фотоны, образующие низкоэнергетичную компоненту, ускоряются до более высоких энергий в процессе обратного комптоновского рассеяния на той же популяции релятивистских электронов, которые излучают синхротронную радиацию. Эта общая природа может объяснять подобие двух компонент [7].

Обе спектральные компоненты переменны на различных временных шкалах [8,9]. На самых коротких временных шкалах быстрая переменность часто принимает форму вспышек большой амплитуды с наиболее экстремальными событиями, наблюдаемыми в  $\gamma$ -диапазоне [10-14]. Короткие временные шкалы вариаций подразумевают, что существенная доля излучения блазаров генерируется на субпарсековой шкале, что дает возможность изучения основных свойств джета в окрестности "центральной машины" [15].

Однако вопрос о том, где генерируется основная часть радиации до сих пор остается открытым. В противоположность моделям внутренних ударных волн, популярно объясняющим образование вспышек высоких энергий в блазарных джетах, другие физические механизмы могут быть вовлечены в этот процесс на различных расстояниях от "центральной машины". Эти сценарии могут включать в себя события пересоединения магнитных силовых линий [16], доминирование тороидальной компоненты магнитного поля [17], структуру джета на парсековой шкале, например, спиралевидную, проявляющуюся в наблюдаемом сверхсветовом движении эмиссионных узлов [18], механизм внешнего обратного комптоновского рассеяния на больших дистанциях от черной дыры, проявляющийся в часовой переменности в гамма-лучах в случае радио-квazarов с плоским спектром [19].

ССК модель предполагает наличие в одном и том же объеме заряженных частиц примерно той же энергии, как и у низкоэнергетичных фотонов, ускоренных в результате эффекта Клейна - Нишины до энергий  $E_\gamma \approx \gamma m_e c^2$ . Следовательно, это требует наличия экстремально эффективного механизма ускорения частиц, существующего вблизи "центральной машины" АЯГ. ССК модель предсказывает почти одновременные вариации синхротронной и обратной комптоновской компонент [20,21], что стимулирует многоволновой мониторинг лацертид. В противоположность ССК модели, другие модели предсказывают более сложные временные зависимости [22].

Объекты BL Lacs дальше подразделяются в соответствии с расположением частоты их синхротронного пика в ИК-оптическом или УФ-мягком рентгеновском диапазоне на лацертиды с низкочастотным пиком (LBL) и лацертиды с высокочастотным пиком (HBL) [23]. Внегалактические источники  $\gamma$ -излучения СВЭ преимущественно являются HBLs, в которых обе спектральные компоненты смещены в область высоких энергий [24,25].

Mrk 501, находящийся на удалении  $z=0.034$ , является вторым после Mrk 421 [26] ближайшим HBL объектом [27,28] и сейчас он является целью многих многоволновых наблюдений [29,30]. Предыдущие рентгеновские наблюдения Mrk 501 с помощью различных спутниковых обсерваторий показали типичные для блазаров свойства: сильную переменность, плоский рентгеновский спектр и относительно высокую светимость [31]. В противоположность Mrk 421, наблюдаемые потоки от Mrk 501 указывают на наличие излучения из спокойного состояния. Спектр выше 2 кэВ, постоянно описываемый степенной моделью с фотонным индексом  $\Gamma = 2.2$ , хорошо согласуется с комптонизационной моделью.

В 1997г. от Mrk 501 наблюдался экстраординарный всплеск потоков в диапазоне энергий 2-20 кэВ, варьирующий в пределах  $(3-9.5) \times 10^{-10}$  эрг  $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$ . В последующие годы (1997-2000) интенсивность излучения от источника постепенно ослабевала, и спектр становился более крутым. Mrk 501 был также не менее трех раз ярче Крабовидной туманности в ТЭВ-ных  $\gamma$ -лучах в 1997г. [32,33]. Наблюдения Mrk 501 с помощью орбитальной обсерватории ВерроSAX в этой фазе высокой активности на ТЭВ-ных энергиях обнаружили, что его синхротронный пик во вспышечном состоянии может превышать 100 кэВ [34].

В Крымской астрофизической обсерватории Mrk 501 наблюдался впервые в 1997 и 1998гг. [35]. Средние потоки в наблюдательные периоды 1997 и 1998гг. составили  $(5.0 \pm 0.6) \times 10^{-11}$  кв.  $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$  и  $(3.7 \pm 0.6) \times 10^{-11}$  кв.  $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$ , соответственно. С этого периода Mrk 501 подвергался почти ежегодному мониторингу в  $\gamma$ -диапазоне СВЭ с помощью телескопа ГТ-48 [36]. Наши наблюдения Mrk 501 были также повторены в 2006г., предварительные результаты для этого наблюдательного сезона были представлены в работе [37].

В этой работе мы также представляем результаты наблюдений Mrk 501 в 2006г. в ТЭВ-ном режиме в сравнении с его наблюдениями в рентгеновском диапазоне и другими экспериментами наземного базирования.

## 2. Наблюдения Mrk 501 в $\gamma$ -лучах СВЭ.

2.1. Наблюдения в Крыму. 2.1.1. Используемые данные. Наблюдения осуществлялись на атмосферном черенковском телескопе ГТ-48 [38],

Таблица 1

### ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

Наблюдательный период	Модифицированные Юлианские даты	Экспозиция источника, Мин
22-25 мая 2006	53877 - 53880	225
1-25 июня 2006	53887 - 53911	325
Всего		550

имеюшем пороговую энергию в стереорежиме 1 ТэВ [39]. Мгк 501 наблюдался в течение 9 безлунных ночей между 22 маем и 25 июнем 2006г. (табл.1).

Для обработки изображений черенковских вспышек от широких атмосферных ливней (ШАЛ), инициируемых  $\gamma$ -квантами или частицами космических лучей СВЭ были использованы данные наблюдений в хорошую погоду с общим временем экспозиции источника 550 мин и такого же времени регистрации фона, выполненных при зенитных расстояниях  $6^\circ < Z < 19^\circ$ .

Мы отбирали вспышки по форме из изображений, используя параметр IPR (imaging pattern ratio), характеризующий степень фрагментации изображения. Параметру IPR присваивались нулевые значения для наиболее компактных вспышек (отсутствие фрагментации изображения) и 1-7 для более фрагментированных. Для данного отбора  $IPR = 0$  для одной секции и  $IPR = 0$  и 1 - для другой. Среди вспышек, подходящих для анализа, рассматривались только те, которые содержали количество света (size [40]), достаточное для надежного анализа изображения (100 цифровых отсчетов или 70 фотоэлектронов). Зарегистрированные изображения вспышек обрабатывались, используя формальные математические методы, с целью

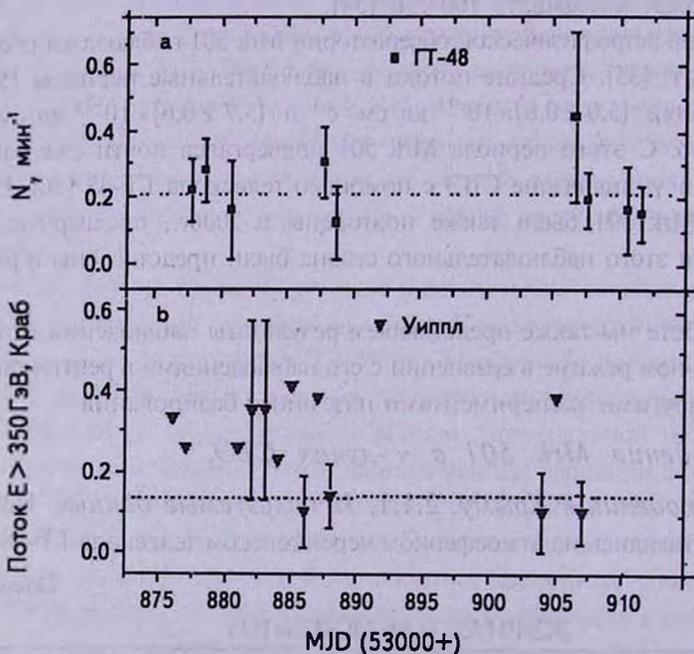


Рис.1. а) Скорость счета  $\gamma$ -подобных событий на телескопе ГТ-48, отсч. мин<sup>-1</sup> (темные квадратики,  $E > 1$  ТэВ). Горизонтальная штриховая линия показывает среднюю скорость счета за наблюдательный период. б) Средненочные потоки, измеренные на телескопе Уиппла (темные треугольники,  $E > 350$  ГэВ). Данные без ошибок показывают верхний предел. Горизонтальная штриховая линия показывает средневзвешенное значение потока за наблюдательный период. Приведенные ошибки - статистические.

Таблица 2

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОТБОРА СОБЫТИЙ

Число событий	$N_{on}$	$N_{off}$	$N_{on} - N_{off}$	Статистическая значимость, $\sigma$
Предварительно обработанные данные	8127	7750	377	2.99
Отобранные по угловым размерам изображений, параметрам $size$ и $IPR$	577	410	167	5.32
Отобранные по параметрам $alpha$ и $dist$	264	145	119	5.88

определения их центров распределения яркости, угловых размеров и ориентации в поле зрения камеры (использовались параметры  $alpha$  и  $dist$  [41]). Числа событий, оставшихся на источнике ( $N_{on}$ ) и на фоне ( $N_{off}$ ) и их разница после каждого этапа отбора, описанного выше, просуммированы в табл.2. Средняя скорость счета  $\gamma$ -подобных событий в наблюдательный период была равна  $0.22 \pm 0.04 \text{ мин}^{-1}$ . Кривая блеска, соответствующая наблюдениям на ГТ-48, показана на рис.1а.

**2.2. Наблюдения в обсерваториях VERITAS и Уинпла.** Mrk 501 наблюдался в течение весны 2006г. с помощью двух 12-м визуализационных черенковских телескопов обсерватории VERITAS, расположенной в южной Аризоне. Телескопы разнесены на земле приблизительно на 100 м и оптимизированы на хорошую чувствительность с энергетическим порогом  $\sim 100$  ГэВ. Источник наблюдался в период проведения проверочных и калибровочных работ на обсерватории VERITAS.

Камеры, состоящие из 499 ФЭУ и система регистрации данных, основанная на параллельном АЦП, позволяют определять развитие ливня в цифровой форме с разрешением  $0^\circ.15$  и синхронизацией в 2 нс. Эта конфигурация дает значительное увеличение чувствительности по сравнению с предыдущими поколениями инструментов, благодаря большим площадям зеркал, собирающих черенковские фотоны от удаленных атмосферных ливней. Кроме этого, стереоскопическое изображение, при котором развитие ШАЛ измеряется из двух мест на земле, позволяет определять с хорошей точностью свойства первичной частицы, направление ее прихода, точку вхождения в атмосферу и энергию.

В общей сложности было выполнено  $\sim 18.5$  часов наблюдений Mrk 501 в период между апрелем и июнем 2006г. в режимах ON-OFF и вобуляции. Последний режим позволяет производить одновременное измерение на источнике и на фоне. В течение наблюдений Mrk 501 от источника

постоянно поступал положительный сигнал на уровне  $16\sigma$  со средней скоростью счета  $0.8 \gamma$ -кв./мин [42]. Авторы предполагают, что они детектировали базовое излучение от Mrk 501.

Mrk 501 также наблюдался весной 2006г. на 10-м черенковском телескопе обсерватории Уиппла. Наблюдения на телескопе Уиппла также застали источник в период слабой ТЭВ-ной активности. Начиная с 22 мая и кончая 21 июнем 2006г., Mrk 501 наблюдался в обсерватории Уиппла в течение 12 дней. Большинство этих наблюдений дало, в основном, верхние пределы в энергетическом диапазоне телескопа Уиппла ( $> 350$  ГэВ, рис.1б).

**2.3. Оценка потока, детектируемого ГТ-48 с использованием данных обсерватории Уиппла.** Несмотря на то, что работа телескопов ГТ-48 и Уиппла основана на одинаковых базовых принципах, они имеют ряд различий. Кроме этого, они имеют различные сезонные окна, оптимальные для наблюдений. Тем не менее, коллективы Крымской астрофизической обсерватории и обсерватории Уиппла имеют опыт проведения перекрывающихся наблюдений в 1997г. с хорошей корреляцией [43].

Для сравнения с нашими наблюдениями мы использовали публично доступные данные наблюдений источника обсерваторией Уиппла, конвертированные в единицы потока от Крабовидной туманности (Краб) (<http://veritas.sao.arizona.edu/documents/summarymrk501.table>).

Средневзвешенное значение потока, измеренное на телескопе Уиппла и равное  $0.13 \pm 0.04_{\text{stat}}$  Краб, было использовано нами для оценки потока, зарегистрированного на телескопе ГТ-48 в допущении, что ночные потоки от источника не изменялись существенно и Mrk 501 и Крабовидная туманность имеют подобные наклоны спектра.

Телескопы Уиппла и ГТ-48 собирают данные с различными пороговыми энергиями, 0.35 и 1 ТэВ, соответственно. Спектральный индекс Крабовидной туманности, измеренный на телескопе HESS, равен  $\Gamma = 2.39 \pm 0.03_{\text{stat}}$  до излома спектра (cutoff energy,  $E_c = 14.3 \pm 2.1_{\text{stat}}$  ТэВ) [44], а на телескопе MAGIC  $\Gamma = 2.48 \pm 0.03_{\text{stat}} \pm 0.2_{\text{sys}}$  [45]. Средний спектральный индекс Mrk 501, согласно измерениям на телескопе MAGIC в 2005 г., имеет значение, близкое к спектру Крабовидной туманности, но с признаками некоторой спектральной переменности. Мы брали  $\Gamma_{\text{Mrk 501}} = 2.45 \pm 0.07$  ( $E > 0.15$  ТэВ), соответствующее низкому состоянию [12]. Следовательно, разница между измеренными спектральными индексами Mrk 501 и Крабовидной туманности незначительна. Отношение средних потоков, измеренных на телескопах ГТ-48 и Уиппла должно быть

$$\frac{F(E_{\text{GT-48}})}{F(E_{\text{Whipple}})} = \left( \frac{1}{0.35} \right)^{\Gamma_{\text{Crab}} - \Gamma_{\text{Mrk 501}}} \quad [46].$$

Если мы предположим, что наш источник имеет Крабо-подобный спектр, то зарегистрированный поток от Mrk 501 на телескопе ГТ-48 будет в пределах нескольких десятых долей потока от Крабовидной туманности.

Можно предполагать, что Mrk 501 также находился в низком состоянии в  $\gamma$ -диапазоне СВЭ в июле 2006г., что подтверждено его наблюдениями на черенковском телескопе MAGIC. Интегральный поток свыше 200 ГэВ, измеренный в течение трех последовательных дней, начиная с 18-го июля 2006г. (MJD 53935), соответствовал  $\sim 0.23$  единиц потока от Крабовидной туманности [47].

### 3. Наблюдения Mrk 501 в рентгеновском диапазоне.

3.1. *Наблюдения с помощью RXTE/ASM.* Инструмент ASM является частью обсерватории Rossi X-ray Timing Explorer, RXTE. Мы использовали данные наблюдений Mrk 501 обсерваторией RXTE в период между 22 маем 2006г. и 25 июнем 2006г., доступные на сайте <http://xte.mit.edu/asmlc/ASM.html> (результаты, представляемые персоналом ASM/RXTE в Массачусетском технологическом институте, в научном операционном центре RXTE и средствами обслуживания пользователей в центре управления полетами им. Годдарда, НАСА).

3.2. *Наблюдения с помощью Swift/BAT.* Детектор  $\gamma$ -всплесков (Burst Alert Telescope) является монитором с широким полем зрения, ежедневно просматривающим большую часть небесной сферы в 5-минутных временных и 80 энергетических интервалах, охватывающих диапазон 15-150 кэВ. BAT осуществляет рентгеновский мониторинг всего неба с систематическим пределом чувствительности  $\approx 2$  мКраб и служит в качестве монитора транзиентных источников в жестких рентгеновских лучах. Мы использовали среднедневные кривые блеска, доступные на сайте <http://swift.gsfc.nasa.gov/docs/swift/results/transients/weak/Mrk501/> (результаты мониторинга транзиентных источников, представляемые персоналом Swift/BAT).

4. *Амплитуды вариаций.* На рис.1 показаны кривые блеска в гамма-диапазоне СВЭ: а) свыше 1 ТэВ и б) свыше 350 ГэВ, а на рис.2: а) в мягком (1.5-12) кэВ и б) жестком (15-150 кэВ) рентгеновских диапазонах.

Их амплитуды вариаций  $(F_{max} - F_{min})/F_{min}$  в наблюдательный период составляют порядка 25 для диапазона 1.5-12 кэВ, 6 - для диапазона 15-150 кэВ и 3 - для ТэВ-ного диапазона при наблюдениях на телескопе ГТ-48 (для оценок использованы положительные значения минимальных величин).

Большинство вариаций имеют эрратический характер. Только одно событие в мягком рентгеновском диапазоне может быть отождествлено со вспышкой (MJD 53897.4), однако относительно большие ошибки и не подтверждение его наземными наблюдениями препятствуют строгому заключению. Другое событие продолжительностью в одни сутки в жестком рентгеновском диапазоне со статистической значимостью на уровне  $3.6\sigma$  (соответствующее моменту времени  $\sim$  MJD53906) имеет похожий характер

переменности в ТэВ-ных  $\gamma$ -лучах. Фиттирование кривой блеска ASM на постоянный поток дает  $\chi^2 = 70.029/35$  d.o.f., что позволяет отвергнуть гипотезу о постоянстве потока с вероятностью 99.96%. В целом характер переменности, согласно данным монитора ASM, указывает на то, что Mrk 501 вспыскивает из базового состояния.

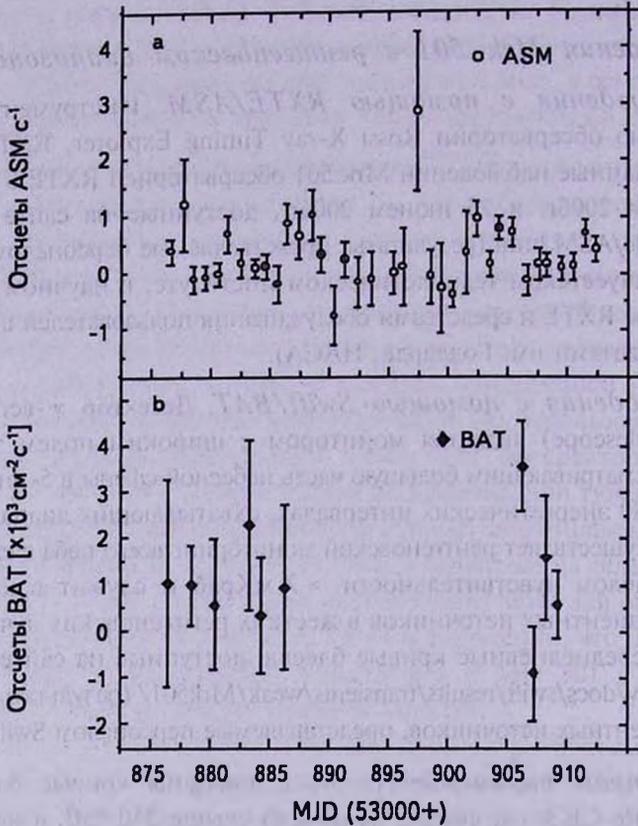


Рис.2. Среднедневные кривые блеска согласно наблюдениям а) монитора ASM (1.5-12 кэВ, светлые кружочки) и б) BAT (15-150 кэВ, темные ромбики). Наблюдения на инструментах ASM и BAT квазиодновременные и разделены 0.6 сутками. Приведенные ошибки - статистические, в ошибки ASM включены в квадратуре на уровне 3% систематические ошибки.

**5. Заключение.** Мы представили результаты квази - одновременных наблюдений канонического блазара Mrk 501, полученных в мае - июне 2006г. на трех наземных черенковских телескопах, расположенных в северном полушарии и имеющих различные пороговые энергии, а также с помощью орбитальных обсерваторий RXTE/ASM и SWIFT/BAT, оперирующих в мягком (1.5-12 кэВ) и жестком (15-150 кэВ) рентгеновских диапазонах. Данные наблюдений на всех черенковских телескопах указывают на то, что Mrk 501 наблюдался в низком состоянии в диапазоне СВЭ. Тем не

менее, орбитальные обсерватории показали наличие умеренно повышенной активности в мягких и жестких рентгеновских лучах.

Мы сравнили наши наблюдения в ТэВ-ном режиме с данными наблюдений источника обсерваторией Уиппла, используя Крабовидную туманность как источник постоянной светимости и сделали заключение, что обнаруженные потоки могут быть близки друг к другу. Кривая блеска монитора ASM показала, что Mrk 501 является специфическим объектом, вспыхивающим из спокойного состояния.

Как показали последующие многоволновые наблюдения Mrk 501 в 2008г. от радио до  $\gamma$ -диапазона СВЭ (MAGIC, Whipple, VERITAS), источник также находился в низком состоянии (на уровне 0.2 Краб). Тем не менее, в рентгеновских и  $\gamma$ -лучах СВЭ наблюдались значительные вариации потока [48].

Автор благодарен коллаборации им. Уиппла за возможность использования данных наблюдений Mrk 501 через интернет, а анонимному рецензенту за полезные замечания и интерес, проявленный к работе.

<sup>1</sup> НИИ Крымская астрофизическая обсерватория, Украина

<sup>2</sup> Филиал МГУ им. М.В.Ломоносова в г. Севастополе, Украина, e-mail: fidelisv@mail.ru

## X-RAY AND VERY HIGH ENERGY GAMMA-RAY OBSERVATIONS OF MRK 501 DURING MAY-JUNE 2006

V.V.FIDELIS

Galaxy Mrk 501 was observed with the twin GT-48 Air Cherenkov telescope during 9 moonless nights in May-June 2006. About 9 hours on-source data taken in good weather conditions were used to select  $\gamma$ -ray showers from background showers. A  $\gamma$ -ray signal appears as excess events at  $\approx 6\sigma$  significance level. The flux was estimated using Whipple quasi-simultaneous observations assuming Crab-like spectrum of Mrk 501 in the energy range  $E > 350$  GeV. The source was in a state of low activity in TeV regime that confirmed by others Cherenkov experiments. Although the light curve from observed object accordingly ground-based observations showed no significant variations on daily scale, the soft and hard X-ray data provided evidence of highest amplitudes of variations at lowest energies.

Key words: *BL Lac objects: Mrk 501:X-ray and gamma-ray emission:observations*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *C.M.Urry, P.Padovani*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **107**, 803, 1995.
2. *C.D.Dermer*, Astrophys. J. Lett., **446**, L63, 1995.
3. *F.W.Stecker, O.C. De Jager, M.H.Salamon*, Astrophys. J. Lett., **473**, L75, 1996.
4. *R.M.Sambruna, L.Marashi, C.M.Urry*, Astrophys. J., **463**, 444, 1996.
5. *G.Ghisellini, A.Celotti, G.Fossati et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **301**, 451, 1998.
6. *L.Costamante, G.Ghisellini*, Astron. Astrophys., **384**, 56, 2002.
7. *G.Ghisellini, L.Marashi*, ASP Conf. Ser., **110**, 436, 1996.
8. *T.Takahashi, M.Tashiro, G.Madejski et al.*, Astrophys. J. Lett., **470**, L89, 1996.
9. *R.Mukherjee, D.L.Bertsch, S.D.Bloom et al.*, Astrophys. J., **490**, 116, 1997.
10. *J.Gaidos, C.W.Akerlof, S.Biller et al.*, Nature, **383**, 319, 1996.
11. *F.Aharonian, A.G.Akhperjanian, A.R.Bazer-Bachi et al.*, Astrophys. J. Lett., **664**, L71, 2007.
12. *J.Albert, A.Allu, H.Anderhub et al.*, Astrophys. J., **669**, 862, 2007.
13. *I.Donnarumma, V.Vittorini, S.Vercellone et al.*, Astrophys. J. Lett., **691**, L13, 2009.
14. *V.A.Acciari, E.Aliu, T.Arlen et al.*, Astrophys. J. Lett., **693**, L104, 2009.
15. *M.Sikora, G.Madejski*, AIP Proceeding, **558**, 275, 2001.
16. *R.Moderski, M.Sikora, G.M.Madejski, T.Katae*, Astrophys. J., **611**, 770, 2004.
17. *M.Sikora, R.Moderski, G.M.Madejski*, Astrophys. J., **675**, 71, 2008.
18. *A.P.Marscher, S.Jorstad, V.M.Larionov et al.*, Astrophys. J. Lett., **710**, L126, 2010.
19. *F.Tavecchio, G.Ghisellini, G.Bonnoli, G.Ghirlanda*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **405**, L94, 2010.
20. *G.Fossati, J.H.Buckley, I.H.Bond et al.*, Astrophys. J., **677**, 906, 2008.
21. *K.Katarzynski, G.Ghisellini, F.Tavecchio et al.*, Astron. Astrophys., **433**, 479, 2005.
22. *M.-H.Ulrich, L.Maraschi, M.Urry*, Ann. Rev. Astron. Astrophys., **35**, 445, 1997.
23. *P.Padovani, P.Giommi*, Astrophys. J., **444**, 567, 1995.
24. *T.C.Weekes*, In Proc. 4-th Heidelberg International Symposium on High Energy Gamma-ray Astronomy, 2008. astro-ph/0811.1197.
25. *S.P.Wakely, D.Horan*, In Proc. 30-th Intern. Cosmic Ray Conference. (eds. Rogelio Caballero, Juan Carlos D'Olivo, Gustavo Medina-Tanco, Lukas Nellen, Federico A.Sánchez, Jos'e F. Valdés-Galicia, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico), 2008, Vol.3 (OG part 2), p.1341.
26. *M.Punch, C.W.Akerlof, M.F.Cawley et al.*, Nature, **358**, 477, 1992.
27. *J.Quinn, C.W.Akerlof, S.Biller et al.*, Astrophys. J., **456**, L83, 1996.
28. *S.M.Bradbury, T.Deckers, D.Petry et al.*, Astron. Astrophys., **320**, L5, 1997.
29. *M.Gliozzi, R.M.Sambruna, I.Jung et al.*, Astrophys. J., **646**, 61, 2006.
30. *A.A.Abdo, M.Ackermann, M.Ajello et al.*, Astrophys. J., **727**, 129, 2011.
31. *Y.Xue, W.Cui*, Astrophys. J., **622**, 160, 2005.
32. *F.A.Aharonian, A.G.Akhperjanian, J.A.Barrío et al.*, Astron. Astrophys., **342**,

- 69, 1999.
33. *A.Djannati-Ataï, F.Piron, A.Barrau et al.*, *Astron. Astrophys.*, **350**, 17, 1999.
  34. *E.Pian, G.Vacanti, G.Tagliaferry et al.*, *Astrophys. J. Lett.*, **492**, L17, 1998.
  35. *Н.А.Андреева, Ю.Л.Зыскин, О.Р.Калекин и др.*, *Письма в Астрон. ж.*, **26**, 243, 2000.
  36. *V.V.Fidelis, Yu.I.Neshpor, V.S.Eliseev et al.*, *Astron. and Astrophys. Trans.*, **24**, №1, 53, 2005.
  37. *Ю.И.Нешпор, А.В.Жовтан, Н.А.Жогаев и др.*, *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.*, **104**, 191, 2008.
  38. *Б.М.Владимирский, Ю.Л.Зыскин, А.П.Корниенко и др.*, *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.*, **91**, 74, 1994.
  39. *О.Р.Калекин*, *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.*, **95**, 146, 1999.
  40. *P.M.Chadwick, K.Lyons, T.J.L.McComb et al.*, *Astrophys. J.*, **513**, 161, 1999.
  41. *А.М.Хиллас*, *In Proc. 19-th Intern. Cosm. Ray Conf. La Jolla. USA, V.3*, 445, 1985.
  42. *S.Fegan* for the VERITAS collaboration, *In Proc. 30-th ICRC, Merida, Mexico*, Ed. by R.Caballero et al., **3**, 901, 2008.
  43. *N.A.Andreeva, O.R.Kalekin, P.Moriarty et al.*, *In Proc. 27-th International Cosmic Ray Conference. 07-15 August, 2001. Hamburg, Germany. Under the auspices of the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP)*, p.2639.
  44. *F.Aharonian, A.G.Akhperjanian, A.R.Bazer-Bachi et al.*, *Astron. Astrophys.*, **457**, 899, 2006.
  45. *J.Albert, E.Aliu, H.Anderhub et al.*, *Astrophys. J.*, **674**, 1037, 2008.
  46. *G.Fossati, J.H.Buckley, I.H.Bond et al.*, *Astrophys. J.*, **677**, 906, 2008.
  47. *S.Rügamer, I.Oya, M.Hayashida et al.*, *In Proceeding of the 31-th ICRC, Łódź 2009. ArXiv: 0907.0551*.
  48. *D.Kranich, D.Paneque, A.Cesarini et al.*, *Contribution to the 31-th ICRC, Łódź, Poland, 2009. ArXiv:0907.1098*.