

УДК 524.7—56

СВЯЗЬ ПРОЯВЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ КВАЗАРА 3С 345
В ОПТИЧЕСКОМ И РАДИОДИАПАЗОНАХ

М. К. БАБАДЖАНИЯНЦ, Е. Т. БЕЛОКОНЬ, В. Л. ГОРОХОВ

Поступила 13 июля 1984

Принята к печати 10 ноября 1984

Для квазара 3С 345 приводится кросс-корреляционный анализ данных по оптической и радиопеременности на больших (порядка сотен дней) временных шкалах. Найдена высокая степень корреляции между радиовспышками и «медленным» компонентом (характерное время изменения около 1 года) в оптических изменениях блеска при запаздывании радиовспышек на 700—1000 дней. Сопоставление величины запаздывания с видимой «сверхсветовой» скоростью движения радиокомпонентов миллисекундной структуры 3С 345 позволяет сделать оценку расстояния от ядра области возникновения радиоизлучения ($\tau \sim 0.7 \cdot 10^{-3}$).

1. *Введение.* Переменность излучения, как проявление активности ряда квазаров, ядер галактик и сходных с ними объектов, обычно наблюдается в широком диапазоне длин волн. К настоящему времени наиболее длительные и подробные ряды наблюдений подобных объектов получены для оптического и радиодиапазонов. Имеющиеся данные по переменности в этих диапазонах часто показывают значительное сходство как относительных амплитуд изменений, так и их характерных времен. Это дает основание для поиска корреляций между отдельными событиями, происходящими в этих диапазонах.

В достаточно полно представленных наблюдениями кривых блеска переменных внегалактических объектов, как правило, присутствуют два или три хорошо разделяемые компонента переменности с характерными временами изменений — несколько суток, десятки дней и несколько лет. В соответствии с этим задача поиска корреляции ставилась неоднократно для переменности на разных временных шкалах — от суток до десятков месяцев. Так специально поставленные наблюдения для BL Lac и OJ 287 [1, 2] не обнаружили корреляций радио и оптической переменности на шкале от 1 суток до нескольких десятков дней. Поиск корреляций для «медленных» (характерное время изменения порядка нескольких месяцев) компонентов переменности BL Lac привел Хэкки и др. [3] к выводу о существова-

3—145

вании корреляции с запаздыванием «медленных» радиовспышек на 2—8 месяцев. Помфри и др. [4] по более длительным рядам наблюдений того же объекта корреляции не обнаружили. В то же время анализ кривых блеска в оптике и радио, сделанный в той же работе [4] для OJ 287, показал высокую степень корреляции «медленных» компонентов переменности с запаздыванием в радиодиапазоне на 0.9 года. У этого объекта отмечена также синхронность значительно меньших по амплитуде и сравнительно более «быстрых» (~ 0.5 года) изменений в оптике и на сантиметровых волнах [4, 5].

Возникновение мощной радиовспышки с запаздыванием около 2.2 года относительно сходной оптической (характерное время изменения блеска порядка 1 года) наблюдалось у квазара 0420—01 [6]. Корреляция с запаздыванием (2—5 лет соответственно для двух длин волн в радиодиапазоне) «медленного» компонента радиопеременности относительно оптической обнаружена Лютым [7] для сейфертовской галактики NGC 1275. Подобная корреляция была найдена для N-галактики 3C 120 [8, 9] и квазара 3C 273 [9]. Следует отметить, однако, что в работе Помфри и др. [4] кросс-корреляционный анализ почти десятилетних рядов достаточно подробных наблюдений для 22 активных внегалактических источников, в том числе 3C 120 и 3C 273, уверенно показал существование корреляции радио и оптической переменности на длинных временных шкалах лишь у OJ 287. В той же работе перечисляются возможные причины, приведшие к отрицательным результатам при поиске корреляций.

Наиболее выдающийся пример корреляции оптической и радиопеременности, несомненно, дает лацертид АО 0235+164, для которого дважды — в 1975 г. и 1979 г. зарегистрированы синхронные оптическая и радиовспышки большой амплитуды и продолжительностью в оптике менее 20 дней [10, 11], что соответствует «быстрому» компоненту переменности. Таким образом, проблема существования корреляций между оптической и радиопеременностью для группы переменных внегалактических объектов в целом к настоящему времени не является окончательно решенной, хотя для нескольких объектов имеются более или менее убедительные свидетельства ее существования.

В настоящей статье мы приводим еще один пример возможного присутствия подобной корреляции для квазара 3C 345 ($z = 0.595$).

2. *Наблюдательный материал.* На рис. 1 представлены ряды оптических (полоса В) и радионаблюдений ($\lambda = 2.8$ см) квазара 3C 345, относящегося к группе OVV (оптически сильно переменных) источников.

Радиопеременность наблюдалась на Алгонкинской радиоастрономической обсерватории [12, 13]. Типичная среднеквадратичная ошибка еди-

ничного наблюдения для радиоданных составляет 0.5 Ян до сентября 1971 г. и далее, после замены приемника — 0.2 Ян.

Оптическая кривая блеска (B) получена при сведении результатов наблюдений большого числа авторов. Основной объем данных составляют фотографические наблюдения, выполненные по девяти многолетним программам изучения оптической переменности, осуществляемых различными обсерваториями.

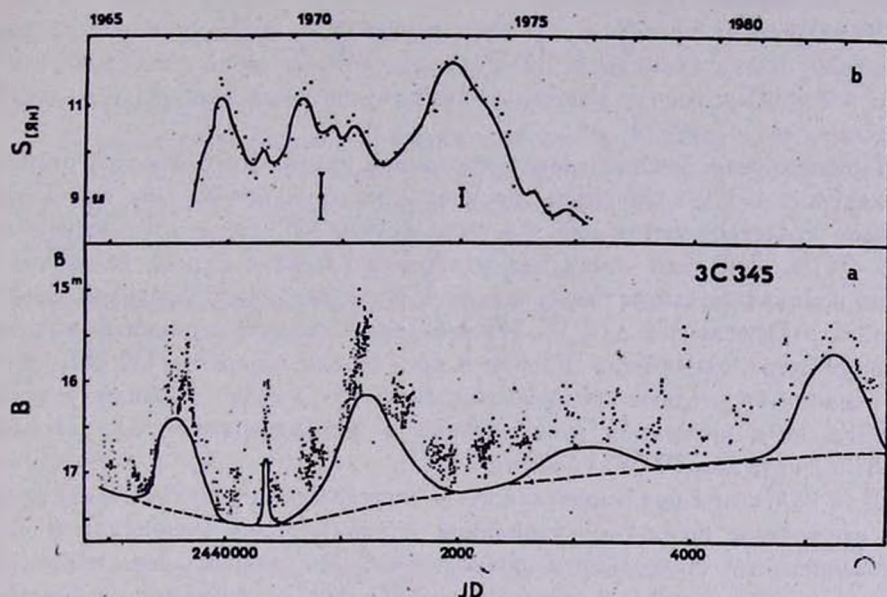


Рис. 1. а) Сводная кривая блеска квазара 3С 345 (полоса В). Данные, использованные при построении кривой блеска, приведены в [15]. б) Изменения плотности потока 3С 345 в радиодиапазоне ($\lambda = 2.8$ см). Данные Алгонкинской обсерватории [12, 13].

Данные, использованные для получения сводной кривой блеска 3С 345, а также сопоставление различных однородных рядов приведены ранее [14, 15]. Для оптической сводной кривой среднеквадратичная ошибка единичного наблюдения (оценка блеска за ночь) составляет от $0^m.02$ для немногочисленных фотоэлектрических данных до $0^m.1$ — $0^m.2$ для фотографических наблюдений. Она колеблется практически всегда в этих пределах на отдельных интервалах времени, в зависимости от того, какие наблюдения на них преобладают. Так, после 1978 г. оптическая переменность представлена лишь однородным рядом наблюдений Астрономической обсерватории Ленинградского университета [14], и типичная среднеквадратичная ошибка единичного наблюдения для этого интервала состав-

ляет $0^m 07$ с учетом количества снимков, полученных за ночь. Около $0^m 1$ ошибка остается и в 1970—75 гг., когда этот ряд преобладает по числу наблюдений.

3. *Корреляционный анализ данных.* В оптической переменности ЗС 345 выделяются три компонента [15, 16], имеющие характерные времена изменения: ~ 15 лет (компонент I); ~ 1 год (компонент II); $\sim$ несколько суток (компонент III) — рис. 1а.

Компонент II проведен сплошной линией, как огибающая «быстрых» изменений блеска (компонент III) и представляет собой последовательность s (slow)-вспышек, некоторые свойства которых описывались ранее [15].

При непосредственном сравнении кривой изменения плотности радиопотока (рис. 1б) и оптической переменности, обращает на себя внимание большое сходство оптической s -вспышки 1970—72 гг. и радиовспышки 1972—74 гг. При этом «быстрые» изменения блеска в оптике, по-видимому, не проявляются в радиодиапазоне. Общая картина корреляции оптической и радиовспышек для ЗС 345 в большой степени напоминает аналогичное событие, отмеченное Помфри и др. [4] для лацертиды OJ 287, причем близки не только продолжительности (~ 3 года) вспышек у этих объектов, но и временное запаздывание в радиодиапазоне: 0.9 лет для OJ 287 и 2 года для ЗС 345 (без учета z).

Для получения предварительного количественного результата мы провели вычисление кросс-корреляционной функции рядов оптической и радиопеременности. Поскольку в нашем случае анализировались корреляционные зависимости для переменности ЗС 345 на больших временных шкалах, то наблюдательные данные для обоих диапазонов были усреднены с интервалом в 100 дней, а затем между получившимися точками были проведены гладкие кривые с помощью метода скользящих медиан. Вычисления были повторены также с использованием компонента II оптической переменности (сплошная линия на рис. 1а). Вид корреляционной функции при этом практически не изменился.

Для выборки, представляющей оптическую переменность, использовались величины ΔB (значения компонента II в звездных величинах), а для радиопеременности — ΔS (разница между величинами плотности потока на гладкой кривой и постоянной составляющей, равной 8.4 Ян). Точки на кривых считывались с шагом в 20 дней. Необходимость вычитания постоянной составляющей для радиопеременности определила интервал наблюдений, взятый для вычисления корреляционной функции — JD 2439700—2443100, объем выборки при этом: $N = 171$. Вычислялась кросс-корреляционная функция:

$$R_{BS}(\tau) = \frac{\frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} (\Delta B(i) - \Delta \bar{B})(\Delta S(i+\tau) - \Delta \bar{S})}{\sigma_{\Delta B} \cdot \sigma_{\Delta S}},$$

$$\sigma_{\Delta B}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta B(i) - \Delta \bar{B})^2}{(N-1)}, \quad \sigma_{\Delta S}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta S(i) - \Delta \bar{S})^2}{(N-1)},$$

$$\Delta \bar{B} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta B(i), \quad \Delta \bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta S(i),$$

τ — величина сдвига.

Кросс-корреляционная функция для почти 10-летнего интервала наблюдений 3С 345 в оптическом и радиодиапазонах приведена на рис. 2. Максимальный коэффициент корреляции равен 0.88 при величине запаздывания радиопеременности относительно оптики в 780 дней.

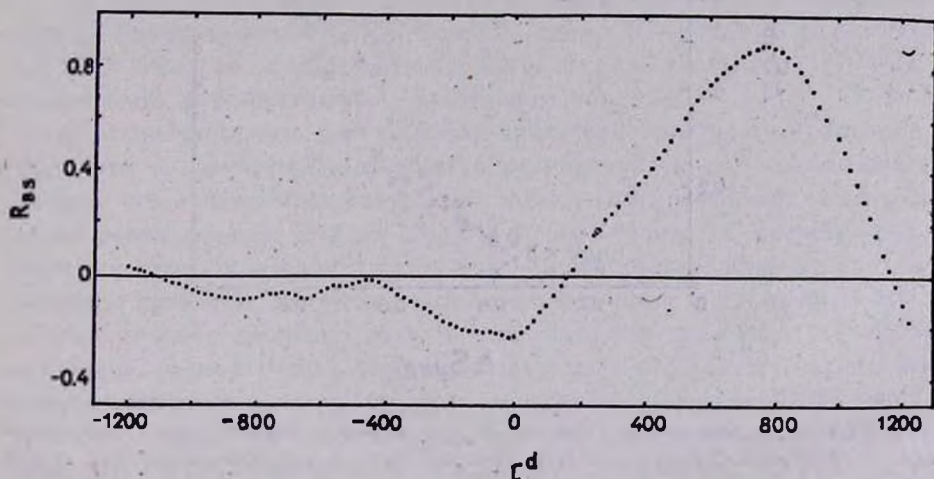


Рис. 2. Кросс-корреляционная функция изменений плотности радиопотока и компонента Π в оптической кривой блеска. Интервал наблюдений JD 2439700—2443100.

Как видно из рис. 1 отсчеты, использованные для вычисления корреляционной функции, не являются независимыми случайными величинами. Поэтому статистическую достоверность полученных значений R_{BS} можно грубо оценить по формуле: $\sigma_R = \sigma_{\Delta B} \cdot \sigma_{\Delta S} / \sqrt{M}$, где величина M есть число независимых отсчетов на кривых блеска [17]. Приблизительно величину M можно определить, например, как это сделано в работе Комберга и Лютого [9]. В нашем случае $M = 25$. Тогда $\sigma_R \leq 0.1$, что говорит о достаточной надежности полученных значений корреляционной функции.

Если брать во внимание только лишь одну вспышку в оптике (1970—1972 гг.) и в радиодиапазоне (1972—74 гг.), то наилучшее их совпадение получается при сдвиге в 680 дней. На рис. 3 в соответствии с этой величиной сдвига построены регрессионные зависимости $\Delta S_{\text{опт}}$ и $\Delta S_{\text{рад}}$ для этой вспышки. $\Delta S_{\text{опт}}$ — разница между величинами плотности потока компонента II и компонента I в оптике, нормированные к своему максимальному значению, а $\Delta S_{\text{рад}}$ — аналогично нормированные разницы между наблюдаемыми плотностями радиопотока и постоянной составляющей 8.4 Ян.

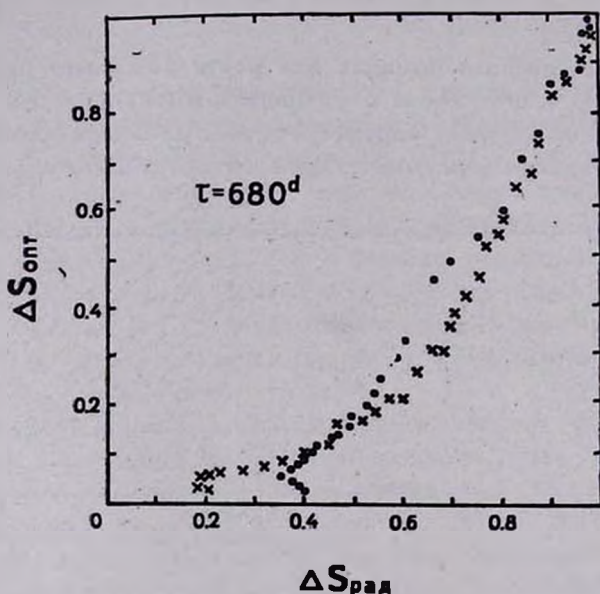


Рис. 3. Регрессионная зависимость $\Delta S_{\text{опт}} - \Delta S_{\text{рад}}$ для оптической S-вспышки 1970—72 гг. и радиовспышки 1972—74 гг. при величине запаздывания в радиодиапазоне $\tau = 680$ дней. Точки соответствуют восходящей, а крестики нисходящей ветвям вспышки.

Максимальная величина корреляции для всего 10-летнего интервала наблюдений приходится на $\tau = 780$ дней, поскольку запаздывание второй радиовспышки (1969—70 гг.) относительно оптической (1967 г.) составляет ~ 1000 дней. Небольшое увеличение плотности радиопотока в 1971 г. соответствует, по-видимому, низкочастотной составляющей при увеличении блеска в 1969 г. при $\tau \sim 700$ дней.

Если сделанные выше предположения о корреляции радиовспышек с компонентом II в оптической переменности действительно реальны, то соответствующая радиовспышке 1967—68 гг. оптическая S-вспышка долж-

на иметь сдвиг $\tau = 900$ дней. Наблюдавшаяся в 1981—83 гг. оптическая S-вспышка дает возможность проверить предположение о существовании корреляции — максимум в изменениях плотности радиопотока 3С 345 на $\lambda = 2.8$ см должен наблюдаться в 1984—85 гг., для более низких радиочастот величины запаздывания будут несколько больше [13].

4. *Обсуждение.* Квазар 3С 345 относится к объектам, показывающим изменения миллисекундной радиоструктуры со «сверхсветовыми» скоростями. VLBI-структура 3С 345 представляет собой систему ядро—одностронний джет с компактными компонентами в нем, движущимися последовательно вдоль джета с видимой скоростью $8.2 \cdot c$ ($H_0 = 100$ км/с Мпс, $q_0 = 0.05$) [19, 20].

Ранее, в работе [15], на основе данных по изменениям миллисекундной радиоструктуры на $\lambda = 2.8$ см и 6 см был сделан вывод о возможной связи оптических S-вспышек 3С 345 с выбросом из ядра компактных радиокomпонентов.

В частности, S-вспышка 1970—72 гг. ассоциируется с радиокomпонентом С2 (в обозначениях [21]). Тогда задержка $\tau = 680$ дней радиовспышки 1972—74 гг. по отношению к той же оптической S-вспышке 1970—72 гг. может быть интерпретирована следующим образом.

Предположим, что наблюдаемые изменения плотности радиопотока относятся к излучению движущихся радиокomпонентов (наблюдения показали, что в начальных стадиях отделения компонентов их потоки примерно равны потокам от ядра [21]). Тогда величина запаздывания радиовспышки относительно оптической S-вспышки, происходящей в ядре, определяется временем, в течение которого релятивистские частицы, выброшенные из ядра, достигнут области, где излучение происходит на соответствующих радиочастотах. Величина запаздывания радиовспышки, ассоциирующейся с компонентом С2, пересчитанная в систему объекта ($z = 0.595$), равна 426 дней. Поскольку видимая скорость компонента С2 равна $8.2 \cdot c$ [19] в той же системе координат, то видимое угловое расстояние, пройденное релятивистскими частицами до того, как они начали излучать на сантиметровых волнах (в том случае, если скорость оставалась постоянной), составит $0.7 \cdot 10^{-3}$, что соответствует расстоянию в проекции, равному 3 пс.

Необходимы данные дальнейших наблюдений квазара 3С 345 на сантиметровых волнах, чтобы проверить существование корреляции радиовспышек с уже выявленными оптическими S-вспышками 1967 и 1982—1983 гг.

Авторы выражают благодарность сотруднику Астрономической обсерватории Ленинградского университета Ю. В. Барышеву за интерес к работе и неоднократные полезные обсуждения.

Ленинградский государственный
университет

THE CONNECTION BETWEEN THE ACTIVITY MANIFESTATIONS OF THE QUASI-STELLAR OBJECT 3C 345 IN OPTICAL AND RADIO RANGES

M. K. BABAJANIANTS, E. T. BELOKON', V. L. GOROHOV

Cross-correlation analysis is made of data on optical and radio-variability of 3C 345 on large time scales (hundred days). A high degree of correlation is found between radio outbursts and "slow" (characteristic time ~ 1 yr) component of optical brightness changes, radio outbursts were delayed for 700–1000 days. Comparison of the time delay with apparent "superluminal" velocity of the radiocomponents of 3C 345 allows to estimate the distance from the nucleus at which the radioemission arises (~ 0.7 milliarcsec).

ЛИТЕРАТУРА

1. B. H. Andrew, G. A. Harvey, W. J. Medd, K. R. Hackney, R. L. Hackney, R. L. Scott, A. G. Smith, R. L. Leacock, B. Q. McGimsey, E. E. Epstein, J. W. Montgomery, J. Mottmann, R. B. Pomphrey, *Ap. J.*, 191, 51, 1974.
2. T. D. Kinman, J. F. C. Wardl, E. K. Conklin, B. H. Andrew, G. A. Harvey, J. M. MacLeod, W. J. Medd, *A. J.*, 79, 349, 1974.
3. R. L. Hackney, K. R. Hackney, A. G. Smith, G. K. Folsom, R. L. Leacock, R. L. Scott, E. E. Epstein, *Astrophys. Lett.*, 12, 147, 1972.
4. R. B. Pomphrey, A. G. Smith, R. J. Leacock, C. N. Olsson, R. L. Scott, J. T. Pollock, P. Edwards, W. A. Dent., *A. J.*, 81, 489, 1976.
5. P. D. Usher, *A. J.*, 84, 1253, 1979.
6. W. A. Dent, T. J. Balonek, A. G. Smith, R. J. Leacock, *Ap. J.*, 227, L9, 1979.
7. Б. М. Лютый, *Письма АЖ*, 6, 223, 1980.
8. P. D. Usher, *Ap. J.*, 172, 425, 1972.
9. Б. В. Комберг, Б. М. Лютый, *Препринт ИКИ*, № 705, 1982.
10. A. J. Pica, A. G. Smith, J. T. Pollock, *Ap. J.*, 236, 84, 1980.
11. T. J. Balonek, W. A. Dent, *Ap. J.*, 240, L3, 1980.
12. W. J. Madd, B. H. Andrew, G. A. Harvey, J. L. Locke, *Mem. Roy. Astron. Soc.* 77, 109, 1972.
13. B. H. Andrew, J. M. MacLeod, G. A. Harvey, W. J. Medd, *A. J.*, 83, 863, 1978.
14. М. К. Бабаджанияц, Е. Т. Белоконов, Н. С. Денисенко, Е. В. Семенова, *Астрон. ж.*, 1985 (в печати).

15. М. К. Бабаджанян, Е. Т. Белокоп, *Астрофизика*, 21, 217, 1984.
16. T. D. Kinman, E. Lamla, T. Ciarla, E. Harlan, C. A. Wirtanen, *Ap. J.*, 152, 357, 1968.
17. Ж. Макс, *Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях*, Мир, М., 1983, стр. 122.
18. М. Холлендер, Д. А. Вульф, *Непараметрические методы статистики*, М., 1983, стр. 206.
19. M. H. Cohen, S. C. Unwin, *Symp. IAU 97*, Eds. D. S. Heesch, C. M. Wade, Dordrecht, D. Reidel, 345, 1982.
20. S. C. Unwin, *Simp. IAU 97*, Eds. D. S. Heesch, C. M. Wade, Dordrecht, D. Reidel, 357, 1982.
21. M. H. Cohen, S. C. Unwin, T. J. Pearson, G. A. Seitelstad, R. S. Simon, R. P. Linfield, R. C. Walker, *Ap. J.*, 269, L1, 1983.

Примечание при корректуре. В статье применялся метод классического кросс-корреляционного анализа, который предполагает нормальное распределение данных. Априорную неопределенность в отношении типа распределения данных можно преодолеть с помощью ранговых статистик. Вычисления ранговых коэффициентов корреляции Спирмена [18] показали, что общий ход кросс-корреляционной функции и в этом случае практически остается неизменным при достаточно высоком значении коэффициента корреляции.