

## Исследование быстрой переменности активных ядер галактик в оптическом и радио диапазонах

А. Е. Вольвач, Л. Н. Вольвач, В. С. Бычкова<sup>1</sup>, Н. С. Кардашев<sup>1</sup>,  
М. Г. Ларионов<sup>1</sup>, В. В. Власюк<sup>2</sup>, О. И. Спиридонова<sup>2</sup>

*НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, Украина*

*<sup>1</sup>Астрокосмический центр ФИАН, Россия*

*<sup>2</sup>Специальная астрофизическая обсерватория, Россия*

С целью обнаружения быстрой (IDV) переменности плотности потока излучения и установления корреляции вариаций потока от источников представлены совместные синхронные наблюдения активных ядер галактик в оптическом и радио диапазонах. Наблюдения радиоисточников 0133+476, 1633+382, 2134+004, 2145+067 и 2251+158 выполнены на РТ-22 КраО на частотах 22.2 и 36.8 ГГц и на 1-метровом рефлекторе Цейс-1000 с ПЗС системой в R фильтре в САО РАН в 2004-2006 гг. В оптическом диапазоне в полосе R зафиксированы кратковременные вспышки у объекта 0133+476 на 0.2 звездной величины за время 15 мин, у объекта 2251+158 на 0.25 звездной величины за время до 20 мин. В остальных источниках существенных колебаний потока не было обнаружено. В радиодиапазоне изменения потока у источников 0133+476, 2134+004 достигали 1.5 Ян за 15 мин, у объекта 2145+067 – до 3 Ян за 2 ч. Зафиксированы хаотические колебания потока у объекта 2251+158: за 0.5 ч на  $2 \div 2.5$  Ян. Корреляции между излучением в оптическом и радиодиапазоне обнаружено не было.

### Наблюдения в радиодиапазоне

Наблюдения на частотах 22.2 и 36.8 ГГц проводились с помощью 22-метрового радиотелескопа (РТ-22) НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” при помощи модуляционных радиометров. Антенная температура от источников измерялась методом “ON-ON”. Перед измерением интенсивности излучения положение источника уточнялось сканированием по прямому восхождению и склонению. Затем радиотелескоп устанавливался на источник поочередно одним и другим лепестками диаграмм направленности, формирующимися при диаграммной модуляции и имеющими взаимно ортогональные поляризации.

Антенная температура от источника определялась как разность между усредненными в течение 30 с откликами радиометра в двух различных положениях антенны. В зависимости от интенсивности излучения источника, проводились серии из  $6 \div 20$  измерений, после чего рассчитывалось среднее значение сигнала, и оценивалась среднеквадратичная ошибка среднего. Ортогональная поляризация лепестков позволяла измерять полную интенсивность излучения от источника независимо от поляризации этого излучения. Поглощение излучения в атмосфере Земли учитывалось методом “разрезов атмосферы”, производившихся через  $3 \div 4$  часа.

Измеренные антенные температуры, исправленные с учетом поглощения излучения в атмосфере Земли, пересчитывались в плотности потоков по данным наблюдений калибровочных источников.

### Фотометрические наблюдения

Фотометрические наблюдения проводились с использованием автоматического UBVR-I фотометра, установленного в кассегреновском фокусе телескопа Цейс-1000. В качестве светоприемника использовалась охлаждаемая жидким азотом матрица EEV 42 – 40 с  $2048 \times 2048$  элементами. Масштаб изображения в приемнике составлял 0.21 элемент в поле зрения разме-

ром  $7 \times 7'$ . Такие параметры системы в сочетании с высокой квантовой чувствительностью и малыми шумами сделали возможным получение надежных фотометрических оценок для объектов  $19 \div 20$  звездной величины при экспозициях в  $5 \div 10$  мин. Время считывания полного кадра составляло 90 с, а при использовании процедуры поэлементного сложения сигнала на приемнике – менее 20 с. Наблюдения проводились в R фильтре. В зависимости от яркости объекта и требуемого временного разрешения время экспозиции изменялось от 30 до 300 с. Качество изображения в разные ночи колебалось в интервале от  $0.9$  до  $3.5''$ , составляя в среднем  $2''$ .

Процедура обработки полученных кадров выполнялась стандартным способом, принятым для ПЗС систем. Из каждого результата накопления вычитался усредненный кадр для темнового тока, характеризующий аддитивную добавку к сигналу, формируемую системой регистрации независимо от уровня регистрируемого излучения. Для ПЗС-детекторов, охлажденных до  $120 \div 130$  К, темновой ток в отдельной экспозиции не превышал 2–3 электронов при уровне накопления фона неба в  $50 \div 100$  электронов. В качестве опорного изображения для устранения мелкомасштабных неоднородностей чувствительности приемника и коррекции виньетирования по полю зрения использовались экспозиции яркого вечернего и утреннего неба.

При оценке блеска исследуемых и опорных источников применялся модифицированный метод интегрирования сигнала в кольцевых апертурах с удалением отсчетов, превышающих заданный статистический уровень. Для каждого исследуемого объекта выборки выполнены фотометрические привязки по калибровочным объектам поля. В дальнейшем их блеск использовался для определения яркости исследуемых источников.

Обработка фотометрических данных проводилась с помощью математического обеспечения, разработанного сотрудником САО РАН В. В. Власюком.

### Анализ результатов

Проведено 6 сетов наблюдений, включая каждую весну и осень с 2004 по 2006 гг. Выбранные источники являются известными излучателями в оптическом и радио диапазонах и показывают флуктуации плотности потока в отдельных полосах частот. Классификация объектов и их красные смещения приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Имя	$z$	Класс
<u>[HB89]0133+476 (DA 55)</u>	0.859	Q
<u>[HB89]1633+382 (4C38.41)</u>	1.814	Q
<u>[HB89]2145+067</u>	0.990	Q
<u>[HB89]2251+158 (3C 454.3)</u>	0.859	Q

[HB89]0133+476 (DA 55) – известный блазар с  $z = 0.859$ . Имеет необычно высокую оптическую поляризацию (20.8 % с позиционным углом  $67^\circ$ ). Уровень поляризации в радиодиапазоне в области частот 1.4 и 5 ГГц составляет 1.5 %. Источник на радиокартах представляет собой компактное ядро с протяженным односторонним джетом. В миллиметровом и сантиметровом диапазонах длин волн объект имеет плоский спектр, поток варьируется от 2 до 4 Ян [1]. Кривые блеска на разных частотах известны с 1987 г. [2, 3].

Источник наблюдался в течение двух сетов по  $7 \div 10$  дней в 2005 и 2006 гг. (рис. 1). В 2005 г. в оптическом диапазоне в полосе R в течение каждой ночи замечены хаотические колебания блеска амплитудой  $0.1 \div 0.15$  звездной величины. В период 27–28 сентября наблюдалось небольшое ослабление блеска на 0.2 звездной величины. За 8 дней наблюдений виден тренд в сторону равномерного ослабления потока на 0.6 звездной величины. В радиодиапазоне на частоте 36 ГГц объект наблюдали в течение одной ночи. Зарегистрированы изменения плотности потока с амплитудой  $0.5 \div 1.2$  Ян.

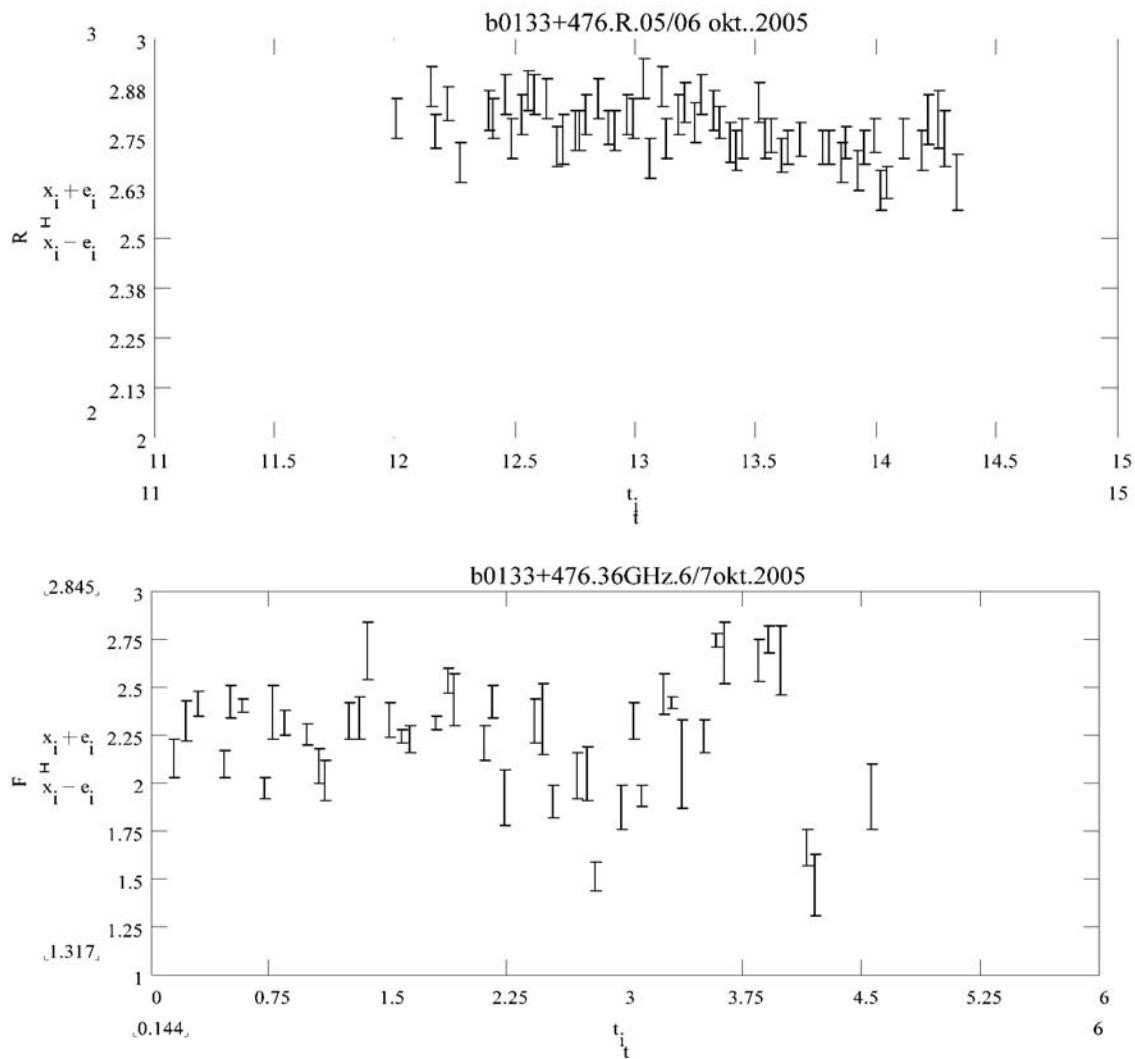


Рис. 1. Кривые блеска источника 0133+476

В 2006 г. в течение каждой ночи в источнике были отмечены нерегулярные колебания потока, амплитуда которых менялась от 0.1 до 0.2 звездной величины. За 6 ночей наблюдений зафиксированы вариации блеска с амплитудой 0.3 звездной величины. В радиодиапазоне на частоте 36 ГГц замечены хаотические колебания потока с амплитудой  $1.5 \div 2$  Ян. Однако за 7 дней средний поток оставался почти постоянным, около 3 Ян. Корреляции между изменениями потоков в оптическом и радио диапазонах не обнаружено.

**[HB89]1633+382 (4C38.41)** классифицирован как квазар с  $z = 1.814$ . Отличается высокой активностью в гамма-диапазоне, которая на промежутках времени менее двух суток на 2 порядка выше, чем в других диапазонах. Спектр в этом диапазоне степенной с переменным спектральным индексом: в интервале от 30 МэВ до 30 ГэВ  $\alpha \approx 0.9$ ; в радиодиапазоне от 1.5 до 90 ГГц спектральный индекс почти равен нулю, а в ближней ИК области  $\alpha \approx 1.1$  [4].

С начала наблюдений (1969 г.) квазар известен как переменный источник на масштабах времени  $200 \div 400$  дней. Переменность в радиодиапазоне на разных частотах составляет  $2 \div 3$  Ян, в оптическом – до 3 звездных величин. В оптическом диапазоне переменность обнаружена

на масштабах времени от недели до суток, а в радиодиапазоне – даже до 2 ч. Уровень оптической поляризации составляет 2.6 % [5].

В радиодиапазоне источник переменен на частотах от 1.5 до 90 ГГц и имеет почти плоский спектр с максимумом вблизи частоты 20 ГГц [6]. На РСДБ картах объект представляет собой компактный источник с односторонним джетом. Синхронные наблюдения в радио (22 и 37 ГГц) и оптическом диапазонах проводились в 1995 г. и показали отсутствие корреляции [7].

Наблюдения источника были проведены в мае 2004 – 2006 гг. В оптическом диапазоне в объекте отмечены колебания блеска амплитудой до 0.2 звездной величины. Тренда в течение ночей не наблюдалось. В радиодиапазоне на частотах 22.2 и 36.8 ГГц зарегистрированы изменения плотности потока величиной до 0.5 Ян, также без заметного тренда в течение ночи (рис. 2).

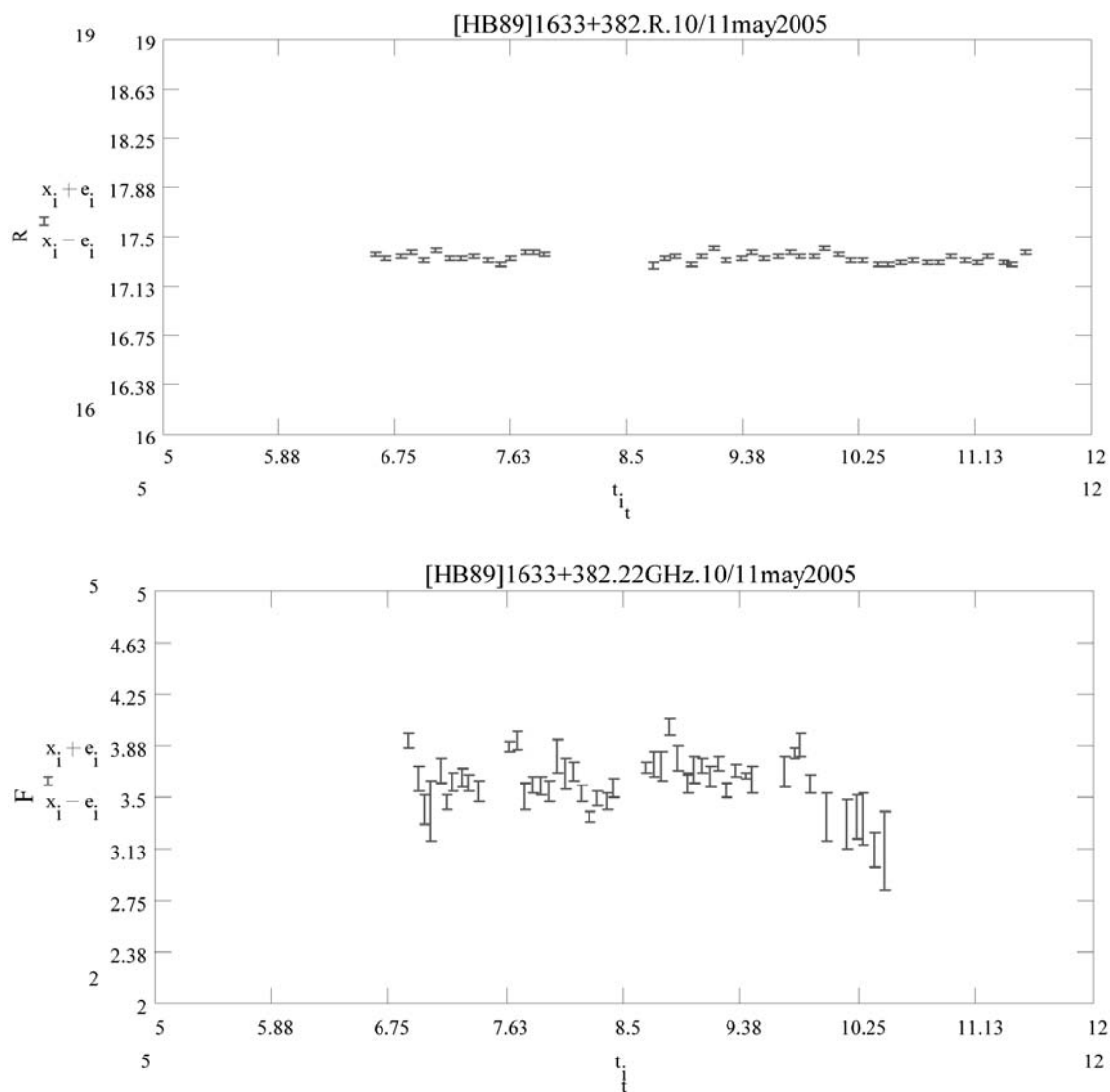


Рис. 2. Кривые блеска источника 1633+382

За время совместных наблюдений в радио и оптическом диапазонах значимых совпадений в изменениях потоков не было отмечено. Более высокая активность источника 1633+382 в 2004 г. по сравнению с 2005 г. может быть следствием изменений его потока после вспышки в 2002 г. Временные масштабы колебаний потока составляли десятки минут.

**[HB89]2145+067** – радиоквazar,  $z=0.990$ . В радиодиапазоне – это источник с инвертированным спектром. По радиоизображениям обнаружено, что квазар представляет собой двойной

объект, расстояние между компонентами которого составляет 0.5 mas, при позиционном угле  $P.A.=61^\circ$ . Зарегистрирована сильная переменность на длинных шкалах времени [8].

По наблюдениям в полосе R осенью 2005 и 2006 гг. зарегистрированы колебания плотности потока в пределах 0.1 звездной величины в течение каждой ночи. За весь период сети наблюдений видны слабые флуктуации блеска в пределах 0.025 звездной величины. На частоте 36 ГГц колебания плотности потока в течение ночи составляли 1 и 2.5 Ян (рис. 3).

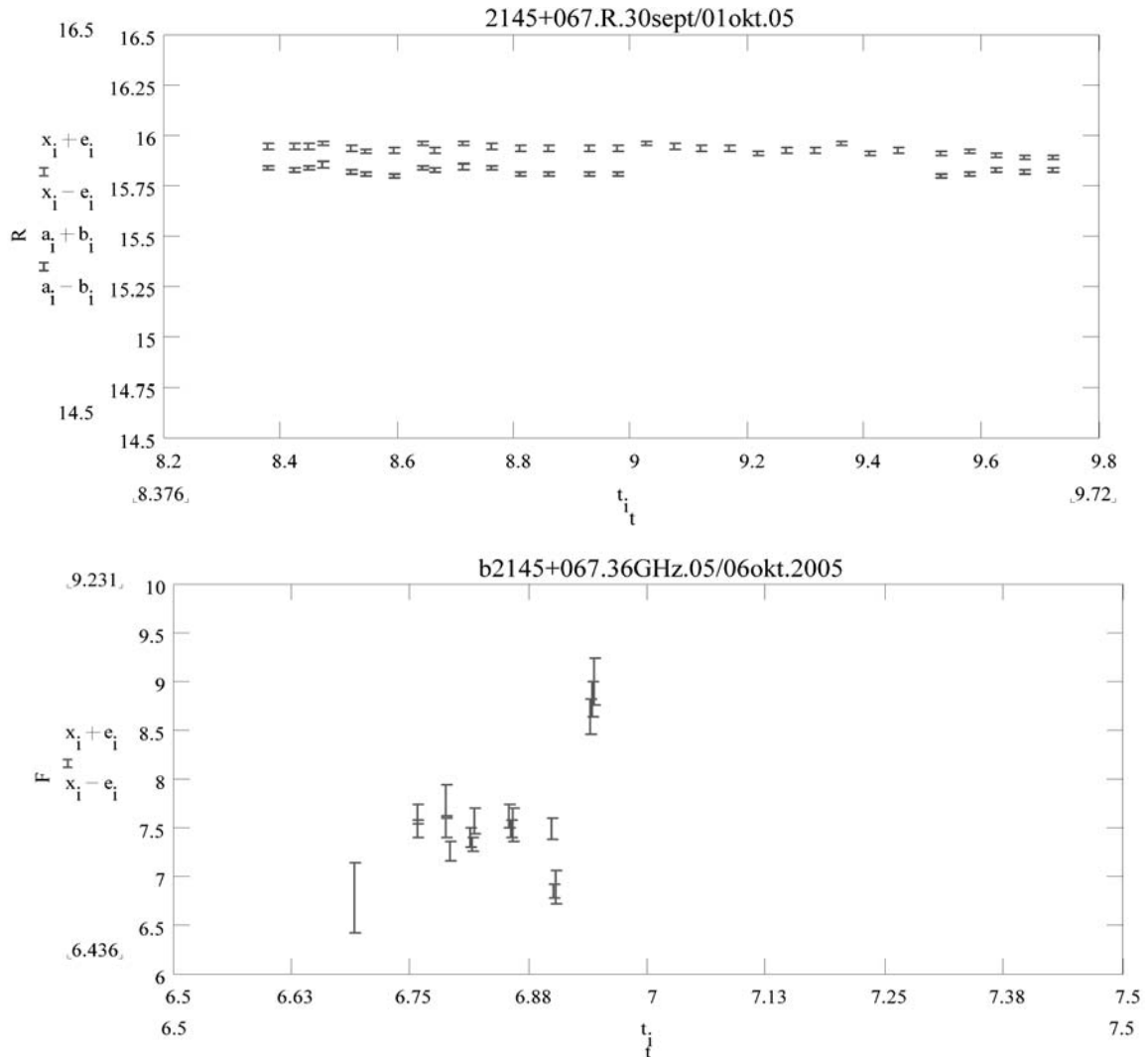


Рис. 3. Кривые блеска источника 2145+067

Сравнивая кривые блеска в полосе K и на частоте 36.8 ГГц на масштабах времени несколько суток, можно видеть две разные тенденции: в то время как в оптическом диапазоне происходит убывание блеска, в радиодиапазоне поток возрастает.

**[HB89]2251+158 (3C 454.3)** – радиоквazar с плоским спектром,  $z=0.859$ . Объект представляет собой типичный блазар с высокой степенью переменности потока излучения. Это один из наиболее ярких внегалактических радиоисточников на небе. Состоит из яркого компактного ядра с односторонним джетом [9]. Обнаружена переменная поляризация потока в области ядра от 1 % на частоте 8 ГГц, до 0.7 % на частоте 15 ГГц [10]. Источник проявляет заметную переменность в оптическом и радио диапазонах как на больших, так и на коротких шкалах времени [11, 12].

Наблюдения были проведены осенью 2005 г. и выявили слабые хаотические колебания в R полосе в пределах 0.1 звездной величины. За период 4 дня зарегистрированы незначительные флуктуации плотности потока с амплитудой 0.05 звездной величины. На частоте 36.8 ГГц в течение одной ночи колебания потока достигали 1.5 Ян. Осенью 2006 г. колебания блеска в R полосе были очень слабыми (меньше 0.1 звездной величины) и хаотическими, в то время как амплитуда колебания потока на частоте 36.8 ГГц достигала 3 Ян (рис. 4).

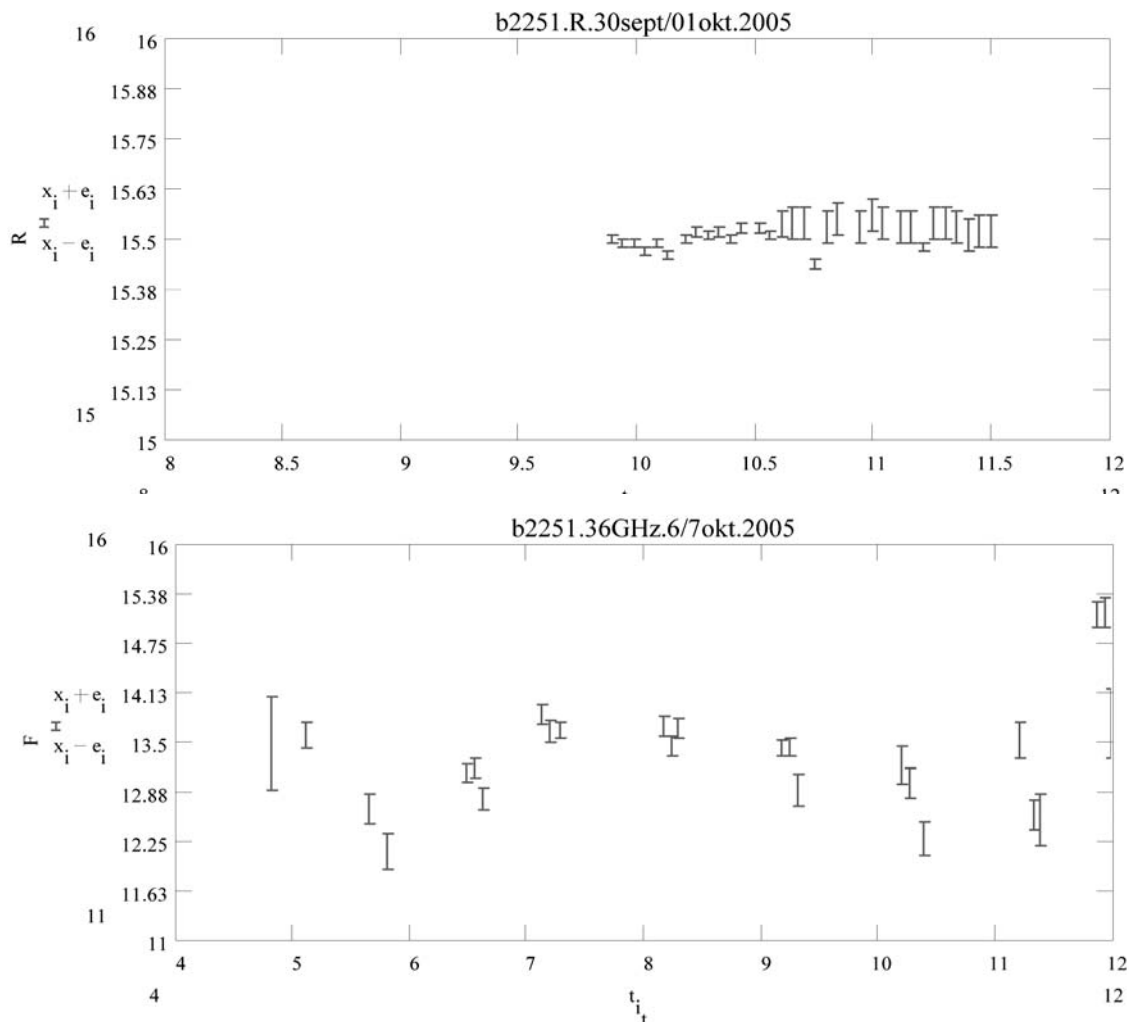


Рис. 4. Кривые блеска источника 2251+158

За весь период наблюдений (около 5 ночей) зарегистрирован тренд в R полосе в сторону ослабления блеска, в то время как в полосе 36.8 ГГц наблюдается тренд в сторону возрастания плотности потока. Корреляции в оптическом и радио диапазонах во всех случаях обнаружить не удалось.

### Выводы

Проведено 6 циклов наблюдений ярких представителей блазаров с целью обнаружения корреляции в быстрых изменениях потоков в оптическом и радио диапазонах. Были обнаружены заметные изменения плотности потока излучения как в оптическом, так и в радиодиапазоне.

Быстрые флуктуации плотности потока в этих диапазонах длин волн иногда происходили как на фоне более медленных изменений уровня излучения (трендов), так и с сохранением среднего уровня потока излучения.

Не обнаружено сколько-нибудь значимой корреляции между быстрыми изменениями потока в оптическом и радио диапазонах. Наличие возможной антикорреляции в изменении потока в двух указанных диапазонах требует дополнительного уточнения.

Отсутствие заметной корреляции одновременных изменений потоков излучения в различных диапазонах может указывать на то, что мы наблюдаем явления переменности потока излучения в оптическом и радио диапазонах после того, как сформируются условия острой направленности излучения в коллимированном пучке выброса из полярной области системы “центральная черная дыра – внутренние области аккреционного диска”. В этом случае должна быть задержка в развитии явления вспышки от оптического диапазона к радиодиапазону.

### Литература

1. Pearson T. J., Readhead A. C. S. The milliarcsecond structure of a complete sample of radio sources. II - First-epoch maps at 5 GHz. *Astrophysical Journal*. 1988, Vol. 328, pp.114-142.
2. Terasranta H., Wiren S., Koivisto P., Saarinen V., Hovatta T. 24 year monitoring of extragalactic sources at 22 and 37 GHz. *Astronomy and Astrophysics*. 2005, Vol. 440, pp. 409-410.
3. Robson E. I., Stevens J. A., Jenness T. Observations of flat-spectrum radio sources at  $\lambda 850 \mu\text{m}$  from the James Clerk Maxwell Telescope - I. 1997 April to 2000 April. *MNRAS*. 2001, Vol. 327, pp. 751-770.
4. Mattox J. R., Bertsch D. L., Chiang J., Dingus B. L., Fichtel C. E., Hartman R. C., Hunter S. D., Kanbach G., Kniffen D. A., Kwok P. W., Lin Y. C., Mayer-Hasselwander H. A., Michelson P. F., von Montigny C., Nolan P. L., Pinkau K., Schneid E., Sreekumar P., Thompson D. J. The EGRET detection of quasar 1633+382. *Astrophysical Journal*. 1993, Vol. 410, pp. 609-614.
5. Moore R. L. and Stockman H. S. A comparison of the properties of highly polarized QSOs versus low-polarization QSOs. *Astrophysical Journal*. 1984, Vol. 279, pp. 465-484.
6. Landau R., Golisch B., Jones T. J., Jones T. W. Pedelty J., Rudnick L., Sitko M. L., Kenney J., Roellig T., Salonen E., Urpo S., Schmidt G., Neugebauer G., Matthews K., Elias J. H., Impey C., Clegg P., Harris, S. Active extragalactic sources – Nearly simultaneous observations from 20 centimeters to 1400 A. *Astrophysical Journal*. 1986, Vol. 308, pp. 78-92.
7. Hanski M. T., Takalo L. O., Valtaoja E. Correlated radio and optical variations in a sample of AGN. *Astronomy and Astrophysics*. 2002, Vol. 394, pp. 17-31.
8. Tornikoski M., Jussila I., Johansson Peter, Lainela M., Valtaoja E. Radio Spectra and Variability of Gigahertz-Peaked Spectrum Radio Sources and Candidates. *Astron. J.* 2001, Vol. 121, pp. 1306-1318.
9. Marshall H. L., Schwartz D. A., Lovell J. E. J., Murphy D. W., Worrall D. M., Birkinshaw M., Gelbord J. M., Perlman E. S., Jauncey D. L. A Chandra Survey of Quasar Jets: First Results. *The Astrophysical Journal Supplement Series*. 2005, Vol. 156, pp. 13-33.
10. Zavala R. T. , Taylor G. B. A View through Faraday’s Fog: Parsec-Scale Rotation Measures in Active Galactic Nuclei. *Astrophysical Journal*. 2003, Vol. 589, pp. 126-146.
11. Xie G. Z., Li K. H., Bai J. M., Dai B. Z., Liu W. W., Zhang X., Xing S. Y. Search for Short Variability Timescale of the GeV Gamma-Ray-Loud Blazars. *Astrophysical Journal*. 2001, Vol. 548, pp. 200-212.
12. Villata M., Raiteri C. M., Ghisellini G., Francesco G. D., Bosio S., Latini G., Bucciarelli B., Chiaberge M., Chiumiento G., Cora A., Lanteri L., Lattanzi M. G., Massone G., Peila A., Racioppi F., Smart R. L., Scaltriti F., Anderlucci E. Optical photometric monitoring of  $\gamma$ -ray loud blazars. I. Observations from November 1994 to November 1995. *A&A Supplement series*. 1997, Vol. 121, pp. 119-138.

### Дослідження швидкої змінності активних ядер галактик у оптичному та радіо діапазонах

**О. Є. Вольвач, Л. М. Вольвач, В. С. Бичкова, М. С. Кардашев,  
М. Г. Ларіонов, В. В. Власюк, О. І. Спірідонова**

З метою виявлення швидкої (IDV) змінності густини потоку випромінювання і встановлення кореляції варіацій потоку від джерел подаються спільні синхронні спостереження активних ядер галактик в оптичному і радіо діапазонах. Спостереження радіоджерел 0133+476, 1633+382, 2134+004, 2145+067 і 2251+158 виконано на РТ-22 КрАО на частотах 22.2 і 36.8 ГГц і на

1-метровому рефлекторі Цейс-1000 із ПЗС системою в R фільтрі в САО РАН у 2004-2006 рр. В оптичному діапазоні в смузі R зафіксовано короточасні спалахи у об'єкта 0133+476 на 0.2 зоряної величини на інтервалі часу 15 хв, у об'єкта 2251+158 на 0.25 зоряної величини на інтервалі до 20 хв. У інших джерел істотних коливань потоку не виявлено. У радіодіапазоні зміни потоку в джерел 0133+476, 2134+004 досягали 1.5 Ян за 15 хв, у об'єкта 2145+067 – до 3 Ян за 2 год. Зафіксовано хаотичні коливання потоку у об'єкта 2251+158: за 0.5 год на  $2\div 2.5$  Ян. Кореляції між випромінюванням в оптичному і радіодіапазоні не виявлено.

### **Investigation of Intraday Variability of Active Galactic Nuclei in Optical and Radio Ranges**

**O. E. Volvach, L. N. Volvach, V. S. Bichkova, M. S. Kardashev,  
M. G. Larionov, V. V. Vlasyuk, and O. I. Spiridonova**

For detection of intraday flux density variability and the search for their possible correlation in radio and optical wavelengths the combined radio and optical observations of the active galactic nuclei were carried out. The radio sources 0133+476, 1633+382, 2134+004, 2145+067 and 2251+158 were observed with the CrAO RT-22 at frequencies 22.2 and 36.8 GHz and with the SAO RAS 1-m Zeiss-1000 reflector with CCD camera in 2004-2006. The variation in the R-bands were within  $0.2^m$  at time scale 15 min in 0133+476 and  $0.25^m$  at time scale 20 min in 2251+158. In the rest of sources no significant flux density variability was observed. In the radio band the flux density variability of the sources 0133+476, 2134+004 was 1.5 Jy at time scale 15 min, and 3 Jy at time scale 2 h in 2145+067. The chaotic fluctuations of the flux density of 2251+158 were observed:  $2\div 2.5$  Jy at time scale 0.5 h. No correlation between the variability in optical and radio wavelengths was observed.