

## ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ЧЕТЫРЕХ ОБЪЕКТОВ, ОТОЖДЕСТВЛЕННЫХ С ПЕРЕМЕННЫМИ РАДИОИСТОЧНИКАМИ

В. Чавушян\*, Р. Мухика\*, А.Г. Горшков\*\*, В.К. Конникова\*\*, М.Г. Мингалиев\*\*\*

\* *Национальный институт Астрофизики, Оптики и Электроники, Пуэбла, Мексика*

\*\* *Государственный Астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия*

\*\*\* *Специальная Астрофизическая обсерватория РАН, пос. Нижний Архыз,  
Карачаево-Черкесская Республика, Россия*

Получены оптические спектры четырех объектов, отождествленных с переменными радиоисточниками. Три объекта (0029+0554, 0400+0550, 2245+0500) оказались квазарами с красными смещениями 1.314, 0.761 и 1.091. Один объект (2349+0534) имеет континуальный спектр, характерный для объектов типа BL Lac. Рассмотрены спектры радиоисточников в диапазоне 0.97 – 21.7 ГГц на эпоху 1997 г. и в диапазоне 3.9 – 11.1 ГГц на эпоху 1990 г. и характер переменности плотности потоков радиоисточников на масштабах времени 1.5 и 7 лет.

**OPTICAL SPECTRA OF FOUR OBJECTS IDENTIFIED WITH VARIABLE RADIO SOURCES V. Chavushyan, R. Mujica, A.G. Gorshkov, V.K. Konnikova, M.G. Mingaliev.**

Optical spectra of four objects identified with variable radio sources are obtained. Three objects (0029+0554, 0400+0550, 2245+0500) were found to be a QSO with red shifts 1.314, 0.761 and 1.091. One object (2349+0534) belongs to a BL Lac class. The spectra in frequency ranges 0.97 – 21.7 GHz (epoch 1997) and 3.9 – 11.1 GHz (epoch 1990), the flux density variability over the course 1.5 and 7 years are considered.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе получены оптические спектры четырех объектов: (0029+0554, 0400+0550, 2245+0500, 2349+0534) из полной по потоку выборки радиоисточников Зеленчукского обзора (Амирханян и др., 1985). Выборка содержит все источники с потоками  $S > 200$  мЯн на частоте 3.9 ГГц и охватывает 24 часа по прямому восхождению в области склонений  $4^\circ - 6^\circ$  и  $|b| > 10^\circ$  (Горшков, Конникова, 1995). Достаточно низкий предельный поток выборки приводит к тому, что до красных смещений  $z \approx 1$  наблюдается вся функция светимости квазаров, что позволит при получении красных смещений для всех объектов выборки попытаться обнаружить космологическую эволюцию функции светимости квазаров.

## ОПТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Оптические наблюдения проводились в октябре 1998 года на 2.1-м телескопе Guillermo Naig Observatory in Cananea (Мексика) Национального института Астрофизики, Оптики и Электроники (INAOE). Использовался LFOSC спектрофотометр, оборудованный CCD-матрицей  $600 \times 400$  пикселей (Зикграф и др., 1997). Шумы считывания детектора составляли 8 электрон. Диапазон длин волн составлял  $4200 - 9000 \text{ \AA}$  с дисперсией  $8.2 \text{ \AA}$ . Эффективное инструментальное спектральное разрешение было около  $16 \text{ \AA}$ .

Обычная процедура обработки — устранение космических лучей, коррекции наклонного и плоского поля, линеаризация длины волны и калибровка потока проводилась с помощью пакета обработки IRAF.

Источник 0440+0550 наблюдался с экспозицией 60 минут, остальные источники с экспозицией 40 минут. Звездные величины получены из Automated Plate Scanner Catalog of the Palomar Sky Survey (Пеннигтон и др., 1993).

## НАБЛЮДЕНИЯ В РАДИОДИАПАЗОНЕ

Наблюдения всех четырех радиоисточников проводились ежегодно с 1984 по 1992 г. на частотах 3.9 и 7.5 (или 7.7) ГГц на Южном секторе РАТАН-600. В 1990 г. были получены спектры источников на частотах 3.9, 4.8, 7.7 и 11.1 ГГц (Амирханян и др., 1992) на Южном и Северном секторах. С 1996 г. наблюдения источников проводились 2 – 3 раза в год одновременно на шести частотах 0.97, 2.3, 3.9, 7.7, 11.1 и 21.7 ГГц на Северном и Западном секторах РАТАН-600. Параметры используемых приемников и характеристики диаграмм направленности Северного и Западного секторов РАТАН-600 приведены в работах Берлина и др. (1997); Боташева и др. (1998). Те же характеристики для Южного сектора приведены в работе Амирханяна и др. (1992). В каждой серии источники наблюдались по 10 – 15 раз. Поток источника получался осреднением всех данных в каждой серии. Ошибка потока определялась из разброса потоков, открываемых каждый день в данной серии и включает в себя все виды ошибок: шумовую, ошибку калибровки, ошибку привязки калибровочного сигнала, ошибки установки антенны и т.д. Методика обработки описана в работе Горшкова, Хромова (1981). Шкалы плотностей потоков, полученных в разные годы, приведены к шкале, принятой в работе Боташева и др. (1998), в которой представлены результаты наблюдений всех источников выборки со степенными спектрами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 приведены имена, радиокоординаты объектов и разность оптического и радиоположений. В первой колонке приведены имена источников, составленные из часов и минут прямого восхождения и градусов и минут склонения на эпоху 2000 года. В скобках приведены названия объектов для эпохи 1950 г., фигурировавшие в более ранних работах.

Таблица 1: Имена, радикоординаты и разность координат "радио-оптика".

Имя источника	Радиокоординаты J2000.0		"радио-оптика"	
	R.A.	Decl.	R.A.	Decl.
	hh mm ss.ss	dd mm ss.ss	угл. сек	угл. сек
0029+0554 (0027+056)	00 29 45.90	+05 54 40.69	-0.30	0.09
0400+0550 (0357+057)	04 00 11.74	+05 50 43.14	0.0	-0.46
2245+0500 (2243+047)	22 45 53 65	+05 00 56.96	-1.35	-1.04
2349+0534 (2346+052)	23 49 21.06	+05 34 39.85	0.15	-0.55

Радиокоординаты получены из каталога 2118 компактных радиоисточников северного неба JVAS2 (Браун и др. 1998), среднеквадратичная ошибка координат в этом каталоге составляет 0.014 угл. сек. Ошибка получения координат оптических объектов 0.5 угл. сек. (Пеннингтон и др., 1993).

Разность радио и оптических координат для всех источников меньше  $3\sigma$  совокупной ошибки радио и оптических координат.

**Источник 0029+0554** Отождествлен со звездообразным объектом (Шимминс и др., 1975). На рис. 1А приведен оптический спектр объекта. Спектр показывает две интенсивные линии, которые можно интерпретировать как полузапрещенную линию СIII],  $1909\text{\AA}$  и линию марганца MgII  $2798\text{\AA}$  на красном смещении  $z = 1.314$ . Спектр типичен для квазаров. Наблюдения источника на РАТАН-600 показали, что его плотность потока медленно увеличивается: с 1990 г. по 1997 г. плотность потока выросла с 300 мЯн до 480 мЯн на частоте 3.9 ГГц и с 360 до 498 мЯн на частоте 7.5 ГГц. На рис. 2А приведены спектры источника 0029+0554 в диапазоне частот 3.9 – 11.1 ГГц, полученные 08.1990 г. и в диапазоне 0.97 – 21.7 ГГц, полученные 08.1997 г. Оба спектра растущие, двухчастотный спектральный индекс между частотами 3.9 и 7.5 ГГц в обоих спектрах  $\alpha \approx 0.23$  ( $S \propto \nu^\alpha$ ). В спектре, полученном 08.1997 г., максимум плотности потока достигается на частоте 22.7 ГГц. В течение 1.5 года источник наблюдался на 6 частотах в четырех сериях и не обнаружил статистически значимой переменности плотности потока. Относительная амплитуда переменности  $V$  считалась по методике, приведенной в работе Сейлстада и др. (1983). На временном масштабе около 8 лет (1984 – 1992 гг.) относительная амплитуда долговременной переменности равна 0.11 и 0.14 на частотах 3.9 и 7.5 ГГц (Горшков, Конникова, 1995). Все радионаблюдения показывают, что плотность потока радиоисточника 0029+0554 меняется достаточно медленно и наблюдается развитие одной вспышки на стадии ускорения электронов и/или усиления магнитного поля. Абсолютная спектральная радиосветимость радиоисточника 0027+056 на частоте максимума в однородной изотропной космологической модели с равной нулю космологической постоянной, параметром замедления  $q_0 = 0.5$  и  $H=50$  (км/с)/Мпк равна  $L_\nu = 2.5 \times 10^{34}$  эрг/с Гц.

**Источник 0400+0550** Отождествлен со звездообразным объектом (Лоуренс и др., 1986). В оптическом спектре источника, приведенном на рис. 1В, присутствуют три линии, которые интерпретируются как линия MgII  $2798\text{\AA}$ , линии  $H_\gamma$   $4340\text{\AA}$  и  $H_\beta$   $4861\text{\AA}$  на красном смещении  $z = 0.761$ . Спектр типичен для квазаров. На рис. 2В приведены спектры источника 0400+0550 в диапазоне 3.9 – 11.1 ГГц, полученные 08.1990 г. и в диапазоне 0.97 – 21.7 ГГц, полученные 05.1997 г.

Спектр, полученный 08.1990 г., падающий со средним степенным индексом  $\alpha = -0.23$ , типичным для спектра вспышки в оптически тонкой области спектра. Спектр, полученный 05.1997 г., комплексный, его можно разделить на две компоненты: протяженную со степенным спектром и компактную с максимумом в спектре, обусловленным синхротронным самопогло-

щением на частоте 13.63 ГГц, т.е. наблюдается начальная стадия развития новой вспышки. В период наблюдения источника с 04.1996 г. по 05.1997 г. не обнаружено статистически значимой переменности плотности потока. Относительная амплитуда долговременной переменности за 7 лет  $V = 0.13$  и  $0.15$  на частотах 3.9 и 7.5 ГГц (Горшков, Конникова, 1995). В отличие от предыдущего источника, у источника 0400+0550 существуют вариации с характерным временем 2 – 3 года. Абсолютная спектральная радиосветимость радиоисточника на частоте максимума спектра, полученного 05.1997 г.,  $L_\nu = 8.6 \times 10^{33}$  эрг/с Гц.

**Источник 2245+0500** Отождествлен со звездообразным объектом Бугаенко и др. (1993). В сентябре 1989 г. источник наблюдался на 1-м телескопе экспедиции ИТФА АН Литвы на горе Майданак в Узбекистане в фильтрах U, B, V. Звездная величина в фильтре U была равна  $19.3 \pm 0.5$ ,  $U-B = 0$ ,  $B-V = 0.3$  (Бугаенко и др., 1993).

В оптическом спектре, полученном в данной работе (рис. 1C) присутствует одна линия. По форме и интенсивности это линия MgII 2798Å на красном смещении  $z = 1.091$ , то есть объект относится к классу квазаров. звездная величина в фильтрах B и R равна 18.6 и 18.4. Возможно, источник имеет переменный поток и в оптическом диапазоне.

На рис. 2C приведены мгновенные спектры радиоисточника, полученные 08.1990 г. и 11.1997 г. Оба спектра имеют спектральный индекс  $\alpha = 0$  практически во всем сантиметровом диапазоне, однако вычитание протяженной компоненты из комплексного спектра, полученного в 1997 г. показывает присутствие компактной компоненты с максимумом плотности потока на частоте 15 ГГц. Источник наблюдался на 6 частотах с 07.1996 г. по 02.1998 г., относительная амплитуда переменности V на частотах 3.9, 7.7 и 11.1 ГГц составила 0.11, 0.32 и 0.38 соответственно. Относительная амплитуда долговременной переменности, приведенная в статье Горшкова и Конниковой (1995), составляла 0.34 и 0.41 на частотах 3.9 и 7.5 ГГц.

По результатам проведенных в январе – феврале 1998 г. ежедневных наблюдений на РАТАН-600 у источника не обнаружено быстрой переменности на масштабах меньше 30 дней.

Абсолютная спектральная радиосветимость источника на частоте максимума в спектре компактной компоненты равна  $L_\nu = 1.25 \times 10^{34}$  эрг/с Гц.

**Источник 2349+0534** Отождествлен со звездообразным объектом (Бугаенко и др., 1993). Оптический спектр объекта (рис. 1D) чисто континуальный, без заметных линий. Спектр характерен для лацертид. Оптический спектр получен, по-видимому, во время вспышки активности источника в радиодиапазоне. За период наблюдения с 1984 по 1992 гг. плотность потока радиоисточника была одинаковой практически во всех наблюдениях, среднее значение плотности потока на частотах 3.9 и 7.5 ГГц равно 300 и 305 мЯн, спектральный индекс во всех наблюдениях был практически равен нулю.

После значительного перерыва источник наблюдался на 6 частотах с 04.1996 г. по 08.1997 г. Плотность потока возросла, по-видимому, мы наблюдали начальную стадию вспышки в начале 1996 г. На рис. 2D показаны спектры источника в эпоху 08.1990 г. и 08.1997 г.

Спектр 08.1997 г. комплексный, разделен на две компоненты, мощная протяженная со степенным спектром  $\alpha = -0.9$  и компактная компонента с максимумом в спектре на частоте 10.7 ГГц.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты оптических наблюдений и некоторые характеристики объектов в радиодиапазоне представлены в таблице 2.

Из 4-х объектов, оптические спектры которых получены, три объекта — квазары и один объект типа VL Lacertae. У всех источников отношение плотностей потоков в радио и оптическом диапазонах находится в пределах  $(1.8 - 3.6) \times 10^3$ .

Таблица 2: Сводные результаты оптических наблюдений

Объект	Линии	Å	Тип	z	B	R	S, мЯн		V	
							3.9, 11.1	1997	3.9, 7.5	1984–1991
0027+056	CIII]	1909	QSO	1.314	18.7	18.3	422 (9)		0.11	
	MgII	2798					524 (6)		0.14	
0357+057	MgII	2798	QSO	0.761	18.1	17.5	387 (9)		0.12	
	H <sub>γ</sub>	4340					497 (13)		0.13	
	H <sub>β</sub>	4861								
2243+047	MgII	2798	QSO	1.091	18.6	18.4	405 (8)		0.34	
							399 (8)		0.41	
2346+052	нет		Лас		19.0	18.0	366 (11)		0	
							400 (10)		0	

Авторы благодарят J. Miramon, G. Miramon, R. Gonzales, and S. Noriega за техническую поддержку и помощь при наблюдениях на 2.1-м телескопе.

Работа поддержана грантом РФФИ N 98-02-16428, грантом Университеты России N 5561 и грантом ГНТП "Астрономия" Проект 1.2.5.1 и частично грантом CONACYT No 28499-E

## Список литературы

- [1] Амирханян В.Р., Горшков А.Г., Капусткин А.А. и др. // Сообщения Спец. астрофиз. обсерв. 1985. Т. 47. С. 5.
- [2] Амирханян В.Р., Горшков А.Г., Конникова В.К. // Астрон. журн. 1992. Т. 69. С. 225.
- [3] Берлин А.Б., Максяшева А.А., Нижельский Н.А. и др. // Тезисы докл. XXVII радиоастрон. конф. С-Петербург, 1997. Т. 3. С. 115.
- [4] Боташев А.М., Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г. // Препринт САО РАН. 1998. No. 132.
- [5] Браун и др. (Browne I.W.A., Patnaik A.R., Wilkinson P.N., Wrobel J.M.) // Mon. Not. R. Astron. Soc. 1998. Т. 293. P. 251.
- [6] Бугаенко О.И., Горшков А.Г., Есипов В.Ф. и др. // Письма в "Астрон.журн." 1993. Т. 19. С. 136.
- [7] Горшков А.Г., Хромов О.И. // Астрофиз. исслед. (Изв.САО). 1981. Т. 14. С. 15.
- [8] Горшков А.Г., Конникова В.К. // Астрон. журн. 1995. Т. 72. С.291
- [9] Зикграф и др. (Zickgraf F.J., Thiering I., Krautter J. et al.) // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 1997. V. 123. P. 103.
- [10] Лоуренс и др. (Lawrence C.R., Bennett C.L., Hewitt J.N. et al.) // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1986. V. 61. P. 105.
- [11] Пеннингтон и др. (Pennigton, R.L., Humphreys, R.M., Odewahn, S.C. et al. // Publ. Astron. Soc. Pacific. 1993. V. 105. P. 521.

[12] Сейелстад и др. (Seielstad G.A., Pearson T.J., Readhead A.C.S.) // Publ.A.S.P. 1983. V. 95. P. 842.

[13] Шимминс и др. (Shimmins A.J., Bolton J.G., Wall J.V.)// Aust. J. Phys. Astrophys. Suppl. 1975. N. 32. P. 63.

## **ПОДПИСИ К РИСУНКАМ**

Рис. 1. Оптические спектры объектов, отождествленных с радиоисточниками 0029+0554, 0400+0550, 2245+0500 и 2349+0534.

Рис. 2. Спектры радиоисточников 0029+0554, 0400+0550, 2245+0500 и 2349+0534 в 1990 и 1997 гг. в радиодиапазоне.