УДК 524.6

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 Haro Observatory in Cananea (Мексика) Национального института Астрофизики, Оптики и Электроники (INAOE). Использовался LFOSC спектрофотометр, оборудованный CCD-матрицей 600×400 пикселей (Зикграф и др., 1997). Шумы считывания детектора составляли 8 электрон. Диапазон длин волн составлял 4200 – 9000 Å с дисперсией 8.2 Å. Эффективное инструментальное спектральное разрешение было около 16 Å.

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 Scaner 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, радиокоординаты 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 σ совокупной ошибки радио и оптических координат.

Источник 0029+0554 Отождествлен со звездообразным объектом (Шимминс и др., 1975). На рис. 1A приведен оптический спектр объекта. Спектр показывает две интенсивные линии, которые можно интерпретировать как полузапрещенную линию CIII], 1909Å и линию марганца MgII 2798Å 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. 2A 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 Сейелстада 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. 1B, присутствуют три линии, которые интерпретируются как линия MgII 2798Å, линии H_γ 4340Å и H_β 4861Å на красном смещении z = 0.761. Спектр типичен для квазаров. На рис. 2B 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 самопоглощением 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 ± 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 Конноковой (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 Оотождествлен 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 BL 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** 3.9, 11.1 1997	**V** 3.9, 7.5 1984–1991
0027+056	CIII] MgII	1909 2798	QSO	1.314	18.7	18.3	422 (9) 524 (6)	0.11 0.14
0357+057	MgII H_γ H_β	2798 4340 4861	QSO	0.761	18.1	17.5	387 (9) 497 (13)	0.12 0.13
2243+047	MgII	2798	QSO	1.091	18.6	18.4	405 (8) 399 (8)	0.34 0.41
2346+052	нет		Lac		19.0	18.0	366 (11) 400 (10)	0 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. XXYII 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.// Mom. Not. R. Astron. Soc. 1998. T. 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.