

УДК 524.7-77

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА БТА И РАТАН-600

© 2005 г. В. Л. Афанасьев¹, С. Н. Додонов¹, А. В. Моисеев¹,
А. Г. Горшков², В. К. Конникова², М. Г. Мингалиев¹

¹Специальная астрофизическая обсерватория, пос. Нижний Архыз, Россия

²Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

Поступила в редакцию 17.09.2004 г.; принята в печать 03.12.2004 г.

Представлены результаты классификации оптических отождествлений и спектры в радиодиапазоне девятнадцати радиисточников из полной по плотности потока выборки в области склонений $10^\circ - 12^\circ 30'$ (J2000). Наблюдения проводились на 6-м телескопе БТА САО РАН в диапазоне длин волн 4000 – 9000 Å и на радиотелескопе РАТАН-600 в диапазоне частот 0.97–21.7 ГГц. Двенадцать объектов классифицированы как квазары с красными смещениями 0.573–2.694; два объекта имеют чисто континуальные спектры и классифицированы как объекты типа BL Lac; четыре объекта — эмиссионные радиогалактики с красными смещениями 0.204–0.311, одна из них, кроме линий излучения, имеет в спектре линии поглощения; один объект является абсорбционной галактикой с красным смещением 0.214. В радиодиапазоне на шести частотах получены плотности потоков всех объектов, кроме двух протяженных. Радиоспектры пяти источников разделены на протяженную и компактную компоненты, три объекта имеют значительную быструю (на масштабах времени от нескольких дней до нескольких недель) и долговременную переменность плотности потока.

1. ВВЕДЕНИЕ

В статье представлены спектры в оптическом и радиодиапазонах девятнадцати объектов из полной по плотности потока выборки радиисточников в области склонений $10^\circ - 12^\circ 30'$ (J2000); прямые восхождения $0 - 24^h$, $|b| > 15^\circ$. Выборка получена из каталога GB6 [1] и содержит 153 источника с плотностями потоков на частоте 4.85 ГГц больше 200 мЯн [2]. С оптическими объектами до 21^m отождествлено 86% источников с плоскими спектрами $\alpha_{(3.9-7.7)} > -0.5$ ($S \propto \nu^\alpha$) и 60% источников с нормальными спектрами $\alpha_{(3.9-7.7)} < -0.5$.

Работы по получению красных смещений источников полной выборки являются подготовительными для попытки построения функции светимости квазаров. Включая данную работу из всех отождествленных источников исследуемой выборки классифицировано 88% объектов. Классификация значительной части объектов была известна ранее [3], результаты наших предыдущих работ по классификации приведены в работах [4, 5]. В радиодиапазоне выборка наблюдается с 2000 г.

2. РАДИО- И ОПТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Оптические спектры всех объектов получены на 6-м телескопе САО РАН в 2001–2002 гг.

Использовался универсальный инструмент (спектрограф) SCORPIO [6] в моде “длинная щель” и CCD-детектор ТК1024 (1024 × 1024 каналов, шум считывания 3 эл.). Спектральный диапазон спектрографа — 3800–9200 Å дисперсия — около 6 Å/пикс. Эффективное инструментальное разрешение — порядка 20 Å. Проведена стандартная обработка спектров с использованием математического обеспечения разработанного в лаборатории спектроскопии и фотометрии САО РАН.

В радиодиапазоне наблюдения проводились на радиотелескопе РАТАН-600.

Семь источников наблюдались в рамках программы исследования переменности плотности потока на масштабах времени от нескольких дней до нескольких недель. Источники наблюдались ежедневно в течение 82, 98 и 97 дней в 2000–2002 гг. Наблюдения проводились на Северном секторе в периоды 06.09–26.11.2000 г., 05.06–10.09.2001 г. и 19.06–23.09.2002 г.

Плотности потоков остальных источников получены в наблюдениях 31.05–04.06.2001 г., 31.10–19.11.2001 г., 06–10.06.2002 г. на Северном секторе и 31.10–19.11.2003 г. на Южном секторе с плоским отражателем. Наблюдения в 2000–2001 гг. проводились на частотах 0.97, 2.3, 3.9, 7.7, 11.1 и 21.7 ГГц, в 2002–2003 гг. — без частоты 0.97 ГГц.

Таблица 1. Координаты объектов

Радиокоординаты (J2000)		Оптика–радио		R	B	Ссылка на обзор
R.A.	DEC.	Δ R.A.	Δ DEC.			
01 ^h 43 ^m 31.093 ^s	12° 15' 42.95''	−0.013 ^s	0.07''	19.75	20.55	JVAS
02 42 29.171	11 01 00.72	−0.006	0.57	19.55		JVAS
03 15 21.039	10 12 43.12	0.081	0.09	18.69	19.89	NVSS
04 44 12.467	10 42 47.29	0.010	−0.03	18.50	19.00	JVAS
04 48 50.413	11 27 54.39	−0.001	0.21	19.08	20.01	JVAS
04 49 07.672	11 21 28.63	−0.029	0.14	18.38	20.46	JVAS
05 09 27.457	10 11 44.59	−0.001	0.08	18.53	19.18	JVAS
05 16 46.646	10 57 54.77	−0.016	0.23	17.96	19.13	JVAS
07 49 27.385	10 57 33.12	0.002	0.16	18.87	19.59	JVAS
07 58 07.658	11 36 46.05	0.072	1.80	15.95	16.29	JVAS
09 14 19.360	10 06 38.28	0.166	2.45	18.65	20.88	NVSS
13 27 54.707	12 23 08.71	−0.010	1.09	19.44	19.78	NVSS
14 53 44.241	10 25 57.57	0.003	−0.40	19.49	20.78	JVAS
15 22 12.151	10 41 30.35	0.085	−0.35	18.01		NVSS
16 27 37.032	12 16 07.11	−0.003	0.07	18.89	19.04	JVAS
17 22 44.582	10 13 35.77	−0.005	0.26		20.94	JVAS
17 28 07.051	12 15 39.48	0.007	0.55		20.88	JVAS
23 12 10.467	12 24 03.46	−0.031	−0.64	18.90	19.10	NVSS
23 15 34.250	10 27 18.57	0.095	0.05	16.92	19.27	TEXAS

Параметры используемых приемников и характеристики диаграммы направленности приведены в работе [7]. На частотах 7.7, 11.1 и 21.7 ГГц использовался режим диаграммной модуляции.

Методика обработки описана в работах [2, 8]. В качестве калибратора использовался источник J1347+1217, его угловые размеры много меньше размеров горизонтального сечения диаграммы направленности на всех используемых частотах. Плотности потока источника приняты 6.15, 4.12, 3.23, 2.36, 1.99 и 1.46 Ян на частотах 0.97, 2.3, 3.9, 7.7, 11.1 и 21.7 ГГц, соответственно.

3. РАДИО- И ОПТИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ

В 1 и 2 колонках табл. 1 приведены координаты исследуемых объектов на эпоху J2000 из каталога JVAS¹ на частоте 8.4 ГГц [9] или каталога NVSS²

¹ JVAS — the Jodrell Bank-VLA Astrometric Survey.

² NVSS — the NRAO VLA Sky Survey.

на 1.4 ГГц [10]. Среднеквадратичная ошибка координат σ каталога JVAS составляет 0.014'', обзора NVSS — в среднем около 0.5''. Радиисточник J2315+1027 в обзоре NVSS двойной, оптический объект находится на средневзвешенных координатах между ними и близок к координатам источника в Техасском обзоре на 0.365 ГГц [11]. В колонках 3 и 4 дана разность между оптическими координатами объектов из астрометрического обзора USNO [12] и радиокоординатами. В колонках 5, 6 — звездные величины R и B из USNO, колонка 7 — ссылка на приведенные координаты. Радиисточник J0914+1006 — двойной или тройной с общей протяженностью не менее 30'', для него разность между положением оптического объекта и приведенными координатами в обзоре NVSS значительна.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Оптические спектры объектов приведены на рис. 1–4, спектры в радиодиапазоне — на рис. 5–6.

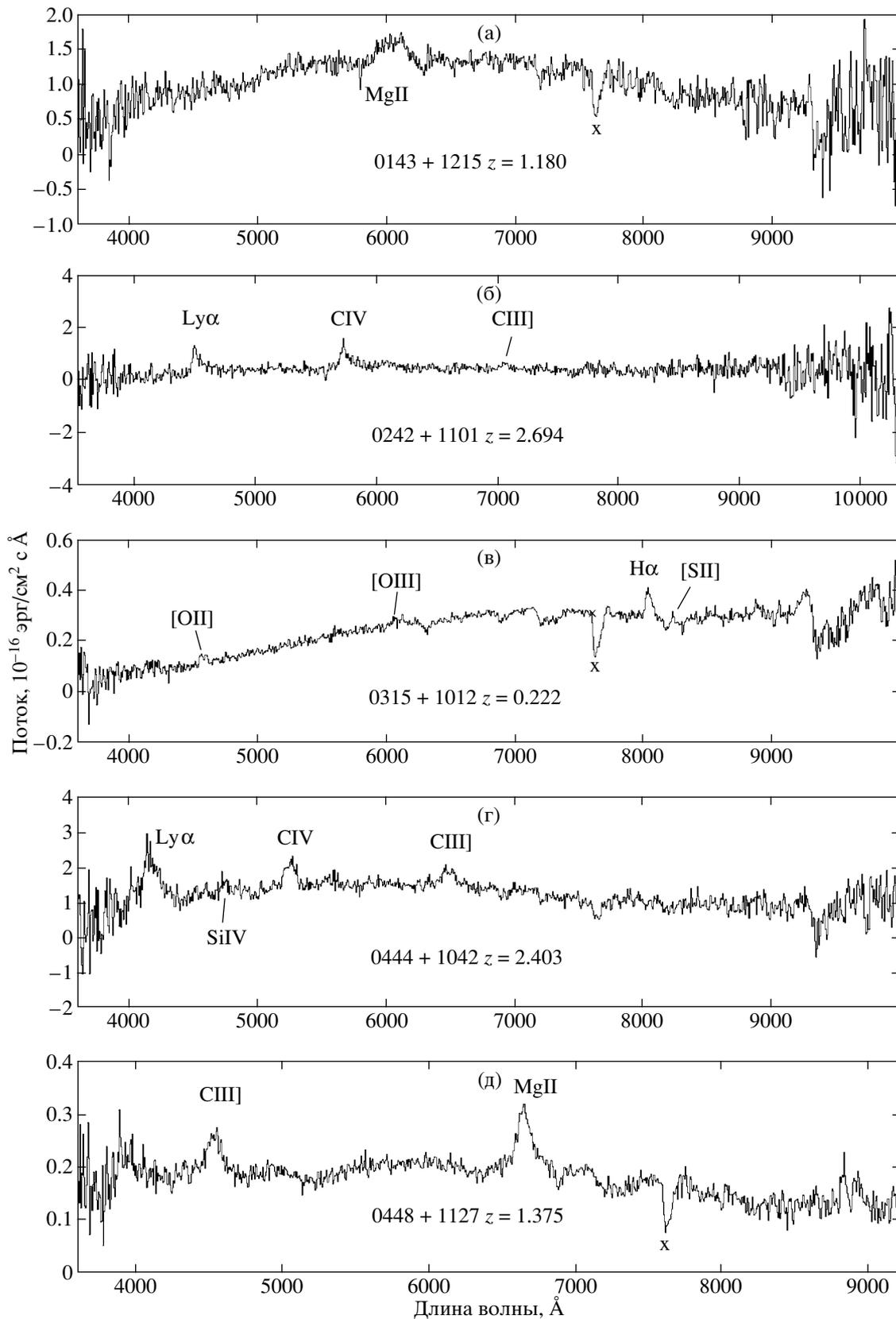


Рис. 1. Полученные на БТА САО РАН оптические спектры объектов, отождествленных с радиоисточниками J0143+1215, J0242+1101, J0315+1012, J0444+1042 и J0448+1127.

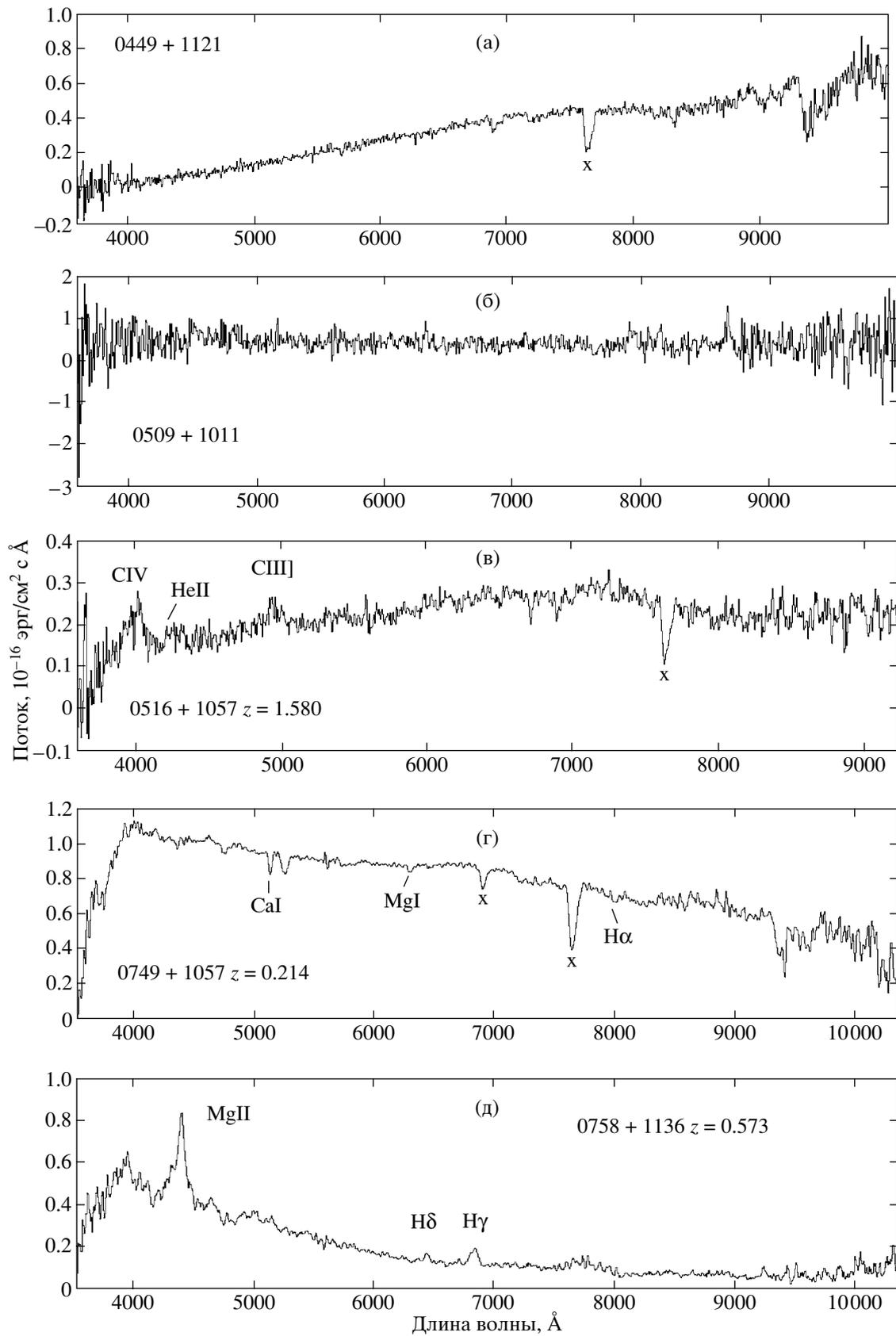


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для радиосточников J0449+1121, J0509+1011, J0516+1057, J0749+1057 и J0758+1136.

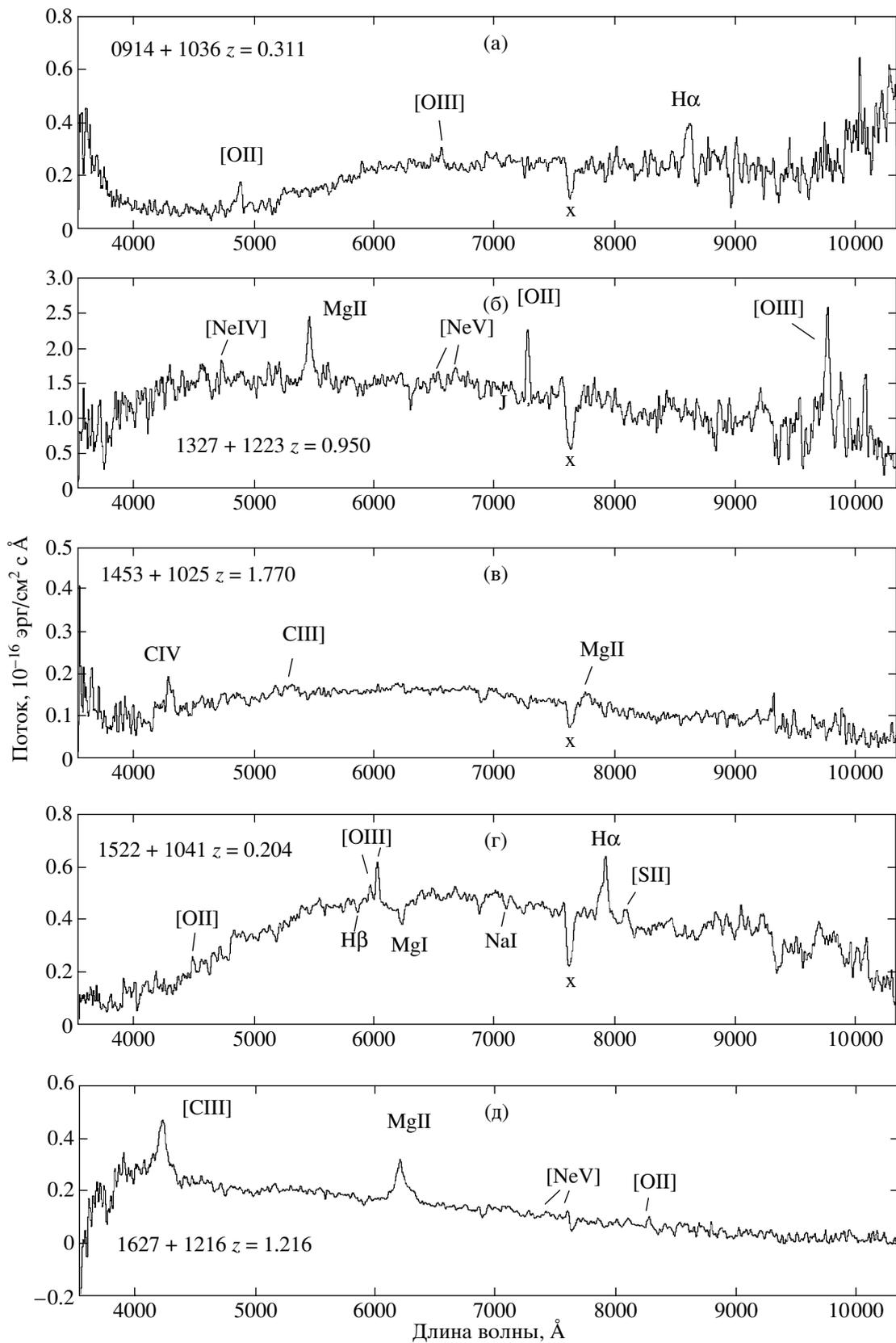


Рис. 3. То же, что на рис. 1, для радиосточников J0914+1006, J1327+1223, J1453+1025, J1522+1041 и J1627+1216.

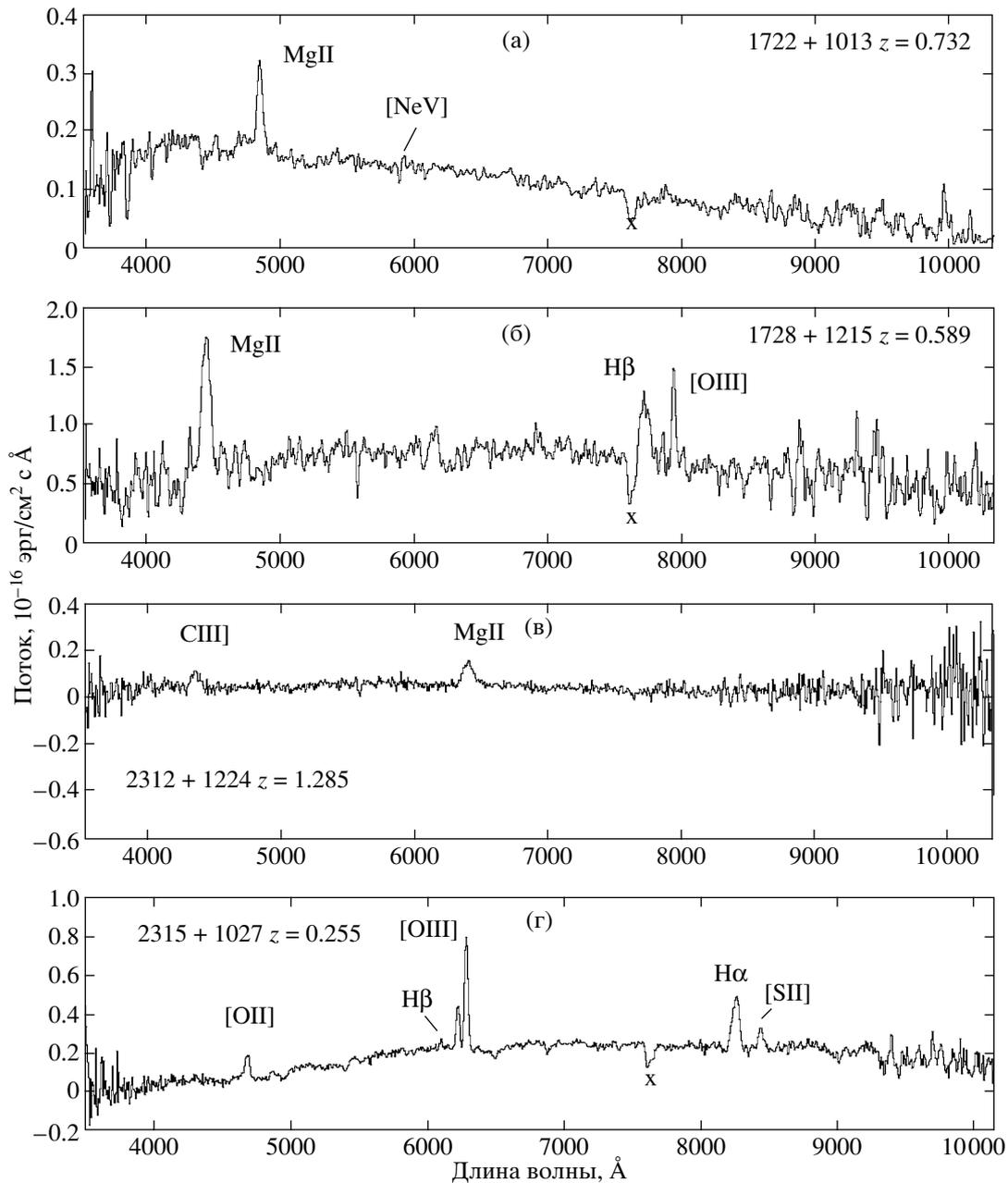


Рис. 4. То же, что на рис. 1, для радиисточников J1722+1013, J1728+1215, J2312+1224 и J2315+1027.

В табл. 2 приведены данные оптических наблюдений. Колонка 1 — имя объекта, колонка 2 — линии, присутствующие в спектре, колонка 3 — длины волн линий в системе покоя объекта и наблюдаемые, колонка 4 — красное смещение, колонка 5 — тип объекта, колонка 6 — дата наблюдения, колонка 7 — время экспозиции в минутах. Линии, обозначенные звездочкой, наблюдаются в поглощении, остальные — в излучении.

В табл. 3 приведены средние за цикл наблюдений плотности потоков источников в радиодиапазоне. Колонка 1 — имя объекта, колонки 2–13 —

плотности потоков и среднеквадратичные ошибки наблюдений на частотах 0.97, 2.3, 3.9, 7.7, 11.1 и 21.7 ГГц. в мЯн, колонка 14 — дата, к которой отнесены приведенные плотности потоков.

Для переменных источников приведены данные наблюдений в разные эпохи.

Далее, для каждого радиисточника приведена интерпретация спектров в оптическом диапазоне и дана классификация оптического объекта. Также приведены характеристики спектров в радиодиапазоне.

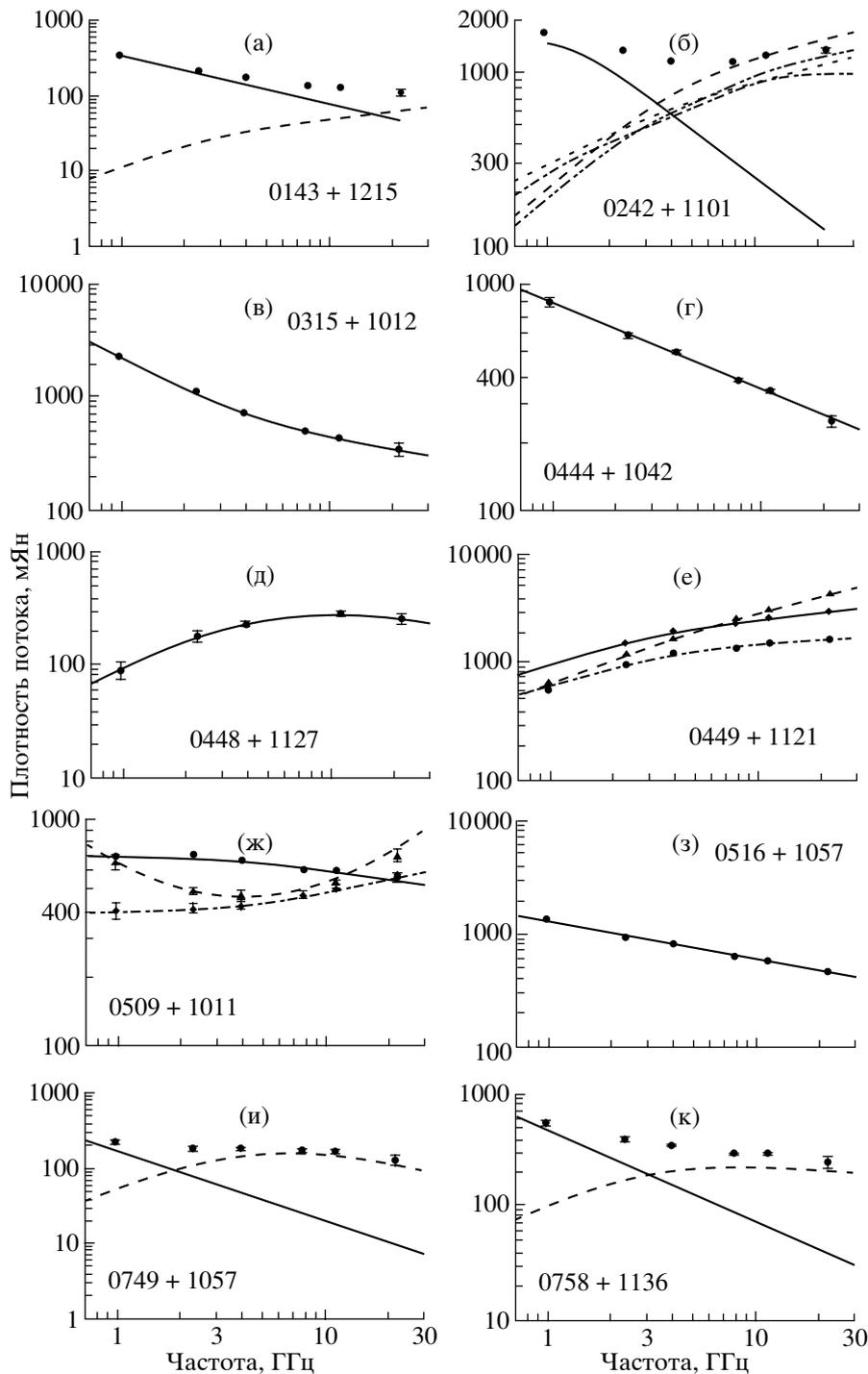


Рис. 5. Спектры источников J0143+1215, J0242+1101, J0315+1012, J0444+1042, J0448+1127, J0449+1121, J0509+1011, J0516+1057, J0749+1057 и J0758+1136 в радиодиапазоне.

В тех случаях, когда спектр носит нестепенной характер, предпринимались попытки разделить его на две компоненты — протяженную, имеющую степенной спектр $S = S_0 \nu^\alpha$, и компактную, спектр которой можно представить логарифмической параболой $\lg S = S_0 + B \lg \nu + C \lg^2 \nu$. Методика раз-

деления спектров подробно описана в работе [2]. Разделение компонент проводилось с учетом плотностей потоков, полученных на частотах 365 МГц (Техасский обзор) и 1400 МГц (NVSS).

Если в наших наблюдениях плотность потока радиоисточника менялась от одной серии наблюде-

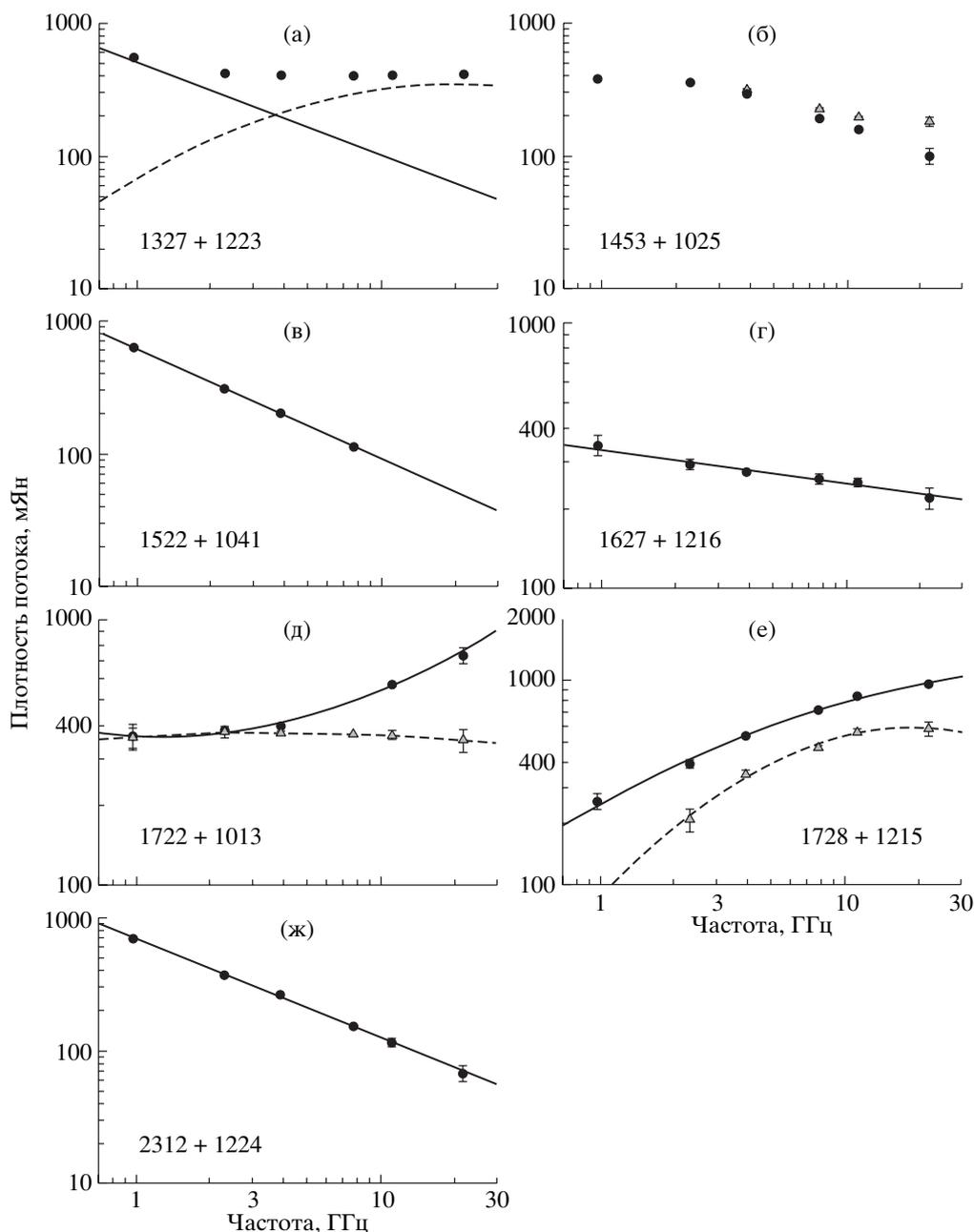


Рис. 6. То же, что на рис. 5, для источников J1327+1223, J1453+1025, J1522+1041, J1627+1216, J1722+1013, J1728+1215 и J2312+1224.

ний к другой или внутри серии, приведены данные по изменениям плотности потока.

Для части этих источников приведены данные об относительной амплитуде переменности $V = (S_{\max} - S_{\min}) / (S_{\max} + S_{\min})$.

Для источников с короткой временной (меньше месяца) шкалой переменности плотности потока приведены значения индекса модуляции m , который определен как отношение стандарта переменной составляющей к средней плотности потока в процентах.

4.1. Источник J0143+1215

В оптическом спектре объекта (рис. 1а) присутствует одна широкая линия излучения, интерпретированная как линия MgII 2798 Å на красном смещении $z = 1.18$. Объект классифицирован нами как квазар. Для квазаров с красными смещениями $z \approx 1$ обычно характерно наличие еще одной сильной линии CIII] 1909 Å, но в данном спектре она находится на зашумленной части спектра и не видна.

Таблица 2. Данные оптических наблюдений

Имя объекта	Линии в спектре	Длина волны, Å	z	Спектральный класс	Дата	Время экспозиции, мин
J0143+1215	MgII	2798/6100	1.180	QSO	16.09.01	20
J0242+1101	Ly α	1216/4490	2.694	QSO	18.10.01	10
	CIV	1549/5720				
	CIII]	1909/7055				
J0315+1012	[OII]	3727/4550	0.222	Em. G	16.09.01	20
	H α	6563/8020				
	[SII]	6717/8210				
J0444+1042	Ly α	1216/4140	2.403	QSO	16.09.01	16.7
	SiIV	1403/4760				
	CIV	1549/5265				
	CIII]	1909/6500				
J0448+1127	CIII]	1909/4530	1.375	QSO	15.10.01	20
	MgII	2798/6650				
J0449+1121				Lac	21.09.01	10
J0509+1011				Lac	18.10.01	10
J0516+1057	CIV	1549/4000	1.580	QSO	15.10.01	10
	HeII	1640/4215				
	CIII]	1909/4920				
J0749+1057	CaI*	4227/5130	0.214	Abs.G	15.10.01	20
	MgI*	5175/6280				
	H α *	6563/7970				
J0758+1136	MgII	2798/4400	0.569	QSO	06.02.02	6
	H δ	4102/6435				
	H γ	4340/6825				
J0914+1006	[OII]	3727/4890	0.311	Em.G	06.02.02	10
	[OIII]	5007/6560				
	H α	6563/8605				
J1327+1223	[NeIV]	2424/4725	0.950	QSO	12.05.02	10
	MgII	2798/5460				
	[NeV]	3346/6525				
	[NeV]	3426/6680				
	[OII]	3727/7270				
	[OIII]	4958/9670				
	[OIII]	5007/9760				
J1453+1025	CIV	1549/4295	1.773	QSO	08.02.02	20
	CIII]	1909/5290				
	MgII	2798/7760				

Таблица 2. Окончание

Имя объекта	Линии в спектре	Длина волны, Å	z	Спектральный класс	Дата	Время экспозиции, мин
J1522+1041	[OII]	3727/4485	0.204	Em.G	12.05.02	10
	H β *	4861/5850				
	[OIII]	4958/5970				
	[OIII]	5007/6030				
	MgI*	5175/6230				
	NaI*	5893/7095				
	H α	6563/7903				
	[SII]	6724/8095				
J1627+1216	SIII]	1909/4228	1.216	QSO	11.05.02	10
	MgII	2798/6200				
	[NeV]	3426/7592				
	[OII]	3727/8260				
J1722+1013	MgII	2798/4845	0.732	QSO	11.05.02	10
	[NeV]	3426/5935				
	[OIII]	5007/8670				
J1728+1215	MgII	2798/4446	0.589	QSO	04.06.02	20
	H β	4861/7725				
	[OIII]	5006/7955				
J2312+1224	SIII]	1909/4360	1.285	QSO	18.10.01	10
	MgII	2798/6400				
J2315+1027	[OII]	3727/4680	0.255	Em.G	20.09.01	20
	H β	4861/6100				
	[OIII]	4958/6220				
	[OIII]	5007/6285				
	H α	6563/8240				
	[SII]	6717/8430				

В радиодиапазоне мы наблюдали источник три раза — в 2000, 2001 и 2002 гг., его плотность потока на всех частотах оставалась постоянной в пределах трех среднеквадратичных ошибок измерений. Спектр источника в радиодиапазоне падающий, с уплощением к высоким частотам.

Спектр удается разделить на две компоненты. Протяженная компонента аппроксимируется от частоты 0.365 ГГц степенным законом $S = 350 \nu^{-0.65}$. Компактная компонента аппроксимируется логарифмической параболой $\lg S = 1.069 + 0.982 \lg \nu - 0.322 \lg^2 \nu$. В рассматриваемом диапазоне частот излучение компактной компоненты приходит из оптически толстой области, максимум

в спектре находится на частоте около 35 ГГц, плотность потока в максимуме $S_{\max} = 65$ мЯн. Подавляющую часть излучения в диапазоне 0.97–7.7 ГГц дает протяженная компонента, на частоте ≈ 13 ГГц плотности потока протяженной и компактной компоненты сравниваются, на более высоких частотах излучение компактной компоненты становится доминирующим. На рис. 5а наблюдаемый спектр показан темными кружками. Ошибки измерений находятся в пределах размера кружка. Спектр протяженной компоненты показан сплошной линией, компактной — штриховой линией.

Таблица 3. Данные радионаблюдений

Имя объекта	Плотности потоков и ошибки, мЯн												Эпоха
	0.97 ГГц		2.3 ГГц		3.9 ГГц		7.7 ГГц		11.1 ГГц		21.7 ГГц		
J0143+1215	348	10	220	06	175	03	136	04	128	02	110	10	23.07.2001
J0242+1101	1737	35	1383	17	1202	07	1082	09	1144	06	1157	15	16.10.2000
	1660	28	1340	08	1170	04	1167	06	1265	05	1378	22	23.07.2001
			1380	10	1301	04	1380	07	1507	10	1735	20	06.08.2002
			1372	40	1201	10	1106	09	1185	10	1270	50	12.09.2003
J0315+1012	2180	25	1120	20	725	08	491	09	427	14	350	45	15.11.2001
J0444+1042	820	32	596	18	500	13	377	05	340	08	250	30	15.11.2001
J0448+1127	92	15	178	15	230	11			280	11	260	20	04.11.2001
J0449+1121	430	30	1070	15	1324	19	1461	97	1654	78	1788	08	16.10.8000
	687	18	1285	10	1739	99	2671	20	3236	25	4429	34	03.07.2001
			1603	11	2035	19	2463	18	2807	72	3130	30	16.08.7001
			6871	38	1898	13	1595	13	2324	13	2782	61	12.09.2073
J0509+1091	676	18	695	16	662	08	598	05	597	01	547	15	16.10.2000
	682	11	558	10	464	04	437	05	488	01	661	21	23.02.2001
	394	52	205	20	418	14	467	17	697	08	560	35	15.11.2001
			982	26	650	05	401	08	980	08	646	08	12.09.2003
J0516+1057	1330	20	940	12	820	05	652	04	587	04	490	12	23.07.2001
			1007	30	877	07	578	06	481	12	370	35	12.09.2003
J0749+1057	219	25	180	15	182	04	169	09	165	11	126	15	04.11.2001
J0758+1136	557	30	393	20	346	05	298	07	294	07	250	20	04.11.2001
J0914+1006	420	30	260	23									02.06.2001
J1327+1223	560	30	420	15	411	09	405	10	409	08	415	20	02.06.2001
			399	45	254	15	285	10	314	14	403	40	06.09.2003
J1453+1025	383	15	359	07	293	04	194	04	160	03	116	13	23.07.2001
			353	07	321	03	230	03	198	03	184	14	06.08.2002
J1522+1041			320	14	205	10	112	06	85	17			08.06.2002
J1627+1216	348	30	294	13	275	07	259	11	252	07	220	20	15.11.2001
J1722+1013	360	30	384	12	385	07			567	07	730	48	02.06.2001
	360	25	378	18	374	07	370	06	369	12	351	34	04.11.2001
			339	30	340	06	374	06	395	07	435	32	12.09.2003
J1728+1215	257	22	394	16	537	04	716	09	849	14	960	22	16.10.2000
	250	19	403	07	524	06	613	07	737	10	793	20	23.07.2001
			316	24	429	06	517	10	578	20	571	45	08.06.2002
			210	29	350	15	470	13	565	14	584	40	12.09.2003
J2312+1224	700	25	370	15	265	11	152	05	115	07	67	09	04.11.2001

4.2. Источник J0242+1101

В оптическом спектре объекта (рис. 1б) отождествлены три линии излучения: $\text{Ly}\alpha$ 1216 Å и две линии углерода CIV 1549 Å и CIII] 1909 Å. Красное смещение, определенное по этим линиям, равно 2.694. Объект является квазаром. Линия $\text{Ly}\alpha$ для радиоизлучающих квазаров обычно бывает более мощная. Возможно в данном случае объект является BAL-квазаром, в котором поглощение вблизи ядра компенсирует часть линии. На это указывает асимметрия линий $\text{Ly}\alpha$ и CIV.

Радиоисточник наблюдался 4 раза в 2000–2003 гг. Все полученные исходные спектры источника имеют минимум на частотах от 3 ГГц (2002 г.) до 7.5 ГГц (2000 г.) За период наблюдений максимальное изменение плотности потока зарегистрировано на частоте 21.7 ГГц от 1157 ± 15 (10.2000 г.) до 1735 ± 20 (08.2002 г.).

Наблюдаемые спектры также удалось разделить на две компоненты. В источнике присутствует сильная протяженная компонента, которая в диапазоне 2.3–21.7 ГГц аппроксимируется степенным законом $S = 1930 \nu^{-0.89}$; характеристики этого спектра практически остаются неизменными во всех сериях наблюдений. К низким частотам спектр испытывает самопоглощение с частотой перегиба около 0.7 ГГц и плотностью потока на частоте перегиба $S_{\text{max}} \approx 1600$ мЯн. На рис. 5б протяженная компонента показана сплошной кривой. Темными кружками показан исходный спектр на эпоху 07.2001 г.

Спектры компактных компонент аппроксимированы логарифмическими параболами по данным, усредненным за весь период наблюдения источника в каждой из четырех серий наблюдений. Эти спектры приведены на рис. 5б штриховыми и штрихпунктирными линиями.

Все спектры компактных компонент растут в сторону высоких частот, максимум в спектрах находился на частотах выше 40 ГГц. Частоты наших наблюдений лежат в оптически толстой области. Минимальная плотность потока на частоте 21.7 ГГц получена в наблюдениях 2000 г., затем в 2001–2002 гг. плотность потока росла, а в 2003 г. упала почти до уровня 2000 г.

Такое изменение плотности потока нельзя объяснить развитием одной изолированной вспышки. Согласно канонической модели переменности [13, 14], уменьшение плотности потока на фиксированной частоте может произойти только при переходе в оптически тонкую область спектра, что не происходит в данном случае. Можно предположить, что мы наблюдаем разные вспышки, время эволюции которых меньше интервала наших серий наблюдений. И наблюдаемые эволюции компактных компонент являются стробоскопическим эффектом.

Изменения плотности потока источника происходили внутри каждой наблюдательной серии. Самые значительные изменения мы наблюдали в 97-дневных ежедневных наблюдениях в 2002 г. Плотность потока источника в этих наблюдениях на частоте 11.1 ГГц возросла от 1370 мЯн в начале серии до 1600 мЯн в конце, на 21.7 ГГц — от 1400 до 1820 мЯн. Спектр компактной компоненты источника на эпоху 30.06.2002 г. аппроксимируется параболой $\lg S = 2.300 + 1.104 \lg \nu - 0.360 \lg^2 \nu$ с максимумом на частоте $\nu_{\text{max}} \approx 35$ ГГц, через 20 дней спектр аппроксимируется параболой $\lg S = 2.382 + 0.938 \lg \nu - 0.247 \lg^2 \nu$ с максимумом на 80 ГГц. Такое поведение спектра свидетельствует в пользу того, что мы наблюдаем эволюцию двух вспышек. 30.06.2000 г. наблюдается одна вспышка, затем через 20 дней наблюдается другая вспышка, на более ранней стадии развития, чем предыдущая. Обе вспышки хорошо аппроксимируются логарифмическими параболами, что, по нашему мнению, предполагает в эти моменты времени доминирование только одной вспышки. Таким образом, за 20 дней первая вспышка успела настолько проэволюционировать, что ее вкладом в спектр можно пренебречь.

Объект обладает высокой абсолютной спектральной радиосветимостью, близкой к верхней границе для всех источников полной выборки: $L_{\nu=11.1 \text{ ГГц}} = 13 \times 10^{34}$ эрг/с Гц. Светимость рассчитана для однородной изотропной космологической модели с равной нулю космологической постоянной, с параметром замедления $q = 0.5$ и $H = 65$ км/с·Мпк.

4.3. Источник J0315+1012

В оптическом спектре объекта (рис. 1в) отождествлены 4 слабых линии в излучении: [OII] 3727 Å, дублет [OIII] 4958 и 5006 Å, линия водорода $\text{H}\alpha$ 6563 Å и [SII] 6717 Å на красном смещении $z = 0.222$. Объект классифицирован как эмиссионная галактика.

В диапазоне частот 0.178–3.9 ГГц спектр источника степенной: $S = 2055 \nu^{-0.723}$ мЯн. На частотах выше 3.9 ГГц спектр уплощается за счет появления компактной компоненты (рис. 5в). Разделение компонент провести не удалось.

4.4. Источник J0444+1042

Оптический спектр объекта показан на рис. 1г. В спектре присутствуют 4 линии излучения, отождествленные как $\text{Ly}\alpha$ 1216 Å, CIV 1549 Å и две слабых линии SiIV 1403 Å и CIII] 1909 Å. По всем линиям красное смещение $z = 2.403$. Объект

классифицирован как квазар. Как и в источнике J0242+1101, линия $\text{Ly}\alpha$ менее мощная, чем в стандартных спектрах радиоизлучающих квазаров, но в данном источнике возможно максимум линии искажен шумами.

В диапазоне частот 0.97–21.7 ГГц спектр источника на эпоху 11.2001 г. представляется степенным законом $S = 815 \nu^{-0.372}$ мЯн (рис. 5г). Спектр относится к классу плоских ($\alpha > -0.5$), данных о переменности плотности потока нет.

4.5. Источник J0448+1127

В оптическом спектре (рис. 1д) отождествлены 2 линии CIII 1909 Å и MgII 2798 Å. Ширина обеих линий в системе покоя источника FWHM ≈ 45 Å. По этим линиям красное смещение объекта $z = 1.375$, объект является квазаром.

Радиоисточник наблюдался в 2001 и 2002 гг. В пределах ошибок не обнаружено изменения плотности потока. В источнике отсутствует или мала протяженная компонента. Средний за две эпохи наблюдений спектр компактной компоненты аппроксимируется логарифмической параболой $\lg S = 1.979 + 0.902 \lg \nu - 0.432 \lg^2 \nu$ с максимумом на частоте около 10 ГГц и плотностью потока в максимуме 280 мЯн (рис. 5д). Плотность потока на частоте 7.7 ГГц нам не удалось измерить из-за соизмеримости углового расстояния до соседнего сильного источника J0449+1121 и расстояния между рупорами системы облучения — на этой частоте приемная аппаратура работает в режиме диаграммной модуляции. Аппроксимированная плотность потока на 7.7 ГГц равна 274 мЯн.

4.6. Источник J0449+1121

Оптический спектр объекта не содержит линий, и объект отнесен нами к классу лацертид (рис. 2а).

В радиодиапазоне источник наблюдался в 2000–2003 гг. На рис. 5е показаны спектры объекта, построенные по наблюдательным данным (10.2000 г. — штрих-пунктирная линия, 07.2001 г. — штриховая линия и 07.2002 г. — сплошная линия).

Обращает на себя внимание (табл. 3) сильная долговременная переменность плотности потока объекта. При этом меняется и характер спектра. Максимум в спектре, полученном 10.2000 г., находился на частоте 25 ГГц, в остальные эпохи наблюдений на частотах выше исследуемого диапазона.

За время наблюдений минимальные значения плотности потока на всех частотах получены 10.2000 г., максимальные значения на частотах 7.7–21.7 ГГц получены 07.2002 г., а на частоте 2.3 ГГц — 09.2003 г. Относительная амплитуда переменности V равна 0.43, 0.33, 0.29, 0.22 и

0.28 соответственно на частотах 21.7, 11.1, 7.7, 3.9 и 2.3 ГГц. Приведенные числа дают нижнюю границу относительной амплитуды переменности, поскольку из-за больших перерывов в наблюдениях возможен стробоскопический эффект.

Кроме долговременной переменности у источника обнаружена сильная переменность на коротких, меньше месяца, временных масштабах. Из анализа структурных функций [15,16] следует, что характерное время вариаций плотности потока зависит от частоты и растет с ее понижением.

На частоте 11.1 ГГц характерное время составляет 4 дня, индекс модуляции m , средний за все эпохи наблюдений, составляет 3.5%. На частоте 7.7 ГГц характерное время меняется в зависимости от эпохи наблюдений и составляет 4 ($m = 2.5$), 5 ($m = 4.2$) и 8 ($m = 4.3$) дней в 2000, 2001 и 2002 гг., соответственно (в скобках указан индекс модуляции). На частоте 3.9 ГГц характерное время существенно больше и составляет 22 ($m = 2.9$), 10 ($m = 4.8$) и 16 ($m = 5.0$) дней в 2000, 2001 и 2002 гг. соответственно. На частоте 2.3 ГГц изменение плотности потока зафиксировано только в 2001 г., характерное время составляет 14 ($m = 5.0$) дней, в остальные эпохи наблюдений из-за большого количества техногенных помех существуют значительные пропуски измерений внутри каждой серии наблюдений.

Мы считаем, что описанная выше переменность вызывается мерцанием на межзвездной среде, а зависимость характерного времени от частоты вызвана аналогичной зависимостью углового размера. Изменения индекса модуляции могут определяться изменением степени компактности источника.

Влияние соседнего источника J0448+1127, попадающего в один из рупоров системы облучения на частоте 7.7 ГГц, сказывается значительно меньше, так как плотность потока данного источника примерно в 5 раз больше.

4.7. Источник J0509+1011

Оптический спектр объекта, отождествленного с источником, не содержит линий, объект отнесен нами к классу лацертид (рис. 2б).

На рис. 5ж показаны спектры в радиодиапазоне, полученные 10.2000 г. (сплошная линия) и 11.2001 г. (штрих-пунктирная линия), усредненные за весь период наблюдений данной серии, и спектр, полученный в конце длинной серии 2001 г., усредненный за 10 дней (штриховая линия). В течение серии 05.06–10.09.2001 г. спектр источника менялся, спектр, усредненный за весь период, плохо аппроксимируется обычной параболой.

Источник, как и J0449+1121, имеет сильную долговременную переменность плотности потока

(табл. 3). При этом кардинально меняется и характер спектра. Так, в 2000 г. спектр можно аппроксимировать параболой с максимумом вблизи 1 ГГц, спектр, полученный 7.2001 г., имеет минимум на 5 ГГц, а наблюдения 11.2001 г. дают минимум плотности потока ниже 1 ГГц.

Особенно значительны изменения плотности потока на частотах 0.97, 2.3 и 3.9 ГГц. На этих частотах относительная амплитуда переменности V составляет 0.27 (10.2000–11.2001 гг.), 0.29 (10.2000–09.2003 гг.) и 0.22 (10.2000–11.2001 гг.). В скобках указаны даты, в которые достигаются максимальные и минимальные значения плотности потока. На частоте 0.97 ГГц нет данных после 11.2001 г., поэтому реальная относительная амплитуда переменности может быть больше.

Скорее всего, мы снова имеем дело со стробоскопическим эффектом и реальное характерное время переменности не превышает нескольких месяцев. В пользу такого предположения может служить изменение плотности потока на частоте 21.7 ГГц в наблюдениях 2001 г. В начале наблюдений плотность потока составляла 512 ± 15 мЯн, через 98 дней плотность потока возросла до 700 ± 20 мЯн.

У источника существует и переменность на малых временных масштабах. Структурные функции, полученные по результатам наблюдений 2000 и 2001 гг., дают значения характерных времен 3–4 дня. В 2000 г. индекс модуляции m равен 4.3, 7.4 и 10.0% соответственно на частотах 7.7, 3.9 и 2.3 ГГц, в 2001 г. на частоте 7.7 ГГц переменность не обнаружена, а на частотах 3.9 и 2.3 ГГц индекс модуляции одинаков и равен 4.5%.

4.8. Источник J0516+1057

Три слабые линии излучения отождествлены в оптическом спектре объекта (рис. 2в): CIV 1549 Å, линия HeII 1640 Å и CIII] 1909 Å на красном смещении $z = 1.580$. На длине волны 7220 Å видна сильно зашумленная линия, которая на этом красном смещении отождествляется с линией MgII 2798 Å. Объект классифицирован как квазар.

Источник наблюдался на РАТАН-600 в 2001 и 2003 гг., значимого изменения плотности потока источника не зарегистрировано. Спектр радиоисточника в диапазоне частот 0.97–21.7 ГГц аппроксимируется степенным законом $S = 1270 \nu^{-0.322}$ мЯн (рис. 5з).

4.9. Источник J0749+1042

В оптическом спектре (рис. 2г) отождествлены три абсорбционные линии CaI 4227 Å, MgI 5175 Å и H α 6563 Å. По этим линиям красное смещение объекта $z = 0.214$. Объект, отождествленный с радиоисточником, является абсорбционной галактикой.

Источник наблюдался в радиодиапазоне 06.2001 г. и 11.2001 г. За это время его плотность потока не изменились.

Из исходного комплексного спектра (рис. 5и, темные кружки) выделена протяженная компонента со степенным спектром от 0.365 ГГц: $S = 167 \nu^{-0.92}$ мЯн (сплошная линия). Спектр компактной компоненты аппроксимируется параболой $\lg S = 1.761 + 0.940 \lg \nu - 0.532 \lg^2 \nu$ с максимумом на частоте 7.6 ГГц и плотностью потока в максимуме 150 мЯн (штриховая линия). Протяженная компонента на частоте 0.97 ГГц дает 75% от общего значения плотности потока.

4.10. Источник J0758+1136

На полученном оптическом спектре блендируются два объекта. После разделения спектров один объект оказался звездой, спектр второго приведен на рис. 2д. В спектре отождествлены мощная линия MgII 2798 Å, линия H δ 4102 Å и H γ 4340 Å на красном смещении $z = 0.569$. Линия атмосферного поглощения кислорода ≈ 7650 Å вероятно компенсируется линией излучения, на данном красном смещении это линия H β 4861 Å. Ширина линии MgII в системе покоя источника FWHM ≈ 40 Å. Объект классифицирован нами как квазар.

В радиодиапазоне источник наблюдался 09.2000 г., 06.2001 г. и 11.2001 г. За это время плотность потока источника в пределах точности измерений оставалась постоянной. Спектр источника в радиодиапазоне падающий, с уплощением к высоким частотам (рис. 5к). Исходный спектр (темные кружки) разделен на степенную протяженную компоненту $S = 440 \nu^{-0.80}$ мЯн (сплошная линия на рис. 5к) и компактную $\lg S = 2.019 + 0.646 \lg \nu - 0.312 \lg^2 \nu$ с максимумом на частоте 10 ГГц и плотностью потока в максимуме 225 мЯн (штриховая линия).

4.11. Источник J0914+1006

Три линии в оптическом спектре отождествлены с [OII] 3727 Å, [OIII] 5007 Å и H α 6563 Å (рис. 3а). Объект классифицирован как эмиссионная галактика на красном смещении $z = 0.311$.

Источник — протяженный для диаграммы РАТАН-600 по прямому восхождению на частотах выше 3 ГГц, плотность потока получена только на частотах 0.97 и 2.3 ГГц (табл. 3). По измеренным плотностям потока и данным из литературы на частотах 0.365, 1.4 и 4.85 ГГц спектр источника в диапазоне 0.365–4.85 ГГц описывается степенным законом $S = 420 \nu^{-0.525}$ мЯн.

4.12. Источник J1327+1223

В оптическом спектре (рис. 3б) отождествлены семь линий излучения: [NeIV] 2424 Å, MgII 2798 Å, две линии [NeV] 3346 Å и [NeV] 3426 Å, [OII] 3727 Å, слабая [OIII] 4958 Å и сильная [OIII] 5007 Å и линия MgI 5175 Å. Объект является квазаром с красным смещением $z = 0.950$.

Радиоисточник наблюдался в 2001 и 2003 гг. Источник имеет переменную плотность потока, спектр комплексный. На рис. 6а темными кружками приведен спектр на эпоху 2001 г. У радиоисточника выделена протяженная компонента со степенным спектром: $S = 510 \nu^{-0.70}$ мЯн. На частоте 0.97 ГГц вклад протяженной компоненты составляет 90% от общей плотности потока. Спектр компактной компоненты на эпоху 02.06.2001 г. описывается параболой $\lg S = 1.835 + 1.075 \lg \nu - 0.409 \lg^2 \nu$ с максимумом на частоте 20 ГГц и плотностью потока в максимуме 350 мЯн (рис. 6а, штриховая линия). На эпоху 06.09.2003 г. спектр компактной компоненты аппроксимируется растущей в сторону высоких частот частью параболы, максимум в спектре находится выше исследуемого диапазона. Скорее всего, в 2003 г. наблюдалась начальная фаза развития новой вспышки.

4.13. Источник J1453+1025

В оптическом спектре (рис. 3в) отождествлены три слабые линии: CIV 1549 Å, CIII] 1909 Å и MgII 2798 Å на красном смещении $z = 1.773$. Объект классифицирован как квазар.

Радиоисточник наблюдался в 2001 и 2002 гг. На рис. 6б приведен спектр на эпохи 07.2001 и 08.2002. С учетом данных на 0.365 ГГц оба спектра укладываются в рамки двухкомпонентной модели: одна компонента, с максимумом на 1 ГГц, практически не изменилась за год; вторая, переменная, на эпоху 07.2001 г. аппроксимируется параболой с максимумом на частоте около 25 ГГц; на эпоху 07.2002 — параболой с максимумом на частоте значительно выше исследуемого диапазона.

4.14. Источник J1522+0400

В оптическом спектре (рис. 3г) присутствуют как линии в излучении, так и в поглощении. Линии излучения отождествлены как [OII] 3727 Å, дуплет [OII] 4958 Å и 5007 Å, линия H α 6563 Å бальмеровской серии и линия [SII] 6724 Å. Красное смещение объекта по этим линиям $z = 0.204$. Три слабые линии поглощения можно отождествить с линиями H β 4861 Å, MgI 5175 Å и NaI 5893 Å на том же красном смещении. Объект является эмиссионной галактикой.

Источник имеет постоянную плотность потока в радиодиапазоне. Его спектр в диапазоне частот 0.365–11.1 ГГц можно представить степенным законом $S = 640 \nu^{-0.832}$ мЯн (рис. 6в).

4.15. Источник J1627+1216

В оптическом спектре (рис. 3д) отождествлены 4 линии в излучении: CIII] 1909 Å, MgII 2798 Å, запрещенные линии [NeV] 3426 Å и [OII] 3727 Å. По этим линиям красное смещение объекта $z = 1.216$. Объект является квазаром.

Источник наблюдался на РАТАН-600 06.2001 г. и 11.2001 г., за это время плотность потока на всех частотах практически не изменилась. Спектр радиоисточника в диапазоне 0.97–21.7 ГГц можно аппроксимировать степенным законом $S = 333 \nu^{-0.125}$ мЯн (рис. 6г), однако, большие невязки при аппроксимации, скорее всего, свидетельствуют о комплексном характере спектра. В рамках двухкомпонентной модели спектр не удалось разделить на компоненты.

4.16. Источник J1722+1013

В оптическом спектре (рис. 4а) наблюдается одна сильная линия шириной около 50 Å, отождествленная с линией MgII 2798 Å и линия [NeV] 3426 Å на красном смещении $z = 0.732$. На длине волны 8670 Å присутствует слабая линия, которая на данном красном смещении соответствует линии [OIII] 5007 Å. Объект классифицирован как квазар.

Радиоисточник наблюдался 3 раза в 2001 и 2003 гг. Спектр источника плоский на эпоху 11.2001 г. (рис. 6д, штриховая линия) и растущий к высоким частотам в другие эпохи (рис. 6д, 06.2003 г. спектр показан сплошной линией). Всего за 5 месяцев на частоте 21.7 ГГц зарегистрировано уменьшение плотности потока более чем в два раза — от 730 ± 48 Ян (06.2001 г.) до 351 ± 34 Ян (11.2001 г.). Относительная амплитуда переменности $V = 0.35$.

4.17. Источник J1728+1215

В оптическом спектре (рис. 4б) наблюдаются три сильные линии, отождествленные с линиями MgII 2798 Å, Hβ 4861 Å и дублетом [OIII] 4958 и 5007 Å на красном смещении $z = 0.589$. Объект является квазаром.

Источник наблюдался в радиодиапазоне 4 раза в 2000–2003 гг. Структурные функции показывают значительную переменность плотности потока источника на масштабе 12 дней на частотах 3.9, 7.7 и 11.1 ГГц. На рис. 6е показан спектр объекта на эпохи 10.2000 г. и 09.2003 г. В первом спектре (сплошная линия) максимум плотности потока находится значительно выше исследуемого диапазона ($\nu_{\max} \approx 110$ ГГц), во втором (штриховая линия) — максимум находится на частоте $\nu_{\max} \approx 20$ ГГц. Спектры, полученные в 2001 и 2002 гг., находятся между этими спектрами. По-видимому, мы наблюдаем развитие одной вспышки, максимум плотности потока при этом смещается в сторону низких частот.

4.18. Источник J2312+1224

В оптическом спектре (рис. 4в) наблюдаются две слабые линии в излучении, отождествленные с полузапрещенной линией углерода CIII] 1909 Å и линией магния MgII 2798 Å на красном смещении 1.285. Объект является квазаром.

В диапазоне частот 0.97–21.7 ГГц источник имеет степенной спектр $S = 695 \nu^{-0.745}$ мЯн и постоянную плотность потока (рис. 6ж). Тем же спектральным индексом описывается спектр в более широком частотном диапазоне 0.178–21.7 ГГц.

4.19. Источник J2315+1027

В оптическом спектре объекта (рис. 4г) самые мощные линии отождествляются с линиями дублета [OIII] 4958 и 5007 Å и линией водорода Hα 6563 Å. Кроме того, в спектре присутствуют запрещенные линии кислорода [OII] 3727 Å и серы [SII] 6717 Å и слабая линия водорода Hβ 4861 Å. По всем линиям красное смещение объекта $z = 0.255$. Объект классифицирован как эмиссионная галактика.

Радиоисточник двойной и не разрешается на РАТАН-600, поэтому мы не смогли получить его характеристики.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Двенадцать объектов, отождествленных с радиоисточниками J0143+1215 ($z = 1.18$), J0242+1101 ($z = 2.694$), J0444+1042 ($z = 2.403$), J0448+1127 ($z = 1.375$), J0516+1057 ($z = 1.580$), J0758+1136 ($z = 0.569$), J1327+1223 ($z = 0.950$), J1453+1025 ($z = 1.773$), J1627+1216 ($z = 1.216$), J1722+1013 ($z = 0.732$), J1728+1215 ($z = 0.589$) и J2312+1224 ($z = 1.285$), классифицированы как квазары. Оптические спектры этих квазаров обладают стандартным набором линий, характерных для квазаров на данном красном смещении: Lyα 1216 Å, CIV 1549 Å, CIII] 1909 Å, MgII 2798 Å. В ряде спектров присутствуют более слабые линии SiIV 1403 Å, [NeV] 3346, 3426 Å, Hβ 4861 Å и дублет [OIII] 4958, 5007 Å.

Из 12 радиоисточников, отождествленных с квазарами, только у трех обнаружены степенные спектры ($S \propto \nu^\alpha$), два из них — 0444+1042 и 0516+1057 — имеют плоские спектры с $\alpha = -0.372$ и $\alpha = -0.322$, соответственно. Источник 2312+1224 имеет нормальный спектр с $\alpha = -0.745$. Плотность потока этих квазаров не менялась в процессе наших наблюдений.

Спектры остальных девяти квазаров нельзя аппроксимировать степенным законом. Из этих объектов пять имеют долговременную переменность плотности потока, плотность потока четырех объектов оставалась постоянной во время наших наблюдений.

Спектры четырех квазаров J0143+1215, J0242+1101, J0758+1136 и J1327+1223 удалось разделить на две компоненты: протяженную вида $\lg S = S_0 + \alpha \lg \nu$ и компактную, которая представляется квадратичной функцией вида $\lg S = S_0 + B \lg \nu + C \lg^2 \nu$.

В спектрах двух объектов, отождествленных с источниками J0449+1121 и J0509+1011, отсутствуют линии, и объекты классифицированы как лацертиды. У обоих объектов существует значительная долговременная переменность с относительной амплитудой V , лежащей в диапазоне 0.2–0.4.

Кроме того, в обоих источниках обнаружена значительная переменность плотности потока с характерными временами 3–4 дня в случае источника J0509+1011 и 4–20 дней в случае J0449+1121. В последнем случае характерное время зависит от частоты и эпохи наблюдения.

Четыре объекта J0315+1012 ($z = 0.222$), J0914+1006 ($z = 0.311$), J1522+1041 ($z = 0.204$) и J2315+1027 ($z = 0.255$) являются эмиссионными галактиками. Во всех спектрах присутствуют линии [OII] 3727 Å, [OIII] 4958, 5006 Å и линия Hα 4861 Å, характерные для эмиссионных галактик.

В объекте J1522+1041, кроме линий излучения, присутствуют три линии поглощения на том же красном смещении. В радиодиапазоне три объекта имеют степенные спектры, спектр источника J0315+1012 в диапазоне 0.178–3.9 ГГц также степенной, на более высоких частотах спектр уплощается — возможно сказывается присутствие слабой компактной компоненты.

Радиоисточник J0749+1057 отождествлен с абсорбционной галактикой на красном смещении $z = 0.214$. Спектр источника разделен на протяженную и компактную компоненты, на частотах 2.3–21.7 преобладает излучение компактной компоненты. Ранее мы также отождествляли радиоисточники с абсорбционными галактиками, например, в случае J1306+1113 [5] и J2330+1218 [4].

Работа поддержана грантом ФЦНТП “Астрономия”, Российским фондом фундаментальных исследований (код проекта 02-07-90247), грантом “Университеты России” (код проекта УР.02.03.029).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. C. Gregory, W. K. Scott, K. Douglas, and J. J. Condon, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **103**, 427 (1996).
2. А. Г. Горшков, В. К. Конникова, М. Г. Мингалиев, *Астрон. журн.* **80**, 978 (2003).
3. M. P. Veron-Cetty and P. Veron, *Astron. and Astrophys.* **374**, 92 (2001).
4. В. Чавушян, Р. Мухика, Х. Р. Валдес и др., *Астрон. журн.* **79**, 771 (2002).
5. В. Л. Афанасьев, С. Н. Додонов, А. В. Моисеев и др., *Астрон. журн.* **29**, 626 (2003).
6. <http://www.sao.ru/moisav/scorpio/scorpio.html>
7. А. М. Боташев, А. Г. Горшков, В. К. Конникова, М. Г. Мингалиев, *Астрон. журн.* **76**, 723 (1999).
8. А. Г. Горшков, О. И. Хромов, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)* **14**, 15 (1981).
9. I. W. A. Browne, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **293**, 257 (1998).
10. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, *et al.*, *Astron. J.* **115**, 1693 (1998).
11. J. N. Douglas, *Astron. J.* **111**, 1945 (1996).
12. D. Monet, A. Bird, B. Canzian, *et al.*, USNO-SA1.0, U. S. Naval Observatory, Washington DC. (1996).
13. A. P. Marscher, W. K. Gear, *Astrophys. J.* **298**, 114 (1985).
14. E. Valtaoja, H. Terasranta, S. Urpo, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **254**, 71 (1992).
15. J. H. Simmonetti, J. M. Cordes, and D. S. Heeschen, *Astrophys. J.* **296**, 46 (1985).
16. P. A. Hughes, H. D. Aller, and V. F. Aller, *Astrophys. J.* **396**, 469 (1992).

Spectral Studies with the 6-m and RATAN-600 Telescopes

V. L. Afanas'ev, S. N. Dodonov, A. V. Moiseev, A. G. Gorshkov,
V. K. Konnikova, and M. G. Mingaliev

We present optical identifications, classifications, and radio spectra for 19 radio sources from a complete sample in flux density with declinations 10° – $12^{\circ}30'$ (J2000) obtained using the 6-m optical telescope (4000 – 9000 Å) and RATAN-600 radio telescope (0.97–21.7 GHz) of the Special Astrophysical Observatory. Twelve objects have been classified as quasars with redshifts from 0.573 to 2.694, and two objects with featureless spectra as BL Lac objects. Four objects are emission-line radio galaxies with redshifts from 0.204 to 0.311 (one also displays absorption lines), and one object is an absorption-line galaxy with a redshift of 0.214. Radio flux densities have been obtained at six frequencies for all the sources except for two extended objects. The radio spectra of five of the sources are separated into extended and compact components. Three objects display substantial rapid (on time scales from several days to weeks) and long-term variability of their flux density.