

УДК 524.7

ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ И КРАСНЫЕ СМЕЩЕНИЯ РАДИОИСТОЧНИКОВ ЗЕЛЕНЧУКСКОГО ОБЗОРА

© 2004 г. В. Р. Амирханян^{1*}, В. Л. Афанасьев²,
С. Н. Додонов², А. В. Моисеев², В. П. Михайлов²

¹Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, Москва

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, пос. Нижний Абхыз

Поступила в редакцию 20.04.2004 г.

На 6-м и 1-м телескопах САО РАН выполнены спектральные наблюдения 22 радиоисточников Зеленчукского обзора (ГАИШ). Для 18 объектов определено красное смещение. Из них десять отождествлены с квазарами, семь — с эллиптическими галактиками, один — с сейфертовской галактикой. Четыре радиоисточника имеют континуальный спектр, три из них — лацертиды. Один объект классифицировать не удалось.

Ключевые слова: активные ядра галактик, квазары, радиоисточники, красное смещение.

ВВЕДЕНИЕ

Организация полной выборки радиоисточников и дальнейшее изучение этих объектов в оптическом диапазоне — плодотворный способ получения списка внегалактических объектов, по которому можно проводить, как статистические исследования, так и изучение отдельных объектов. Связано это с тем, что подавляющее число радиоисточников с потоками в десятки и более миллионских являются внегалактическими объектами. Успешное отождествление радиоисточников Зеленчукского обзора с внегалактическими объектами продемонстрировано в работах Амирханяна и др. (1993), Чавушяна и др. (2000, 2001). В последние три года интенсивность этой работы возросла в связи с разработкой и изготовлением в САО РАН нового спектрографа “SCORPIO” (Афанасьев и др., 2001). Это многофункциональный прибор, позволяющий получать спектры низкого разрешения сразу во всем оптическом диапазоне. Прибор имеет спектральную квантовую эффективность в максимуме чувствительности 30%, что дает возможность даже при плохом качестве атмосферных изображений

звезд (до 4–5”) и заметной облачности получать на 6-м телескопе САО РАН спектры объектов 18–20 зв. величины. Полная автоматизация прибора позволила максимально формализовать как процесс наблюдений, так и обработку наблюдательного материала, превратив их в рутинные процедуры.

В данной работе представлены новые оптические спектры 22 радиоисточников Зеленчукского обзора, для большинства которых удалось измерить красное смещение и провести спектральную классификацию.

ВЫБОРКА РАДИОИСТОЧНИКОВ

Для оптических наблюдений были составлены две выборки радиоисточников Зеленчукского обзора. В первую вошли объекты, расположенные в диапазоне склонений 6–8 ° (Амирханян и др., 1989). Обзор выполнен на частоте 3900 МГц на антенной системе ЮГ+ПЛОСКИЙ радиотелескопа РАТАН-600 с диаграммой направленности 1.2' × 50'. Координаты радиоисточников были уточнены Амирханяном (1990), так как низкая точность определения склонения (2'–10') не позволяла отождествить их с оптическими объектами.

*Электронный адрес: amir@sao.ru

Были проведены дополнительные наблюдения на западном секторе телескопа РАТАН-600 на частоте обзора, что позволило получить близкие точности как по прямому восхождению ($10''$), так и по склонению ($15''$). В выборку вошли радиоисточники, поток которых на частоте 3900 МГц превышал 100 мЯн.

Вторая выборка — это неопубликованная часть Зеленчукского обзора в зените РАТАН-600. Наблюдения проводились в октябре-ноябре 1990 г. на той же антенной системе с третьего облучателя на приемной аппаратуре ГАИШ. Работали одновременно два радиометра на частотах 3900 МГц и 7500 МГц, изготовленных в ГАИШ на базе приемных систем “ОБИХОД” и “ОБЕТ” фирмы “САТУРН”. Радиометры работали в режиме диаграммной модуляции. Наблюдения выполнены на пяти склонениях, разнесенных на $6'$ в диапазоне склонений $43^{\circ}38' - 44^{\circ}02'$ (эпоха 1950 г.) и прямых восхождений $0 - 24^h$. Каждое сечение просматривалось 8–10 раз. В области часовых углов $10 - 16^h$ число наблюдений уменьшается до 4–6, так как антенна переставлялась на Солнце. Обработка наблюдений выполнена программным пакетом, описанным Амирханяном (1990). Средняя чувствительность обзора составила 7.5 мЯн и 12.5 мЯн на 3900 МГц и 7500 МГц соответственно. Порог обнаружения установлен на уровне 4.5σ (σ — текущая чувствительность канала). В точке обнаружения радиоисточника на частоте 3900 МГц порог на 7500 МГц понижался до 3σ . В выборку вошли объекты, обнаруженные на двух частотах.

Несмотря на то что диаграмма направленности на частоте 7500 МГц почти в два раза уже ($0.6' \times 26'$), чем на 3900 МГц, точность склонения остается неудовлетворительной для оптических отождествлений. Поэтому, мы отождествили радиоисточники зенитного обзора с объектами обзора NVSS (Кондон и др., 1998) и склонения последних использовали для отождествления с “оптическими” объектами.

Кроме того, в данной работе нами получен оптический спектр объекта Z0524+03, впервые обнаруженного в Зеленчукском обзоре (Амирханян и др., 1981). Это весьма быстропеременный как в радиоизлучении (Горшков и др., 2000), так и в оптике объект. Его оптический спектр оказался чисто континуальным (Чавушян и др., 2001), и он классифицирован авторами как лацертид. Наши фотометрические наблюдения объекта с января 1998 г. по январь 2001 г. показали, что его величина в фильтре R_c изменялась от 17.85 до 19.45. Так как в момент спектральных наблюдений блеск объекта был далек от максимального ($m_R = 18.9$), то мы надеялись обнаружить в его спектре линии.

Предварительное оптическое отождествление радиоисточников выполнялось с помощью “красных” карт Паломарского обзора неба (DSS). Из попавших в поле ошибок оптических объектов для спектральных наблюдений выбирался ближайший к координатам радиоисточника. При неудаче (звездный спектр) снимали следующий ближайший объект.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Спектры получены на 6-м (БТА) и 1-м (Цейсс-1000) телескопах САО РАН с октября 2000 г. по июнь 2002 г. в период опытной эксплуатации спектрографа SCORPIO — универсального редуктора светосилы телескопа, позволяющий наблюдать объекты последовательно в нескольких различных режимах (прямые снимки, спектроскопия с длинной щелью, бесщелевая, многообъектная, и с интерферометром Фабри-Перо). Подробное описание прибора готовится к печати, а также приведено в Интернет по адресу <http://www.sao.ru/hq/moisav/>. Оптика SCORPIO уменьшает эквивалентное фокусное расстояние телескопа, так что итоговая светосила при наблюдениях на 6-м телескопе была $F/2.9$, а на 1-м телескопе — $F/9$, масштаб изображений с ПЗС-детектором ТК1024 (размер 1024×1024 пикселя) составлял 0.28 и $0.52''/\text{пиксель}$ соответственно. При наблюдениях радиоисточников считывался только фрагмент детектора размером 1024×201 пиксель. В режиме спектроскопии использовалась призма прямого зрения 300 штр/мм, обеспечивающая спектральный диапазон 3500–9500 Å, при спектральное разрешение около $15 - 20 \text{ \AA}$, при обратной линейной дисперсии около $5 \text{ \AA}/\text{пиксель}$. Ширина щели составляла $1 - 1.5''$ в разные ночи при наблюдении на БТА и $2''$ на Цейсс-1000. Журнал наблюдений приведен в табл. 1. Последовательность наблюдений состояла из следующих этапов. В режиме прямых снимков в фильтре R_c проводилось отождествление объекта, на который затем наводилась щель спектрографа. Далее SCORPIO переключался в режим спектроскопии и производились накопления. У используемого ПЗС-приемника на длинах волн, больших чем 7500 Å наблюдается интерференция проходящего света (“муар”). Поскольку в этом диапазоне расположены яркие линии ночного неба, то для более уверенного их вычитания применялась следующая методика. Делалось две одинаковые экспозиции, между которыми объект смещали вдоль щели на $10 - 15''$. В результате, получаем два изображения спектра объекта, смещенные по полю приемника

Таблица 1. Журнал наблюдений

Имя объекта	Дата наблюдений	Время экспозиции, с	Телескоп	Изображение	Зенитное расстояние
Z0108+43	18.10.2001	1000	Цейсс-1000	2".1	45°
Z0134+43	26.10.2001	3600	Цейсс-1000	2.3	11
Z0137+43	27.10.2001	5400	Цейсс-1000	1.5	4
Z0204+06	24.09.2000	600	БТА	2.7	49
Z0206+07	29.09.2000	600	БТА	3.0	46
Z0216+43	17.10.2001	1200	БТА	3.7	43
Z0220+07	29.09.2000	600	БТА	1.9	51
Z0524+03	28.10.2001	3600	Цейсс-1000	1.7	40
Z0632+43	28.10.2001	3600	Цейсс-1000	1.2	26
Z0757+44	18.10.2001	600	БТА	1.8	13
Z1224+43	07.06.2002	600	БТА	3.9	56
Z1426+07	05.05.2002	1200	БТА	2.7	41
Z1614+06	09.06.2002	360	БТА	4.5	52
Z1714+43	07.06.2002	600	БТА	3.9	16
Z2112+07	04.11.2000	360	БТА	1.6	39
Z2122+07	04.11.2000	600	БТА	1.3	39
Z2137+07	24.09.2000	360	БТА	2.0	38
Z2210+06	24.09.2000	600	БТА	1.7	37
Z2211+06	24.09.2000	600	БТА	1.6	38
Z2243+43	18.10.2001	600	БТА	3.3	55
Z2248+06	24.09.2000	600	БТА	2.5	37
Z2329+07	25.09.2000	600	БТА	1.4	37

на 40–50 пикселей. При последующей обработке из спектра объекта вычитался “чистый” спектр, неба взятый с этого же места матрицы, но на смещенном кадре. Шкала длин волн калибровалась по спектру лампы с He-Ne-Ag наполнением. Для привязки спектров к абсолютной энергетической шкале каждую ночь в бесцелевом режиме наблюдалась звезда – спектрофотометрический стандарт.

Полученный материал обработан пакетом про-

грамм, написанным одним из авторов (В.Л. Афанасьевым) в среде IDL.

Редукция данных включала в себя следующие этапы: вычитание тока смещения, учет локальных неоднородностей и клиновидности щели (деление на спектральное “плоское поле”), вычитание линий ночного неба и интерференционного “муара”, основанные на описанной выше идее сдвигов изображений объекта вдоль щели. После перевода спектров в шкалу длин волн проводилась экстракция

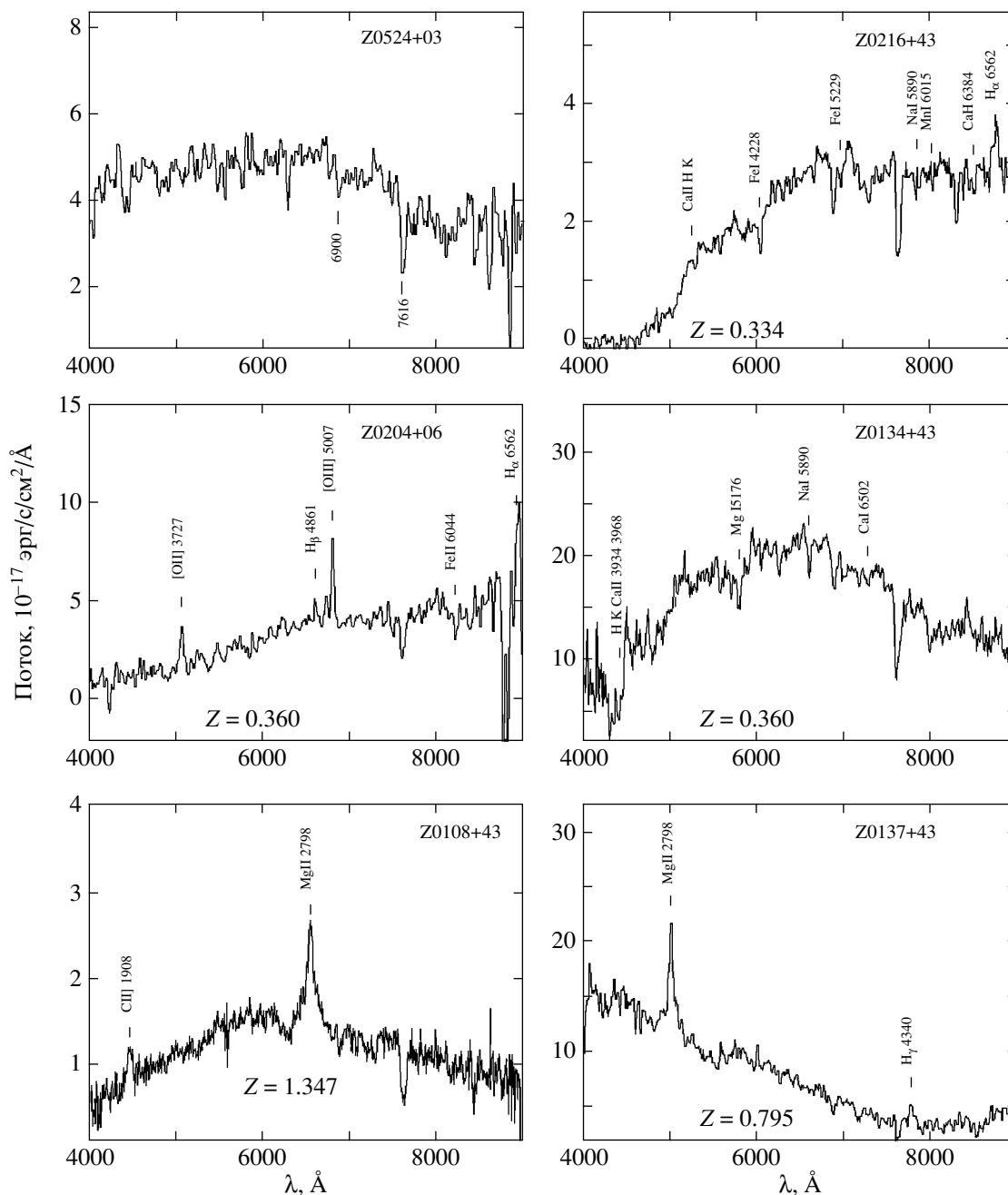


Рис. 1. Оптические спектры 22 радионсточников.

спектра изучаемого объекта. Затем спектр переводился в абсолютную шкалу потоков ($\text{эрг/с/см}^2/\text{Å}$) с использованием кривой спектральной чувствительности, построенной по спектру стандартной звезды, и средней кривой атмосферной экстинкции для САО.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Построенные нами спектры приведены на рисунке. На большинстве спектров видны линии по-

глощения молекулярного кислорода атмосферы на длинах волн 6900 и 7600 Å.

Результаты обработки сведены в табл. 2, где в первом столбце приведено имя объекта в Зеленчукском обзоре; во втором — имя объекта в обзоре, в котором он был впервые обнаружен; в третьем — оптические координаты объекта на эпоху 2000 г.; в четвертом — отождествленные линии в спектре объекта; в пятом — красное смещение (для объекта Z1714+43 приводится также значение z (в скоб-

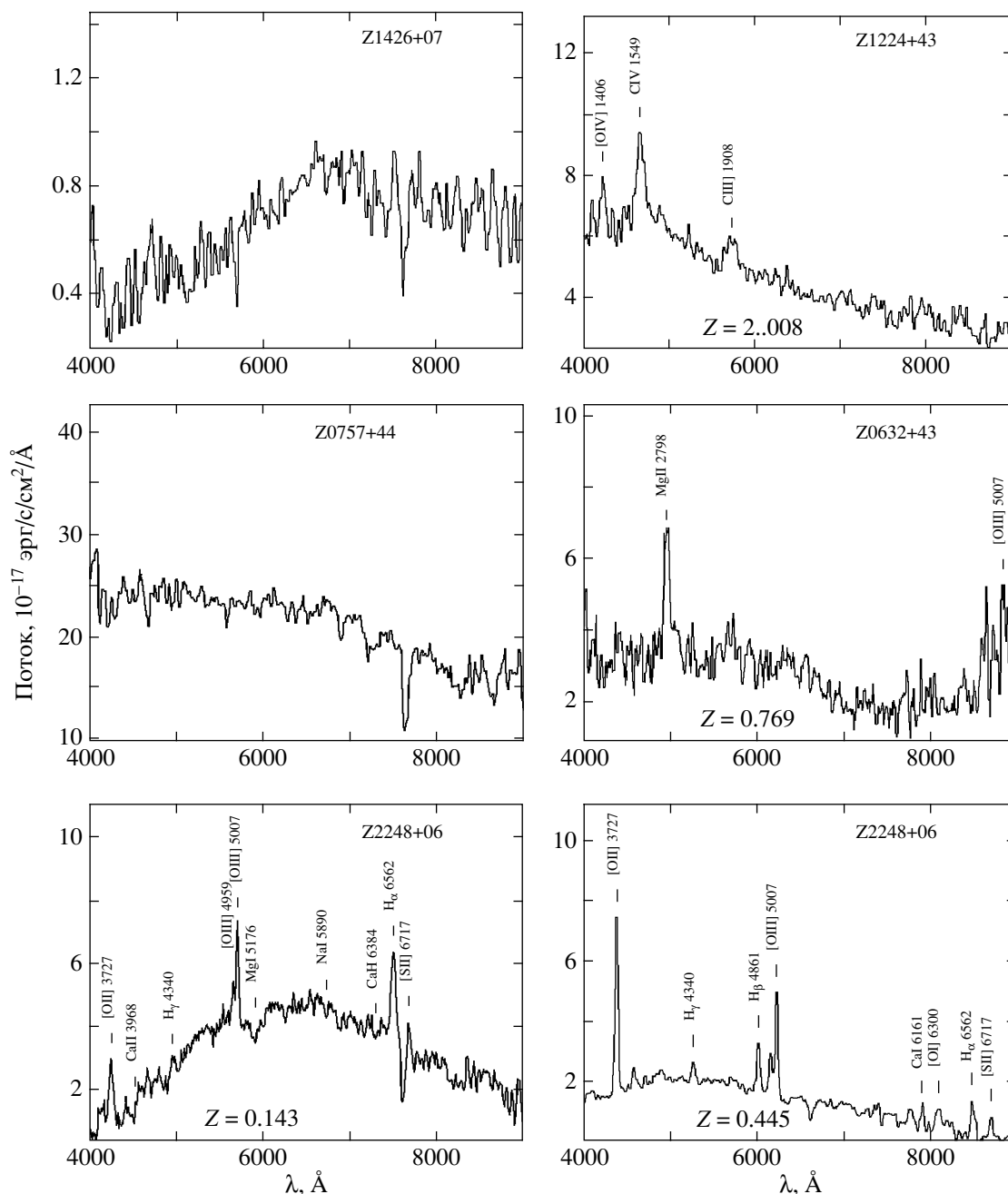


Рис. 1. Продолжение.

до частоты 3 ГГц. На более высоких частотах спектр резко инвертируется ($\alpha = +0.17$). Информации о переменности в радиодиапазоне недостаточно.

Z0137+43. Компактный объект, квазар, радиоспектр плоский от 100 МГц и выше. Большой разброс потоков объясняется переменностью.

Z0204+06. Компактный объект, квазар, радиоспектр нормальный.

Z0206+07. Ядро погружено в гало диаметром 7". Возможно, это эллиптическая галактика

с эмиссионными линиями. Наклон радиоспектра в диапазоне 100 МГц–10 ГГц близок к -0.8 .

Z0216+43. Компактный объект, в спектре которого преобладают линии поглощения. отождествление линий для $Z = 0.334$ представляется авторам наиболее правдоподобным. Радиоспектр нормальный до 1000 МГц. На высоких частотах спектр инверсный. Большой разброс потоков в этом диапазоне связан с переменностью объекта.

Z0220+07. Квазар. В радиодиапазоне спектр нормальный и стабильный. Классический двойной

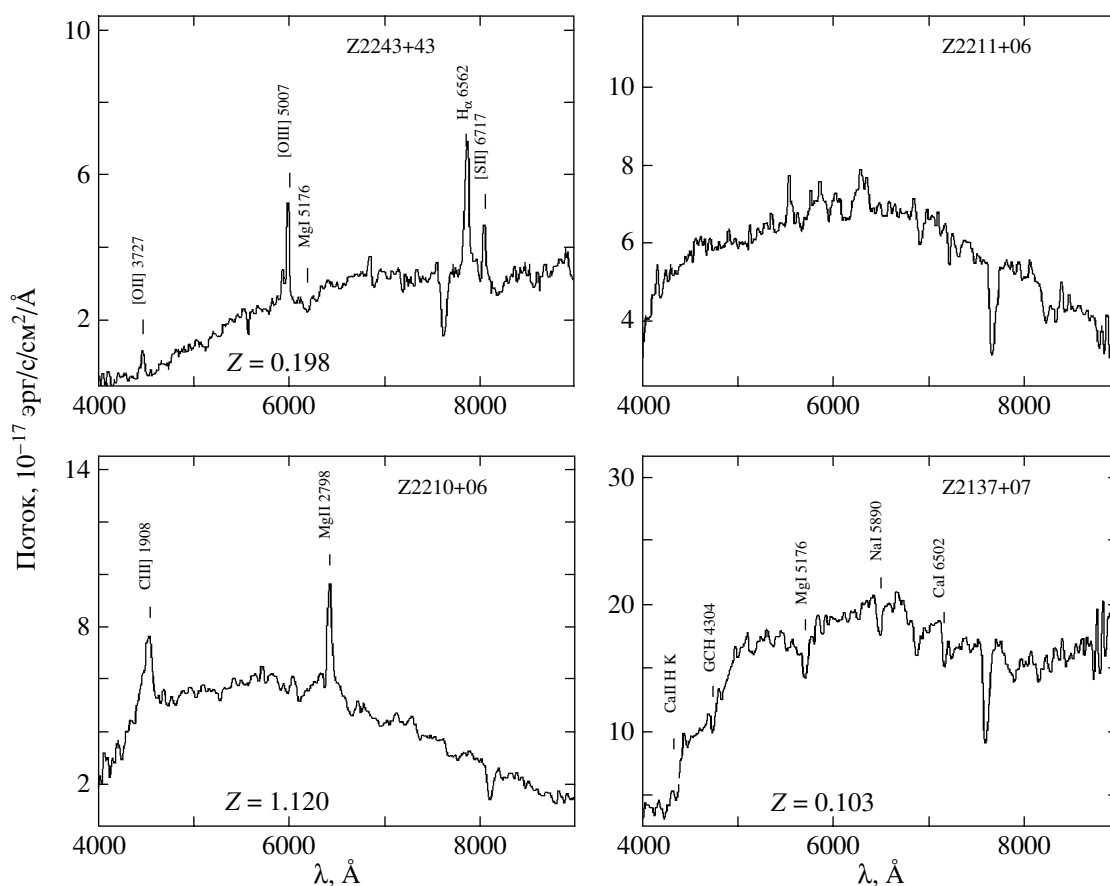


Рис. 1. Окончание.

радиоисточник с максимальным угловым размером $10''$.

Z0524+03. Как и в предыдущих работах, обнаружить линии в спектре объекта не удалось.

Z0757+44. В оптическом диапазоне компактный объект с континуальным спектром. В диапазоне 151–8400 МГц демонстрирует переменность потока и соответствующие колебания спектрального индекса от -0.2 до $+0.3$. По видимому, оптический блеск объекта также переменный. Соответствует классу BL Lacertae.

Z1224+43. Квазар. Радиоспектр нормальный до 1400 МГц. На высоких частотах уплощается и, возможно, демонстрирует переменность.

Z1426+07. В оптическом диапазоне компактный объект. Отождествить спектр не удается. Протяженность радиоструктуры $\sim 6''$ и стабильный нормальный радиоспектр не позволяют отнести этот источник к типу BL Lacertae.

Z1614+06. В оптическом диапазоне протяженный объект, по видимому, эллиптическая галактика с эмиссионными линиями. В радиодиапазоне спектр нормальный, вытянутая структура, симметричная относительно центрального компонента $\sim 60''$.

Z1714+43. Звездообразный объект, квазар. Радиоспектр нормальный.

Z2112+07. Компактное ядро окружено слабой оболочкой. Спектр эллиптической галактики с эмиссионными линиями.

Z2137+07. В оптике весьма протяженный объект. Спектр абсорбционной эллиптической галактики.

Z2211+06. Звездообразный объект. Спектр с мощным континуумом и слабыми линиями, отождествить которые не удастся. В радиодиапазоне демонстрирует сильную переменность и инверсный спектр. Эти признаки позволяют отнести его к BL Lacertae.

Z2243+43. Компактное ядро, окруженное слабой оболочкой. Спектр эллиптической галактики с эмиссионными линиями. Радиоспектр нормальный до 4 ГГц. На более высоких частотах спектр инверсный. Возможно, наблюдается переменность потока.

Z2329+068. В оптическом спектре — широкие эмиссионные линии водорода и запрещенные эмиссионные линии кислорода. В радиодиапазоне спектр уплощенный, поток переменный. Авторы относят объект к классу сейфертовских галактик.

Таблица 2. Оптические и радио параметры исследованных объектов

Имя объекта	Первый обзор	Координаты 2000	Линии	Красное смещение	m_R	Спектральный индекс
1	2	3	4	5	6	7
Z0108+43	B3 0108+433	$\alpha = 01\ 11\ 37.67$ $\delta = 43\ 35\ 31.7$	CIII 1908, MgII 2729	1.347 QSO	20.6	-0.6
Z0134+43	B3 0134+435	$\alpha = 01\ 37\ 11.97$ $\delta = 43\ 48\ 55.9$	CaII 3968, MgI 5176, NaI 5890, CaI 6502	0.122 EG	17.6	-0.6
Z0137+43	Z0137+43	$\alpha = 01\ 40\ 54.74$ $\delta = 43\ 42\ 45.2$	MgII 2798, OIII 3341 OIII 4363, H _g 4340	0.795 QSO	19.0	+0.03 var
Z0204+06	4C+06.09	$\alpha = 02\ 07\ 06.79$ $\delta = 06\ 59\ 01.6$	OII 3727, CaII 3968, H _b 4861, OIII 4959, OIII 5007, FeII 6044	0.36 QSO	19.5	-0.67
Z0206+07	4C+07.07	$\alpha = 02\ 09\ 04.77$ $\delta = 07\ 50\ 04.7$	OII 3727, CaII 3968, OIII 4959, OIII 5007	0.258 QSO	20.1	-0.78
Z0216+43	Z0216+43	$\alpha = 02\ 20\ 07.12$ $\delta = 44\ 01\ 44.5$	H _a 6562 MgI 5176	0.334 EG	19.9	+0.01 var
Z0220+07	4C+06.10	$\alpha = 02\ 23\ 21.31$ $\delta = 06\ 39\ 31.6$	OIII 1908, Mg 2798, OIII 3444	1.406 QSO	19.0	-0.84
Z0524+03	Z0524+03	$\alpha = 05\ 27\ 32.70$ $\delta = 03\ 31\ 32.8$	—	— BL	19.2	~0 var
Z0632+43	TXS B0632+43	$\alpha = 06\ 35\ 56.30$ $\delta = 43\ 33\ 12.9$	Mg 2798, OIII 4363	0.769 QSO	20	-0.6
Z0757+44	Z0757+44	$\alpha = 08\ 01\ 08.33$ $\delta = 44\ 01\ 09.3$	—	— BL	20.2	~0 var
Z1224+43	B3 1224+439	$\alpha = 12\ 26\ 57.96$ $\delta = 43\ 40\ 57.0$	OIV 1406, CIV 1550, CIII 1909	2.008 QSO	20.3	~0 var
Z1426+07	Z1426+07	$\alpha = 14\ 28\ 29.61$ $\delta = 07\ 08\ 36.9$	—	—	20.9	-0.58
Z1614+06	4C+06.55	$\alpha = 16\ 17\ 13.4$ $\delta = 06\ 37\ 29.3$	OIII 5007, H _a 6562	0.156 EG	18.3	-0.8
Z1714+43	MSL OT+424	$\alpha = 17\ 15\ 55.9$ $\delta = 43\ 40\ 16.4$	Mg 2798, OII 3727, OIII 5007	0.69 (0.685) QSO	19.6	-0.82
Z2112+07	OX+020.5	$\alpha = 21\ 14\ 34.6$ $\delta = 07\ 53\ 02.0$	OII 3727, OIII 5007, OI 6300, H _a 6562	0.137 EG	18.1	-0.6
Z2122+07	OX+037	$\alpha = 21\ 24\ 56.8$ $\delta = 07\ 57\ 20.7$	Mg 2798, OIII 4363, OIII 5007	0.854 QSO	19.6	-0.8
Z2137+07	Z2137+07	$\alpha = 21\ 40\ 03.8$ $\delta = 07\ 24\ 58.6$	GCH4304, MgI 5176, NaI 5890, CaI 6502	0.103 EG	17.8	-0.69
Z2210+06	Z2210+06	$\alpha = 22\ 12\ 50.8$ $\delta = 06\ 46\ 08.9$	CIII 1908, MgII 2798	1.12 QSO	19.4	-0.2 var
Z2211+06	OY+019	$\alpha = 22\ 14\ 8.9$ $\delta = 07\ 11\ 42.4$	—	— BL	19.3	+0.1 var
Z2243+43	Z2243+43	$\alpha = 22\ 45\ 50.03$ $\delta = 44\ 01\ 57.3$	OII 3727, OIII 5007, MgI 5176 SII 6717, H _a 6562	0.198 EG	19.2	-0.57 var
Z2248+06	4C+06.75	$\alpha = 22\ 50\ 46.8$ $\delta = 07\ 02\ 05.3$	OII 3727, OIII 5007, H _a 6562 SII 6717	0.143 EG	19.0	-0.6
Z2329+06	PKS 2329+06	$\alpha = 23\ 31\ 55.6$ $\delta = 07\ 05\ 41.5$	OII 3727, H _g 4340 H _b 4861, OIII 5007, H _a 6562 SII 6717	0.445 Sy	20.2	-0.36 var

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены оптические спектральные наблюдения 22 радиосточников Зеленчукского обзора на 1-м и 6-м телескопах САО РАН. Для 18 из них определено красное смещение. Объекты Z0108+43, Z0137+43, Z0204+06,

Z0206+07, Z0220+07, Z0632+43, Z1224+43, Z1714+43, Z2122+07, Z2210+06 определены нами как квазары, Z0134+43, Z0216+43, Z1614+06, Z2112+07, Z2137+07, Z2243+43, Z2248+06 — как эллиптические галактики и Z2329+06 — как сейфертовская галактика.

Z0757+44 и Z2211+06 мы относим к классу BL Lacertae. Для уверенной классификации Z1426+07, видимо, необходимы дополнительные наблюдения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амирханян В.Р., Горшков А.Г., Капусткин А.А. и др., Каталог радиисточников Зеленчукского обзора неба в диапазоне склонений 0–14 (М.: Изд. МГУ, 2989), с. 200.
2. Амирханян В.Р., Горшков А.Г., Капусткин А.А. и др., Каталог радиисточников Зеленчукского обзора неба в диапазоне склонений 0–14 (М.: Изд. МГУ, 2989), с. 200.
3. Амирханян В.Р., Власюк В.В., Спиридонова О.И.), Астрон. журн. **70**, 923 (1993).
4. Афанасьев В.Л., Моисеев А.В., Гажур Э.Б. и др.), Отчет САО 1999–2000, 31 (2001).
5. Беккер и др. (R.H. Becker, R.L. White, and D.J. Helfand), *Astrophys J.* **450**, 559 (1995).
6. Верон-Сетти, Верон (M.P. Veron-Cetty and P. Veron), *Astron. Astrophys. J.* **374**, 92 (2001).
7. Горшков А.Г., Конникова В.К., Мингалиев М.Г.), *Астрон. журн.* **77**, 188 (2000).
8. Кондон и др. (J.J. Condon, W.D. Cotton, E.W. Greisen, *et al.*), *Astron. J.* **115**, 1693 (1998).
9. Трушкин и др. (S.A. Trushkin, H. Andernach, A. Miccol, *et al.*), In Proc. of the Third International Workshop on “Advances in Databases and Information Systems”. Moscow: Engineering Phys. Inst. Publ., 1996), v. 2, p. 37.
10. Чавушян В., Мухика Р., Горшков А.Г. и др.), *Письма в Астрон. журн.* **26**, 403 (2000).
11. Чавушян В., Мухика Р., Горшков А.Г. и др.), *Астрон. журн.* **78**, 99 (2001).