

DOI: 10.54503/0571-7132-2022.65.4-465

РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПЯТНАДЦАТИ ГАЛАКТИК СЕЙФЕРТА

Э.К.ДЕНИСЮК, Р.Р.ВАЛИУЛЛИН, С.А.ШОМШЕКОВА,
Л.Н.КОНДРАТЬЕВА, И.В.РЕВА, Г.К.АЙМАНОВА, М.А.КРУГОВ

Поступила 4 августа 2022

Принята к печати 11 ноября 2022

На базе многолетних наблюдений представлены результаты спектральных исследований пятнадцати сейфертовских галактик в красной области длин волн. В данном диапазоне расположены линии водорода $H\alpha$, [NII], [OI] и [SII]. Представлены данные об абсолютных потоках излучения в эмиссионных линиях и в непрерывном спектре на длине волны $\lambda = 6400 \text{ \AA}$. Для того, чтобы объективно сравнивать исследуемые галактики друг с другом, получены значения их светимостей в абсолютных единицах, рассчитанные с учетом расстояний до этих объектов.

Ключевые слова: галактики с активными ядрами: сейфертовские галактики: эмиссионные линии: потоки излучения

1. Введение. Сейфертовские галактики (Sy) относятся к классу галактик с активными ядрами (АЯГ). Главной особенностью этих объектов является наличие центрального ядра, излучающего количество энергии, сопоставимое с энергией, излучаемой всей окружающей галактикой. Основными источниками энергии служат процессы аккреции материи на массивную черную дыру. В спектрах сейфертовских галактик представлены широкие (Sy1) или узкие (Sy2) эмиссионные линии. Зоны формирования широких эмиссионных линий (BLR) состоят из плотных облаков ионизованного газа, вращающихся в поле тяготения центрального тела (ЦТ). Источником ионизации излучающего газа служит непрерывный спектр аккреционного диска. Переменность АЯГ регистрируется в широком диапазоне длин волн и на разных временных интервалах [1-10]. Исследования переменности проводятся для определения физических условий в окооядерных областях, изучения их структуры, оценки размеров и состава зон формирования эмиссионных компонентов в спектрах объектов. Большое количество работ посвящено изучению переменности потоков излучения в эмиссионных линиях и континууме [11-13]. В частности, одним из результатов можно считать обнаружение антикорреляции между светимостью в континууме и степенью переменности сейфертовских галактик [14,15]. Для интерпретации данной зависимости предлагается использовать

модели неоднородных аккреционных дисков [15]. Четкая связь между изменениями потоков излучения в линии $H\beta$ и в континууме прослеживается в спектрах многих (но не всех) сейфертовских галактик [12]. Появляются данные о взаимосвязях между различными параметрами этих сложных звездных систем [16].

В Казахстане, в Астрофизическом институте им В.Г.Фесенкова (АФИФ) спектральные и фотометрические исследования сейфертовских галактик начались более 50 лет назад и продолжаются до настоящего времени [17-20].

В данной статье приводятся результаты обработки спектрограмм 15-ти галактик Сейферта, полученных в "красном" спектральном диапазоне, где расположены эмиссионные линии водорода, азота [NII] и серы [SII]. Целью работы является оценка степени переменности исследуемых галактик и наличие корреляции между светимостью в эмиссионных линиях и континууме и массой ядра галактики.

2. Наблюдения и обработка данных. Общие сведения об исследуемых галактиках: видимая и абсолютная B -величины, красное смещение Z , масса ядра и видимое сжатие материнской галактики b/a приведены в табл.1. Оценки масс черных дыр в центрах галактик взяты из статей [21-28].

Спектральные наблюдения галактик выполняются в АФИФ на двух телескопах: АЗТ-8 диаметром 0.7 м, установленном на южной окраине города Алматы и 1-м телескопе фирмы Карл-Цейсс Йена, установленном на высокогорной Тянь-Шанской Обсерватории (ТШАО). Телескопы снабжены дифракционными спектрографами с регистрацией изображений спектров на

Таблица 1

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЛАКТИК

Объект	B	M_B	Z	$\log M / M_\odot$	b/a
Mr 6	14.3	-21.41	0.0186	8.1 [24]	0.5
Mr 231	14.3	-21.7	0.0411	8.3 [22]	0.52
Mr 335	13.7	-21.02	0.0251	7.3 [22,24]	0.66
Mr 486	15.2	-20.74	0.0397	7.2 [26]	0.6
Mr 530	14	-21.46	0.0295		0.74
Mr 766	13.5	-20.14	0.0128	6.8 [21]	0.73
Mr 1040	13.6	-20.73	0.0164	6.2 [25]	0.21
Mr 1095	13.6	-22.36	0.0327	8.1 [24]	0.67
Mr 1502	14.3	-22.78	0.0614	8.57 [28]	0.65
Mr 1506	14.3	-21.81	0.0331	7.74 [22,24]	0.59
Mr 1513	14.6	-22.54	0.0617		0.29
NGC4051	11	-18.87	0.0023	6.2 [22-24]	0.74
NGC4151	11.1	-19.3	0.0033	7.33 [22,24]	0.68
NGC5548	13.2	-20.9	0.0168	7.7 [22-24]	0.83
NGC7469	12.6	-21.63	0.0167	7.0 [22-24]	0.69

ПЗС-матрицах SBIG STT-3200 (2184x1472, 6.8 μm). До 2018г. на телескопе АЗТ-8 использовалась ПЗС-матрица SBIG ST-8. Спектрограммы галактик получены с дисперсией 0.5 - 1.1 \AA /пиксель.

Начиная с 2007г., одновременно со спектрами галактики наблюдались и спектры стандартных звезд с известными распределениями энергии из каталога [29]. В процессе обработки спектров вводились поправки, учитывающие атмосферное поглощение и спектральную чувствительность аппаратуры. Стандарты использовались для абсолютной калибровки полученных результатов.

Фотометрические наблюдения выполняются на втором 1-м телескопе фирмы Карл-Цейсс Йена ТШАО. Используется ПЗС камера КАФ-09000 и набор VVR- фильтров. В качестве стандарта выбираются звезды в окрестности галактики с известными звездными величинами.

Для изучения физических процессов, происходящих в сейфертовских галактиках, необходимо знать их параметры в абсолютных единицах. Для

Таблица 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭМИССИОННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СПЕКТРОВ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

Объект	Дата набл.	Диаметр телескопа (м)	F_{cont} $\lambda = 6400\text{\AA}$ 10^{-15} эрг/см ² с \AA	$F(\text{H}\alpha+\text{HII})$ 10^{-12} эрг/см ² с	λL_{cont} среднее эрг/см ² с	L_{emis} среднее эрг/см ² с	$\log \lambda L_{\text{cont}}$ исправ- ленное	$\log(L_{\text{emis}})$ исправ- ленное
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mrk 6	15.01.2015	0.7	14.2	5.1	6.91±0.01	3.65±0.30	43.85±0.01	42.58±0.01
	15.12.2015	0.7	14.0	4.3	E+43	E+42		
Mrk 231	08.04.2011	0.7	12.5	3.8	3.02±0.01 E+44	6.80±0.01 E+42	44.69±0.01	42.84±0.01
Mrk 335	05.08.2011	0.7	6.1	2.05	3.74±1.75	2.64±0.24	43.60±0.01	42.45±0.01
	19.11.2020	1	2.2	1.71	E+43	E+42		
Mrk 486	19.06.2009	0.7	3.1	1				
	23.05.2014	0.7	4.6	1.1				
	31.08.2018	1	7.4	1.2	9.32±1.45	3.94±0.10	43.99±0.07	42.61±0.10
	15.04.2022	0.7	3	1.14	E+43	E+42		
	08.05.2022	0.7	4.1	1.17				
Mrk 530	22.02.2009	0.7	9.5	2.6	1.59±0.40	5.00±0.05	44.24±0.05	42.74±0.06
	19.06.2009	0.7	16.1	2.56	E+44	E+42		
Mrk 766	12.01.2007	0.7	12	1.7				
	19.04.2020	0.7	7.6	1.3	2.20±0.26	4.72±0.90	43.36±0.05	41.69±0.08
	31.01.2022	0.7	8	0.6	E+43	E+41		
	08.05.2022	0.7	10	1.6				
Mrk 1040	15.12.2014	0.7	9.3	0.8	3.89±0.32	5.70±0.60	43.67±0.03	41.84±0.04
	10.11.2020	1	11	1.0	E+43	E+41		

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mrk 1095	02.11.2007	0.7	12.5	1.8				
	15.12.2015	0.7	9.9	2.5				
	04.12.2018	1	9.1	2.7	1.53±0.09	5.81±0.38	44.30±0.02	42.87±0.03
	05.01.2019	1	8.5	2.5	E+44	E+42		
	11.01.2021	0.7	9.6	2.3				
	14.02.2021	0.7	10.5	2.9				
Mrk 1502	22.08.2007	0.7	5.8	0.95	2.90±0.22	7.44±0.55	44.52±0.03	42.93±0.03
	23.09.2008	0.7	5	0.8	E+44	E+42		
Mrk 1506	12.01.2007	0.7	5	1.5	1.17±0.38	3.87±0.22	44.33±0.03	42.85±0.04
	24.11.2020	1	10	1.7	E+44	E+42		
Mrk 1513	17.09.2007	0.7	4.8	1.4				
	29.06.2008	0.7	5	1.7	2.43±0.24	1.21±0.13	44.42±0.04	43.12±0.04
	31.08.2014	0.7	3.6	1.2	E+44	E+43		
NGC 4051	25.05.2012	0.7	16	1.4				
	06.05.2019	1	15	1.7				
	17.04.2020	1	17	1.8	1.18±0.12	1.67±0.40	42.08±0.02	40.23±0.05
	23.04.2021	0.7	18	0.8	E+42	E+40		
	31.03.2022	0.7	15	1.2				
	28.04.2022	0.7	13	1.6				
NGC4151	13.01.2007	0.7	33	17				
	24.04.2011	0.7	27	25				
	18.06.2018	1	34	25				
	06.05.2019	1	39	21				
	17.04.2020	1	44	27	6.39±0.63	4.57±0.62	42.83±0.04	41.68±0.06
	18.04.2020	1	56	26	E+42	E+41		
	23.04.2021	0.7	68	22				
	31.03.2022	0.7	55	25				
	28.04.2022	0.7	40	6.4				
	26.05.2022	0.7	28	6.8				
04.06.2022	0.7	28	6.1					
NGC5548	15.04.2016	0.7	14	4.0				
	12.05.2020	0.7	11	3.0				
	05.03.2021	1	19	3.2				
	19.03.2021	1	18	3.7	5.36±0.55	2.09±0.22	43.75±0.04	42.34±0.03
	31.03.2022	0.7	12.5	3.2	E+43	E+42		
	28.04.2022	0.7	18	4.0				
	08.05.2022	0.7	8.7	3.43				
	26.05.2022	0.7	10	2.1				
	07.05.2022	0.7	8.7	3.43				
NGC7469	18.10.2007	0.7	16	3.1				
	23.08.2009	0.7	15.8	2.4				
	31.08.2014	0.7	20	4.3	8.02±0.95	3.03±0.58	43.96±0.04	42.54±0.07
	10.11.2020	0.7	25	7.6	E+43	E+42		
	19.11.2020	1	24	6.5				

перехода к мощности излучения как в континууме, так и в эмиссионных линиях, сделано предположение о том, что галактики излучают энергию в пространство изотропно. При этом, зная количество энергии, поступающей на 1 см^2 земной поверхности, можно получить светимость галактики. Для этого можно использовать формулу $L = 2.23 \cdot 10^{57} Z^2 E_{obs}$ эрг/с $= 2.23 \cdot 10^{50} Z^2$ ватт, где Z - красные смещения галактик, исправленные за вращение Галактики из [30]. Входящая в формулу постоянная Хаббла здесь $Z = 69.5 \text{ км/с Мпс}$. Светимости, полученные таким методом, могут оказаться как заниженными, так и завышенными. Заниженными они будут, если произошло ослабление излучения туманностями в самой галактике или в межгалактическом пространстве. Завышенные значения получатся, если у галактики наблюдается джет, направленный в сторону наблюдателя.

3. *Полученные результаты.* В табл.2 приводятся обозначения исследуемых галактик, даты наблюдений, диаметры телескопов и абсолютные потоки излучения в континууме на длине волны 6400 \AA и в линиях водорода $\text{H}\alpha$ и азота $[\text{NII}]$. Точность результатов составляет 15%-20%. В столбцах 6 и 7 даны средние светимости в континууме (λL_{cont}) и в эмиссионных линиях L_{emis} , значения этих параметров, исправленные за поглощение в Млечном

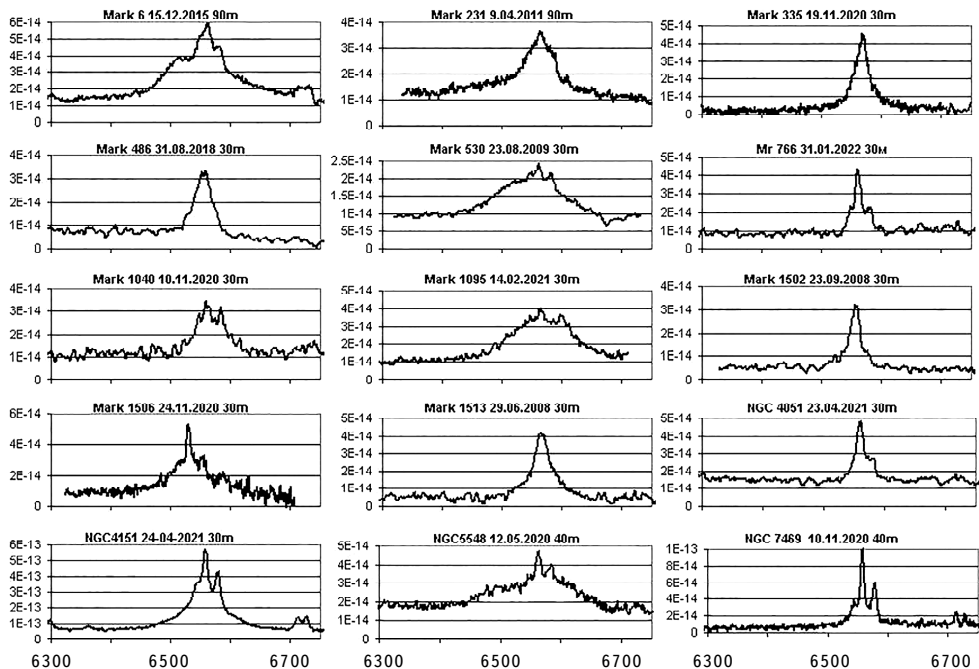


Рис.1. Профили эмиссионных линий $\text{H}\alpha + [\text{NII}]$ в спектрах исследуемых галактик.

Пути, приведены в двух последних столбцах табл.2.

Профили эмиссионных линий в спектрах всех исследуемых галактик приводятся на рис.1. Изменения уровня континуума и потока излучения в эмиссионных линиях зарегистрированы в спектрах нескольких галактик. Так, наблюдаются нерегулярные колебания значений $F(\text{H}\alpha + [\text{NII}])$ (в 2-3 раза) в спектрах Mrk 766, NGC 4051 NGC 5548. В апреле 2022г. в спектре NGC 4151 зарегистрировано резкое ослабление (в 5 раз) потоков излучения в линиях и в континууме, которое сопровождалось ослаблением блеска объекта. Кривая блеска NGC 4151 приводится на рис.2. При этом форма профилей эмиссионных линий практически не изменилась. Можно предположить, что наблюдаемые изменения возникли в результате увеличения поглощения на луче зрения. Также существенные спектральные изменения произошли в галактике NGC 7469 - к 2020г. излучение в эмиссионных линиях возросло в 2-3 раза.

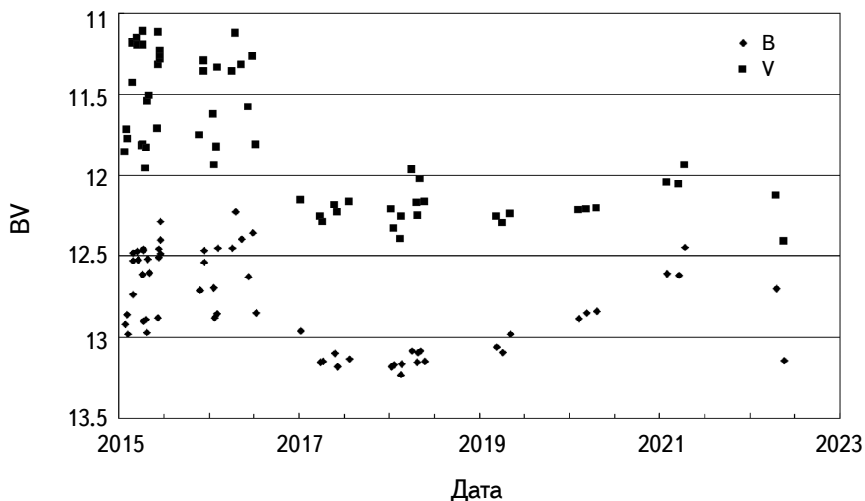


Рис.2. Кривые блеска галактики NGC 4151. Ось X - временная шкала (годы). Ось Y - звездные величины в фильтрах B и V

4. **Заключение.** Проведенные исследования в очередной раз подтвердили спектральную переменность большинства галактик из нашего списка. Наиболее ярко выраженными являются результаты, указывающие на быстрые изменения в спектрах галактик NGC 4151 и NGC 7469.

Анализ светимостей, полученных для наших объектов, показал, что существует некая зависимость интенсивности линий $[\text{NII}]$ от светимости галактики. Так, в спектрах галактик высокой светимости $L_{\text{cont}=6400\text{\AA}}$ линии азота существенно слабее.

На рис.3 приводятся данные из последнего столбца табл.2 в зависимости

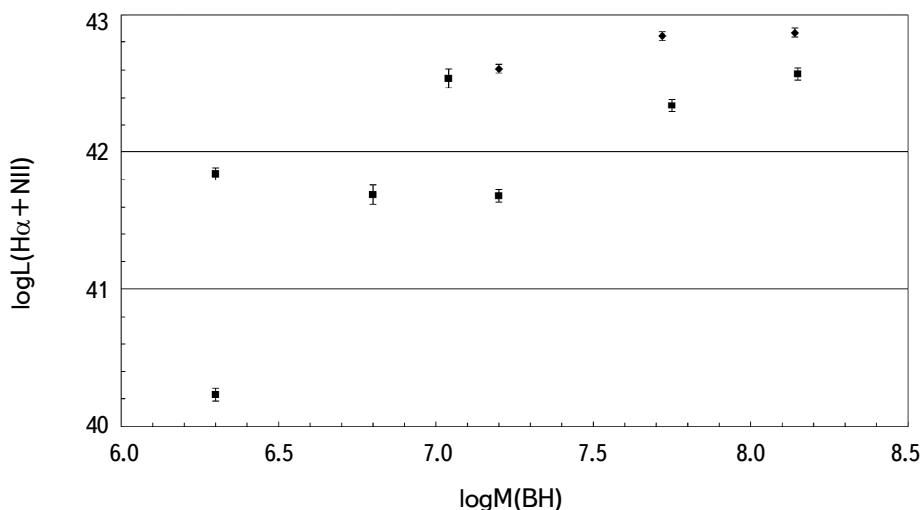


Рис.3. Светимости галактик в эмиссионных линиях $\text{H}\alpha + [\text{NII}]$ в зависимости от массы ЦТ. Ось X - массы ЦТ в логарифмической шкале, ось Y - светимость в логарифмической шкале.

от массы ЦТ. С ростом массы можно проследить тенденцию усиления потоков излучения в эмиссионных линиях. Большой разброс точек связан, в том числе, с ограниченным объемом используемых данных. Более подробные исследования взаимосвязи между массой черной дыры и оптическим излучением галактики проводились рядом авторов. При этом были получены противоречивые результаты. Так, в работе [30] получены четкие зависимости между потоком излучения в линии $\text{H}\beta$ и оптическим континуумом, а также выявлена взаимосвязь между массой ЦТ и общей светимостью галактики. Однако более поздние исследования, например [31,32], не выявили корреляций между массой ЦТ и светимостью в рентгеновском, радио и оптическом диапазонах.

Исследование финансируется Аэрокосмическим комитетом Министерства цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан (программа № BR 11265408).

Астрофизический институт им В.Г.Фесенкова, Алматы,
Казахстан, e-mail: eddenis@mail.ru

RESULTS OF THE SPECTRAL OBSERVATIONS
OF FIFTEEN SEYFERT GALAXIESE.K.DENISSYUK, R.R.VALIULLIN, S.A.SHOMSHEKOVA,
L.N.KONDRATYEVA, I.V.REVA, G.A.AIMANOVA, M.A.KRUGOV

The results of spectral studies of fifteen Seyfert galaxies in the red wavelength region based on the long-term observations, are presented. Some emission lines $H\alpha$, [NII], [OI] и [SII] are located in this wavelength range. Data on the absolute fluxes of radiation in emission lines and in continuum at the wavelength of $\lambda = 6400 \text{ \AA}$ are presented. In order to objectively compare the studied galaxies with each other, the values of their luminosities in absolute units were calculated, taking into account the distances to these objects.

Keywords: *active nuclei galaxie: seyfert galaxies: emission lines: emission fluxes*

ЛИТЕРАТУРА

1. *M.Pahari, I.McHardy, F.Vincentell et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **494**, 4057, 2020.
2. *M.Vestergaard et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **493**, 1227, 2020.
3. *K.Lu, Y.Huang, Z.Zhang et al.*, Astrophys. J., **877**, 23, 2019.
4. *L.Gallo, D.Blue, D.Grupe et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **478**, 2557, 2018.
5. *M.Dehghanian, G.Ferland, G.A.Kriss et al.*, Astrophys. J., **881**, 153, 2019.
6. *V.Oknyansky, M.Brotherton, S.Tsygankov et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **505**, 1029, 2021.
7. *C.Panagiotou, I.Papadakis, E.Kammoun et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **499**, 1988, 2020.
8. *A.Mickaelian, R.Andreasyan, H.Abrahamyan et al.*, A&AT, **32**, 331, 2021.
9. *L.Afanasiev, C.Popovic, A.Shapovalova et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **482**, 4985, 2019
10. *A.Shapovalova, L.Popovic, V.Chavushyan et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **466**, 4759, 2017.
11. *B.M.Peterson, D.M.Crenshaw, D.M.Meyers et al.*, Astrophys. J., **279**, 529, 1984.
12. *B.M.Peterson, I.Wanders, R.Bertram et al.*, Astrophys. J., **501**, 82, 1998.
13. *Y.Rashed, A.Eckart, M.Valencia-S et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **454**, 2918, 2015.
14. *H.Meusinger, V.Weiss*, Astron. Astrophys., **560**, 104, 2013.
15. *H.Guo, M.Gu*, Astrophys. J., **792**, 33, 2014.

16. *K.Lu, Y.Huang, Z.Zhang et al.*, *Astrophys. J.*, **877**, 23, 2019.
17. *S.Shomshekova, E.Denissyuk, R.Valiullin et al.*, *Astrophysics*, **62**, 163, 2019.
18. *E.Denissyuk, R.Valiullin, V.Gaisina*, *Astron. Rep.*, **59**, 123, 2015.
19. *Э.К.Денисюк, Р.Р.Валиуллин, В.Н.Гайсина*, *Астрон. ж.*, **91**, №12, 1, 2014.
20. *E.Denissyuk, R.Valiullin, V.Gaisina*, *Astron. Rep.*, **55**, 761, 2011.
21. *V.A.Lipovetsky, S.I.Neizvestny, O.N.Neizvestnyya*, *SoSAO*, **55**, 5L, 1988.
22. *H.Bahe, J.-H.Woo, D.Park*, *Astrophys. J.*, **875**, 50, 2019.
23. *K.Dohyeong, I.Myungshin*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **216**, 17, 2015.
24. *C.Misty, E.Manne-Nicholas*, *Astrophys. J.*, **864**, 146, 2018.
25. *L.Winter, R.Mushotzky, C.Reynolds et al.*, *Astrophys. J.*, **690**, 1322, 2009.
26. *C.Hu, S.-S.Li, S.Yang*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **253**, 20, 2021.
27. *B.Misty, C.K.Sarah*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **127**, 67, 2015
28. *L.Afanasyev, L.Popović, A.Shapovalova*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **482**, 4985, 2019.
29. *А.В.Харитонов, В.М.Терещенко, Л.Н.Князева*, *Спектрофотометрический каталог звезд*, Алматы: Казак Университет, 2011, с.303.
30. *S.Kaspi, P.Smith, H.Netzer et al.*, *Astrophys. J.*, **533**, 631, 2000
31. *F.Panessa, X.Barcons, L.Bassani*, *AIPC*, **924**, 830, 2007.
32. *J.-H.Woo, C.M.Urri*, *Astrophys. J.*, **579**, 530, 2002.