

СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СВЕРХЯРКИХ ИК ГАЛАКТИК ИЗ ОБЪЕДИНЕННОГО КАТАЛОГА IRAS PSC/FSC

Г.А.МИКАЕЛЯН, А.М.МИКАЕЛЯН, А.В.АБРАМЯН,
Г.М.ПАРОНЯН, М.В.ГЮЛЬЗАДЯН

Поступила 12 апреля 2019

Принята к печати 13 сентября

Яркие ИК галактики (LIRG, ULIRG и HLIRG) важны для исследований, связанных с процессами звездообразования в ранней Вселенной, поскольку их светимость позволяет обнаруживать их на больших расстояниях. Высокий ИК указывает на активное звездообразование и процессы вспышек звездообразования, что типично для НII областей (Starburst, SB). Во многих случаях высокий ИК указывает на активное галактическое ядро (AGN). В связи с этим возникает вопрос - SB вызывает AGN или наоборот, или нет прямого воздействия? Учитывая, что очень часто такие объекты являются двойными или кратными системами, также интересно исследовать взаимосвязь между SB, ядерной активностью членов системы и их взаимодействие или слияние. В результате кросс-корреляции Объединенного каталога IRAS PSC/FSC с SDSS DR14 были отождествлены и классифицированы по типам активности 114 сверхярких ИК галактик. Выявлен 1 BLL, 2 квазара, 29 сейфертов типов 1.0-1.8, 5 сейфертов типа 2, 14 лайнеров, 36 НII областей, 14 объектов с составным спектром (Composite). Среди сейфертовских галактик типа 1 есть много объектов с узкими линиями.

Ключевые слова: *инфракрасные галактики: активные галактики: галактики со вспышкой звездообразования: активные галактические ядра: сверхяркие ИК галактики*

1. Введение. Астрономия находится в эпохе многоволновых исследований, однако наиболее интересные результаты получаются в инфракрасном (ИК) диапазоне, особенно если учесть недавно осуществленные наземные обзоры и космические миссии. Астрономические ИК источники содержат ряд интересных космических объектов: квазары и другие активные галактические ядра (AGN), звезды поздних спектральных классов, планетарные туманности, переменные и др.

ИК галактики (открытые ИК астрономическим спутником IRAS в 1983г.), представляют собой богатые газом и пылью спиральные галактики, ИК светимость которых в основном обусловлена образованием звезд внутри них. Тем не менее, светимость некоторых галактик обусловлена активным галактическим ядром. Эти AGN находятся в компактных центральных областях галактик и имеют светимость выше нормальной. Наиболее яркие ИК галактики являются взаимодействующими или сливающимися парами (мерджерами) или кратными

галактиками.

Активность галактик, предсказанная Амбарцумяном [1,2], может быть ядерной и обусловленной звездообразованием (Starburst, SB). Первая относится к ядрам галактик, и эти объекты называются AGN. Активность проявляется в мощном нетепловом излучении, которое присутствует от радио до гамма-излучения. Аккреция на сверхмассивную черную дыру (SMBH) в центральной части галактики считается первоначальным источником энергии. Активность SB связана с высоким темпом звездообразования (SFR) на коротких периодах эволюции. Типичная SFR составляет несколько $M_{\odot}$ в год, но может достигать до $10^3 M_{\odot}$ в год. Таким образом, галактики высокой светимости могут питаться также быстрым всплеском SFR (SB). Установлено, что взаимосвязь между этими двумя типами важна для формирования и эволюции галактик, звездообразования и обогащения Вселенной металлами. Тем не менее, существуют серьезные разногласия о существовании физической связи между SB и AGN и о том какая из этих двух побуждает другую.

Существуют наиболее мощные ИК галактики, называемые яркими инфракрасными галактиками (LIRG), светимость которых может быть обусловлена вспышками звездообразования, а также AGN. Энергия, излучаемая LIRG, сравнима с энергией квазаров, которые раньше были известны как самые энергетичные объекты во Вселенной. LIRG - это галактики с ИК светимостью выше $10^{11} L_{\odot}$ (в 100 миллиардов раз больше, чем у Солнца) [3]. LIRG более распространены, чем SB галактики, сейфертовские галактики и квазары с сопоставимой светимостью. ИК галактики излучают больше энергии в ИК диапазоне, чем на всех других длинах волн вместе взятых. Галактики со светимостью выше $10^{12} L_{\odot}$ называются сверхяркими ИК галактиками (ULIRG). Во многих из этих типов галактик SFR составляет около $100 M_{\odot}$ в год, т.е. в 100 раз больше по сравнению с нашей Галактикой (SFR составляет только 1 звезду в год), что обеспечивает высокий уровень светимости. Многие из LIRG и ULIRG являются взаимодействующими. Ярче, чем ULIRG, являются гиперяркие ИК галактики (HLIRG, $L_{\text{ИК}} > 10^{13} L_{\odot}$), а наиболее яркими инфракрасными являются ELIRG.

Оптическая идентификация источников IRAS из каталога точечных источников IRAS (PSC) [4] и каталога слабых источников IRAS (FSC) [5] - сложная и неопределенная задача из-за ошибок координат и многих сомнительных (нереальных) обнаружений. Каталоги IRAS PSC и IRAS FSC предоставляют фотометрическую информацию о потоках в диапазонах длин волн 12, 25, 60 и 100 мкм. IRAS PSC содержит 245889 источников со всего неба, а IRAS FSC содержит 173044 источника на галактических широтах $|b| > 10^{\circ}$. Абрамян и др. [6] кросскоррелировали эти два каталога и создали IRAS PSC/FSC объединенный каталог. В рамках Армянской виртуальной обсерватории (ArVO) они создали

программное обеспечение, с помощью которого осуществили кросскорреляции [7]. Объединенный каталог IRAS PSC/FSC содержит 345163 источника. Чтобы получить точные позиции и потоки в других ИК диапазонах источников, авторы сделали кросскорреляцию с более новыми каталогами: AKARI IRC [8], AKARI FIS [9] и AllWISE [10], который также содержит данные J, H и K из каталога 2MASS [11]. В табл.1 приводятся основные характеристики каталогов IRAS PSC, IRAS FSC, AKARI IRC, AKARI FIS и AllWISE. Как видно из таблицы, эти данные покрывают достаточно широкий диапазон в 2.6-180 микронов и каталог является наиболее полной и однородной базой ИК источников, особенно для внегалактических исследований.

Таблица 1

**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТАЛОГОВ IRAS PSC,
IRAS FSC, AKARI IRC, AKARI FIS И AllWISE**

Каталоги	IRAS-PSC	IRAS-FSC	AKARI-IRC	AKARI-FIS	AllWISE
Год	1986	1989	2010	2010	2013
Полосы волн (мкм)	12, 25, 60, 100	12, 25, 60, 100	9, 18	65, 90, 140, 160	3.4, 4.6, 11.6, 22.6, 1.25, 1.65, 2.17
Диапазон волн (мкм)	8-120	8-120	6.7-25.6	50-180	2.6-28
Разрешение (")	40	20	0.3	0.8	0.5
Чувствительность (Jy)	0.25, 0.25, 0.4, 1.0	0.1-0.5	0.05, 0.12	~0.55	0.00008-0.006
Область неба	Все небо	$ b > 10^\circ$	Все небо	Все небо	Все небо
Покрытие (%)	96	83	94	98	99
Количество источников	245889	173044	870973	427071	747634026

В Бюраканской обсерватории более 20 лет активно занимаются оптической идентификацией и спектральными исследованиями ИК источников [12,13]. В целом, были идентифицированы 1577 точечных источников из IRAS PSC. Оптическая идентификация была осуществлена с помощью цифрового обзора неба (DSS) и спектрального обзора Маркаряна, который проводился в БАО. В результате были выделены объекты BIG (Бюракан-IRAS Галактики) и BIS (Бюракан-IRAS Звезды), которые вошли в международные астрономические базы данных. В целом были сделаны наблюдения 172 галактик [14-18]. Кроме того, из спектральной базы данных SDSS были исследованы и классифицированы еще 83 галактики [19]. Данная работа является продолжением этих работ.

2. Выборка сверхярких ИК галактик. В качестве предварительной основы был взят IRAS PSC/FSC объединенный каталог, который содержит

345163 источников [6]. Координаты источников IRAS PSC/FSC объединенного каталога скорректированы с помощью других каталогов, в частности AKARI-IRC [8], AKARI-FIS [9] и WISE [10]. Поскольку погрешность координат каталога WISE ($\sim 1''$) значительно меньше погрешностей координат двух других каталогов, то для достоверности из IRAS PSC/FSC объединенного каталога были взяты те источники, координаты которых были скорректированы именно с помощью каталога WISE, их число составляет 308047. Далее была осуществлена кросскорреляция с SDSS DR14 [20]. С учетом того, что погрешность координат WISE $\sim 1''$, а погрешность координат SDSS намного меньше - $\sim 0.1''$, то их общая погрешность будет:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{WISE}}^2 + \sigma_{\text{SDSS}}^2}.$$

В результате кросскорреляции были взяты только те SDSS объекты, у которых спектроскопические данные были единственными объектами в радиусе 3σ . Было найдено 6346 объектов.

Поскольку для вычисления ИК светимостей источников необходимы плотности потоков на длинах волн 12, 25, 60 и 120 мкм, которые представлены в IRAS PSC/FSC объединенном каталоге, то из найденных 6346 объектов в результате кросскорреляции с SDSS были взяты только те, которые имели данные о плотностях потоков на всех четырех длинах волн - 6270 объектов.

После этого ИК светимости были вычислены следующей формулой [21]:

$$L_{\text{ИК}} = 5.6 \times 10^5 R^2 (13.56 f_{12} + 5.26 f_{25} + 2.54 f_{60} + f_{100}) L_{\odot},$$

где R - расстояние объекта в мегапарсеках и f_{12} , f_{25} , f_{60} , f_{100} - плотности потоков, соответственно на длинах волн 12, 25, 60, 100 мкм. Для определения расстояний были приняты следующие значения космологических постоянных: $H_0 = 71 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$, $\Omega_M = 0.29$, $\Omega_{\Lambda} = 0.71$. Далее из 6270 объектов были выбраны только те, у которых ИК светимость больше $10^{12} L_{\odot}$ (нижняя граница светимостей ULIRG-ов), и которые в фильтре r ярче 17.77 звездной величины (спектроскопическая верхняя граница SDSS для галактик).

Таким образом были выбраны 114 внегалактических объектов, которые имеют высокую ИК светимость и соответствуют классам ULIRG/HLIRG.

3. Принципы классификации. Классификация выборки по типам активности была выполнена визуально - исследованием спектров SDSS, поскольку у большинства спектров разные линии теряются в шуме, из-за которого невозможно построить диагностические диаграммы. Также визуально можно учитывать ширину эмиссионных линий и заметить широкие компоненты, которые играют важную роль для подклассов сейферт 1.0-1.9. Более того, без удаления компонентов широких линий нельзя вычислять отношения узких линий, а данные таблицы относятся к общим интенсив-

ностям суммарных линий. Таким образом, широкие и узкие компоненты линий, относящиеся к разным областям активного ядра, накладываются, и принципы классификации галактик искажаются.

Мы различаем разные типы активных галактик с узкими линиями по следующим критериям:

- Сейферты от LINER-ов по $[\text{OIII}]/\text{H}\beta > 3$,
- AGN от NII по $[\text{NII}]/\text{H}\alpha > 0.6$, $[\text{OI}]/\text{H}\alpha > 0.1$.

Среди наших объектов проявляются следующие типы активности:

S1.0 - Seyfert 1 с широкими линиями. Имеют разрешенные широкие бальмеровские линии HII и узкие запрещенные линии. Узкие линии водорода полностью теряются в мощных широких компонентах. Это физически те же объекты, что и квазары, но имеют более слабую светимость ($M_{\text{abs}} > -23$) [22] и $\text{H}\beta/[\text{OIII}]5007 > 5$ [23].

NLS1.0 - Seyfert 1 с узкими линиями. Определяются как источники мягкого рентгеновского излучения, разрешенные широкие линии относительно узки (~ 2000 км/с), и шириной мало превышают запрещенные линии. Существуют различные эмиссионные линии FeI, FeII, FeIII, а также линии с более высокой ионизацией [FeVII] и [FeX] [24].

S1.2 - AGN со спектрами, имеющими параметры, промежуточные между классическими Sy1 и Sy2 галактиками, т.е. присутствуют как широкие, так и узкие компоненты разрешенных линий (в нашем случае такие профили показывают линии H α и H β) [22], тем не менее, широкие линии сильнее, и $2.0 < \text{H}\beta/[\text{OIII}]5007 < 5.0$ [23].

NLS1.2 - Seyfert 1.2 с узкими линиями. Определяются как источники мягкого рентгеновского излучения, разрешенные широкие линии относительно узки (~ 2000 км/с) и шириной мало превышают запрещенные линии. Существуют FeI, FeII, FeIII и часто линии с более высокой ионизацией [FeVII] и [FeX], различные эмиссионные линии [24].

S1.5 - AGN со спектрами, имеющими параметры, промежуточные между классическими Sy1 и Sy2 галактиками, в которых наблюдаются узкие и широкие компоненты линий Бальмеровской серии водорода, примерно одинаковой интенсивности [22], но $0.333 < \text{H}\beta/[\text{OIII}]5007 < 2.0$ [23]. Интенсивности широких и узких компонентов примерно равны.

NLS1.5 - Seyfert 1.5 с узкими линиями. Определяются как источники мягкого рентгеновского излучения, разрешенные широкие линии относительно узки (~ 2000 км/с) и шириной мало превышают запрещенные линии. Существуют FeI, FeII, FeIII и часто линии с более высокой ионизацией [FeVII] и [FeX], различные эмиссионные линии [24].

S1.8 - AGN со спектрами, имеющими параметры, промежуточные между классическими Sy1 и Sy2 галактиками, имеют относительно более слабые

широкие $H\alpha$ и $H\beta$ компоненты, наложенные на более сильные узкие линии, и $H\beta/[OIII]5007 < 0.333$ [23].

S1.9 - AGN со спектрами, имеющими параметры, промежуточные между классическими Sy1 и Sy2 галактиками, имеют относительно более слабый широкий компонент $H\alpha$, наложенный на более сильную узкую линию. Широкий компонент $H\beta$ не наблюдается [22], и $H\beta/[OIII]5007 < 0.333$ [23].

S2.0 - AGN со спектрами, показывающими относительно узкие разрешенные балмеровские и запрещенные линии (по сравнению с Sy1) с почти одинаковой FWHM, обычно в диапазоне $300 - 1000 \text{ км с}^{-1}$. Широкого компонента не видно. Вторичным классификационным критерием служит условие $[OIII]5007/H\beta \geq 3$, что позволяет отличить их от Sy1n или NLS1 [25].

LINER - Галактические ядра с эмиссионными линиями, формирующимися в областях низкой ионизации, введены Хекманом [26]. Они имеют Sy2-подобные спектры с относительно сильными линиями низкой ионизации ($[OI]$, $[OII]$). Отношения $[OII]3727/[OIII]5007 \geq 1$, $[OI]6300/[OIII]5007 \geq 1/3$. По данным Хо и др. [27] существуют 2 типа LINER-галактик: тип 1 показывает широкое балмеровское излучение, аналогичное излучению Sy1, и тип 2 - излучение без широких линий $H\alpha$, аналогичное Sy2.

НII - Внегалактические области НII имеют спектры, похожие на SB, т.е. спектры с сильными узкими ($FWHM \leq 300 \text{ км с}^{-1}$) линиями излучения, но с отношением $[OIII]/H\beta \geq 3$ и $[NII]6583/H\alpha < 0.6$, в сочетании с синим континуумом [25,28]. По сути, то же самое, что и SB, просто для классификации SB необходимо иметь скорость звездообразования.

Сложные (НII/LINER, НII/Sy или LINER/Sy) - объекты со сложными спектрами, в которых присутствуют спектральные особенности НII и LINER, НII и Sy или LINER и Sy, а в некоторых случаях - всех трех [29]. Раньше они классифицировались как галактики с переходным (transition) спектром.

AGN - Спектры относительно низкого качества, в которых наблюдаются лишь несколько линий излучения, в основном $H\alpha$ с линиями НII и отношением $[NII]/H\alpha$, типичным для AGN, то есть Sy или LINER. Конечно, спектры излучения LINER-ов не обязательно связаны с активностью их ядер, однако, это может помочь грубой классификации.

Em - Спектры относительно низкого качества, в которых наблюдаются одна или несколько линий излучения без возможности их точной классификации. Обычно эти спектры имеют сильный звездный компонент (континуум и поглощение), и эмиссионные линии трудно заметны на линиях континуума и поглощения.

Abs - Спектры, имеющие только линии поглощения, наложенные на континуум. В основном проявляют более сильные звездные линии - $MgII$ 5175, NaI 5890-96, а также балмеровские линии. ИК, радио или рентгеновские источники

с такими спектрами часто могут содержать скрытые AGN.

4. *Классификация спектров по типам активности.* В табл.2 приводится список всех классифицированных объектов, где r - расстояние, на котором найден объект при кросскорреляции, z - красное смещение.

Таблица 2

СПИСОК ВСЕХ КЛАССИФИЦИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

N	Координаты IRAS		r "	Потоки IRAS				SDSS model		z	log $L_{\text{ИК}}/L_{\odot}$
	RAJ2000	DEJ2000		Fir12 mJy	Fir25 mJy	Fir60 mJy	Fir100 mJy	u mag	g mag		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	00 20 00.27	+32 08 02.8	0.19	0.29	0.19	0.33	4.76	18.97	17.53	0.110	12.06
2	00 30 25.61	-09 26 17.4	1.29	1.03	1.61	11.40	47.70	19.93	18.46	0.129	13.16
3	00 33 21.83	-05 05 44.6	2.42	0.46	5.66	27.60	99.80	19.31	17.12	0.053	12.74
4	00 44 59.12	+19 21 41.4	0.26	0.14	0.18	0.32	0.82	16.91	16.78	0.179	12.07
5	01 14 27.48	+27 21 39.0	1.33	1.34	0.76	15.60	115.00	19.33	18.07	0.109	13.28
6	01 19 56.73	+13 34 31.5	0.29	0.10	0.16	0.31	0.80	19.23	18.00	0.191	12.05
7	01 27 09.34	+08 40 15.5	2.84	0.57	0.34	2.64	39.00	19.59	17.35	0.045	12.03
8	01 37 58.27	-08 34 30.4	0.04	0.16	0.18	0.29	0.76	20.43	18.39	0.189	12.13
9	01 59 50.25	+00 23 41.0	0.12	0.12	0.54	2.22	2.16	15.93	15.70	0.163	12.44
10	02 04 22.32	-09 37 57.6	0.46	0.15	0.17	0.34	0.76	19.77	18.40	0.192	12.13
11	02 24 23.09	-02 10 30.5	0.23	0.12	0.16	0.30	0.97	20.82	19.01	0.173	12.01
12	02 28 40.54	-09 35 05.7	2.02	0.86	0.88	5.87	80.10	17.52	16.58	0.068	12.68
13	02 44 17.07	-00 30 38.2	0.26	0.11	0.16	0.48	0.83	21.51	19.00	0.200	12.15
14	03 23 22.86	-07 56 15.2	0.16	0.10	0.13	1.00	1.69	18.95	18.00	0.166	12.17
15	03 29 02.59	-00 55 39.1	0.39	0.46	0.54	1.78	12.80	17.30	15.83	0.067	12.04
16	07 37 35.22	+35 36 21.4	0.32	0.12	0.15	1.88	4.45	15.10	13.86	0.819	13.52
17	08 04 07.41	+39 19 27.7	0.20	0.23	0.13	0.27	0.73	19.73	18.38	0.163	12.06
18	08 13 31.29	+25 45 03.1	0.08	0.11	0.15	0.28	0.54	16.42	16.00	1.510	13.26
19	08 24 45.64	+15 39 43.8	0.30	0.13	0.18	0.36	0.80	20.11	18.64	0.220	12.23
20	08 31 48.88	+04 29 39.1	0.05	0.17	0.26	0.43	0.77	16.34	15.80	0.174	12.15
21	08 34 57.65	+48 45 15.6	0.19	0.09	0.09	0.34	2.43	19.19	17.60	0.175	12.10
22	08 54 48.88	+20 06 30.7	0.11	0.28	0.43	0.89	1.16	16.57	15.93	0.778	13.41
23	08 55 17.07	+13 05 09.6	0.22	0.11	0.21	0.24	1.63	19.32	18.13	0.157	12.00
24	08 57 06.36	+19 08 53.7	0.19	0.11	0.12	0.33	0.52	17.25	17.19	0.331	12.44
25	08 58 41.76	+10 41 22.0	0.16	0.11	0.19	1.12	1.95	18.93	17.49	0.148	12.13
26	08 59 23.60	+47 36 10.5	0.12	0.09	0.12	0.44	0.88	20.80	18.76	0.180	12.02
27	09 00 25.38	+39 03 54.4	0.65	0.32	1.70	7.43	4.59	18.72	17.34	0.058	12.07
28	09 05 54.72	+24 18 29.0	0.32	0.05	0.09	0.36	0.59	19.98	18.61	0.232	12.06
29	09 14 38.15	+09 33 22.9	0.12	0.11	0.15	0.28	1.19	19.54	18.27	0.246	12.30
30	09 21 59.40	+45 09 12.6	0.22	0.06	0.13	0.23	0.57	18.58	18.05	0.235	12.05
31	09 26 08.52	+28 24 02.6	0.15	0.08	0.21	0.25	0.62	19.19	18.24	0.203	12.06
32	09 58 46.86	+50 54 56.5	0.06	0.05	0.06	0.22	1.37	19.57	18.10	0.214	12.04
33	10 01 49.53	+28 47 09.0	0.10	0.16	0.26	0.23	0.34	18.54	17.96	0.185	12.10
34	10 05 32.13	+30 53 18.3	0.14	0.09	0.10	0.20	0.63	18.89	17.81	0.234	12.10
35	10 05 41.87	+43 32 40.6	0.25	0.13	0.19	0.56	0.87	16.39	16.38	0.179	12.12

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	10 26 17.48	+30 36 43.2	0.19	0.06	0.16	0.26	0.67	18.75	18.04	0.340	12.38
37	10 33 43.86	+62 11 06.3	0.56	0.08	0.08	0.20	0.57	19.76	18.49	0.229	12.04
38	10 33 59.47	+35 55 09.2	0.14	0.09	0.16	0.52	0.79	17.10	16.97	0.169	12.00
39	10 40 00.55	+48 57 44.4	0.19	0.08	0.11	0.64	0.66	19.16	18.34	0.176	12.01
40	10 52 23.57	+44 08 47.2	0.73	0.12	0.17	3.53	5.41	19.37	17.59	0.092	12.11
41	10 53 30.95	+33 13 42.4	0.14	0.11	0.13	0.21	0.54	19.77	18.56	0.244	12.17
42	10 58 39.32	+38 29 06.8	0.40	0.05	0.09	0.62	0.75	19.78	18.35	0.208	12.09
43	11 08 32.95	+40 37 31.7	0.07	0.10	0.13	0.68	1.02	19.39	18.07	0.166	12.04
44	11 12 11.12	+27 32 56.2	0.64	0.07	0.25	0.25	0.83	18.46	17.82	0.235	12.21
45	11 14 38.89	+32 41 33.6	0.10	0.17	0.35	1.59	1.52	21.22	18.94	0.188	12.45
46	11 16 03.13	+02 08 52.3	0.04	0.17	0.19	0.40	0.33	16.81	16.83	0.211	12.22
47	11 21 14.23	+03 25 46.8	0.07	0.17	0.22	0.36	1.16	17.46	17.29	0.152	12.04
48	11 22 33.08	+50 15 28.0	0.21	0.09	0.12	0.19	0.95	19.98	18.52	0.195	12.01
49	11 41 22.04	+40 59 50.4	0.16	0.20	0.14	1.02	1.51	19.99	18.33	0.149	12.16
50	11 44 30.92	+25 46 35.0	0.38	0.15	0.15	0.29	0.65	18.64	17.44	0.185	12.08
51	11 53 14.24	+13 14 27.7	0.19	0.10	0.30	2.58	3.32	19.88	18.30	0.127	12.26
52	11 57 44.36	+12 07 51.0	0.26	0.17	0.13	0.22	0.55	18.78	17.57	0.183	12.05
53	11 57 53.22	-03 15 37.0	0.21	0.12	0.30	0.33	0.63	17.91	17.74	0.214	12.23
54	11 58 16.72	+13 26 24.2	0.09	0.10	0.16	0.23	0.53	17.95	17.59	0.439	12.61
55	12 01 16.66	+23 34 52.8	0.34	0.12	0.14	0.26	0.60	19.19	18.28	0.263	12.28
56	12 02 05.61	+11 28 12.1	0.29	0.11	0.16	0.95	1.15	18.74	17.93	0.194	12.25
57	12 02 26.76	-01 29 15.3	0.13	0.36	0.54	2.41	2.72	17.28	16.96	0.150	12.51
58	12 04 24.55	+19 25 10.0	0.32	0.11	0.37	1.76	1.78	19.50	18.15	0.168	12.36
59	12 05 26.44	+22 43 37.6	0.15	0.62	0.54	0.51	21.00	19.42	17.78	0.076	12.25
60	12 11 19.10	+05 55 23.8	0.21	0.15	0.17	0.24	0.55	19.67	18.38	0.201	12.13
61	12 15 09.82	+09 27 09.4	0.27	0.09	0.27	0.21	0.45	20.15	18.66	0.263	12.29
62	12 29 06.91	+32 24 17.7	0.30	0.09	0.15	0.57	0.76	19.98	17.79	0.173	12.02
63	12 31 21.37	+27 55 23.9	0.10	0.08	0.13	0.35	0.67	20.18	18.41	0.212	12.09
64	12 37 16.00	+04 01 48.7	0.57	0.10	0.32	0.66	1.03	19.18	17.67	0.146	12.02
65	12 38 20.21	+17 50 39.2	0.16	0.14	0.13	0.26	0.39	17.22	16.61	0.452	12.66
66	12 45 26.99	+65 23 58.4	0.05	0.06	0.07	0.21	0.65	17.56	17.48	0.320	12.23
67	12 51 00.44	+66 03 26.9	0.07	0.06	0.07	0.17	0.58	16.78	16.75	0.282	12.12
68	12 51 20.05	+02 19 02.4	0.25	0.09	0.13	0.47	0.89	19.40	18.42	0.253	12.29
69	12 54 10.44	+03 59 51.7	0.20	0.12	0.29	0.25	0.82	19.65	18.30	0.168	12.03
70	12 56 04.93	+02 38 32.0	0.22	0.11	0.24	0.29	1.49	19.81	18.45	0.219	12.27
71	12 57 39.33	+08 09 31.7	0.04	0.09	0.12	0.59	0.78	17.76	17.47	0.272	12.36
72	13 01 18.17	+11 06 01.9	0.09	0.12	0.14	0.29	0.83	19.97	18.70	0.174	12.00
73	13 06 18.58	+08 52 41.4	0.21	0.13	0.26	0.29	0.62	17.78	17.55	0.172	12.04
74	13 22 11.96	+01 30 34.3	0.17	0.10	0.32	0.33	0.72	18.13	17.74	0.184	12.11
75	13 22 44.04	+63 37 25.2	0.58	0.06	0.07	0.59	0.91	19.85	18.41	0.200	12.06
76	13 24 19.89	+05 37 04.8	0.15	0.26	0.40	1.17	0.71	18.73	18.25	0.203	12.49
77	13 37 15.94	+03 09 36.8	0.33	0.11	0.16	0.22	0.69	19.11	18.12	0.192	12.03
78	13 44 42.11	+55 53 13.3	0.53	0.24	2.28	21.70	21.40	16.59	14.99	0.037	12.09
79	13 47 33.38	+12 17 24.3	0.30	0.14	0.67	1.92	2.06	18.16	16.37	0.120	12.20
80	13 48 40.20	+58 18 52.2	0.96	0.05	0.07	1.27	1.73	19.90	18.44	0.158	12.10
81	13 50 43.18	+37 24 34.1	0.18	0.11	0.09	0.30	0.94	19.46	17.97	0.248	12.24
82	13 55 50.21	+20 46 14.7	0.15	0.19	0.21	0.26	0.54	16.16	15.94	0.197	12.18

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
83	14 04 38.81	+43 27 07.5	0.11	0.12	0.29	0.62	0.99	16.18	15.63	0.323	12.62
84	14 18 42.22	+42 33 43.4	0.02	0.10	0.09	0.31	0.57	16.54	16.40	0.420	12.56
85	14 22 31.39	+26 02 05.4	0.39	0.18	0.15	1.49	1.99	18.28	17.49	0.159	12.29
86	14 25 16.04	+16 23 08.0	0.16	0.10	0.25	0.54	0.98	19.47	17.76	0.185	12.15
87	14 27 27.27	-00 58 41.2	0.19	0.12	0.32	0.91	1.28	20.05	18.44	0.162	12.18
88	14 35 35.55	+01 28 34.7	0.18	0.13	0.22	0.35	0.65	20.10	18.70	0.232	12.28
89	14 40 12.77	+61 56 33.2	0.20	0.06	0.09	0.32	0.68	17.20	17.01	0.276	12.20
90	14 41 04.41	+53 20 08.9	0.33	0.07	0.35	1.95	2.39	18.27	17.08	0.105	12.00
91	14 49 20.72	+42 21 01.4	0.23	0.11	0.23	0.40	0.56	19.10	18.05	0.179	12.06
92	14 50 54.18	+35 08 37.9	0.17	0.07	0.09	0.64	1.21	18.48	17.57	0.206	12.16
93	14 55 49.43	+48 54 36.3	0.08	0.08	0.20	0.53	0.54	18.82	18.22	0.247	12.28
94	15 02 59.02	+03 40 04.0	0.16	0.09	0.08	0.23	1.09	24.25	18.30	0.218	12.10
95	15 05 39.53	+57 43 07.3	0.30	0.12	0.07	1.02	1.50	19.07	18.30	0.151	12.07
96	15 13 18.05	+24 46 55.4	0.19	0.06	0.17	0.52	0.56	19.19	18.07	0.220	12.13
97	15 22 38.09	+33 31 36.1	0.25	0.08	0.35	1.77	1.89	17.31	16.79	0.125	12.11
98	15 24 43.87	+23 40 10.4	0.20	0.07	0.18	1.30	1.48	19.31	17.94	0.139	12.04
99	15 34 57.25	+23 30 11.6	1.79	0.48	7.91	104.00	112.00	15.63	13.96	0.018	12.15
100	15 43 16.00	+14 07 31.9	0.21	0.07	0.10	0.20	1.11	19.19	18.24	0.221	12.08
101	15 43 51.94	+16 24 22.3	0.21	0.08	0.12	0.23	0.55	16.93	16.45	0.848	12.92
102	15 45 30.25	+48 46 09.0	0.09	0.07	0.11	0.28	0.45	16.43	16.32	0.400	12.46
103	16 18 49.25	+44 25 17.3	0.07	0.05	0.11	0.28	0.50	17.34	16.98	0.335	12.30
104	16 32 21.42	+15 51 45.8	0.64	0.07	0.12	1.48	1.99	19.67	18.52	0.242	12.53
105	16 42 58.82	+39 48 37.1	0.17	0.11	0.29	0.60	1.38	16.16	15.68	0.594	13.05
106	17 04 41.38	+60 44 30.6	0.07	0.07	0.13	0.30	0.70	15.60	15.43	0.372	12.46
107	20 55 19.29	+00 32 26.2	0.40	1.53	1.82	44.00	58.90	16.58	15.15	0.023	12.02
108	21 48 33.44	+11 31 47.8	0.03	0.05	0.07	0.45	1.80	19.93	18.13	5.225	13.56
109	21 52 36.55	-07 42 09.3	0.26	0.35	0.47	3.77	82.70	17.13	15.54	0.035	12.07
110	22 36 06.40	+12 18 43.8	0.20	0.38	0.53	3.57	49.10	18.57	17.25	0.071	12.49
111	22 53 02.46	+17 20 18.6	0.16	0.10	0.14	0.58	2.36	19.62	18.07	0.179	12.20
112	22 58 32.47	+07 49 40.6	0.20	0.12	0.22	0.61	1.14	18.76	18.00	0.396	12.75
113	23 08 33.95	+05 21 29.9	0.10	0.20	0.43	1.15	0.83	18.38	17.42	0.173	12.33
114	23 56 13.87	-00 32 10.0	1.51	0.14	0.12	0.24	0.59	19.19	16.90	0.189	12.04

В результате классификации выборки по типам активности были обнаружены следующие типы галактик: BL Lac - 1, QSO - 1, NLQSO - 1, S1.0 - 1, NLS1.0 - 2, S1.2 - 1, NLS1.2 - 15, S1.5 - 3, NLS1.5 - 6, S1.8 - 1, S2.0 - 5, HII - 36, LINER - 14, S1.9/LINER - 3, S1.9/HII - 3, LINER/HII - 8, NLAGN - 6, Em - 3, Abs - 3 и без возможности классификации - 1. Все объекты выборки были проверены с помощью Внегалактической базы данных NASA/IPAC (NED), и только для 44 из 114 объектов были доступны данные о типе активности. В результате выяснилось, что только 6 из 44 объектов были классифицированы правильно или полноценно. Наша классификация более надежна, так как широкие компоненты спектральных линий также учитывались.

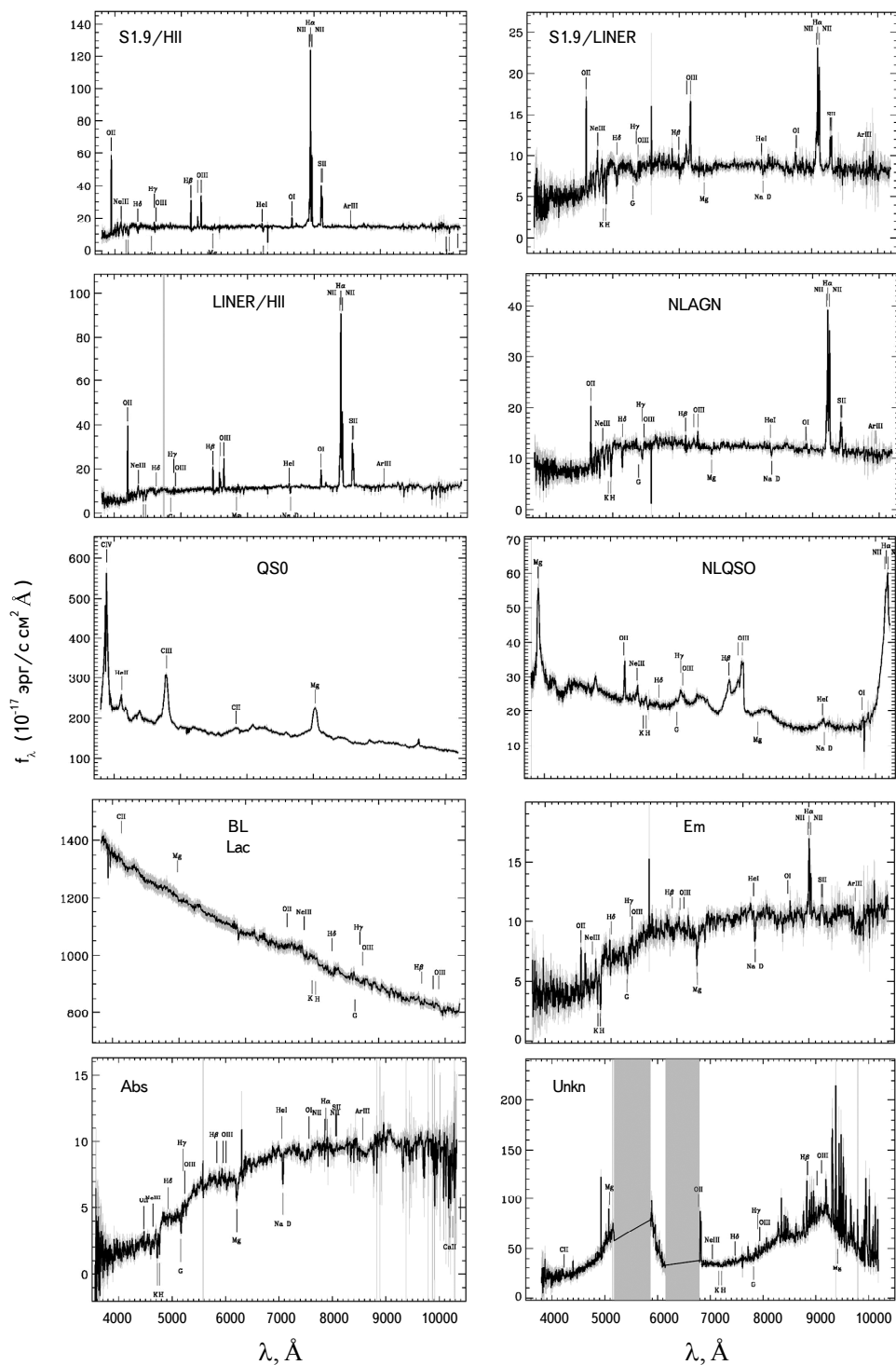


Рис.1. (Окончание).

На рис.1 приведены примеры из спектров выборки для каждого типа активности.

Следует отметить, что частота встречаемости преобладающих типов активности ИК галактик (HII, LINER, S2.0, Comp) значительно уменьшилась в нашей выборке и значительный процент составляют объекты с широкими линиями. Это объясняется высокой ИК светимостью, в этом случае появляются квазары и сейферты с широкими линиями. Наша классификация особенно важна с точки зрения обнаружения объектов с относительно узким широким компонентом спектральных линий (NLS). Такие объекты чаще всего встречаются в рентгеновских источниках. В исследовании возникает вопрос, почему ИК галактики с высокой светимостью своими свойствами подобны галактикам, обнаруженным в рентгеновском диапазоне.

5. Выводы и заключение. В результате спектральных исследований 114 ИК галактик были классифицированы 113 объектов, один объект не был классифицирован из-за плохого качества спектра. При более обобщенной классификации были получены следующие классы:

- BLL/QSO - 3 (BL Lac, QSO, NLQSO).
- BLS (Сейферты с широкими линиями) - 28 (S1.0, NLS1.0, S1.2, NLS1.2, S1.5, NLS1.5).
- NLS (Сейферты с узкими линиями) - 6 (S1.8, S2.0).
- NLAGN (AGN с узкими линиями - сейферт или лайнер) - 9 (NLGN, S1.9/LINER).
- LINER - 14.
- Comp (NLGN/HII) - 11 (S1.9/HII, LINER/HII).
- HII - 36.
- Em (линиями излучения) - 3.
- Abs (линиями поглощения) - 3.

В табл.3 приведены типы объектов, количество, средние красные смещения, средние значения SDSS $u-g$ и $g-r$ цветов и средние ИК светимости. Поскольку галактические широты $|b|$ для всех объектов превышают 30° , значения цветовых индексов приводятся без поправки за галактическое поглощение. Абсолютное большинство объектов (108 из 114) имеет красные смещения не больше 0.45 и не нуждается в k поправке. 6 значений, которые нуждаются в k поправке, на общую статистику сильно не влияют.

Из таблицы видно, что объекты краснеют от более мощных AGN в сторону менее мощных, а ИК светимость уменьшается.

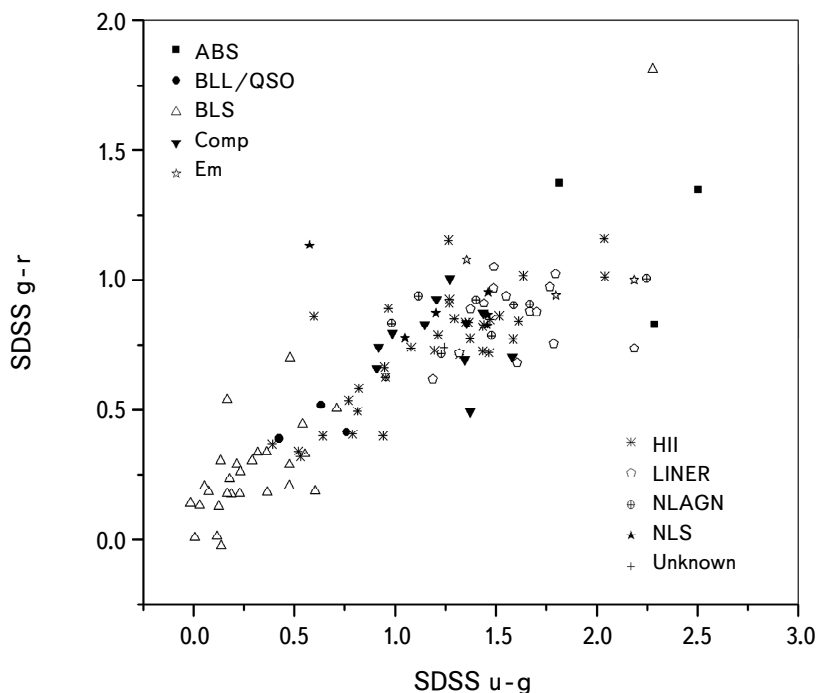
На рис.2 показаны SDSS DR14 $u-g$ и $g-r$ двухцветные диаграммы классифицированных галактик. Очевидно, что ряд свойств (такие как расстояния, ИК светимости) возрастает от более слабых AGN к более мощным, но на расстояниях также может быть наложена наблюдательная

Таблица 3

ТИПЫ ОБЪЕКТОВ, КОЛИЧЕСТВО, СРЕДНИЕ КРАСНЫЕ СМЕЩЕНИЯ, СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ SDSS $u-g$ И $g-r$ ЦВЕТОВ И СРЕДНИЕ ИК СВЕТИМОСТИ

Тип активности	Количество объектов	$\bar{z}$	$\overline{u-g}$	$\overline{g-r}$	$\log(L_{\text{ИК}} / L_{\odot})$
BLL/QSO	3	0.89	0.60	0.44	13.14
BLS	28	0.30	0.34	0.31	12.37
NLS	6	0.19	1.20	0.90	12.10
NLAGN	9	0.17	1.41	0.85	12.14
LINER	14	0.16	1.60	0.86	12.12
Comp (NLAGN/HII)	11	0.19	1.23	0.78	12.21
HII	36	0.17	1.31	0.74	12.19
Em	3	1.83	1.78	1.01	12.86
Abs	3	0.19	2.20	1.18	12.07

селективность. Чем выше светимость, тем в среднем на более больших расстояниях объект может быть обнаружен. Замечается, что галактики с эмиссионными линиями своими свойствами расположены близко к объектам

Рис.2. SDSS двухцветная диаграмма $u-g/g-r$.

с высокой светимостью, что может означать, что в случае более подробной классификации в них могут быть обнаружены сейферты с широкими линиями или квазары. Анализ цветов также показывает регулярный переход от синего к красному, при уменьшении светимости объектов.

Данная выборка может послужить хорошим источником для исследований ИК галактик с высокой светимостью, а также для дальнейших более детальных исследований индивидуальных объектов.

Настоящее исследование проводилось с использованием Внегалактической базы данных NASA/IPAC (NED), поддерживаемой Лабораторией реактивного движения Калифорнийского технологического ин-та, по контракту с NASA.

Финансирование проекта SDSS IV было предоставлено Фондом Альфреда П. Слоана, Научным управлением Энергетического департамента США и институтами-участниками. SDSS выражает признательность за поддержку и ресурсы со стороны Центра высокопроизводительных вычислений в Университете Юты. Веб-сайт проекта SDSS: www.sdss.org.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения, e-mail: gormick@mail.ru

SPECTRAL CLASSIFICATION OF ULIRGs FROM IRAS PSC/FSC COMBINED CATALOGUE

G.A.MIKAYELIAN, A.M.MICKAELIAN, H.V.ABRAHAMYAN,
G.M.PARONYAN, M.V.GYULZADYAN

High-luminosity IR galaxies (LIRGs, ULIRGs, and HLIRGs) are important for studies related to star-formation processes in the early Universe, as their luminosity allows to detect them at large distances. High IR indicates active star-formation and often starburst processes, which is typical to HII (starburst, SB). In many cases high IR indicates an Active Galactic Nuclei (AGN). An interesting question is whether the starburst triggers AGN or vice versa or there is no direct impact. Considering that very often such objects manifest double and multiple structure, it is also interesting to investigate the interrelationship between the SB, nuclear activity and interactions or merging. As a result of cross-correlation of the IRAS PSC/FSC Combined catalogue with SDSS DR14, 114 ULIRGs were separated and classified by the activity types. 1 BLL, 2 quasars, 29 Seyferts of types 1.0-1.8, 5 Seyferts of type 2, 14 LINERS, 36 HII, 14 objects with a

composite spectrum (Composite) were identified. Among the type 1 Seyfert galaxies there are many objects with narrow lines.

Keywords: *infrared galaxies: active galaxies: starburst galaxies: active galactic nuclei: ULIRGs*

ЛИТЕРАТУРА

1. *V.A.Ambartsumian*, Proc. 11th Solvay Conf. Physics. Ed. R.Stoops, Brussels, p.241, 1958.
2. *V.A.Ambartsumian*, Astron. J., **66**, 536, 1961.
3. *D.B.Sanders, I.F.Mirabel*, Ann. Rev. Astron. Astrophys., **34**, 749, 1996.
4. IRAS, Joint IRAS Science W.G., IRAS Catalog of Point Sources, Version 2.0, 1986.
5. *M.Moshir, G.Kopan, T.Conrow et al.*, IRAS Faint Source Catalog, v.2.0, NASA, 1990.
6. *H.V.Abrahamyan, A.M.Mickaelian, A.V.Knyazyan*, Astron. Computing, **10**, 99, 2015.
7. *A.Knyazyan, A.Mickaelian, H.Atsatryan*, Proc. Conf. Computer Science and Information Technologies, 2011.
8. *D.Ishihara, T.Onaka, H.Kataza et al.*, Astron. Astrophys., **514**, 1, 2010.
9. *I.Yamamura, S.Makiuti, N.Ikeda et al.*, AKARI/FIS All-Sky Survey BSC, Version 1.0, ISAS/JAXA, 2010.
10. *R.M.Cutri, E.L.Wright, T.Conrow et al.*, WISE All-Sky DR, IPAC/Caltech, 2013.
11. *R.M.Cutri, M.F.Skrutskie, S. Van Dyk et al.*, 2MASS All-Sky Catalog, Univ. Massachusetts and IPAC/Caltech, 2003.
12. *A.M.Mickaelian*, Astrophysics, **38**, 349, 1995.
13. *A.M.Mickaelian, L.A.Sargsyan*, Astrophysics, **47**, 213, 2004.
14. *A.M.Mickaelian, S.A.Akopian, S.K.Balaian et al.*, Astron. Lett., **24**, 635, 1998.
15. *S.K.Balaian, S.A.Akopian, A.M.Mickaelian et al.*, Astron. Lett., **27**, 284, 2001.
16. *A.M.Mickaelian, L.R.Hovhannisyan, L.A.Sargsyan*, Astrophysics, **46**, 177, 2003.
17. *A.M.Mickaelian*, Astrophysics, **47**, 361, 2004.
18. *L.A.Sargsyan, A.M.Mickaelian*, Astrophysics, **49**, 19, 2006.
19. *A.M.Mickaelian, G.S.Harutyunyan, A.Sarkissian*, Astron. Lett., **44**, 1, 2018.
20. *B.Abolfathi, D.S.Aguado, G.Aguilar et al.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **235**, 19, 2017.
21. *P.-A.Duc, I.F.Mirabel, J.Maza*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **124**, 533, 1997.
22. *D.E.Osterbrock*, Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, 9th, Munich, West Germany, December 14-19, 1978, Proceedings. (A80-42502 18-90) New York, New York Academy of Sciences, 22-38, 1980.
23. *H.Winkler*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **257**, 677, 1992.
24. *D.E.Osterbrock, R.W.Pogge*, Astrophys. J., **297**, 166, 1985.

25. *S.Veilleux, D.E.Osterbrock*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **63**, 295, 1987.
26. *T.M.Heckman*, A&Ap, **87**, 152, 1980.
27. *L.C.Хо, A.V.Filippenko, W.L.W.Sargent*, Proceedings of IAU Colloquium, 159, 1997.
28. *D.W.Weedman*, Vistas in Astron., **21**, 55, 1977.
29. *P.Véron, A.C.Goncalves, M.P.Véron-Cetty*, Astron. Astrophys., **319**, 52, 1997.