АСТРОФИЗИКА

ТОМ 59 ФЕВРАЛЬ, 2016 ВЫПУСК 1

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЯДРА СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 1275 ПОСЛЕ ЭПОХИ МАКСИМУМА ЕГО АКТИВНОСТИ

И.Ф.БИКМАЕВ[1,2], Л.М.ШАРИПОВА[3], А.И ГАЛЕЕВ[1,2], А.Э.АХМЕТХАНОВА[1]

Поступила 22 июля 2015
Принята к печати 16 декабря 2015

Представлены результаты исследования спектральных характеристик излучения ядра сейфертовской галактики NGC 1275 на длительном интервале времени. Показаны изменения в профилях некоторых эмиссионных линий, изменения относительных интенсивностей водородных и запрещенных линий и их эквивалентных ширин (EW_λ) на шкале времени десятилетия. Исследования проводились с использованием спектральных данных, полученных на 1.5-м Российско-Турецком телескопе (РТТ-150) в январе 2012г., и привлечением спектральных данных, опубликованных в литературе ранее. Полученные результаты позволили проследить состояние ядра галактики NGC 1275 после максимума его активности, имевшего место в 60-х годах XX века.

Ключевые слова: *активные ядра галактик: сейфертовская галактика NGC 1275: переменность эмиссионных линий*

1. *Введение*. Статья посвящена памяти докт. физ.-мат. наук, ведущего научного сотрудника Крымской астрофизической обсерватории Ираиды Ивановны Проник, внесшей большой вклад в изучение переменности излучения ядра сейфертовской галактики NGC1275.

NGC 1275 - ядро богатого скопления галактик Персей А - является предметом постоянного внимания исследователей. Первое описание оптического спектра этой галактики сделал в 1932г. Хьюмасон [1]. В 1943г. Сейферт [2] опубликовал спектры ядер 12 галактик, в том числе и галактики NGC 1275. Хачикян и Видман [3] предложили классификацию сейфертовских галактик, согласно которой ядро галактики NGC 1275 было отнесено к типу Sy2. Фотометрические наблюдения Лютого [4] выявили всплеск активности ядра галактики в конце 60-х годов XX века. Необычная морфологическая особенность галактики - ее каннибализм - была отмечена в работе Верходанова и Парийского и [5]. Эта особенность состоит в том, что галактика поглощает соседние галактики скопления. Многолетние исследования спектров ядра этой галактики, проводимые в Крымской астрофизической обсерватории, выявили ряд интересных особенностей, в частности, наличие в ядре галактики двух подсистем газа, имеющих

разные физические и кинематические характеристики. Было показано, что шкала переменности во времени относительных интенсивностей запрещенных линий может быть как медленной (годы), так и быстрой (месяцы). Продолжение спектральных исследований излучения ядра сейфертовской галактики NGC 1275 дает дополнительную информацию в понимание природы этого объекта. На основе этих данных можно судить об изменениях структуры и физических условий в газовой оболочке ядра во времени. Цель нашей работы - продолжение исследований спектральных характеристик ядра галактики NGC 1275 на интервале времени несколько десятков лет. Полученные результаты представлены ниже.

2. *Наблюдения и обработка*. Спектральные наблюдения галактики NGC 1275 проводились 19, 20 и 22 января 2012г. на 1.5-м Российско-Турецком телескопе (РТТ-150) с использованием прибора TFOSC (оптическая камера и спектрометр с редуктором светосилы). Всего было получено 30 спектров, которые были усреднены на этапе обработки для увеличения отношения сигнал/шум. В наблюдениях применялась штатная аппаратура телескопа. Приемником света служила ПЗС-камера, имеющая размер 2080x2048 пикс. Дисперсия в регистрируемом диапазоне длин волн 3800 – 6700 Å и разрешение составляли 1.4 Å /пикс и 5 Å , соответственно. Ширина щели спектрографа была 1".8. Экспозиция индивидуального спектра составляла 600 секунд. Полученные спектрограммы обрабатывались с помощью модифицированных версий программ Dech 95, Dech 20, разработанных Г.Галазутдиновым (www.gazinur.com). Величина апертуры при обработке всех спектров была 2".8 по высоте спектра. На рис.1 показан спектр ядра сейфертовской галактики NGC 1275, полученный на

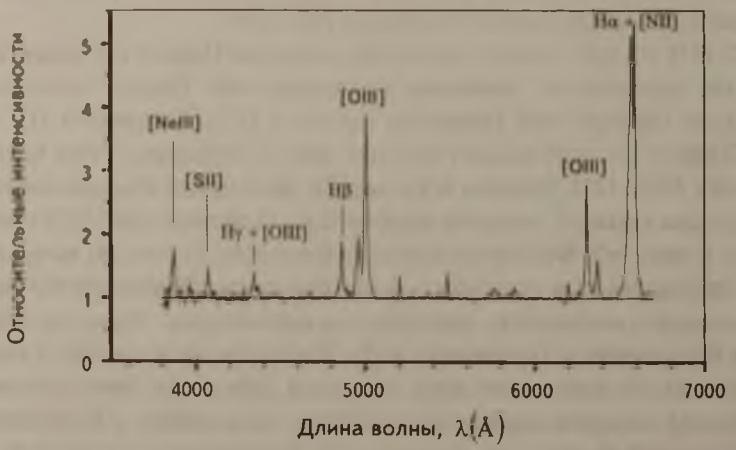

Рис.1. Оптический спектр ядра галактики NGC 1275 с указанием положения ярких эмиссионных линий.

телескопе РТТ-150 20 января 2012г.

На рисунке тонкой горизонтальной линией отмечен уровень континуума. Вертикальными стрелками показано положение наиболее ярких линий излучения: линий серии Бальмера - Hγ, Hβ, Hα, а также запрещенных линий [SII], [NeIII], [OIII], [NII].

3. *Изменение профилей некоторых эмиссионных линий в разные эпохи наблюдений.* Систематические спектральные наблюдения ядра сейфертовской галактики NGC 1275, проводимые разными исследователями, дают богатейший материал для изучения вариаций во времени важных спектральных характеристик излучения ядра галактики. К этим характеристикам относят: профили и относительные интенсивности эмиссионных линий, а также их эквивалентные ширины. Примеры профилей трех эмиссионных линий в оптическом спектре ядра галактики NGC 1275, полученные по наблюдениям на разных телескопах, приведены на рис.2. Левый график рисунка воспроизводит профили указанных эмиссионных линий по наблюдениям ядра галактики на РТТ-150 телескопе в январе 2012г. Пример профилей тех же эмиссионных линий, полученных по наблюдениям на 125-см телескопе Крымской станции ГАИШ в 1967г., показан на правом графике рис.2. Горизонтальными линиями на графиках отмечено положение континуума. Дибай и Есипов [6] асимметрию контуров линии кислорода [OIII] 4959 Å и 5007 Å объяснили наложением двух симметричных компонент.

Положение указанных компонент показано на графике пунктирными линиями. Следует отметить, что в 1967г. справа от профиля линии [OIII] 5007 Å присутствует деталь ($\lambda = 5032$ Å), обозначенная на графике цифрой 1. Величина интенсивности этой детали составляет ~70% и 20% величины интенсивности линий [OIII] 4959 Å и 5007 Å, соответственно. В работе

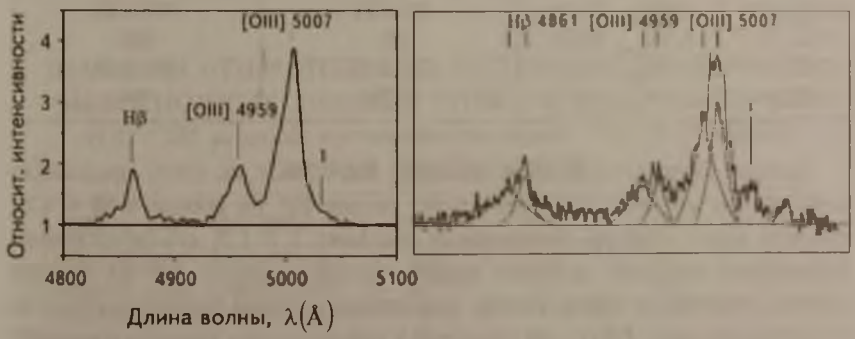

Рис.2. Вид контуров бальмеровской линии Hβ и запрещенных линий кислорода [OIII] 4959 Å и 5007 Å в спектрах ядра сейфертовской галактики NGC 1275 для двух эпох наблюдений.

Дорошенко и др. [7] имеется ссылка на предложение Гарстанга [8] отождествить эту деталь с линией железа [FeIV] ^4G-^2F. Однако Дорошенко и др. [7] указали на отсутствие экспериментального уточнения длин волн линий железа. Спектральные данные, полученные на РТТ-150 в январе 2012г., свидетельствуют об уменьшении интенсивности отмеченной детали №1 относительно интенсивности линии [OIII] 5007 Å. Фактор уменьшения - около 4. Согласно рис.2, можно отметить различие формы профиля бальмеровской линии Hβ в указанные эпохи наблюдений. В 1967г. голубая компонента линии Hβ выглядит интенсивнее красного крыла. Спектральные данные позволили провести сравнительный анализ изменений профилей эмиссионных линий: Hβ и [OIII] 5007 Å. Результаты проведенного анализа для уровней $0.50\,I_{max}$ и $0.25\,I_{max}$ яркости пика указанных линий представлены в табл.1. В первой колонке таблицы для двух эпох наблюдений указаны линии, а также два уровня яркости их пика. Во второй и третьей колонках для тех же эпох наблюдений показаны скорости газа в голубом и красном крыльях обеих линий на соответствующих уровнях яркости.

Таблица 1

СКОРОСТИ ГАЗА В ОБЛАСТИ СВЕЧЕНИЯ БАЛЬМЕРОВСКОЙ ЛИНИИ Hβ И ЗАПРЕЩЕННОЙ ЛИНИИ КИСЛОРОДА [OIII] 5007 Å НА УРОВНЯХ $0.50I_{max}$ и $0.25I_{max}$ ЯРКОСТИ ПИКА ЛИНИЙ

	Голубое крыло, км/с	Красное крыло, км/с
Hβ $0.50I_{max}$, 2012г.	460 ± 21	421 ± 13
Hβ $0.50I_{max}$, 1967г.	973	327
Hβ $0.25I_{max}$, 2012г.	1214 ± 4	749 ± 29
Hβ $0.25I_{max}$, 1967г.	2018	1298
[OIII] 5007 Å, $0.50I_{max}$, 2012г.	888 ± 11	493 ± 22
[OIII] 5007 Å, $0.50I_{max}$, 1967г.	748	350
[OIII] 5007 Å, $0.25I_{max}$, 2012г.	1362 ± 12	807 ± 12
[OIII] 5007 Å, $0.25I_{max}$, 1967г.	1610	700

Данные таблицы позволяют отметить, что с 1967г. по 2012г. произошло уменьшение ширины голубого крыла линии Hβ на уровне 0.50 и 0.25 яркости пика. Фактор уменьшения составил 2 и 1.7, соответственно. Изменение ширины красного крыла профиля линии Hβ на тех же уровнях яркости не тождественно изменению ширины голубого крыла. За 45 лет, начиная с 1967г., на уровне 0.5 яркости пика ширина красного крыла линии увеличилась в 1.3 раза. В этом же интервале времени ширина красного крыла линии Hβ на уровне 0.25 яркости пика умень-

шилась на фактор 1.7. Изучение вариаций ширины голубого и красного крыльев профиля линии кислорода [OIII] 5007 Å в том же интервале времени выявило следующее. Изменение скорости газа в голубом крыле профиля линии на уровне 0.5 и 0.25 яркости пика составило 19% и 16%, соответственно. В то же время изменение скорости газа в красном крыле профиля линии на уровне 0.5 и 0.25 имело значение 40% и 15%, соответственно. Согласно данным табл.1, в 1967г. степень асимметрии линии кислорода [OIII] 5007 Å на уровне 0.25 яркости пика достигала 43%. В 2012г асимметрия профиля линии сохранилась. Однако голубое крыло линии на уровне 0.25 яркости пика шире ~ на 60%, чем ее красное крыло.

4. *Сравнительный анализ изменений относительных интенсивностей линий эмиссии на шкале времени 70 лет*. Исследование переменности относительных интенсивностей эмиссионных линий в спектре ядра галактики NGC 1275 на длительном интервале времени проводилось с использованием большого банка спектральных данных. Часть выборки наблюдательных данных, полученных разными исследователями, взята из работы Проник [9]. В табл.2. представлены данные этой выборки. Относительные интенсивности спектральных линий приводятся в единицах интенсивности линии Hβ. В первой колонке таблицы указаны длина волны и ион. Значения относительных интенсивностей тех же линий, полученные по спектральным наблюдениям, проведенным на РТТ-150 в январе 2012г., содержатся во второй колонке. В третьей колонке приведены относительные интенсивности наиболее ярких эмиссионных линий, опубликованные в [9]. Четвертая и пятая колонки содержат данные, полученные в [10] и [11]. В шестой колонке приводятся данные, взятые из работы Сейферта [2]. Возможности спектральной аппаратуры РТТ-150 позволили разрешить компоненты эмиссионных линий [OIII] 4959+5007 Å и [OI] 6300+64 Å. Во второй колонке табл.2 приводятся значения относительных

Таблица 2

ЗНАЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ЯРКИХ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ ЯДРА ГАЛАКТИКИ NGC 1275 (в долях интенсивности линии Hβ) В РАЗНЫЕ ЭПОХИ НАБЛЮДЕНИЙ

λ(Å) и ион	2012г.	1978г.	1970г.	1966г.	1943г.
3869 [NeIII]	0.76 ± 0.06	0.5	0.4	0.7	0.4
4069+76 [SII]	0.47 ± 0.02	0.5	0.4	0.4	0.5
4363 [OIII]	0.22 ± 0.02	-	-	0.3	0.4
4861 Hβ	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5007 [OIII]	3.06 ± 0.05	3.8	2.4	5.4	3.5
6300 [OI]	2.07 ± 0.01	1.3	1.7	1.6	1.4
6563 Hα	4.37 ± 0.02	5.3	8.3	11.9	7.0

интенсивностей обеих компонент указанных спектральных линий.

Использованные нами спектральные данные позволили проследить изменение относительных интенсивностей наиболее ярких эмиссионных линий на интервале времени около 70 лет (1943-2012гг.). На рис.3-5 показан характер этих изменений на указанном интервале времени. Согласно рис.3 отличие относительных интенсивностей линии [NeIII] 3869 Å в крайние эпохи наблюдений (1943г. и 2012г.) составило фактор 1.9. Сравнение относительных интенсивностей линии [SII] 4069 Å для тех же двух эпох наблюдений не показало их значимого отличия.

Кривые рис.4 демонстрируют изменения во времени относительных интенсивностей излучения запрещенных линий кислорода [OIII]. Относительная интенсивность линии [OIII] 4363 Å претерпела уменьшение на

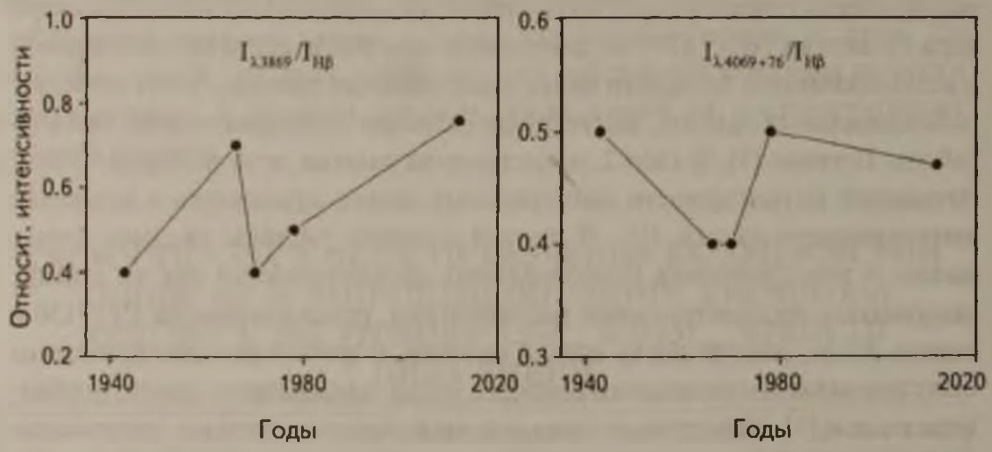

Рис.3. Относительные интенсивности линий [NeIII] 3869 Å, [SII] 4069 Å в разные эпохи наблюдений.

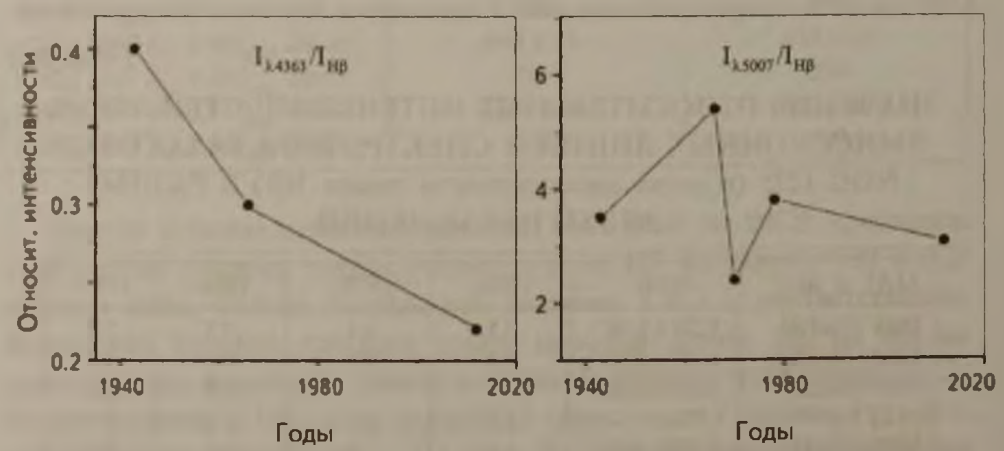

Рис.4. Изменение относительных интенсивностей линий [OIII] 4363 Å, [OIII] 5007 Å во времени.

55% за 70 лет, начиная с 1943г.

Отличие значений относительной интенсивности линии [OIII] 5007 Å для двух эпох наблюдений: 1943 и 2012гг. - не превысило 13%, Максимальное значение относительной интенсивности этой линии наблюдалось в 1966г. Ход изменений относительных интенсивностей линий [OI] 6300 Å, Hα 6563 Å на шкале времени несколько десятилетий показан на рис.5.

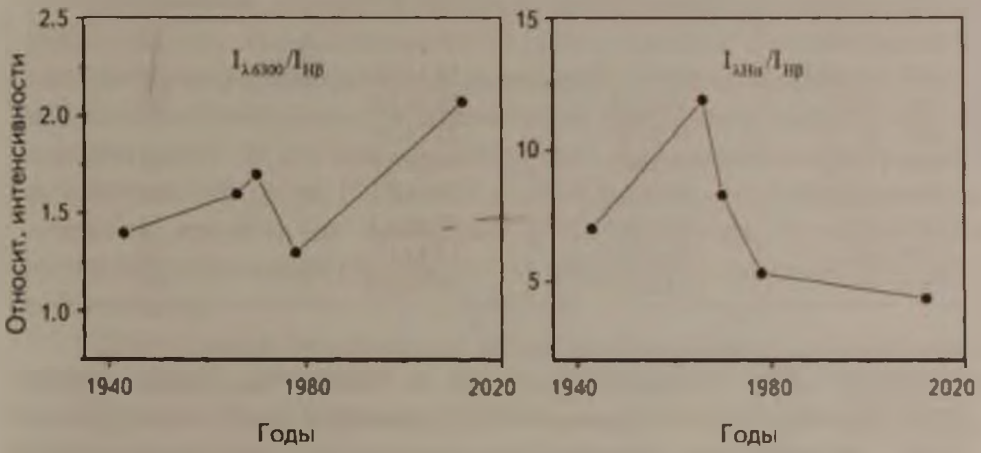

Рис.5. Характер изменений относительных интенсивностей линий [OI] 6300 Å и Hα 6563 Å на длительном интервале времени.

Относительные интенсивности линии [OI] 6300 Å в эпохи наблюдений 1943г. и 2012г. имеют фактор отличия около 1.5. Правая кривая рис.5 демонстрирует характер изменения относительной интенсивности линии Hα 6563 Å с ее пиковым значением в 1966г.

Уменьшение относительной интенсивности линии от эпохи наблюдений 1943г. к эпохе 2012г. составило фактор 1.6.

5. *Исследование изменений эквивалентных ширин ярких эмиссионных линий в спектре ядра сейфертовской галактики NGC 1275 по данным двух эпох наблюдений.* Представляло интерес проследить изменение со временем одной из важной спектральной характеристик излучения ядра галактики - эквивалентной ширины ярких эмиссионных линий. С этой целью проводился сравнительный анализ с использованием спектральных данных, полученных в январе 2012г. на телескопе РТТ-150. В анализ были включены ранее опубликованные Меркуловой, Проник [12] данные, полученные по наблюдениям на 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории в январе 1977г. Данные сравнительного анализа представлены в табл.3. В первой колонке таблицы приведены длина волны и соответствующий ион. Вторая и третья колонки показывают величины эквивалентных ширин эмиссионных линий для двух эпох наблюдений. В последней колонке отражена степень

Таблица 3

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ШИРИН ЯРКИХ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ ЯДРА ГАЛАКТИКИ NGC 1275

	EW_λ, Å	EW_λ, Å	$EW_{\lambda 2012}/EW_{\lambda 1977}$
λ(Å) и ион	январь 2012г.	январь 1977г.	Уменьшение, %
3869 [NeIII]	15.3±0.7	17.4±2.5	12
4069+76 [SII]	8.0±0.2	13.1±1.3	40
4363 [OIII]	9.2±0.6	18.3±1.4	50
4861 Hβ	21.5±0.2	22.7±2.9	5
4959 [OIII]	23.2±0.2	30.4±4.0	24
5007 [OIII]	72.0±1.0	97.6±6.1	25
6300 [OI]	42.9±0.5	49.2±2.2	13
6364 [OI]	13.6±0.2	18.4±1.5	25
6563 Hα	191.5±2.0	267.2±8.6	30

изменения EW_λ эмиссионных линий в процентах. Анализ данных, представленных в таблице, показывает следующее: за 35 лет, с 1977г. по 2012г., эквивалентные ширины всех исследуемых эмиссионных линий претерпели уменьшение.

Степень уменьшения эквивалентных ширин, как разрешенных, так и запрещенных линий, разная. Обращает на себя внимание невысокое, 5%, уменьшение эквивалентной ширины водородной линии Hβ. В то же время можно отметить значительное, 50%, уменьшение эквивалентной ширины запрещенной линии кислорода [OIII] 4363 Å.

6. *Выводы.* В работе по исследованию спектральных характеристик излучения эмиссионных линий в спектре ядра галактики NGC 1275 в разные эпохи наблюдений необходимо сделать следующие акценты:

1. Исследовались изменения формы профилей эмиссионных линий водорода Hβ и кислорода [OIII] 5007 Å с целью выявления наличия или отсутствия в них особенностей. Сравнивались изменения ширины голубого и красного крыльев этих линий на уровне 0.5 и 0.25 яркости пика. Результаты сопоставления показали уменьшение ширины голубого крыла профиля линии Hβ на обоих уровнях яркости с фактором 2 и 1.7, соответственно. Изменение ширины красного крыла профиля линии Hβ на двух уровнях яркости пика было противоположным. На уровне 0.5 яркости пика отмечалось увеличение ширины в 1.3 раза, на уровне 0.25 яркости пика - уменьшение ширины красного крыла в 1.7 раза. Сравнение формы профиля запрещенной линии кислорода [OIII] 5007 Å на уровне 0.25 яркости пика за 45 лет показало изменение асимметрии на 18%. В 1967г. справа от профиля линии [OIII] присутствует ярко выраженная

деталь ($\lambda = 5032$ Å). Интенсивность ее составляет 70% и 20% величины интенсивности линии [OIII] 4959 Å и [OIII] 5007 Å, соответственно. Фактор уменьшения интенсивности этой детали в 2012г. относительно интенсивности линии [OIII] 5007 Å составил 4.

2. Изучение изменений относительных интенсивностей эмиссионных линий на шкале времени около 70 лет показало их разный характер. В то же время наличие максимума относительных интенсивностей двух линий ([OIII] 5007 Å, Hα 6563 Å) в эпоху 1966г. является общим моментом картины вариаций относительных интенсивностей указанных линий. Анализ изменений относительных интенсивностей эмиссионных линий на шкале времени около 35 лет показал следующее. Уменьшение относительных интенсивностей линий [OIII] 4363 Å, [OIII] 5007 Å, Hα 6563 Å на этом интервале времени не превышает 30%. Увеличение относительных интенсивностей линий [NeIII] 3869 Å, [OI] 6300 Å составляет 52%, 60%, соответственно.

3. Проведенный сравнительный анализ изменений эквивалентных ширин всех эмиссионных линий на интервале времени 35 лет выявил их уменьшение. Степень уменьшения EW_λ как запрещенных, так и водородных линий в указанном интервале времени разная.

Исследование спектральных характеристик излучения ядра галактики NGC1275 позволило проследить его состояние после максимума активности ядра, наблюдавшегося с середины 60-х годов XX века. Это состояние сопровождалось уменьшением интенсивности излучения эмиссионных линий в спектре ядра галактики. Полученные результаты служат свидетельством в пользу изменения физических условий в его газовой оболочке. Возможно, провоцирующим агентом этих изменений является способность ядра галактики NGC 1275 поглощать аккрецирующий газ, принадлежащий как NGC 1275, так и соседним галактикам скопления Персей.

Работа поддержана частично грантом РФФИ-15-42-02573_поволжье. Работа И.Ф.Бикмаева выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

[1] Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия, e-mail: ibikmaev@yandex.ru
[2] Академия наук Республики Татарстан, Казань, Россия, e-mail: ibikmaev@yandex.ru
[3] Научно-исследовательский институт КрАО, Россия, e-mail:LiSha9516@mail.ru

THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE SEYFERT GALAXY NGC 1275 NUCLEUS RADIATION AFTER THE EPOCH OF ITS ACTIVITY MAXIMUM

I.F.BIKMAEV[1,2], L.M.SHARIPOVA[3], A.I.GALEEV[1,2], A.E.AKHMETKHANOVA[1]

Results of studying spectral characteristics of radiation of the Seyfert galaxy NGC 1275 nucleus on the long time scale are presented. Changes in some emission line profiles, relative intensities of the hydrogen and forbidden lines and their equivalent widths (EW_λ) on the time scale of decades are shown. The studies were carried out using the spectral data obtained on January 2012 at the 1.5-m Russian-Turkish telescope (RTT-150). Besides the spectral data published in the literature and derived by different researchers were involved. The obtained results allowed us to trace the state of the NGC 1275 galaxy nucleus after its activity maximum which took place in the 60-s of the XX century.

Key words: *active galaxies nuclei: the Seyfert NGC 1275 galaxy: the emission lines variability*

ЛИТЕРАТУРА

1. *M.L.Humason*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **44**, 267, 1932.
2. *C.K.Seyfert*, Astrophys. J., **97**, 28, 1943.
3. *E.Ye.Khachikian, D.W.Weedman*, Astrophys. J., **192**, 581, 1974.
4. *В.М.Лютый*, Изв. Крымск. Астрофиз. обсерв., **104**, 99, 2008.
5. *О.В.Верходанов, Ю.Н.Парийский*, Радиогалактики и Космология, М., Физматгиз, 2009, с.30.
6. *Э.А.Дибай, В.Ф.Есипов*, Астрон. циркуляр., **467**, 4, 1968.
7. *В.Т.Дорошенко, В.Ю.Теребиж, К.К.Чуваев*, Астрофизика, **12**, 417, 1976.
8. *R.H.Garstang*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **118**, 572, 1958.
9. *И.И Проник*, Изв. Крымск. Астрофиз. обсерв., **61**, 131, 1980.
10. *K.S.Anderson*, Astrophys. J., **162**, 743, 1970.
11. *G.A.Shields, J.B.Oke*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **87**, 879, 1975.
12. *Н.И.Меркулова, И.И.Проник*, Изв. Крымск. Астрофиз. обсерв., **68**, 93, 1983.