УДК 524.7

Р. Р. ВАЛИУЛЛИН, Э. К. ДЕНИСЮК, В. Н. ГАЙСИНА

ПОВЕДЕНИЕ ШИРОКОЙ КОМПОНЕНТЫ ЛИНИИ $H_Б$ В СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКЕ NGC4151 В 1976–2009 гг.

Исследуется изменение формы широкой компоненты линии $H_б$ в сейфертовской галактике NGC4151 на временном интервале 1976–2009 гг.

Введение. В настоящее время большое внимание уделяется изучению яркой быстропеременной сейфертовской галактики (СГ) NGC4151. Успешно проведен ряд мониторингов, при которых на относительно коротких промежутках времени осуществлялись всесторонние исследования этого объекта. Значительный интерес представляет собой изучение переменности NGC4151 на максимально больших интервалах времени. Уникальное явление – мощный всплеск излучения в ядре этой галактики (далее будем называть его просто всплеском) – наблюдалось в 1990–2000 гг. О неординарности этого явления говорит то, что около максимума всплеска в 1996г. интенсивность континуума в *U*-полосе увеличилась по сравнению с минимальным значением в 10 раз.

Наблюдения. Все наблюдения были выполнены в Астрофизическом институте им. Фесенкова (АФИФ) на телескопе–рефлекторе АЗТ–8 с диаметром главного зеркала 700 мм, в 11.2 м фокусе. Использовался дифракционный спектрограф оригинальной конструкции [1]. Первые спектрограммы СГ NGC4151 в АФИФ были получены в 1976 г. Э.К. Денисюком. До 2000г. основным приемником излучения на выходе спектрографа был трехкаскадный электронно-оптический преобразователь (ЭОП) типа УМ-92, а регистрация проводилась на фотопленку типа А-600 или аналогичную, близкую по характеристикам. Начиная с 2000г., в качестве приемника излучения используется CCD-матрица типа ST-7, а с конца 2002г. – ST-8. Наблюдения проводились в двух спектральных диапазонах: "красном" (с центром вблизи бальмеровской линий $H_б$) и "зеленом" (с центром вблизи – $H_в$). В зависимости от используемой дифракционной решетки и объектива камеры, спектрограммы имели спектральное разрешение в пределах 2.5–5.0 Е. Ширина входной щели варьировалась от 4" до 10", в зависимости от состояния атмосферы и длины экспозиции. Как правило, для повышения точности результатов спектр исследуемой галактики экспонировался от 2 до 6 раз подряд с экспозициями от 2 до 30 мин в зависимости от дисперсии и типа приёмника излучения.

Обработка спектрограмм. Большая часть спектрограмм и негативов с калибровками была измерена на микроденситометре АМД-1 и Minolta Dimage Scan Ellite-II. Для каждого спектра, полученного с использованием ЭОПа, была: (1) исправлена ошибка поля ЭОПа, (2) учтена, так называемая, S-образная дисторсия, которая присуща ЭОПу с электромагнитной фокусировкой, (3) вычтен спектр ночного неба. Для спектров, полученных на ПЗС-матрице: (1) вычитался "темновой ток", (2) убрались оставшиеся после вычитания "темнового тока", "горячие" и "холодные" пиксели. Редукция за спектральную чувствительность катода ЭОПа (или ПЗС-матрицы) не производилась. Спектр приводился к строго постоянной дисперсии вдоль всего диапазона. Длины волн наблюдаемого спектра СГ NGC 4151 приводились к системе длин волн этой галактики. В дальнейшем производилось сложение спектров, полученных в течение одной или нескольких близких по дате ночей, что позволяло уменьшить шумы спектров, обусловленных неодинаковой чувствительностью элементов катода ЭОПа (или ячеек матрицы) и статистикой числа фотонов приходящих на элемент катода ЭОПа (ячейку ПЗС-матрицы). Для дальнейшего уменьшения шумов в спектрах проводилось их сглаживание полиномом разного порядка (с некоторой потерей спектрального разрешения).

Следующим этапом обработки было выделение отдельных компонент из сложного профиля, состоящего из широкой компоненты линии $H_б$ с

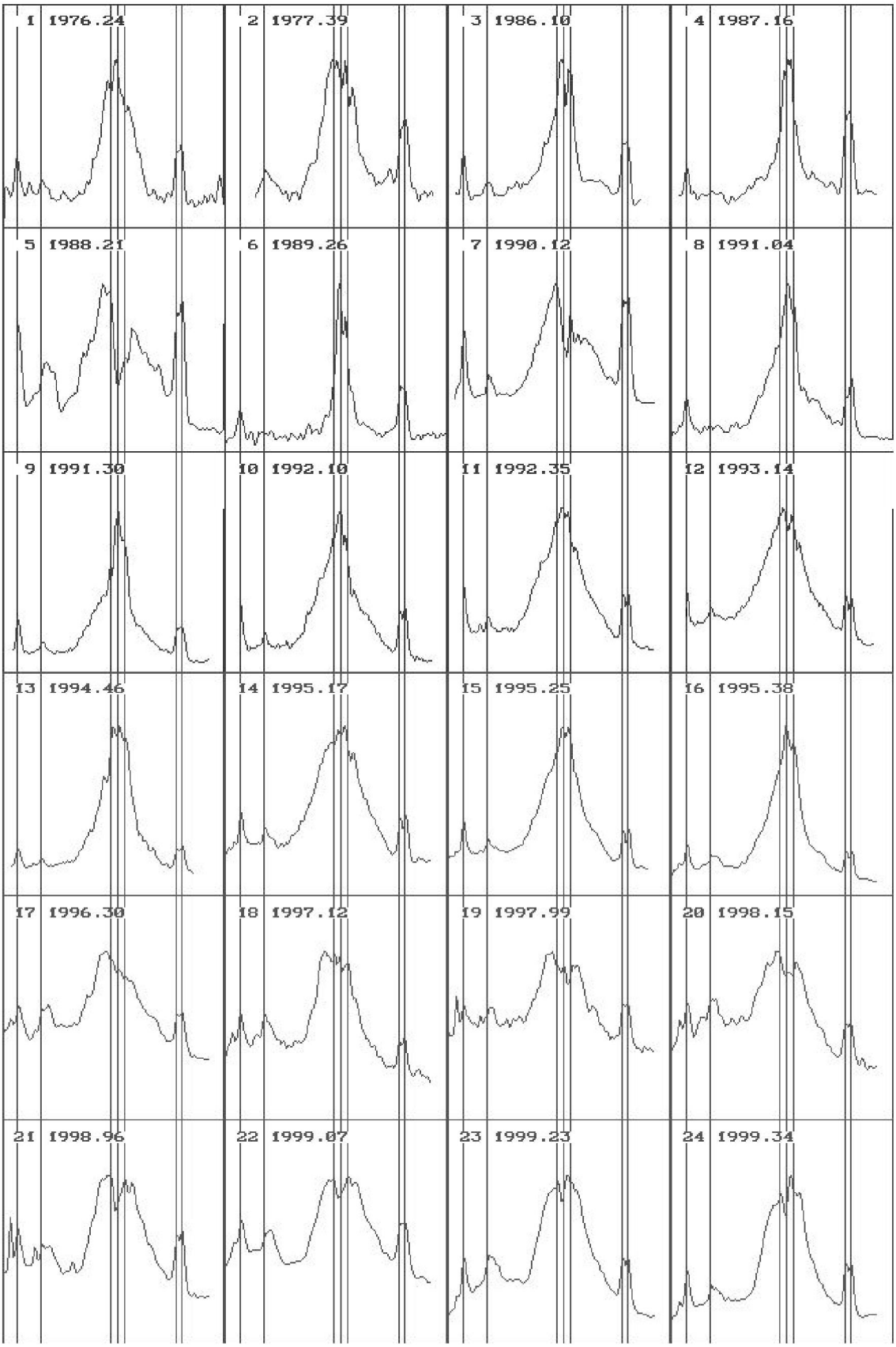
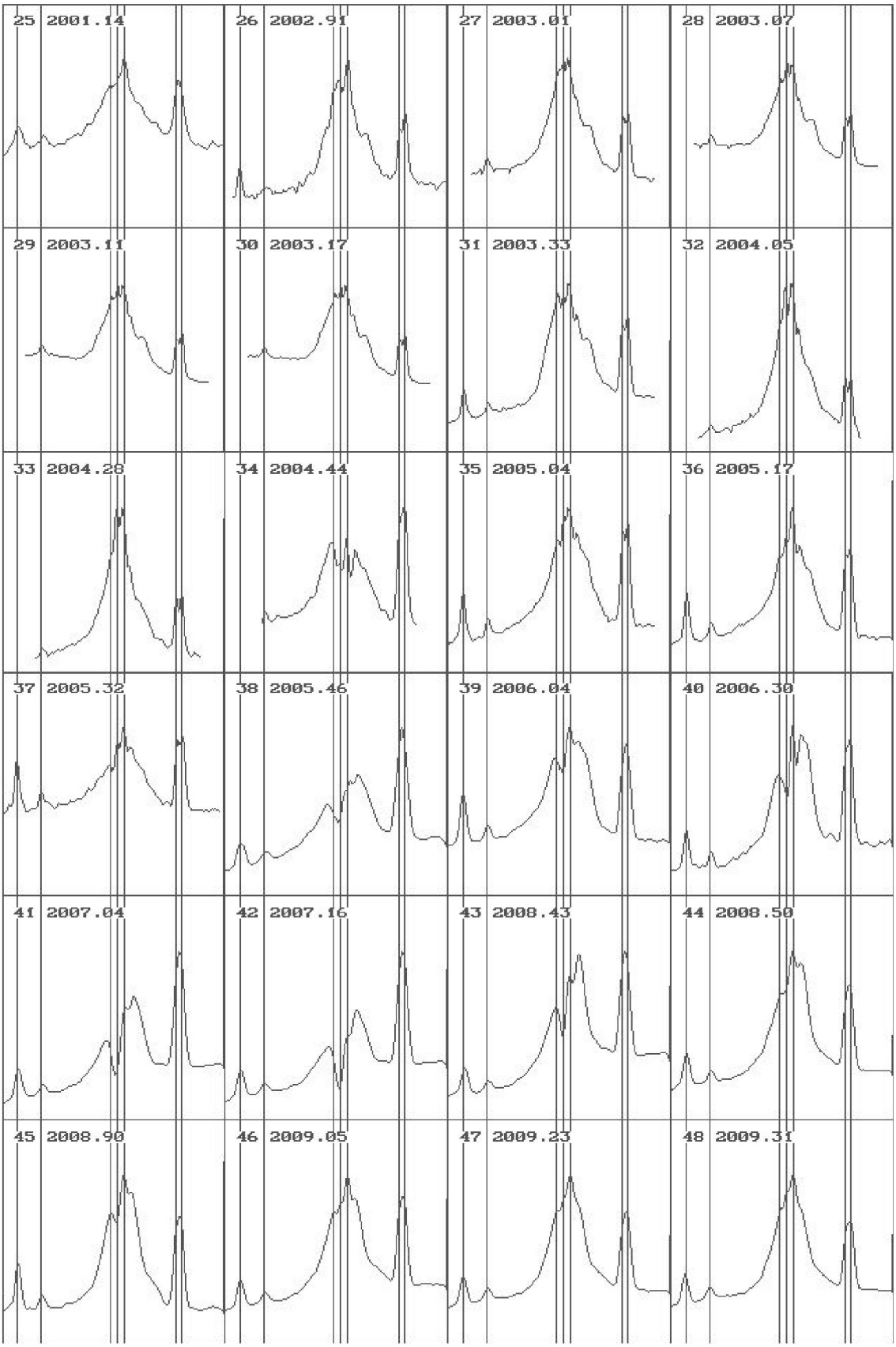


Рис. 1. Вид спектров NGC4151, полученных за период 1976–2009 гг., после вычитания "узкой" компоненты $H_б$ и линий [NII]. Спектральный интервал в каждом "кадре" составляет 6260Е–6840Е. Подробнее – см. в тексте



Продолжение рис. 1

наложенными на него узкими линиями $H_б$ и [NII]. Методика выделения бленды из широкой компоненты $H_б$ [2] заключается в следующем:

(1) измеряется поток от дублета серы в относительных единицах, после аппроксимации полиномом крыла широкой компоненты $H_б$ и его вычитания вместе с континуумом;

(2) строится искусственный контур из трех линий – [NII]л6548, $H_б$ и [NII]л6583. Отношение потока в линии [NII]л6583 к потоку в линии [NII]л6548 принималось равным 2,96, а отношение потока в узкой линии $H_б$ к сумме потоков линий [NII]л6548 и [NII]л6583 – равным 0.99. Инструментальный контур определялся по профилю линии [OI]л6300 на лучших спектрограммах. Масштаб тройного искусственного контура всегда выбирался таким, чтобы суммарный поток составляющих его линий был равен потоку в линиях [SII]л6717 и [SII]л6731, умноженному на коэффициент $W = 3.66$.

(3) из суммарного наблюдаемого профиля ($H_б$ + [NII]) вычитался искусственный тройной контур. В результате получалась широкая компонента линии $H_б$ в чистом виде.

Результаты. С 1976 по 2009 гг. была получена 691 спектрограмма галактики NGC4151 в "красной" области спектра. Наблюдения проводились весьма неравномерно во времени. Это было обусловлено как с погодными условиями, так и сезоном видимости объекта. Кроме того, в 70-х гг. спектральная переменность СГ на коротких интервалах времени не являлась твердо установленным фактом, и поэтому наблюдения проводились крайне не регулярно. Так, в 1976 и 1977 гг. было получено всего по две спектрограммы NGC4151, а в 1987г. – одна.

На рис. 1 представлены усредненные профили широкой компоненты линии $H_б$. Для каждого профиля указано среднее время для серии спектрограмм, из суммы которых был получен данный профиль (верхняя часть "кадра"). Время указано в годах с долями. Профили приведены к линейной шкале длин волн исследуемой галактики. Диапазон длин волн: 6260Е (левая граница "кадра") – 6840Е (правая граница "кадра"). Тонкие вертикальные линии в "кадре" указывают положение эмиссионных линий [OI]л6300, [OI]л6364 [NII]л6548, $H_б$ л6563, [NII]л6583, [SII]л6717, [SII]л6731 (отчет линий в "кадре" – слева на право).

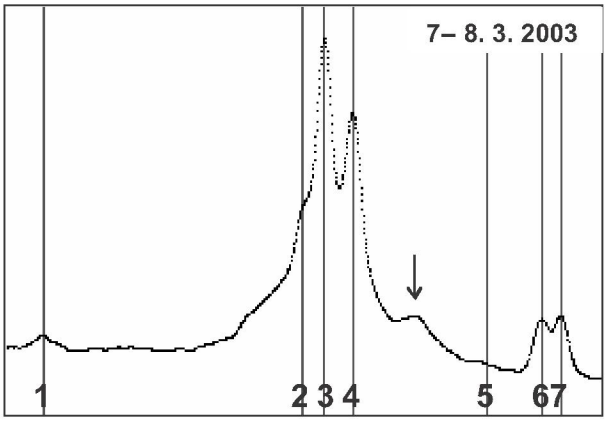


Рис. 2. Эмиссионная деталь (отмечена стрелкой) на красном крыле широкой компоненты $H_б$ СГ NGC4151. Сплошные вертикальные линии соответствуют несмещенным линиям широко распространенных химических элементов: [OI]л6364 (1), [NII]л6548 (2), $H_б$ л6563 (3), [NII]л6583 (4), Нел6678 (5), [SII]л6717 (6), [SII]л6731 (7). Длины волн наблюдаемого спектра СГ NGC 4151 приведены к системе длин волн этой галактики

Анализ усредненных профилей широкой компоненты линии $H_б$ показывает, что изменение потока в широкой компоненте линии $H_б$ (относительно суммарного потока в линиях [SII], принятого постоянным), примерно соответствует характеру изменения потока излучения в фильтре U (более подробно – см. [2]).

В декабре 2002г. мы заметили появление новой эмиссионной детали на красном крыле широкой компоненты $H_б$ (Рис. 2).

Как оказалось, эта деталь наблюдалась и раньше [3], [4]. Логично предположить, что появление эмиссионной детали на красном крыле линии $H_б$ связано с объектом, оказавшегося в окрестностях ионизирующего источника.

Профили широкой компоненты линии $H_б$, полученные нами на временном интервале 1976–2009 гг. (Рис. 1), были использованы для исследования изменения отношений потоков в синем крыле к потокам в красном крыле ($F_{син.}/F_{кр.}$). Для восполнения пробелов в наших наблюдениях и максимального увеличения временного диапазона, охваченного исследованием, были так же использованы профили широкой компоненты линии $H_б$, полученные из статей других авторов [5-9].

Процесс обработки профилей заключался в следующем:

1) Все имеющиеся в распоряжении профили делились на двенадцать равных интервалов ши-

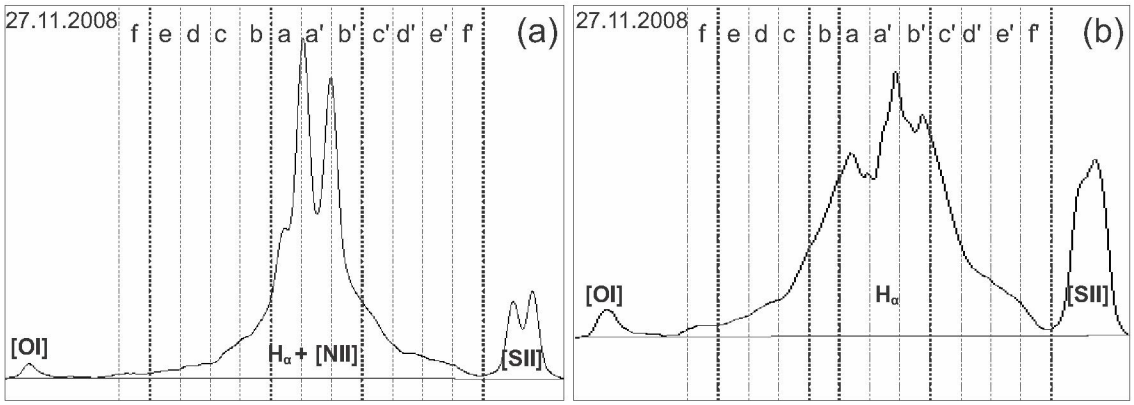


Рис. 3. Положение 12 интервалов: (a) – на суммарном наблюдаемом профиле ($H_б$ + [NII]); (b) – на профиле широкой компоненты линии $H_б$, полученном после вычитания узких линий и сглаживания. Границы интервалов соответствуют доплеровским смещениям относительно узкой компоненты линии $H_б$, выраженным в лучевых скоростях (единица измерения – км/с): -6000 (f) -5000 (e) -4000 (d) -3000 (c) -2000 (b) -1000 (a) 0 (a′) 1000 (b′) 2000 (c′) 3000 (d′) 4000 (e′) 5000 (f′) 6000

риной в 21.9E, по шесть в обе стороны от центра узкой компоненты Hα линии. Если расстояние от узкой компоненты Hα линии до границы соответствующего интервала принять за доплеровское смещение, то каждой границе интервала можно сопоставить определённую лучевую скорость. При ширине каждого интервала в 21.9E, границам интервалов соответствуют лучевые скорости: 0, ±1000км/с, ±2000км/с, ±3000км/с, ±4000км/с, ±5000км/с, ±6000км/с (см. Рис. 3).

2) В каждом профиле вычитался континуум.

3) Для каждого интервала профиля измерялся поток (в относительных единицах). В редких случаях, когда качество спектров, используемых для получения профиля, было невысоким, (профили за 1976.24, 1989.26 и 2005.46 гг.) потоки в двух (f,f′) или даже четырех (f,f′,e,e′) крайних интервалах не находились. Профили широкой компоненты линии $H_б$, полученные из литературы ([5-9]), зачастую также не позволяли получить потоки во всех 12 интервалах.

4) Находилась величина: $F_{син.}/F_{кр.}$ для каждой пары симметричных интервалов (Рис. 3).

5) Результат представлен в виде шести графиков с единой шкалой дат (Рис. 4).

На рис. 4 цифрами обозначены отношения потоков полученные из профилей линии Hα, приводимых: Anderson [5,6] – 1, 2 , Boksenberg et.al. [7] – 3, Schmidt and Miller [8] – 4, Antonucci and Cohen [9] – 5. Отклонения отношений потоков во всех интервалах рассматриваются относительно единичного уровня, отмеченного горизонтальной пунктирной линией с широким шагом. Предполагалось, что первоначальный профиль широкой компоненты линии $H_б$ образуется в однородном аккреционном диске и поэтому симметричен относительно центра узкой компоненты Hα линии. В этом случае величина $F_{син.}/F_{кр.}$ для всех пар симметричных интервалов (см. рис. 3) первоначального профиля должна быть близка к единице. Тогда отклонение величины $F_{син.}/F_{кр.}$ от единичного уровня можно объяснить дополнительным излучением (эмиссией) от водородных облаков, двигающихся по эллиптическим, параболическим или гиперболическим орбитам вокруг центрального ионизирующего источника. Можно допустить, с небольшой вероятностью, возможность отклонения величины $F_{син.}/F_{кр}$ от единичного уровня из-за поглощения излучения однородного аккреционного диска водородным облаком, пересекающем в данный момент луч зрения. Исходя из этих предположений получаем, что если отношение $F_{син.}/F_{кр.}$ в каком-нибудь интервале:

1) меньше единицы, то водородное облако движется или в направлении от нас (давая дополнительную эмиссию в красном крыле широкой компоненты линии $H_б$), или в направлении к нам, но вдоль луча зрения (поглощая излучение от аккреционного диска в синем крыле широкой компоненты линии $H_б$);

2) больше единицы, то водородное облако движется под острым углом к наблюдателю, но не вдоль луча зрения (давая дополнительную эмиссию в синем крыле широкой компоненты линии $H_б$) или вдоль луча зрения от нас (поглощая излучение от аккреционного диска в красном крыле широкой компоненты линии $H_б$).

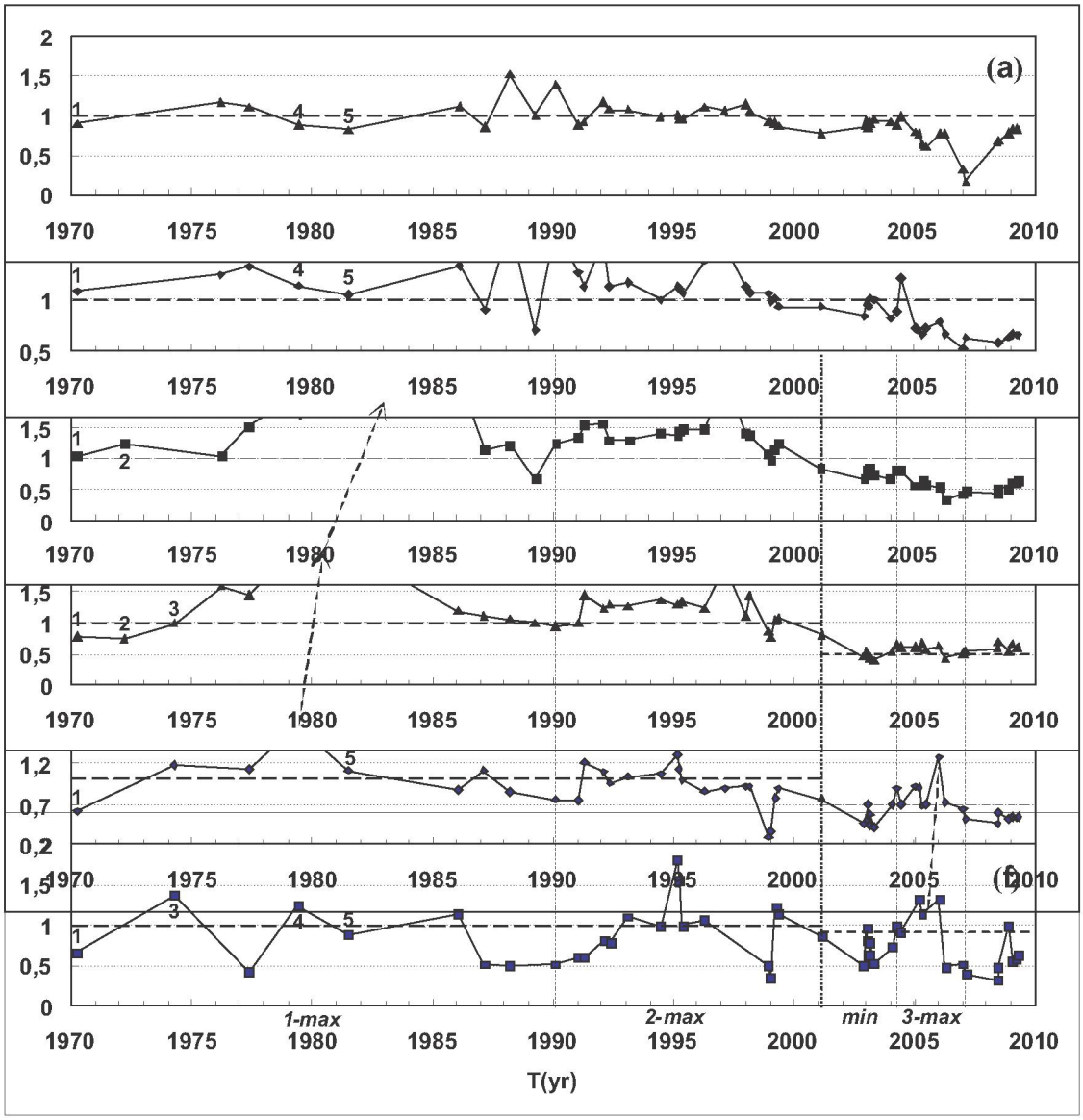


Рис. 4. Изменение величины $F_{син.}/F_{кр.}$ за период 1970–2009 гг. в сейфертовской галактике NGC4151 в шести симметричных парах интервалов (см. Рис. 3): (a)F(-1000÷0)/F(0÷1000); (b)F(-2000÷-1000)/F(1000÷2000); (c)F(-3000÷-2000)/F(2000÷3000); (d)F(-4000÷-3000)/F(3000÷4000); (e)F(-5000÷-4000)/F(4000÷5000); (f)F(-6000÷-5000)/F(5000÷6000). Наклонными пунктирными отрезками показаны временные смещения 1-го и 3-го максимумов

На графиках (см. рис. 4) мы выделили три максимума (*1-max, 2-max, 3-max*) и один минимум (*min*). Причём выделенные максимумы и минимум видны не на всех графиках. Попытаемся разобраться в физической причине каждого из этих максимумов. В качестве рабочей модели рассмотрим случай свободного радиального падения водородного облака на чёрную дыру с массой $M_{чд}=(4.57\pm0.6)*10^7 M_{солнца}$ [10], т.е. с массой $M_{чд}=(9.1\pm1.0)*10^{37}$ кг. Предположим, что облако падает на чёрную дыру с параболической скоростью $V=(2GM/R)^{1/2}$, где R – расстояние от чёрной дыры до водородного облака. Предположим так же, в качестве первого приближения, что водородное облако падает под небольшим углом к лучу зрения. Тогда лучевые скорости границ интервалов (см. рис. 3), можно считать истинными скоростями водородного облака в разные моменты времени. Эмиссия от такого облака в линии $H_б$, при изменении его скорости падения от 0км/с до 6000км/с, из-за доплеровского смещения, будет переходить из одного скоростного интервала в другой в следующем порядке: (a),(b),(c),(d),(e),(f). При прохождении эмиссии

Таблица 1. **Расчетные динамические характеристики водородного облака падающего на черную дыру с параболической скоростью**

	$V_{ср.}$км/с	$R*10^{14}$м	$T_{аккр}$ год	$ДТ_{аккр.}$	F/F_f
(f)	5500	4.01	1.54		100
				1.27	
(e)	4500	5.99	2.81		45
				3.17	
(d)	3500	9.90	5.98		16
				10.4	
(c)	2500	19.4	16.4		4
				59.4	
(b)	1500	53.9	75.8		0.6
				1968	
(a)	500	485	2044		0.007

через данный интервал отношение $F_{син.}/F_{кр.}$ будут вначале расти, потом уменьшаться (оставаясь, всё время больше единицы). Момент времени, когда отношение $F_{син.}/F_{кр.}$ достигает своего наибольшего значения (вершины треугольного максимума или середине трапециевидного максимума) будет соответствовать времени прохождения облаком середины данного скоростного интервала. Основные динамические характеристики водородного облака в моменты прохождения середин скоростных интервалов показаны в Таблице 1, в столбцах которого приводятся: 1 – условные обозначения скоростных интервалов (см. Рис. 3); 2 – средние скорости в этих интервалах; 3 – расстояние от чёрной дыры до водородного облака в момент достижения облаком данной средней лучевой скорости, получаемое по формуле: $R=2GM/(V)^2$; 4 – время аккреции на чёрную дыру с расстояния R (получается с использованием численных методов); 5 – время за которое водородное облако долетает из середины одного скоростного интервала до середины другого; 6 – поток ионизирующего излучения, в относительных единицах, который получает облако, находясь на расстоянии R от ионизирующего источника (поток в диапазоне (f) принят за 100 единиц).

Из всех трёх максимумов, о которых говорилось выше, наибольшее соответствие приведённой модели показывает 3-й максимум (3-max). Но надо учесть, что 3 максимум (и связанный с ним минимум) попадает по времени на тот временной интервал, когда на красном крыле широкой компоненты $H_б$ возникла дополнительная эмиссия (см. Рис. 2). Ее появление вызвало резкое уменьшение величины $F_{син.}/F_{кр.}$ практически во всех интервалах (см. Рис. 4). По этой причине для 3 максимума и минимума был проведён свой "единичный уровень". Он был выбран таким, что отклонение от него в сторону максимума и минимума примерно одинаково. Из рис. 4 мы видим, что амплитуда максимума и минимума, быстро падает, в соответствии с изменением мощности ионизирующего излучения, приходящегося на каждый интервал (см. 6-й столбец Таблицы 1), так что в интервале (d) 3-й максимум и минимум уже трудно выделить из "шумовой дорожки". Сдвиг между серединой плоского максимума в полосе (f) и максимумом в полосе (e) в 0.44 года оказывается почти в три раза меньше, чем это следует из модели (см. 5-й столбец Таблицы 1). Для того чтобы привести расчетную величину сдвига в соответствие с наблюдаемой, усложним модель. Предположим, что вектор истинной скорости водородного облака образует с направлением к наблюдателю угол б. Подбирая различные значения угла б, можно получить требуемую величину сдвига $ДТ_{аккр.} = 0.44$ года при значении $б=45^0$. В таблице 2 приводятся динамические характеристики водородного облака в интервалах (f),(e),(d) когда угле между вектором истинной скорости и направлением к наблюдателю равен 45^0. Все обозначения столбцов в таблице 2, кроме 2a и 2b, такие же, что и в таблице 1. В столбце 2a приведены средние для интервалов радиальные скорости, а в столбце 2b – истинные скорости.

Точность определения угла между вектором истинной скорости и направлением к наблюдателю невозможно оценить, так как из рис. 4 оп-

Таблица 2. **Динамические характеристики водородного облака, улетающего от чёрной дыры с параболической скоростью, когда угол между вектором истинной скорости и направлением к наблюдателю б=45⁰**

	$V_{ср.рад.}$ км/с	$V_{ср.ист.}$ км/с	R*10¹⁴м	$T_{аккр.}$ год	$ДТ_{аккр.}$ год	F/F_f
1	2a	2b	3	4	5	6
(f)	5500	7810	1.99	0.54	0.44	100
(e)	4500	6390	2.97	0.98	1.1	45
(d)	3500	4970	4.91	2.08		16

ределяется только один сдвиг – между максимумами в интервалах (f) и (e).

Если предположить, что облако, явившееся причиной 3-го максимума, всё время двигалось по параболической орбите, можно посчитать время прохождения облаком её вершины. Так как время аккреции ($T_{аккр.}$) для интервала (e) равно 0.98 года, а пик 3-го максимума в этом интервале приходится на 2006.04, то расчётным моментом прохождения облаком вершины параболической орбиты будет 2005.06. Истинный момент прохождения облаком этой области, скорее всего, как это видно из рис. 4, приходиться на начало 2004 года. Расхождение между этими датами могут быть связаны как с ошибками измерения сдвига, так и с тем, что модельные расчёты велись для радиально падающего тела, а не для тела двигающегося по параболической орбите. Все приведённые здесь даты даны во временной шкале наблюдателя, находящегося на Земле.

Мы считаем также, что на рис.4 можно проследить движение облака до его прохождения вершины параболической орбиты, то есть до момента прохождения облаком окрестностей чёрной дыры. Диапазон графика, отмеченный как "*min*" (см. Рис. 4), как раз соответствует времени, когда облако должно было приближаться к чёрной дыре. Причем из того, что отношение $F_{син.}/F_{кр.}$ в этом диапазоне меньше единицы, следует, что облако двигалось под некоторым углом в направлении от наблюдателя к чёрной дыре. В этом случае создаваемая облаком эмиссия на красном крыле широкой компоненты линии $H_б$ должна была уменьшить коэффициент $F_{син.}/F_{кр.}$ в соответствующих скоростных интервалах до минимального уровня. В интервале (f) хорошо виден этот минимум, но в интервале (e) минимума, соответствующего третьему максимуму почти не видно. Причиной этого может быть то, что ожидаемый минимум в интервале (e) приходится на интервал времени, когда не было наблюдений.

Из того факта, что 3-й максимум имеет в интервале (e) треугольную форму, можно оценить размер облака в момент прохождения этого интервала. Треугольную форму максимум должен иметь в том случае, когда размер водородного облака близок к ширине самого интервала. Во всех иных случаях максимум должен иметь трапециевидную форму, как, например, в интервале (f). Вычислим ширину интервала (e). Для этого рассмотрим динамические характеристики границ интервалов (f) и (e) при угле между вектором истинной скорости и направлением к наблюдателю равном 45⁰. Они показаны в таблице 3, в столбцах которой приводятся: 1 – условное обозначение скоростного интервала (см. Рис. 3); 2 – лучевые скорости границ интервалов; 3 – истинные скорости границ интервалов; 4 – расстояния от чёрной дыры до границ интервалов, получаемые по формуле: $R=2GM/(V)^2$; 5 – ширины интервалов.

Из таблицы 3 видно, что интервал (e) имеет ширину 1.35*10¹⁴ м. Таким образом, водородное облако, в момент прохождения интервала (e), имело длину 1.35*10¹⁴ м (или около 900 а.е.). При этом надо иметь в виду, что это значение не соответствует первоначальному размеру облака, так как, приближаясь к чёрной дыре, облако сильно растягивается вдоль своей параболической траектории. Это обусловлено тем, что направленная к чёрной дыре (а значит и чуть более близкая к ней) часть облака, в процессе падения на чёрную дыру, имеет немного большую скорость [согласно формуле $V=(2GM/R)^{1/2}$], чем более удалённая от чёрной дыры часть облака. Это растяжение усиливается по мере приближения облака к чёрной дыре. Когда же, облетев чёрную дыру, обла-

Таблица 3. **Динамические характеристики границ интервалов (f) и (e) при угле между вектором истинной скорости и направлением к наблюдателю б=45⁰.**

	$V_{рад.}$ км/с	$V_{ист.}$ км/с	R*10^{14}м	ДR*10^{14}м
1	2	3	4	5
(f)	6000	8520	1.67	0.74
(e)	5000	7100	2.41	1.35
	4000	5680	3.76	

ко начинает удаляться от неё – растянутое облако начинает сжиматься вплоть до своего первоначального размера на больших расстояниях от чёрной дыры. Сжатие облака при движении от чёрной дыры обусловлено обратным эффектом: скорость более близкой к чёрной дыре части облака будет оставаться всё время более высокой, чем скорость более удалённой (согласно вышеприведённой формуле). Таким образом, чтобы оценить первоначальный размер облака надо полученную в интервале (e) длину облака (900 а.е.) "пересчитать" на достаточно большое расстояние от чёрной дыры. К сожалению, из-за недостаточной точности наших измерений, нельзя рассчитать, хотя бы приблизительно, первоначальный размер облака, но некоторые оценки сделать можно. Так, по нашим расчётам, на расстоянии R=10^{15}м (0.03пк) длина облака должна уменьшиться до 8*10^{13}м (500 а.е.), а на расстоянии R=3.8*10^{15}м (0.12 пк) – до 3*10^{13} м (200 а.е.).

Рассмотрим теперь более подробно 1 максимум (*1-max*) (см. Рис. 4). Его протяжённость во времени, около 10 лет в полосе (e), говорит о том, что в случае 1-го максимума мы имеем дело с облаком, размеры которого на порядок больше облака, о котором говорилось выше. О примерном распределении вещества вдоль радиуса облака можно судить по профилю максимума в интервале (e). В частности, можно заметить увеличение значения $F_{син.}/F_{кр.}$ в центральной части профиля, что можно объяснить тем, что ширина вытянутого облака возрастает по мере приближения к его центру.

Определим величину временного сдвига между треугольным максимумом в интервале (e) и трапециевидным максимумом в интервале (d), а так же величину сдвига между двумя трапециевидными максимумами в интервалах (d) и (c). Получаются следующие величины: $ДТ_{(e)-(d)}$=1год, $ДТ_{(d)-(c)}$=2.5 года. Эти сдвиги оказываются почти в 3–4 раза меньше, чем это следует из нашей первоначальной модели (см. 5-й столбец Таблицы 1). Для того чтобы привести в соответствие модельную величину сдвига с наблюдаемой, опять предположим, что вектор истинной скорости облака образует угол б с направлением к наблюдателю. Подбирая различные значения угла б, получаем требуемую величину сдвига $ДТ_{(e)-(d)}$=1году, при значении б=47⁰ (см. таблицу 4) и $ДТ_{(d)-(c)}$=2.5 годам при значении б=51.6⁰ (см. таблицу 5). Все обозначения столбцов в таблице 4, и 5, такие же, что и в таблице 2.

Таким образом, средняя величина угла между вектором истинной скорости и направлением к наблюдателю составляет $б_{ср.}=49^0\pm3^0$.

Рассмотрим динамические характеристики границ интервалов (f), (e), (d), (c), (b) при угле б=49⁰. Они показаны в таблице 6, в столбцах которого приводятся: 1 – условные обозначения скоростных интервалов; 2 – лучевые скорости, соответствующие границам интервалов; 3 – истинные скорости границ интервалов; 4 – расстояние от границ скоростных интервалов до чёрной дыры, получаемые по формуле: $R=2GM/(V)^2$; 5 – ширины интервалов; 6 – время аккреции с данной границы скоростного интервала на чёрную дыру; 7 – время за которое водородное облако пролетает соответствующий интервал.

Рассчитаем момент, когда облако должно было пройти вершину параболической траектории, то есть время максимального сближения облака с чёрной дырой. Из Таблицы 6 видно, что время аккреции с более близкой к черной дыре границы интервала (e) составляет 0.58 года. Так как превышение единичного уровня в интервале (e) начинается в 1973.0 году, то время максимального сближения облака с черной дырой приходится на начало 1972 года.

Таблица 4. **Динамические характеристики водородного облака, улетающего от чёрной дыры с параболической скоростью, при угле между вектором истинной скорости и направлением к наблюдателю б=47^0**

	$V_{ср.рад.}$ км/с	$V_{ср.ист.}$ км/с	R*10^{14}м	$T_{аккр.}$ год	$ДТ_{аккр.}$ год
1	2a	2b	3	4	5
(e)	4500	6615	2.77	0.88	1.0
(d)	3500	5145	4.58	1.88	

Таблица 5. **Динамические характеристики водородного облака, улетающего от чёрной дыры с параболической скоростью, при угле между вектором истинной скорости и направлением к наблюдателю б=51.6^0**

	$V_{ср.рад.}$ км/с	$V_{ср.ист.}$ км/с	R*10^{14}м	$T_{аккр.}$ год	$ДТ_{аккр.}$ год
1	2a	2b	3	4	5
(d)	3500	5635	3.82	1.43	2.5
(c)	2500	4025	7.49	3.93	

Как видно из рис. 4, продолжительность максимума, то есть время прохождения растянутого облака через скоростной интервал, разная: (e) – 10, (d) – 14, (c) – 12 лет. Причиной этого является увеличение ширины скоростных интервалов по мере удаления от чёрной дыры (см. 7-й столбец 6-й таблицы). Оценки размеров облака, соответствующие первому максимуму, на разных расстояниях от черной дыры, представлены в Таблице 7, в столбцах которого приводится: 1 – расстояние облака от чёрной дыры; 2 – длина облака (вдоль параболической орбиты); 3 – истинная скорость облака на расстоянии R. Данные в Таблице 7 получены с использованием Таблицы 6 и параметров 1-го максимума в трёх интервалах: (e), (d) и (c).

Если сравнить параметры облаков, связанных с возникновением 1-го и 3-го максимума, то можно заметить, что длина облака, соответствующего первому максимуму, [(5.4±2.0)*10^{14}м или 3600 а.е.], примерно на порядок больше длины облака, имеющего отношение к третьему максимуму (3*10^{13}м или 200 а.е.), если рассматривать длину облака на одном и том же расстоянии от черной дыры.

Величину D=(1.2±0.4)*10^{14}м (800 а.е.) можно считать истинным размером облака, соответствующего первому максимуму, так как на расстоянии в (6.4±0.2)*10^{16}м (около 2 пк) от черной дыры эффектом растяжения можно пренебречь.

Если сравнить параметры облака, соответствующего первому максимуму, с характеристиками облаков в околоядерной области СГ NGC 4151 [11], то наиболее близки к нему, так называемые, HVHVD clouds – облака, характеризующиеся высокой скоростью (400<|v|≤1700 км/с), высокой дисперсией скоростей (Дv ≥ 130 км/с) и расположенные в пределах 70 пс (2*10^{18}м) от ядра. Интересной особенностью этих облаков является то, что почти все они имеют отрицательные радиальные скорости, то есть движутся в направлении к наблюдателю, что также сближает их с облаком, соответствующим первому максимуму. Но есть и существенные отличия: 1) по размерам HVHVD-облака на три порядок больше облака, связанного с 1-м максимумом, 2) облако, получаемое из 1-го максимума, проявляет себя только в разрешённых линиях, а HVHVD-облака как в разрешённых, так и запрещённых.

Из 2-го глобального максимума (*2-max*) (см. Рис. 4) невозможно получить конкретный результат, так как для этого максимума невозможно определить систематические сдвиги при переходе из одно интервала в другой.

В данной статье мы попытались дать объяснение двум из трёх глобальных максимумов, которые наблюдались в период 1970–2009гг. Возможно, орбиты облаков, которые дают эти максимумы, отличаются от параболических. Тогда углы между их истинными скоростями и направлением к наблюдателю будут другие. Другими будут и размеры облаков, но общая картина про-

Таблица 6. **Динамические характеристики границ интервалов (f), (e), (d), (c), (b) при угле между вектором истинной скорости и направлением к наблюдателю б=49^0**

	$V_{рад.}$ км/с	$V_{ист.}$ км/с	R*10^{14}м	ДR*10^{14}м	$T_{аккр.}$ год	$ДТ_{аккр.}$ год
1	2	3	4	5	6	7
	6000	9144	1.45		0.33	
(f)				0.64		0.25
	5000	7621	2.09		0.58	
(e)				1.17		0.55
	4000	6097	3.26		1.13	
(d)				2.54		1.55
	3000	4573	5.80		2.68	
(c)				7.2		6.3
	2000	3049	13.0		9.00	
(b)				39		63
	1000	1524	52.2		72	

Таблица 7. **Оценки размеров облака, соответствующего первому максимуму, на разных расстояниях от чёрной дыры. Приведены также оценки скорости облака**

R*10^{16}м	D*10^{14}м	$V_{ист.}$ км/с
1	2	3
0.34±0.05	5.4±2.0	1900±100
1.41±0.02	2.7±1.0	920±20
6.4±0.2	1.2±0.4	420±20

цессов, приводящая к возникновению этих максимумов, не должна сильно измениться.

Приведённые выше результаты говорят о важности получения для каждой СГ спектрофотометрических рядов на максимально длительном интервале времени. Их анализ позволяет представить динамику вещества в окрестностях чёрной дыры, проследить движение крупных облаков на больших временных и пространственных промежутках.

Работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0351.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Denissyuk, E.K.* Spectrograph for faint objects: the device and the main results of observations // Astron. and Astroph. Transactions. 2003. V.22(2). P.175-180.

2. *Денисюк Э.К., Валиуллин Р.Р., Аргайл Р., Гайсина В.Н.* Поведение широкой компоненты линии $H_б$ в сейфертовской галактике NGC 4151 в 1976–2003гг. // Астроном. Жур. 2004. Т.81, №8. С.687-693.

3. *Ulrich M.-H., Boksenberg A., Bromage G. E. et.al.* The ultraviolet spectrum of NGC 4151 from 1978 to 1990: general characteristics and evolution // Ap.J. 1991. V.382. P.483-500.

4. *Oknyanskij V.L.* Connection between X-ray and optical variability in NGC 4151 // Ap. and Sp. Si. 1994. V.222. P.157-169.

5. *Anderson K.S.* On the interpretation of the Hα profile of the Seyfert galaxy NGC 5548 // Ap.J. 1971. V.169. P.449–453.

6. *Anderson K.S.* The absorption-line spectrum of NGC 4151 // Ap.J. 1974. V.189. P.195–203.

7. *Boksenberg A., Shortridge K., Allen D.A., et.al.* New observations of the optical spectrum of the Seyfert galaxy NGC 4151 // MNRAS. 1975. V.173. P.381-396.

8. *Schmidt G.D. and Miller J.S.* The spectrum and polarization of the nucleus of NGC 4151 // Ap.J. 1980. V.240. P.759-767.

9. *Antonucci R.R.J. and Cohen R.D.* Time development of the emission lines and continuum of NGC 4151 // Ap.J. 1983. V.271. P.564–574.

10. *Bentz M.C., Denney K.D., Cackett E.M. et.al.* A reverberation-based mass for the central black hole in NGC 4151 // Ap.J. 2006. V.651. P.775-781.

11. *Kaiser M.E., Bradley II L.D., Hutchings J.B. et.al.* The resolved narrow-line region in NGC 4151 // Ap.J. 2000. V.528. P.260-275.

Резюме

1976–2009 жылдар аралығында NGC4151 Сейферт ғаламының На сызықтың кең құраушының пішінінің өзгеруі зерттеледі.

Summary

Profile variations of the broad component of $H_б$ in the Seyfert galaxy NGC4151 within a time interval 1976–2009 are analyzed.

Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, МОН РК, г. Алматы.

Поступила 01.06.2009 г.