АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2007, том 84, № 3, с. 253–265

УДК 524.7+524.523+524.4-54-75

СОПОСТАВЛЕНИЕ $UBVR$-ФОТОМЕТРИИ ГИГАНТСКИХ ОБЛАСТЕЙ HII В ГАЛАКТИКЕ NGC 628 С ДЕТАЛЬНОЙ СЕТКОЙ ЭВОЛЮЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ

© 2007 г. В. В. Бруевич[1], А. С. Гусев[1], О. В. Ежкова[1], Ф. Х. Сахибов[2,3], М. А. Смирнов[4]

[1] Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия
[2] Университет прикладных наук Гиссена–Фридберга, Фридберг, Германия
[3] Институт астрофизики, Душанбе, Таджикистан
[4] Институт астрономии, Москва, Россия

Поступила в редакцию 10.04.2006 г.; после доработки 12.10.2006 г.

Представлены результаты $UBVRI$-ПЗС-фотометрии гигантских HII-областей в спиральной галактике NGC 628. Наблюдения проведены на 1.5-м телескопе Майданакской обсерватории (Узбекистан) с угловым разрешением меньше 1″. Сравнение наблюдаемых показателей цвета с детальной сеткой эволюционных моделей, включающей в себя весь диапазон изменения параметров НФМ, возрастов молодых комплексов звездообразования и два режима звездообразования, позволило получить оценки возрастов и межзвездного поглощения и определить режим звездообразования. Впервые выявлен радиальный градиент межзвездного поглощения в NGC 628, который соответствует радиальному градиенту химического состава, полученному ранее другими авторами из независимых спектрофотометрических наблюдений. Полученные в работе оценки возрастов коррелируют с независимыми оценками химического состава, определенного из наблюдений.

PACS: 95.75.De, 95.85.Kr, 98.20.Fk, 98.35.Ac, 98.35.Hj, 98.38.Gt, 98.52.Nr

1. ВВЕДЕНИЕ

Данная работа посвящена исследованию молодых комплексов звездообразования (КЗО), видимых как гигантские области HII, в спиральной галактике NGC 628 на основе их $UBVR$-фотометрии. Гигантская спиральная галактика позднего ScI-типа NGC 628 является одной из немногих всесторонне изученных галактик. Достаточно перечислить некоторые наблюдательные работы: в [1] проведена многоцветная фотографическая фотометрия гигантских областей HII; в [2] проведена многоцветная $UBVRJ$-поверхностная фотометрия звездного диска и изучена его морфология; в [3] проведен полный фотометрический обзор 583 областей HII в линии Hα; в [4] для внутренней, видимой в оптическом диапазоне части галактики построено детальное двухмерное поле лучевых скоростей нейтрального водорода методом апертурного синтеза, а в [5] оно достроено для внешней, видимой в радиодиапазоне части галактики; в [6] представлен полный спектрофотометрический обзор 130 гигантских областей HII. Основные оптические характеристики NGC 628 перечислены в цитируемых работах и приведены в работах Сэндиджа и Таманна [7], Вокулера и др. [8], Хольмберга [9]. Нами используется здесь оценка расстояния до NGC 628 7.2 кпк, принятая в работе [10]. Величины позиционного угла большой оси P.A. = 25° и угла наклона галактического диска $i = 7°$ получены из фурье-анализа пространственного распределения лучевых скоростей газа в диске в нашей предыдущей работе [11].

Для исследования физических характеристик звездных скоплений на основе проведенной многоцветной фотометрии мы используем метод решения обратной задачи звездообразования, развитый в наших предыдущих работах [12, 13]. Решение обратной задачи звездообразования, а именно, определение НФМ, возраста, скорости и режима звездообразования по известному спектральному распределению энергии звездного скопления сводится к поиску наименьших значений функционала отклонений. Под функционалом отклонений понимается числовая функция, которая ставит в соответствие каждой эволюционной модели некоторое число, характеризующее отклонение наблюдаемых фотометрических величин от модельных. Отличие нашего подхода от ставших классическими методов эволюционного популяционного синтеза и метода эмпирического популяционного синтеза подробно

обсуждается в наших предыдущих работах [14, 15]. В [14] проведено также моделирование решения обратной задачи при различных условиях.

Спектроскопические и спектрофотометрические наблюдения в эмиссионных линиях газа, несущие информацию о внутреннем поглощении света и химическом составе КЗО, являются, наряду с многоцветной фотометрией в звездном континууме, обязательной частью базы наблюдательных данных, необходимой для решения обратной задачи звездообразования. Поэтому главным критерием выбора объектов наших многоцветных фотометрических наблюдений было наличие для этих объектов спектрофотометрических наблюдений в эмиссионных линиях газа. В работе Белли и Роя [6] представлены спектрофотометрические наблюдения в эмиссионных линиях водорода, азота и кислорода 130 гигантских областей HII в спиральной галактике NGC 628. Молодые звездные скопления, порождающие эти гигантские области ионизованного водорода, являются объектами изучения в данной работе. Целью работы является определение физических характеристик звездообразования (НФМ и истории звездообразования) путем анализа многоцветной $UBVR$-фотометрии этих объектов с помощью функционала отклонений.

В данной работе представлены результаты широкополосной $UBVR$-фотометрии 127 гигантских областей ионизованного водорода HII в спиральной галактике NGC 628, изученных раннее спектрофотомерически в линиях излучения водорода, азота и кислорода [6]. Совокупность этих наблюдательных характеристик сопоставлена с детальной сеткой эволюционных моделей, рассчитанных в Институте астрономии РАН (ИНАСАН) [16] с помощью функционала отклонений. Для 57 комплексов звездообразования наблюдаемые фотометрические величины удалось выразить в терминах истории звездообразования (возраст и режим звездообразования).

Работа состоит из 10 разделов, включая Введение и Заключение. В разделе 2 представлена широкополосная $UBVRI$-ПЗС-фотометрия КЗО в NGC 628 с помощью 1.5-м телескопа Майданакской обсерватории (Узбекистан). В разделе 3 дается характеристика спектрофотометрическим данным, полученным в работе [6]. В разделе 4 проводится сопоставление наблюдаемых цветов с сеткой эволюционных моделей с помощью функционала отклонений. В разделе 5 получены оценки величин межзвездного поглощения света для КЗО в NGC 628. В разделе 6 изучено влияние эффекта "возраст–поглощение" на полученные результат. В разделе 7 исследован радиальный градиент поглощения света в NGC 628. В разделе 8 обсуждены оценки возрастов КЗО в NGC 628. В разделе 9 сравниваются теоретические потоки в лаймановском континууме с измерениями потоков в эмиссионных линиях водорода в комплексах звездообразования в NGC 628. Основные выводы сформулированы в разделе 10.

2. $UBVRI$-ФОТОМЕТРИЯ КЗО В NGC 628

В данном разделе представлены результаты многоцветной фотометрии 127 гигантских областей ионизованного водорода в спиральной галактике NGC 628. Измерены именно те области HII, для которых Белли и Рой [6] провели спектрофотометрию в эмиссионных линиях водорода, азота и кислорода и определили величины поглощения света и химический состав в этих объектах.

Наблюдения галактики в полосах U, B, V, R и I были проведены В.В. Бруевичем и О.В. Ежковой в октябре 2002 г. на 1.5-м телескопе АЗТ-22 (фокусное расстояние 12 м) Майданакской обсерватории Института астрономии Академии наук Республики Узбекистан с использованием ПЗС-камеры SIT-2000. В сочетании с широкополосными фильтрами U, B, V, R и I ПЗС-матрица реализует фотометрическую систему, близкую к стандартной $UBVRI$-системе Джонсона–Касинса. Данные о светофильтрах, применявшихся при наблюдениях, опубликованы в [17]. Охлаждение камеры осуществлялось жидким азотом. Размер матрицы — 2000×800 пикс., что обеспечивает поле зрения $8.9' \times 3.6'$ при масштабе изображения $0.267''$/пикс. $\times$ $0.267''$/пикс. на пиксель. Поскольку угловые размеры NGC 628 превышают поле зрения матрицы, отдельно снимались северная и южная части галактики. Журнал наблюдений приведен в табл. 1.

Дальнейшая обработка проводилась в ГАИШ МГУ по стандартной процедуре с использованием системы обработки изображений ESO–MIDAS. Основные этапы обработки включали: определение и исправление данных за смещение усилителя матрицы и "плоское поле"; устранение следов космических лучей; определение и вычитание фона неба для каждого изображения; совмещение изображений галактик с использованием опорных звезд; сложение изображений галактик, сделанных в одинаковых фильтрах; нормировка и "склейка" северной и южной частей галактики; фотометрическая калибровка, т.е. перевод данных из инструментальной фотометрической системы в стандартную систему Джонсона–Касинса и учет "воздушной массы" (с использованием полученных цветовых уравнений и данных апертурной фотометрии галактики). Для построения цветовых уравнений и учета атмосферной экстинкции использовались наблюдения стандартных звезд полей Ландольта [18] SA 92, SA 110, SA 111 и SA 113,

Таблица 1. Журнал наблюдений

Дата	Область галактики	Фильтр	Экспозиции, с	Воздушная масса	Качество изображений
11.09.02	S	U	4×300	1.09	$1.18''$
	N	U	4×300	1.11	1.17
	S	B	2×300	1.09	0.95
	N	B	2×300	1.14	0.97
	S	V	2×240	1.09	0.93
	N	V	2×240	1.16	0.95
	S	R	2×150	1.10	0.88
	N	R	2×150	1.10	0.85
	N	R	6×10	1.15	1.00
	S	I	2×120	1.10	0.78
	N	I	2×120	1.10	0.77
30.09.02	S	U	4×300	1.13	0.89
	N	U	4×300	1.25	1.01
	S	B	2×300	1.16	0.91
	N	B	2×300	1.30	1.12
	S	V	2×240	1.17	0.85
	N	V	2×240	1.33	0.97
	S	R	2×150	1.11	0.77
	N	R	2×150	1.20	0.69
	S	I	2×120	1.12	0.74
	N	I	2×120	1.21	0.64

полученные в те же ночи в фильтрах U, B, V, R и I в диапазоне значений воздушной массы $M(z) \equiv \sec z = 1.28 - 1.57$. Были получены данные $UBVRI$-фотометрии для 17 звезд, причем для 13 звезд были измерены потоки при разных значениях $M(z)$. Полученная инструментальная $ubvri$-система оказалась близка к стандартной фотометрической $UBVRI$-системе Джонсона–Касинса с точностью лучше 0.04^m в полосах B, V, R и I и 0.11^m в полосе U [19]. Дополнительно для галактики было проведено сравнение полученных данных с результатами апертурной фотометрии (по данным электронного каталога HyperLEDA). Точность фотометрической привязки и ошибка "нуль-пункта" находятся в пределах погрешностей полученных цветовых уравнений.

Масштаб изображений с учетом принятого расстояния до NGC 628 7.2 Мпк составил 34.9 пк/сек. дуги (9.31 пк/пикс.).

Было проведено отождествление КЗО с областями HII из работ [3, 6]. Отметим, что наша координатная сетка совпадает с координатной сеткой Кенникатта и Ходжа [3] и имеет систематическое смещение относительно координатной сетки Белли и Роя [6] (рис. 1). Всего было отождествлено 127 КЗО из 132, исследованных в [6]. Три КЗО (1, 2 и 96 по [6]) оказались вне поля зрения полученных нами изображений. Два КЗО (23 и 76) пропущены в [6]. Наблюдаемые показатели цвета, размеры и расположение КЗО приведены в табл. 2 (из-за большого объема полностью табл. 2 представлена только в электронной форме — см. сайт http://lnfm1.sai.msu.ru/gusev/n628t3.dat). Белли и Рой [6] не различали в своей работе одиночные КЗО с характерными размерами порядка 70 пк и сложные многокомпонентные КЗО с характерными размерами порядка 200 пк. Мы разделили сложные КЗО на составные части — комплексы со звездообразным профилем яркости. Такие комплексы обозначены в первой колонке табл. 2 дополнительными буквами "а", "б", "в", "г" и т.д. Сразу отметим, что сопоставление

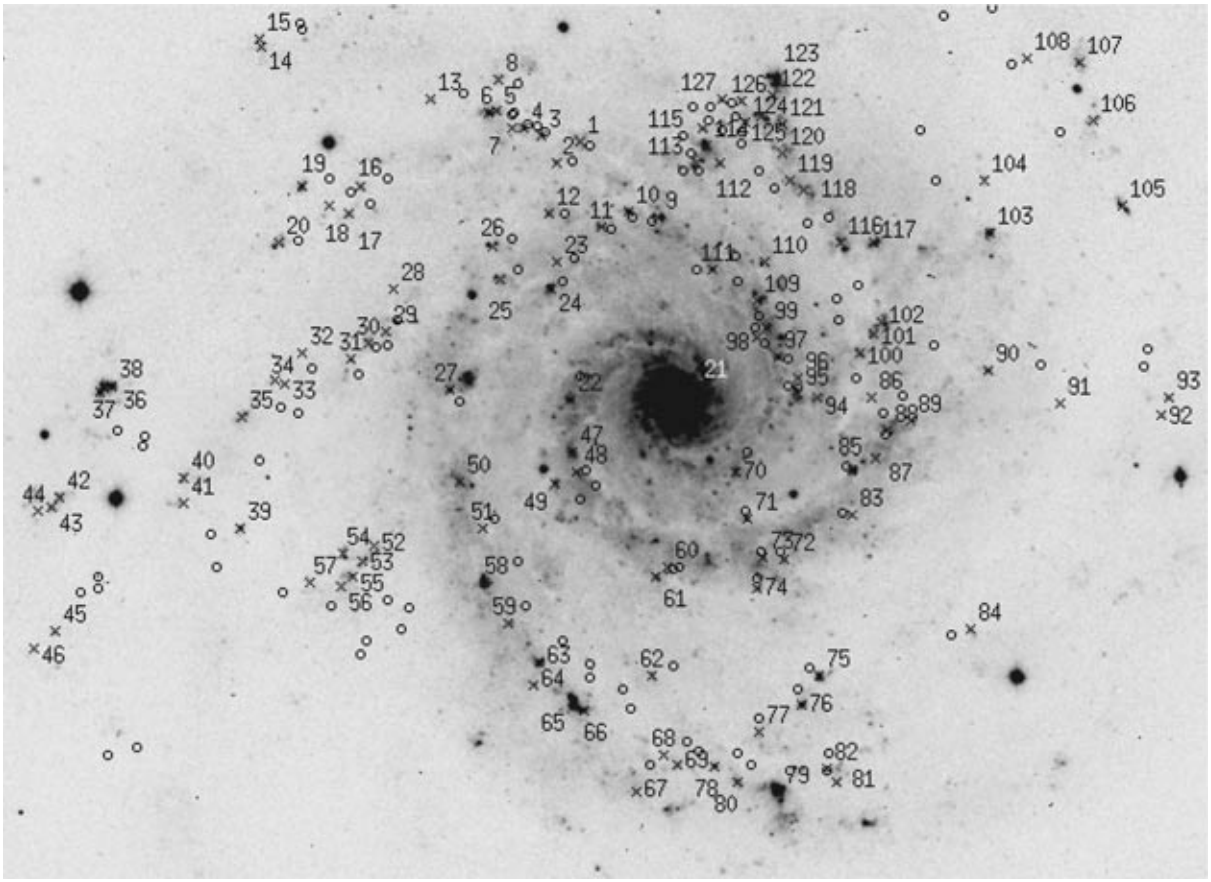

Рис. 1. Изображение NGC 628 в полосе B и положение КЗО в галактике согласно координатам Беллея и Роя [6] (кружки) и по нашим данным (крестики). Отмечены порядковые номера КЗО по табл. 2. Размер изображения $8.26' \times 6.00'$. Север — вверху, восток — слева.

с эволюционными моделями проводилось только для 127 объектов, изученных в работе [6]; при этом многокомпонентные объекты, отмеченные Белли и Роем [6] как один объект, рассматривались нами как единый комплекс звездообразования. При дальнейшем анализе речь будет идти только об этих объектах, не помеченных дополнительным индексом в первой колонке табл. 2. Морфологические особенности отдельных КЗО указаны в примечаниях к табл. 2.

В последовательных столбцах табл. 2 в первых строчках указаны: порядковый номер КЗО (первая колонка), номер КЗО по [6] (вторая колонка), номер КЗО по списку Кенникатта и Ходжа [3] (третья колонка), координаты в сек. дуги от центра галактики (четвертая колонка), депроецированное расстояние до центра галактики в кпк (пятая колонка), характерный диаметр КЗО в пк (шестая колонка), примечания (седьмая колонка). Для расчета депроецированного расстояния от центра NGC 628 были использованы значения позиционного угла большой оси PA $= 25°$ и наклона диска $i = 7°$ [11]. За характерный размер d КЗО принималось геометрическое среднее значений большой и малой оси КЗО: $d = \sqrt{d_{\max} \times d_{\min}}$. Значения $d_{\max}$ и $d_{\min}$ измерялись по радиальным профилям в полосе V на уровне половинной яркости (FWHM). Точность определения значений d — порядка 20 пк. В примечаниях указаны следующие особенности КЗО: дв. — двойной, тр. — тройной, кольц. — кольцеобразный, диф. — диффузный, отд. — отдельный, чОЗО — ярчайшая часть (керн) в обширной зоне (области) звездообразования. Римскими цифрами I–X отмечены 10 зон звездообразования, которые были разделены в [6] на отдельные КЗО. Таким образом, сохраняя нумерацию КЗО, принятую в [6], мы разделили объекты по уровню иерархии на два типа: комплексные с характерными размерами порядка 200 пк (например, I, 9) и одиночные с характерными размерами порядка 70 пк (например, 1а–1г, 2, 3).

Во вторых строчках в столбцах табл. 2 приведены фотометрические характеристики КЗО: видимая звездная величина m_B (второй столбец) и показатели цвета $U - B$, $B - V$, $V - R$ и $V - I$ (с

Таблица 2. Параметры КЗО

№	№ по [6] $m(B)$	№ по [3] $U-B$	X, Y, сек.дуги $B-V$	r, кпк $V-R$	d, пк $V-I$	Примечания*
1	3	121+122	39.0E, 106.9N	3.97	230	
	18.89 ± 0.01	-0.35 ± 0.02	0.18 ± 0.02	0.36 ± 0.02	0.35 ± 0.02	
1а			40.3E, 108.8N	4.05	65	
	20.81 ± 0.02	-0.61 ± 0.02	0.02 ± 0.04	0.26 ± 0.04	-0.10 ± 0.06	
1б			38.5E, 106.9N	3.97	105	дв.
	20.50 ± 0.02	-0.52 ± 0.02	0.10 ± 0.03	0.33 ± 0.03	0.24 ± 0.04	
1в			37.4E, 104.2N	3.87	70	
	21.07 ± 0.02	-0.20 ± 0.03	0.36 ± 0.03	0.30 ± 0.03	0.44 ± 0.03	
1г			36.6E, 110.4N	4.06	70	
	21.44 ± 0.03	-0.25 ± 0.04	0.36 ± 0.04	0.21 ± 0.05	0.35 ± 0.05	
2	4	126+127	48.6E, 98.4N	3.83	50	
	20.56 ± 0.01	-0.88 ± 0.02	-0.02 ± 0.02	0.46 ± 0.02	-0.11 ± 0.05	
3	5	125	54.5E, 109.0N	4.25	120	тр., кольц.
	20.81 ± 0.03	-0.34 ± 0.04	0.24 ± 0.05	0.15 ± 0.05	0.17 ± 0.06	
4	6	129	61.9E, 112.2N	4.48	80	чОЗО
	20.12 ± 0.01	-0.92 ± 0.01	0.16 ± 0.02	0.78 ± 0.02	0.22 ± 0.03	
5	7	133+133а	72.9E, 119.7N	4.90	50	I
	20.19 ± 0.01	-0.70 ± 0.01	0.08 ± 0.02	0.44 ± 0.02	0.14 ± 0.03	
6	8	134+135	76.1E, 119.2N	4.94	50	I
	19.05 ± 0.01	-0.52 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.20 ± 0.01	

* Расшифровку применяемых в данной колонке обозначений см. в тексте.

третьего по шестой столбцы) с ошибками измерений. Все данные не исправлялись за поглощение в Галактике (см. ниже). Все измерения проводились в круглых апертурах, причем излучение окружающей подложки галактики вычиталось из излучения, приходящего из области, занимаемой КЗО. При измерении m_B брался размер апертуры, соответствующий сумме величин $d_{\max}$ и качества изображений (которое принималось $1''$ в B). Для измерений показателей цвета использовался размер апертуры, равный $d_{\max}$. Размер апертуры при измерении светимостей КЗО брался с тем расчетом, чтобы в апертуру попадал полный поток излучения от комплекса. Для КЗО в плотных областях звездообразования измеренные величины m_B являются реально нижним пределом светимости. При измерениях показателей цвета брался меньший размер апертуры, поскольку нас интересует спектральное распределение излучения из наиболее яркой и активной части КЗО. Увеличение апертуры приводит как к увеличению ошибок измерений показателей цвета, так и к попаданию в апертуру излучения более старых звезд. Ошибки фотометрических измерений, приведенные в табл. 2, являются ошибками апертурной фотометии. Погрешности фотометрической калибровки NGC 628, описанные выше, сюда не включены.

3. СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ КЗО В NGC 628

Спектрофотометрические наблюдения в линиях водорода, азота и кислорода 130 гигантских областей HII в спиральной галактике NGC 628 были представлены в работе Белли и Роя [6]. На основе этих наблюдений авторами [6] определен ряд физических параметров, в том числе интересующие нас величины межзвездного поглощения света в бальмеровских линиях водорода и оценки металличности в этих объектах. На основе оценок

металличности в 130 объектах, распределенных по всему оптическому диску галактики, авторами работы [6] показан радиальный градиент химического состава в диске галактики.

Используя эмпирические калибровки работ [20, 21], мы вычислили величины химического состава Z в 127 областях HII на основе измеренных в работе [6] относительных интенсивностей линий кислорода и азота. Сравнение данных, приведенных в работе [6], с результатами других авторов выявило следующие отличия.

Во-первых, размеры областей HII получены в работе Белли и Роя [6] на основе измерений изображений объектов в эмиссионной линии Hα. Изображения в линии Hα получены с помощью узкого интерференционного фильтра $\Delta\lambda = 11$ Å, поэтому они включают в себя слабые внешние части КЗО. Измеренные таким образом размеры областей HII в работе [6] систематически и заметно превышают размеры скоплений, измеренных в фотометрической системе Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) [1], где использовались более широкие фильтры с полосой пропускания 100 Å.

Во-вторых, сопоставление приведенных в [6] величин эквивалентной ширины $W_{\mathrm{H}\beta}$ (в Å) с потоками в линии Heβ [6, табл. 6, 8] приводит к неожиданному результату: яркости всех 127 объектов, вычисленных по данным работы [6], одинаковы и соответствуют 24^m, что трудно представить. Наши измерения яркости m_B в границах объектов, приведенных в работе [6], лежат в интервале от 16^m до 23^m со средним значением 19.5^m. При дальнейшем анализе нам пришлось отказаться от использования величин эквивалентной ширины $W_{\mathrm{H}\beta}$, полученных в [6].

В-третьих, сравнение величин потоков в линии Hβ, приведенных в работе [6], с потоками в линии Hα из работы [6], показало, что отношение линий Hα/Hβ систематически и заметно выше тех отношений, которые были использованы в работе [6] для оценки величины поглощения света в КЗО в NGC 628. Тем самым оценки величин межзвездного поглощения, приведенных в [6], могут оказаться систематически заниженными. Сами авторы [6] не исключали систематические завышения или занижение потоков в линиях водорода, что должно приводить к заниженным или завышенным оценкам поглощения. Подробнее к вопросу о поглощении в исследуемых объектах мы вернемся ниже в разделе 5 данной работы.

4. СОПОСТАВЛЕНИЕ НАБЛЮДАЕМЫХ ЦВЕТОВ С СЕТКОЙ ЭВОЛЮЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Сопоставим измеренные в разделе 2 показатели цвета для 127 КЗО с сеткой эволюционных моделей ИНАСАН [16]. Модельная сетка охватывает значительное пространство моделей и состоит из 648 эволюционных последовательностей с различными НФМ и режимами звездообразования. Интервал изменения параметров НФМ составляет по верхнему пределу масс от 30 до 120 $M_\odot$ (с шагом 30 $M_\odot$), по наклону от $\alpha = -0.35$ до $\alpha = -4.35$ (шаг $h_\alpha = 0.05$). При $\alpha = -2.35$ имеем солпитеровскую НФМ [22]. Рассмотрены два режима звездообразования: режим взрывного, мгновенного звездообразования (Instantaneous Burst — модели IB) и режим продолженного во времени звездообразования (Extended Burst — модели EB). Диапазон изменения возрастов для моделей IB составляет от 1 до 20 млн. лет, для моделей EB — от 1 до 100 млн. лет при временно́м интервале между двумя последовательными моделями 0.1 dex (в годах). Тем самым модельная сетка состоит из 13284 узлов (5508 моделей IB, 7776 моделей EB). В данной работе мы продолжаем использовать сетку эволюционных моделей ИНАСАН [16], так как имеющаяся база наблюдательных данных — три показателя цвета при неизвестной величине поглощения света — не позволяют выявить тонкие различия [14, рис. 1] с более поздними эволюционными моделями [23, 24].

На рис. 2 проводится сопоставление на двуцветной диаграмме наблюдаемых цветов КЗО в NGC 628 и сетки эволюционных моделей НИНАСАН [16]. Из рис. 2а можно видеть, что наблюдаемые цвета КЗО сдвинуты вправо-вниз относительно области, занимаемой сеткой моделей, т.е. они имеют более “красные” показатели цвета, чем те, что допускают теоретические модели. Как уже отмечалось в разделе 3, оценки величин поглощения света, полученные в работе [6], представляются нам систематически заниженными. Положения КЗО, цвета которых исправлены согласно оценке работы [6], также не дотягивают до области, покрываемой сеткой эволюционных моделей (рис. 2б).

В работе [14] нами исследована точность определения величины межзвездного поглощения с помощью функционала отклонений, характеризующего отклонение наблюдаемых показателей КЗО от синтетических цветов эволюционных моделей. Как показал численный эксперимент, эволюционная сетка моделей ИНАСАН [16] позволяет с высокой достоверностью определить или уточнить величину межзвездного поглощения света в комплексе звездообразования на основе наблюдаемых цветов, претерпевших это поглощение. Химический

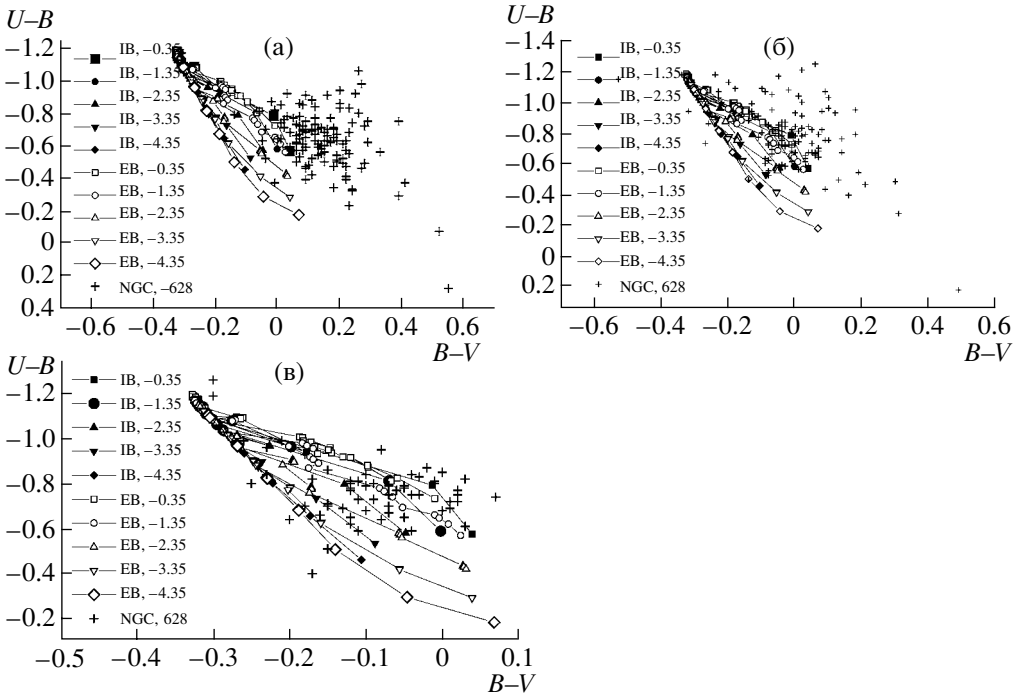

Рис. 2. Положение объектов относительно сетки эволюционных моделей: (а) — наблюдаемые цвета не исправлены за межзвездное поглощение; (б) — цвета исправлены за межзвездное поглощение согласно оценкам работы [6]; (в) — цвета исправлены за межзвездное поглощение, полученное в данной работе.

состав звездного комплекса должен быть известен из независимых спектральных наблюдений. Стандартная ошибка для величин поглощения при выбранном шаге сетки по наклону НФМ ($h_\alpha = 0.05$) и по возрасту ($h_{\lg t} = 0.1$) составляет $\sigma_{A_V} = 0.12^m$. Точность определения поглощения ухудшается с ростом случайных ошибок, вносимых в исходные цвета. При величине случайных ошибок цветов, соответствующих точности наблюдаемых цветов, стандартная ошибка составляет $\sigma_{A_V} = 0.22^m$.

Нами были получены оценки величин поглощения света путем сопоставления наблюдаемых трех показателей цвета $U-B$, $B-V$, $V-R$ для каждого объекта с сеткой эволюционных моделей ИНАСАН [16]. Так как в красной области спектра показатели цвета $V-R$ измерены в фотометрической системе Касинса $(V-R)_c$, а модельные цвета $V-R$ вычислены в системе Джонсона $(V-R)_j$, то нами были использованы формулы трансформации цветов из работы [25]. По той же причине, а именно, что сетка эволюционных моделей прокалибрована в фотометрической системе Джонсона [26], мы не использовали показатели цвета $(R-I)_c$, измеренные нами в фотометрической системе Касинса (см. раздел 2) для всех областей HII в NGC 628. Как это описано в работе [14], величины A_V, соответствующие наиболее глубокому минимуму функционала отклонений, с высоким коэффициентом ($r = 98\%$) коррелируют с исходными величинами $A_V(input)$, "за которые портились" цвета пробных моделей. Величина поглощения A_V, соответствующая этому минимуму, принималась за искомую величину межзвездного поглощения до данного объекта. На рис. 2в показано положение объектов относительно области, занимаемой эволюционными моделями, после корректировки наблюдаемых цветов за полученные нами оценки A_V. Как видно из рис. 2в, на этот раз объекты не выходят за область, покрываемую эволюционными моделями, на величину больше, чем ожидаемая точность цветов. Ожидаемая (формальная) стандартная точность для самой величины поглощения составляет $\sigma_{A_V} = 0.22^m$.

Из диаграмм на рис. 2 можно видеть, что после исправления за межзвездное поглощение исследуемые объекты располагаются в области, покрываемой сеткой эволюционных моделей. Из 124 объектов только примерно для половины (57 КЗО) удается найти величину межзвездного поглощения A_V. По-видимому, для остальных 68 объектов реальные ошибки наблюдаемых цветов заметно превышают формально вычисленные в табл. 2 ошибки.

5. ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА ДЛЯ КЗО В NGC 628

На рис. 3а показана диаграмма распределения полученных оценок A_V звезд для 57 КЗО в NGC 628. Среднее значение $\overline{A_V} = 0.80^m \pm 0.50^m$.

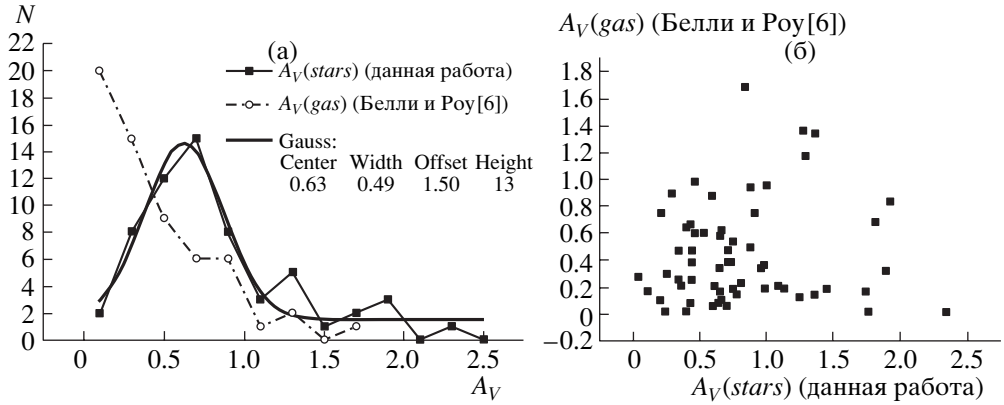

Рис. 3. (а) — Распределение величин межзвездного поглощения в 57 КЗО в NGC 628, штрих-пунктиром показано распределение оценок Белли и Роя [6]. (б) — Сопоставление оценок A_V, полученных в данной работе (ось X) с измерениями Белли и Роя [6] (ось Y).

Это распределение хорошо описывается законом Гаусса, показанном на диаграмме сплошной линией.

Штрих-пунктир на рис. 3а показывает распределение оценок величин поглощения для этих же объектов, полученных по измерениям бальмеровского декремента в работе Белли и Роя [6]. Несмотря на то, что эти измерения проведены для величин поглощения излучения в эмиссионной линии газа, которое должно быть систематически выше величин поглощения света звезд [27–30], оценки Белли и Роя [6] в среднем на 0.35^m ниже наших оценок A_V для света звезд. Распределение оценок Белли и Роя [6] описывается спадающей экспонентой $N = 20.6 \cdot \exp\left(-\frac{A_V - 0.1}{0.5}\right)$. При этом примерно половина объектов показывают поглощение ниже поглощения света в Галактике в направлении NGC 628 $A_V^{Gal} \approx 0.15^m$.

Как было отмечено Белли и Роем [6], калибровочные соотношения, использованные ими при вычислении величин потоков в линиях Hα и Hβ, могут давать систематически завышенные или заниженные оценки потоков. Если предположить, что потоки в Hα оказались систематически занижены, а потоки в Hβ были несколько завышены, то величины межзвездного поглощения, вычисленные из бальмеровского декремента, будут систематически занижены. Точности эмпирических калибровочных соотношений, использованных в работе [6], предполагают, что в самом неблагоприятном случае оценки межзвездного поглощения по бальмеровскому декременту могут быть занижены или завышены на величину $\approx 1.5^m$. Наши теоретические оценки поглощения света звезд оказались в среднем на 0.35^m выше бальмеровских величин межзвездного поглощения для газа, измеренных в работе [6]. Учитывая тот факт, что поглощение в линиях излучения газа всегда в 1.3–1.8 [27–30], выше поглощения света в звездном континууме, оценки межзвездного поглощения излучения звезд в КЗО, полученные в работе [6], будут в среднем на 0.5^m ниже теоретических величин, полученных в данной работе. Такая разница вполне укладывается в систематические смещения, обусловленные эффектами калибровки, которая использована в работе [6] и которая является возможным указанием на систематически завышенные потоки в линии Hβ и заниженные потоки в линии Hα.

Таким образом, (а) систематический сдвиг положений КЗО, цвета которых исправлены за межзвездное поглощение согласно оценкам Белли и Роя [6] (рис. 2б), на двуцветной диаграмме относительно области, занимаемой сеткой теоретических моделей, (б) превышение оценок поглощения для света звезд над оценками, полученными по эмиссионной линии газа в работе [6], и наконец, (в) превышение величины Галактического поглощения над данными измерений в работе [6] примерно для половины объектов приводят нас к заключению, что указанные в [6] величины поглощения для КЗО систематически занижены и не могут быть использованы для корректировки цветов КЗО.

Систематически заниженные оценки межзвездного поглощения в среднем на 0.5^m практически не влияют на значения отношений интенсивностей линий OIII/Hβ и NII/Hα, из которых нами оценивался химический состав КЗО. Относительные интенсивности завышаются менее чем на 1%, в силу того, что коэффициенты поглощения для близко расположенных линий отличаются мало. Гораздо больший эффект оказывают калибровочные соотношения для потоков в линиях OIII и NII, которые могут систематически занижать или завышать химический состав на величину $\Delta_Z = \pm 0.002$. Для величин химического состава $Z > 0.020$ интегральные цвета звездных скоплений практически не чувствуют такую разницу в химическом составе.

А для диапазона $0.010 < Z < 0.017$, к которому относится большинство КЗО в NGC 628, такие систематические смещения величины химического состава дают смещение для показателя цвета, например $U - B$, равное 0.015^m, что находится в пределах наблюдательной точности. Однако, так как эффект систематический, то возрасты могут быть смещены на величину $\Delta_{\lg t} = \pm 0.04$, что соответствует относительной точности оценок возраста $\approx$10%. Систематические смещения оценок межзвездного поглощения при таком смещении химического состава не превышают $\Delta_{A_V} < 0.005^m$. Напомним, что указанные неточности могут возникнуть в самых неблагоприятных случаях, когда потоки сравниваемых линий смещены в противоположные стороны на максимально возможные величины, даваемые калибровочными формулами работы [6].

В заключение данного раздела можно сделать вывод, что точность калибровки потоков в работе Белли и Роя [6] не позволила им получить достоверные оценки межзвездного поглощения света в КЗО в NGC 628, но позволила получить удовлетворительные оценки химического состава этих объектов.

6. НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ “ВОЗРАСТ–ПОГЛОЩЕНИЕ”

При сопоставлении наблюдаемых цветов, в условиях, когда не известна из независимых наблюдений величина межзвездного поглощения A_V, с эволюционными моделями звездных скоплений может проявиться так называемое вырождение “возраст–поглощение”: величина межзвездного поглощения может недооцениваться за счет завышения оценок возрастов скоплений и наоборот. В обоих этих случаях на диаграмме “возраст–поглощение” должна проявиться корреляционная зависимость между этими параметрами. Степень неопределенности решения тем выше, чем меньше используется наблюдаемых величин и чем больше модельных параметров необходимо определить. Неопределенность решения возрастает также с разреженностью сетки эволюционных моделей. На практике, когда использовались только одна–три эволюционные последовательности и два показателя цвета, неопределенность “возраст–поглощение” всегда имела место. Как показал наш численный эксперимент, величины поглощения и возрастов восстанавливаются с удовлетворительной точностью, а эффект вырождения “возраст–поглощение” отсутствует или незначителен. Таким образом, можно ожидать, что степень неопределенности “возраст–поглощение” должна быть низкой. Чтобы проверить влияние неопределенности “возраст–поглощение” на полученные результаты, была построена диаграмма “возраст t–поглощение A_V” для наших 57 КЗО (рис. 4).

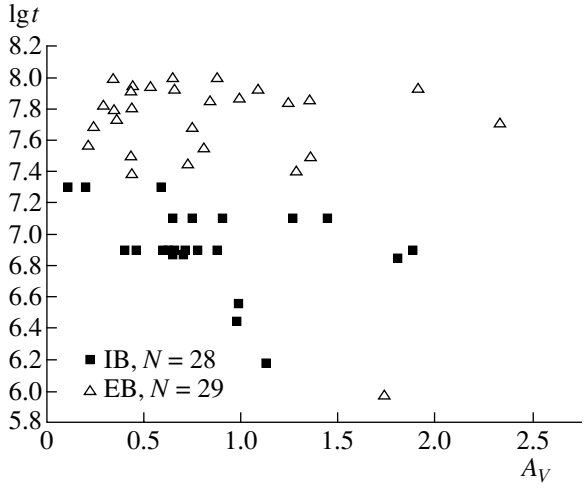

Рис. 4. Диаграмма “возраст–поглощение” для 57 КЗО в NGC 628.

Рис. 4 показывает отсутствие корреляции между возрастом и поглощением для всей выборки в целом. Для выборки объектов со взрывным режимом звездообразования (IB, квадратики на графике) есть слабая (30%) корреляция, которая может указывать на слабое вырождение “возраст–поглощение” для этих объектов. Выборка объектов с непрерывным звездообразованием (EB, треугольники на графике) показывают корреляцию, близкую к нулю. Таким образом, метод определения поглощения и возрастов по трем цветам и детальной сетки эволюционных моделей, охватывающей весь диапазон изменения параметров НФМ и возрастов, позволяет снять вырождение “возраст–поглощение”, которое проявляется при сопоставлении двух цветов с одной или всего несколькими эволюционными последовательностями.

Неопределенность “возраст–металличность” в нашем подходе исключается за счет того, что для каждого объекта вычисляется своя сетка эволюционных моделей, соответствующая химическому составу, определенному из независимых спектральных наблюдений.

7. РАДИАЛЬНЫЙ ГРАДИЕНТ ВЕЛИЧИНЫ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В NGC 628

Радиальный градиент химического состава гигантских областей HII – комплексов звездообразования обнаружен во многих спиральных галактиках (см. работу Датила и Роя [31] и ссылки в ней), в том числе и в исследуемой здесь галактике NGC 628 [6]. Естественный вывод, который вытекает из обнаружения радиального градиента

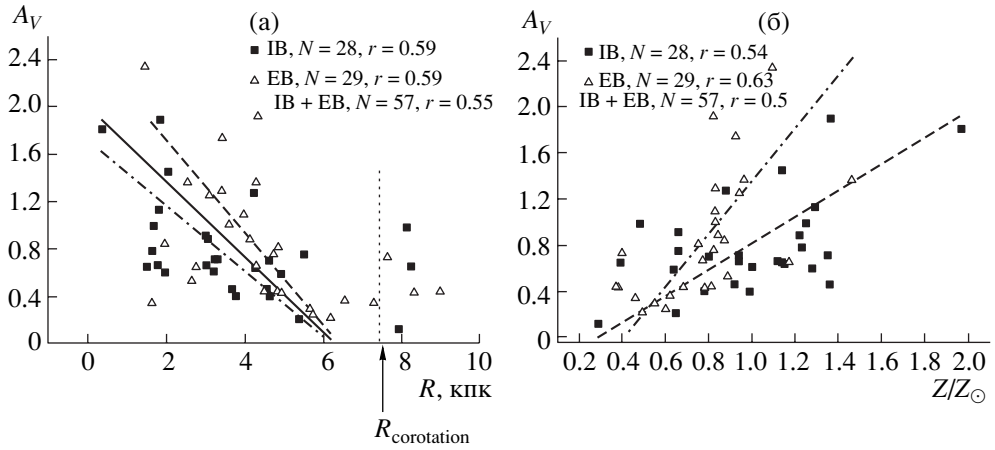

Рис. 5. (а) — Изменение величины межзвездного поглощения в КЗО в NGC 628 с расстоянием от центра галактики. (б) — Диаграмма "поглощение—металличность" для КЗО в NGC 628.

химического состава, состоит в том, что в более химически обогащенных КЗО во внутренней области галактического диска должно проявляться более высокое межзвездное поглощение света. Поэтому представляет интерес поиск радиальной зависимости свойств поглощающей свет материи. Основываясь на своих оценках величин межзвездного поглощения света, авторы работы [6] искали, но не обнаружили никакой радиальной зависимости. Попытаемся проследить поведение наших, полученных из сравнения наблюдаемых цветов с эволюционными моделями оценок в зависимости от расстояния до центра галактики (рис. 5а).

На рис. 5а сплошной линией показан средний наклон радиального градиента величины межзвездного поглощения для обоих типов КЗО (IB+EB). Коэффициент корреляциия для 54 КЗО, расположенных в пределах коротационного радиуса (пунктирная линия), составляет $r = 0.55$. Для всей выборки, включая КЗО за коротационным радиусом коэффициент корреляции составляет $r = 0.50$. Радиус коротации был определен нами раннее из фурье-анализа поля лучевых скоростей галактики NGC 628 [11]. Если рассматривать раздельно КЗО, со взрывным (IB) и продолженным во времени (EB) звездообразованием, то можно заметить на рис. 5а, что взрывные IB-КЗО имеют более пологий градиент (штрих-пунктирная линия) по сравнению с EB-КЗО (штриховая линия). Так как в работе [6] был выявлен радиальный градиент химического состава КЗО, то естественно ожидать корреляцию "поглощение A_V—химический состав Z". Из приведенной на рис. 5б диаграммы "поглощение—химический состав" видно, что EB-КЗО характеризуются наклоном, близким к 2 (штрих-пунктирная линия), а IB-КЗО — наклоном, близким к единице (штриховая линия).

8. ОЦЕНКИ ВОЗРАСТОВ КЗО В NGC 628

Как было показано в нашем численном эксперименте [14], при известных из наблюдений трех показателях цвета $U-B$, $B-V$, $V-R$ и металличности КЗО получаются удовлетворительные оценки возраста со стандартной ошибкой в логарифмической шкале $\sigma_{\lg t} = 0.25$. Сопоставим полученные возрасты КЗО с другими параметрами КЗО, определенными из независимых наблюдений: расстоянием от центра галактики R и химическим составом Z из [6].

На рис. 6а показана диаграмма "возраст t — расстояние от центра R" для двух типов КЗО раздельно: квадратики — взрывные IB-КЗО, треугольники — EB-КЗО с продолженным во времени звездообразованием). Для всей совокупности IB- и EB-комплексов никакой связи между возрастом и удалением от центра галактики не наблюдается. Возрасты t взрывных IB-КЗО также не показывают корреляцию с расстоянием R. Возрасты комплексов с продолженным во времени звездообразованием EB-КЗО проявляют, хотя и слабую ($r = 0.50$), отрицательную корреляцию с расстоянием от центра галактики. Если учесть, что для этих объектов эффект вырождения "возраст—поглощение" не проявился (рис. 4) и то, что знак радиального градиента для самой величины поглощения отрицательный (рис. 5а), то можно полагать, что имеет место уменьшение среднего возраста EB-КЗО с удалением от центра галактики до области коротационного вращения от 80 до 40 млн. лет с дисперсией ±20 млн. лет. Отмеченный здесь тренд возрастов EB-КЗО может быть связан с двумя физическими факторами. Во-первых, с понижением плотности газа с увеличением расстояния от центра галактики. В КЗО с изначально низкой плотностью быстрее происходит рассеивание газа и процесс

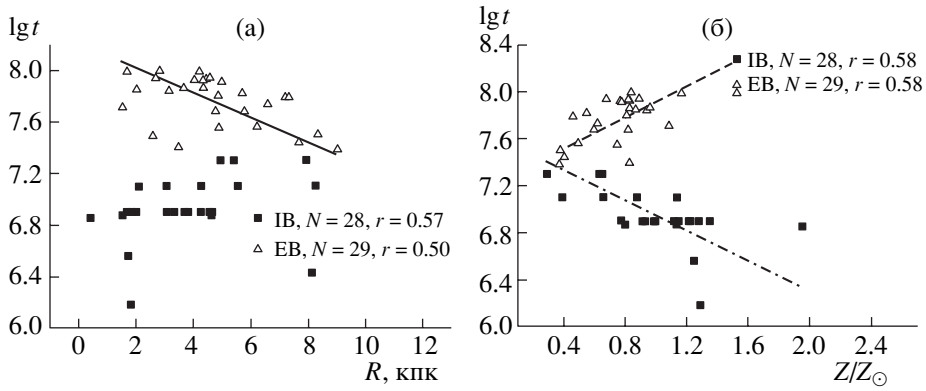

Рис. 6. (а) — Диаграмма "возраст t—расстояние R" от центра галактики для КЗО в NGC 628. (б) — Диаграмма "возраст t—химический состав Z" для КЗО в NGC 628.

звездообразования прекращается. Во-вторых, на больши́х расстояниях от центра галактики дифференциальное вращение более сильное, и, если КЗО не является гравитационно-связанным, то он распадается. Вблизи коротации время распада порядка 20—30 млн. лет, а ближе к центру, в зоне твердотельного вращения оно может достигать сотен и более млн. лет.

Из диаграммы "возраст—химический состав" можно видеть, что комплексы с разным режимом звездообразования проявляют противоположные тенденции. Взрывные IB-КЗО показывают обратную зависимость между химическим составом и возрастом: недавние вспышки имеют более богатый химический состав по сравнению с химическим составом старых вспышек (штрих-пунктирная линия на рис. 6б). Переходя к комплексам с продолженным во времени звездообразованием EB-КЗО (треугольники), можно обнаружить прямую зависимость между возрастом и химическим составом. Сходный результат был получен нами раннее для выборки из 100 комплексов звездообразования в 20 спиральных и неправильных галактиках [13]. Этот результат совпадает также с выводом работы [32], где показано, что возраст звездных скоплений в БМО, определенный в рамках модели взрывного звездообразования (IB), находится в обратной зависимости от обилия тяжелых элементов Z. Однако в случае выборки КЗО в NGC 628 надо помнить, что величина поглощения имеет положительную (прямую) корреляцию с химическим составом (рис. 5б). Поэтому отрицательная корреляция возрастов взрывных IB-КЗО (квадратики) с химическим составом (штрих-пунктирная линия) может частично отражать неопределенность "возраст—поглощение" для этого типа объектов (рис. 4). Эффект неопределенности "возраст—металличность" здесь исключается, так как оценки химического состава получены из независимых спектральных наблюдений КЗО [6].

Интересно отметить следующую особенность на рис. 6а: вблизи коротационного резонанса ($R \approx$ ≈ 7.5 кпк [11]) оба типа КЗО показывают приблизительно одинаковый возраст 20—30 млн. лет, соответствующий возрасту самых старых IB-КЗО и возрасту относительно молодых EB-КЗО.

9. ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛАЙМАНОВСКОМ КОНТИНУУМЕ КЗО В NGC 628

Как показало численное моделирование, эволюционная сетка моделей позволяет определить отношение светимости в лаймановском континууме к светимости в B-полосе $\lg(N_{\rm Lc}/L_B)$ со стандартной точностью в логарифмической шкале $\sigma_{\lg(N_{\rm Lc}/L_B)} = 0.22$.

Сравним полученные теоретические оценки с измерениями потоков в линии Hβ из работы Белли и Роя [6] и с измерениями потоков в линии Hα из работы Кенникатта и Ходжа [3]. Идентификация с объектами из списка Кенникатта и Ходжа [3] приведена в колонке 3 табл. 2. Так как нами измерены звездные величины комплексов звездообразования в полосе B (табл. 2), то наблюдаемые потоки $F_{{\rm H}\beta}$ (эрг/см^{2}с) из работы [6] и $F_{{\rm H}\alpha}$ (эрг/см^{2}с) из работы [3] легко пересчитать в терминах "отношение светимости в лаймановском континууме к светимости в полосе B" $\lg(N_{\rm Lc}/L_B)$. При вычислении отношений светимостей мы использовали наши оценки звездных величин КЗО, исправленные за поглощение. Потоки в линии Hβ из работы [6] и потоки в линии Hα из работы [3] также были скорректированы за величины межзвездного поглощения, полученные в данной работе. Мы не воспользовались оценками эквивалентной ширины $W_{{\rm H}\beta}$, приведенными Белли и Роем [6], так как в разделе 3 настоящей работы было показано, что они дают величину яркости $m_B \approx 24^m$, одинаковую

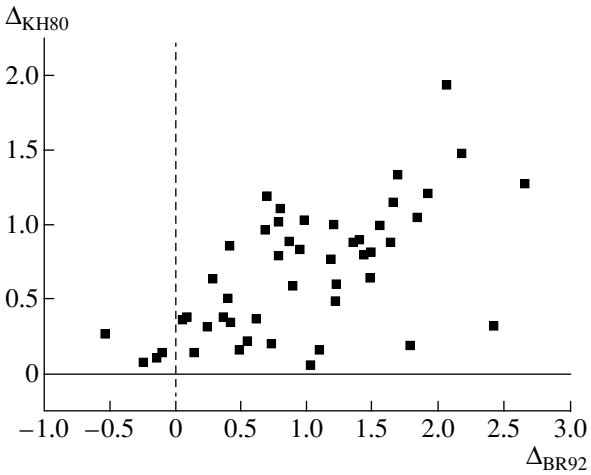

Рис. 7. Сравнение вычисленных потоков в лаймановском континууме с наблюдаемыми. Подробнее см. текст.

для всех объектов. Так как наблюдаемые потоки в линиях водорода отражают только часть потока лаймановских квантов, излученных звездами скопления [15, 33, 34], то измеренные в работах [3, 6] потоки должны быть систематически ниже наших теоретических оценок, полученных в предположении, что все лаймановские кванты участвуют в ионизации водорода.

На рис. 7 сравниваются отклонения наших теоретических оценок от наблюдаемых величин по данным работы Кенникатта и Ходжа [3] $\Delta_{\rm KH80} = \lg\left(\frac{N_{\rm Lc}}{L_B}\right)_{\rm теор.} - \lg\left(\frac{N_{\rm Lc}}{L_B}\right)_{\rm KH80}$ (ось ординат) с отклонениями наших теоретических оценок от наблюдаемых величин по данным работы Белли и Роя [6] $\Delta_{\rm BR92} = \lg\left(\frac{N_{\rm Lc}}{L_B}\right)_{\rm теор.} - \lg\left(\frac{N_{\rm Lc}}{L_B}\right)_{\rm BR92}$ (ось абсцисс). Из рис. 7 видно, что эти величины коррелируют между собой ($r \approx 0.65$), что и следовало ожидать.Ожидаемое превышение теоретических оценок отношений $N_{\rm Lc}/L_B$ над наблюдаемыми выполняется для всех измерений Кенникатта и Ходжа [3] (все точки по оси ординат расположены выше нулевой сплошной линии) и не выполняется для 4 измерений Белли и Роя [6] (4 точки по оси абсцисс расположены левее нулевой штриховой линии).

Напомним, что калибровочные соотношения, использованные в работе [6] для вычисления потоков в эмиссионных линиях газа, могут давать эффект систематического занижения или завышения этих величин. Завышенные оценки потоков в линии Hβ, приведенные в работе [6], могут давать ошибочные превышения наблюдаемых отношений $N_{\rm Lc}/L_B$ над теоретическими, как это имеет место в случае четырех КЗО на рис. 7, расположенных слева от нулевой штриховой линии. Величины поглощения света, измеренные Белли и Роем [6] по бальмеровскому декременту, в среднем на 0.35 dex меньше наших оценок (раздел 5), полученных путем сравнения цветов КЗО с сеткой эволюционных моделей. Это также является указанием на возможное завышение потоков в линии Hβ, измеренных в [6].

10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение перечислим основные результаты и выводы работы.

1. Проведена многоцветная $UBVRI$-фотометрия 127 гигантских областей HII-комплексов звездообразования — в галактике NGC 628 с исследованным ранее химическим составом [6]. Дополнительно измерены цвета составных частей многокомпонентных гигантских КЗО. Всего измерены цвета для 229 объектов в NGC 628.

2. На основании сопоставления результатов многоцветной $UBVR$-фотометрии гигантских областей HII (КЗО) в галактике NGC 628 с сеткой эволюционных моделей ИНАСАН получены оценки величины межзвездного поглощения, потоков в лаймановском континууме и возрастов в 57 КЗО.

3. Выявлен отрицательный градиент по радиусу величины поглощения в КЗО и прямая корреляция величины поглощения с химическим составом КЗО, что соответствует ранее выявленному в [6] радиальному градиенту химического состава. В связи с этим представляет интерес заново провести спектральные наблюдения КЗО в этой галактике, чтобы сравнить предсказанные многоцветной фотометрией величины межзвездного поглощения с измерениями его по бальмеровскому декременту.

4. Подтверждены полученные ранее корреляции между возрастом и химическим составом КЗО. Эффект неопределенности “возраст—металличность” исключается, или он пренебрежимо мал, так как химический состав получен из независимых спектральных наблюдений.

Авторы благодарят А.Э. Пискунова (ИНАСАН) за обсуждение эволюционных моделей звездных скоплений. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 04-02-16518, 05-02-16454 и 06-02-16857). Один из авторов (Ф.Х. Сахибов) благодарит фирму Альди ГмбХ (ALDI Einkauf GmbH, Германия) за финансовую поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И. И. Проник, К. К. Чуваев, Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. **38**, 219 (1967).
2. G. Natali, F. Pedichini, and M. Righini, Astron. and Astrophys. **256**, 79 (1992).
3. R. C. Kennicutt and P. W. Hodge, Astrophys. J. **241**, 573 (1980).
4. G. S. Shostak and P. C. van der Kruit, Astron. and Astrophys. **132**, 20 (1984).
5. J. Kamphuis and F. Briggs, Astron. and Astrophys. **253**, 335 (1992).
6. J. Belley and J.-R. Roy, Astrophys. J. Suppl. Ser. **78**, 61 (1992).
7. A. Sandage and G. A. Tammann, Astrophys. J. **190**, 525 (1974).
8. G. Vaucoulers, A. Vaucouleurs, H. G. Corwin, *Second Reference Catalog of Bright Galaxies* (University of Texas, Austin, 1976).
9. E. Holmberg, Medd. Lund. Astron. Observ., Ser. II **136** (1958).
10. M. L. McCall, P. M. Rybski, and G. A. Shields, Astrophys. J. Suppl. Ser. **57**, 1 (1985).
11. Ф. Х. Сахибов, М. А. Смирнов, Астрон. журн. **81**, 1093 (2004).
12. F. Sakhibov and M. A. Smirnov, Astron. and Astrophys. **354**, 802 (2000).
13. Ф. Х. Сахибов, М. А. Смирнов, Астрон. журн. **78**, 3 (2001).
14. А. С. Гусев, В. И. Мякутин, Ф. Х. Сахибов, М. А. Смирнов. Астрон. журн. **84** (2007).
15. Ф. Х. Сахибов, М. А. Смирнов, Астрон. журн. **81**, 998 (2004).
16. А. Э. Пискунов, В. И. Мякутин, Астрон. журн. **73**, 520 (1996).
17. Б. П. Артамонов, Ю. Ю. Бадан, В. В. Бруевич, А. С. Гусев, Астрон. журн. **76**, 438 (1999).
18. A. U. Landolt, Astron. J. **104**, 340 (1992).
19. А. С. Гусев, Астрон. журн. **83**, 195 (2006).
20. Ф. Х. Сахибов, М. А. Смирнов, Астрон. журн. **67**, 472 (1990).
21. M. G. Edmunds and B. E. J. Pagel, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. **211**, 507 (1984).
22. E. E. Salpeter, Astrophys. J. **121**, 161 (1955).
23. Th. Lejeune and D. Schaerer, Astron. and Astrophys. **366**, 538 (2001).
24. L. Girardi, G. Bertelli, A. Bressan, *et al.*, Astron. and Astrophys. **391**, 195 (2002).
25. M. S. Bessell, Publ. Astron. Soc. Pac. **91**, 589 (1979).
26. H. L. Johnson, Ann. Rev. Astron. and Astrophys. **4**, 193 (1966).
27. J. Caplan and L. Deharveng, Astron. and Astrophys. **155**, 297 (1986).
28. Ф. Х. Сахибов, М. А. Смирнов, Астрон. журн. **72**, 318 (1995).
29. J. Maiz-Apellaniz, J. M. Mas-Hesse, C. Munoz-Tunon, and H. O. Castanede, Astron. and Astrophys. **329**, 409 (1998).
30. R. Cid Fernandes, A. Mateus, L. Sodre, Jr., *et al.*, Monthly Not. Roy. Astron. Soc. **358**, 363 (2005).
31. Y. Dutil and J.-R. Roy, Astrophys. J. **516**, 62 (1999).
32. L. Girardi, C. Chiosi, G. Bertelli, and A. Bressan, Astron. and Astrophys. **298**, 87 (1995).
33. C. G. Hoopes, S. T. Gottesman, and B. E. Greenwalt, Astron. J. **112**, 1429 (1996).
34. M. Rozas, A. Zurita, and J. E. Beckman, Astron. and Astrophys. **354**, 823 (2000).

A COMPARISON OF UBVR PHOTOMETRY OF GIANT HII REGIONS IN THE NGC 628 WITH A DETAILED GRID OF EVOLUTION MODELS OF STAR CLUSTERS

V. V. Brouevich, A. S. Gusev, O. V. Ezhkova, F. K. Sakhibov, and M. A. Smirnov

Photometry in UBVRI of giant HII regions (star formation complexes — SFCs) in the galaxy NGC 628 is presented. Observations have been performed on the Maidanak observatory (Uzbekistan) 1.5 m telescope with an angle resolution 1″. Observed colours are compared with a detailed grid of evolution models which involve instantaneous and extended star formation bursts, the whole range of IMF parameters and ages from 1 Myr up to 100 Myrs. For every object its own grid of evolution models is computed according to the chemical composition derived from independent observational data. It allows to estimate ages of SFCs, reddening and regimes of starformation. Reddening estimations are correlated with galactocentric distances of SFCs, in conformity with a chemical abundance radial gradient derived previously by Belley and Roy [6]. Ages of star formation complexes show a trend as a function of chemical composition.