

УДК 524.7-8

ВОЗРАСТ И МЕЖЗВЕЗДНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА В МОЛОДЫХ ОБЛАСТЯХ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В ГАЛАКТИКАХ NGC 1068, NGC 4449, NGC 4490, NGC 4631 И NGC 4656/57 НА ОСНОВании ИХ МНОГОЦВЕТНОЙ ФОТОМЕТРИИ

© 2008 г. А. С. Гусев¹, В. И. Мякутин²,
А. Э. Пискунов², Ф. Х. Сахибов^{3,4}, М. С. Храмцова⁵

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

²Институт астрономии Российской академии наук,
Москва, Россия

³Университет прикладных наук Гиссена–Фридберга, Фридберг, Германия

⁴Институт астрофизики АН Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

⁵Уральский государственный университет им. А.М. Горького, Екатеринбург, Россия

Поступила в редакцию 03.10.2007 г.; принята в печать 26.10.2007 г.

Проведено сопоставление результатов многоцветной $UBVR$ - и $H\alpha$ -фотометрии 169 молодых комплексов звездообразования в 5 галактиках с сеткой эволюционных моделей, рассчитанных для молодых звездных скоплений. Получены оценки возрастов и величин межзвездного поглощения для 102 комплексов звездообразования со стандартной точностью $\sigma_t = 0.30$ dex и $\sigma_{A_V} = 0.45^m$, соответственно. Точность определения возрастов и величин межзвездного поглощения проверена с помощью численных экспериментов.

PACS: 98.52.Nr, 98.62.Ai, 97.10.Bt

1. ВВЕДЕНИЕ

Эволюция галактик во многом зависит от того, как со временем изменялась в них интенсивность звездообразования, или, как говорят, от того, какова история звездообразования в галактике. Современный состав звездных населений, газо-пылевая компонента, распространенность химических элементов тем или иным образом зависят от предиссии звездообразования — машины по переводу диффузного вещества в звезды. В отличие от теории эволюции звезд, теория их образования еще не доведена до уровня, необходимого прикладным исследованиям, и поэтому для описания процесса рождения используются параметризующие подходы. Предполагается, что звездообразование может быть адекватно описано двумя функциями — начальной функцией масс (НФМ), характеризующей распределение вновь образующихся звезд по массам, и скоростью звездообразования (СЗО), связанной с интенсивностью процесса. Главной проблемой, стоящей перед исследователями на протяжении всего периода изучения эволюции галактик (и остающейся актуальной по сей день), является интерпретация результатов многоцветной

фотометрии и спектроскопии областей звездообразования в ближайших галактиках в терминах НФМ и СЗО. В своих прежних работах мы условились называть эту проблему “обратной задачей звездообразования”.

В 1994 г. на Генеральной ассамблее МАС нами [1] был предложен уникальный на тот момент подход, который заключается в следующем. Во-первых, при интерпретации наблюдений не ограничиваться одной или несколькими эволюционными моделями, а рассматривать совокупность моделей, которая охватывает весь диапазон параметров НФМ и СЗО. По мере роста вычислительных возможностей наша сетка моделей становилась все более детальной, и на данный момент она состоит из 13 284 узлов, в число которых входит 5508 моделей со взрывным режимом звездообразования (IV) и 7776 моделей с продолженным во времени режимом звездообразования (EV). Описание сетки дается в наших предыдущих работах [2–5]. В этих же работах обсуждается отличие нашего подхода от ставших классическими методов эволюционного популяционного синтеза и эмпирического популя-

ционного синтеза, а также приведена подробная библиография истории метода.

В нашем подходе мы исключили из числа искомых физических параметров величины межзвездного покраснения света A_V и химический состав (точнее, содержания тяжелых элементов или “металличность” Z), которые могут быть получены независимо из спектральных наблюдений. Тем самым сразу исключались проблемы вырождения “возраст–поглощение” и “возраст–химический состав”, выделенные Скало [6] в обзоре данной проблемы. Такой подход требовал вычисления собственной сетки эволюционных моделей для каждого изучаемого объекта в соответствии с наблюдаемым химическим составом и сильно сокращал на тот момент число объектов с необходимой базой наблюдательных данных. В частности, поэтому многоцветная фотометрия около 200 молодых комплексов звездообразования (КЗ), полученная в 70-е годы И.И. Проник и ее коллегами в галактиках NGC 1068, NGC 4051, NGC 4449, NGC 4490, NGC 4631 и NGC 4656, нами до сих пор не рассматривалась, хотя обработка этих наблюдений была проведена ранее М.А. Смирновым, и обсуждение результатов было проведено в отдельной статье [7].

Позднее в [2] с помощью численных экспериментов было показано, что даже при отсутствии независимых данных о межзвездном поглощении A_V , сравнение покрасненных интегральных цветов скопления с сеткой эволюционных моделей позволяет оценить величину межзвездного поглощения с “методической” точностью $\sigma_{A_V} \approx 0.12^m$ и при этом получить оценки возрастов с точностью 0.15 dex. При учете наблюдательных ошибок (0.05^m) в показателях цвета, точность определения межзвездного поглощения составляет $\sigma_{A_V} = 0.20^m$, а точность оценок возрастов составляет 0.22 dex.

Эксперименты показали также, что достоверное определение параметров НФМ в отсутствии предварительных данных о поглощении невозможно. Заметим, что эксперименты проводились при фиксированном значении металличности Z .

Косвенные оценки величины межзвездного поглощения при отсутствии спектральных наблюдений КЗ представляют самостоятельный интерес. И если при этом возможно с некоторой точностью получить оценки возрастов КЗ, то это будет существенным вкладом в изучение истории звездообразования в галактике. Поэтому основной целью настоящей работы является интерпретация результатов многоцветной фотометрии около 169 КЗ в галактиках NGC 1068, NGC 4449, NGC 4490, NGC 4631 и NGC 4656. Галактика NGC 4051 была исключена из нашего рассмотрения из-за низкой

точности измерения показателей цвета $B-V$ (фотометрическая система КрАО-2 [7]).

Так как в данной работе рассматриваются КЗ, для которых проведена только многоцветная фотометрия, а спектры неизвестны, то отдельно исследован вопрос о возможности получения оценок межзвездного поглощения и возрастов и их точности на основании этих данных. Заранее, по результатам численных экспериментов из работы [2], можно исключить возможность оценки параметров НФМ.

В разделе 2 мы даем краткое описание применяемой нами совокупности (пространства) эволюционных моделей. Для оценки достоверности определения неизвестных параметров (возраста t , межзвездного поглощения A_V , обилия тяжелых элементов Z), в разделе 3 нами проведены дополнительные численные эксперименты. В разделе 4 представлены результаты многоцветной фотометрии КЗ в исследованных галактиках. В разделе 5 проводится сопоставление многоцветной фотометрии КЗ с сеткой эволюционных моделей и определяются возрасты и величины экстинкции света в исследуемых комплексах. В разделе 6 обсуждаются полученные результаты.

2. СЕТКА ЭВОЛЮЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ИНАСАН И РЕАЛЬНЫЕ ЦВЕТА МОЛОДЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ

В данной работе мы, как обычно, используем модели ИНАСАН [8], которые охватывают широкий интервал изменения параметров НФМ, возрастов и два элементарных предельных режима звездообразования: режим мгновенного звездообразования (режим IB) и режим непрерывного и равномерного звездообразования (режим EB). Эволюционные треки моделей были вычислены для интервала возрастов 10^6 – 10^9 лет. Верхний предел масс НФМ варьировался от 5 до $120 M_{\odot}$, а наклон НФМ α находился в пределах от $\alpha = -5.35$ (очень “крутая” НФМ) до $\alpha = -0.35$ (“плоская” НФМ). Величина наклона $\alpha = -2.35$ соответствует известной солпитеровской НФМ [9].

Природа исследуемых в данной работе объектов, а именно КЗ — гигантских областей НII размерами от 100 до 300 пк, — позволяет ограничиться более узкими интервалами изменения возраста и верхнего предела масс НФМ. Как мы уже обсуждали в работе [3], при скорости газа 15–30 км/с, время жизни области НII с размером 100 пк составляет 3–7 млн. лет. Размеры исследуемых в данной работе объектов часто достигают 200–300 пк. Время жизни такой гигантской области НII может достигать 20 млн. лет. Для того, чтобы она существовала дольше, необходим резервуар

газа, по которому бежит волна звездообразования, т.е. реализуется режим ЕВ. Поэтому области с ІВ-режимом звездообразования будут наблюдаться как области НІІ до максимальных возрастов жизни единичной области ионизованного водорода. Более старые КЗ с режимом ІВ уже не могут содержать гигантские области ионизованного водорода. Поэтому сетка эволюционных моделей для режима ІВ была ограничена в данной работе возрастом 20 млн. лет. Сетка моделей для режима ЕВ была ограничена возрастом 100 млн. лет. Принятые ограничения по возрасту “с запасом” перекрывают диапазон возрастов исследуемых гигантских областей НІІ.

Для образования гигантской области НІІ необходим большой поток ионизирующего излучения, который может быть обеспечен лишь массивными О-звездами ($M > 15M_{\odot}$). Поэтому верхний предел масс нашей сетки ограничен интервалом $M_{\max} \in (30, 120)M_{\odot}$.

На двухцветных диаграммах такая совокупность эволюционных моделей покрывает относительно узкие интервалы цветов [2, 8]:

$$U-B \in (-1.22, -0.17),$$

$$B-V \in (-0.33, 0.08),$$

$$V-R \in (-0.20, 0.35).$$

Поэтому объекты, заведомо (с учетом ошибок измерений) выпадающие за эти границы, наверняка подвержены влиянию межзвездного поглощения.

В работе [2] нами был сформулирован критерий оценки межзвездного поглощения с помощью сетки эволюционных моделей, согласно которому, исправленные за A_V цвета должны как можно точнее соответствовать цветам некоторой модели (узла сетки). Этот узел отыскивался путем поиска наиболее глубокого минимума функционала отклонений, вычисленного для данной сетки. Под функционалом отклонений понимается числовая функция, которая ставит в соответствие каждому узлу некоторое число, характеризующее отклонение наблюдаемых фотометрических величин от модельных. Как вычисляется функционал, можно найти в наших предыдущих работах [2–5]). Краткое описание эволюционных моделей приводится в наших работах [2, 5], а сами модели подробно обсуждаются в нашей работе [8].

Напомним лишь, что теоретические показатели цвета вычислялись как функции α , $M_{\max}$, t , Z , а также режима звездообразования.

В данной работе нас особенно интересует влияние вариаций величины Z на точность определения возраста. Ранее нами было показано [8], что при вариациях Z в области $Z > 0.5Z_{\odot}$ эффект металличности на двухцветной диаграмме

$(U-B)-(B-V)$ незначителен по сравнению с влиянием вариаций возраста и наклона НФМ.

3. ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСОВ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ ВЕЛИЧИНАХ МЕЖЗВЕЗДНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА И МЕТАЛЛИЧНОСТИ. ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Чтобы ответить на вопрос, насколько точно можно определить межзвездное поглощение и, возможно, возраст звездного населения при неизвестной заранее металличности, мы провели численный эксперимент. Его методика подробно описана в нашей предыдущей работе [2], где мы предполагали, что величина металличности Z известна из независимых спектральных измерений. Поэтому сетка эволюционных треков, с которой сравнивались пробные модели звездных скоплений, вычислялась заранее для заданного Z .

Главное отличие эксперимента, проводимого в данной работе, состоит в том, что металличность пробной модели предполагается неизвестной. Поэтому цвета модели сопоставляются с треками, вычисленными для 10 различных значений металличности от $Z = 0.004$ до $Z = 0.040$ с шагом $h_Z = 0.004$. Тем самым мы добавили еще одну размерность в многомерную сетку эволюционных треков, увеличив число узлов до 132840 (т.е. в 10 раз по сравнению с предыдущим экспериментом).

Как было показано ранее [8], эволюционные модели слабо чувствительны к вариациям параметра Z , поэтому выбранный первоначальный шаг $h_Z = 0.004$ представляется достаточным, чтобы отследить вариации интегральных цветов при изменениях Z .

В результате эксперимента средняя точность оценок модельной металличности составила $\Delta Z = \pm 0.010$ (рис. 1). Так как металличность пробных моделей принималась равной солнечной $Z_{\odot}$, то разброс $\Delta Z = \pm 0.010$ означает, что оценки обилия тяжелых элементов лежат, в основном, в интервале $Z/Z_{\odot} \in (0.5, 1.6)$.

В работе [8] показано, что эволюционные треки с металличностью $Z > 0.5Z_{\odot}$ различаются по цветам на величины, сравнимые с точностью измерения цветов. В случае режима ЕВ эволюционные треки с низкой металличностью $Z < 0.5Z_{\odot}$ также мало отличаются от эволюционных треков с $Z > 0.5Z_{\odot}$.

При слабой чувствительности моделей к вариациям Z можно, согласно результатам численных

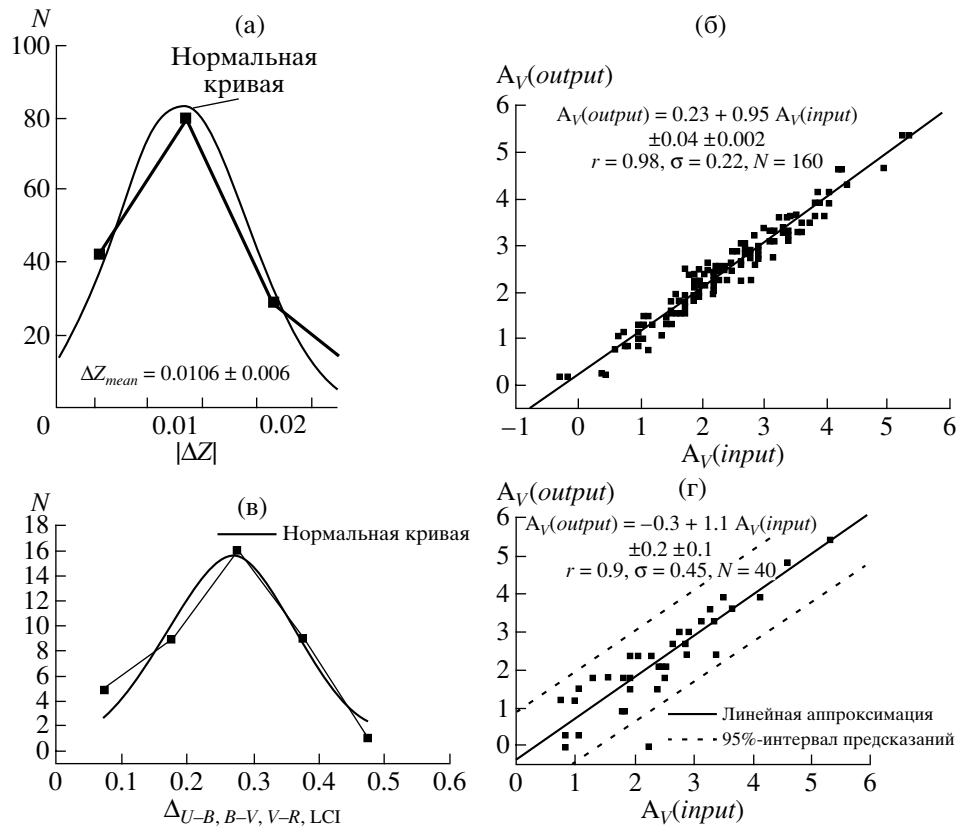


Рис. 1. Результаты численного эксперимента на сетке моделей для металличности и межзвездного поглощения света: (а) — распределение ошибок определения Z для 160 моделей скоплений (средняя точность определения $\Delta Z = \pm 0.010$); (б) — соотношение между исходными ($A_V(input)$) и выходными ($A_V(output)$) величинами поглощения, полученное с учетом внутренней формальной точности измерений цветов ($\sim 0.05^m$); (в) — распределение суммарной случайной ошибки, соответствующей внешней точности измерений цветов, внесенной в модельные цвета при численном эксперименте; (г) — соотношение между исходными ($A_V(input)$) и выходными ($A_V(output)$) величинами поглощения, полученное с учетом внешней точности измерений цветов ($\sim 0.10^m - 0.20^m$).

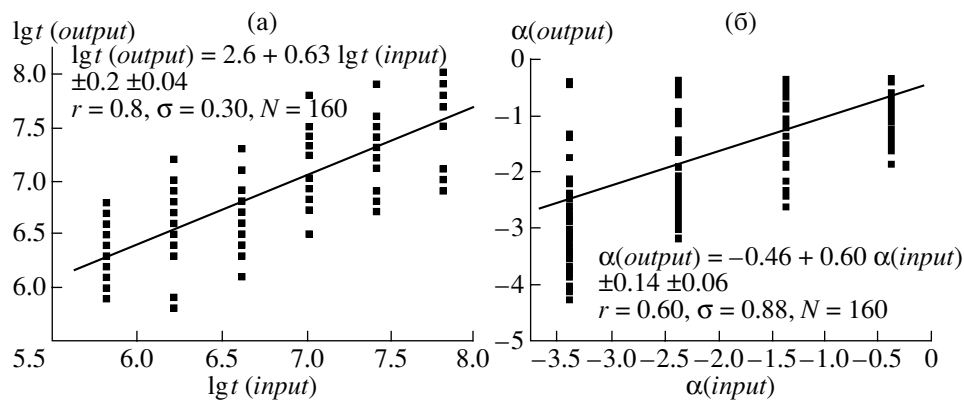


Рис. 2. Результаты численного эксперимента на сетке моделей для возрастов и наклонов НФМ: (а) — соотношение “найденный возраст—исходный возраст” пробной модели; (б) — “найденный наклон—исходный наклон” НФМ пробной модели.

экспериментов, описанных в [2], ожидать хорошую точность определения межзвездного погло-

щения A_V . Напомним, что цвета пробных моделей “портились” не только случайными ошибка-

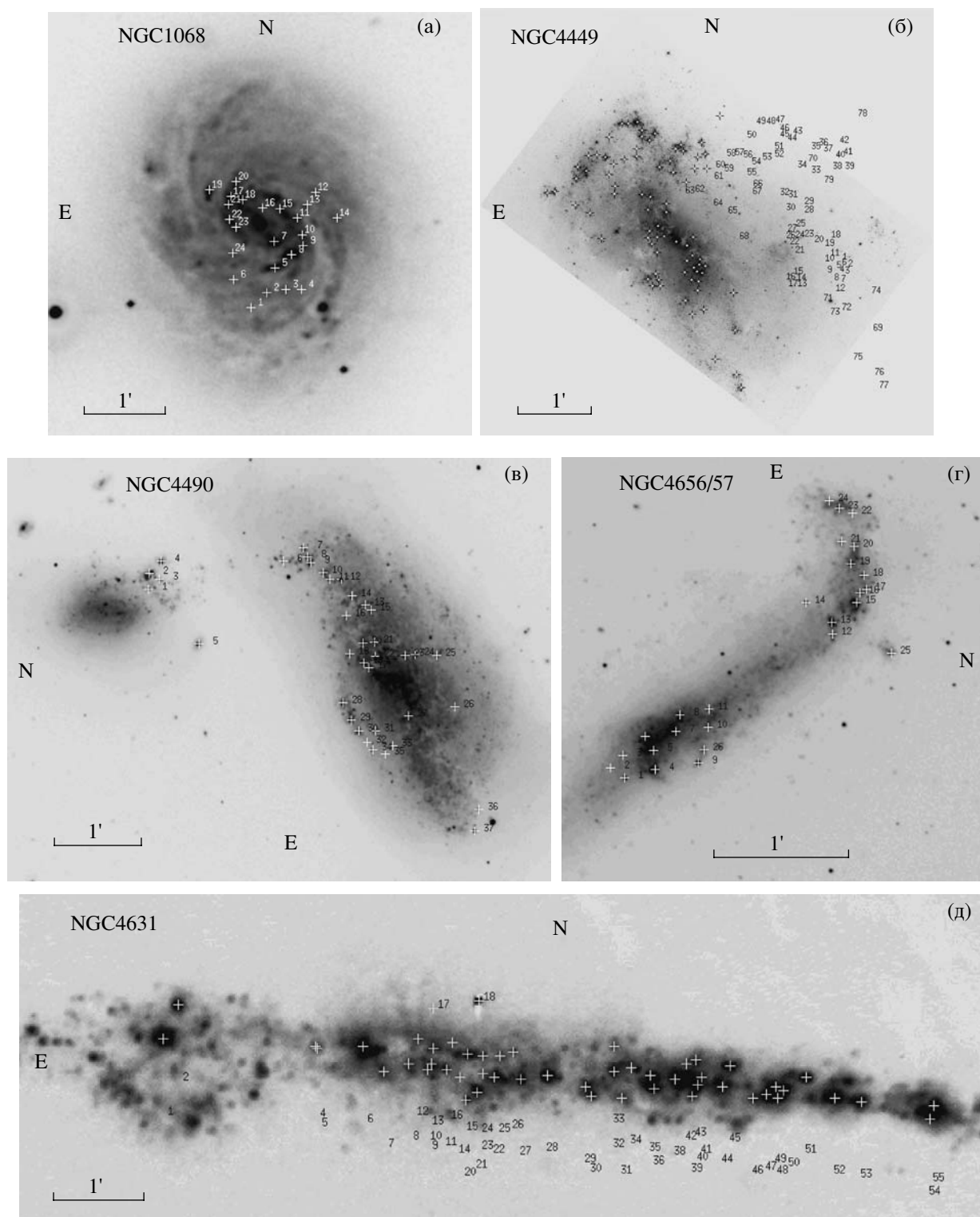


Рис. 3. Карты для отождествления объектов в галактиках NGC 1068 (а), NGC 4449 (б), NGC 4490 (в), NGC 4631 (г), NGC 4656/57 (д).

ми измерений, но также дополнительно случайно заданной величиной межзвездного поглощения $A_V(input)$, как это было описано в работе [2].

Целью эксперимента является найти такое значение $A_V(output)$, которое в идеальном случае равнялось бы величине $A_V(input)$, т.е. восста-

новить истинные цвета нашей пробной модели с точностью до случайных ошибок измерений. На рис. 1б показано соотношение между входными величинами $A_V(input)$ и полученными на выходе эксперимента величинами $A_V(output)$, которое описывается линейным соотношением с высоким коэффициентом корреляции ($r = 0.98$). Стандартная ошибка определения межзвездного поглощения составила $\sigma_{A_V} = 0.22^m$, что близко к стандартной точности $\sigma_{A_V} = 0.20^m$, полученной в работе [2] при подобных величинах случайных ошибок цветов, где величина Z была заранее известна.

Оценки возрастов t_{output} коррелируют с возрастными пробными моделями t_{input} несколько хуже, чем поглощение света: $r = 0.8$ (рис. 2а). Стандартная ошибка определения возраста $\sigma_t = 0.30$ dex в логарифмической шкале отражает как ошибки оценок металличности, так и ошибки наклона НФМ α . Наклон НФМ при неизвестном Z определяется плохо, и его оценки в применении к реальным объектам нельзя рассматривать как достоверные (рис. 2б).

4. МНОГОЦВЕТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ КОМПЛЕКСОВ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В ГАЛАКТИКАХ NGC 1068, NGC 4449, NGC 4490, NGC 4631 И NGC 4656/57

Многоцветная фотометрия молодых областей звездообразования (гигантских областей НII) проводилась в 8 спектральных полосах, центрированных на эмиссионные линии и участки спектра без эмиссионных линий (звездный континуум). Измерения проводились М.А. Смирновым по снимкам, полученным в 1966–1981 гг. И.И. Проник и ее коллегами в Крымской астрофизической обсерватории (Украина) на 2.6-м телескопе ЗТШ с электронно-оптическим преобразователем. Цветовая система и методика измерений идентичны проводившимся ранее исследованиям многоцветной фотометрии галактик и деталей в них [12–20]. Для каждой галактики было получено от 2 до 6 снимков в каждом спектральном диапазоне.

Перевод измерений в абсолютные потоки в энергетических единицах проводился по полученным в те же даты внефокальным изображениям звезд 76 Coma и 49 Pleiades. Учет неравномерного фона галактики проводился по измерениям в непосредственных окрестностях КЗ. Результаты измерений были редуцированы нами [7] в джонсоновскую [21] фотометрическую систему $UBVRH\alpha$. Карты для отождествления объектов в галактиках NGC 1068, NGC 4449, NGC 4490, NGC 4631, NGC 4656/57 приведены на рис. 3. В табл. 1 (в электронной форме эту таблицу

можно найти по адресу http://lnfm1.sai.msu.ru/~gusev/crao_tab1.dat) приведены результаты измерений цветов $U-B$, $B-V$, $V-R$, LCI, проведенных М.А. Смирновым для 169 КЗ в 5 галактиках (определение параметра LCI см. ниже). В табл. 1 вошли не все объекты, отмеченные на снимках галактик (рис. 3).

При проведении измерений снимков, полученных в фотометрической системе КрАО, нами обнаружена в ряде случаев систематическая ошибка калибровки нуль-пункта перевода почернений в интенсивность [7]. Это приводит к существенным ошибкам в цветах КЗ, отмечавшихся авторами работ в фотометрической системе КрАО [17]. Нуль-пункт отличается для разных серий (групп) наблюдений, поэтому, для определения цветов КЗ должны использоваться наблюдения одной серии (группы) во всех спектральных полосах. Появление трех нуль-пунктов обусловлено использованием трех различных фотометрических кривых при переводе измеренных почернений пленок в интенсивности, что в свою очередь обусловлено использованием трех фотометрических шкал, впечатанных в каждый снимок. Не во всех случаях было возможно учесть систематическую ошибку нуль-пункта перевода почернений в интенсивность. Поэтому, хотя для всех объектов, отмеченных на снимках галактик, имеются собственные измерения цветов, не все они вошли в таблицу.

Для характеристики излучения в лаймановском континууме был введен дополнительный “цвет” LCI — индекс лаймановского континуума: $LCI = 2 - \lg \left(\frac{F_{H\alpha+[NII]}}{F_B} \right)$, где $F_{H\alpha+[NII]}$ — поток в спектрально близких эмиссионных линиях водорода и азота, а F_B — поток в звездном континууме в полосе B . В колонке 7 табл. 1 приведены яркости в полосе B , в колонке 8 приведены размеры диафрагм, которые соответствовали размерам изображений объектов в фильтре $H\alpha + [NII]$ (в сек. дуги). Отсутствие ожидаемой корреляции между яркостями и размерами объектов (колонки 7 и 8) может указывать на несоответствие величин в колонке 8 истинным размерам КЗ.

Анализ точности (сравнение с результатами других авторов), проведенный нами в статье [7], показал, что измерения цветов на основе ЭОП-фотометрии, полученной в КрАО, имеют следующие точности: $\sigma_{U-B} = 0.13^m$, $\sigma_{B-V} = 0.19^m$, $\sigma_{V-R} < 0.15^m$ и $\sigma_{LCI} = 0.10^m$. Здесь речь идет о внешней точности измерений цветов, полученных с помощью фотографической ЭОП-фотометрии. Внешняя точность измерений оценивалась нами путем попарных сопоставлений результатов измерений цветов, проведенных разными авторами с помощью разных методик.

Таблица 1. Фотометрия комплексов звездообразования в галактиках

NGC	№	$U-B$	$B-V$	$V-R$	LCI	m_B	D , сек. дуги	A_V	$\lg t$ (годы)	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1068	1	-0.93	0.09	0.50	-0.11	17.23	6.0			
	2	-0.76	0.11	0.42	0.31	18.77	4.0	0.30	7.50	0.14
	3	-0.94	0.02	0.39	-0.03	18.84	5.0	0.00	7.50	0.22
	4	-0.80	0.09	0.40	0.09	17.82	5.0	0.15	7.50	0.14
	5	-0.53	0.36	0.04	-0.40	16.48	6.0	2.25	5.80	0.07
	6	-0.36	0.24	0.29	0.15	16.9	5.0	1.05	7.60	0.02
	7	-0.04	0.42	0.21	-0.08	16.86	5.0	1.80	7.10	0.04
	8	-0.70	0.34	0.55	-0.18	18.48	3.0	0.82	7.50	0.26
	9	-0.28	0.48	0.23	-0.09	17.89	5.0	2.40	6.40	0.00
	10	-0.68	0.28	0.21	-0.11	18.46	3.0	1.28	6.70	0.09
	11	0.00	0.37	0.63	-0.11	18.26	4.0	1.65	7.90	0.21
	12	-0.36	0.34	0.21	0.02	18.80	3.0	1.58	6.60	0.01
	13	-0.65	0.20	0.54	-0.27	19.63	4.0	0.60	7.60	0.19
	14	-0.62	0.16	0.11	-0.31	19.86	3.0	1.28	6.60	0.01
	15	-0.72	0.01	0.01	-0.12	16.55	6.0	0.52	6.60	0.01
	16	-0.04	0.36	0.20	-0.17	19.63	3.0	1.57	7.30	0.04
	17	-0.49	0.17	0.02	0.18	17.44	4.0	0.90	6.70	0.08
	18	-0.04	0.57	0.59	-0.26	19.71	3.0	1.87	8.00	0.06
	19	-0.21	0.40	0.61	-0.57	20.13	3.0	1.43	7.90	0.12
	20	-0.86	0.09	0.19	-0.21	20.39	2.5	0.67	6.70	0.12
	21	-0.57	0.57	0.51	-0.06	19.74	3.5	1.50	7.50	0.27
	22	-0.37	0.36	0.56	-0.07	17.73	6.0	1.20	7.70	0.09
	23	-0.40	0.19	0.55	-0.16	18.88	6.0	0.75	7.90	0.15
	24	-0.76	0.11	0.08	-0.09	19.30	4.0	0.97	6.60	0.03
4449	1	-0.85	0.10	0.24	0.02	15.10	4.0	0.23	7.50	0.13
	2	-1.14	-0.15	-0.05	-0.26	16.10	4.0	0.45	5.90	0.11
	3	-1.01	-0.20	0.32	-0.15	15.00	4.0	0.00	7.40	0.27
	4	-1.08	-0.12	-0.02	-0.27	15.00	4.0	0.60	5.90	0.10
	6	-0.92	0.01	0.05	-0.11	15.45	3.0	0.60	6.60	0.08
	7	-0.36	0.36		-0.29	17.54	2.5			
	8	-1.13	0.09		-0.29	17.40	2.5			
	9	-0.54	0.33		-0.20	17.03	2.5			
	10	-0.76	0.33		-0.42	16.87	2.5			
	11	-0.77	0.19		-0.30	16.71	4.0			
	12	-0.46	0.10		-0.28	17.80	2.5			

Таблица 1. Продолжение

NGC	№	$U-B$	$B-V$	$V-R$	LCI	m_B	D , сек. дуги	A_V	$\lg t$ (годы)	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	13	-0.61				19.47	2.5			
	14	-0.53				19.35	4.0			
	15	-0.53	0.28	0.55	-0.12	16.7	7.1	0.90	7.60	0.14
	16	-0.52				18.43	3.0			
	17	-0.36				17.58	3.5			
	18	-0.76	-0.07	0.41	0.00	16.42	3.5	0.00	7.60	0.13
	19	-0.99	0.22	0.49	0.19	16.33	3.5			
	20	-0.52	0.18	0.35	0.53	14.	9.5	0.60	8.00	0.01
	21	-0.38	0.26	0.53	0.02	15.9	10.3	0.90	7.90	0.10
	22	-0.72	0.29		-0.30	17.12	3.0			
	23	-0.80	0.05		-0.06	16.32	3.0			
	24	-0.96	0.15	0.54	-0.76	15.05	6.0			
	25	-0.51	-0.07	0.40	0.51	16.1	7.1	0.00	8.00	0.15
	26	-0.34	0.35		0.26	16.23	4.0			
	27	-0.66	-0.02	0.40	0.11	15.6	8.2	0.00	7.80	0.09
	28		0.03	0.35	0.55	15.3	7.6			
	29	-0.78	0.04	0.52	-0.10	17.08	4.0	0.15	7.70	0.22
	30	-0.86	0.21	0.58	0.27	15.73	6.0			
	31	-0.90	0.04	0.16	0.54	15.6	10.0	0.52	6.70	0.11
	32		0.12	0.22	0.54	16.3	8.2			
	33	-0.36	0.16		-0.07	18.08	4.0			
	34	-0.84	0.19		0.03	16.51	5.0			
	35	-0.80	0.22		0.06	16.94	4.0			
	36		0.06	0.52	-0.04	16.8	8.1			
	37	-1.02	-0.24		-0.22	17.80	3.0			
	39	-1.02				19.91	2.0			
	40	-0.99				18.9	4.9			
	41	-0.90				17.88	4.0			
	42	-0.98	-0.18		-0.13	16.37	4.5			
	43		0.01	0.17	-0.13	17.3	4.5			
	44	-1.02	0.07		-0.02	12.10	35.0			
	45		0.23	0.50	0.20	16.4	4.5			
	46	-0.32	0.35	0.22	0.12	17.00	3.0	1.80	6.90	0.01
	47			0.18	-0.30	15.7	7.0			
	48	-0.98	0.06	0.27	-0.36	17.17	3.0	0.00	7.50	0.21

Таблица 1. Продолжение

NGC	№	$U-B$	$B-V$	$V-R$	LCI	m_B	D , сек. дуги	A_V	$\lg t$ (годы)	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	49			0.16	-0.55	17.2	4.5			
	50	-0.92	-0.18		-0.26	18.55	3.0			
	51	-1.06	0.07		-0.07	18.78	2.0			
	52	-0.83	0.14		-0.06	17.31	5.0			
	53	-0.51				20.04	3.0			
	54	-0.92				19.91	2.0			
	56	-1.11	0.04	0.66	-0.47	16.9	5.9			
	57	-0.86				18.34	2.5			
	58	-0.88				20.26	2.5			
	59	-0.74	0.26	0.51	-0.22	15.6	12.0	0.60	7.50	0.23
	60	-0.64	0.19		-0.29	17.04	4.0			
	61	-0.70	0.32	0.51	-0.18	16.0	11.0	0.75	7.50	0.23
	62	-0.95	0.08		-0.52	20.04	2.5			
	63	-0.57	0.00		-0.25	17.80	4.5			
	64	-0.60				19.51	2.0			
	65	-0.72				18.08	4.0			
	66	-0.70				18.82	3.0			
	67	-1.02				19.35	2.0			
	68	-0.74	0.06		-0.12	17.23	5.0			
	69		-0.16	0.22	-0.22	17.2	7.0			
	70		0.12	0.32	0.60	15.00	20.0			
	71	-0.94	-0.03			19.64	2.5			
	72	-0.44	0.01			17.89	3.0			
	73	-0.86	0.05			18.27	3.0			
	74		-0.26			17.6	5.9			
	76	-0.90	0.47		0.05	18.94	4.0			
	77	-0.98	0.05		-0.04	17.93	5.0			
	78	-0.42	0.29		-0.42	18.00	3.0			
	79	-1.06	-0.20		0.09	18.50	3.0			
4490	2	-0.56	0.24	0.42	-0.51	17.60	7.6	0.75	7.50	0.05
	4	-0.70	0.06	0.19	-0.85	18.59	6.0	0.45	7.10	0.00
	5	-0.20	0.25	0.08	0.03	20.13	5.4	1.20	7.10	0.10
	6	-0.74	-0.20	0.18		19.52	3.8	0.00	7.20	0.09
	7	-0.82	-0.26	0.28	-0.76	19.56	4.4	0.00	7.50	0.20
	8	-0.68	-0.01	0.17	-0.69	19.32	3.9	0.08	7.60	0.01

Таблица 1. Продолжение

NGC	№	$U-B$	$B-V$	$V-R$	LCI	m_B	D , сек. дуги	A_V	$\lg t$ (годы)	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	9	-1.10	-0.23	0.04	-0.67	18.57	5.9	0.00	6.60	0.11
	10	-0.62	-0.05	0.40	-1.22	18.14	8.9	0.00	7.90	0.10
	11	-0.88	-0.11	0.08	-0.69	19.46	3.8	0.08	6.90	0.01
	12	-0.52	0.07	0.42	-0.76	18.93	4.9	0.30	8.00	0.08
	13	-0.70	0.34	0.44	-0.35	18.06	5.7	0.75	7.50	0.21
	14	-0.89	-0.07	0.48	0.52	17.73	7.4	0.00	7.50	0.24
	15	-0.84	0.06	0.07	-0.55	18.99	6.3	0.75	6.60	0.06
	16	-0.22	0.53	0.58	-0.47	18.93	5.4	1.72	7.70	0.05
	17	-0.70	0.08	0.46	0.05	17.14	3.2	0.23	7.70	0.13
	18	-0.46	0.21	0.29	-0.24	15.56	10.1	0.60	7.10	0.01
	19	-0.92	-0.14	0.37	-0.86	17.61	6.0	0.00	7.50	0.21
	20	-0.22	0.30	0.27	-1.61	19.21	7.0	1.43	7.20	0.01
	21	-0.74	0.34	0.10	-0.87	18.34	4.0	1.95	5.80	0.12
	22	-0.34	0.35	0.37	-0.55	19.44	12.8	1.05	7.80	0.01
	23	-0.42	0.22	0.31	-0.79	17.98	6.4	0.75	7.70	0.01
	24	-0.68	0.18	0.28	-0.40	16.51	6.7	0.60	7.50	0.07
	25	-0.83	0.11	0.20	-0.73	17.95	7.3	0.75	6.70	0.11
	26	-0.92	-0.10	0.00	-0.60	19.57	4.8	0.38	6.60	0.01
	31	-0.37	0.36	0.30	-0.77	20.84	7.2	1.58	7.10	0.01
	32	-0.63	0.35	0.58	-0.30	16.30	1.3	0.97	7.50	0.23
4631	1	-0.36	0.06	0.38	-0.58	18.14	8.4	0.38	8.00	0.10
	6	-0.63	-0.01	0.15	-0.38	14.58	17.9	0.23	7.10	0.01
	7	-0.94	-0.15	0.17	0.14	17.01	11.6	0.00	6.80	0.09
	8	-0.60	0.13	0.33	-0.14	19.21	4.2	0.45	7.70	0.01
	9	-0.09	0.40	0.33	-0.27	19.13	4.6	1.58	7.60	0.01
	10	-0.44	0.13	0.06	-0.40	20.10	4.8	1.05	6.70	0.05
	11	-0.95	-0.17	0.04	-0.41	18.56	6.9	0.08	6.90	0.01
	12	-1.05	-0.21	0.11	-0.39	16.77	12.6	0.00	6.70	0.12
	13	-0.57	-0.18	-0.14	-0.32	16.43	13.6	0.00	7.10	0.15
	14	-0.27	0.27	0.68	-0.16	18.52	6.3	1.27	7.90	0.24
	15	-0.79	-0.08	0.28	-0.38	16.70	11.6	0.00	7.50	0.06
	16	-0.82	0.19	0.18	-0.16	16.91	10.5	0.90	6.70	0.14
	21	-0.92	0.03	0.17	-0.14	18.46	5.3	0.45	6.70	0.12
	22	-0.12	0.50	0.79	-0.43	18.06	8.4			
	24	-0.31	0.23	0.52	-0.10	19.47	3.2	0.90	8.00	0.12

Таблица 1. Окончание

NGC	№	$U-B$	$B-V$	$V-R$	LCI	m_B	D , сек. дуги	A_V	$\lg t$ (годы)	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	27	-0.50	0.37	0.12	-0.22	19.56	3.6	2.10	6.40	0.01
	28	-0.39	0.44	0.44	-0.17	17.05	8.4	1.50	7.50	0.04
	29	-0.36	0.26	0.51	-0.21	19.44	5.7	0.90	7.90	0.09
	30	-0.65	0.09	0.38	-0.29	17.77	6.9	0.30	7.60	0.04
	32	-1.19	0.00	0.01	-0.16	18.53	6.3	0.67	5.80	0.24
	33	-1.15	-0.07	0.11	-0.25	19.00	5.3	0.00	6.70	0.21
	34	-0.45	0.38	0.07	-0.28	20.10	3.6	1.80	6.50	0.08
	35	-0.41	0.49	0.26	-0.25	16.60	8.4	2.25	6.60	0.04
	36	-0.58	0.10	0.48	-0.38	16.79	9.4	0.45	7.70	0.11
	38	-0.88	-0.03	0.01	-0.58	17.34	9.4	0.90	5.90	0.03
	39	-0.88	0.04	0.31	-0.20	20.02	4.6	0.00	7.50	0.15
	40	-0.33	0.39	0.60	-0.57	18.76	6.9	1.35	7.70	0.12
	41	-0.47	0.33	0.28	-0.13	20.39	4.2	1.35	7.10	0.01
	44	-0.55	0.36	-0.01	-0.28	17.83	7.3	2.17	5.80	0.11
	45	-0.27	0.30	0.31	-0.36	19.47	5.3	1.20	7.60	0.01
	46	-0.97	0.06	0.39	-0.44	20.72	3.2	0.00	7.50	0.26
	47	-0.88	0.14	0.44	-0.32	18.12	7.3	0.15	7.50	0.24
	48	-0.54	0.36	0.48	-0.19	19.67	3.2	1.05	7.50	0.12
	49	-0.69	0.37	0.45	-0.18	18.21	5.3	0.82	7.50	0.23
	52	-0.76	0.00	0.04	-0.48	17.38	7.6	0.67	6.70	0.01
	53	-1.21	-0.11	0.21	-0.50	20.97	3.6			
4656/57	4	-0.44	-0.07	0.66	-0.23	15.8	7.3			
	5	-0.56	0.40	0.33	-0.31	17.38	6.3	1.42	6.80	0.12
	6	-0.38	0.20	0.16	-0.28	18.10	6.0	1.28	7.00	0.01
	7	-1.04	0.07	0.26	-0.06	17.40	6.0	0.15	6.80	0.27
	8	-0.34	0.24	0.38	0.27	17.80	6.0	0.75	8.00	0.01
	9	-0.54	0.19	0.55	-0.18	19.05	3.0	0.67	7.70	0.15
	10	-0.34	0.27	0.62	-0.27	17.60	7.0	1.05	7.90	0.17
	15	-0.74	0.19	0.24	-0.13	16.5	7.0	0.82	6.80	0.10
	26	-1.06	-0.03	0.00	-0.11	18.36	5.0	0.82	5.80	0.13

В работах [5, 7] было показано, что точность фотографических измерений цветов КЗ (как прямых, так и с ЭОП) практически не отличается от более точных оптико-электронных наблюдений с использованием ПЗС-камер. Это объясняется,

по всей видимости, тем, что основным источником ошибок при фотометрии КЗ являются не ошибки в наблюдаемой яркости объекта, а неуверенность в выделении объекта на фоне излучения галактики, в учете излучения фона и в опреде-

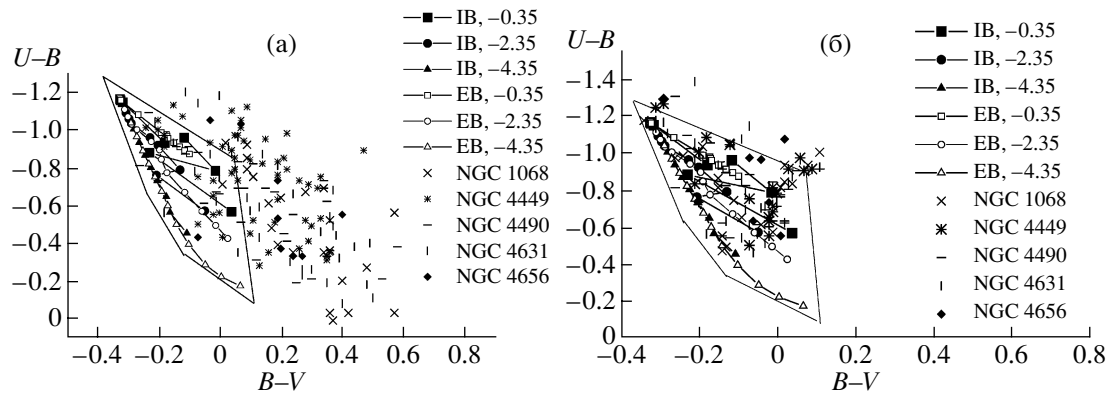


Рис. 4. Сопоставление положений КЗ с сеткой эволюционных моделей на двухцветной диаграмме: (а) — цвета КЗ не исправлены за A_V ; (б) — цвета КЗ исправлены за A_V .

лении размеров КЗ. В этом методика фотографических и оптико-электронных измерений КЗ в рассматриваемых работах мало отличается. Формальная внутренняя точность, приводимая авторами ПЗС-наблюдений, намного выше и составляет примерно 0.05^m . Формальная или внутренняя ошибка фотографических наблюдений (с помощью ЭОП) исследованных здесь галактик также значительно выше (0.05^m – 0.08^m). Однако внешняя точность наблюдений цветов, в силу указанных причин, остается для всех методик ниже в 2–3 раза. Нами были проведены численные эксперименты по определению величины межзвездного поглощения при уровне случайных ошибок, соответствующих внешней точности показателей цвета 0.10^m – 0.20^m . При таких ошибках ожидаемая точность определения величины поглощения света составляет $\sigma_{A_V} = 0.45^m$ (рис. 1в,г). Соответствующая ей точность избытков цвета $\sim 0.14^m$ сравнима с наблюдательной точностью избытков цвета по бальмеровскому декременту, полученной для этих же КЗ в NGC 4631 [22].

5. СОПОСТАВЛЕНИЕ МНОГОЦВЕТНОЙ ФОТОМЕТРИИ КЗ С СЕТКОЙ ЭВОЛЮЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ИНАСАН

На рис. 4 наблюдаемые цвета КЗ сопоставляются с сеткой ИНАСАН [8] на двухцветной диаграмме. Как можно видеть из рис. 4а, наблюдаемые цвета КЗ имеют более “красные” показатели цвета, чем это допускают теоретические модели: объекты систематически сдвинуты вправо-вниз. Так как на диаграмме показана сетка для фиксированных металличности и верхнего предела звездных масс ($Z = Z_\odot$, $M_{max} = 90M_\odot$), то вариации этих величин несколько расширяют область, занимаемую эволюционными моделями. Эта область ограничена на рис. 4а сплошными линиями.

В работе [8] мы получили, что распределение энергии в спектрах эволюционных моделей мало чувствительно к изменениям Z . В разделе 3 нами исследована точность определения величины межзвездного поглощения с помощью функционала отклонений при неизвестном Z .

Как показал численный эксперимент, при внешней точности измерения показателей цвета $\sigma_{U-B} = 0.13^m$, $\sigma_{B-V} = 0.19^m$, $\sigma_{V-R} < 0.15^m$ и $\sigma_{LCI} = 0.10^m$, точность определения величины межзвездного поглощения света составляет $\sigma_{A_V} = 0.45^m$ (рис. 1в,г).

Так как для вычисления функционала отклонений необходимо по крайней мере три различных показателя цвета, то число объектов, для которых применим метод, сократилось со 169 до 102. На рис. 4б показано положение относительно теоретических моделей 102 КЗ после исправления их наблюдаемых цветов за межзвездное поглощение A_V .

Величины межзвездного поглощения в исследованных КЗ приведены в колонке 9 табл. 1. В колонке 11 табл. 1 приведены “ошибки” цветов, исправленных за межзвездное поглощение. Здесь под “ошибками” цветов подразумевается отклонение исправленных за межзвездное поглощение показателей цвета от теоретических цветов ближайшего узла сетки эволюционных моделей.

В колонке 10 табл. 1 представлены оценки возрастов этих комплексов. Положение полученных оценок возрастов на диаграмме t –($U-B$) (рис. 5) показывает, например, что КЗ в галактике NGC 1068 тяготеют к моделям с более крутым наклоном НФМ по сравнению с КЗ из NGC 4449.

Оценки возрастов реальных КЗ в 5 исследованных галактиках попадают в 95%-интервал предсказаний (область, ограниченная штриховыми линиями) модели линейной регрессии

$$\lg t = (8.5 \pm 0.2) + (2.0 \pm 0.2) \times (U-B), \quad (1)$$

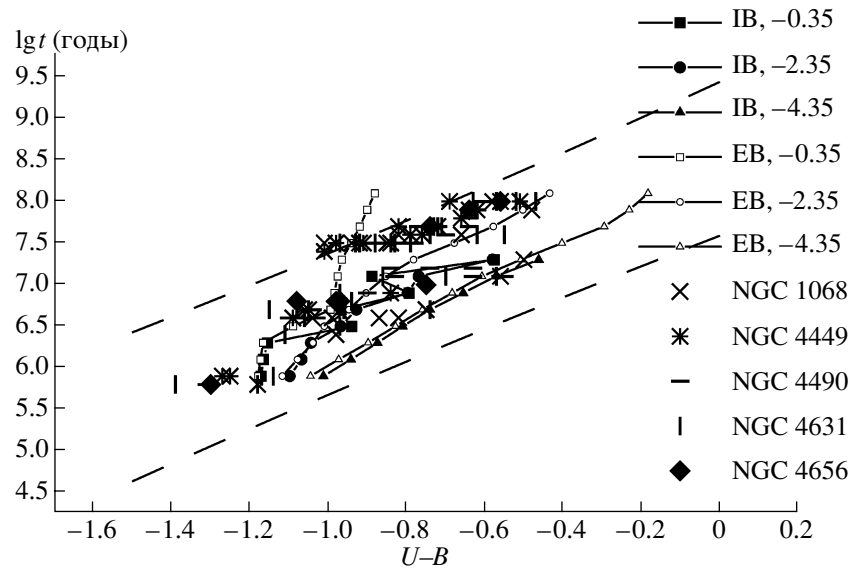


Рис. 5. Сопоставление положений КЗ с сеткой эволюционных моделей на диаграмме “возраст t —цвет $U-B$ ”. Штриховые линии ограничивают интервал предсказаний теоретических возрастов на уровне доверия 95%.

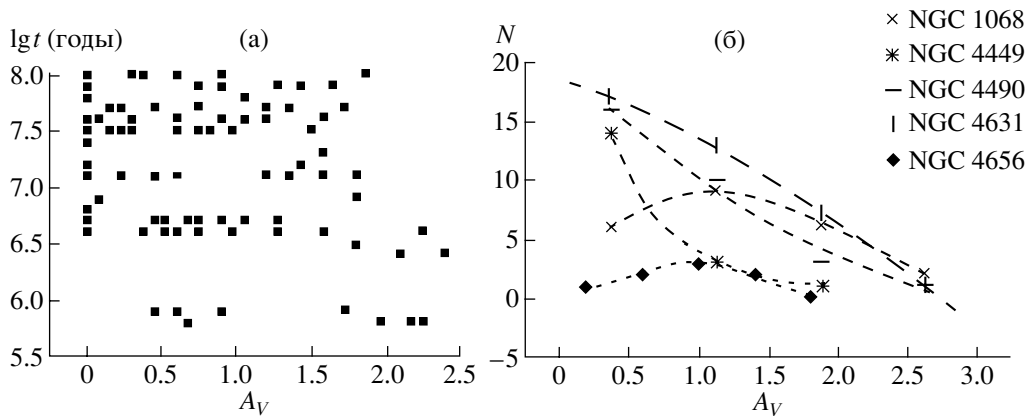


Рис. 6. (а) — Диаграмма “возраст—межзвездное поглощение”, показывающая отсутствие корреляции между этими величинами. (б) — Распределение величин межзвездного поглощения для пяти выборок КЗ в исследованных галактиках.

описывающей сетку эволюционных моделей на рис. 5 с коэффициентом корреляции 76% и стандартной ошибкой $\sigma_{\lg t} = 0.41$. Модель линейной регрессии, описывающая распределение возрастов 102 реальных КЗ по цветам, мало отличается от модели (1):

$$\lg t = (9.1 \pm 0.2) + (2.3 \pm 0.2) \times (U-B) \quad (2)$$

при коэффициенте корреляции 80% и стандартной ошибке $\sigma_{\lg t} = 0.37$.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ

В заключение данной работы представим полученные оценки возрастов и межзвездного поглощения для 102 молодых КЗ в исследованных галактиках.

Численные эксперименты в работе [2] показали, что метод определения возрастов и межзвездного поглощения на основе многоцветной фотометрии с помощью функционала отклонений не подвержен вырождению “возраст—поглощение”. Проверим влияние этого эффекта на примере полученных в данной работе оценок возрастов и межзвездного поглощения. Из рис. 6а ясно видно отсутствие какой-либо корреляции между этими величинами.

На рис. 6б показаны распределения полученных оценок межзвездного поглощения для выборок КЗ в 5 исследованных галактиках. Распределения числа КЗ по A_V для галактик NGC 1068 и NGC 4656 описываются нормальным законом со средним значением $\overline{A_V} = 1.1^m \pm 0.6^m$ и $\overline{A_V} = 0.9^m \pm 0.4^m$, соответственно. В галактиках NGC 4449

Таблица 2. Параметры распределений поглощения света в КЗ исследованных галактик

NGC	N	A_V^G	Тип распределения
1	2	3	4
1068	23	0.21^m	Нормальное, $\overline{A_V} = 1.1 \pm 0.6$
4449	18	0.15^m	$N = 0.5 + 13.4 \exp\left(-\frac{A_V - 0.375}{0.44}\right)$
4490	27	0.15^m	$N = -8.1 + 24.3 \exp\left(-\frac{A_V - 0.375}{2.17}\right)$
4631	38	0.14^m	$N = (18.9 \pm 0.8) - (4.5 \pm 1.2)A_V - (0.9 \pm 0.4)A_V^2$
4656/57	8	0.14^m	Нормальное, $\overline{A_V} = 0.9 \pm 0.4$

и NGC 4490 с ростом величины A_V число КЗ падает по экспоненциальному закону. В галактике NGC 4631 падение числа КЗ с ростом A_V описывается полиномом второй степени. Параметры распределений приведены в табл. 2. Межзвездное поглощение света в КЗ отражает распределение межзвездной пыли в них [23]. Последнее может зависеть от интенсивности межзвездного ветра в КЗ, который зависит в свою очередь от количества высокомассивных звезд, т.е. определяется видом НФМ. Возможно, отличия в распределении величины межзвездного поглощения в КЗ косвенно отражает распределение параметров НФМ в изученных галактиках. С другой стороны, из-за отсутствия наблюдательных спектральных оценок величин межзвездного поглощения и химического состава, мы не могли получить в данной работе оценки параметров НФМ в изученных КЗ. Поэтому наблюдательно полученные оценки величин межзвездного поглощения для полной выборки КЗ в галактике не только важны для определения НФМ в каждом комплексе, но и содержат информацию о распределении межзвездного вещества в нем, о мере активности высокомассивных звезд.

На рис. 7 сравниваются наши “модельные” оценки избытков цвета E_{B-V}^{stars} с избытками цвета E_{B-V}^{gas} , вычисленными по наблюдаемому бальмеровскому декременту в галактике NGC 4631 [22]. Так как критерии выделения отдельной области звездообразования в работе [22] отличались от критериев, использованных М.А. Смирновым, то эту идентификацию нужно рассматривать как условную.

В целом, выделенные объекты в работе [22] зачастую крупнее, и они включают в себя несколько наших объектов. Поэтому было затруднительно провести сопоставление цветов. Сравнение избытков цвета объектов разного размера и, следовательно, разного звездного состава, также не вполне

корректно. Однако, так как свет претерпевает поглощение не только внутри КЗ, но в значительной степени и на его периферии, то излучение от малых объектов, входящих в более крупные комплексы, претерпевает примерно такое же поглощение, как и излучение всего КЗ в целом. При стандартной точности оценок величин межзвездного поглощения 0.45^m , полученной в данной работе, стандартная точность величин избытков цвета составляет $\sigma_{E_{B-V}} = 0.14^m$. Эта величина сопоставима с наблюдательной точностью избытков цвета, полученных в работе [22], которые лежат в интервале от 0.02^m до 0.26^m звездной величины. Невысокая, но заметная корреляция ($r = 70\%$) между “модельными” и наблюдаемыми избытками цвета E_{B-V} (рис. 7) возможно является подтверждением нашего предположения.

Подтверждается также систематическое превышение величины межзвездного поглощения в эмиссионных линиях газа E_{B-V}^{gas} над величиной межзвездного поглощения в звездном континууме

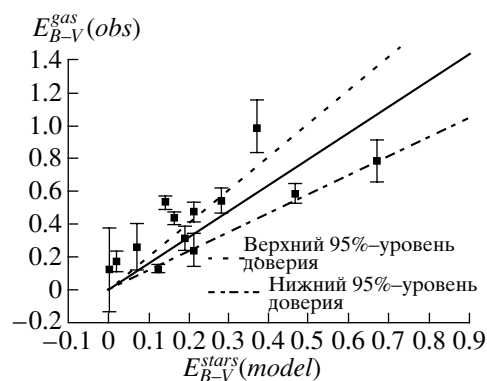


Рис. 7. Сопоставление полученных “звездных” избытков цвета $E_{B-V}^{stars}(model)$ с наблюдаемыми по бальмеровскому декременту $E_{B-V}^{gas}(obs)$ для КЗ в галактике NGC 4631.

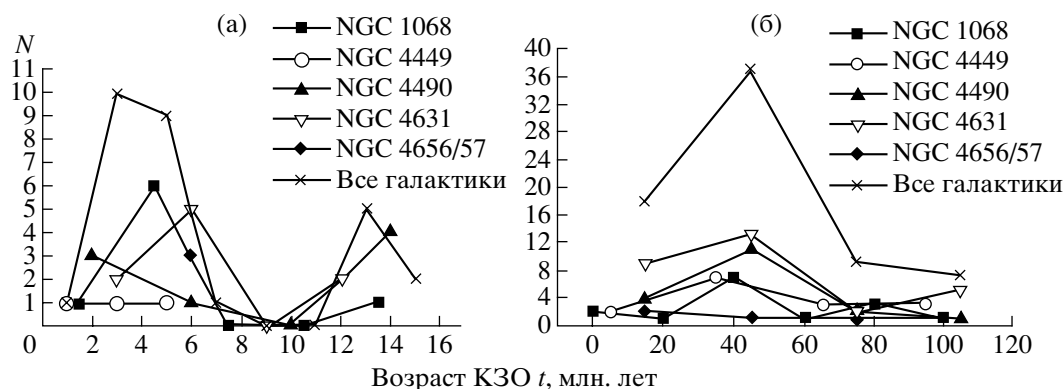


Рис. 8. Распределение возрастов КЗ в исследованных галактиках: (а) — для режима “мгновенного” звездообразования (IB); (б) для режима продолженного во времени звездообразования (EB).

E_{B-V}^{stars} . Наклон линейной зависимости ≈ 1.5 совпадает с ранее полученными соотношениями между “газовым” (E_{B-V}^{gas}) и “звездным” (E_{B-V}^{stars}) поглощением [23–26].

На рис. 8 показаны распределения возрастов КЗ в пяти галактиках для двух режимов звездообразования отдельно. На рис. 8а в случае режима IB КЗ разделились на две группы по возрастам. Основная группа объектов имеет возрасты от 1 до 7 млн. лет. Несколько КЗ составляют вторую группу с возрастными 12–14 млн. лет. Возрасты до 7 млн. лет при скоростях газа в гигантской области III 15–30 км/с соответствуют размерам около 100 пк, возрасты до 14 млн. лет в случае одиночного “взрыва” звездообразования в КЗ соответствуют размерам около 200 пк. Это может являться указанием на несоответствие физических размеров КЗ размерам диафрагм в фильтре $H\alpha + [NII]$ и объяснением того, что отсутствует корреляция между этими размерами и яркостями объектов. Распределение по возрастам КЗ с режимом звездообразования EB в общем характеризуется нормальным законом $\bar{t} = 40 \pm 30$ млн. лет (рис. 8б). Отклонение от нормального распределения в NGC 4656/57 вызвано “бедностью” выборки, содержащей всего 5 объектов.

Все изученные здесь галактики имеют признаки индуцированного активностью ядра или гравитационным взаимодействием звездообразования.

Сейфертовская галактика NGC 1068 — компактная спиральная типа Sb. Относительно большая яркость ядра и большая ширина эмиссионных линий газа в спектре ядра указывают на активные процессы выделения энергии в нем.

NGC 4631 — гигантская спираль типа Sc, связанная общим водородным мостом с системой NGC 4656/57.

NGC 4656 — взаимодействующая галактика Sc-типа. Яркое пятно — область интенсивного

звездообразования — на восточном краю галактики рассматривается как отдельная система с собственным номером NGC 4657. Результатом взаимодействия с галактикой NGC 4631 является изгиб галактики в восточном конце области яркого образования NGC 4657, интенсивное звездообразование в NGC 4657 и общий водородный мост с галактикой NGC 4631.

NGC 4490 — спиральная галактика типа Sc, взаимодействующая с неправильной галактикой NGC 4485.

NGC 4449 — карликовая неправильная галактика. Возможно, взаимодействие с близкими галактиками является катализатором звездообразования в этой галактике.

Полное исследование параметров звездообразования в исследованных КЗ может выявить связь между причинами индуцированного звездообразования (активность ядра или гравитационное взаимодействие) и характером распределения параметров звездообразования.

Для полного исследования параметров звездообразования в рассмотренных КЗ требуются спектральные наблюдения, которые позволят получить независимые измерения химического состава и межзвездного поглощения. Представляет интерес сравнить независимые измерения межзвездного поглощения с оценками, полученными с помощью сетки эволюционных моделей. Решением этих вопросов авторы статьи займутся в своих дальнейших исследованиях.

Работа частично выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 08-02-01323, 06-02-16379 и 07-02-00792) и гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-кандидатов наук МК-4818.2007.2. Авторы выражают свою признательность В.А. Гаген-Торну (СПбГУ) за внимательное рассмотрение

работы и ценные критические замечания, которые существенно улучшили качество статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Myakutin, A. E. Piskunov, F. Sakhibov, and M. A. Smirnov, in: *XXIInd General Assembly of the IAU. Astronomy Posters Abstracts*, Haag, The Netherlands, 15-27 August 1994, ed. H. van Woerden (Twin Press, Sliedrecht, 1994), p. 59.
2. A. С. Гусев, В. И. Мякутин, Ф. Х. Сахибов, М. А. Смирнов, *Астрон. журн.* **84**, 266 (2007).
3. Ф. Х. Сахибов, М. А. Смирнов, *Астрон. журн.* **81**, 998 (2004).
4. Ф. Х. Сахибов, М. А. Смирнов, *Астрон. журн.* **78**, 3 (2001).
5. F. Sakhibov, M. A. Smirnov, *Astron. and Astrophys.* **354**, 802 (2000).
6. J. M. Scalo, *The stellar initial mass function*, Fundamentals of Cosmic Physics, v. 11 (Texas Univ. Press, Austin, 1986).
7. Ф. Х. Сахибов, М. А. Смирнов, *Астрон. журн.* **76**, 419 (1999).
8. А. Э. Пискунов, В. И. Мякутин, *Астрон. журн.* **73**, 520 (1996).
9. E. E. Salpeter, *Astrophys. J.* **121**, 161 (1955).
10. A. Zurita, M. Rozas, and J. E. Beckman, *Astron. and Astrophys.* **363**, 9 (2000).
11. Yu. N. Efremov and B. Elmegreen, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **299**, 588 (1998).
12. И. И. Проник, К. К. Чуваев, *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.* **38**, 219 (1967).
13. И. И. Проник, К. К. Чуваев, *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.* **40**, 96 (1969).
14. И. И. Проник, К. К. Чуваев, *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.* **43**, 101 (1971).
15. И. И. Проник, *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.* **45**, 162 (1972).
16. Б. П. Артамонов, *Изв. Специальн. астрофиз. обсерв.* **6**, 27 (1974).
17. С. А. Добродий, И. И. Проник, *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.* **60**, 66 (1979).
18. Н. Б. Григорьева, *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.* **54**, 171 (1976).
19. Н. Б. Григорьева, *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.* **59**, 194 (1979).
20. Н. Б. Григорьева, *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.* **62**, 39 (1980).
21. H. L. Johnson, *Ann. Rev. Astron. and Astrophys.* **4**, 193 (1966).
22. A. Smith, N. Collins, W. Waller, *et al.*, *Astrophys. J.* **546**, 829 (2001).
23. J. Caplan and L. Deharveng, *Astron. and Astrophys.* **155**, 297 (1986).
24. Ф. Х. Сахибов, М. А. Смирнов, *Астрон. журн.* **72**, 318 (1995).
25. J. Maiz-Apellaniz, J. M. Mas-Hesse, C. Munoz-Tunon, and H. O. Castanede, *Astron. and Astrophys.* **329**, 409 (1998).
26. R. Cid Fernandes, A. Mateus, L. Sodre, Jr., *et al.*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **358**, 363 (2005).

Ages and Interstellar Absorptions of Young Star-Forming Regions in the Galaxies NGC 1068, NGC 4449, NGC 4490, NGC 4631, and NGC 4656/57, Derived from Multicolor Photometry

A. S. Gusev, V. I. Myakutin, A. E. Piskunov, F. Kh. Sakhibov, and M. S. Khramtsova

We compare the results of multicolor *UBVR* and $H\alpha$ photometry for 169 young star-forming complexes (SFCs) in five galaxies with a grid of evolutionary models calculated for young star clusters. The ages and interstellar absorptions are estimated for 102 SFCs, with the uncertainties $\sigma_t = 0.30$ dex and $\sigma_{A_V} = 0.45^m$, respectively. The accuracy of the ages and interstellar absorptions are verified by numerical experiments.