

## ПАНОРАМНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ГАЛАКТИК С ОЧАГАМИ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ SBS 1202+583

С.А.АКОПЯН<sup>1</sup>, С.К.БАЛАЯН<sup>1</sup>, С.Н.ДОДОНОВ<sup>2</sup>, А.В.МОИСЕЕВ<sup>2</sup>,  
А.А.СМИРНОВА<sup>2</sup>

Поступила 23 октября 2011

Принята к печати 24 ноября 2011

С помощью методов панорамной (3D) спектроскопии нами проводится детальное исследование галактик с текущим звездообразованием, выделенных из объектов семи избранных полей Второго Бюраканского обзора (SBS). Данная статья посвящена иррегулярной галактике SBS 1202+583, активность которой, согласно нашей классификационной схеме, соответствует континуальной фазе звездообразования. Наблюдения проводились с панорамными спектрографами MPFS на 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории (САО) Российской Академии Наук и VAGR на 2.6-м телескопе Бюраканской обсерватории (БАО) Армении. На основе полученных данных построены карты потоков в континууме и различных эмиссионных линиях. Основное внимание уделяется анализу излучения в рекомбинационной линии водорода  $H\alpha$  и в запрещенных дублетах низкой ионизации азота [NII]  $\lambda\lambda 6548, 6583$  и серы [SII]  $\lambda\lambda 6716, 6731$ , а также отношения интенсивностей запрещенных линий к  $H\alpha$ . Исследуются наблюдаемые характеристики девяти областей HII: их размеры, потоки в  $H\alpha$  и т.п. Оценка темпа современного звездообразования отдельных областей HII в соответствии с потоком в  $H\alpha$  дает диапазон значений  $0.3 - 1.2 M_{\odot}/\text{год}$ . Выявлена зависимость отношения интенсивностей излучения в двух указанных запрещенных дублетах от темпа звездообразования областей HII.

Ключевые слова: *3D-спектроскопия;  $H\alpha$ -излучение; HII-области - объект: SBS 1202+583*

1. *Введение.* Второй Бюраканский спектральный обзор неба SBS [1], реализованный с 1-м телескопом системы Шмидта с применением объективной призмы, является одним из наиболее результативных из низкодисперсионных обзоров по обнаружению активных галактик. Особая роль принадлежит SBS в обнаружении галактик не только с выраженными признаками звездообразовательной активности, таких как BCG (голубые карликовые галактики), что общеизвестно, но также галактик с менее выраженными признаками звездообразования [2]. Обусловлено это, в частности, тем, что при поиске объектов по низкодисперсионным спектрам ставилась задача не пропускать искомые объекты. Соответственно, в списки попадали объекты не только с явными, но и с сомнительными признаками соответствия критериям отбора. Наиболее часто это относилось к объектам, имеющим значения видимой величины близкие к пределу обзора,  $18^m.5$ -

19<sup>м</sup>.5. Так что анализировать или работать с выборками в отдельных полях SBS можно лишь после "очистки" первоначальных списков с помощью последующей спектроскопии с более высоким разрешением.

Нами была выполнена шелевая спектроскопия ~500 объектов из SBS, составивших базовую выборку ([3] и ссылки в ней). В нее вошли отобранные в семи избранных полях SBS[4], в качестве активных, галактики с протяженной морфологией. Для классификации объектов использовалась разработанная нами схема спектральной классификации [5], адаптированная к имеющемуся материалу и известным классификационным критериям. По ее результатам 345 галактик (более 70% выборки), подтвердили признаки звездообразовательной активности. Большинство остальных обнаружили признаки ядерной активности (AGN).

Для галактик со звездообразовательной активностью в нашей классификационной схеме [5] принято обозначение SfG (Star forming Galaxies). Выборка упрощенно делится на два подкласса, в зависимости от значения эквивалентной ширины эмиссии в линии  $H\alpha$  (по аналогии с [6]): - SfGcont (cont = continual), при  $EW(H\alpha) < 100 \text{ \AA}$ ; - SfGneb (neb = nebular), при  $EW(H\alpha) > 100 \text{ \AA}$ , в который попадают объекты с более мощным современным звездообразованием: голубые компактные галактики, HII-галактики и др. Дальнейшая доработка схемы - одна из наших первоочередных задач. Ведь в отличие от галактик с ядерной активностью, для классификации которых существует достаточно четкая схема, для галактик со звездообразовательной активностью различные авторы применяют разную терминологию, что не может не вносить существенные погрешности, особенно при статистических исследованиях, где используются результаты из публикаций различных авторов.

На данном этапе нами проводятся детальные исследования отдельных галактик SfG выборки, начатые с объектов, наиболее сложных с точки зрения морфологии. В их основе панорамная (3D) спектроскопия, реализованная с помощью спектрографа MPFS, при наблюдениях с 6-м телескопом САО РАН, и спектрографа VAGR, при наблюдениях с 2.6-м телескопом БАО. Полученные данные позволяют одновременно рассмотреть и спектральные и морфологические особенности объектов, содержат большой запас информации для решения множества вопросов. Помимо получения уникального материала об отдельных объектах, мы рассчитываем, по мере накопления данных, углубиться в понимание природы звездообразовательной активности в общей цепи эволюционных процессов, происходящих во Вселенной.

Предлагаемая статья - вторая в серии планируемых публикаций по данной теме. Первая была посвящена двухкомпонентной галактике в небулярной фазе звездообразования SBS1533+574 [7]. Галактика SBS1202+583, которой посвящена данная статья, находится в континуальной фазе звездообразования, имеет иррегулярную структуру.

Статья состоит из семи частей, включая *Введение* и *Заключение*. Во второй части приводятся данные из обзора Sloan Digital Sky Survey

(SDSS), соответствующие релизу DR7 [8], которые служат своего рода морфологическим ориентиром для дальнейшего анализа. Информация по выполнению наблюдений составляет основное содержание третьей и четвертой частей. В пятой части приводятся результаты анализа карты интенсивности  $H\alpha$ -излучения - показано наличие девяти HII-областей, приводятся их характеристики. Анализ данных по излучению в запрещенных дублетах низкой ионизации азота [NII]  $\lambda\lambda 6548, 6583$  и серы [SII]  $\lambda\lambda 6716, 6731$  приводится в предшествующей заключению шестой части.

В последующей работе мы планируем рассмотреть особенности кинематики ионизованного газа в этой галактике.

2. *Морфологические особенности SBS1202+583, согласно SDSS.* Галактика SBS1202+583 (альтернативно UGC 07070 NED02, VV270ab и др.) была включена в списки Второго бюраканского обзора как двойной объект, по наличию только эмиссионных линий, т.е. без признаков ультрафиолетового избытка. Ее основные характеристики: диаметр, видимая и абсолютная величина в полосе  $B$ , расстояние при расчетах со значением постоянной Хаббла  $H_0 = 73$  км/с/Мпк и проецируемый при этом масштаб, согласно данным из NED [9] и LEDA [10] имеют значения  $1'.1 \times 0'.7, 15^m.53, -17^m.93, 37.2$  Мпк, 180 пк/угл. с, соответственно.

На оптических снимках галактика имеет иррегулярную структуру, состоящую из отдельных конденсаций, что видно, в частности, на полученных

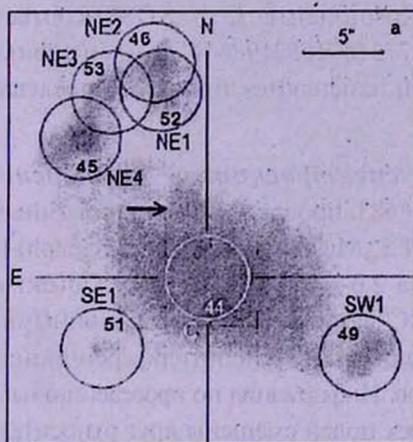


Рис.1. Из архива SDSS: а) суммарное по пяти фильтрам изображение SBS1202+583 с указанием обозначений принятых нами для SDSS-компонент и две последние цифры, которыми отличаются их идентификационные номера. В случае С полный номер - 587731891652198444. б) Спектр центральной конденсации С и фрагмент SDSS изображения с центральной компонентой С, в другой шкале интенсивностей.

<sup>1</sup> На всех изображениях, приведенных ниже в статье, как и на рис.1а, север наверху, восток-слева.

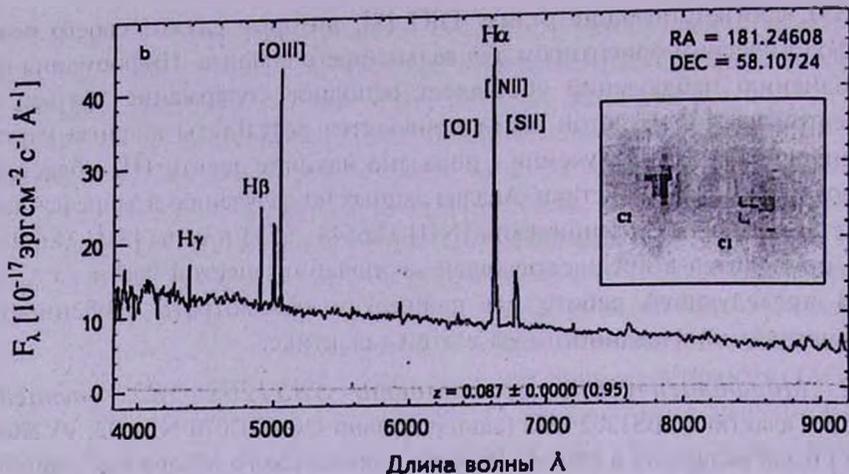


Рис.1. Продолжение.

в SDSS DR7 изображениях (рис.1а<sup>1</sup>). Самая крупная из семи сравнительно ярких конденсаций, условно, центральная, на рисунке обозначена "С", названия остальных связаны с тем в каком из квадрантов относительно С они расположены. Все семь являются фотометрическими объектами SDSS, идентифицированными по координатам, которым соответствуют центры показанных на рис.1а окружностей. В статье они фигурируют как SDSS-компоненты. Компоненте С в SDSS соответствует идентификационный номер 587731891652198444, в идентификационных номерах остальных конденсаций изменяются только две последние цифры, которые указаны на рис.1а.

**3. Панорамная спектроскопия: наблюдения и обработка.** Наблюдения SBS1202+583 проводились с панорамными спектрографами первичного фокуса MPFS (Multipule Fiber Spectrograph) [11] на 6-м телескопе CAO и "VAGR" [12] на 2.6-м телескопе БАО. Объект наблюдался дважды с MPFS, с разными ПЗС-матрицами и дифракционными решетками, дважды с "VAGR" - использовались широкие интерференционные фильтры разных спектральных диапазонов. Информация по проведению наблюдений приводится в табл.1. Центры четырех полей смещены друг относительно друга, при этом все они включают SDSS-компоненту С. О наличии в каждом из полей SDSS-компонент, показанных на рис.1а, можно судить по рис.2.

Первичная обработка наблюдений с MPFS, состоящая из стандартного набора процедур, включая калибровку по длинам волн и потокам, и, частично, визуализация и анализ данных проводились с использованием программ, написанных на языке IDL (краткое описание см. к примеру в [13]). Для визуализации, анализа и иллюстрации данных, полученных с обоими спектрографами использовался программный пакет ADHOCw [14]. Он же

использовался для первичной обработки данных, полученных со спектрографом VAGR. Калибровка данных по потокам при этом не проводилась из-за отсутствия наблюдений спектрофотометрического стандарта. Параметры линий определялись на основании гаусс-аппроксимации спектральных профилей.

Таблица 1

ДЕТАЛИ ПРОВЕДЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ SBS 1202+583

Телескоп (обсерватория)	ЗТА 2.6-м (БАО)		БТА 6-м (САО)	
Спектрограф	VAGR		MPFS	
ПЗС матрица, число элементов	Lick 2063 x 2058		Tektronix 1024 x 1024	EEV 40-42 2048 x 2048
Размер поля (угл.с)	$D \approx 36$		15 x 16	16 x 16
Дискретизация(угл.с)	0.9		1	1
Дифр. решетка (штрих/мм)	600		1200	1200
Дисперсия ( $\text{\AA}$ /элемент)	2.1		1.35	0.76
Дата наблюдений	21 VI 2004	15 XII 2005	14 V 2002	04 XII 2007
Качество изображений	2".5	3"	1".7	1".9
Спектр. диапазон ( $\text{\AA}$ )	6400-6800	4900-5200	6000-7300	6300-7800
Суммарная эксп. (сек)	1800	4800	1800	3600
Спектрофотометр. стандарт	-	-	BD+75d325	GRW+70d5824

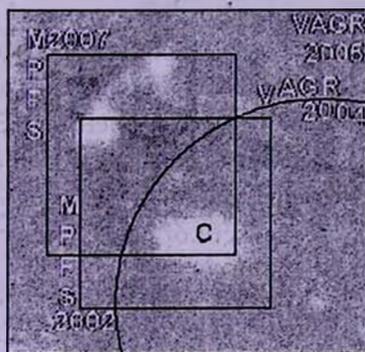


Рис.2. Суммированное по пяти фильтрам изображение SBS 1202+583, полученное в SDSS, с указанием всего поля при наших наблюдениях с MPFS - внутренние прямоугольники, и информативной части поля при наблюдениях с VAGR - внешний прямоугольник и часть круга.

4. Результаты наблюдений со спектрографом VAGR в 2005.

Все семь SDSS компонент (рис.2) есть лишь в поле, которое наблюдалось со спектрографом VAGR в 2005г. В спектральный диапазон из ярких эмиссионных линий попал только запрещенный дублет кислорода [OIII]  $\lambda\lambda 5007, 4959$ , т.е. небулярная линия N1 и, по самому краю диапазона, N2. На рис.3а, б, с показаны карты излучения по данным VAGR 2005 в полном диапазоне фильтра, в небольшом отрезке непрерывного спектра

и в небулярной линии  $\text{N I}$ , соответственно. На них выделен тот же участок неба, что и на рис. 1а, с которым рис. 3а легко отождествляется. Распределение интенсивности излучения в континууме, рис. 3б, имеет единственный пик<sup>2</sup>.

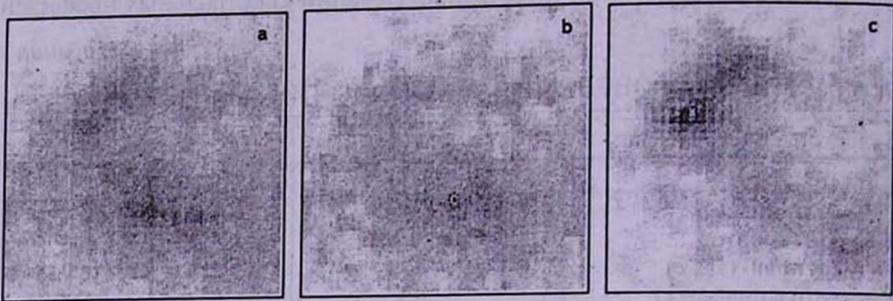


Рис.3. Полученное со спектрографом VAGR в 2005г. распределение интенсивности излучения: а) суммарной по всему спектральному диапазону фильтра; б) суммарной по отрезку континуума 5080Å - 5110Å, пику которого соответствует элемент матрицы "с"; в) в линии кислорода [OIII]  $\lambda 5007$ . Размер поля - 30" x 30".

Он находится в пределах центральной компоненты - соответствующий ему элемент матрицы на рис.3б и 3с указан буквой "с".

Самая слабая из SDSS компонент, SE1, в поле не выделяется. Наиболее же интенсивно в небулярном дублете линий излучают северо-восточные компоненты NE4 и NE2, рис.3с. При этом наибольшая в поле интенсивность излучения, регистрируемая в пике компоненты NE4, который на рис.3с отмечен крестиком, почти вдвое превышает интенсивность излучения в пике компоненты NE2. У обеих компонент максимум достигается плавным повышением значений интенсивности от периферии к центру, что исключает случайность положения пиков.

**5. Излучение в рекомбинационных линиях. Области HII.** Звездообразовательная активность галактик обусловлена наличием в них очагов звездообразования, которые ассоциируются, в первую очередь, с областями ионизованного водорода - областями HII. Наиболее выраженным свойством HII-областей в оптическом диапазоне является излучение в бальмеровской линии водорода  $\text{H}\alpha$ .

Излучение исследуемой галактики в линии  $\text{H}\alpha$  присутствует в трех из зарегистрированных спектральных диапазонов, при наблюдениях с MPFS 2007, MPFS 2002 и с VAGR 2004 (табл.1). Двухмерные распределения интенсивности  $\text{H}\alpha$ -излучения, полученные по этим данным, показаны фоном на рис.4а, 4б и 5, соответственно. С их использованием в трех

<sup>2</sup> Под пиком интенсивности здесь и далее подразумевается элемент матрицы, в котором достигается максимальное значение.

частично перекрывающихся полях было выявлено девять областей ионизованного водорода, что позволяет охарактеризовать исследуемый объект, как комплекс областей НII. Шесть из девяти областей НII идентифицируются с SDSS-компонентами.

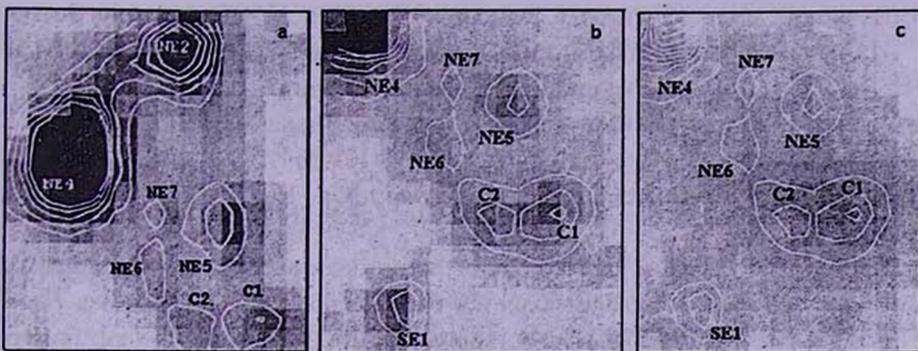


Рис.4. Полученные с MPFS карты интенсивности излучения: а) - по данным 2007; б) и с) - по данным 2002. Изолинии<sup>1</sup> на а), б), с) проведены в соответствии с излучением в линии H $\alpha$ . Фоном на а) и б) показано распределение излучения в линии H $\alpha$ , на с) - в непрерывном участке спектра 6700Å - 6715Å.

Для трех, не ассоциируемых с SDSS-компонентами НII-областей, приняты обозначения NE5, NE6, NE7, - они расположены северо-восточнее центральной компоненты С. Все три хорошо видны на картах интенсивности H $\alpha$ , полученных с MPFS, рис.4а, 4б. Различаются они и в поле VAGR 2004, хотя расположены по самому краю, рис.5б. У NE7 наименьшие из всех девяти размеры. NE5 отчетливо прослеживается и в поле VAGR 2004 и на SDSS изображениях - на рис.1а она указана стрелкой. Обособленность при небольших размерах и округлых очертаниях, и, в первую очередь, наблюдаемость во всех наших полях, делают NE5 удобной для использования в качестве привязки при сравнении данных.

В пределах центральной SDSS-компоненты С наблюдаются две области НII - об этом свидетельствуют все три карты интенсивности H $\alpha$ . Наилучшим образом плавное уменьшение интенсивности от двух наблюдаемых в С локальных пиков иллюстрируют белые изолинии в поле MPFS 2002, где С расположена по центру, рис.4б. Двойная структура С проглядывается и на SDSS изображении (см. соответствующий фрагмент на рис.1б). Западную, более крупную область НII, мы обозначили как С1, а восточную - С2. Карта излучения в континууме, полученная по данным MPFS 2002, рис.4с, подтверждает (см. раздел 4, рис.3б) наличие единственного пика в данном

<sup>1</sup> Здесь и далее на картах, если отдельно не уточняется, изолинии отображают неполный диапазон интенсивностей, а фоновые потемнения - полный, при этом более темные градации соответствует большей интенсивности.

распределении и позволяет уточнить, что он расположен в C1, совпадая с пиком H $\alpha$  -излучения C1.

Ярче остальных в H $\alpha$  излучают области HII, которые ассоциируются с SDSS-компонентами NE4 и NE2, уже зарекомендовавшие себя в качестве самых ярких по излучению в небулярной линии N1 (разд.4, рис.3с).

Из рекомбинационных линий, кроме H $\alpha$ , только в спектрах NE4 и NE2 наблюдается линия однократно ионизованного гелия, HeII  $\lambda$ 6678. Интенсивность излучения в ней на порядок меньше, чем в H $\alpha$  - в пике NE4 она имеет значение  $I(\text{He})_{\text{maxNE4}} = 4.34 \times 10^{-12}$  эрг/см<sup>2</sup>с, а в пике NE2 вдвое меньше. Об интенсивности излучения в H $\alpha$  можно судить по данным табл.2.

Данные MPFS 2007, точность измерений которых выше, чем данных VAGR, в поле которого наблюдается больше областей HII, чем в поле MPFS 2002 и VAGR 2004, предоставляют нам однородную информацию о всех перечисленных выше семи HII-областях. Среди них экстремальные и по размерам и по яркости, из всех наблюдавшихся нами, HII-области.

Таблица 2

### СРАВНИТЕЛЬНЫЕ И АБСОЛЮТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ HII-ОБЛАСТЕЙ ПО ДАННЫМ MPFS 2007

	NE4	NE2	C1	C2	NE5	NE6	NE7
$I(\text{H}\alpha)_{\text{max}} 10^{-16}$ (эрг/см <sup>2</sup> с)	23.34	11.33	3.61	2.81	4.56	2.53	2.69
$V_r(\text{H}\alpha)_{\text{max}}$ (км/с)	2556	2554	2529	2544	2548	2554	2555
$R_{\text{eq}}$ (пк)	460	325	166	145	237	168	84
$F(\text{H}\alpha) 10^{40}$ (эрг/с)	14.8	9.36	5.06	4.56	5.65	4.33	4.67
SFR(H $\alpha$ ) ( $M_{\odot}$ /год)	1.17	0.74	0.40	0.36	0.45	0.34	0.37
$I([\text{NII}]\lambda 6583)_{\text{max}} 10^{-16}$ (эрг/см <sup>2</sup> с)	0.99	0.34	0.51	0.68	0.35	0.45	0.26
$I([\text{SII}]\lambda 6716)_{\text{max}} 10^{-16}$ (эрг/см <sup>2</sup> с)	1.45	0.64	0.62	0.53	0.34	0.40	0.18
$I([\text{ArIII}]\lambda 7136)_{\text{max}} 10^{-16}$ (эрг/см <sup>2</sup> с)	0.75	0.46	-	-	-	-	-

Соответственно, диапазоном изменения некоторых параметров можно характеризовать весь наблюдаемый комплекс в целом. Следует отметить, что для областей C1 и C2 приведены нижние оценки, так как около 20-30% их площади срезается полем MPFS 2007, как показывает сравнение с полем MPFS 2002.

По данным MPFS 2007 для семи HII-областей в верхних пяти строках табл.2 приводятся значения параметров, связанных с излучением в H $\alpha$ . Это, сверху поочередно: - интенсивность H $\alpha$  -излучения в пике,  $I(\text{H}\alpha)_{\text{max}}$ ; - гелиоцентрическая лучевая скорость, определенная по линии H $\alpha$  в том же элементе матрицы,  $V_r(\text{H}\alpha)_{\text{max}}$ ; - эквивалентный радиус HII-области, оцененный по формуле  $R_{\text{eq}} = (S/\pi)^{0.5}$ ; - интегральный поток излучения,  $F(\text{H}\alpha)$ ; - темп звездообразования SFR(H $\alpha$ ), рассчитанный по H $\alpha$  -

светимости согласно соотношению  $SFR(H\alpha) (M_{\odot}/\text{год}) = 7.9 \times 10^{-42} L (H\alpha)$  [15]. Площадь излучающей поверхности  $S$  определялась числом элементов матрицы, в которых интенсивность превышает пороговое значение  $I(H\alpha)_{\text{thresh}}$ . Оно, в свою очередь, для каждой из HII-областей определялось отдельно, как правило, соотношением  $I(H\alpha)_{\text{thresh}} = 0.1 \times I(H\alpha)_{\text{max}}$ .

Из таблицы, в частности, следует, что темп звездообразования отдельных HII-областей меняется в диапазоне, от наименьшего значения  $0.34 M_{\odot}/\text{год}$  у NE6 до наибольшего  $1.2 M_{\odot}/\text{год}$  у NE4. Диапазон остальных параметров, кроме  $V_r$ , определяется значениями, полученными для HII-областей NE7 и NE4.

Промежуточными значениями параметров характеризуются две HII-области, которых нет в поле MPFS 2007. Одна из них ассоциируется с SDSS-компонентой SE1, рис.4b, вторая - с SW1, рис.5. Обе расположены южнее центральной компоненты, и при том, что в проекции на небесную сферу это ее ближайшие соседи, обе, в сравнении с остальными HII-областями, выглядят более изолированными.

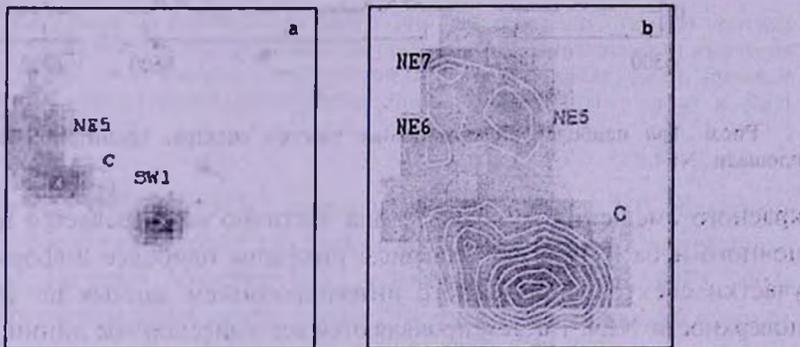


Рис.5. Распределение  $H\alpha$ -излучения, фон и изолиниями, по данным VAGR 2004, охватывающее на а) все поле, на б) северо-восточную часть поля (в увеличенном масштабе).

По своим параметрам SE1 сравнима с NE5. Это, не только форма, но и величина интенсивности в пике, и эквивалентный радиус, значения которых примерно в 1.2 раза больше, чем у NE5, если судить по данным MPFS 2002.

HII-область SW1 наблюдается в центральной части поля VAGR 2004, рис.5a. Пик излучения в континууме совпадает с локальным пиком  $H\alpha$ -излучения C1 - он обозначен "с". Интенсивность в  $H\alpha$  в пике SW1 примерно та же, что в пике C1 - в 1.2 раз больше, и в 1.7 раз больше, чем в пике NE5. Следует учесть, при этом, что ближе к краям поля, где расположены C и NE5 ошибки больше, чем в центре поля, где расположена SW1.

6. Излучение HII-областей в запрещенных линиях по данным MPFS 2007. В зарегистрированном с MPFS 2007 спектральном диапазоне (табл.2) наблюдаются линии дублетов однократно ионизованных азота

[NII]  $\lambda\lambda 6548$ ,  $6583$  и серы [SII]  $\lambda\lambda 6716$ ,  $6731$  и дважды ионизованного аргона [ArIII]  $\lambda 7136$ . Линия [NII]  $\lambda 6548$  слабая и в большинстве спектров не превышает порог шумовой дорожки континуума в  $3\sigma$ . В линии нейтрального кислорода [OI]  $\lambda 6300$  картина примерно такая же, хотя здесь возникают проблемы с корректным вычитанием фона, так как из-за

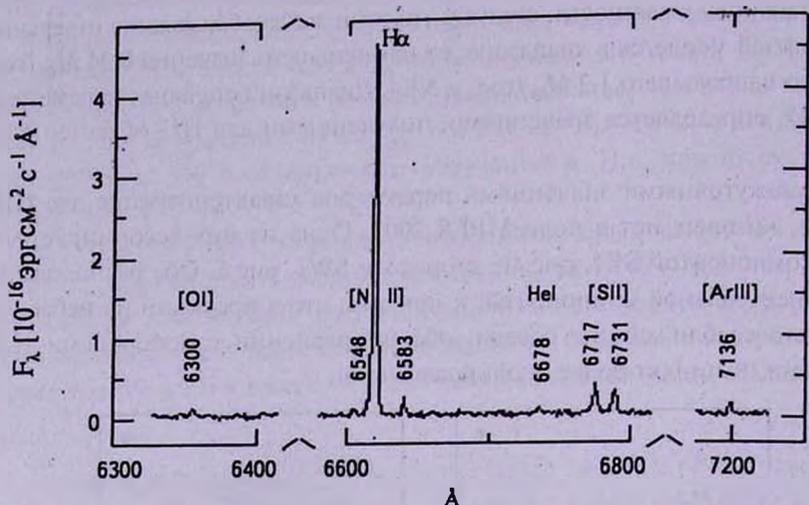


Рис.6. Три наиболее информативные участки спектра, проинтегрированного по площади NE4.

красного смещения  $z \approx 0.0087$ , она частично накладывается на линию ночного неба [OI]  $\lambda 6363$ . На рис.6 показаны наиболее информативные участки спектра, полученного интегрированием данных по элементам поверхности NE4. На нем проявляются все эмиссионные линии, включая две слабые из запрещенных и рекомбинационную He I  $\lambda 6678$ .

Распределения интенсивностей в линии азота [NII]  $\lambda 6583$  и в сумме линий дублета серы [SII]  $\lambda\lambda 6716$ ,  $6731$  показаны, соответственно, на рис.7а и 7б, светлыми контурами. Сравнение этих распределений с распределением в  $H\alpha$ , - показанном на обоих рисунках темными контурами, помогает увидеть некоторые отличия, наиболее очевидные в пределах NE4. Интенсивность излучения в пиках семи HII-областей в трех запрещенных линиях  $I([NII]\lambda 6583)_{max}$ ,  $I([SII]\lambda 6716)_{max}$ ,  $I([ArIII]\lambda 7136)_{max}$  приводится в нижних строках табл.2.

Использование отношений интенсивностей запрещенных линий к разрешенным (далее  $R_p^f$ ) в качестве критериев при определении типа активности галактик, общепринято (см. [16] и ссылки в ней). Основное место отношения  $R_p^f$  занимают и в нашей классификационной схеме [5], разработанной для однородной обработки спектрального материала, в первую очередь, для разделения галактик с ядерной (AGN), или звездообразовательной (SfG)

активностью, даже в случаях когда эти признаки слабо выражены. При изучении SFG галактик нас, в частности, интересует диапазон значений  $R_p^f$ , определяемый, в первую очередь, химическим составом отдельных HII-областей.

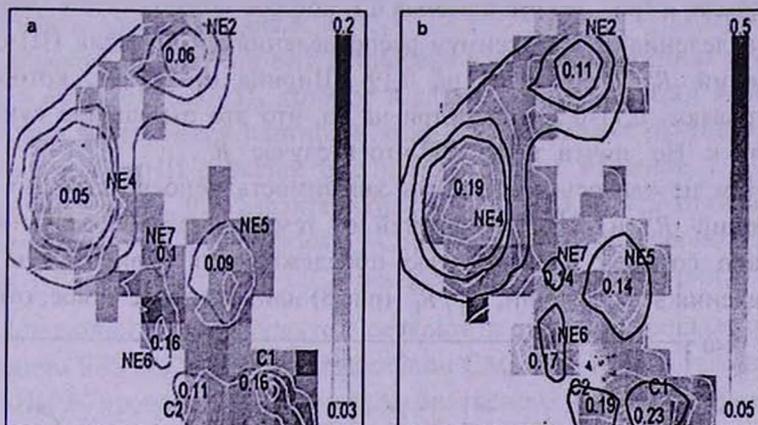


Рис.7. Полученные по наблюдениям MPFS 2007 распределения: Темные контуры соответствуют интенсивности H $\alpha$  -излучения, светлые контуры - интенсивности излучения в линии [NII]  $\lambda$ 6583 на а) и сумме линий дублета [NII] ( $\lambda$ 6716 +  $\lambda$ 6731) на б), градации серого и числа соответствуют отношениям линий [NII] $\lambda$ 6583/H $\alpha$  на а) и [NII] ( $\lambda$ 6716 +  $\lambda$ 6731)/H $\alpha$  на б).

Исследуемая SBS1202+583 с хорошо выделяющимися HII-областями наилучшим образом подходит для этой цели. Однородность спектральной информации по семи областям HII, наблюдаемым в поле MPFS 2007, позволяет проанализировать распределение отношения интенсивности в линии [NII]  $\lambda$ 6583 и в сумме линий дублета [NII]  $\lambda$ 6716, 6731 к интенсивности в H $\alpha$ , для которых принято обозначение  $R_1^f = [NII]\lambda 6583/H\alpha$  и  $R_2^f = [NII](\lambda 6716 + \lambda 6731)/H\alpha$ . На рис.7а и 7б, соответственно, градациями серого показано распределение по полю MPFS 2007 значений  $R_1^f$  и  $R_2^f$ , шкалой - диапазон их изменения, а указанные на рисунках числа получены усреднением по каждой из HII-областей. Эти же значения приводятся в

Таблица 3

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ HII-ОБЛАСТЕЙ ПО ДАННЫМ MPFS 2007

	NE4	NE2	C1	C2	NE5	NE6	NE7
$I_{\varphi}(H\alpha)10^{-16}$ (эрг/см $^2$ с)	85.3	54.0	29.8	26.4	32.8	25.0	26.9
$R_1^f$	0.05	0.06	0.16	0.11	0.09	0.16	0.10
$R_2^f$	0.09	0.09	0.14	0.09	0.10	0.09	0.07
$I_{\varphi}(6583)/I_{\varphi}(6716+6731)$	0.26	0.55	0.70	0.58	0.64	0.94	0.71

табл.3 вслед за аналогично усредненными значениями интенсивности излучения в линии  $H\alpha$ .

Средние для HII-областей значения  $R_1^1$  распределены между значениями 0.05-0.16, неравномерно, сгруппированные по два в начале и в конце интервала, и три - вокруг значения 0.1, которое можно считать максимумом распределения  $R_1^1$ . Максимум распределения средних для HII-областей значений  $R_2^2$  приходится на 0.19. Ширина интервала, который они охватывают, 0.11-0.23, несмотря на то, что это отношение суммы двух линий к  $H\alpha$  почти такое же, что в случае  $R_1^1$ .

Нам не удалось обнаружить зависимость непосредственно средних значений  $R_1^1$  и  $R_2^2$  HII-областей от темпов звездообразования, SFR. Однако со всей очевидностью прослеживается зависимость от SFR отношения этих величин,  $R_1^1/R_2^2$  (рис.8) или, что то же самое, отношения

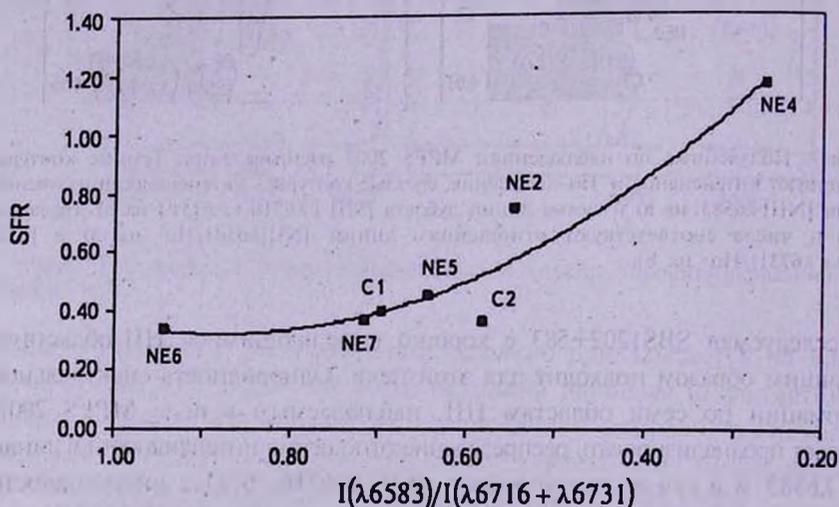


Рис.8. График зависимости отношения средних по HII-областям интенсивностей в линии [NII]  $\lambda 6583$  и сумме линий [SII]  $\lambda\lambda 6716, 6731$ , отложенных по абсциссе, от темпа звездообразования SFR ( $H\alpha$ ) значения которой в единицах ( $M_{\odot}/\text{год}$ ) отложены по ординате.

средних по HII-областям интенсивностей излучения в линии [NII]  $\lambda 6583$  к сумме линий [SII]  $\lambda\lambda 6716, 6731$ . Можно ли будет распространить эту зависимость на области HII, входящие в состав других галактик, используя ее в качестве диагностической, для предварительной оценки темпов звездообразования, покажут наши дальнейшие исследования.

Полученная зависимость интерпретируется как уменьшение значения  $I(\lambda 6583) / I(\lambda 6716 + \lambda 6731)$  с ростом темпов звездообразования SFR отдельных областей HII. С большей вероятностью можно утверждать, что при темпах звездообразования  $SFR < 0.5 M_{\odot}$  над излучением в запрещенных линиях

дублета [SII]  $\lambda\lambda 6716, 6731$  преобладает излучение в запрещенной линии однократно ионизованного азота [NII]  $\lambda 6583$ .

Отметим также, что излучение в запрещенной линии [ArIII]  $\lambda 7136$  регистрируется только от HII- областей NE4 и NE2, расположенных в верхней части кривой на рис.8.

Что касается отношения интенсивности излучения в линиях дублета серы  $n_e = I(\lambda 6716)/I(\lambda 6731)$ , которое в случае фотоионизации является индикатором электронной плотности, если она превышает  $80 - 100 \text{ см}^{-3}$ , то для большинства HII-областей оно имеет среднее значение 1.2. Чуть меньшим значением, 0.9, характеризуется NE7. NE4 и NE2 отличаются несколько большими значениями  $n_e$ . Среднее для NE2 примерно 1.5, а в пределах NE4 оно растет от 1.2 в центре до 1.6 по периферии.

7. *Заключение.* Приводятся результаты 3D-спектроскопии по наблюдениям SBS 1202+583 с 6-м телескопом CAO РАН и 2.6-м телескопом БАО НАН РА, проводимым в рамках комплексного изучения избранной из SBS-выборки галактик. С использованием панорамных спектрографов MPFS и VAGR получены данные по четырем перекрывающимся полям, что позволило, в частности, проанализировать распределения по полю излучения SBS 1202+583 в наиболее интенсивных рекомбинационных и запрещенных линиях, регистрируемых в диапазонах 490-520, 600-780 нм. В первую очередь по распределению интенсивности H $\alpha$ -эмиссии были выделены девять HII-областей, свойства которых далее исследовались по отдельности. Шесть из них ассоциируются с фотометрическими объектами из SDSS. Распределение излучения в континууме показало наличие единственного пика интенсивности, что позволяет охарактеризовать исследуемый объект, как единый комплекс HII-областей.

Наличие в одном из полей, MPFS 2007, семи из HII-областей, среди которых, к тому же, экстремальные по яркости и размерам, обеспечив однородность информации, позволяет оценить диапазон изменения некоторых характеристик исследуемых областей HII. В частности, эквивалентные радиусы HII-областей ( $R_{\text{eq}}$ ) лежат в интервале 84 - 460 пк, а темпы звездообразования (SFR), рассчитанные по светимости в H $\alpha$ , - в интервале  $0.3 - 1.2 M_{\odot}/\text{год}$ . Анализ излучения газов в запрещенных линиях низкой ионизации выявил зависимость отношения интенсивности излучения в линии ионизованного азота [NII]  $\lambda 6583$  к сумме линий [SII]  $\lambda\lambda 6716, 6731$  от темпов звездообразования SFR. К интерпретации этой зависимости, которая может быть связана и со стратификацией газов и с химическим составом вспышек сверхновых и с рядом других причин, будет правильнее вернуться по накоплению новых данных.

Работа частично основана на наблюдательном материале, полученном на 6-м телескопе CAO РАН.

Реализация цифрового обзора неба Sloan Digital Sky Survey обеспечивается финансированием Фонда Альфреда Слоана, при участии тринадцати Институтов, управляемых Консорциумом Астрофизических Исследований, Администрацией Национальной Аэронавтики и Космоса, Фондом Национальной Науки, Министерством Энергии США, Японским Монбукагакушо и Обществом Макс Планк. Официальный сайт - <http://www.sdss.org/>.

<sup>1</sup> Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения, e-mail : [susannahakopian@yahoo.com](mailto:susannahakopian@yahoo.com)

<sup>2</sup> Специальная астрофизическая обсерватория, Россия

## PANORAMIC SPECTROSCOPY OF GALAXIES WITH STAR FORMATION REGIONS. STUDY OF SBS 1202+583

S.A.HAKOPIAN<sup>1</sup>, S.K.BALAYAN<sup>1</sup>, S.N.DODONOV<sup>2</sup>, A.V.MOISEEV<sup>2</sup>,  
A.A.SMIRNOVA<sup>2</sup>

With the help of methods of integral field spectroscopy we carried out a detailed investigation of starformation galaxies, extracted from the objects of the seven selected fields of the Second Byurakan survey (SBS). The paper is about irregular galaxy SBS 1202+583, activity of which, according to our classification scheme, corresponds to the continuous phase of star formation. The observations were made with panoramic spectrographs MPFS at the 6-m telescope of SAO RAS and VAGR at the 2.6-m telescope of the BAO, Armenia. Based on these data the two dimensional maps of radiation in continuum and the various emission lines were obtained. Analysis is focused mainly on recombination radiation in hydrogen line  $H\alpha$  and forbidden low ionization doublets of nitrogen [NII]  $\lambda\lambda 6548, 6583$  and sulfur [SII]  $\lambda\lambda 6716, 6731$  and the ratios of intensities of forbidden lines to  $H\alpha$ . We study observed characteristics of the found nine HII regions: their size, the flow in the  $H\alpha$ , etc. Evaluation of the current starformation rate (SFR) for these HII regions, according to their radiation in  $H\alpha$  gives the range 0.3 - 1.2  $M_{\odot}$ /year. The dependence of the ratio [NII] $\lambda 6583$ /[SII] $\lambda\lambda 716, 6731$  determined for the HII regions versus their SFR is detected.

Key words: *3D-spectroscopy:  $H\alpha$  -radiation:HII regions - individual: SBS 1202-583*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Б.Е.Маркарян, Дж.А.Степанян*, *Астрофизика*, 19, 639, 1983.
2. *С.А.Акопян*, Канд. диссертация, Ереван, 2002
3. *С.А.Акопян, С.К.Балаян*, *Астрофизика*, 45, 329, 2002.
4. *С.А.Накопян, С.К.Балаян*, *Proceedings of IAU Symposium 194: Active Galactic Nuclei and Related Phenomena*, held 17-21 Aug. 1998, in Yerevan, Armenia. Eds.Y.Terzian, E.Khachikian and D.Weedman, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 162, 1999.
5. *С.А.Акопян, С.К.Балаян*, *Астрофизика*, 47, 443, 2004
6. *R.Terlevich*, *Rev. Mex. Astron. Astrofis. Ser. Conf.*, 6, 1, 1997.
7. *С.А.Акопян, С.К.Балаян, С.Н.Додонов, Т.А.Мовсисян*, *Астрофизика*, 49, 511, 2006.
8. <http://www.sdss.org/>
9. <http://nedwww.ipac.caltech.edu/>
10. <http://leda.univ-lyon1.fr/>
11. *V.L.Afanasyev, S.N.Dodonov, A.V.Moiseev*, in "Stellar Dynamics: From Classic to Modern", (Eds L.P.Ossipkov and I.I.Nikiforov), St. Petersburg: Sobolev Astronomical Institute, 103, 2001.
12. *Т.А.Мовсисян, Ж.-Л.Гаш, Ж.Булестеиш, Ф.Зхамкоциан*, *Baltic Astronomy*, 9, 518, 2000.
13. *А.А.Смирнова, А.В.Моисеев, В.Л.Афанасьев*, *Письма в Астрон. ж.*, 32, 577, 2006.
14. <http://www-obs.cnrs.fr./ADHOC>
15. *R.C.J.Kennicutt, P.Tamblyn, C.E.Congdon*, *Astrophys. J.*, 435, 22, 1994.
16. *S.Veilleux, D.E.Osterbrock*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 63, 295, 1987.