

УДК 524.7-732; 524.8

## ПОВЫШЕННАЯ ПЛОТНОСТЬ ГАЛАКТИК ПОЛЯ ВОЗЛЕ КРАСНОГО СМЕЩЕНИЯ $z \sim 0.56$ В НАПРАВЛЕНИИ НА ГАММА-ВСПЛЕСК GRB 021004

© 2018 И. В. Соколов<sup>1\*</sup>, А.-Х. Кастро-Тирадо<sup>2</sup>, О. П. Желенкова<sup>3,4</sup>,  
И. А. Соловьев<sup>5</sup>, О. В. Верходанов<sup>3</sup>, В. В. Соколов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

<sup>2</sup>Отделение звездной физики, Институт астрофизики Андалусии, Гранада, 18080 Испания

<sup>3</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

<sup>4</sup>Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101 Россия

<sup>5</sup>Астрономическое отделение, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 199034 Россия

Поступила в редакцию 22 июня 2017 года; принята в печать 24 апреля 2018 года

Мы проверили по разным признакам достоверность кластеризации галактик поля в направлении на гамма-всплеск GRB 021004. Первым признаком является полученное по наблюдениям на 6-метровом телескопе Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук распределение фотометрических красных смещений галактик в поле GRB 021004, определенных по многоцветной фотометрии, с пиком около  $z \sim 0.56$  в направлении на этот гамма-всплеск. Вторым признаком оказался абсорбционный дублет Mg II 2796, 2803 Å на  $z \approx 0.56$ , обнаруженный в VLT/UVES-спектрах, полученных для послесвечения GRB 021004. Третий признак — это кластеризация галактик в большей области (порядка  $3^\circ \times 3^\circ$ ) вокруг GRB 021004 с эффективным пиком около  $z \sim 0.56$  по распределениям и спектральным, и фотометрическим красным смещениям, взятых из нескольких каталогов скоплений на основе Sloan Digital Sky Survey (SDSS) и Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) как части SDSS-III. По данным этих каталогов размер всей неоднородности в распределении скопления галактик с пиком  $z \approx 0.56$  был оценен как  $6^\circ$ – $8^\circ$  или 140–190 Мпс. Возможная неоднородность (скопление галактик) около направления на GRB 021004 также может подтверждаться неоднородностью космического микроволнового фона, связанной с эффектом Сюняева–Зельдовича.

Ключевые слова: космология: наблюдения — крупномасштабная структура Вселенной — галактики: расстояние и красное смещение — гамма-всплески: индивидуальные: GRB 021004

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Основной мотивацией к выполнению данной работы стало появление новых исследований сверхскоплений «великих стен» (Great Walls) в порядке возрастания красного смещения  $z$ :

- В статье [1] речь идет о сверхскоплениях в диапазоне красных смещений  $0.04 < z < 0.12$ . Авторы исследуют, насколько необычными являются сверхскопление Шепли (Shapley Supercluster) с  $z = 0.046$  и Великая стена Слоуна (Sloan Great Wall), рассматривая последнюю как комплекс сверхскоплений с коллапсирующим ядром [2]. В этих статьях подробно

изучается распределение групп галактик этого комплекса на небесной плоскости.

- Сверхскопления Великая стена BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopic Survey of the Sloan Digital Sky Survey) в диапазоне красных смещений  $0.43 < z < 0.71$  были исследованы в статье [3], где речь идет об открытии системы массивных сверхскоплений на  $z \sim 0.47$ . BOSS Great Wall состоит из двух стен размерами 186 и 173 Мпк и двух других больших сверхскоплений с диаметрами около 64 и 91 Мпк. Этот комплекс включает 830 галактик со средним красным смещением  $z = 0.47$  и полной массой  $\sim 2 \times 10^{17} M_\odot$ . Авторы подчеркивают, что мор-

\*E-mail: sok334455@mail.ru

фология сверхскоплений в системе BOSS Great Wall похожа на морфологию сверхскоплений в Sloan Great Wall.

- Работа [4] посвящена громадной группе квазаров (Huge Large Quasar Group, Huge-LQG) на  $z \sim 1.3$ . Было исследовано распределение по небу 73 квазаров ( $z = 1.27$ ) скопления Huge-LQG вместе с распределением 34 квазаров скопления Clowes-Campusano LQG (CCLQG) с  $z = 1.28$  [5]. Huge-LQG — это область размерами  $29^\circ 5' \times 24^\circ 0'$ . Члены этой группы связаны на масштабе 100 Мпс.
- Здесь нужно сказать также о гигантской кольцеобразной структуре на красном смещении  $0.78 < z < 0.86$ , которую выявили гамма-всплески, о чем идет речь в статье [6]. Повидимому, это указывает на присутствие некоторого реального увеличения плотности на расстоянии около 2800 Мпс. Возможная структура в распределении гамма-всплесков по небу обсуждается также в работе [7]. Эта огромная структура из гамма-всплесков находится в десять раз дальше, чем сверхскопление Sloan Great Wall, на расстоянии примерно в десять миллиардов световых лет. Размер структуры, определенной по этим гамма-всплескам, равен 2000–3000 Мпс, что в шесть раз больше, чем размер Sloan Great Wall.
- В статье [8] речь идет о статистике сигнала СМВ (Cosmic Microwave Background) по данным миссии Planck в направлении на гамма-всплески из каталогов миссий BATSE и ВерроSAX или о возможной неоднородности (негауссовости) распределения гамма-всплесков по небу. Хотя было доказано, что видимое распределение гамма-всплесков по небу изотропно [9] некоторые исследования указывают на возможную корреляцию с неоднородностью космического микроволнового фона [8], а также сообщалось о кластеризации гамма-всплесков на промежуточных красных смещениях [6]. Кроме того, обсуждалась возможная кластеризация нейтринных сигналов с гамма-всплесками [10].

Объекты с линией поглощения Mg II  $\lambda\lambda 2796, 2798 \text{ \AA}$  в общем диапазоне красных смещений упомянутого скопления Huge-LQG были обнаружены в спектрах фоновых квазаров (с  $z \gtrsim 1.4$ ) с помощью каталога объектов с линией поглощения Mg II, созданного Рагхунатханом и др. [11] в 2016 г. (В статье [12] представлена статистика из обзора промежуточных систем поглощения Mg II по направлению на 100 квазаров с эмиссионными (собственными) красными смещениями между

$z = 3.55$  и  $z = 7.08$ .) Таким образом, применяя метод квазарной спектроскопии, мы основываемся на использовании некоторых хорошо детектируемых скоплениях галактик, попадающих в направление на GRB 021004. И потому спектроскопия послесвечений гамма-всплесков также может выявить промежуточные системы по лучу зрения.

Кластеризация галактик и кластеризация по направлению на гамма-всплески обнаруживаются и исследуются тем же способом, который уже использовался для спектроскопии квазаров во многих статьях (см. [13] и ссылки там), ибо гамма-всплески возникают на космологических расстояниях с выбросом энергии  $10^{51} - 10^{53}$  эрг в диапазоне красных смещений от 0.01 до более чем 9.2. А длинные гамма-всплески являются маяками для галактик со звездообразованием (см. ссылки в [14]) до очень больших красных смещений.

Галактики, порождающие системы линий поглощения в спектрах послесвечений гамма-всплесков, можно наблюдать и исследовать. Так что возможно обнаружить избыточную плотность галактик поля вокруг направления на гамма-всплески разными методами: спектроскопическими, фотометрическими (с использованием глубоких снимков и многоцветной фотометрии), а также поиском корреляции с космическим микроволновым излучением. Для оценки размера этих сверхскоплений галактик в областях возле направления на гамма-всплески можно также использовать данные из новых каталогов скоплений галактик. В частности, в этой статье по всем обнаруженным признакам мы проверили достоверность кластеризации галактик поля по лучу зрения на GRB 021004, а также и в более обширной области вокруг него.

## 2. О НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ И МЕТОДИКЕ ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Наши исследования основываются на наблюдательных данных, полученных на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН. Глубокие снимки полей, представленные в таблице 1, изучались с помощью БТА (до 2002 г.) по программе мониторинга гамма-всплесков, начиная с самых первых оптических отождествлений их послесвечений. Таким образом, все эти наблюдения выполнялись на БТА в ходе поиска и изучения родительских галактик GRB и сравнения их свойств со свойствами всех наблюдаемых галактик в глубоких снимках полей гамма-всплесков. В статьях [15, 16] описывается методика обработки и интерпретации этих наблюдений, которую можно теперь использовать для новых задач по изучению распределения галактических скоплений в направлении на гамма-всплески [13, 17–19].

В частности, для изучения поля GRB 021004 мы использовали методику, которая уже была

**Таблица 1.** Глубокие поля вокруг гамма-всплесков, которые наблюдались на БТА в 1987–2002 гг

GRB	Фильтры	Время экспозиции, с
970508	<i>BVRI</i>	600 × 7, 500 × 4, 600 × 5, 400 × 5
971214	<i>VR</i>	600 × 1, 600 × 1
980613	<i>BVRI</i>	700 × 1, 600 × 1, 600 × 3
980703	<i>BVRI</i>	480 × 1, 320 × 1, 300 × 1, 360 × 1
990123	<i>BVRI</i>	600 × 1, 600 × 1, 600 × 1, 600 × 1
991208	<i>BVRI</i>	300 × 6, 300 × 5, 180 × 7, 180 × 2
000926	<i>BVRI</i>	500 × 5, 300 × 5, 180 × 25, 120 × 15
021004	<i>BVRI</i>	600 × 6, 450 × 13, 180 × 15, 120 × 14

разработана для глубокого *BVRI*-поля гамма-всплеска GRB 000926 (см. таблицу 1), который исследовался на БТА, и результаты были опубликованы в статье [15], где представлены наблюдения поля размером  $3'6 \times 3'$  с центром в родительской галактике гамма-всплеска GRB 000926 RA(J2000) =  $17^{\text{h}}04^{\text{m}}11^{\text{s}}$ , Dec(J2000) =  $+51^{\circ}04'09''.8$  (далее используются обозначения RAJ и DecJ).

Наблюдения были выполнены на БТА с использованием прибора SCORPIO [20]. Каталог галактик, обнаруженных в этом поле, содержит 264 объекта, для которых отношение сигнал-шум больше 5 в каждой фотометрической полосе. Были получены следующие предельные звездные величины:  $26^{\text{m}}6$  (*B*),  $25^{\text{m}}0$  (*V*),  $25^{\text{m}}8$  ( $R_c$ ) и  $24^{\text{m}}5$  ( $I_c$ ). Дифференциальные подсчеты галактик хорошо согласуются с ранее опубликованными наблюдениями глубоких полей. Были получены фотометрические красные смещения для всех объектов каталога и соответствующие вариации цвета галактик как функции красного смещения. В результате для ярких спиральных галактик с  $M_B < 18$  не было обнаружено никакой заметной эволюции их линейного размера до  $z \sim 1$ .

Для исследования глубоких полей из таблицы 1 имеющиеся данные были дополнены наблюдениями, полученными на других инструментах, — для GRB 021004, GRB 970508 и других источников, включая исследование окружения радиоисточника RC J0311+0507 [21].

Как было сказано выше, исследование поля GRB 021004 было частью программы наблюдений гамма-всплесков [15, 16]. Время экспозиции этого поля составило около 1 часа в каждой из оптических полос *BVRI* (см. таблицу 1). Для получения объектов по суммированным *BVRI*-кадрам мы использовали программный пакет SExtractor [22]. Каталог галактик, обнаруженных в этом поле

**Таблица 2.** Фотометрические красные смещения с вероятностью  $R$  оценки  $z$  для семи галактик с известной морфологией (см. рис. 3 и текст)

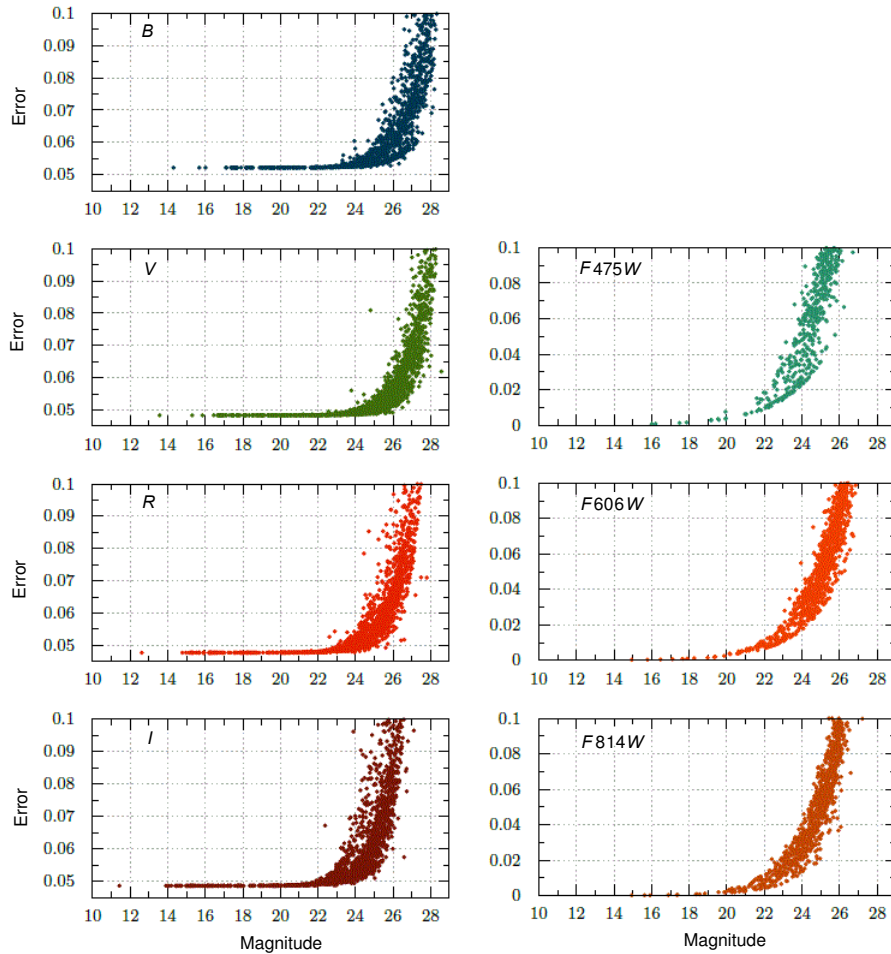
Num	$R$ , mag	$z$	%	Type
227	20.60	0.44	82	S0
311	21.82	0.40	94	Burst
121	21.16	0.42	84	Sa
123	21.41	0.40	98	E
147	21.61	0.44	86	E
314	21.58	0.46	95	Burst
295	20.60	0.41	92	S0

размером  $4' \times 4'$ , содержит 935 объектов, для которых ошибка фотометрии не превосходит  $0^{\text{m}}1$  (см. рис. 1, слева). Таким образом, для этих БТА-наблюдений поля GRB 021004 были достигнуты следующие предельные величины:  $26^{\text{m}}9$  (*B*),  $27^{\text{m}}2$  (*V*),  $26^{\text{m}}0$  ( $R_c$ ) и  $25^{\text{m}}5$  (*I*).

Одна из целей данной работы — понять, что можно получить с помощью 6-метрового телескопа БТА для этих актуальных и трудных задач, дополняя эти исследования данными с других инструментов. Мы также убедились, что наши результаты по глубокой фотометрии согласуются с соответствующими данными HST ACS<sup>1</sup> для поля GRB 021004. На рис. 1 (справа) показаны данные, полученные на камере ASC в оптических полосах *F475W*, *F606W* и *F814W* с ошибкой фотометрии, не превышающей  $0^{\text{m}}1$ , для тех же протяженных объектов, для которых на БТА была выполнена *BVRI*-фотометрия. На рис. 2 показаны кривые пропускания фильтров оптических полос БТА *BVRI*, а также, для сравнения, — полос *F475W*, *F606W*, *F814W* камеры HST ACS. Но мы не использовали прямо данные HST ACS (рис. 1, справа) для оценок фотометрического красного смещения, так как кривые пропускания оптических полос БТА *BVRI* и HST ACS перекрываются. Но главное — это то, что данные HST ACS можно использовать для получения информации о морфологии HST/БТА-объектов (см. далее).

HST-фотометрия протяженных объектов в поле GRB 021004 приводится здесь для сравнения с данными *BVRI*-фотометрии БТА тех же протяженных объектов. В частности, как видно на рис. 1, диаграмма («зв. величина—ошибка») для объектов, полученных для поля GRB 021004 в оптических

<sup>1</sup>Hubble Legacy Archive, <http://hla.stsci.edu/hlaview.html>



**Рис. 1.** Диаграмма «зв. величина—ошибка фотометрии» для объектов, извлеченных из поля GRB 021004. Графики в левой колонке показывают данные  $BVRI$ -полос телескопа БТА. На графиках справа представлены данные из тех же полей, полученные с  $ACS$ -камерой на телескопе HST в оптических полосах  $F475W$ ,  $F606W$  и  $F814W$  (Hubble Legacy Archive, <http://hla.stsci.edu/hlaview.html>).

полосах БТА  $R$ ,  $I$  (слева) и HST ACS  $F606W$ ,  $F814W$  (справа) согласуются удовлетворительно. Это соответствует тому, что кривые пропускания оптических полос, упомянутых выше, близки друг к другу по центральной длине волны, полуширине и максимуму (рис. 2).

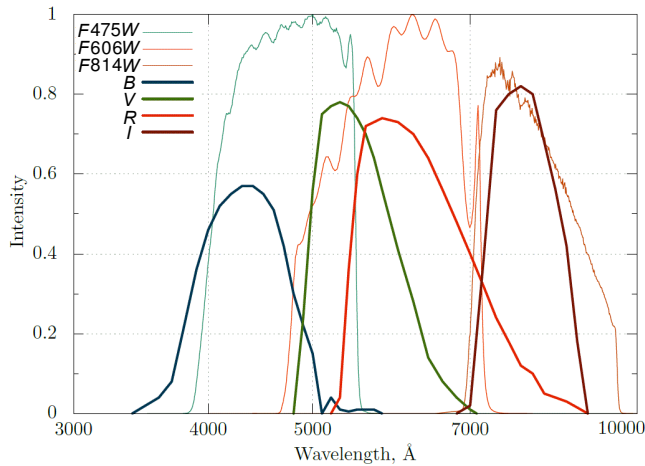
Помимо исследования родительских галактик, быстрая спектроскопия послесвечений гамма-всплесков выявила (в оптике) такие же промежуточные системы поглощения, какие были обнаружены ранее при спектроскопии квазаров. Одна из таких систем — это  $MgII$  ( $\lambda\lambda 2796, 2798 \text{ \AA}$  в системе покоя), которая является сильной, и ее легко обнаружить в спектрах с умеренным отношением сигнал/шум. На основе большой выборки послесвечений гамма-всплесков была обнаружена повышенная (в 2–4 раза) плотность систем сильных линий поглощения на луче зрения [17–19]. Мы использовали эти данные здесь для прямого подтверждения избыточной

плотности галактик поля с пиком на  $z \sim 0.56$  вокруг положения GRB 021004.

Кроме фотометрических и спектральных методов, мы используем данные для скоплений из новых каталогов скоплений галактик, чтобы подтвердить таким образом пик в распределении красного смещения и оценить угловой размер всей неоднородности в распределении скоплений галактик, т.е. сверхскопления с  $z \sim 0.56$ .

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ ГАЛАКТИК ПОЛЯ GRB 021004 И АБСОРБЦИОННЫЙ ДУБЛЕТ $MgII$ 2796, 2803 $\text{\AA}$ НА $z \approx 0.56$ В СПЕКТРЕ ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ GRB 021004

Основная идея фотометрических оценок красного смещения состоит в следующем [23] — многоцветную фотометрию объекта можно рассматривать как спектр очень низкого разрешения (точнее,



**Рис. 2.** Кривые пропускания оптических полос БТА (*BVRI*) и HST ACS (*F475W*, *F606W*, *F814W*).

как распределение энергии в нескольких полосах), что используется для оценки красных смещений сразу многих (до нескольких сотен) объектов.

Мы получили фотометрические красные смещения протяженных объектов нашей БТА-выборки с помощью пакета Hyperz — общедоступной программы для оценки фотометрических красных смещений [24]. Метод основан на наилучшей подгонке шаблонных спектров различных типов галактик, используемых для вычисления фотометрического красного смещения. Шаблонные спектры, использованные в наших вычислениях, были взяты из работы [2].

Входные данные для программы Hyperz были следующие: видимая величина объектов в четырех *BVRI*-полосах, закон внутренней экстинкции, диапазон красных смещений, в котором применялось решение (мы рассматривали красное смещение  $z$  от 0 до 4). Мы использовали закон экстинкции для галактик со звездообразованием из работы Цалзетти и др. [3], который чаще всего применяется для исследований, подобных нашим, как в упомянутой работе [26], где применение метода Hyperz описывается более подробно, и где он был применен для анализа наблюдательных данных БТА.

Для семи ярких галактик ( $R = 20^m6 - 21^m8$ ) в БТА-поле GRB 021004 мы обнаружили, что модели, использующие спектры из [24] и приписанные этим галактикам, хорошо согласуются с данными камеры HST ACS. Последняя выявляет морфологии этих объектов непосредственно благодаря лучшему угловому разрешению изображений HST (см. рис. 3). Таблица 2 содержит оцененную вероятность фотометрического красного смещения  $z \approx 0.4$ , таким образом показывая важность применения шаблонных спектров (или спектрального

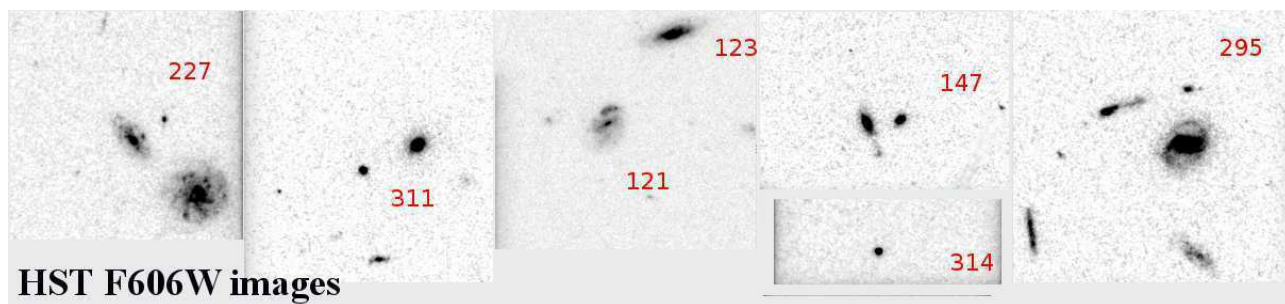
**Таблица 3.** Абсорбционный дублет Mg II 2796, 2803 Å, отождествленный в спектре GRB 021004 в работе [18]

GRB	$z_{\text{GRB}}$	$z_{\text{abs}}$	$W_r(\lambda 2796), \text{Å}$
GRB 021004		0.5550	$0.248 \pm 0.025$
	2.3295	1.3800	$1.637 \pm 0.020$
		1.6026	$1.407 \pm 0.024$

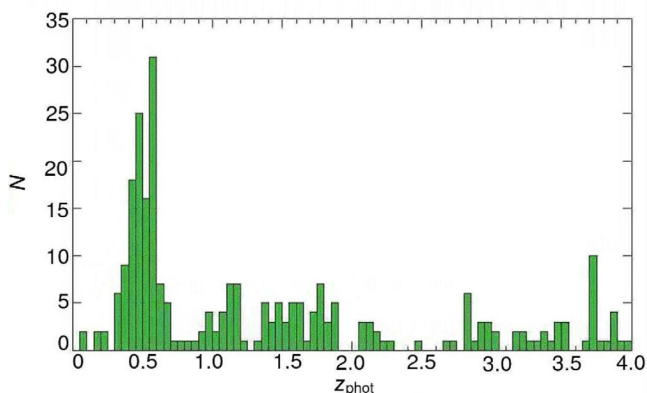
распределения энергии — SED) разных типов галактик, когда морфологию галактик по наблюдениям на БТА для более слабых объектов можно определить только по их спектральному распределению энергии и т.д. (стандартные SED для процедуры подгонки в Hyperz можно взять из <http://webast.ast.obs-mip.fr/hyperz> [24]).

Таким образом, используя БТА-наблюдения поля GRB 021004 в *BVRI*-полосах для пространственного (по красному смещению) распределения галактик поля, мы обнаружили большую неоднородность с максимумом в распределении фотометрических красных смещений (см. рис. 4) на  $z \approx 0.56$  для 246 объектов (из 935, рис. 1) в поле этого гамма-всплеска с вероятностью оценки красного смещения [26] около 90% и более (до 99%). Здесь наблюдательные данные были получены в 4 фотометрических *BVRI*-полосах БТА. Отличие этих оценок красного смещения от спектрального  $z$  составляет около 10% (см. следующий раздел), по крайней мере, для  $z < 1$ , — этого достаточно для статистического исследования свойств объектов, кроме того, нас интересуют объекты с красным смещением  $0 < z < 0.7$  (см. далее).

Конечно, сравнение наших данных с данными HST (рис. 1 и 3) еще не является значащим тестом определения красного смещения пика  $z \approx 0.56$  на рис. 4. Поэтому мы используем еще данные VLT/UVES спектральных наблюдений послесвечения GRB 021004. Спектр послесвечения этого гамма-всплеска был измерен двумя командами [18, 19]. Спектр из [19] показывает признаки дублета Mg II 2796 2803 Å, сдвинутого в красную сторону на  $z = 1.3820$  и  $z = 1.6020$  (см. рис. 1 в [19]). Этот спектр содержит также две линии, которые можно отождествить как дублет Mg II (на луче зрения на GRB 021004), сдвинутый в красную сторону на  $z \approx 0.5550 - 0.5570$  (см. рис. 5 из [19] и результаты отождествления более ранних спектров этого всплеска из [18] в таблице 3).



**Рис. 3.** Изображения 7 галактик по снимкам HST ACS F606W (HST Legacy Archive, <http://hla.stsci.edu/hlview.html>) возле положения GRB 021004 в поле размером  $3'.5 \times 3'.5$ . Указаны номера объектов из каталога HST ACS. В таблице содержатся оценки фотометрических  $z$  и вероятности оценок фотометрических  $z$  для этих 7 галактик с известной морфологией, см. текст.

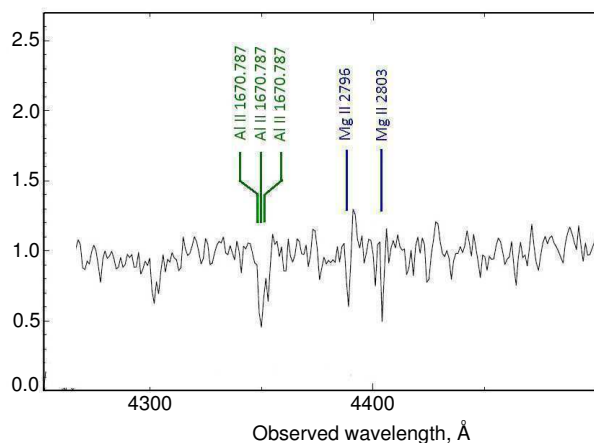


**Рис. 4.** Распределение фотометрических красных смещений для 246 объектов с пиком возле  $z \approx 0.56$  по *BVR*-данным БТА.

#### 4. О КЛАСТЕРИЗАЦИИ ГАЛАКТИК С ЭФФЕКТИВНЫМ ПИКОМ ВОЗЛЕ $z \sim 0.56$ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ ИЗ КАТАЛОГОВ И О НЕОДНОРОДНОСТИ КОСМИЧЕСКОГО МИКРОВОЛНОВОГО ФОНА НА КАРТЕ Planck И GRB 021004.

Наличие пика возле  $z \approx 0.56$  в распределении красных смещений для скоплений галактик возле положения GRB 021004 было также проверено по данным из каталогов. Мы отобрали объекты в области размером  $3^\circ \times 3^\circ$ , с координатами центра RAJ =  $00^h 22^m 44^s$ , DecJ =  $+17^\circ 40' 58''$  (рис. 6). Ниже приводится полный список использованных для этой цели каталогов с указанием их глубины и количества обнаруженных объектов.

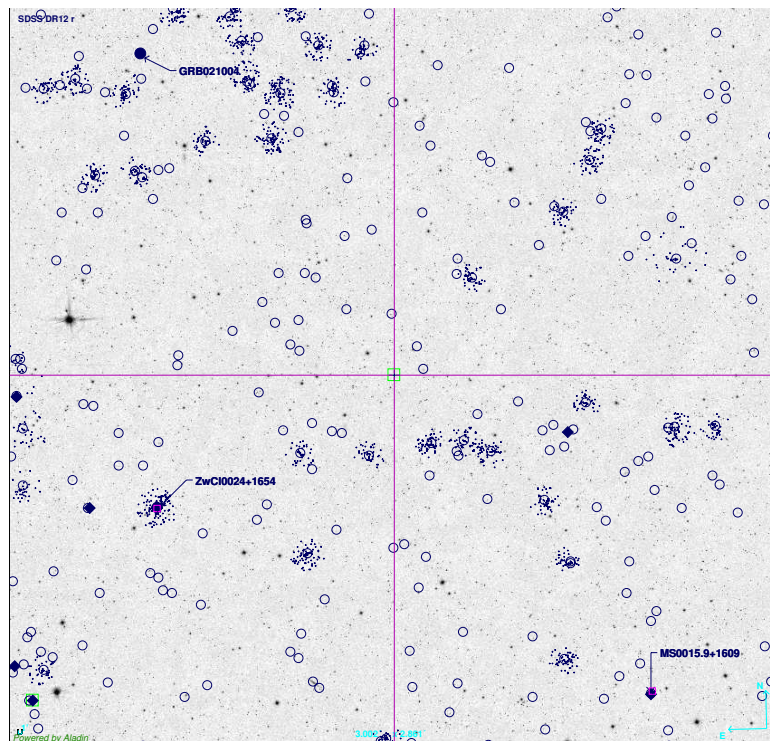
- redMaPPer DR8 cluster catalog [31, 32]: глубина каталога  $m_i < 21^m 0$  для фотометрических красных смещений, 44 скопления с  $z_{ph}$ ;
- Group catalogues of the local Universe [33]: глубина каталога  $m_r < 17^m 77$  для фотометрических красных смещений, 44 скопления с  $z_{sp}$ ;



**Рис. 5.** Линии VLT/UVES-спектра около 4400 Å с абсорбцией можно интерпретировать как дублет Mg II  $\lambda\lambda 2796, 2803$  Å, сдвинутый в красную сторону на  $z \approx 0.56$ .

- Rich Clusters of Galaxies [34]: глубина каталога  $m_B < 23^m$  для спектральных красных смещений, два скопления с  $z_{sp}$ ;
- Newly rich galaxy clusters identified in SDSS-DR12 [35]: глубина каталога  $m_r < 21^m 5$  для фотометрических красных смещений, 128 скоплений с  $z_{sp}$  и  $z_{ph}$ ;
- Northern Optical Cluster Survey III [32]: глубина каталога составляет  $21^m 5$ ,  $21^m 0$  и  $20^m 3$  в  $g$ ,  $r$  and  $i$  полосах для фотометрических красных смещений; 101 скопление  $z_{ph}$ ;
- Richness of galaxy clusters [38]: глубина каталога  $m_i < 21^m 0$  для фотометрических красных смещений, 74 скопления с  $z_{ph}$ .

Мозаичное полутоновое изображение, показанное на рис. 6, получено суммированием 690 полей в полосе  $r$  из архива SDSS <sup>2</sup>. Поле



**Рис. 6.** Область размером  $3^\circ \times 3^\circ$  возле положения гамма-всплеска GRB 021004 (отмечен закрашенным кружком). Указаны два известных богатых скопления — CL0024+1654 ( $z = 0.390$ ) и MS 0015.9+1609 ( $z = 0.541$ ). Отмечены скопления галактик (всего 248) из используемых каталогов. Пустые кружки соответствуют центрам скоплений из каталогов redMaPPer [27], NOCS [32], WHL [35, 39] и статей Саулдера и др. [33], Огури [38] и Темпеля и др. [40]. Ромбами отмечены богатые скопления из каталогов Абеля и Цвикки [38]. Маленькими сгруппированными крестиками отмечены галактики — члены скоплений из каталога redMaPPer [31, 32].

включает два соседних рентгеновских скопления CL0024+1654 ( $z = 0.390$ ) и MS0015.9+1609 ( $z = 0.541$ ) на угловых расстояниях около одного—двух градусов от GRB 021004. На рис. 7 показана только северо-восточная часть (верхний левый квадрат) всей области, изображенной на рис. 6, а именно, область размером примерно  $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ , содержащую GRB 021004.

На рис. 8 показаны гистограммы распределений фотометрических и спектральных красных смещений для скоплений галактик в этой области размером  $1.5^\circ \times 1.5^\circ$  возле GRB 021004 (рис. 7). Распределение красных смещений в этой области концентрируется по крайней мере к трем пикам при использовании новых каталогов.

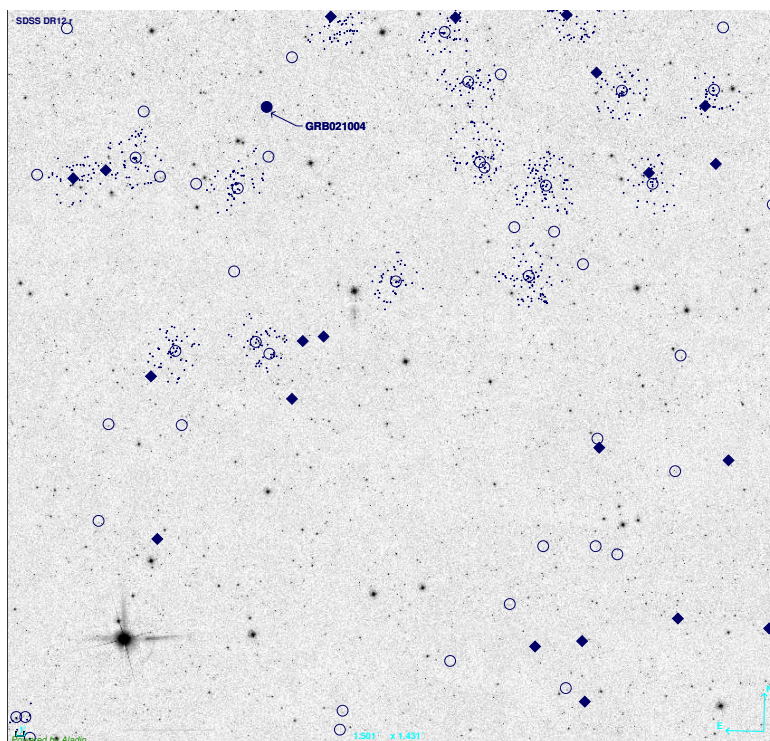
На рис. 9а–9с показаны гистограммы с дифференциальными подсчетами красных смещений для скоплений галактик, обнаруженных во всей области размером  $3^\circ \times 3^\circ$  с центром в RAJ =  $5^\circ 68$  ( $00^{\text{h}}22^{\text{m}}43^{\text{s}}$ ), DecJ =  $17^\circ 68$  ( $17^\circ 40'48''$ ) (см. рис. 6). Использовались все 6 каталогов (8 таблиц из базы данных Vizier), см. начало раздела.

<sup>2</sup>Science Archive Server, <https://dr12.sdss.org/mosaics>

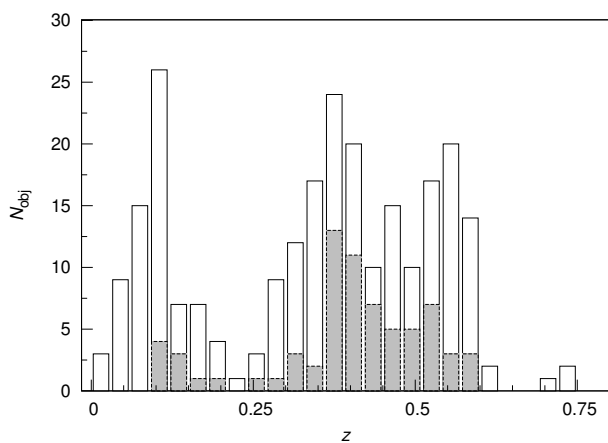
Таким образом, оценка фотометрических красных смещений по глубокой *BVRI*-фотометрии БТА оказывается вполне приемлемой, что следует из сравнения с данными этих каталогов — мы видим тот же пик с  $z \approx 0.56$  в распределении красных смещений для скоплений галактик около положения GRB 021004 и по данным каталогов в области размером  $1.5^\circ \times 1.5^\circ$  и даже больше — по крайней мере в области размером около  $3^\circ \times 3^\circ$ .

*Практическое замечание.* Следует отметить особенность, обнаруженную при построении этих распределений. Если данные каталога для этого поля (положение  $5^\circ 68; +17^\circ 68$ , размер бокса  $3^\circ$ ) выбираются прямо из базы данных Vizier, то результаты запроса в действительности несколько превышают заданный размер — расстояние между крайними объектами по прямому восхождению составляет около  $11192'' = 3^\circ 06'32''$ . Так что Vizier выдает поле размером  $3^\circ 1 \times 3^\circ 0$ , т.е. мы получаем больше объектов. Это ведет к тому, что гистограммы, аналогичные тем, что показаны на рис. 9 и построены по каталогам, немного отличаются из-за включения этих объектов, что нужно учитывать при повторном вычислении таких распределений  $z$ .

На рис. 10 объекты используемых каталогов скоплений (см. рис. 6) наложены на карту



**Рис. 7.** Северо-восточная часть области, изображенной на рис. 6 (верхний левый квадрат). Размер области — около  $1^{\circ}5 \times 1^{\circ}5$ . Обозначения те же, что на рис. 6.



**Рис. 8.** Гистограммы с распределением красных смещений для галактик в области около положения GRB 021004 (рис. 7): распределение с фотометрическими и спектральными красными смещениями и только со спектральными обозначены светлыми и серыми барами, соответственно.

Planck CMB (SMICA)<sup>3</sup>. На ней отмечено положение GRB 021004, а также двух скоплений CL 0024+1654 и MS0015.9 с рентгеновским источником в них. Эти два скопления находятся возле светлых областей на рис. 6, соответствующих

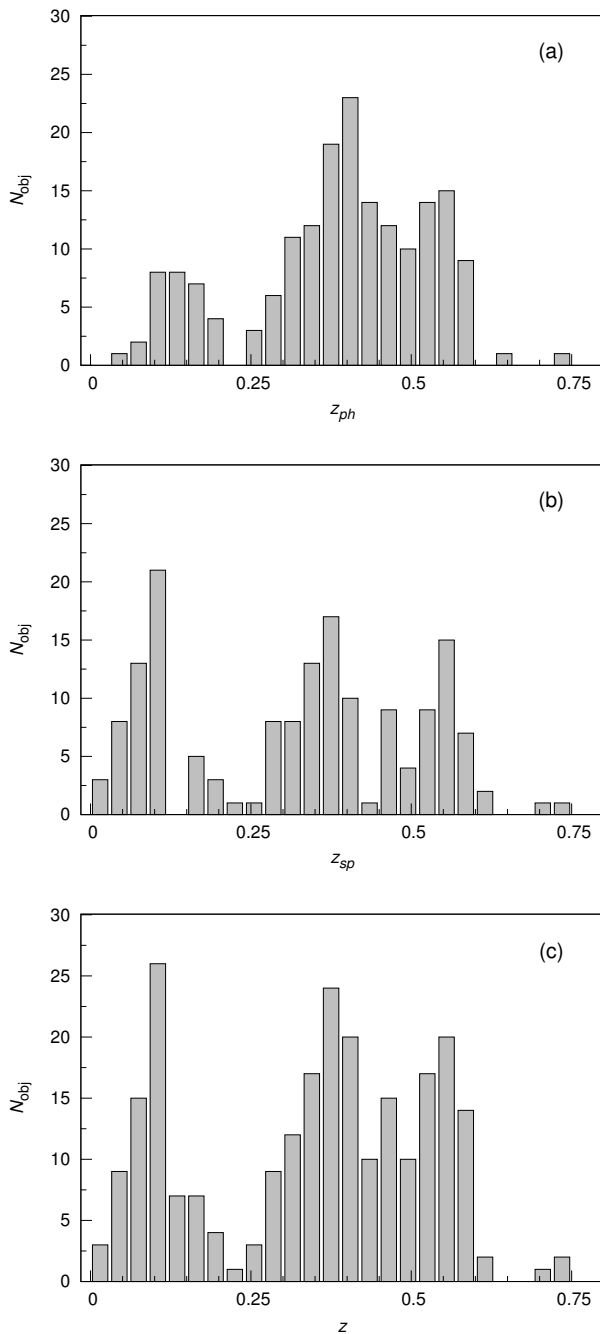
<sup>3</sup><http://pla.esac.esa.int/pla>

минимуму потока космического фонового микроволнового излучения, что может быть связано с эффектом Сюняева—Зельдовича, наблюдаемого в таких рентгеновских скоплениях.

Таким образом, используя данные SDSS DR12, мы исследовали также большую область  $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ , содержащую эти два рентгеновских скопления. Глубина SDSS составляет около  $22^m$ , а его каталог включает фотометрические  $z$  (их распределение показано на рис. 9а) и определения спектральных красных смещений для достаточно ярких объектов обзора (распределение показано на рис. 9б). Во всей области (около  $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ ), как и в области с GRB 021004, изображенной на рис. 7 ( $1^{\circ}5 \times 1^{\circ}5$ ), распределение галактических скоплений также демонстрирует очевидный пик на  $z \sim 0.56$  (см. рис. 7 и 6 а–с) для фотометрических и спектральных красных смещений.

Как видно на рис. 7 и 9, два рентгеновских скопления CL0024+1654 ( $z = 0.39$ ) и MS0015.9+1609 ( $z = 0.541$ ) находятся очень близко по  $z$  к двум пикам  $z \sim 0.4$  и  $z \sim 0.56$  во всей области размером  $3^{\circ} \times 3^{\circ}$  с центром в RAJ =  $5^{\circ}68$  ( $00^h 22^m 43^s$ ), DecJ =  $17^{\circ}68$  ( $17^{\circ}40'48''$ ).





**Рис. 9.** Дифференциальные подсчеты красных смещений для скоплений галактик по данным шести каталогов, упомянутых в начале раздела, для области размером  $3^\circ \times 3^\circ$  с центром в RAJ =  $5^\circ 68$  ( $00^h 22^m 43^s$ ), DecJ =  $17^\circ 68$  ( $17^\circ 40' 48''$ ): а) фотометрические красные смещения (180 скоплений), б) спектральные красные смещения (160 скоплений) и в) спектральные и фотометрические красные смещения (248 скоплений).

## 5. ОЦЕНКА РАЗМЕРА НЕОДНОРОДНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ СКОПЛЕНИЙ С ПИКОМ ОКОЛО $z \approx 0.56$

Для исследования пространственного поведения избыточной плотности галактик поля около  $z \sim 0.56$  вокруг положения гамма-всплеска GRB 021004 мы рассмотрели распределение красных смещений в прилегающих областях. Относительное расположение рассматриваемых областей показано на схеме (рис. 11). Центральная часть В2 размером  $3^\circ \times 3^\circ$  практически совпадает в область на рис. 6. Она окружена восемью полями такого же размера.

Используя те же 6 упомянутых каталогов [27, 29–33], мы отобрали все скопления галактик с известным средним (фотометрическим и спектральным) красным смещением в 8 областях, окружающих центральную область В2. Применяя метод, описанный в разделе 4 для центральной области В2 (с самым высоким пиком на  $z \approx 0.56$ ), мы построили распределения красных смещений ( $z$ ) скоплений галактик аналогично тому, что показано на рис. 9, для каждой из этих 8 областей.

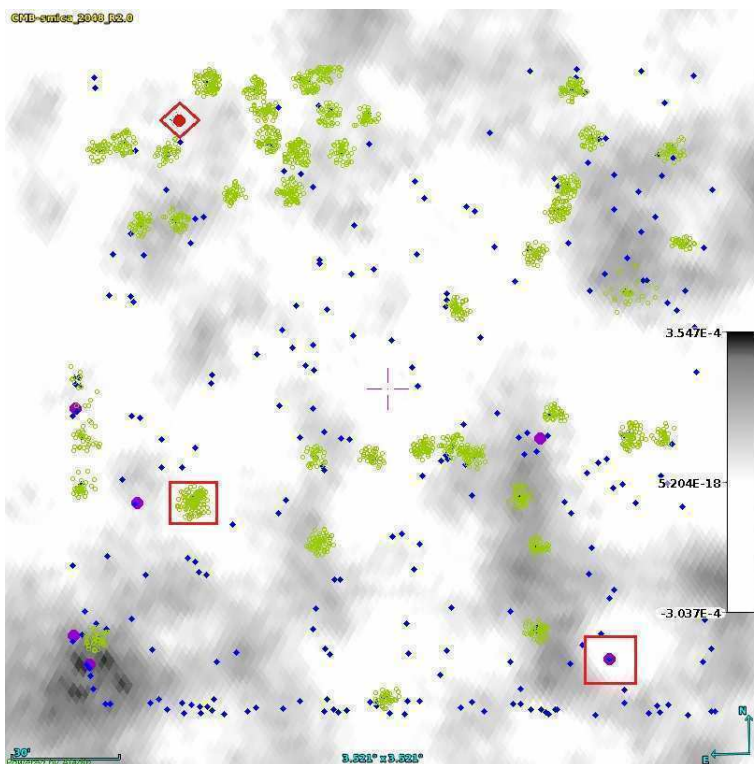
На рис. 12 показаны гистограммы распределений по  $z$  только для четырех полей из девяти (В1, В2, С1, С2), в которых количество обнаруженных скоплений возле  $z \sim 0.56$  является наибольшим (северо-восточный квадрат на рис. 10). Видно, что пик около  $z \sim 0.56$  в этих распределениях имеется только в областях В2, С1 и С2. В области В1 количество скоплений галактик с таким  $z$  меньше.

На рис. 13 показано изображение четырех полей В1, В2, С1, С2 (квадрат размером  $6^\circ \times 6^\circ$ ), соответствующие схеме (рис. 11) и гистограммам (рис. 12), в которых количество скоплений галактик около  $z = 0.56$  является наибольшим. На рис. 13 отмечены объекты из каталогов — центры скоплений галактик — с красным смещением около пика на  $z \approx 0.56$ .

Таким образом, по данным каталогов (конечно, с учетом их глубины) размер области с избыточной плотностью в распределении галактических скоплений с пиком на  $z \approx 0.56$  можно оценить как  $6^\circ - 8^\circ$ .

## 6. ВЫВОДЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основная цель этой статьи состоит в том, чтобы показать признаки кластеризации галактик поля на луче зрения на GRB 021004. Также мы проверяем надежность всех имеющихся признаков кластеризации в направлении и возле положения этого гамма-всплеска.



**Рис. 10.** Та же область, что изображена на рис. 6, но размером  $3.5^\circ \times 3.5^\circ$ . Фоновое изображение — это карта СМВ (SMICA) из архива миссии Planck. Отмечены два известных богатых скопления CL 0024+1654 ( $z = 0.390$ ) and MS 0015.9+1609 ( $z = 0.541$ ) и другие галактические скопления из каталогов. Кружок, обведенный ромбом, — это GRB 021004. Закрашенными кружками показаны скопления из каталога Абеля и Цвикки, ромбами отмечено положение скоплений из каталогов redMaPPer, NOCS, WHL и статей Саулдера и др., Огури и Темпеля и др.

- Первый признак — это распределение фотометрических красных смещений с пиком на  $z \sim 0.56$  на глубоких снимках поля GRB 021004 (размером  $4' \times 4'$ ), полученных на БТА; оценка была сделана по многоцветной *BVRI*-фотометрии БТА в направлении на этот гамма-всплеск.
- Второй признак — абсорбционный дублет Mg II  $\lambda\lambda 2796, 2803 \text{ \AA}$  на  $z \approx 0.56$  в VLT/UVES спектрах послесвечения GRB 021004 и родительской галактики этого гамма-всплеска.
- Третий признак — кластеризация галактик в большей ( $3^\circ \times 3^\circ$ ) области вокруг GRB 021004 с эффективным пиком возле  $z \sim 0.56$  для распределений спектральных и фотометрических красных смещений по каталогам SDSS и BOSS, являющемуся частью каталога SDSS-III.
- И четвертым признаком может быть некоторая неоднородность на карте Planck, которая, возможно, вызвана эффектом Сюняева–Зельдовича для скоплений галактик возле положения GRB 021004.
- Кроме того, по данным шести каталогов размер всей неоднородности в распределении скопле-

ний галактик с пиком возле  $z \approx 0.56$  был оценен как  $6^\circ - 8^\circ$ .

Во всех распределениях красных смещений на рис. 7, 9 и 12 явно различим пик на  $z \approx 0.1$ , который соответствует известной Великой стене Слоуна как комплексу сверхскоплений огромного размера  $\sim 7^h$  [1, 2]. На тех же рисунках виден еще пик с  $z \approx 0.4$ , что может указывать на неоднородность с  $z \sim 0.4$  в распределении скоплений галактик возле направления на GRB 021004. То же сверхскопление может также включать рентгеновское скопление CL0024+1654 с  $z = 0.39$  (см. рис. 6 и 7). Что касается рентгеновского скопления MS0015.9+1609 с  $z = 0.541$  на рис. 13, видно, что это скопление тоже содержится в каталогах, которые мы использовали, где оно попадает как раз в диапазон  $0.54 < z < 0.57$ , соответствующий пиковому бину на рис. 9 с  $z \sim 0.56$ .

Родительская галактика GRB 021004 с  $z_{ph} = 2.225$  также учтена в распределении фотометрических красных смещений на рис. 4. Эта оценка  $z_{ph}$  была получена по *BVRI*-фотометрии БТА для родительской галактики гамма-всплеска с  $B = 24^m 434 \pm 0^m 132$ ,  
 $V = 24^m 006 \pm 0^m 099$ ,  $R = 24^m 174 \pm 0^m 154$ ,

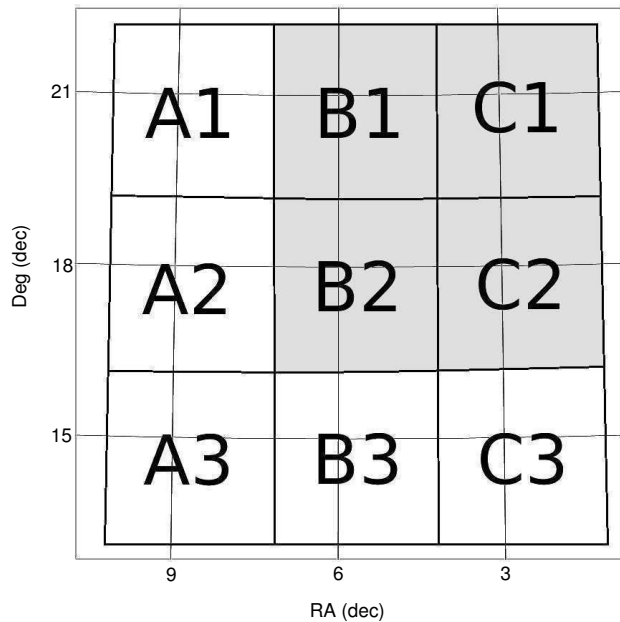


Рис. 11. Схема расположения восьми областей, окружающих центральную область B2.

$I = 23^m 437 \pm 0^m 170$ . Спектроскопические измерения красного смещения для GRB 021004 составляют  $z_{sp} = 2.3295$  [18] и  $2.3304$  [19]. Таким образом, фотометрическое красное смещение этой галактики  $z_{phot}$ , измеренное нами по наблюдениям на БТА, соответствует спектральному  $z$  с ошибкой 10%.

Здесь следует подчеркнуть, что оценки фотометрических красных смещений сразу для большой выборки галактик вплоть для предельной глубины (см. рис. 1) во всем поле гамма-всплеска можно получить при изучении свойств родительских галактик [16] гамма-всплесков. В настоящее время фотометрические красные смещения широко применяются во всех современных исследованиях скоплений галактик на разных  $z$ , что мы здесь и используем (см. разделы 4 и 5). В новой статье [36] речь идет о применении метода фотометрических красных смещений для 1227 галактик в Хаббловском сверхглубоком поле до 30-ой зв.вел. в полосе  $F775W$  в диапазоне  $0.4 < z < 1.5$ . Здесь мы хотели бы также обратить внимание на другую новую статью [37], где речь идет о фотометрии в пяти фильтрах, а при оценках фотометрического красного смещения используется информация о морфологии галактик. В этой статье показано, что при использовании морфологических параметров галактик с  $ugriz$ -фотометрией получается небольшое улучшение  $z_{ph}$ , в то время при меньшем количестве полос выигрыш получается существенный. Например, сочетание  $grz$ -фотометрии и морфологических параметров почти полностью покрывает

метрику фотометрических красных смещений по 5 полосам.

При анализе наших  $BVRI$ -данных БТА мы используем диапазон красных смещений до  $z = 4$ , хотя число объектов с  $z > 1$ , достаточно ярких для такого анализа, становится все меньше (см. рис. 4). Соответственно, ошибки фотометрических красных смещений таких (и более далеких) объектов становятся больше, согласно [26], где ошибки оценок  $z$  исследовались специально. Пределы каталогов и  $BVRI$ -данных БТА упоминаются в конце раздела 3.

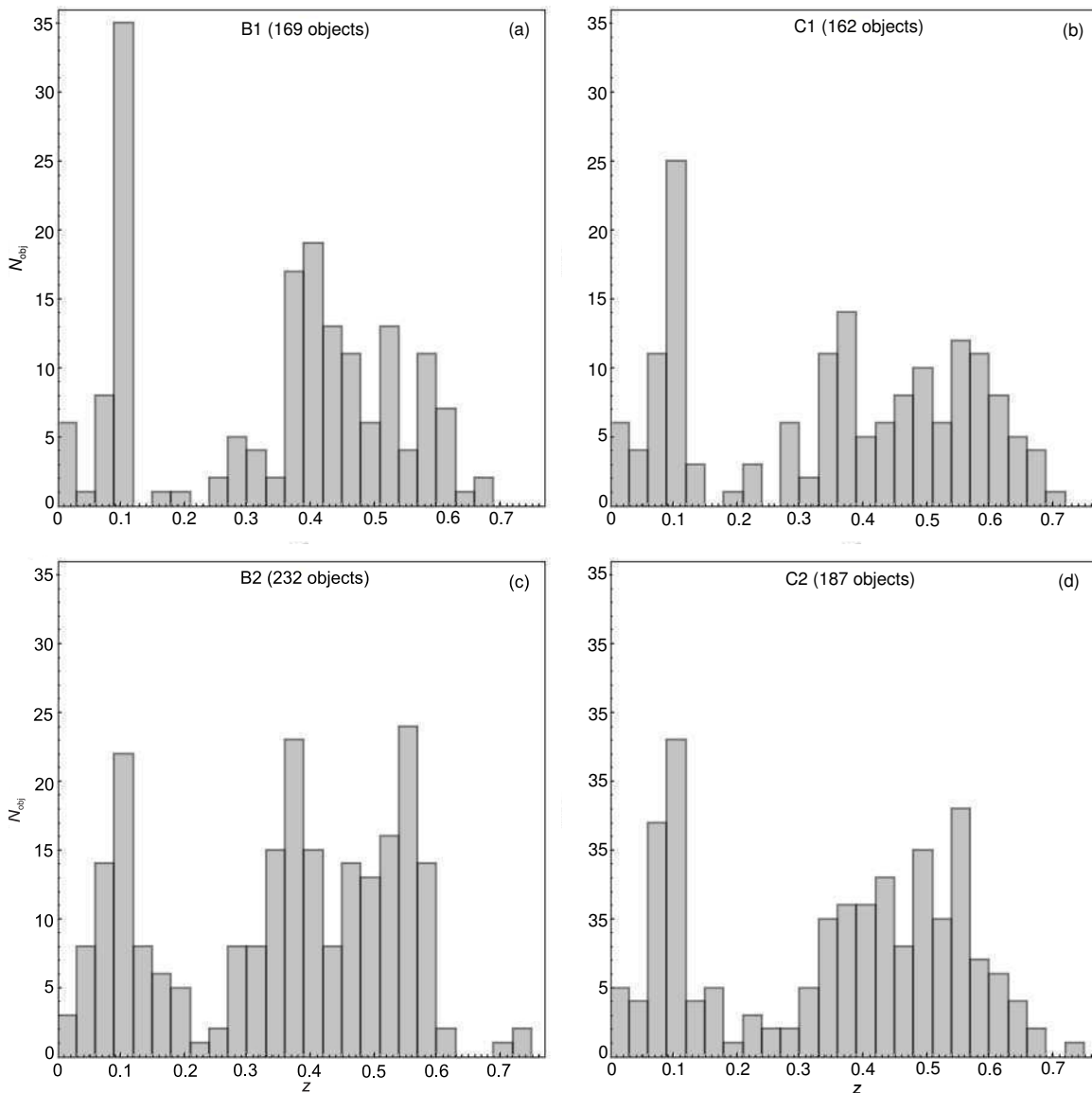
Таким образом, многое зависит, в основном, от точности фотометрии (см. рис. 1). Здесь для отобранных для исследования объектов мы выбрали ошибку измерений  $\sim 10\%$ . Соответственно, для объектов на  $z > 1$  требуемые времена экспозиции больше, чем те, что указаны в таблице 1. Кроме того, уже могут потребоваться и инфракрасные фильтры. Но, поскольку здесь нас интересует диапазон промежуточных красных смещений до  $z < 0.7$ , где уже есть каталоги с данными по  $z$  (см. конец раздела 3 и ссылки там же и начало раздела 4), для проверки наших вычислений мы используем эти фотометрические и спектральные  $z$  из каталогов.

Здесь нужно также сказать о спектроскопии в направлении послесвечения гамма-всплеска, о наших результатах и, в этой связи, о новых наблюдательных задачах.

Во всестороннем исследовании спектроскопических данных 73 GRB-послесвечения и обсуждение избыточной плотности галактик поля вокруг луча зрения на GRB/квазаров, проведенном в статье [17], также упоминается дублет  $Mg II \lambda\lambda 2796, 2803 \text{ \AA}$ , о котором шла речь выше.

Если избыток промежуточных систем действительно имеет место, то можно найти избыток галактик поля вокруг положений гамма-всплесков, хотя более ранние исследования не выявили аномальной кластеризации галактик (по сравнению с распределением квазаров) на  $z \sim 0.3$  вокруг луча зрения на гамма-всплески [17]. Кроме того, было сделано предположение, что большинство коротких гамма-всплесков в галактиках ранних типов будет происходить в скоплениях, и три таких взаимосвязи уже было обнаружено [43].

Было убедительно доказано, что длинные гамма-всплески ассоциируются с коллапсом ядра очень массивных звезд [39–41]. Подобно массивным сверхновым, коллапс массивных звездных ядер из железа приводит к образованию компактного объекта (коллапсара), что сопровождается релятивистским выбросом большой доли массы

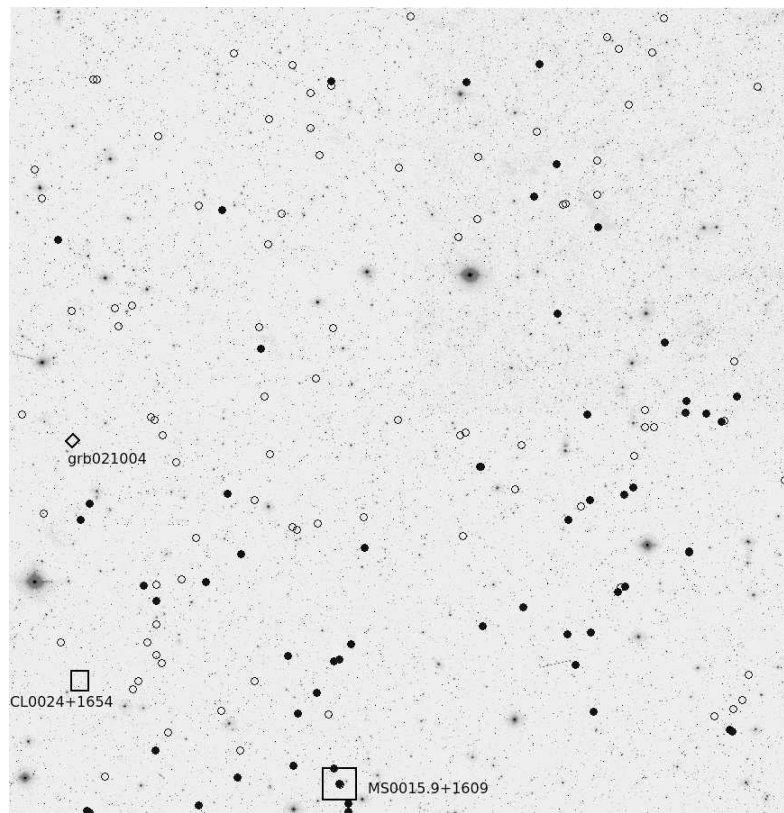


**Рис. 12.** Гистограммы распределений по  $z$  для четырех полей (B1, B2, C1, C2), в которых количество обнаруженных скоплений галактик около  $z \sim 0.56$  является наибольшим — это северо-восточный квадрат на рис. 11. Над каждой гистограммой указано название поля, для которого она была построена, и количество объектов в нем с  $z$ , известным из каталогов.

звезды-прародителя, при этом возникают внутренние ударные волны, порождающие сам гамма-всплеск [5].

Известно [42], что измерения рентгеновской поверхностной яркости скоплений (включая такие скопления как CL0024+1654 с  $z = 0.39$  и MS0015.9+1609 с  $z = 0.541$ ) можно использовать для оценки углового диаметра и расстояния до этих структур. А именно, определение расстояния до сверхновых и гамма-всплесков, являющихся результатом коллапса компактных объектов звездных масс, становится главной наблюдательной задачей при определении основного параметра — полного выброса энергии, связанного с таким со-

бытием. Коллапс массивных звездных ядер может быть связан с кварковым фазовым переходом в компактных объектах, который приводит к нейтринным, гравитационным и фотонным сигналам от массивных сверхновых (например, SN 1987A) и гамма-всплескам. Также очевидно, что для малых и промежуточных красных смещений распределение электромагнитных и нейтринных сигналов, ассоциированных с коллапсом ядра, по небесной сфере может быть неизотропным [43], демонстрируя кластеризацию галактик, в которых образование компактных объектов происходит благодаря эволюции массивных звезд.



**Рис. 13.** Изображение 4 полей В1, В2, С1, С2, соответствующих схеме на рис. 11 и гистограммам на рис. 12 — квадрат размером  $6^\circ \times 6^\circ$ . Отмечены объекты из каталогов — центры скоплений галактик — с красным смещением возле пика на  $z = 0.56$ . Заполненные кружки обозначают объекты, попадающие в диапазон  $0.54 < z < 0.57$ , соответствующий пиковому бину. Пустые кружки — это объекты из смежных бинов  $0.51 < z < 0.54$  и  $0.57 < z < 0.6$ .

В заключение мы хотели бы также подчеркнуть, что поскольку гамма-всплески обнаруживаются на все более и более далеких космологических расстояниях с красным смещением более 9.2 [13], это ставит новые дополнительные вопросы, которые крайне важны для наблюдательной космологии. Каковы красные смещения, на которых распределение гамма-всплесков по небу становится однородным? И каковы красные смещения, на которых такие всплески (которые теперь связывают с коллапсом компактных объектов звездных масс) уже не наблюдаются?

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны Ю. В. Барышеву за плодотворную дискуссию и ценные замечания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. K. Sheth and A. Diaferio, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **417**, 2938 (2011).
2. M. Einasto, H. Lietzen, M. Gramann, et al., *Astron. and Astrophys.* **595**, A70 (2016).
3. H. Lietzen, E. Tempel, L. J. Liivamägi, et al., *Astron. and Astrophys.* **588**, L4 (2016).
4. R. G. Clowes, K. A. Harris, S. Raghunathan, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **429**, 2910 (2013).
5. T. Piran, *Phys. Reports* **314**, 575 (1999).
6. L. G. Balázs, Z. Bagoly, J. E. Hakkila, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **452**, 2236 (2015).
7. I. Horváth, J. Hakkila, and Z. Bagoly, *Astron. and Astrophys.* **561**, L12 (2014).
8. M. L. Khabibullina, O. V. Verkhodanov, and V. V. Sokolov, *Astrophysical Bulletin* **69**, 472 (2014).
9. C. A. Meegan, G. J. Fishman, R. B. Wilson, et al., *Nature* **355**, 143 (1992).
10. D. Fargion, arXiv:1408.0227 (2014).
11. S. Raghunathan, R. G. Clowes, L. E. Campusano, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **463**, 2640 (2016).
12. S.-F. S. Chen, R. A. Simcoe, P. Torrey, et al., *Astrophys. J.* **850**, 188 (2017).
13. V. Sudilovsky, J. Greiner, A. Rau, et al., *Astron. and Astrophys.* **552**, A143 (2013).
14. M. Arabsalmani, P. Møller, D. A. Perley, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **473**, 3312 (2018).
15. T. A. Fatkhullin, A. A. Vasil'ev, and V. P. Reshetnikov, *Astronomy Letters* **30**, 283 (2004).

16. V. V. Sokolov, T. A. Fatkhullin, A. J. Castro-Tirado, et al., *Astron. and Astrophys.* **372**, 438 (2001).
17. G. E. Prochter, J. X. Prochaska, and S. M. Bures, *Astrophys. J.* **639**, 766 (2006).
18. S. D. Vergani, P. Petitjean, C. Ledoux, et al., *Astron. and Astrophys.* **503**, 771 (2009).
19. A. J. Castro-Tirado, P. Møller, G. García-Segura, et al., *Astron. and Astrophys.* **517**, A61 (2010).
20. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Astronomy Letters* **31**, 194 (2005).
21. Y. N. Parijskij, O. P. Zhelenkova, P. Thomasson, et al., *EAS Publ. Ser.* **61**, 439 (2013).
22. E. Bertin and S. Arnouts, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **117**, 393 (1996).
23. W. A. Baum, *IAU Symp.* **15**, 390 (1962).
24. M. Bolzonella, J.-M. Miralles, and R. Pelló, *Astron. and Astrophys.* **363**, 476 (2000).
25. D. Calzetti, L. Armus, R. C. Bohlin, et al., *Astrophys. J.* **533**, 682 (2000).
26. Y. V. Baryshev, I. V. Sokolov, A. S. Moskvitin, et al., *Astrophysical Bulletin* **65**, 311 (2010).
27. E. S. Rykoff, E. Rozo, D. Hollowood, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **224**, 1 (2016).
28. E. S. Rykoff, E. Rozo, M. T. Busha, et al., *Astrophys. J.* **785**, 104 (2014).
29. C. Saulder, E. van Kampen, I. V. Chilingarian, et al., *Astron. and Astrophys.* **596**, A14 (2016).
30. G. O. Abell, H. G. Corwin, Jr., and R. P. Olowin, *Astrophys. J. Suppl.* **70**, 1 (1989).
31. Z. L. Wen and J. L. Han, *Astrophys. J.* **807**, 178 (2015).
32. R. R. Gal, P. A. A. Lopes, R. R. de Carvalho, et al., *Astron. J.* **137**, 2981 (2009).
33. M. Oguri, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **444**, 147 (2014).
34. Z. L. Wen, J. L. Han, and F. S. Liu, *Astrophys. J. Suppl.* **199**, 34 (2012).
35. E. Tempel, A. Tamm, M. Gramann, et al., *Astron. and Astrophys.* **566**, A1 (2014).
36. J. Brinchmann, H. Inami, R. Bacon, et al., *Astron. and Astrophys.* **608**, A3 (2017).
37. J. Y. H. Soo, B. Moraes, B. Joachimi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **475**, 3613 (2018).
38. M.-S. Shin and E. Berger, *Astrophys. J.* **660**, 1146 (2007).
39. H. Yüksel and M. D. Kistler, *Phys. Let. B* **751**, 413 (2015).
40. M.-H. Li and H.-N. Lin, *Astron. and Astrophys.* **582**, A111 (2015).
41. T. N. Ukwatta and P. R. Woźniak, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **455**, 703 (2016).
42. R. F. L. Holanda, V. C. Busti, L. R. Colaço, et al., *J. Cosmology Astroparticle Phys.* **8**, 055 (2016).
43. A. Gomboc, *Contemporary Physics* **53**, 339 (2012).

## The Excess Density of Field Galaxies near $z \sim 0.56$ around the Gamma-Ray Burst GRB 021004 Position

**I. V. Sokolov, A. J. Castro-Tirado, O. P. Zhelenkova, I. A. Solovyev, O. V. Verkhodanov, and V. V. Sokolov**

We test for reliability any signatures of field galaxies clustering in the GRB 021004 line of sight. The first signature is the GRB 021004 field photometric redshifts distribution based on the 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences observations with a peak near  $z \sim 0.56$  estimated from multicolor photometry in the GRB direction. The second signature is the Mg II  $\lambda\lambda 2796, 2803 \text{ \AA}$  absorption doublet at  $z \approx 0.56$  in VLT/UVES spectra obtained for the GRB 021004 afterglow. The third signature is the galaxy clustering in a larger (of about  $3^\circ \times 3^\circ$ ) area around GRB 021004 with an effective peak near  $z \sim 0.56$  for both the spectral and photometric redshifts from a few catalogs of clusters based on the Sloan Digital Sky Survey (SDSS) and Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) as a part of SDSS-III. From catalog data the size of the whole inhomogeneity in distribution of the galaxy cluster with the peak near  $z \approx 0.56$  was also estimated as about  $6^\circ$ – $8^\circ$  or 140–190 Mpc. A possibility of inhomogeneity (a galaxy cluster) near the GRB 021004 direction can be also confirmed by an inhomogeneity in cosmic microwave background related with the Sunyaev–Zeldovich effect.

*Keywords: cosmology: observations—large scale structure of Universe—galaxies: distances and redshifts—gamma-ray burst: individual: GRB 021004*