

Спектрофотометрия звезд и галактик в
среднеполосных фильтрах :
поиск далёких галактик.

Додонов С.Н. , САО РАН.

Поиски галактик с большими красными смещениями. (1967 – 1992).

а) Широкополосная фотометрия.

Первые поиски ПГ базировались на предсказаниях моделей Partridge и Peebles (1967). Поиски этих объектов были предприняты Partridge (1974), а также Davis и Wilkinson (1974). Обнаружить популяцию новых объектов не удалось до уровня 0.5 % от уровня ночного неба в красном диапазоне длин волн ($\sim 7500 \text{ \AA}$). Сравнимые уровни потоков были достигнуты в инфракрасном К диапазоне ($\sim 2.2 \text{ \mu m}$) Boughn, Saulson и Ulson (1986).

б) Обзоры красных смещений.

Достаточное количество обзоров красных смещений было завершено к началу 90-х годов. Предельные величины для обзоров - порядка $B \sim 22.5$. Красные смещения многих тысяч объектов измерены, и лишь некоторые из них могут быть классифицированы как ПГ.

в) Поиски смещенного излучения нейтрального водорода.

Поиски смещенной в красную сторону линии излучения 21 см нейтрального водорода в протоскоплениях проведены несколькими независимыми группами в диапазоне красных смещений 3.3 - 8.4. Ничего не обнаружено.

г) Поиски UV- оптических эмиссионных линий.

Предполагалось, что ПГ обладают богатым эмиссионным спектром. Действительно, на ранних (очень низкое содержание металлов) фазах эволюции ПГ можно ожидать сильные бальмеровские и лаймановские эмиссионные линии в спектрах галактик. Наиболее интенсивные поиски смещенной линии Ly α 1216 \AA были предприняты с целью обнаружения ПГ.

Методы поиска слабых эмиссионных объектов.

- 1) **Бесщелевая спектроскопия** позволяет просматривать большие объемы пространства при относительно неглубоких предельных потоках. Поиски были ограничены предельными потоками $\sim 10^{-14} - 10^{-15} \text{ эрг см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ и площадями $\sim 1 \text{ кв. градуса}$.
- 2) **Спектроскопия с "длинной" щелью** позволяет достичь существенно лучших и более низких потоков, однако просматриваемый объем меньше, чем при использовании других методов. Типичные предельные потоки $\sim 10^{-16} - 10^{-17} \text{ эрг см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ и область поиска $< 10^{-4} \text{ кв. градуса}$.
- 3) **Узкополосные наблюдения** накладывают существенные ограничения на диапазон красных смещений при поиске, и потому ограничены в просматриваемом объеме. Предельные потоки при таких наблюдениях $\sim 10^{-16} - 10^{-17} \text{ эрг см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$, и типичный размер поля зрения определяется размером CCD - 0.01 - 0.1 кв. градуса.

Спектральные свойства галактик со вспышкой звездообразования на больших красных смещениях.

1. Сильная Ly- α эмиссия.
2. Плоский спектр (Fv) для длин волн больше 1216 А.
3. Скачок в SED на лаймановском пределе, полное отсутствие потока на длинах волн короче лаймановского предела (<912 А).

Методы поиска галактик с большими красными смещениями.

Поиск объектов с необычными широкополосными цветовыми индексами (используя лаймановский скачок как критерий). Этот метод требует качественной широкополосной фотометрии, он успешно применен Steidel, (1993, 1996) для поиска галактик с $Z>3$ и затем с $Z>4$.

Поиск объектов по наиболее сильным эмиссионным линиям с помощью узких интерференционных фильтров. Этот метод предполагает обнаружение объектов с эмиссионными линиями в тех областях спектра, куда смещены эмиссионные линии (Ly- α или H α). Для повышения контраста эмиссионной линии над фоном неба или непрерывным спектром объекта наблюдения производятся через узкий фильтр шириной от нескольких сотен до нескольких тысяч км/с. Последующие спектральные наблюдения необходимы для подтверждения того, что обнаруженная линия соответствует ожидавшейся.

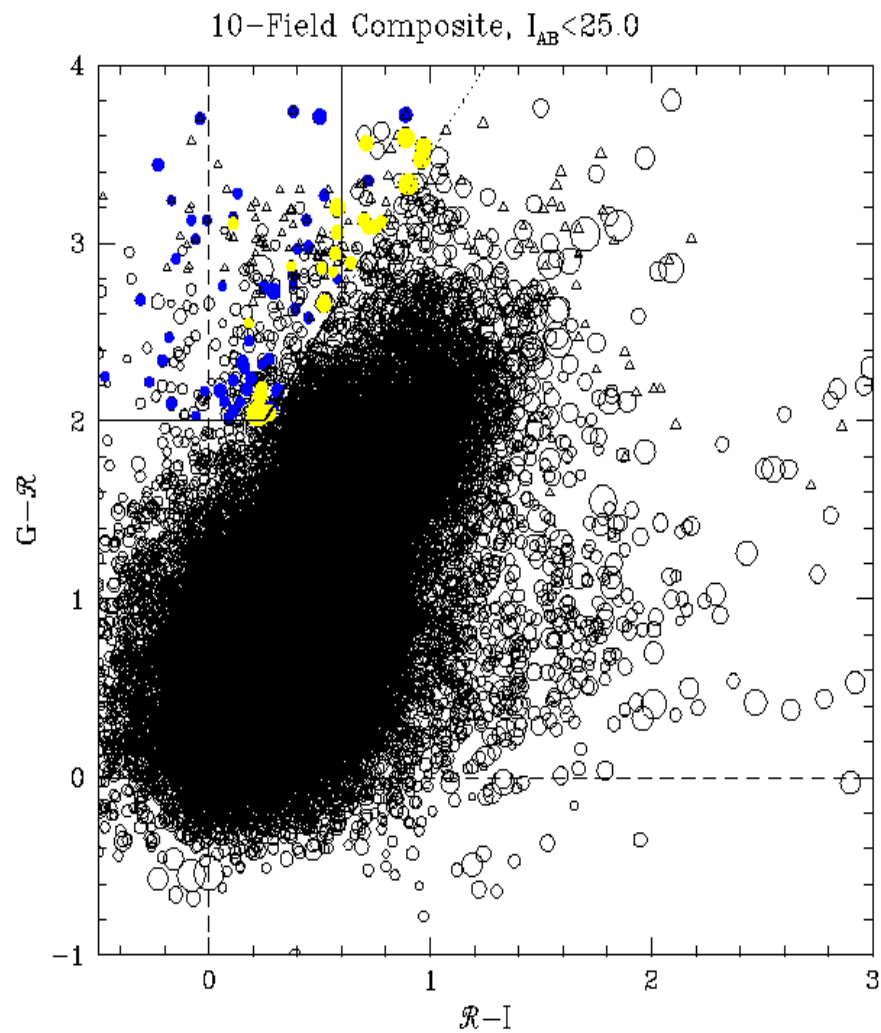
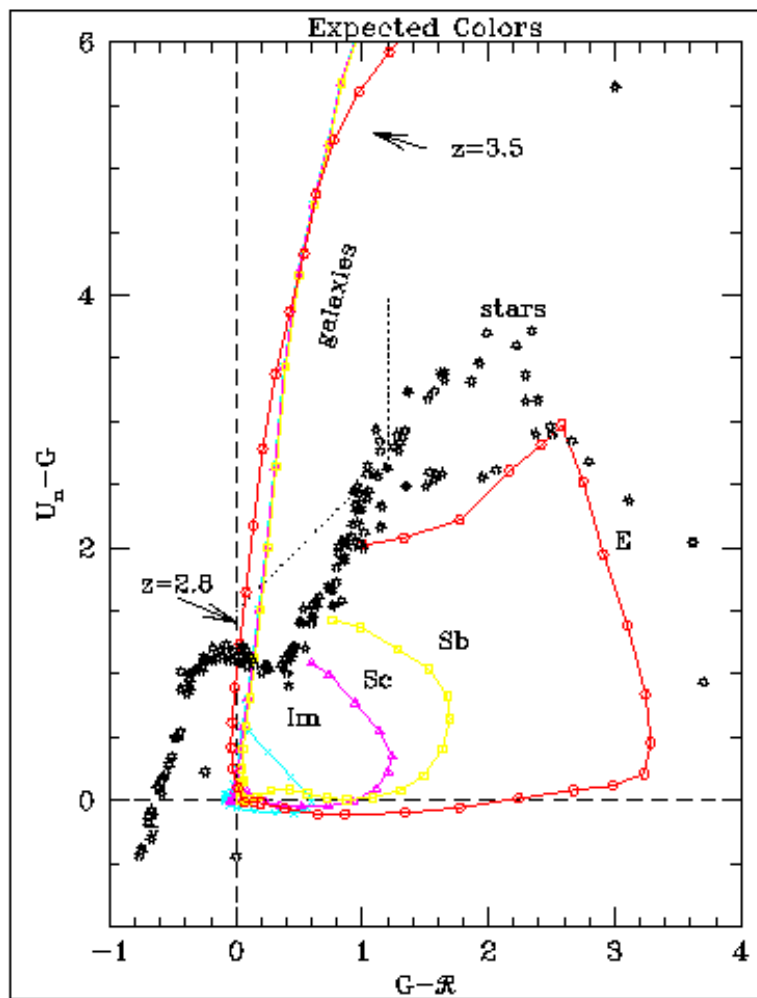
Восстановление распределения энергии в спектре объекта, используя широкополосную фотометрию, фотометрию в фильтрах со средней полосой пропускания и узкополосную фотометрию. Метод предполагает получение детальной информации о распределении энергии в спектрах объектов с тем, чтобы на основании этой информации можно было выделить объекты с большими красными смещениями среди массы близлежащих объектов.

Стратегии поиска далеких объектов :

1. “Направленные” поиски.
2. Поиск в “пустых” полях.
3. Систематические поиски галактик с большими красными смещениями вокруг скоплений галактик.

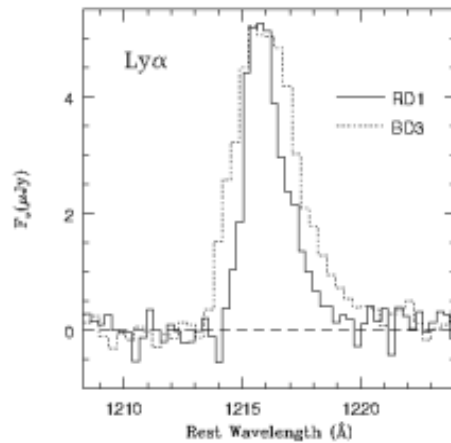
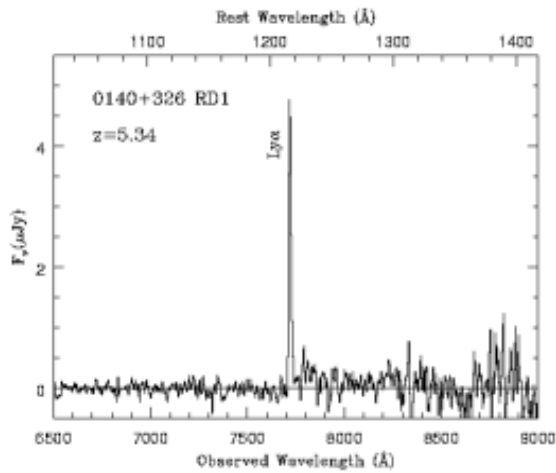
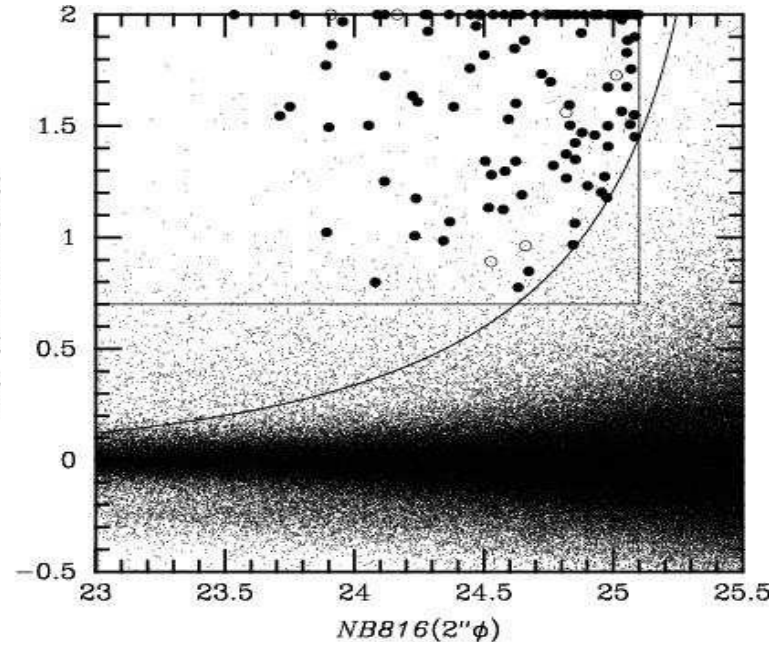
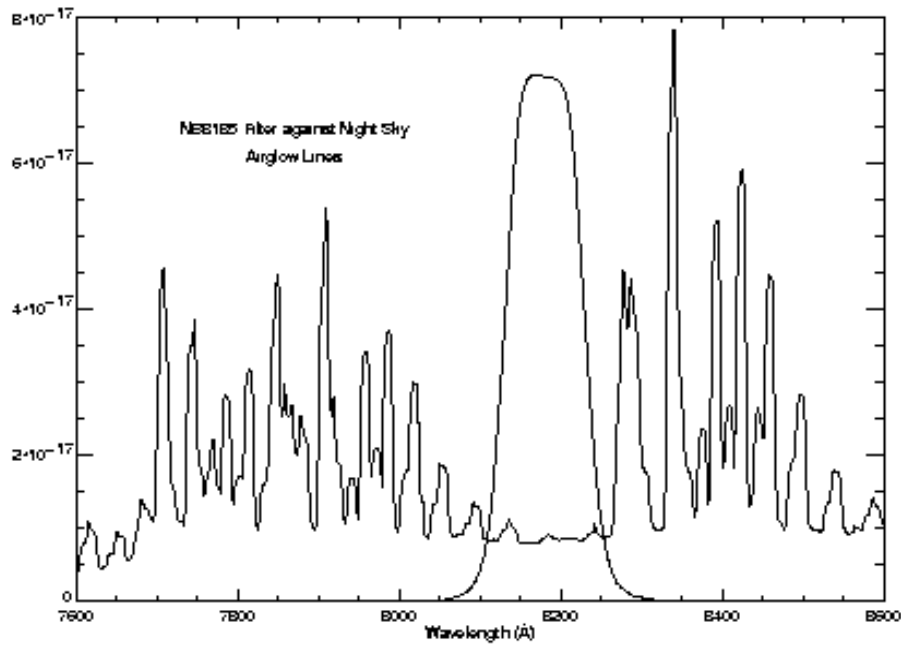
Поиск объектов с необычными широкополосными цветовыми индексами.

C. Steidel, (1993, 1996)

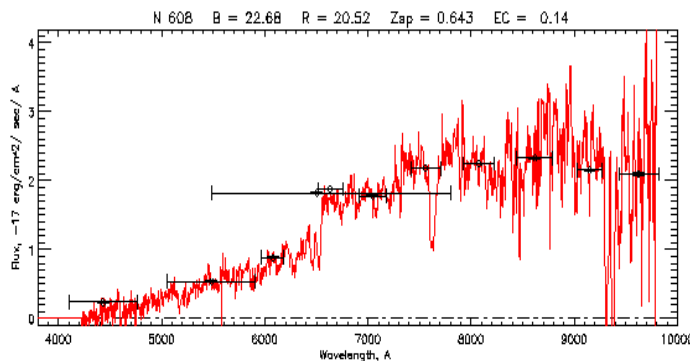
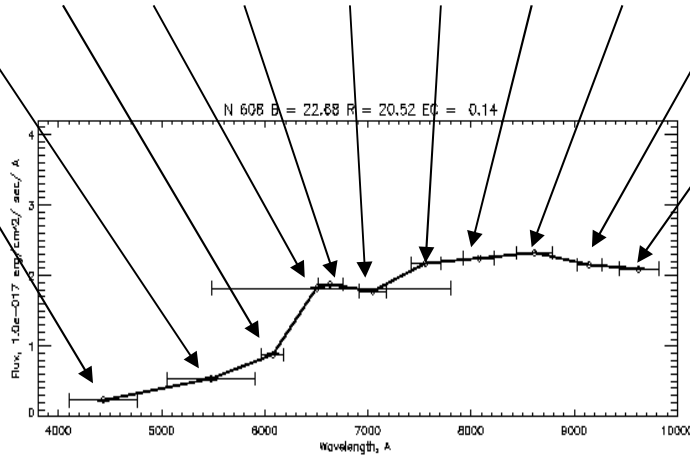
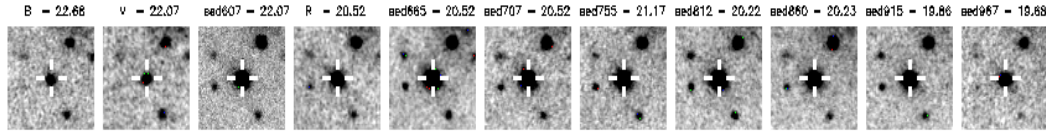


Поиск объектов по наиболее сильным эмиссионным линиям.

T. Murayama, (2008)



Восстановление распределения энергии (SED) в спектре объекта.



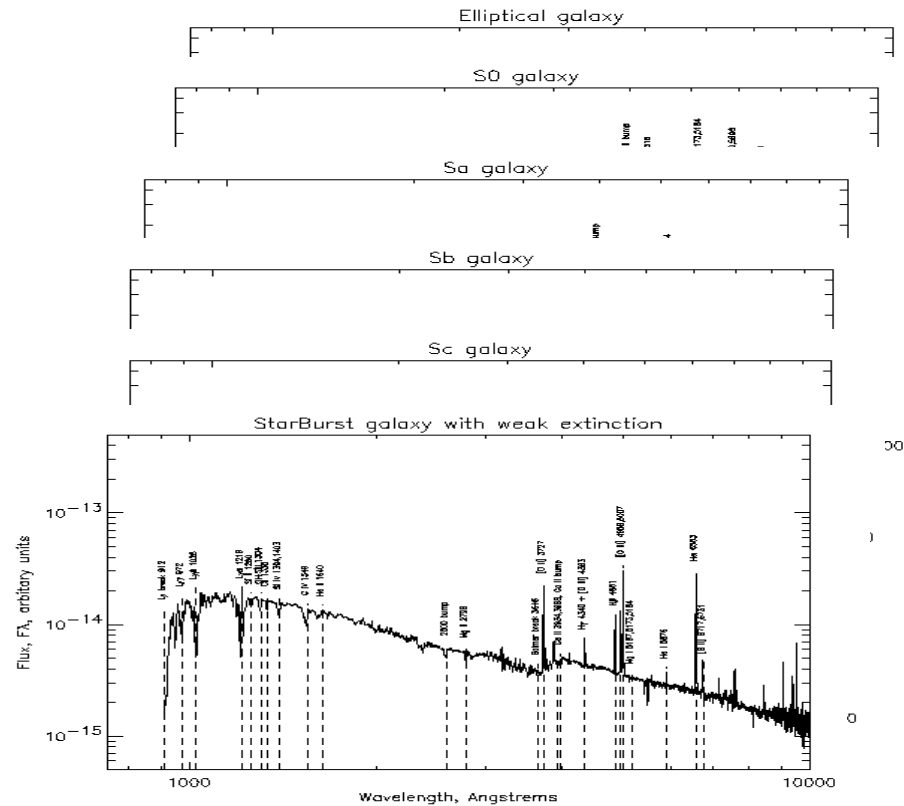
Эмиссионная линия с эквивалентной шириной EW будет зарегистрирована в фильтре шириной W_F на уровне $n\sigma$:

$$EW > n\sqrt{2}\sigma \times W_F$$

где σ – фотометрическая ошибка измерений зв. величины объекта в фильтре.

Т.е. на уровне 3σ при ошибке 0.03 зв. величины будет зарегистрирована линия с $EW > 0.127 \times W_F$,
при $W_F \sim 300 \text{ A}$: $EW > 35 \text{ A}$.

Анализ SEDs.



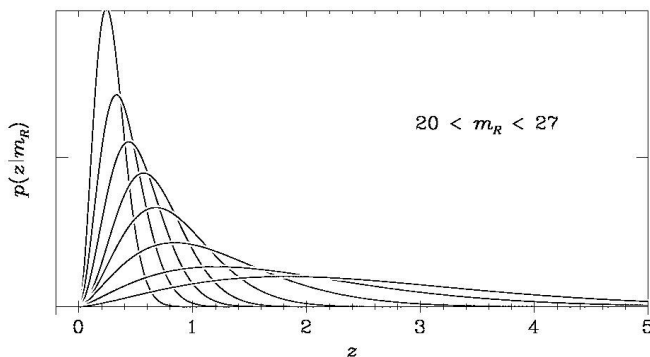
Для анализа SEDs используются :

- Библиотека спектров звёзд Peakles;
- Библиотека спектров галактик;
- Библиотека спектров квазаров.

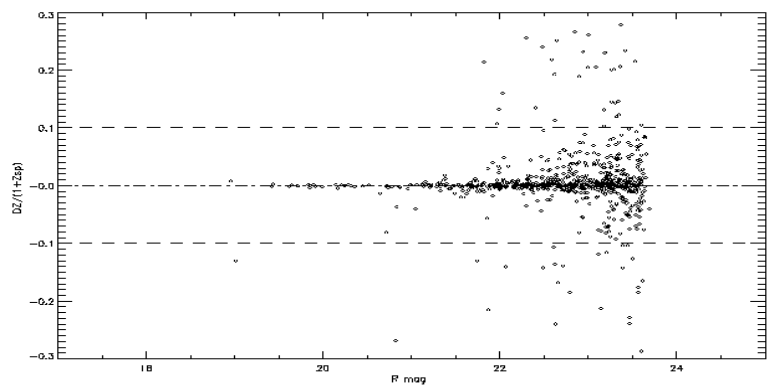
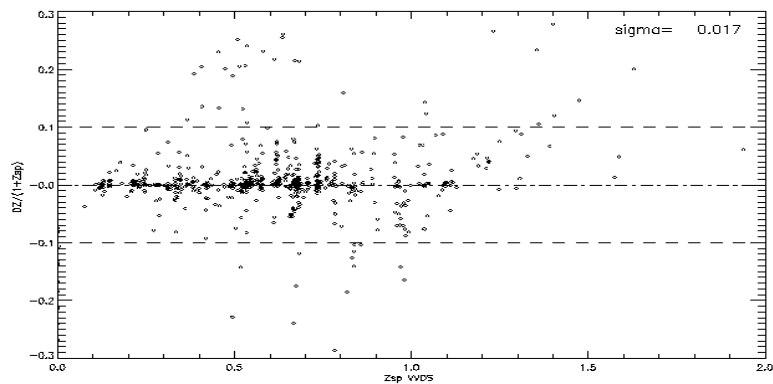
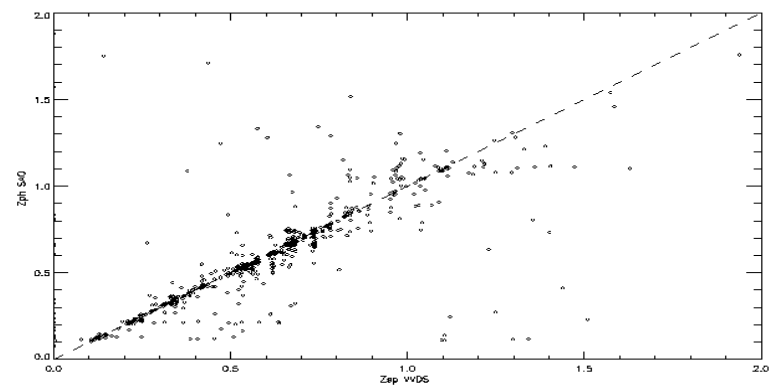
Вводятся ограничения на вероятность обнаружения ярких галактик на больших Z .

Водится информация о протяженности объекта (звезда – галактика).

Расчитывается вероятность принадлежности объекта к данному спектральному типу на заданной сетке Z .



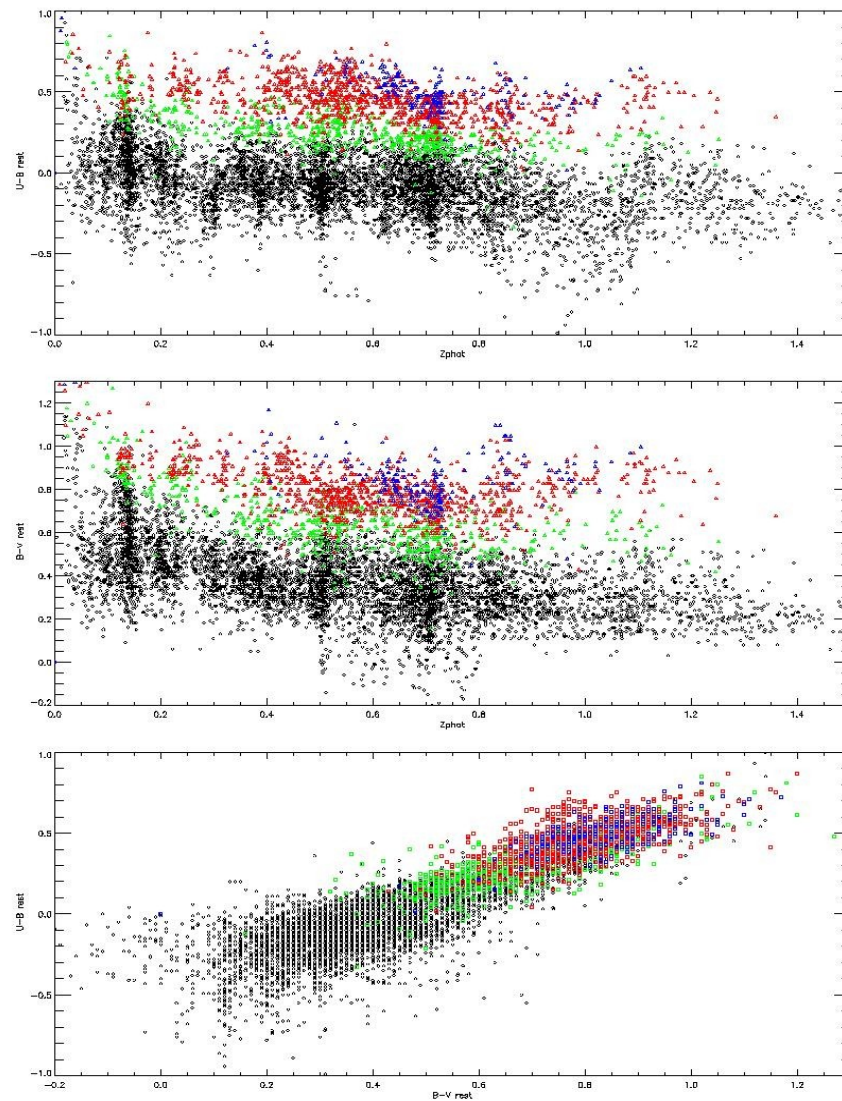
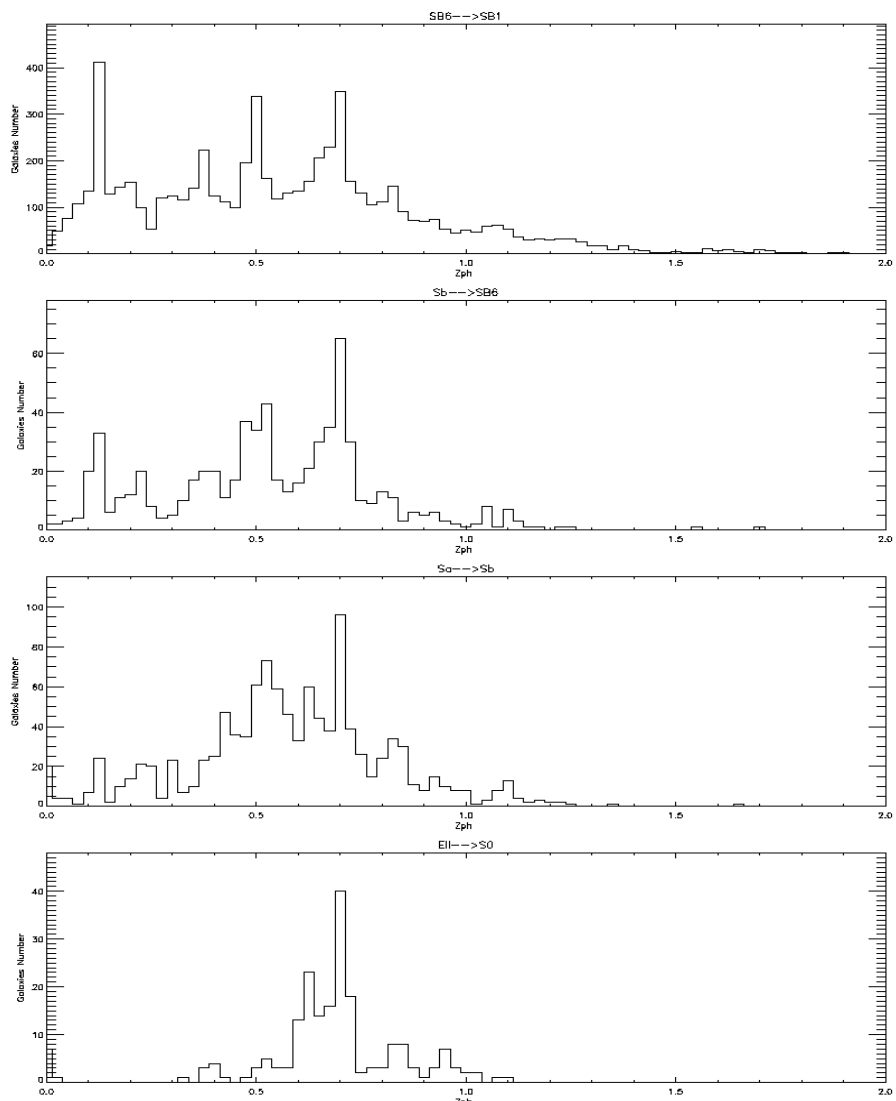
Анализ SEDs галактик поля.



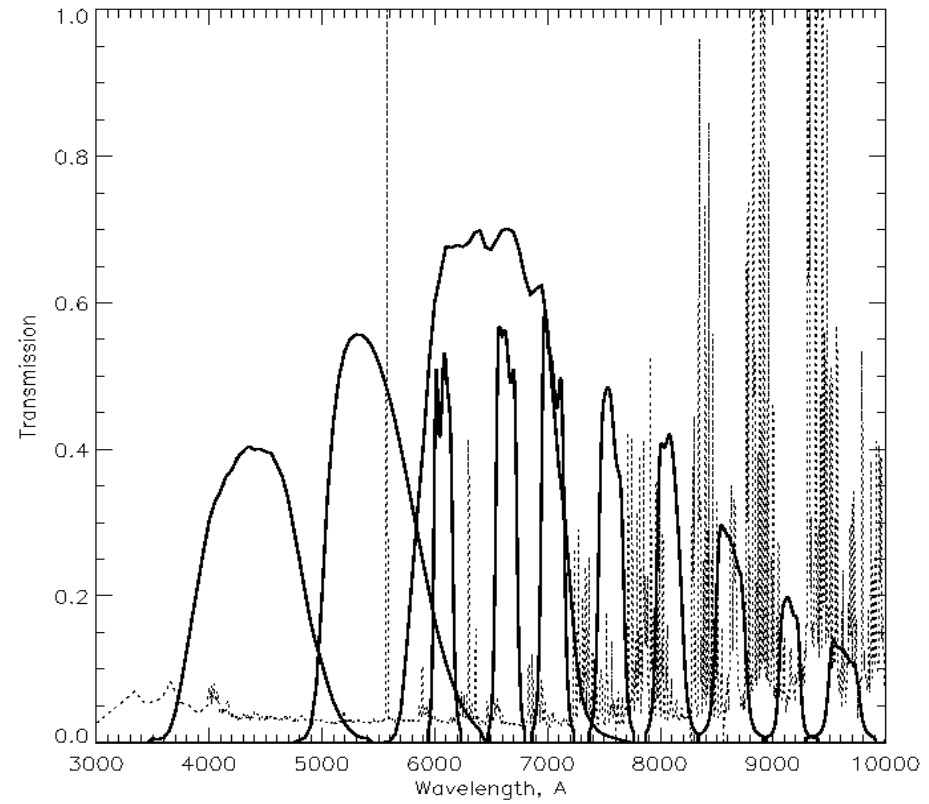
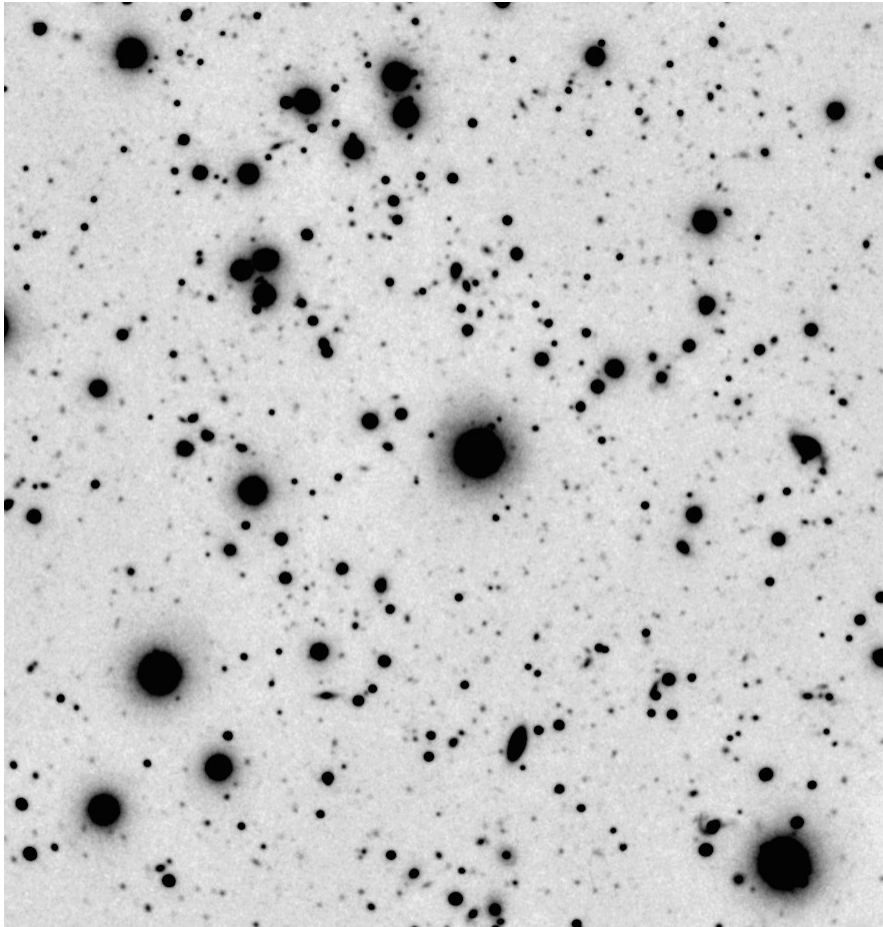
Ошибка определения красного смещения ~ 0.017 .

Число неправильно определенных Z не превышает 10%.

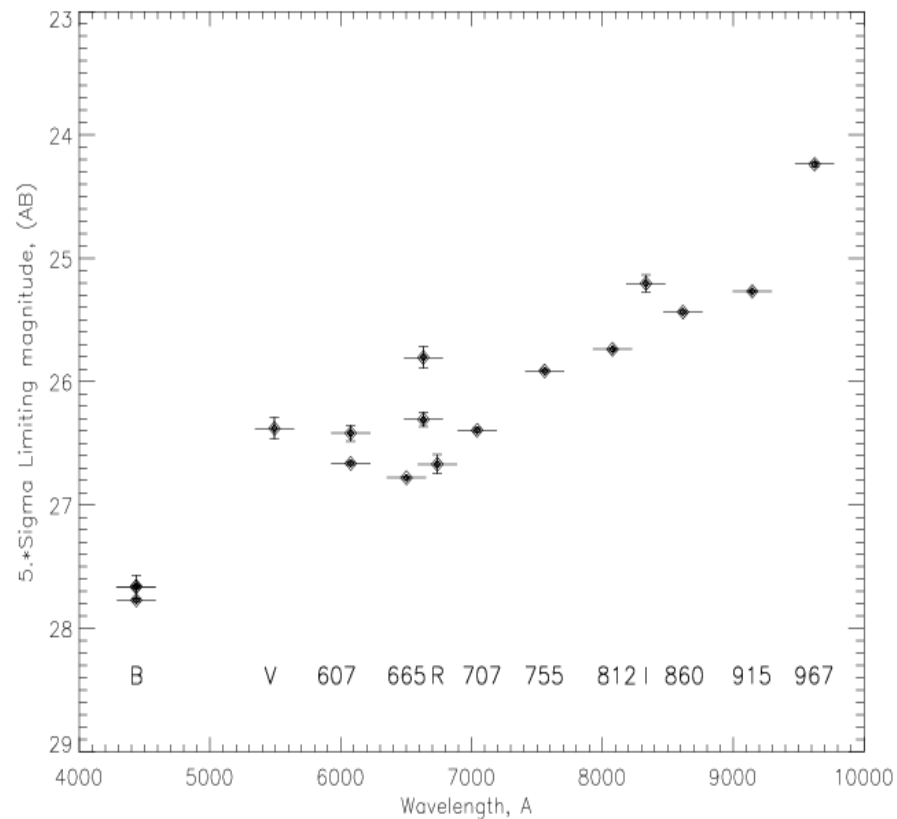
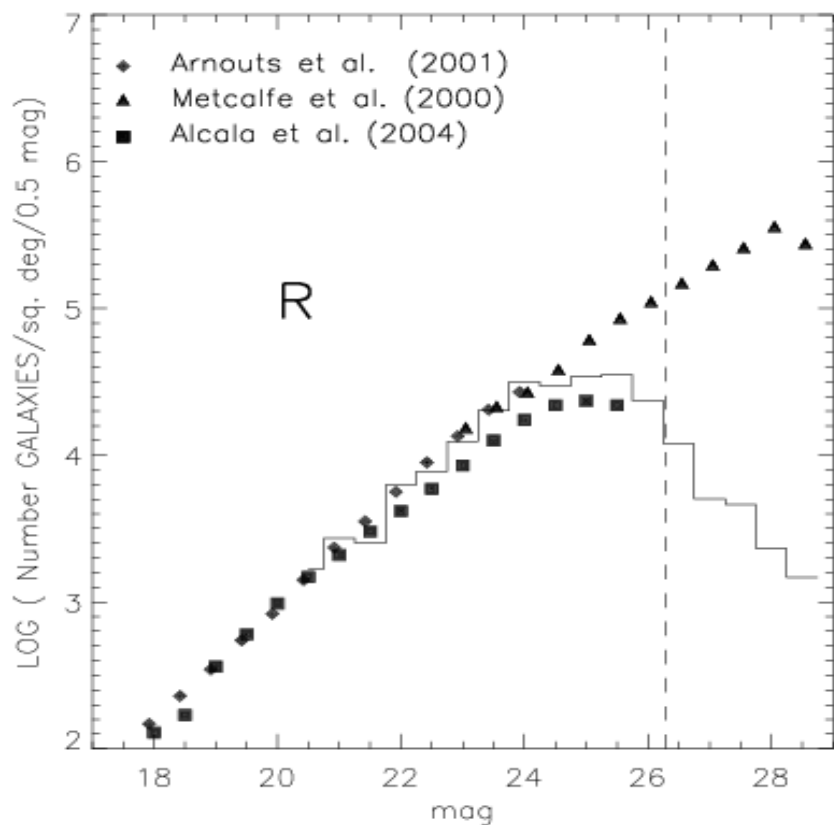
Анализ SEDs галактик поля.



Поле Q2203+29



Характеристики выборки галактик.



50 % полнота выборки галактик обеспечивается на уровне $R = 26.^m4$ ($S/N > 5.$).

Условия отбора LAE-галактик ($4.71 < Z < 6.60$) :

$B > 28.^m5$

$B-R > 2.^m5$

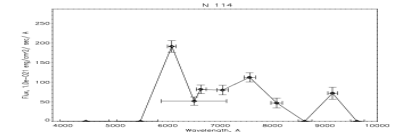
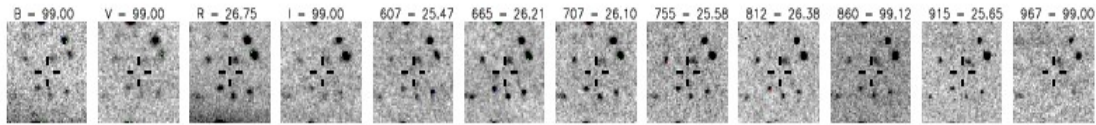
Поток в линии превышает поток в континууме в 2 раза ($0.^m7$)

Объект в фильтре ярче $AB_{\text{mag}} 25.^m5$ ($S/N > 5.$)

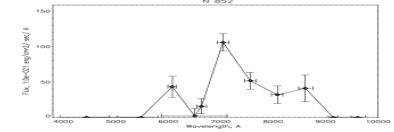
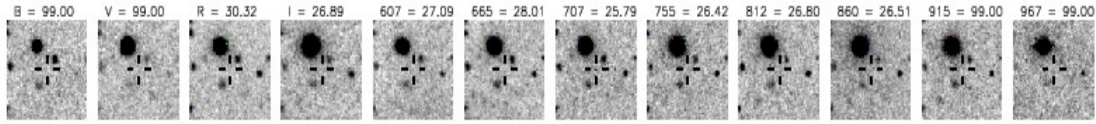
Выборка дополнена LB-галактиками в том же диапазоне Z .

Выборка галактик.

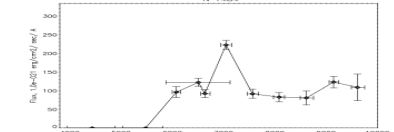
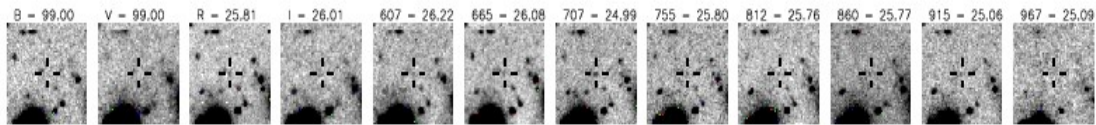
object n : 114



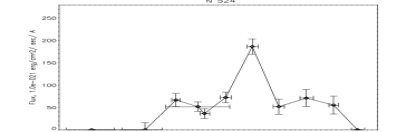
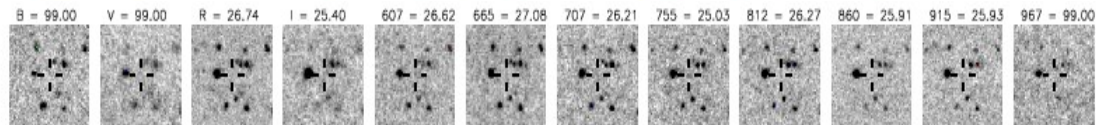
object n : 852



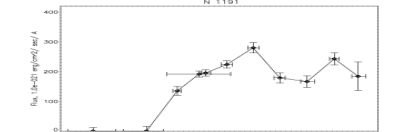
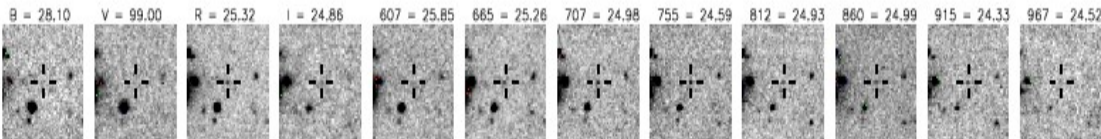
object n : 1484



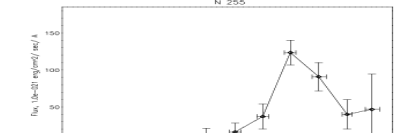
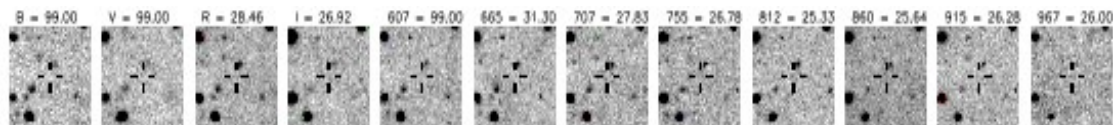
object n : 524



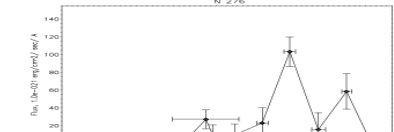
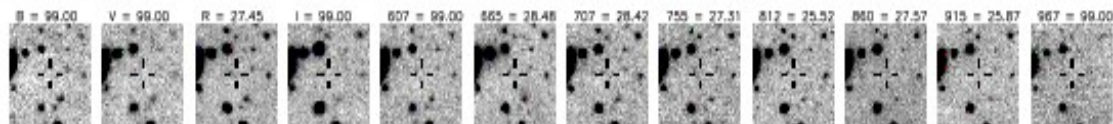
object n : 1191



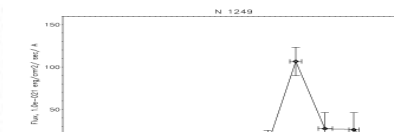
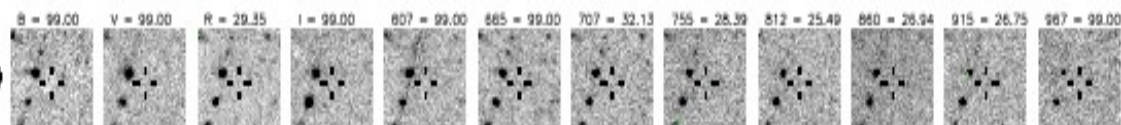
object n : 255



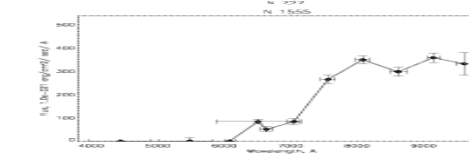
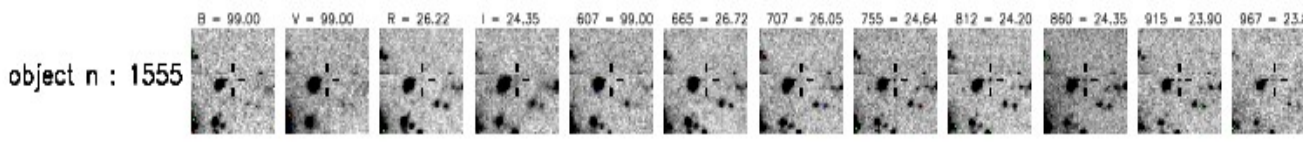
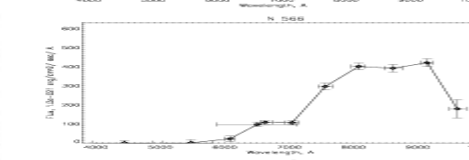
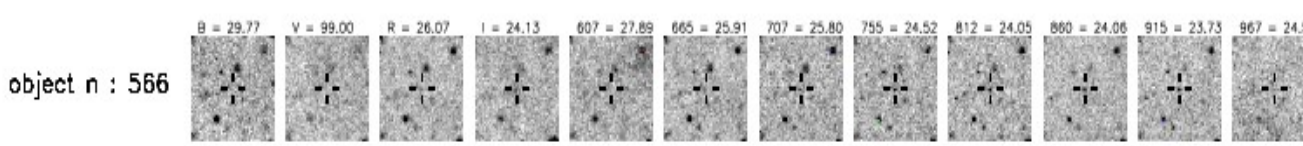
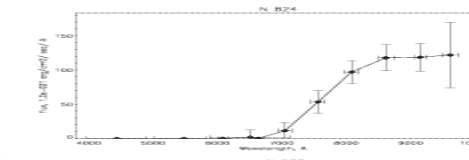
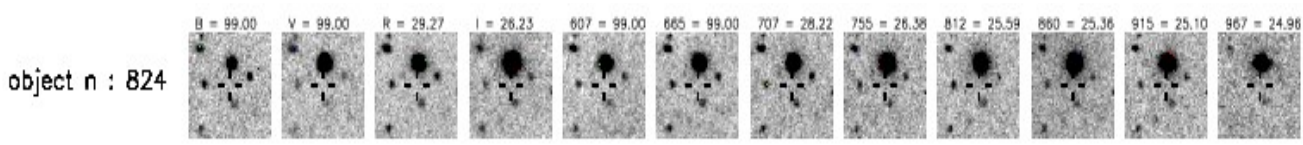
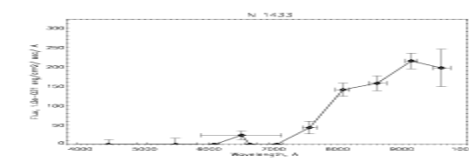
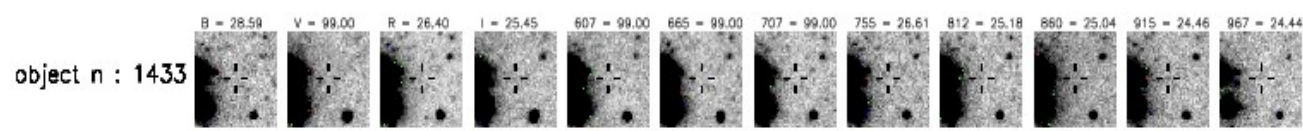
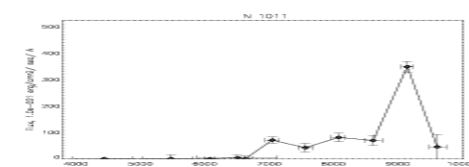
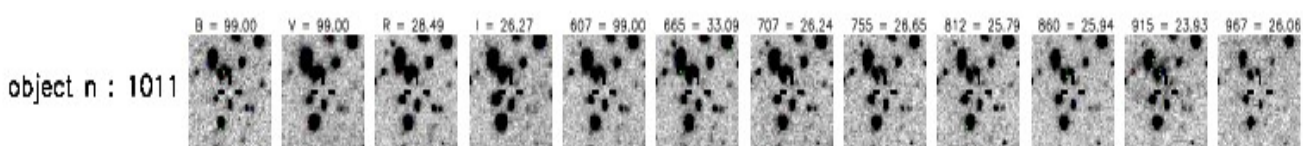
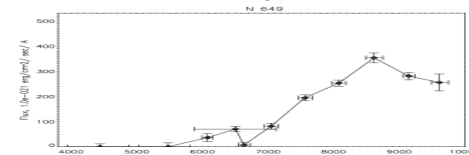
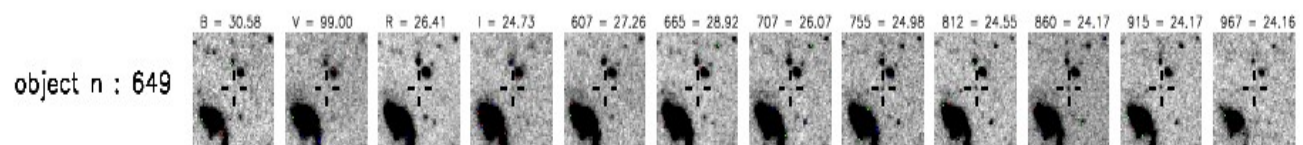
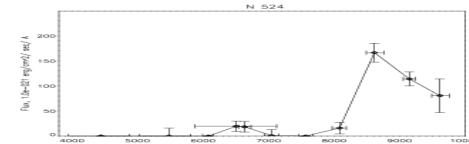
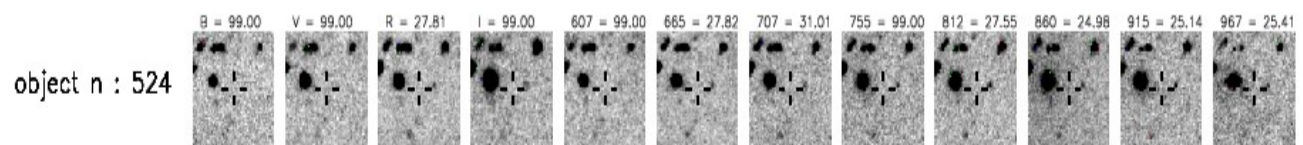
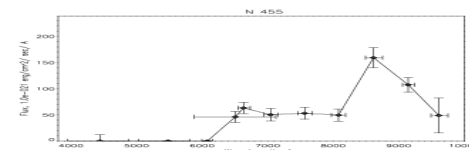
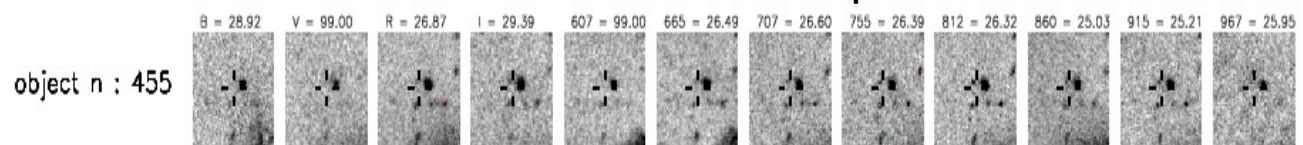
object n : 276



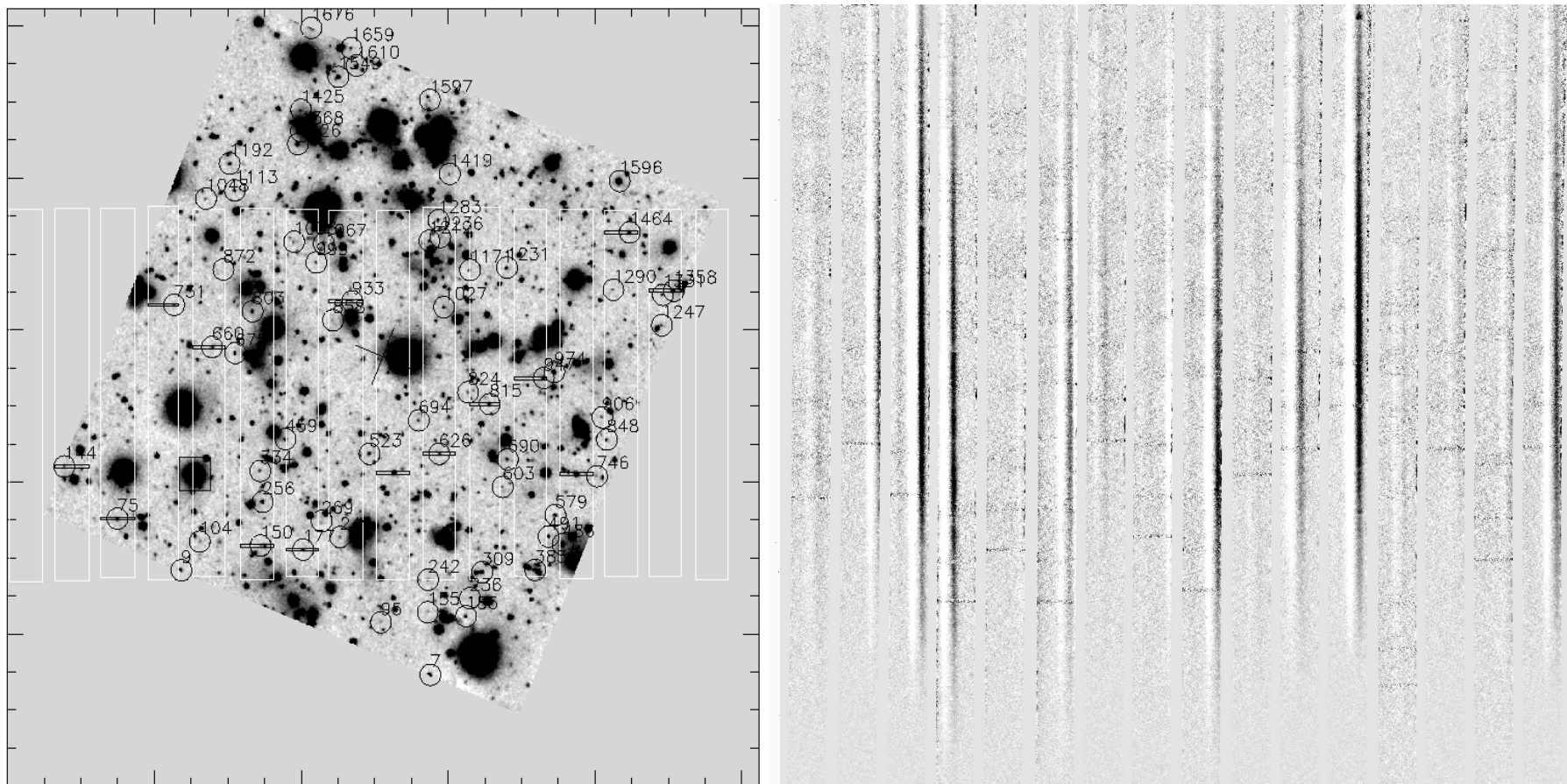
object n : 1249



Выборка галактик.

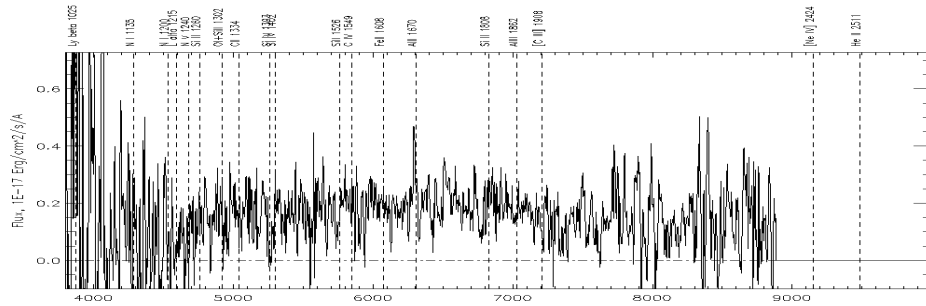


Спектроскопия слабых объектов на 6-м телескопе.

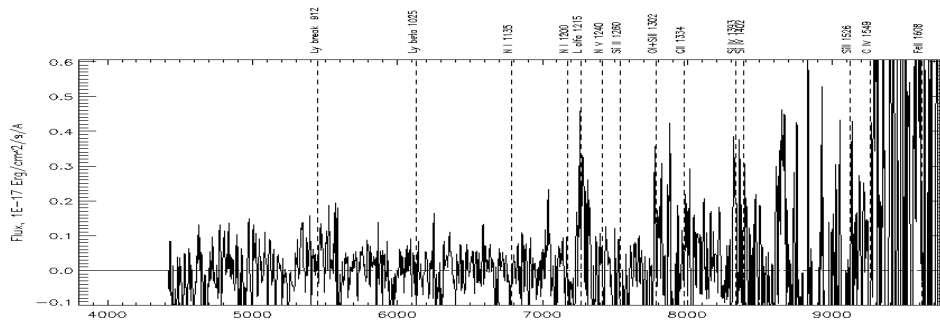


SCORPIO в режиме мультиобъектной спектроскопии : 16 объектов одновременно, поле зрения 2'.9 x 5'.9, размер щели 1".2 x 18", спектральное разрешение ~ 20 Å, спектральный диапазон 3800-9600 Å.

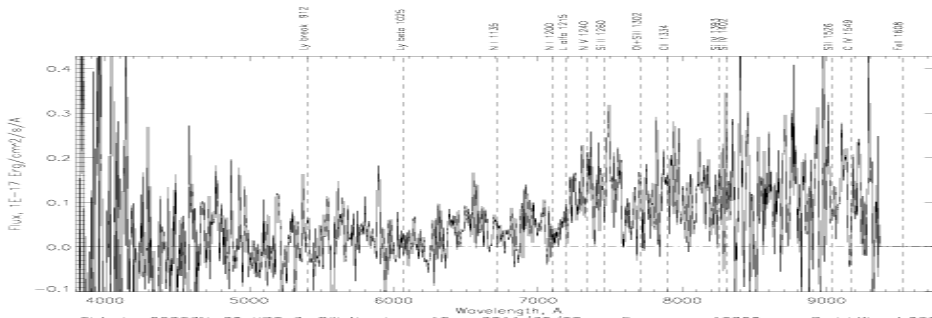
Спектроскопия галактик выборки.



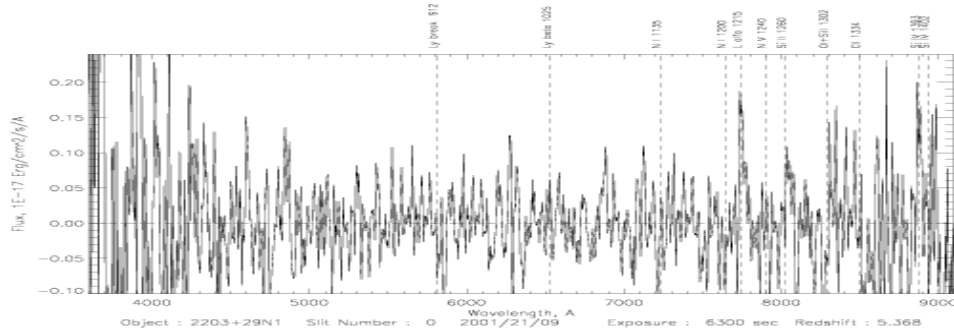
$R=23.47$ $Z_{\text{phot}}=2.79$ $Z_{\text{sp}}=2.776$



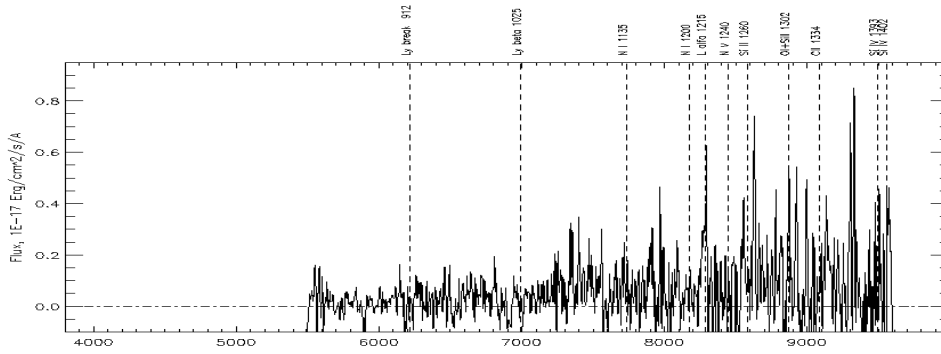
$R=25.43$ $Z_{\text{phot}}=4.89$ $Z_{\text{sp}}=4.979$



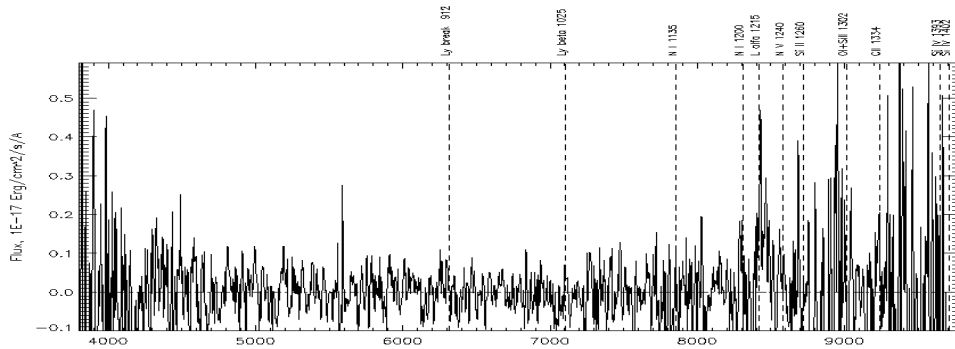
$R=24.53$ $Z_{\text{phot}}=5.01$ $Z_{\text{sp}}=4.920$



R=25.34 Z_{phot}=5.40 Z_{sp}=5.367



R=25.43 Z_{phot}=5.78 Z_{sp}=5.814



R=26.24 Z_{phot}=5.87 Z_{sp}=5.923

Характеристики выборки галактик.



В выборку галактик в диапазоне красных смещений $4.71 < Z < 6.60$ в поле размером 25 arcmin^2 вошло 18 объектов удовлетворяющих цветовым критериям отбора LAE-галактик и 10 LB-галактик. Поверхностная плотность объектов ~ 1 шт./ arcmin^2 .

Спектрально подтверждены 10 объектов.

Оценки темпа звездообразования по потокам в L_a от 6.2 до $41.3 \text{ M}\odot\text{yr}^{-1}$ со средним значением $10 \text{ M}\odot\text{yr}^{-1}$.