

# Построение карты пылевых облаков

Амосов Федор, СПбГУ

Руководитель: Цветков Александр, СПбГУ

# Глава 1. Введение

# Постановка задачи

Дан звездный каталог с данными о

- положениях
- параллаксах
- фотометрии
- спектральных классах и классах светимости

Задача

- Построить трехмерную карту пылевых облаков

Звездный каталог с данными о

- положениях
- параллаксах
- фотометрии
- спектральных классах и классах светимости

⇒ каталог Hipparcos ( $10^5$  звезд)

# Покраснение

$$E_{B-V} = (B - V)_{obs} - (B - V)_{int}$$

Пример на звезде HIP 44800

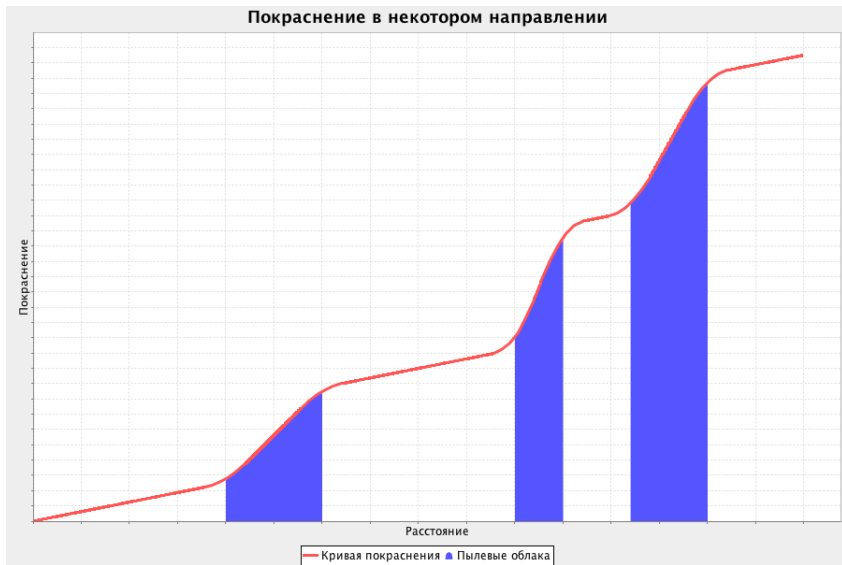
- У нее в каталоге  $(B - V)_{obs} = 0.535^m$
- Класс F7V, поэтому\*  $(B - V)_{int} = 0.493^m$
- Покраснение  $0.535^m - 0.493^m = 0.042^m$
- Между нами и звездой пыли на  $0.042^m$

## Глава 2. Построение панорамы пылевых облаков

# Идеальная кривая покраснения

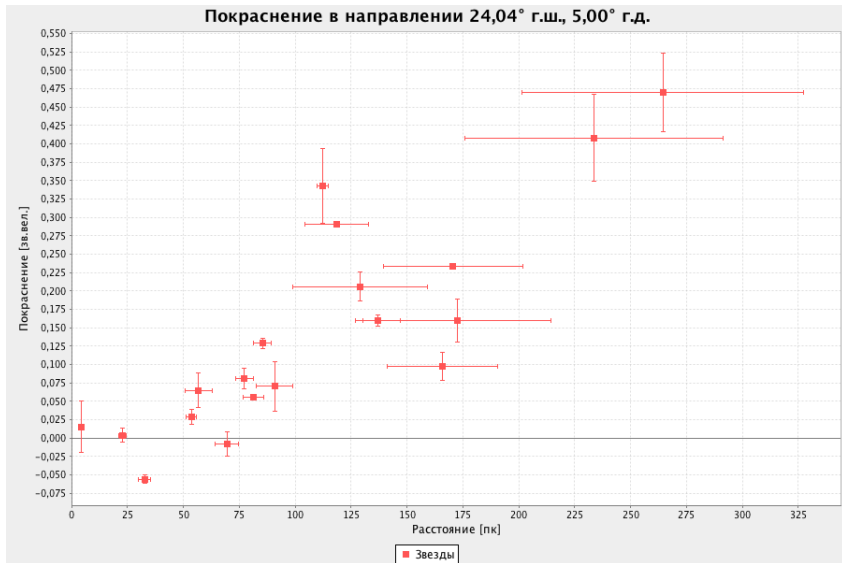


# Пылевые облака

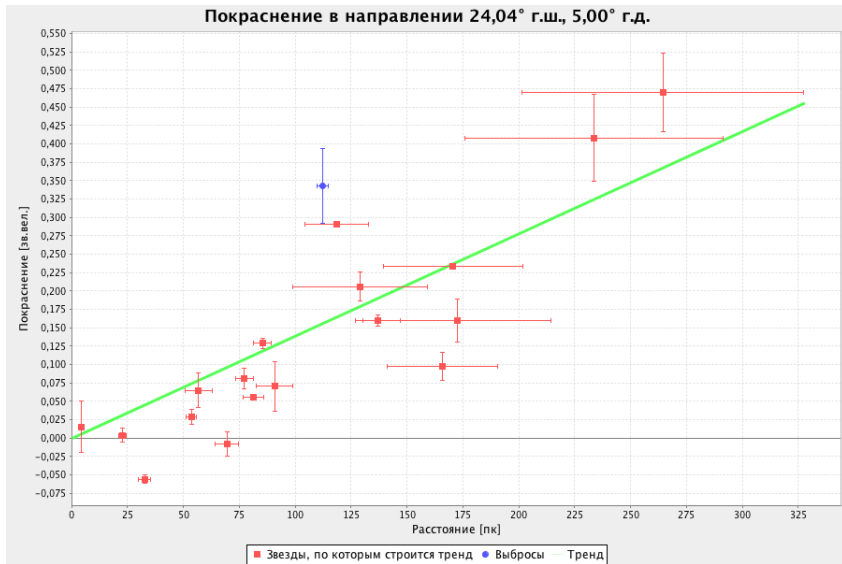




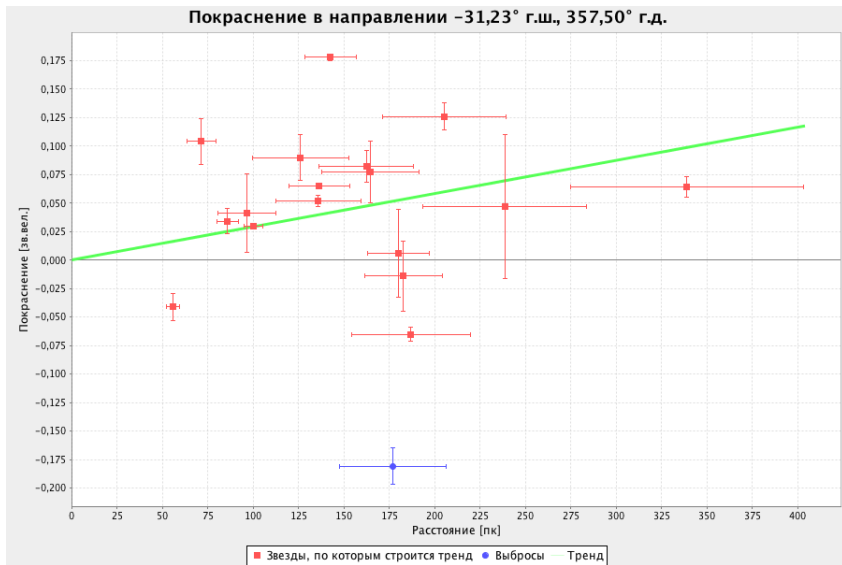
# Реальное покраснение



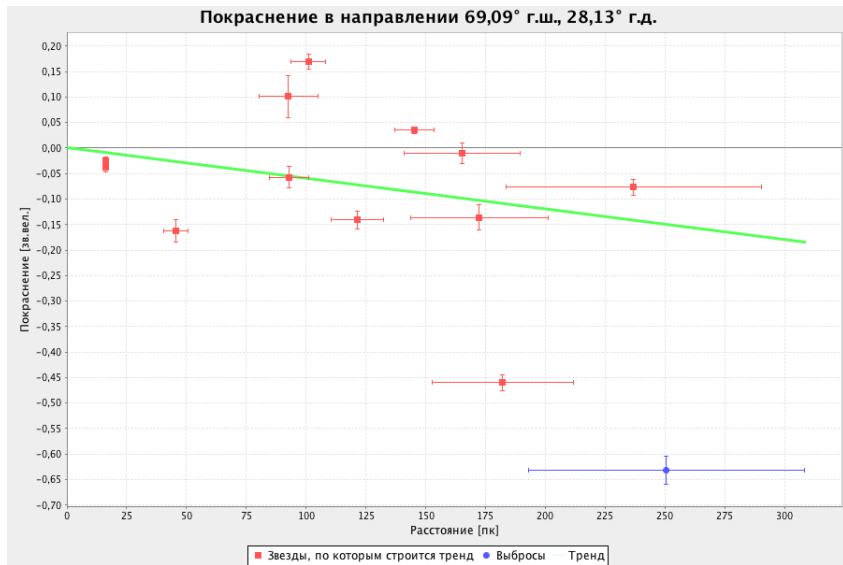
# Реальная «кривая» покраснения



# «В среднем»

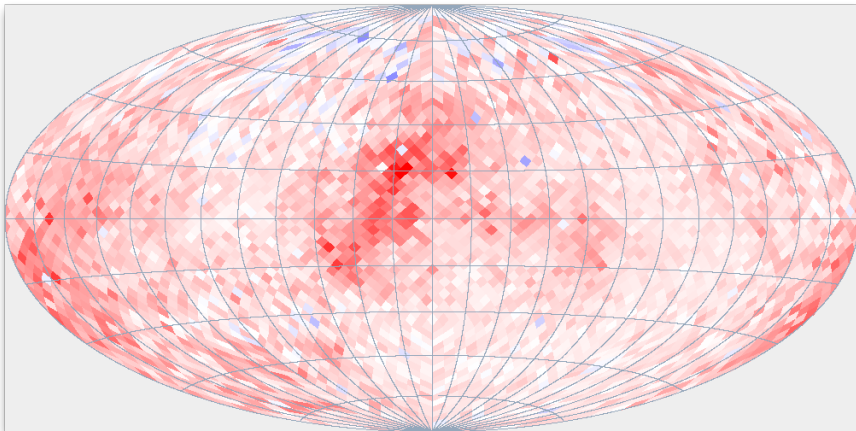


# Отрицательный тренд

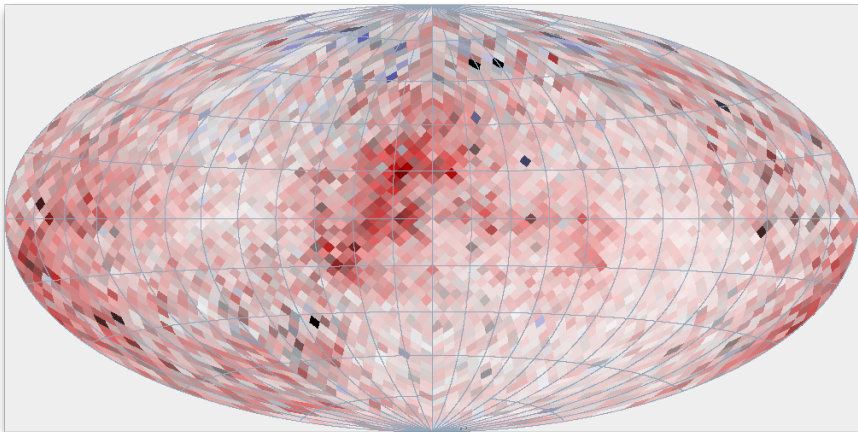


Коэффициент  $k$

$$E_{B-V} = kr$$



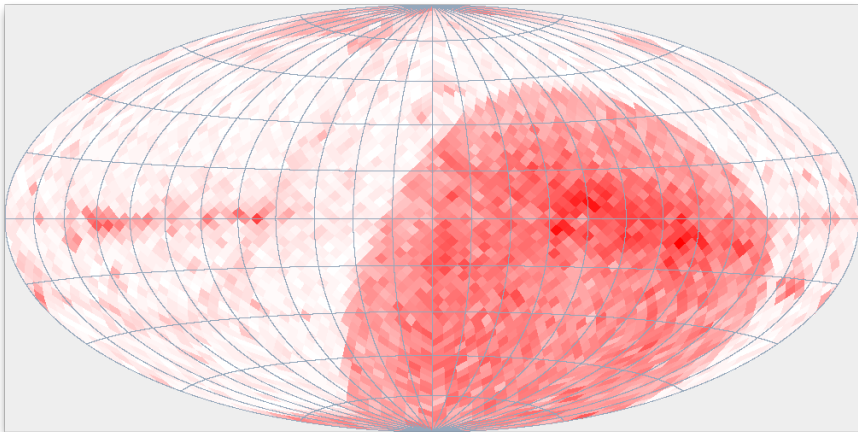
# Коэффициент $k$ с ошибкой



# Предварительная обработка

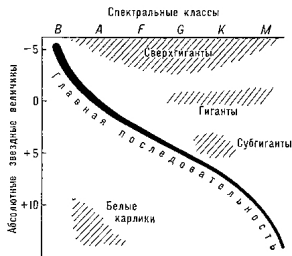
- В расчет берутся 58486 из 118219 звезд
  - ▶ Отсутствие некоторых необходимых данных\*
  - ▶ Точность в расстоянии 25%
- Разбиение сферы на  $12 \cdot 18^2 = 3888$  равновеликих частей алгоритмом Healpix
- Тренды строятся по 90% расчетных звезд
- Расчет отсутствующих классов светимости
  - ▶ Спектральный класс, класс светимости  
 $\implies (B - V)_{int}$

# Наличие классов светимости



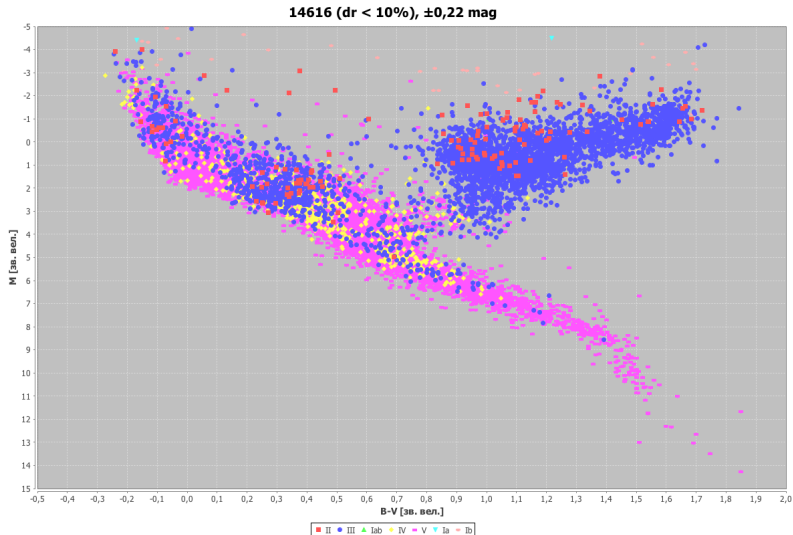


# Обучение классификатора

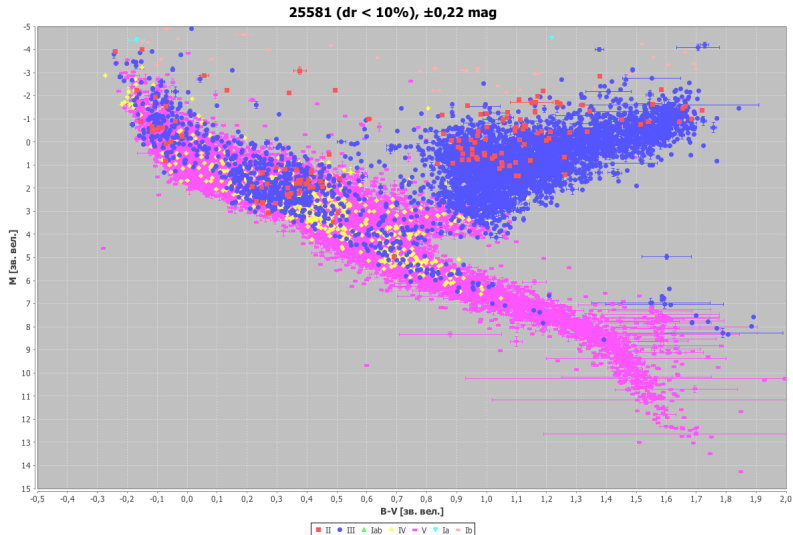


- Факторы: показатель цвета, абсолютная звездная величина
- Класс: класс светимости
- Алгоритм классификации: метод опорных векторов (Support Vector Machines, SVM)

# Обучающее множество



# Результат классификации



# Качество классификации

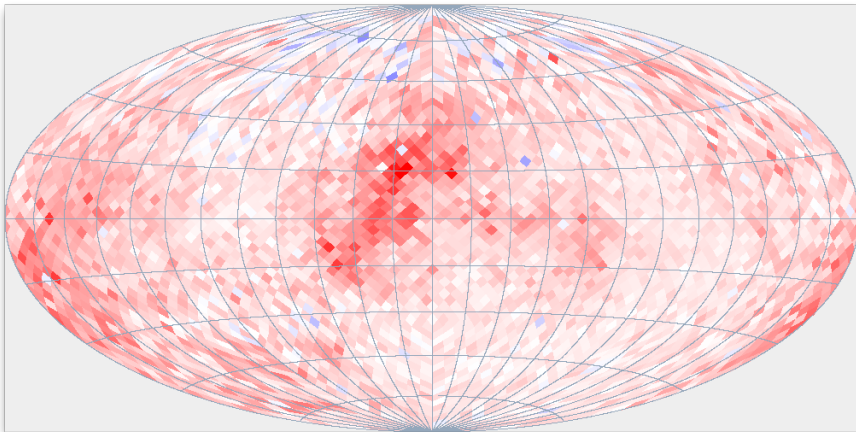
Результаты кросс-валидации на 10 частях

- Точность 93.4%
- Полнота 93.0%
- F-мера 92.7%

Замечание

- Обучение проводилось только на III и V классах

# Результат



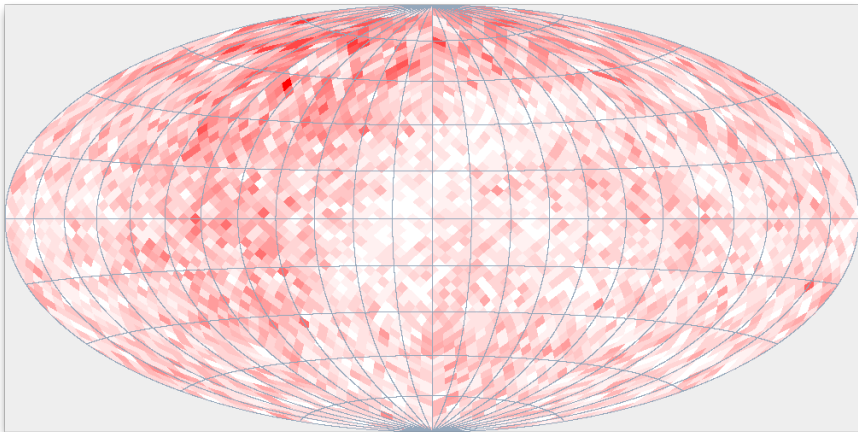
# Что дальше?



$$E_{B-V} + 3\sigma_{E_{B-V}} < 0$$

## Глава 3. Звезды каталога Hipparcos с отрицательным покраснением

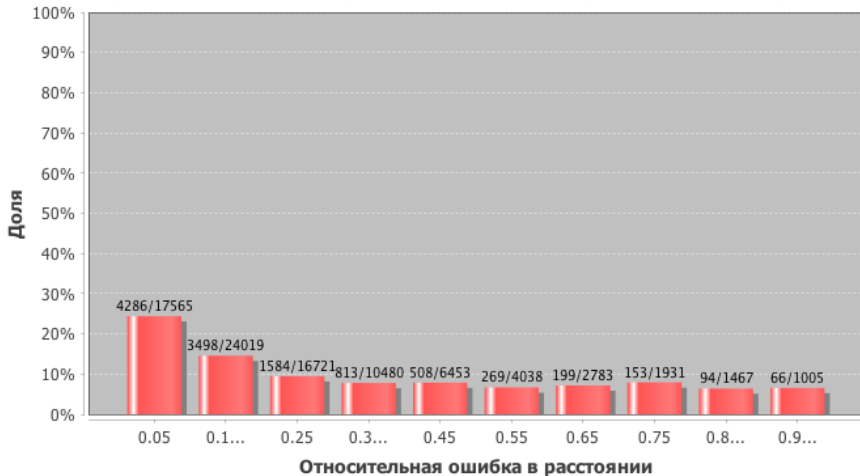
# Выбросы на небе





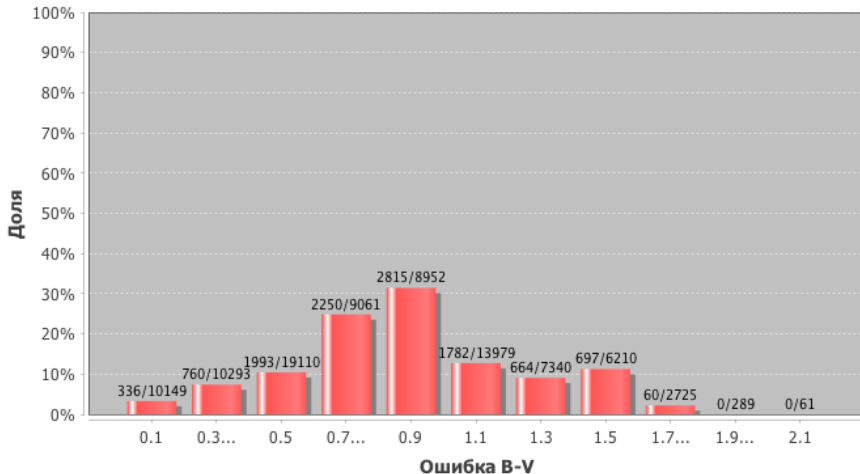
# Выбросы и параллакс

## Относительная ошибка в расстоянии Отрицательное покраснение у 13% (11470/86462)



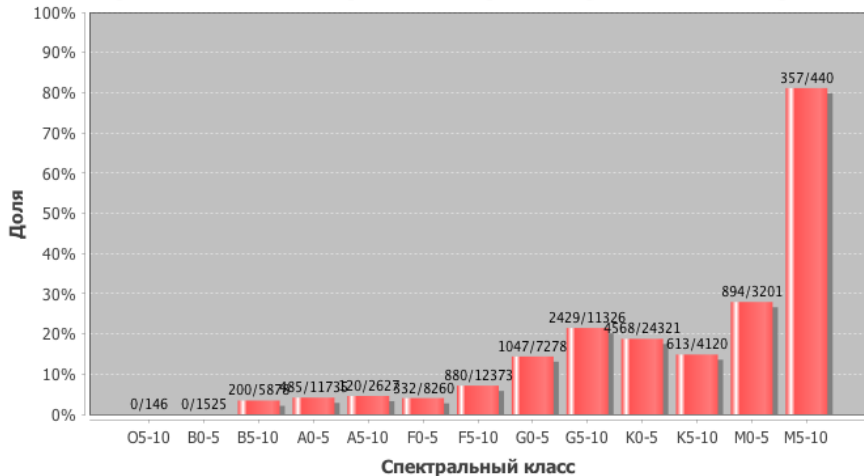
## Выбросы и показатель цвета

**Ошибка В-V**  
**Отрицательное покраснение у 12% (11357/88169)**



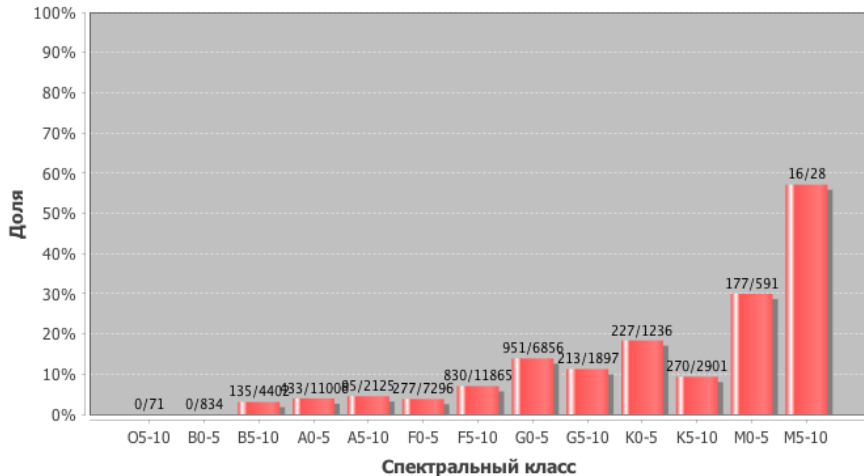
# Выбросы и спектр

## Спектральный класс Отрицательное покраснение у 12% (11925/93230)



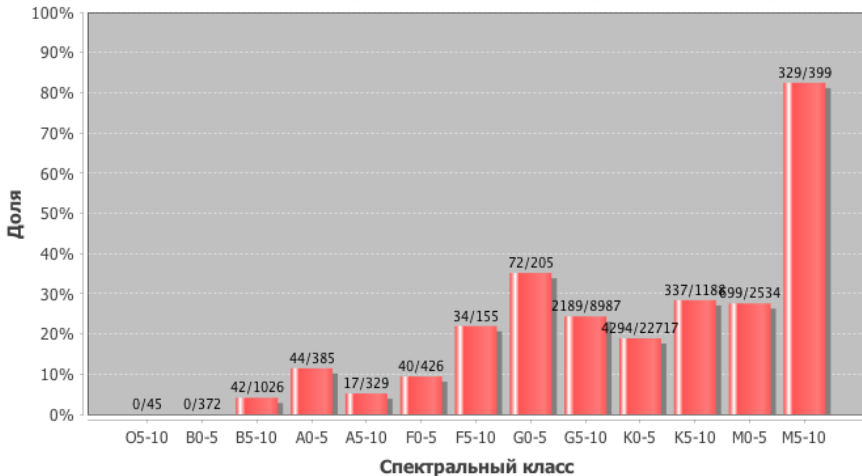
# Выбросы и спектр (III)

## Спектральный класс Отрицательное покраснение у 7% (3624/51108)



# Выбросы и спектр (V)

## Спектральный класс Отрицательное покраснение у 20% (8097/38768)



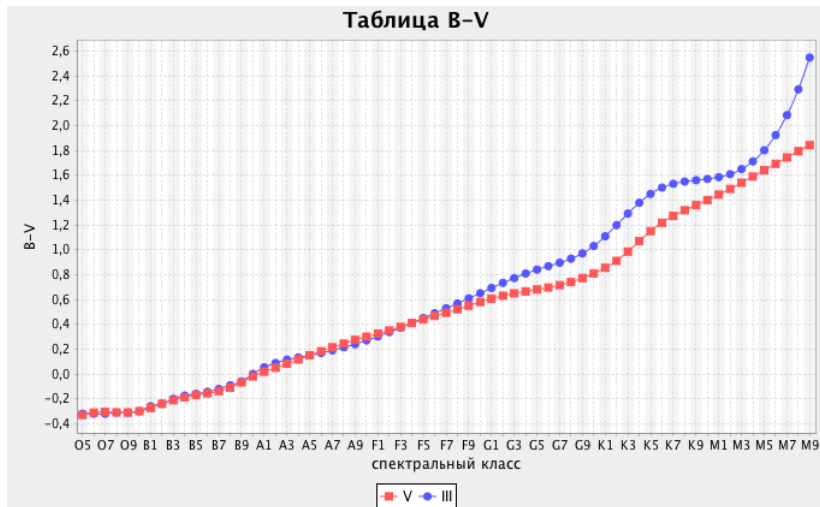
# Выборы и диаграмма ГР



$$(B - V)_{int}(III) > (B - V)_{int}(V)$$

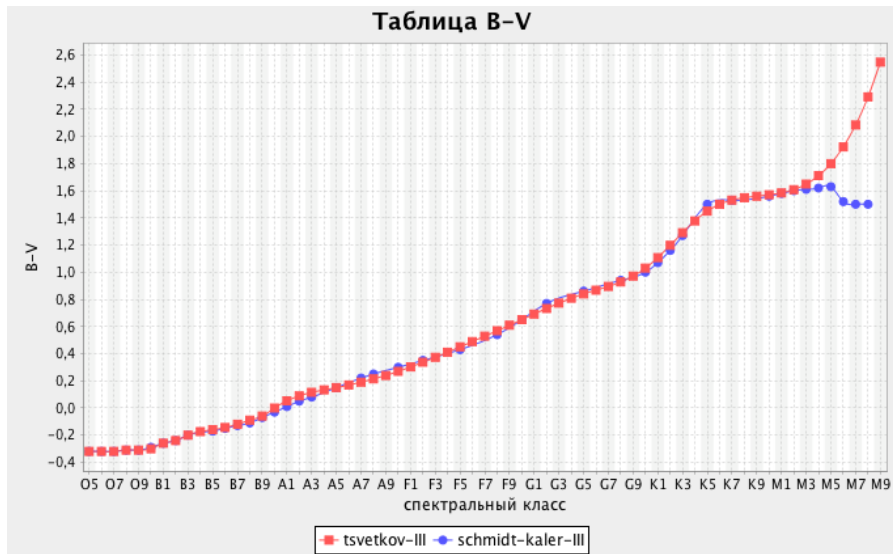
$$E_{B-V} = (B - V)_{obs} - (B - V)_{int}$$

# Таблица (Цветков)



Неточности в спектральной классификации звезд каталога Tycho-2 Spectral Type А.А.Сминов,  
А.С.Цветков, А.В.Попов 2006

# Таблица (Schmidt-Kaler)





# Расчет верхней оценки

- Дан порог (к примеру, 5%)
- Для каждого класса светимости и спектрального класса рассмотрим все звезды этих классов
- Отсортируем их по  $E_{B-V} + 3\sigma_{E_{B-V}}$
- Рассмотрим звезду, соответствующую порогу

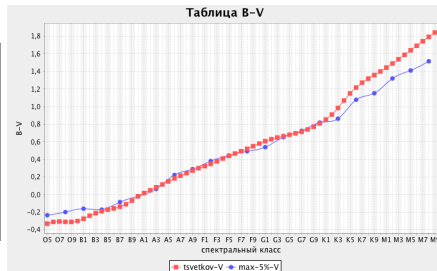
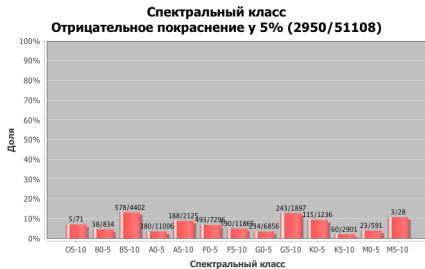
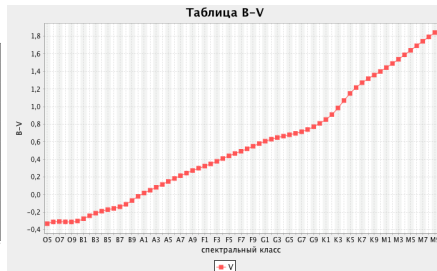
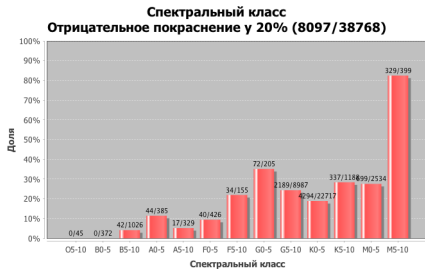
$$E_{B-V} + 3\sigma_{E_{B-V}} = E \quad (< 0)$$

$$(B - V)_{obs} - (B - V)_{int} + 3\sigma_{(B-V)_{obs}} = E$$

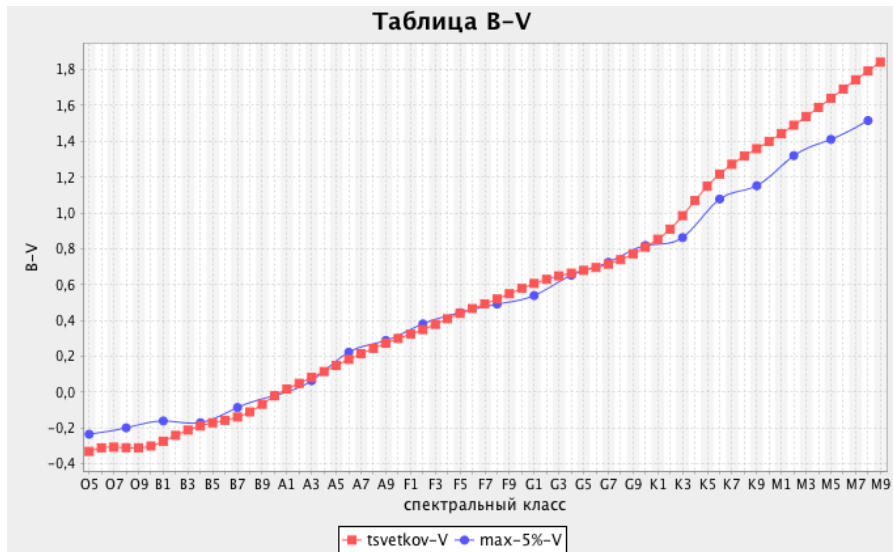
$$(B - V)_{obs} - (B - V)_{int}^{max} + 3\sigma_{(B-V)_{obs}} = 0$$

- $(B - V)_{int}^{max} = (B - V)_{obs} + 3\sigma_{(B-V)_{obs}}$

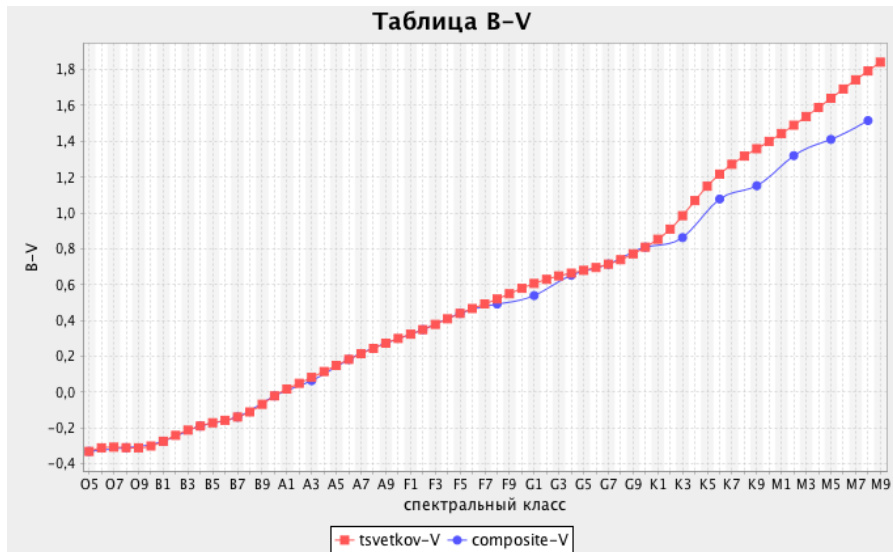
# Верхняя оценка



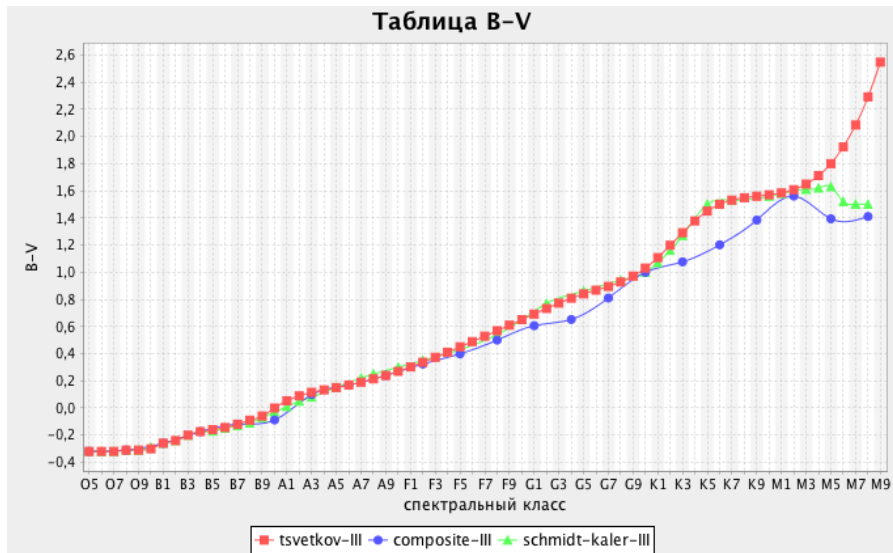
# Верхняя оценка



# Новая таблица (V)

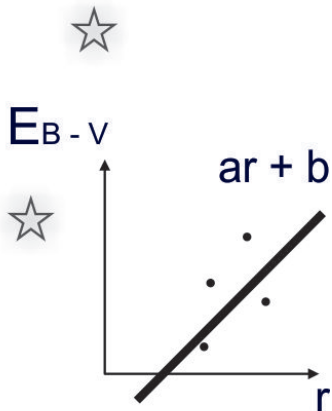
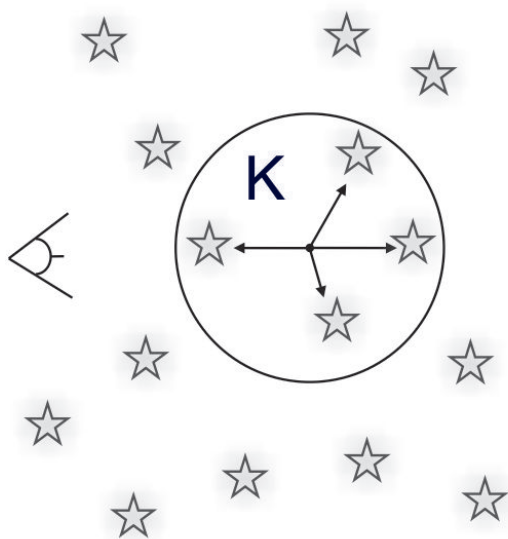


# Новая таблица (III)



## Глава 4. Построение трехмерной карты пылевых облаков

# Есть ли пыль в точке?



# Алгоритм поиска пыли

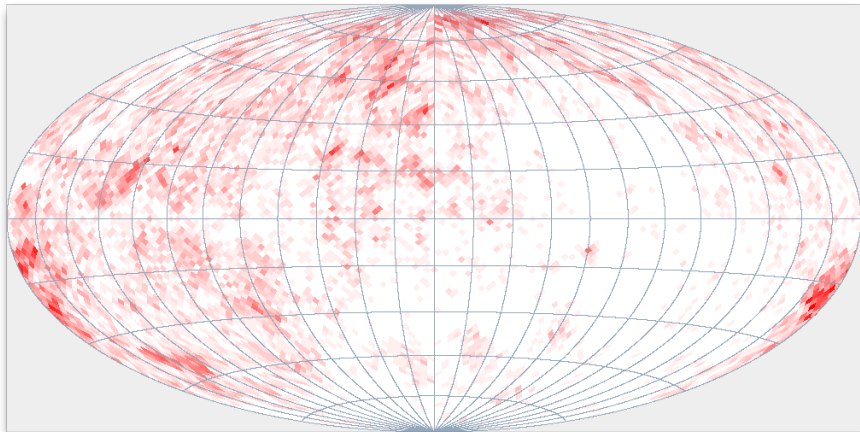
- Бросаем много точек с распределением, соответствующем распределению звезд.  
Для каждой:
- Находим  $K$  ближайших звезд. Проверяем локальность полученной окрестности.
- Вычисляем тренд  $ar + b$  покраснения по этим звездам
- Если  $a > threshold$ , то в точке есть пыль



# Алгоритм поиска пыли. Реализация

- Берем звезды с относительной ошибкой в расстоянии  $\leq 35\%$   $\rightarrow$  64176 звезд
- Бросаем  $10^6$  точек
- $K = 25$
- Используем KD-деревья для поиска ближайших соседей. Поиск за  $O(\log n)$
- Диаметр окрестности  $\leq 200$  пк
- $threshold = 0.008$  зв.вел./пк

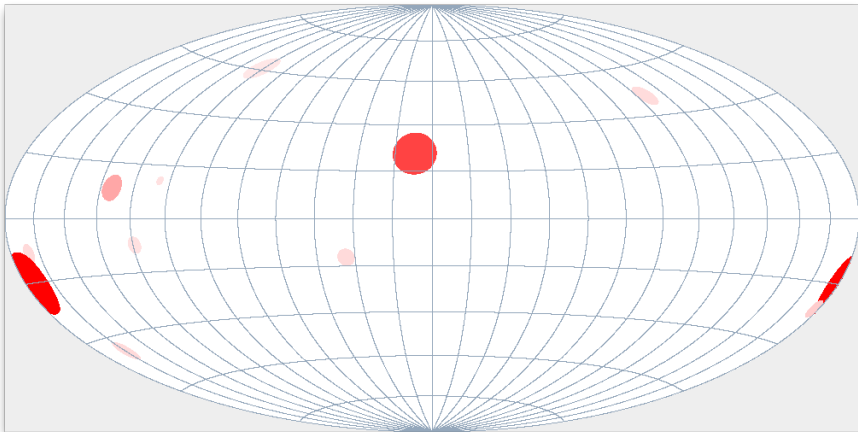
# «Трёхмерная» карта пыли



# Собираем из пыли облака

- 12560 точек пыли
- Кластеризация методом DBSCAN за  $O(n \log n)$
- Центр облака - центр масс точек кластера
- Радиус облака - усредненное стандартное отклонение точек кластера по  $x, y, z$

# Пылевые облака



## Глава 5. Результаты

# Основные результаты

- Построена панорама пыли
- Разработан алгоритм поиска пыли
- Построена трехмерная карта пыли
- Найдены облака

Направлене  $-18,03^\circ$  г.ш.,  $176,82^\circ$  г.д., расстояние 121 пк, радиус 18 пк

Направлене  $25,00^\circ$  г.ш.,  $7,21^\circ$  г.д., расстояние 118 пк, радиус 16 пк

Направлене  $9,92^\circ$  г.ш.,  $130,16^\circ$  г.д., расстояние 175 пк, радиус 13 пк

# Вспомогательные результаты

- Найдены недостающие классы светимости спомощью классификатора
- Представлена попытка найти причину отрицательного покраснения у звезд
- Получена верхняя оценка на показатель цвета в таблицах
- Разработана библиотека для работы с каталогом

Спасибо за внимание!

[github.com/amosov-f/dust-detection](https://github.com/amosov-f/dust-detection)