

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

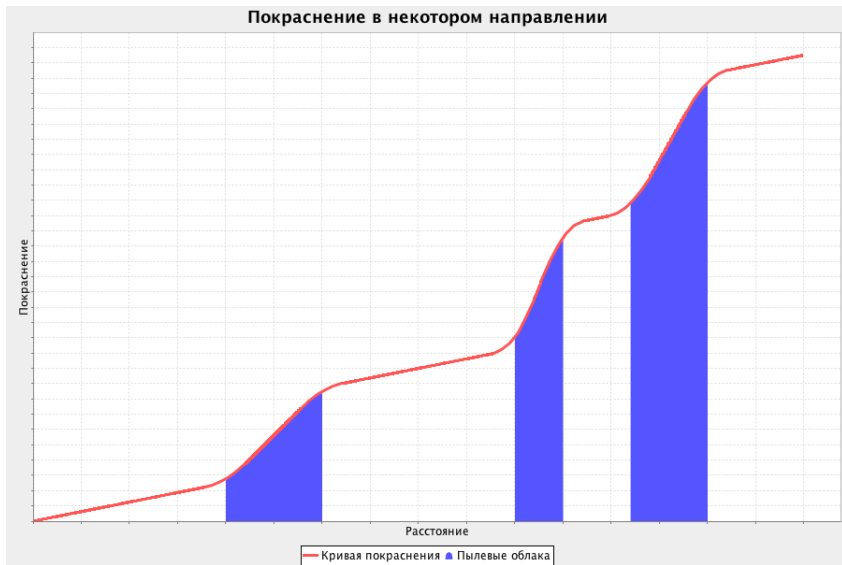
- У нее в каталоге $(B - V)_{obs} = 0.535^m$
- Класс F7V, поэтому* $(B - V)_{int} = 0.493^m$
- Покраснение $0.535^m - 0.493^m = 0.042^m$
- Между нами и звездой пыли на 0.042^m

Глава 2. Построение панорамы пылевых облаков

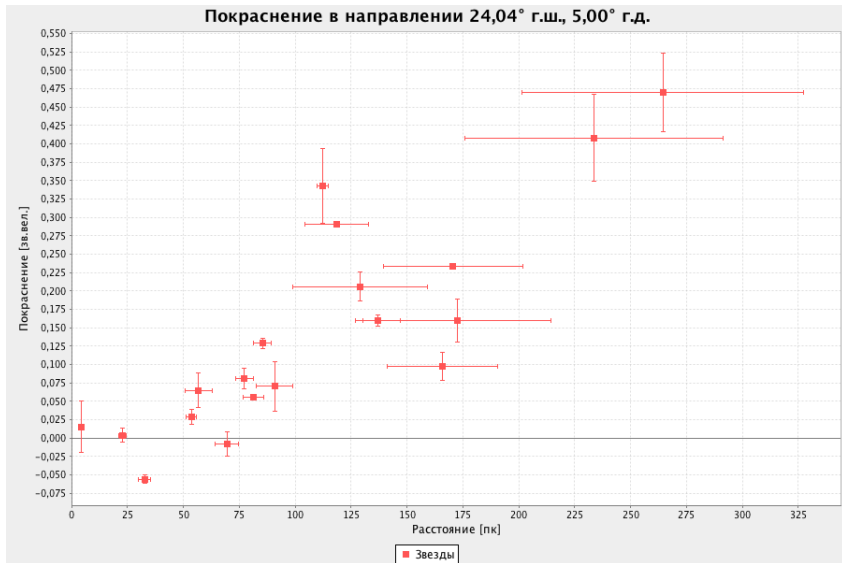
Идеальная кривая покраснения



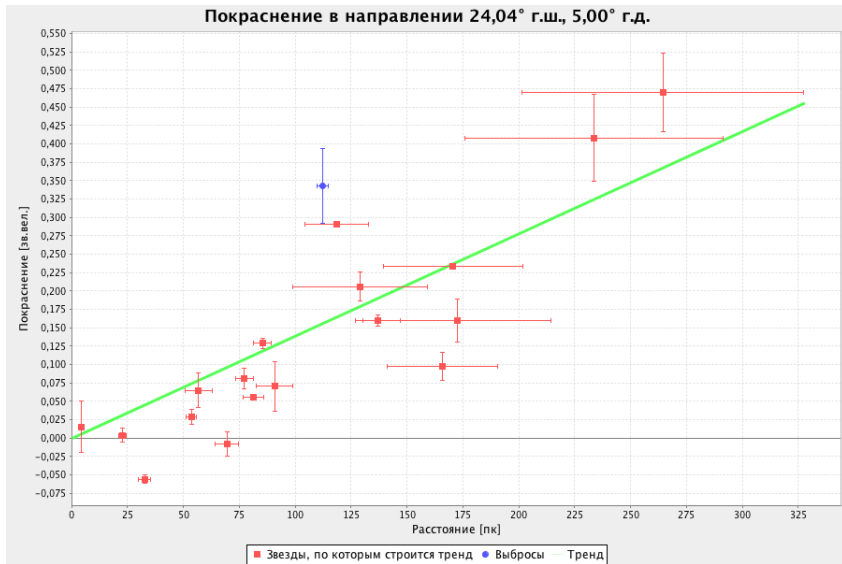
Пылевые облака



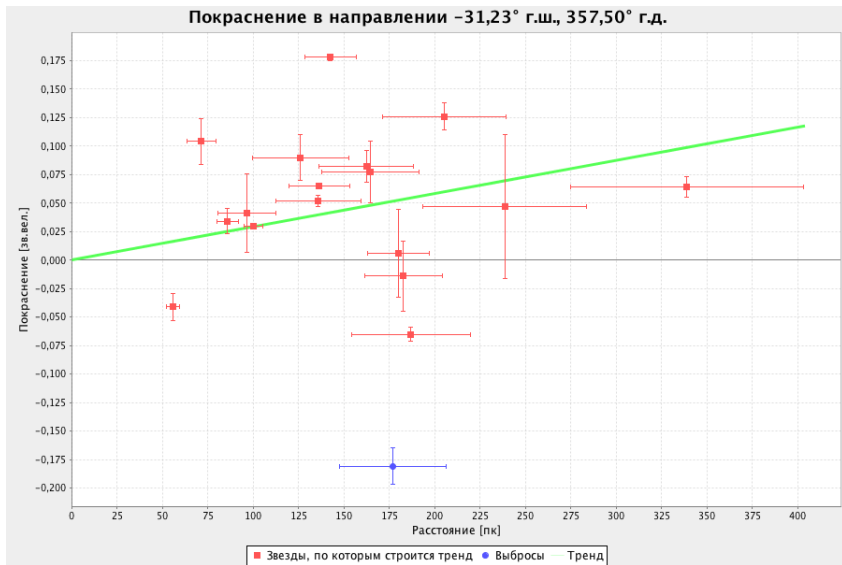
Реальное покраснение



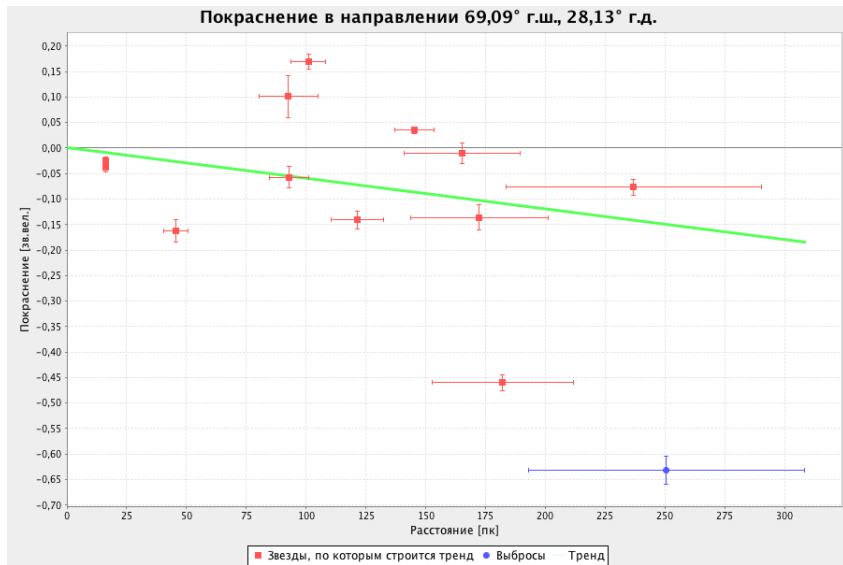
Реальная «кривая» покраснения



«В среднем»

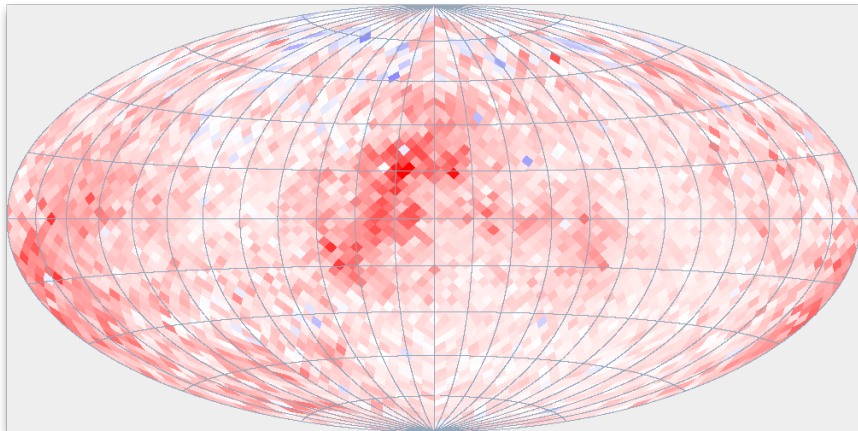


Отрицательный тренд

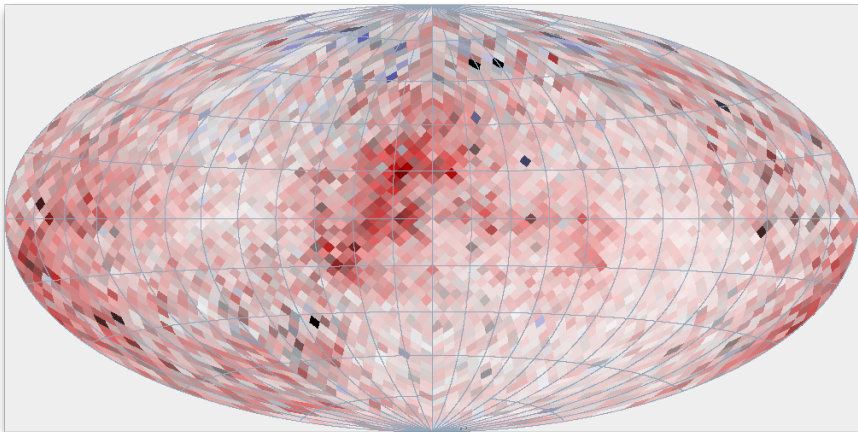


Коэффициент k

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



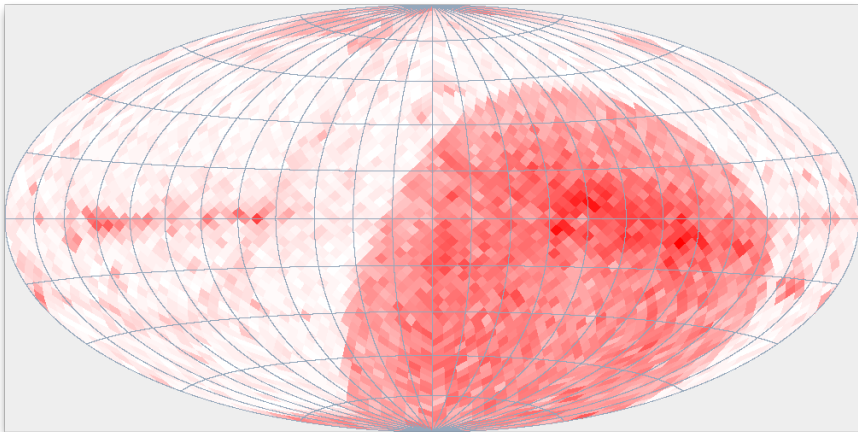
Коэффициент k с ошибкой



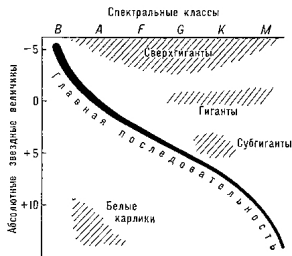
Предварительная обработка

- 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

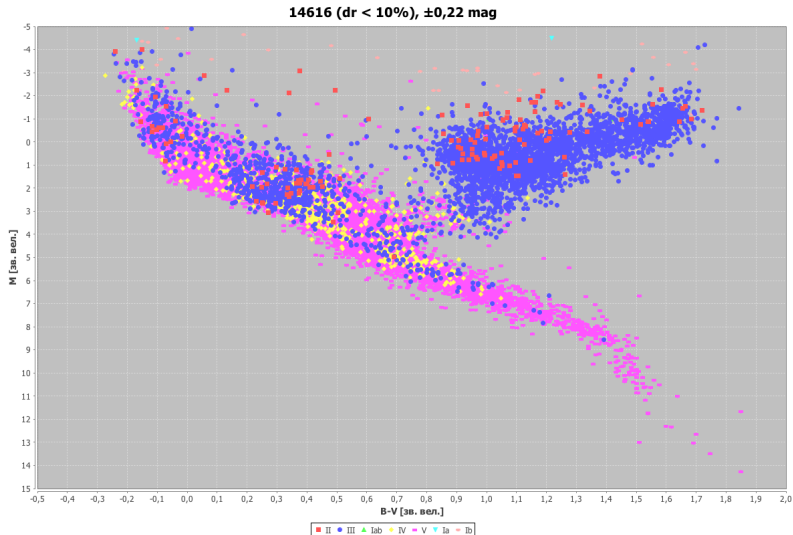


Обучение классификатора

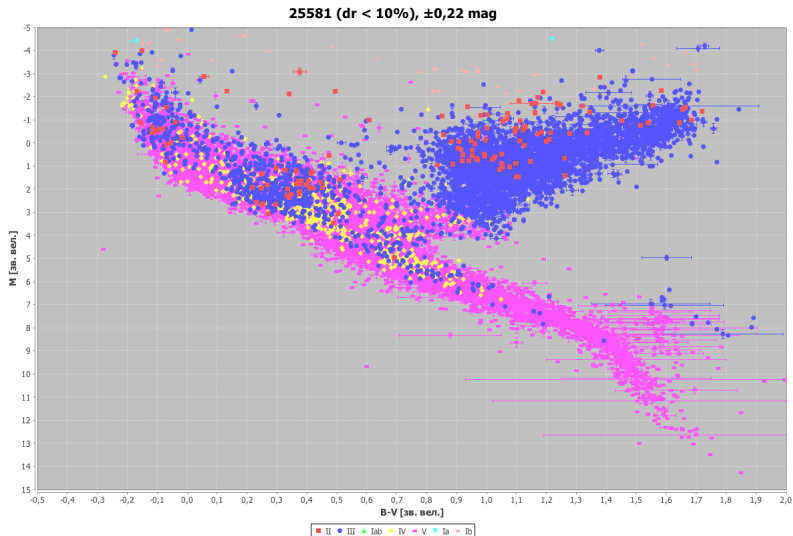


- Факторы: показатель цвета, абсолютная звездная величина
- Класс: класс светимости
- Алгоритм классификации: метод опорных векторов (Support Vector Machines, SVM)

Обучающее множество



Результат классификации



Качество классификации

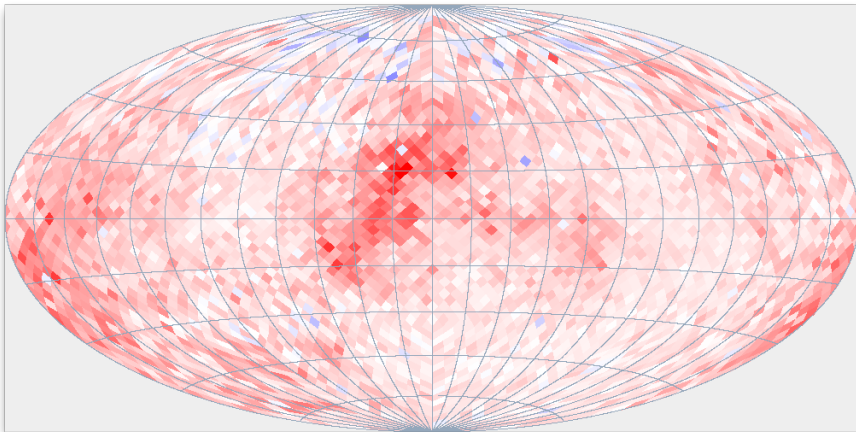
Результаты кросс-валидации на 10 частях

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

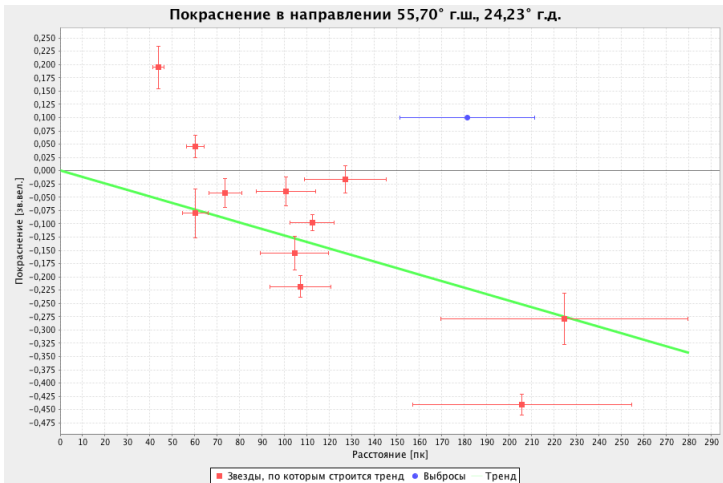
Замечание

- Обучение проводилось только на III и V классах

Результат



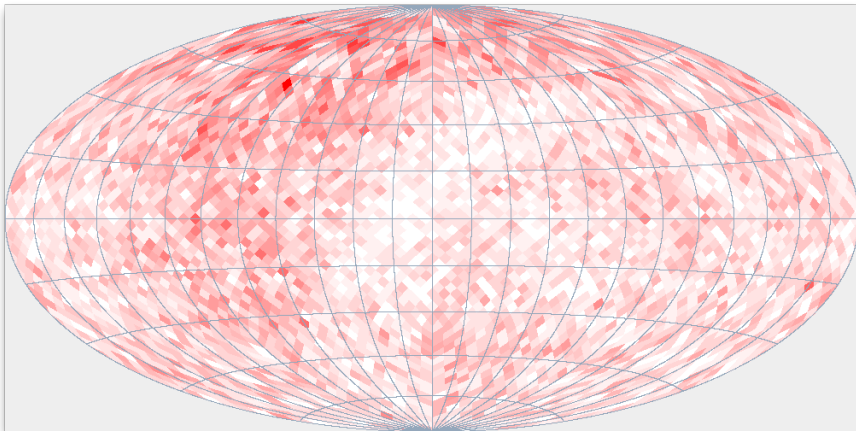
Что дальше?



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

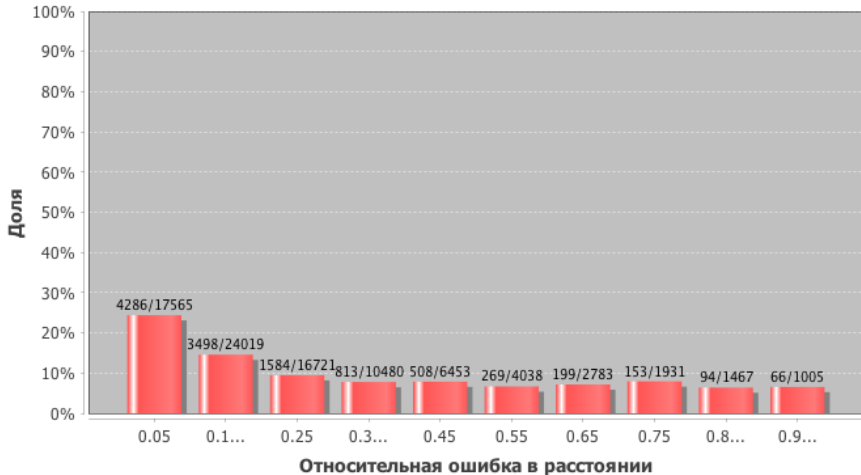
Глава 3. Звезды каталога Hipparcos с отрицательным покраснением

Выбросы на небе



Выбросы и параллакс

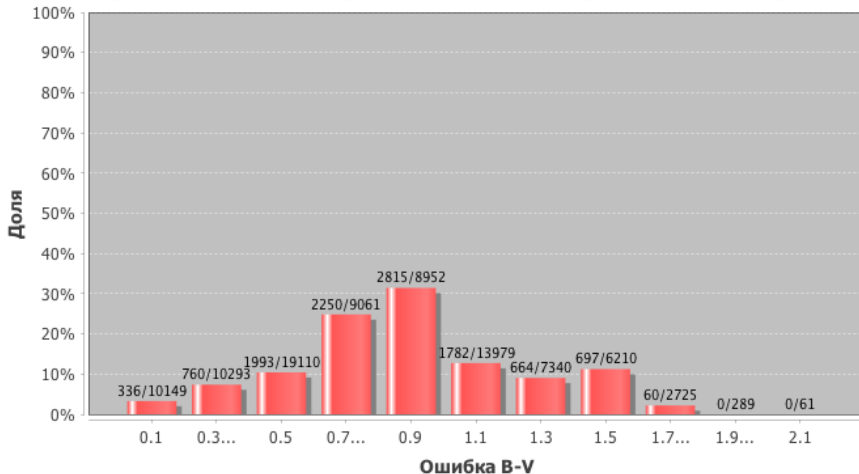
Относительная ошибка в расстоянии
Отрицательное покраснение у 13% (11470/86462)



Выбросы и показатель цвета

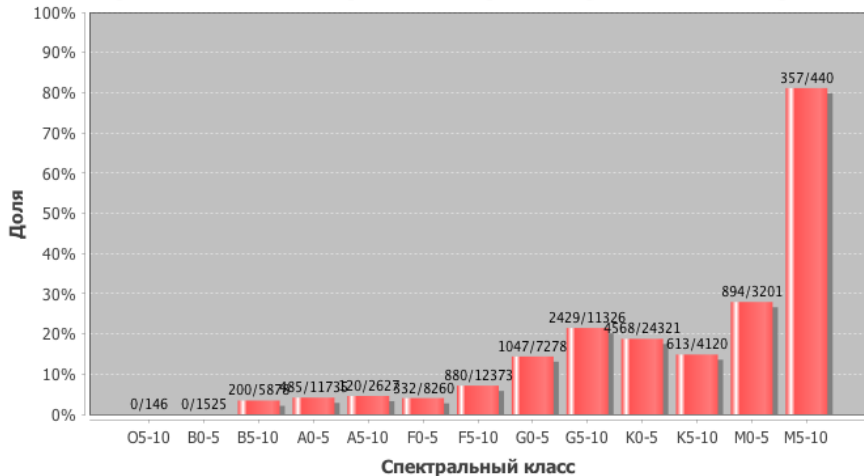
Ошибка В-V

Отрицательное покраснение у 12% (11357/88169)



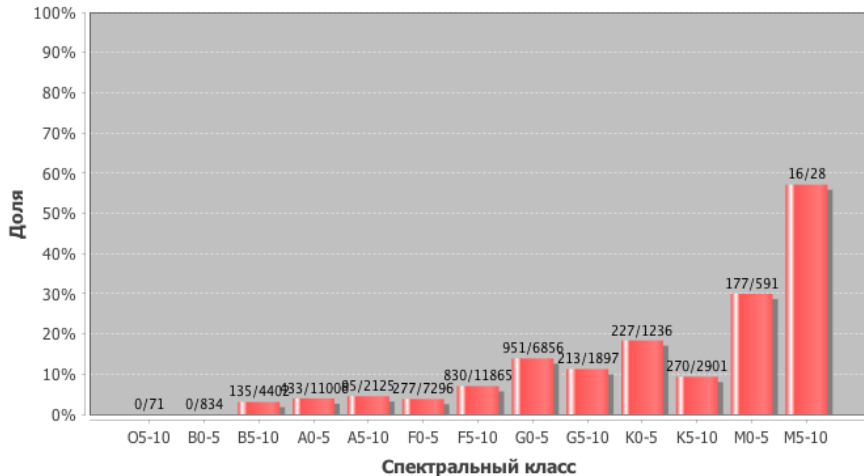
Выбросы и спектр

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



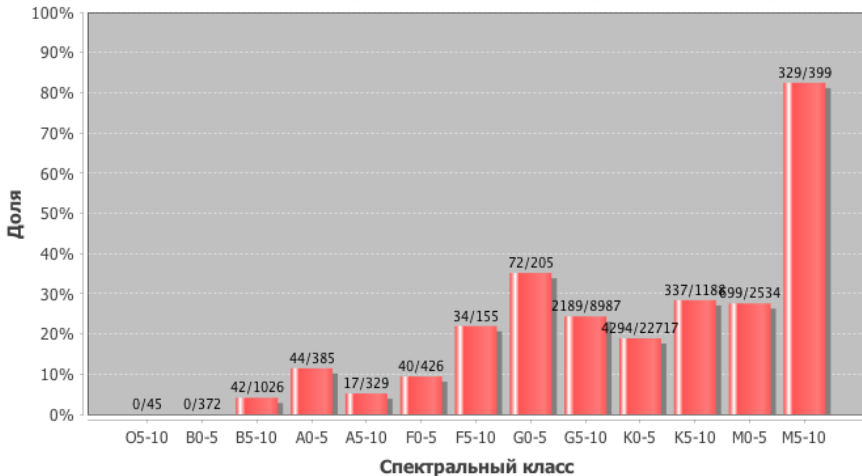
Выбросы и спектр (III)

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



Выбросы и спектр (V)

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



Выборы и диаграмма ГР

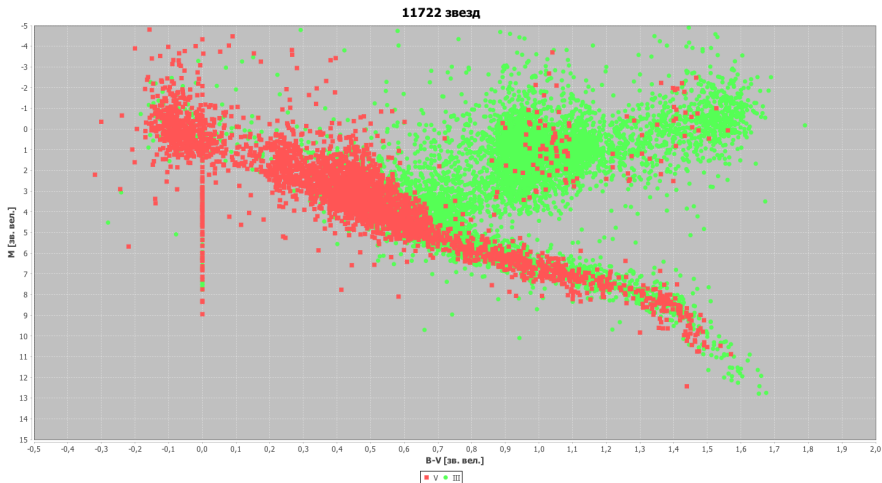
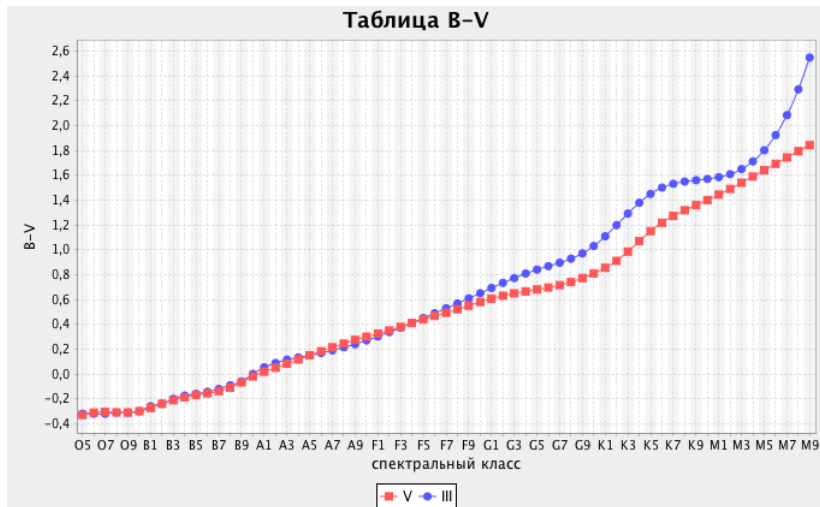
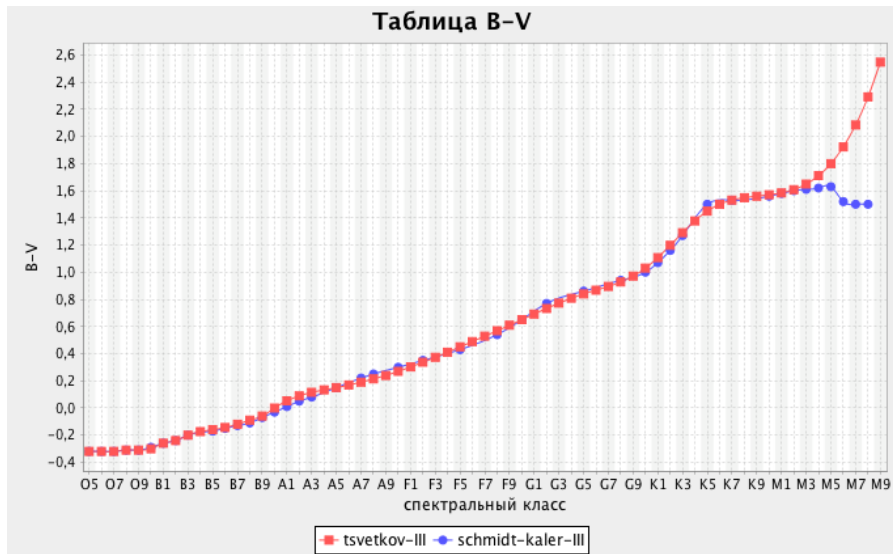


Таблица (Цветков)



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

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

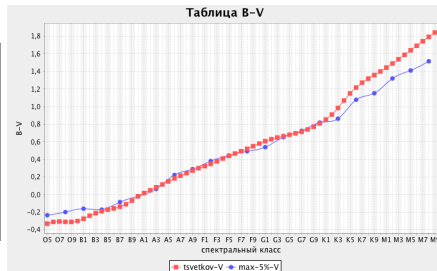
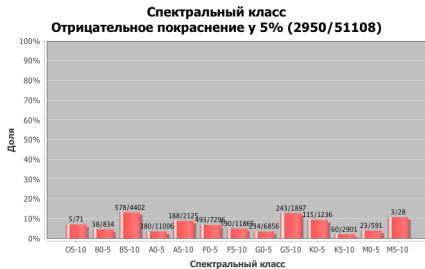
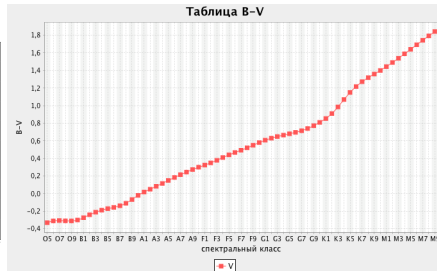
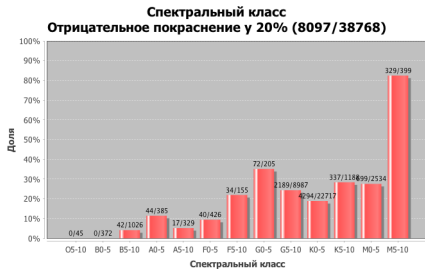
$$(B - V)_{obs} - (B - V)_{int} + 3\sigma_{(B-V)_{obs}} = E$$

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

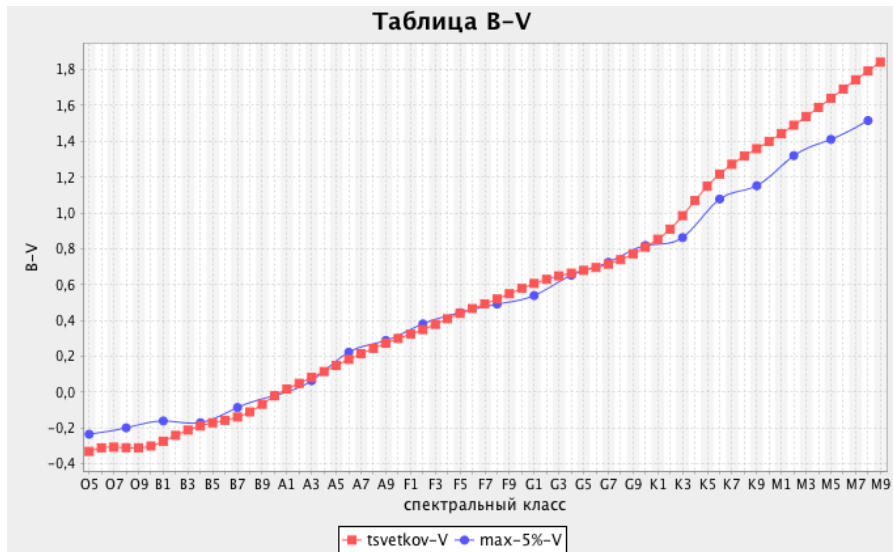
$$(B - V)_{int}^{max} = (B - V)_{int} + E$$

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

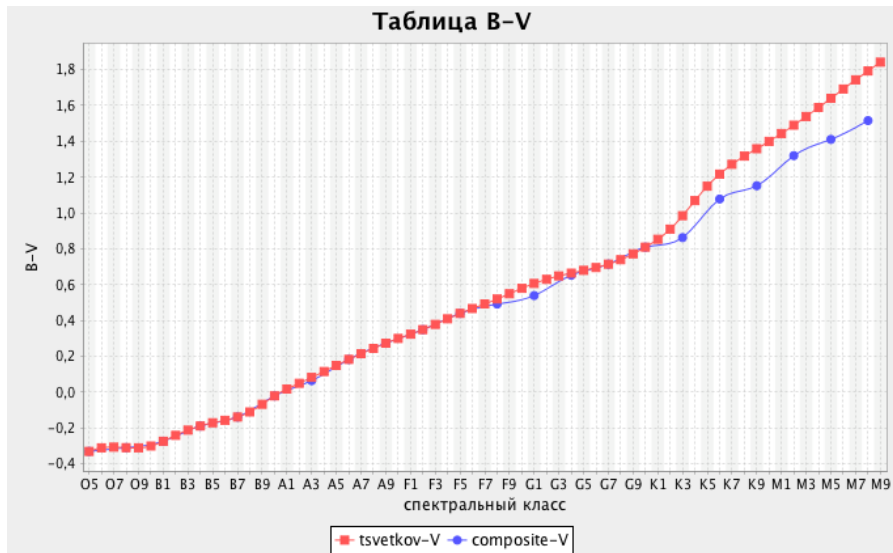
Верхняя оценка



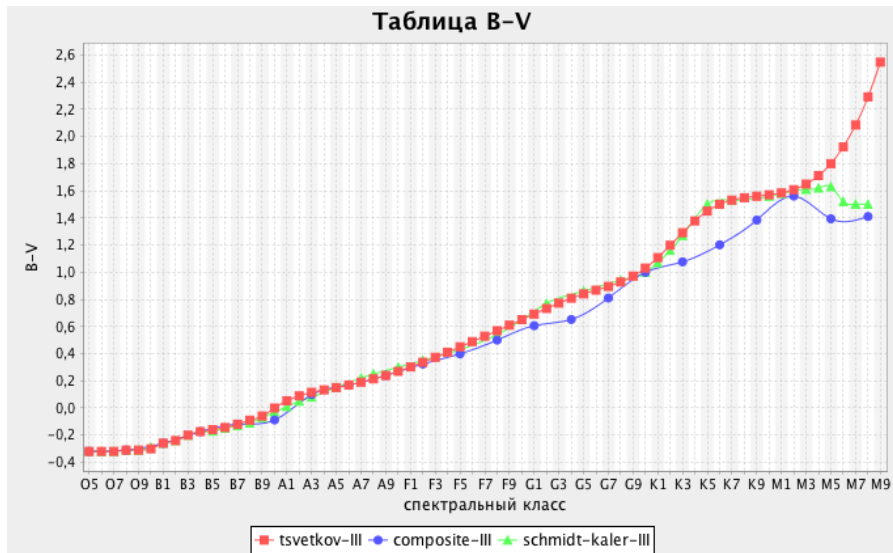
Верхняя оценка



Новая таблица (V)

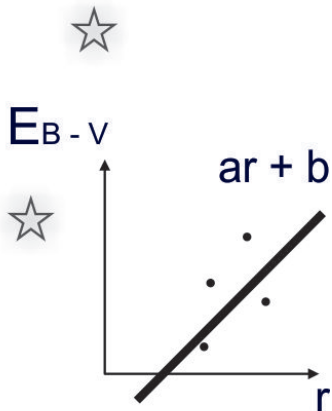
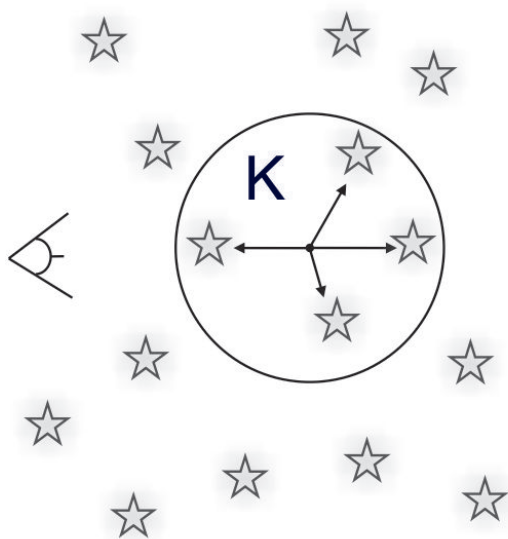


Новая таблица (III)



Глава 4. Построение трехмерной карты пылевых облаков

Есть ли пыль в точке?



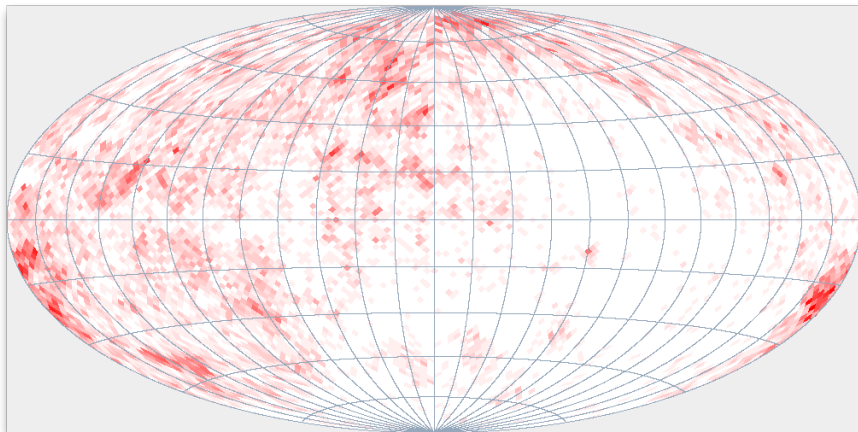
Алгоритм поиска пыли

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

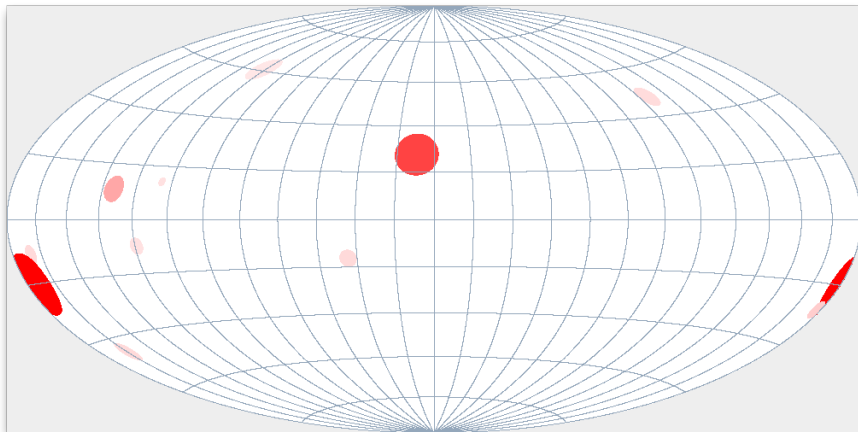
«Трёхмерная» карта пыли



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