


Трёхмерная модель
пространственного
распределения пыли в
ближайшем
килопарсеке



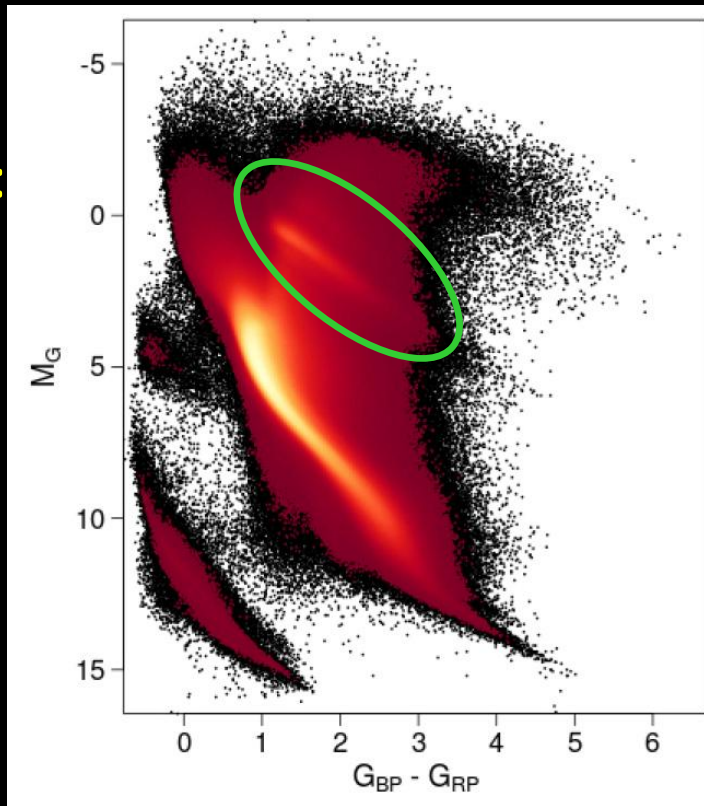
Георгий Гончаров
Александр Мосенков
ГАО РАН

I. Выводы о гигантах в пыли без использования модели

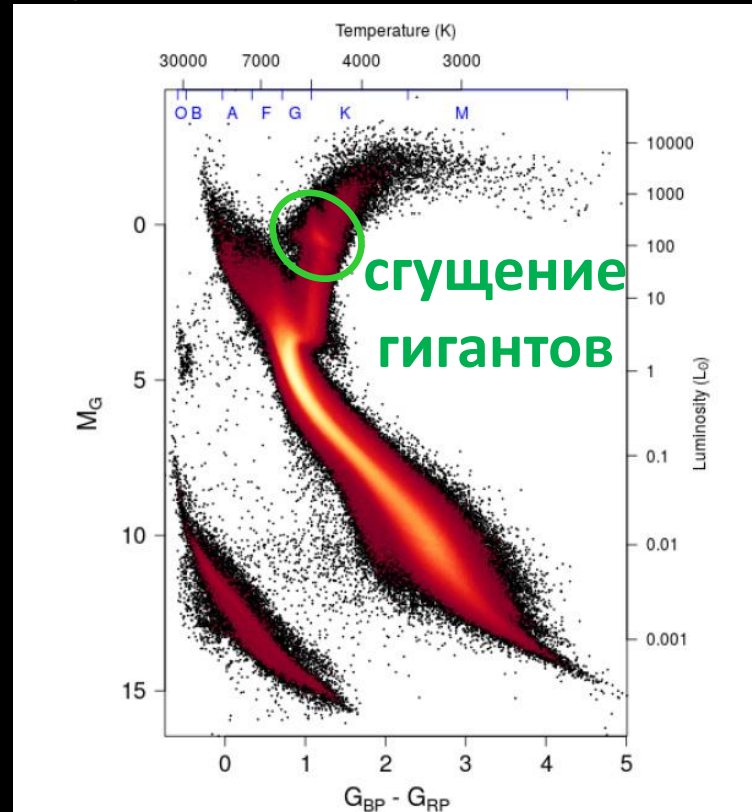
Диаграмма Герцшпрунга-Рассела для звёзд Gaia DR2 (Gaia Collaboration, 2018, A&A, 616, A10).

Покраснение и поглощение

не
учтено:

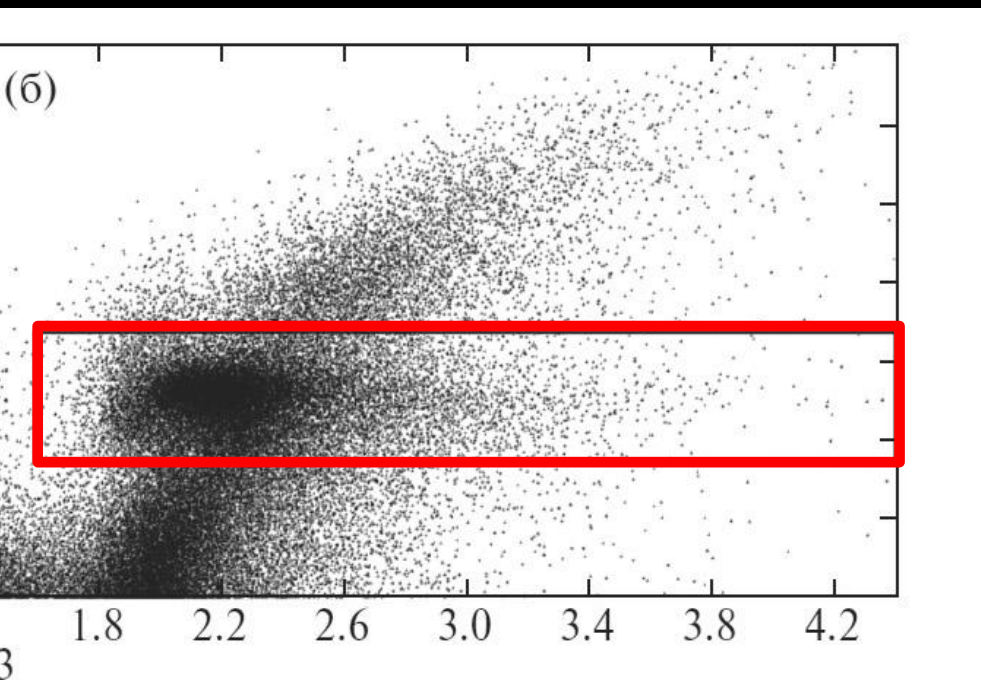


мало:



Гончаров, 2017, ПАЖ, 43, 601:

сочетание фотометрии Gaia (G_{BP} 514 нм, G 625 нм, G_{RP} 762 нм) и WISE W3 (10800 нм) удобно для отбора гигантов в окрестностях сгущения, **несмотря на их разное покраснение.**

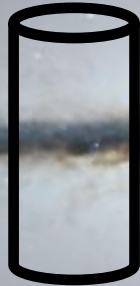


Рассматриваем стабильные моды в отличие от нестабильных средних и медиан

$\text{mode}(G_{BP}-G_{RP})$,
 $\text{mode}(G_{RP}-W3)$ and
 $\text{mode}(M_{W3})$

Формируем полную выборку 93,992 гигантов сгущения из Gaia DR2 в пространственном цилиндре с центром в Солнце

радиусом 700 пк



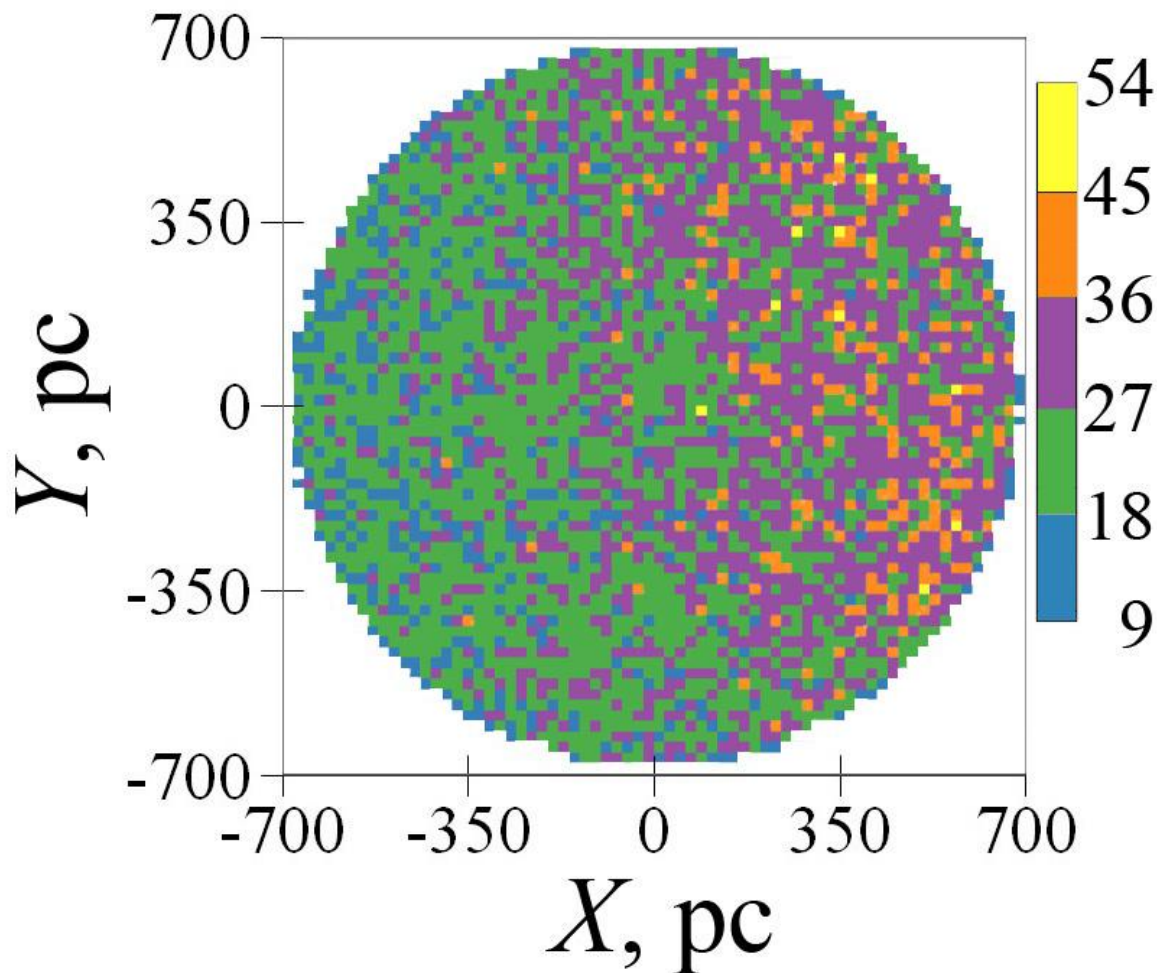
высотой ± 1800 пк от плоскости Галактики

**Это первая в астрономии полная выборка звёзд поперёк
всего слоя пыли.**

Распределение
выборки в проекции
на плоскость XU в
квадратах размером
 20×20 пк.

Солнце - в центре.

Виден только рост
плотности
распределения в
направлении центра
Галактики (справа).



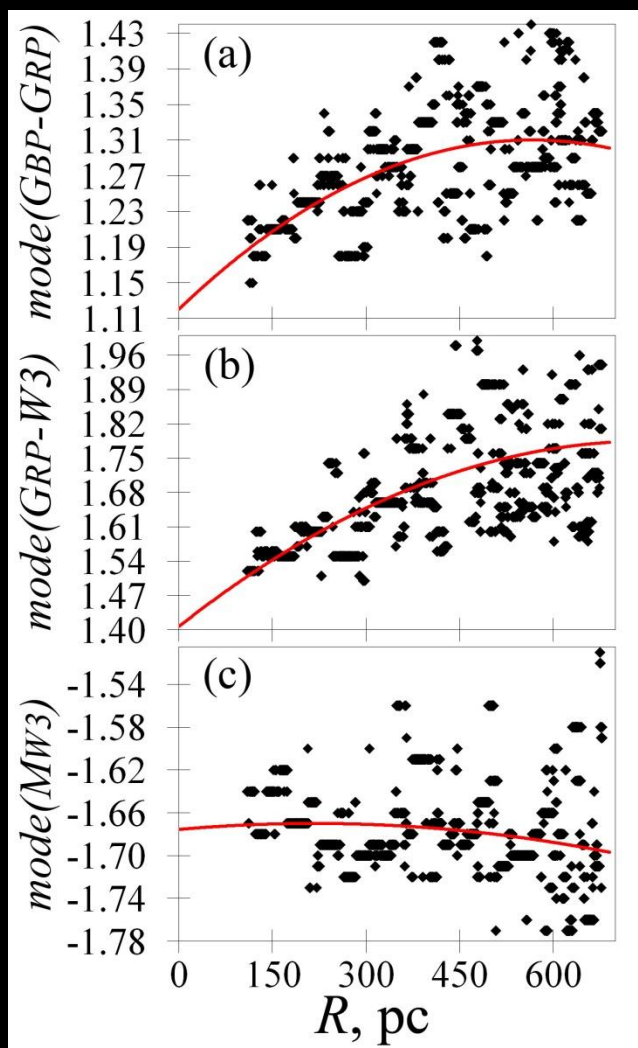
Проблема: около Солнца мало гигантов сгущения.

Экстраполируем изменение моды в зависимости от R в тонком горизонтальном слое $|Z| < 40$ пк. Кривая - аппроксимация параболой.

$$G_{BP} - G_{RP} \approx 1.12$$

$$G_{RP} - W3 \approx 1.42$$

$$M_{W3} \approx -1.68$$



Изменение моды в зависимости от Z
в узком вертикальном цилиндре
(X^2+Y^2)^{1/2}<80 пк:

вблизи Солнца

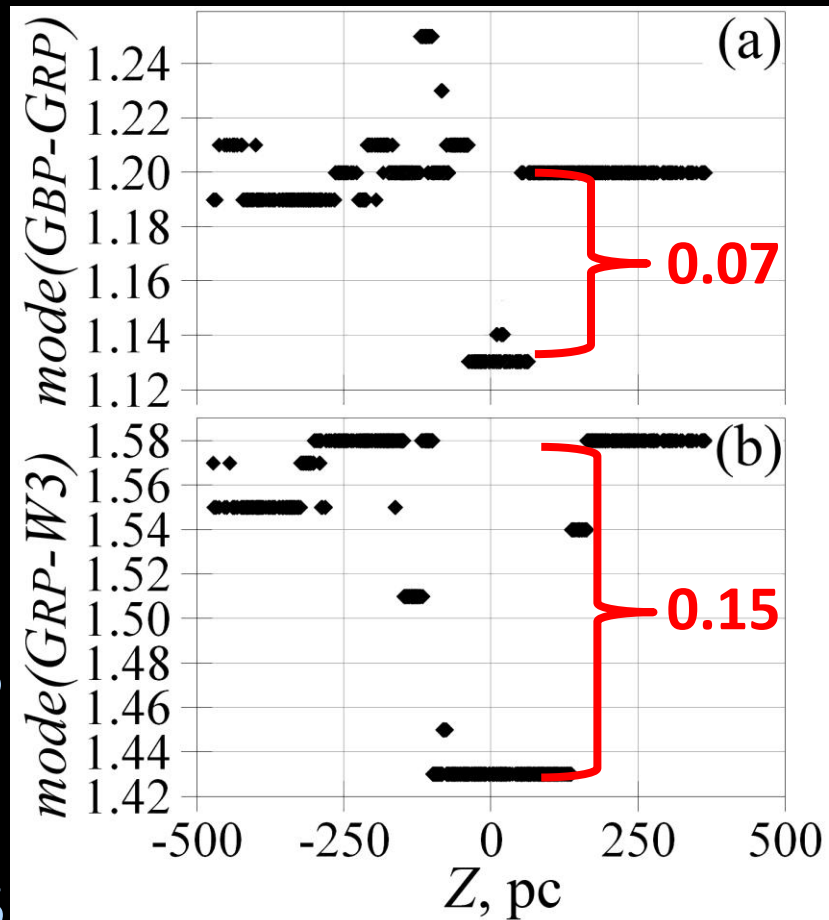
$$\text{mode}(G_{BP}-G_{RP})=1.13 \pm 0.005$$

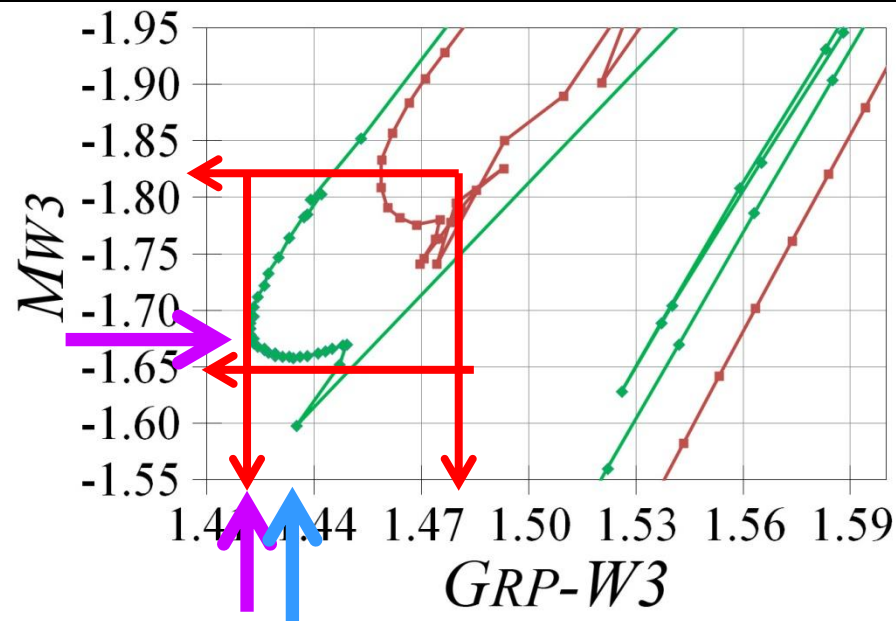
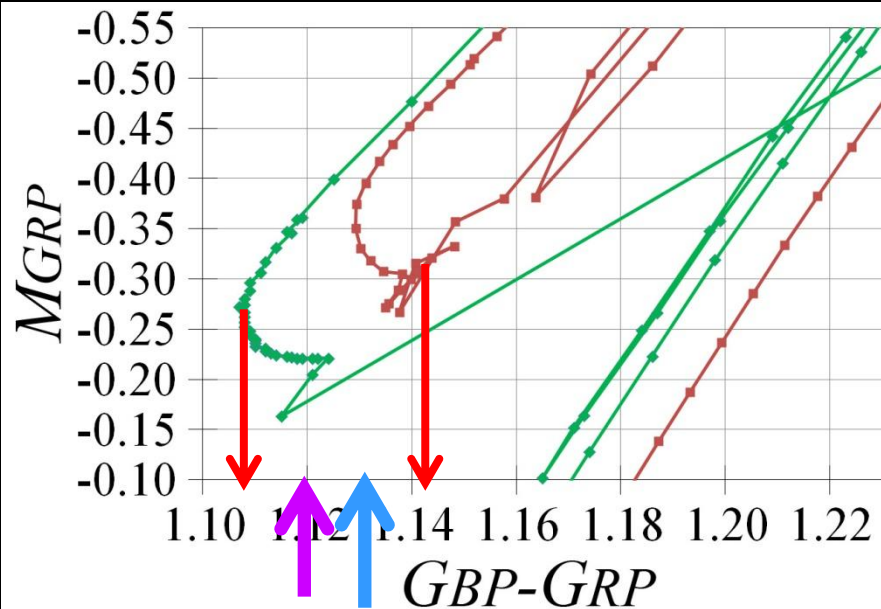
$$\text{mode}(G_{RP}-W3)=1.43 \pm 0.005$$

сквозь весь полуслой пыли выше или
ниже Солнца

$E(G_{BP}-G_{RP})=0.07$, т.е. $E(B-V)=0.053 \pm 0.005$
по закону поглощения Wang & Chen,
2019, ApJ, 877, 116

$E(G_{RP}-W3)=0.15$, т.е. $E(B-V)=0.087 \pm 0.005$





Теоретические изохроны **PARSEC** и **MIST** для гигантов
возрастом 2 млрд. лет и $[Fe/H]=-0.1$

(медианные значения возраста и металличности для гигантов
сгущения около Солнца согласно Girardi, 2016, ARA&A, 54, 95).

$$1.11 < G_{BP} - G_{RP} < 1.14 \quad 1.42 < G_{RP} - W3 < 1.48 \quad -1.82 < M_{W3} < -1.65$$

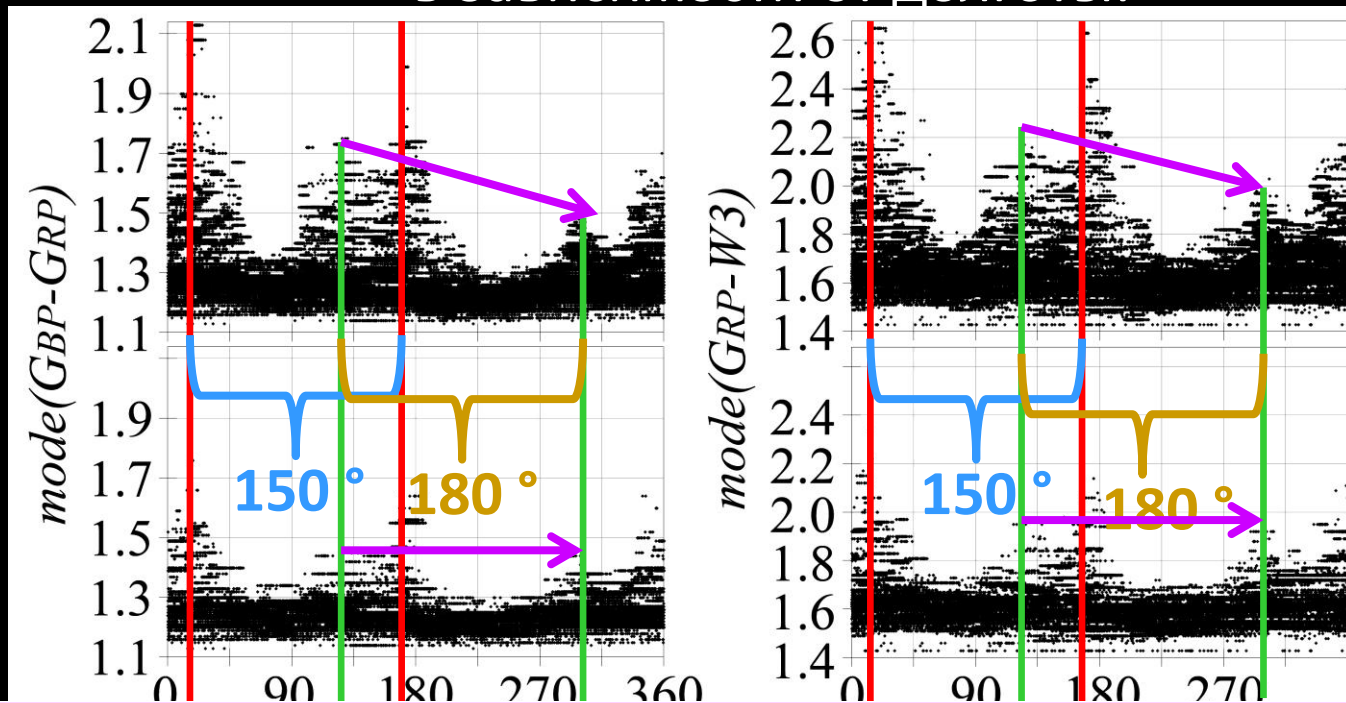
mode($G_{BP}-G_{RP}$)

mode($G_{RP}-W3$)

В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЛГОТЫ:

цилиндр
(X^2+Y^2)^{1/2}<700 пк

цилиндр
(X^2+Y^2)^{1/2}<400 пк



$$[D_0 + D_1 \sin(2l + 2\Phi + 90^\circ)]R(1 - e^{-|Z-Z_0|/Z_A})Z_A/|Z - Z_0|$$

$$[G_0 + G_1 \sin(2\lambda + \phi)] \min(R, R_0)(1 - e^{-|\zeta|/\zeta_A})\zeta_A/|\zeta|$$

Точки с $\text{mode}(G_{BP}-G_{RP}) > 1.35$
 в проекции на плоскость
 XY.

Их координата Z отмечена
 цветом.

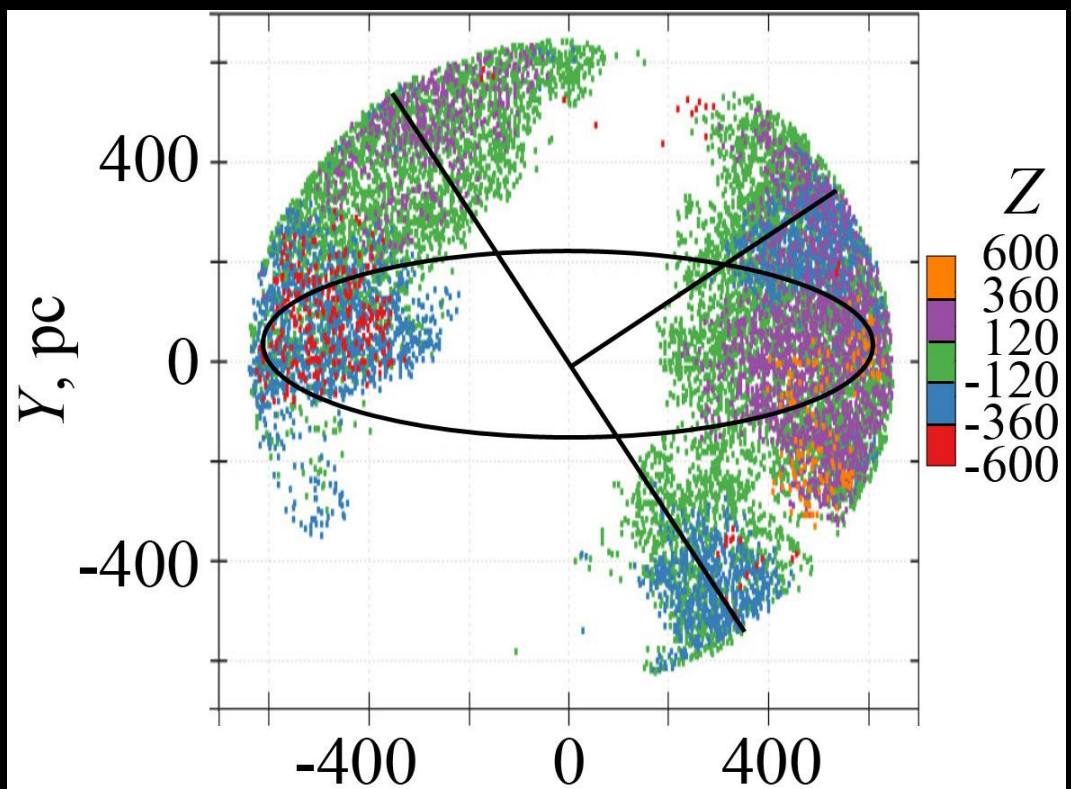
Солнце - в центре.

Центр Галактики - справа.

"Цветик-пятицветик"
 большого покраснения:

3 лепестка в

экваториальном слое пы-
 и 2 в Поясе Гулда.



$$[D_0 + D_1 \sin(2l + 2\Phi + 90^\circ)] R(1 - e^{-|Z-Z_0|/Z_A}) Z_A / |Z - Z_0|$$

$$[G_0 + G_1 \sin(2\lambda + \phi)] \min(R, R_0)(1 - e^{-|\zeta|/\zeta_A}) \zeta_A / |\zeta|$$

$$[S_0 + S_1 \sin(l + \Phi)] R(1 - e^{-|Z-Z_0|/Z_A}) Z_A / |Z - Z_0|$$

Выводы к части I:

1. Цвета $G_{BP}-G_{RP}$ и $G_{RP}-W3$ для гигантов сгущения дают согласованные результаты: 5 областей большого покраснения в двух слоях пыли.
2. Нормальный цвет гигантов сгущения вблизи Солнца $G_{BP}-G_{RP}=1.130 \pm 0.005$ и $G_{RP}-W3=1.430 \pm 0.005$; абсолютная величина $M_{W3}=-1.68 \pm 0.01$ - **наблюдения согласуются с теорией!**
3. Сквозь весь полуслой пыли $E(G_{BP}-G_{RP})=0.07$, **т.е. $E(B-V)=0.053$** и $E(G_{RP}-W3)=0.15$, **т.е. $E(B-V)=0.087$** - **далеко не ноль!**
4. $E(G_{RP}-W3)/E(G_{BP}-G_{RP})$ растёт с $|Z|$
 - = есть пространственные вариации закона поглощения
 - = слой крупной пыли толще
 - = вдали от плоскости Галактики пыль крупнее.

II. Применим 3D модель
распределения пыли и
сравним с другими
моделями и картами.

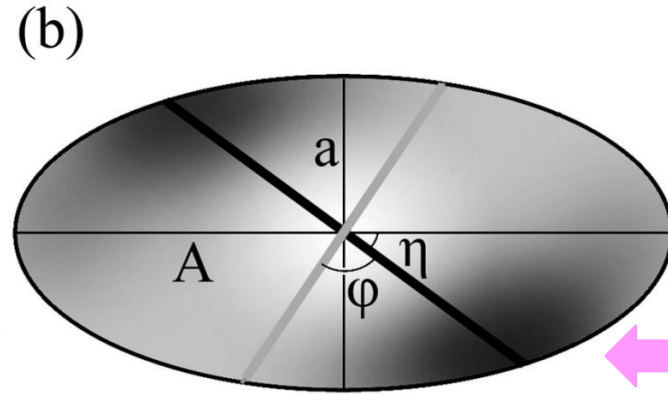
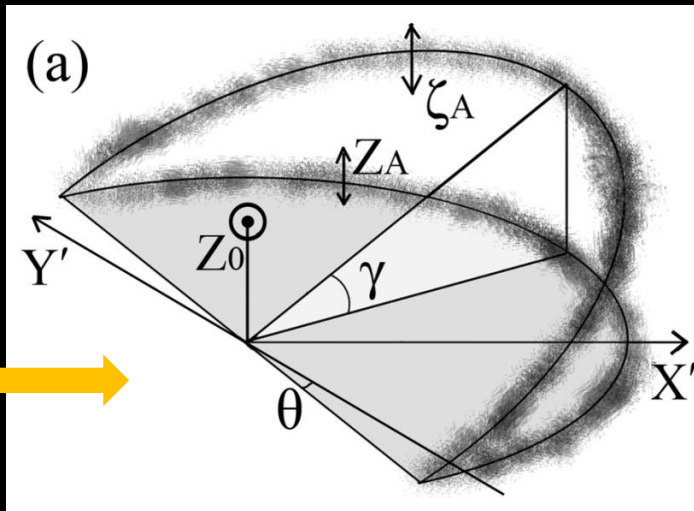
Аналитические 3D модели распределения пыли:

1. EXPO - экспоненциальное по Z (Паренаго, 1954, Курс звёздной астрономии) $\exp(-|Z-Z_0|/Z_A)$
2. AGG - Arenou et al., 1992, A&A, 258, 104
3. DCL - Drimmel & Spergel, 2001, ApJ, 556, 181; Drimmel et al., 2003, A&A, 409, 205
4. G12 - Гончаров, 2012, ПАЖ, 38, 108

3D карты распределения (могут быть данными для модели!):

1. G17 - Гончаров, 2017, ПАЖ, 43, 521
2. GSF19 - Green et al., 2018, MNRAS, 478, 651 - только часть неба
3. LVV19 - Lallement et al., 2019, A&A, 625, A135

Старая
модель
G12



Новая
модель
GM19

Схема (а) пересекающихся основных плоскостей двух слоёв и (б) эллиптической основной плоскости слоя пыли в Поясе Гудда.

На схеме (а) отмечены направления X' и Y' , параллельные осям X и Y , возвышение Солнца над экваториальным слоем Z_0 , шкалы высот Z_A и ζ_A , углы γ и θ .

На схеме (б) тонировкой условно показана плотность распределения пыли, толстая чёрная линия - направление максимального покраснения, тонкими чёрными линиями отмечены большая A и малая a полуоси эллипса слоя, отмечены углы η и ϕ , толстая серая линия - линия пересечения слоёв (на схеме для простоты проходит через центр эллипса слоя, хотя в модели смещена относительно него).

Покраснение звезды -
сумма покраснений в двух слоях пыли:
экваториальном слое (2 члена)

$$[S_0 + S_1 \sin(l + \Phi)] R (1 - e^{-|Z-Z_0|/Z_A}) Z_A / |Z - Z_0|$$

$$[D_0 + D_1 \sin(2l + 2\Phi + 90^\circ)] R (1 - e^{-|Z-Z_0|/Z_A}) Z_A / |Z - Z_0|$$

и слое в поясе Гулда

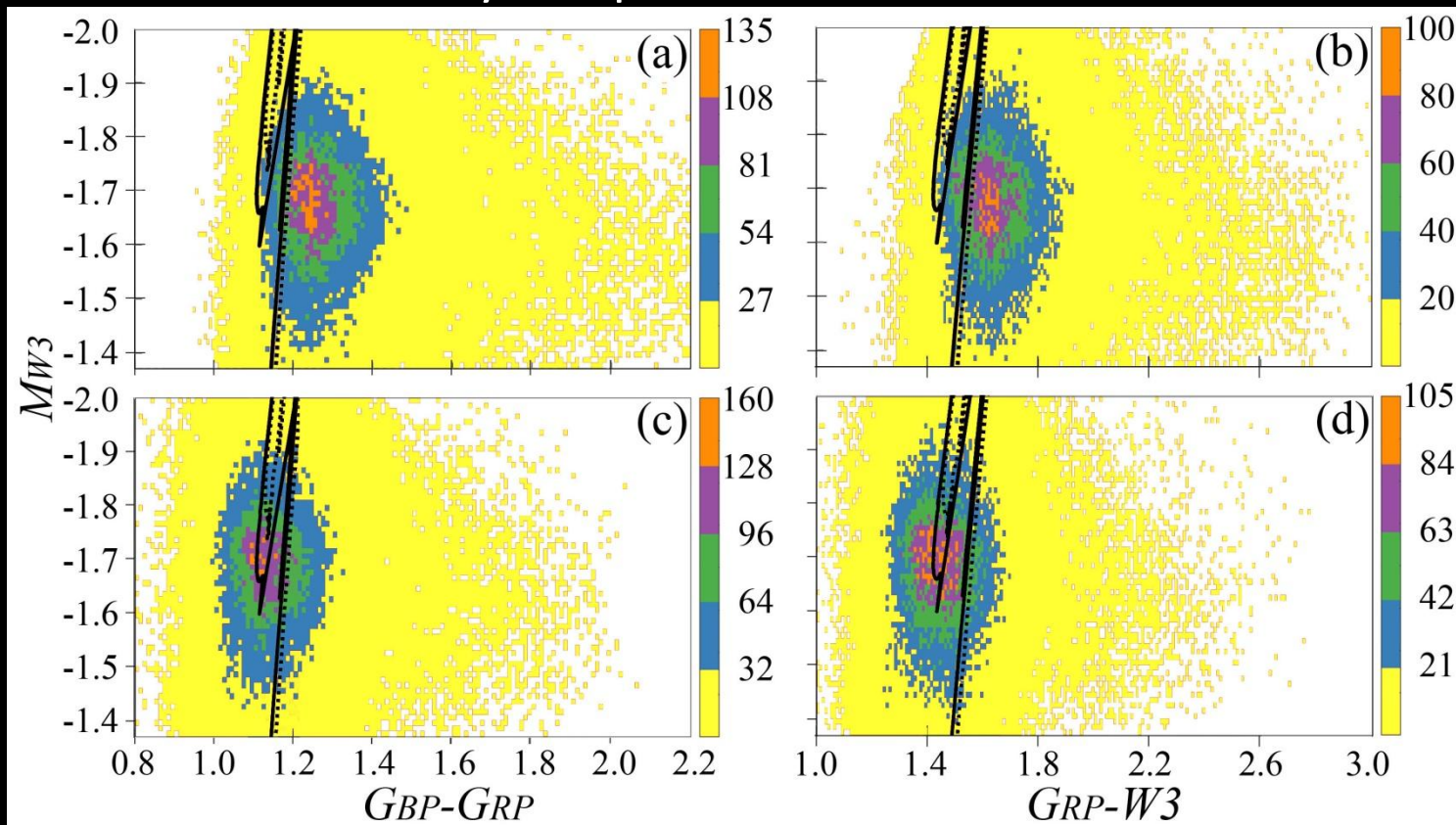
+

$$[G_0 + G_1 \sin(2\lambda + \phi)] \min(R, R_0) (1 - e^{-|\zeta|/\zeta_A}) \zeta_A / |\zeta|$$

Диаграмма ГР для выборки до и после учёта покраснения и поглощения.
Изохроны PARSEC и MIST для 2 млрд. лет и $[Fe/H]=-0.1$ - сплошная и пунктир.

Исходная

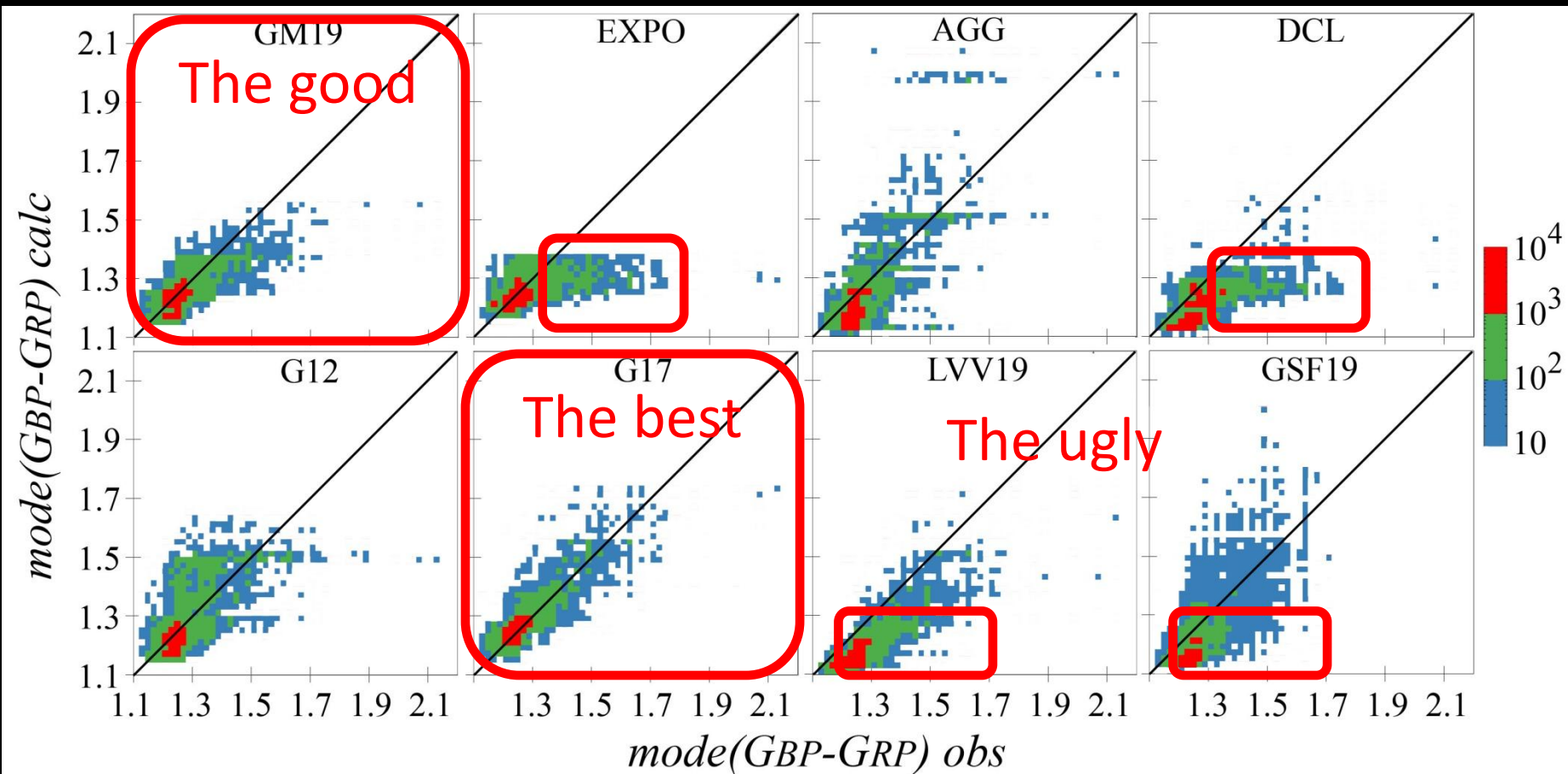
После учёта
покраснения
и
поглощения
по модели



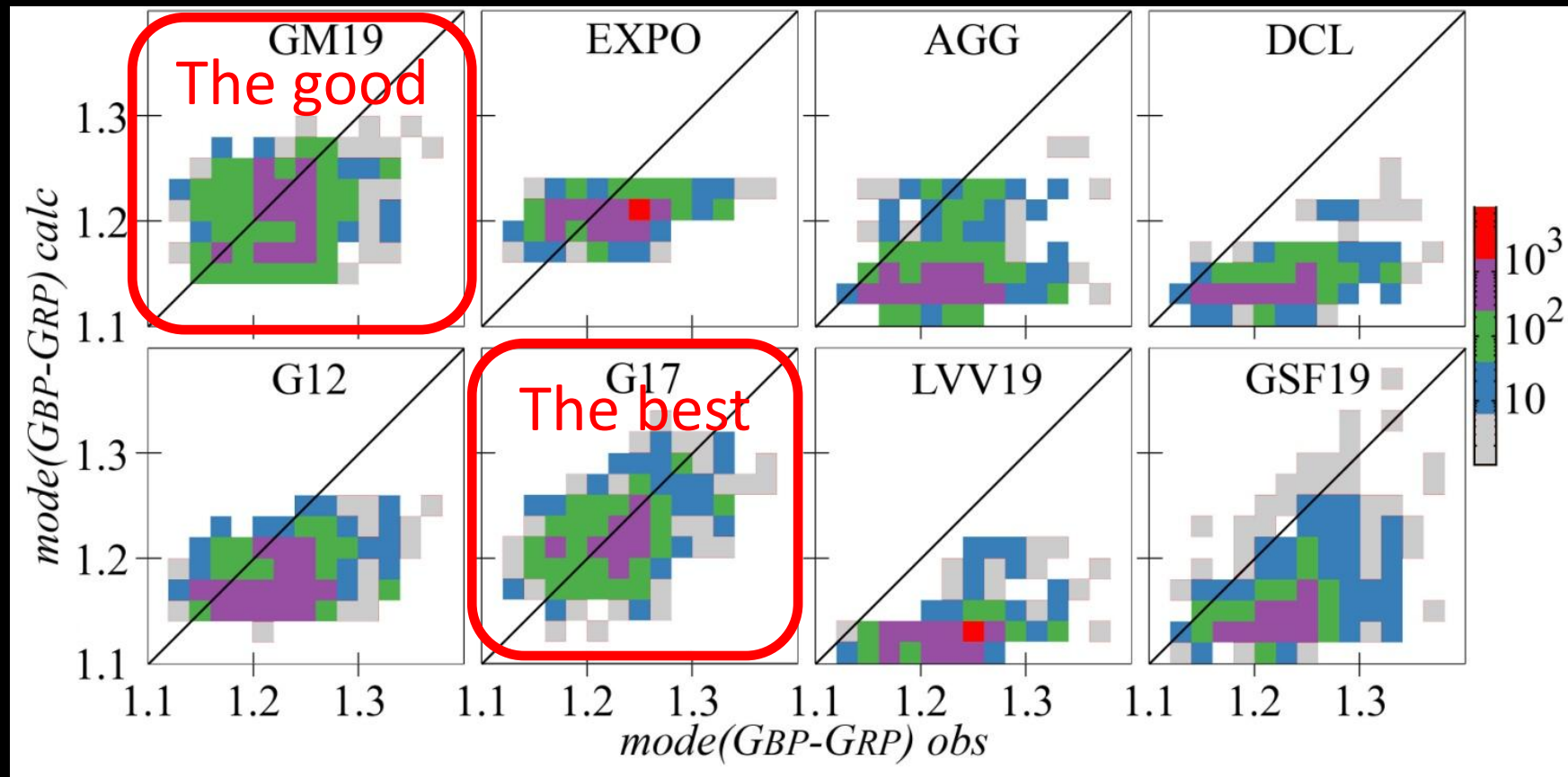
модель/карта	коэффициент корреляции с GBP-GRP	коэффициент корреляции с GRP-W3
модель GM19	0.77	0.78
модель G12	0.66	0.67
модель DCL	0.66	0.66
модель EXPO	0.51	0.51
модель AGG	0.75	0.74
карта LVV18	0.85	0.83
карта LVV19	0.84	0.82
карта G17	0.86	0.85
карта GSF	0.71	0.69

Коэффициенты
корреляции
между
наблюдаемыми
цветами и
предсказаниям
и разных
моделей и карт.

Соотношение между наблюдаемой и вычисленной $mode(G_{BP}-G_{RP})$



Соотношение между наблюдаемой и вычисленной $mode(G_{BP}-G_{RP})$
при $|Z| > 580$ пк



Выводы к части II:

1. Предложенная модель GM19 3D распределения пыли лучшая, но не совершенная.
2. Лучшая модель заведомо хуже лучшей карты, а та - прямого определения покраснения из фотометрии и спектроскопии индивидуальной звезды. **Но только модели обобщают!**
3. Покраснение в высоких галактических широтах сильно недооценено.

Спасибо за внимание!

georgegontcharov@yahoo.com

Моды цвета гигантов в зависимости
от галактических координат:

предсказания модели GM19:

предсказания других моделей и карт:

