

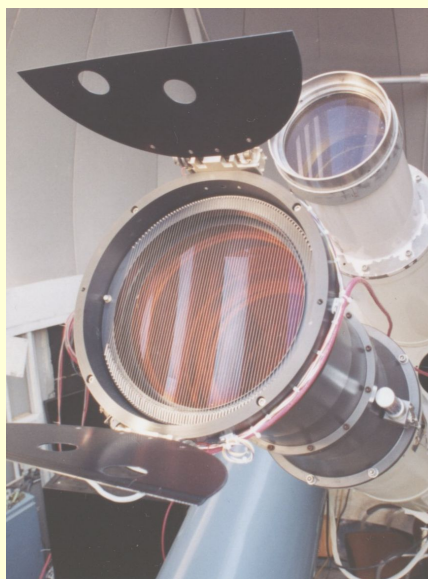
# Собственные движения слабых звезд в каталогах UCAC2, PM2000 и PuI-3SE: анализ систематических ошибок и оценки точности.

Ховричев М.Ю.

**ГАО РАН**



Нормальный астрограф  
Пулковской обсерватории.  
 $D = 330\text{ мм}$ ,  $F = 3.5\text{ м}$ .  
ПЗС-камера: S2C.  
Рабочее поле:  $18 \times 16\text{ arcmin}$



Двойной астрограф USNO.  
 $D = 206\text{ мм}$ ,  $F = 2.0\text{ м}$ .  
ПЗС-камера: Kodak 4K.  
Рабочее поле:  $61 \times 61\text{ arcmin}$

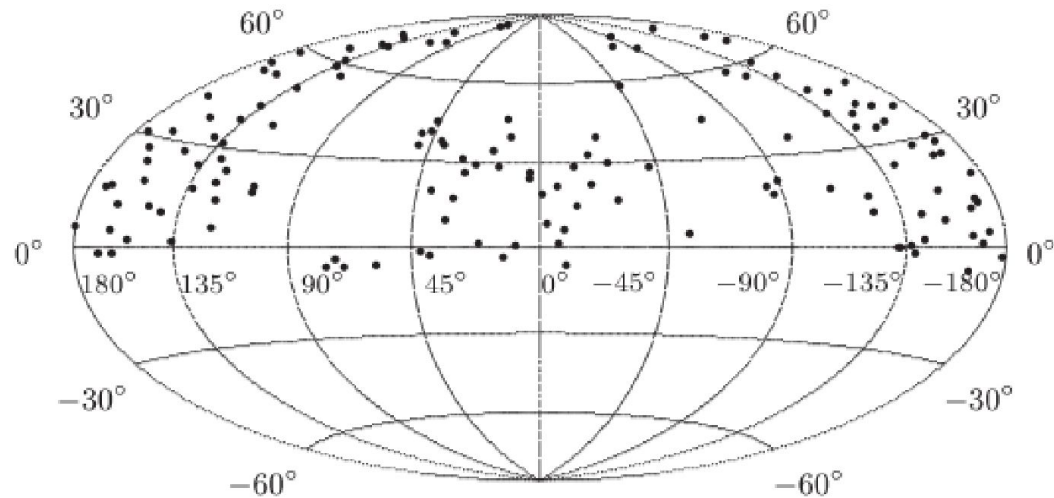


CARLSBERG MERIDIAN TELESCOPE.  
 $D = 176\text{ мм}$ ,  $F = 2.7\text{ м}$ .  
ПЗС-камера: 2K (drift scan mode).  
Рабочее поле:  $20\text{ min} - 5 \times 24\text{ arcmin}$

## Распространение системы ICRF/Tycho-2 на звезды слабее 12<sup>m</sup>.

| Каталог        | Диапазон по звездной величине | Стандартные ошибки координат/собственных движений звезд | Средняя эпоха | Число звезд | Распределение по небесной сфере |
|----------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------|-------------|---------------------------------|
| <b>Tycho-2</b> | <12.5                         | 10 -100 mas / 1-4 mas/yr                                | 1980 - 1990   | 2.5 млн.    | -90<DEC<90                      |
| <b>UCAC2</b>   | 8 - 16                        | 20 -70 mas / 1 - 7 mas/yr                               | 1990 - 2000   | 40 млн.     | -90<DEC<50                      |
| CMC13          | 9 - 17                        | 20 – 150 mas                                            | 2000          | 36 млн.     | -3<DEC<30                       |
| M2000          | <16                           | 40 – 100 mas                                            | 2000          | 2.3 млн.    | 11<DEC<18                       |
| <b>PM2000</b>  | <16                           | 40 -70 mas / 1.5 - 2 mas/yr                             | 1970 - 1980   | 2.6 млн.    | 11<DEC<18                       |

**Pul-3 – реализация плана Дейча по выводу собственных движений звезд в пулковских площадках с галактиками.**



|                                                                      |       |                        |             |         |                             |
|----------------------------------------------------------------------|-------|------------------------|-------------|---------|-----------------------------|
| <b>Pul-3</b><br>(I/290)                                              | <16.5 | 80 mas / 3 - 10 mas/yr | 1963        | 60 тыс. | -5<DEC<90<br>(149 площадок) |
| <b>Pul-3SE</b><br>( <a href="http://www.puldb.ru">www.puldb.ru</a> ) | <16.5 | 40 mas / 2 - 4 mas/yr  | 1980 - 1990 | 37 тыс. | -5<DEC<30<br>(85 площадок)  |

## Собственные движения слабых звезд в каталоге UCAC2

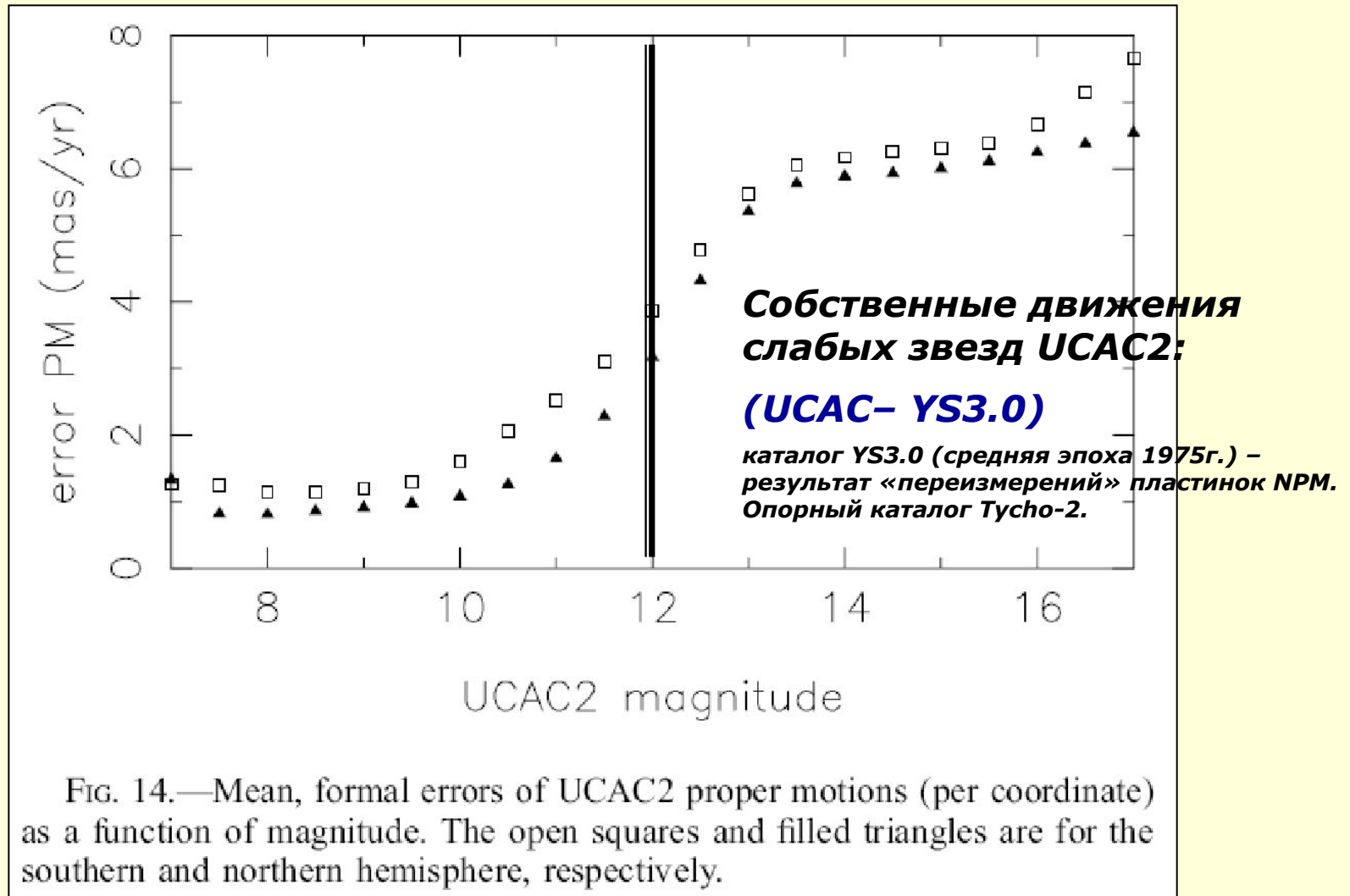


Рисунок взят из работы: Zacharias, N., Urban, S. E., Zacharias, M. I., Wycoff, G. L., Hall, D. M., Monet, D. G., and Rafferty, T. J. 2004, AJ, 127, 3043.

# Новые собственные движения звезд в пулковских площадках с галактиками (Pul-3SE).

первая эпоха  
Pul-3  
1935г. – 1960г.

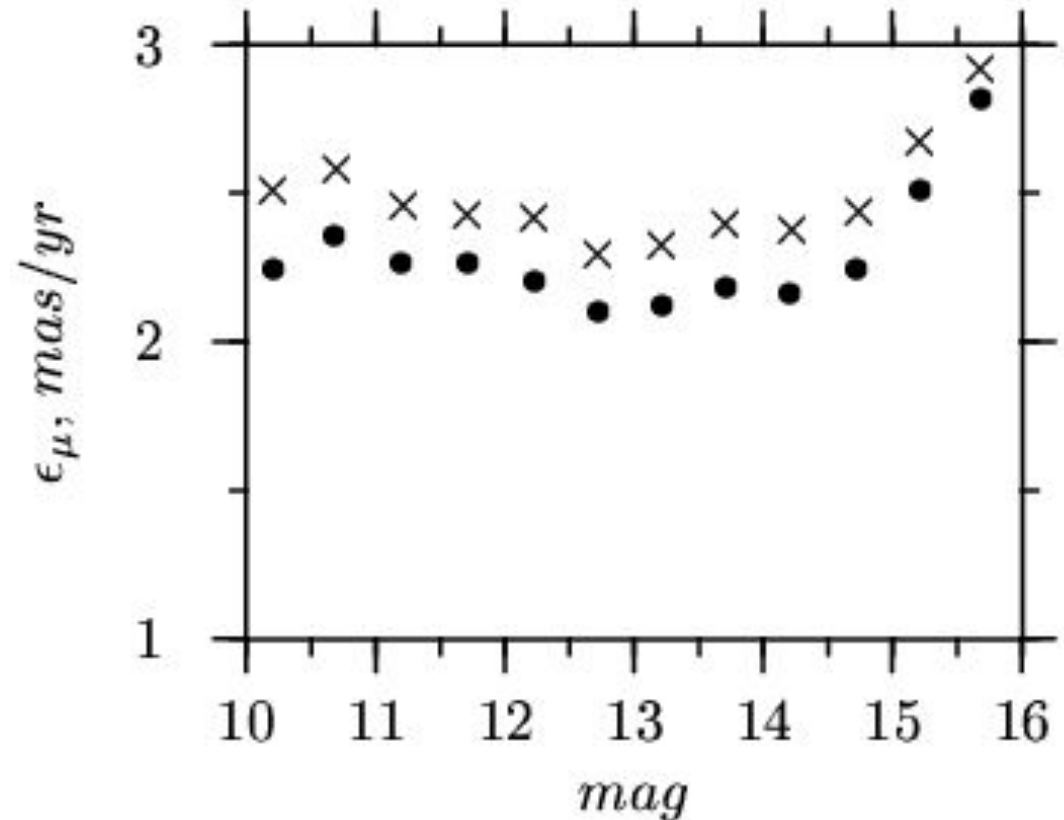
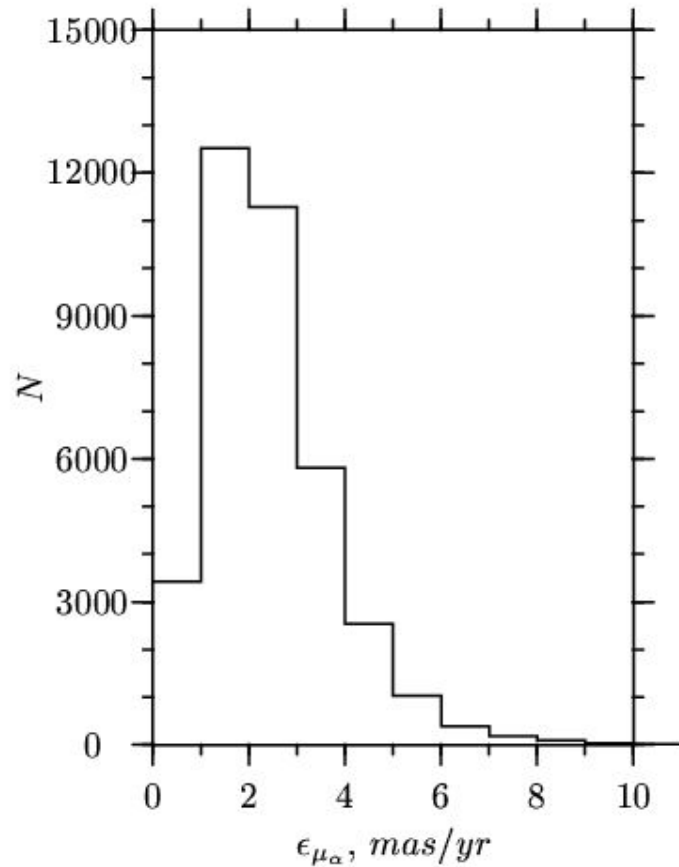
вторая эпоха  
Pul-3  
1969г. – 1986г.

UCAC2

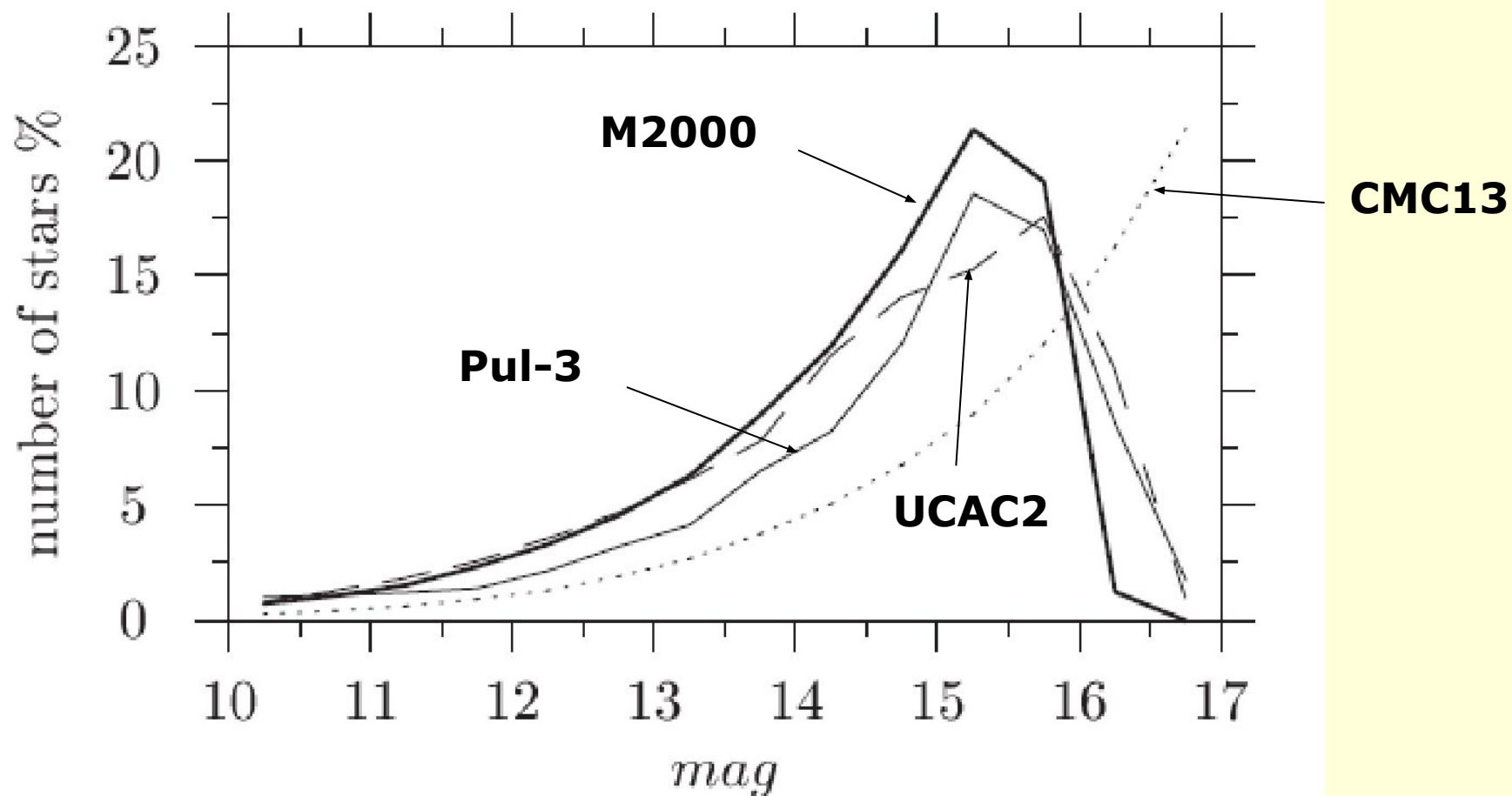
СМС13

М2000

Эпоха около 2000г



Среднеквадратические ошибки собственных движений звезд Pul-3SE (• - RA, x - DEC).



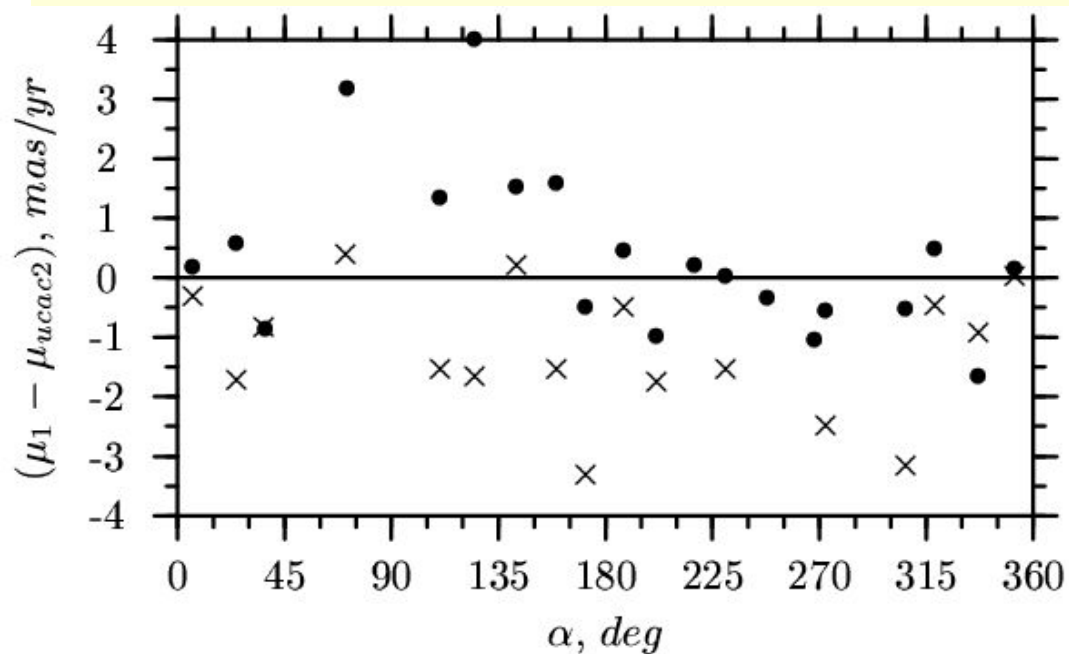
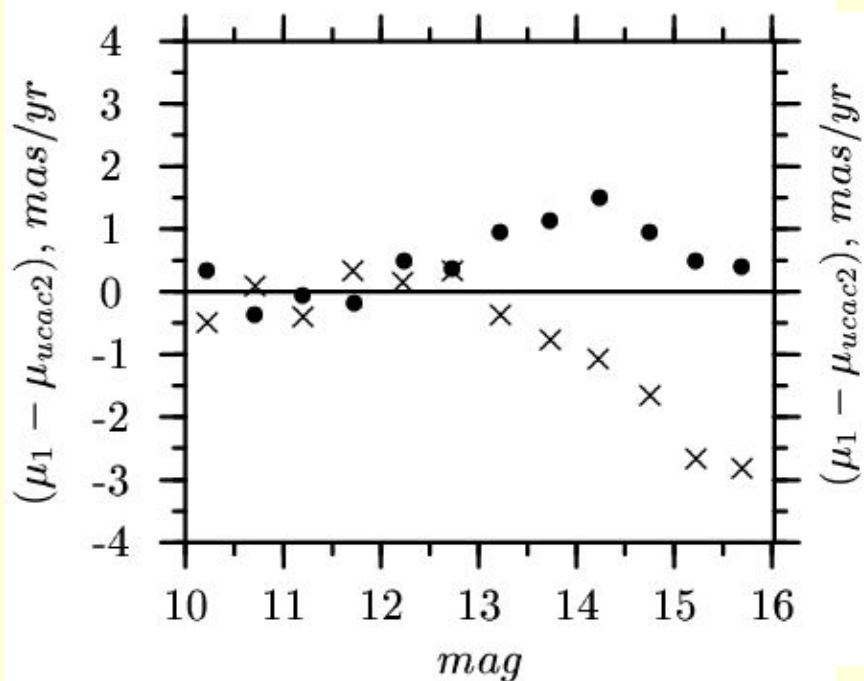
**Распределение звезд по звездной величине в каталогах UCAC2, CMC13, M2000, Pul-3 в площадках Pul-3SE.**

# Построение независимых наборов собственных движений звезд.

Pul-3,  
CMC13,M2000

$\mu_1$

Оценивание точности и изучение систематических ошибок собственных движений UCAC2 (20500 звезд)



Систематические разности ( $\mu_1 - \mu_{ucac2}$ ) (• - RA, x - DEC).

# Оценки точности собственных движений UCAC2 и $\mu_1$ .

| mag  | $\epsilon_\mu (\mu_1)$ |          | $e_\mu$ (ucac2) |          | $\sigma_\mu$ |          | $D_\mu$  |          | N    |
|------|------------------------|----------|-----------------|----------|--------------|----------|----------|----------|------|
|      | $\alpha$               | $\delta$ | $\alpha$        | $\delta$ | $\alpha$     | $\delta$ | $\alpha$ | $\delta$ |      |
| 10.5 | 2.0                    | 2.4      | 1.2             | 1.1      | 2.4          | 2.6      | 3.9      | 3.8      | 500  |
| 11.5 | 2.2                    | 2.4      | 1.5             | 1.4      | 2.7          | 2.8      | 4.1      | 3.8      | 728  |
| 12.5 | 2.1                    | 2.3      | 2.2             | 2.2      | 3.0          | 3.2      | 4.2      | 4.2      | 1546 |
| 13.5 | 2.2                    | 2.4      | 3.7             | 3.7      | 4.3          | 4.4      | 5.4      | 5.2      | 2824 |
| 14.5 | 2.4                    | 2.7      | 5.4             | 5.4      | 6.0          | 6.1      | 6.2      | 5.9      | 5147 |
| 15.4 | 3.0                    | 3.3      | 5.8             | 5.8      | 6.5          | 6.7      | 6.3      | 6.0      | 6834 |

$$\sigma_\mu = \sqrt{\epsilon_\mu^2 + e_\mu^2} \quad D_\mu = \sqrt{\langle \Delta\mu_i^2 \rangle}$$

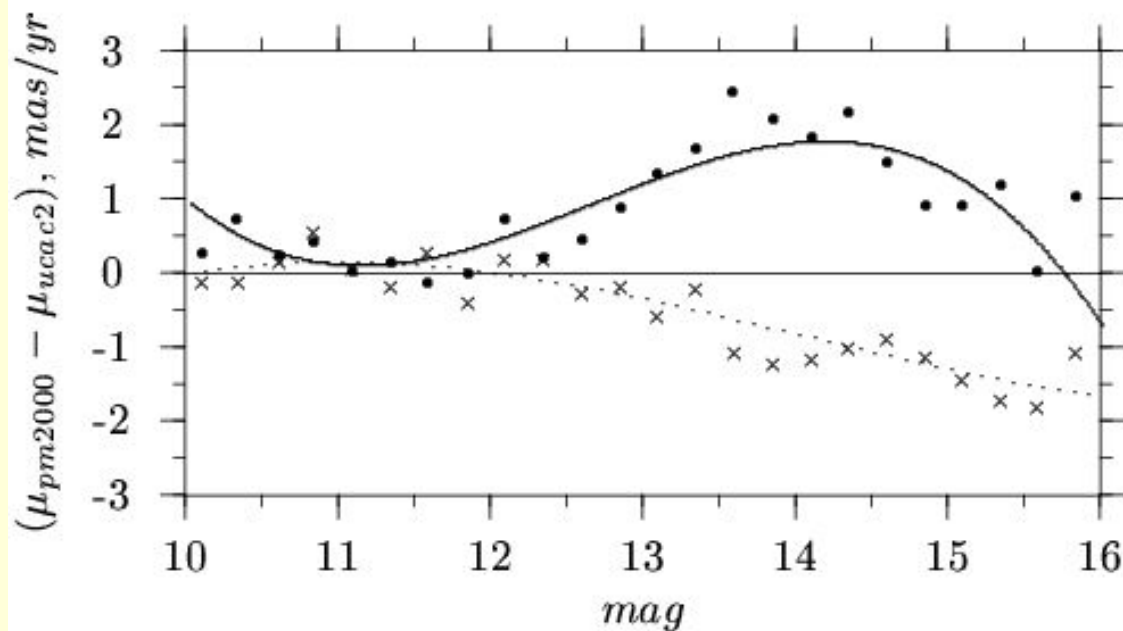
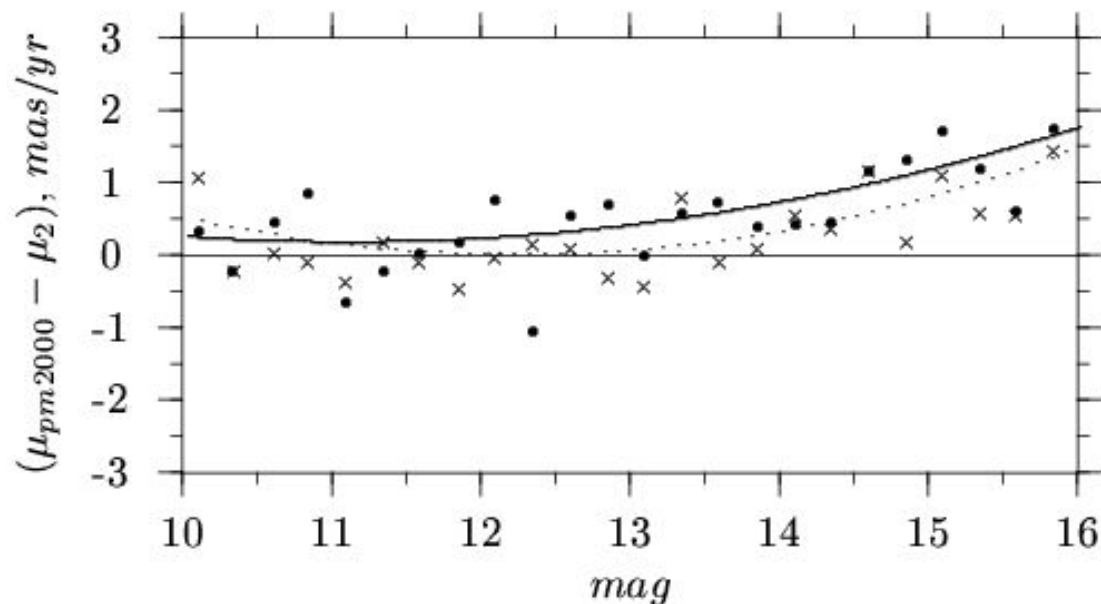
$\epsilon_\mu, e_\mu$  - среднеквадратические ошибки собственных движений звезд по внутренней сходимости.

$$\langle q_i \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$$

Pul-3,  
CMC13

$\mu_2$

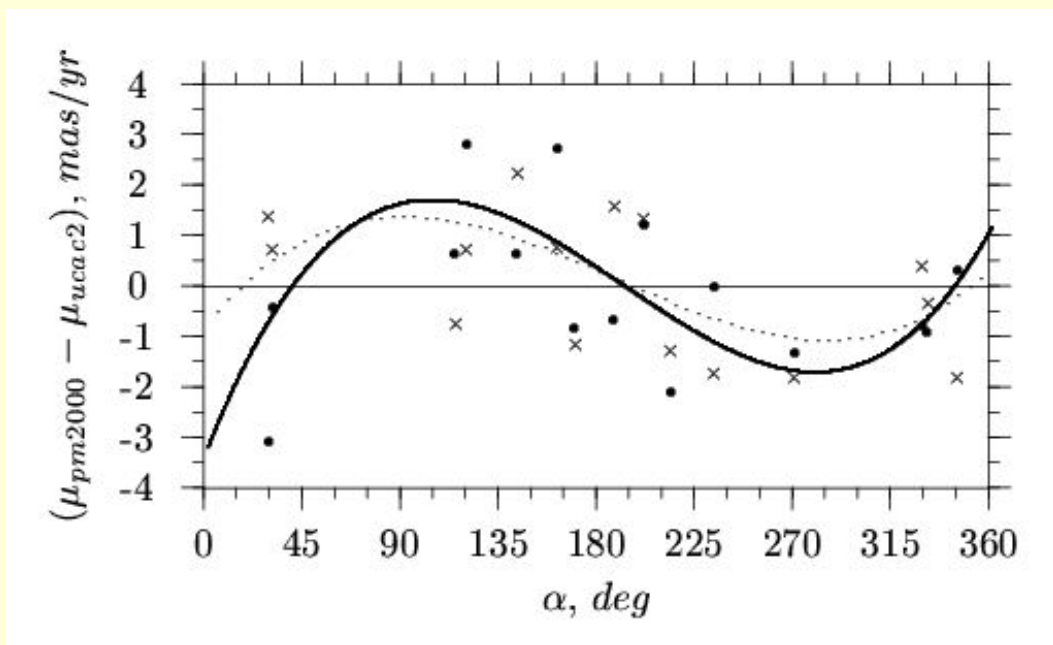
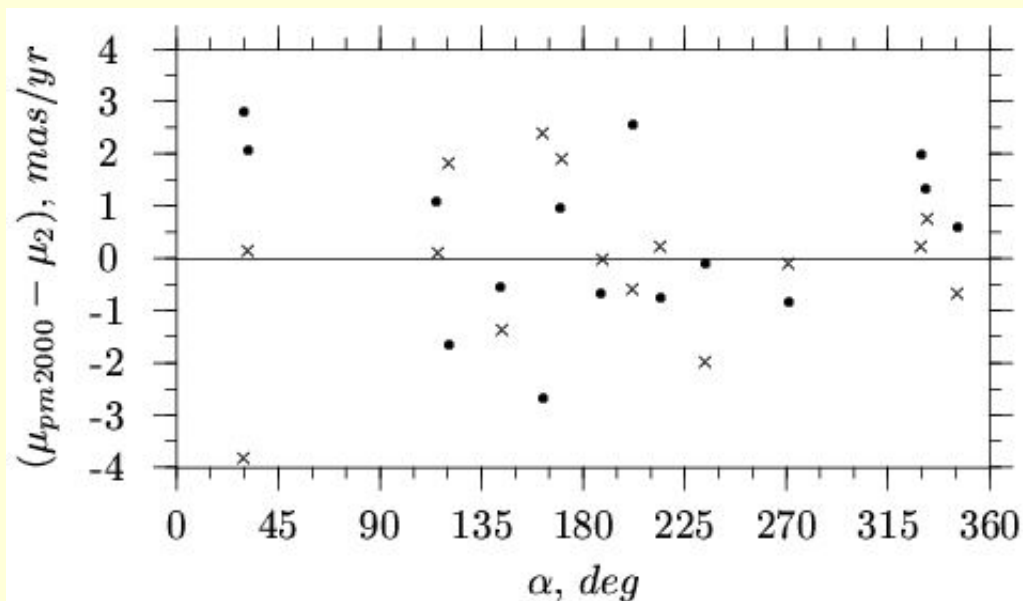
Оценивание точности  
собственных движений  
в трех независимых  
наборах:  
UCAC2, PM2000  
(CdC flag=1),  $\mu_2$



Pul-3,  
CMC13

$\mu_2$

Оценивание точности собственных  
движений в трех независимых  
наборах:  
UCAC2, PM2000 (CdC flag=1),  $\mu_2$



# Оценки точности собственных движений pm2000 и $\mu_2$ .

## Все звезды

| mag  | $\epsilon_\mu (\mu_2)$ |          | $e_\mu$ (pm2000) |          | $\sigma_\mu$ |          | $D_\mu$  |          | N    |
|------|------------------------|----------|------------------|----------|--------------|----------|----------|----------|------|
|      | $\alpha$               | $\delta$ | $\alpha$         | $\delta$ | $\alpha$     | $\delta$ | $\alpha$ | $\delta$ |      |
| 10.5 | 2.0                    | 2.3      | 1.8              | 1.8      | 2.7          | 2.9      | 3.3      | 3.3      | 117  |
| 11.5 | 2.4                    | 2.4      | 1.4              | 1.4      | 2.7          | 2.8      | 3.5      | 3.4      | 171  |
| 12.5 | 2.0                    | 2.2      | 1.4              | 1.4      | 2.5          | 2.7      | 3.8      | 4.0      | 370  |
| 13.5 | 2.2                    | 2.4      | 1.9              | 1.9      | 2.9          | 3.0      | 4.2      | 4.5      | 587  |
| 14.5 | 2.5                    | 2.7      | 3.0              | 3.0      | 3.9          | 4.0      | 4.7      | 5.4      | 1121 |
| 15.5 | 2.9                    | 3.2      | 3.8              | 3.8      | 4.8          | 5.0      | 5.8      | 6.1      | 1115 |

## Звезды, для которых CdC flag = 1

| mag  | $\epsilon_\mu (\mu_2)$ |          | $e_\mu$ (pm2000) |          | $\sigma_\mu$ |          | $D_\mu$  |          | N   |
|------|------------------------|----------|------------------|----------|--------------|----------|----------|----------|-----|
|      | $\alpha$               | $\delta$ | $\alpha$         | $\delta$ | $\alpha$     | $\delta$ | $\alpha$ | $\delta$ |     |
| 10.5 | 2.3                    | 2.4      | 0.8              | 0.7      | 2.4          | 2.5      | 3.7      | 3.2      | 29  |
| 11.5 | 2.4                    | 2.2      | 0.7              | 0.7      | 2.5          | 2.3      | 3.3      | 2.9      | 80  |
| 12.5 | 2.0                    | 2.2      | 0.7              | 0.6      | 2.1          | 2.3      | 3.6      | 3.3      | 172 |
| 13.5 | 2.3                    | 2.4      | 0.7              | 0.6      | 2.4          | 2.5      | 4.0      | 3.9      | 291 |
| 14.5 | 2.7                    | 2.8      | 0.8              | 0.7      | 2.8          | 2.9      | 3.4      | 4.0      | 286 |
| 15.5 | 2.7                    | 3.0      | 0.9              | 0.8      | 2.9          | 3.1      | 5.3      | 4.5      | 44  |

# Оценка точности собственных движений по трем независимым наборам данных $\mu_1, \mu_2, \mu_3$ .<sup>1</sup>

$$D_{12}^2 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 = \langle \Delta\mu_{12}^2 \rangle$$

$$D_{13}^2 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_3^2 = \langle \Delta\mu_{13}^2 \rangle$$

$$D_{23}^2 = \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 = \langle \Delta\mu_{23}^2 \rangle$$

$$\varepsilon_1^2 = 0.5(D_{12}^2 + D_{13}^2 - D_{23}^2)$$

$$\varepsilon_2^2 = 0.5(D_{12}^2 + D_{23}^2 - D_{13}^2)$$

$$\varepsilon_3^2 = 0.5(D_{13}^2 + D_{23}^2 - D_{12}^2)$$

| <i>mag</i> | $\varepsilon_{\mu_2}$ | $\varepsilon_{\mu_2}$ | $\varepsilon_{\mu_{исс2}}$ | $\varepsilon_{\mu_{исс2}}$ | $\varepsilon_{\mu_{pm2000}}$ | $\varepsilon_{\mu_{pm2000}}$ | <i>N</i> |
|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|
| 10.7       | 3.1                   | 3.0                   | 1.3                        | 1.6                        | 1.9                          | 1.1                          | 29       |
| 11.5       | 3.0                   | 2.7                   | 1.7                        | 1.2                        | 1.5                          | 1.1                          | 80       |
| 12.5       | 3.4                   | 3.0                   | 3.2                        | 2.4                        | 1.3                          | 1.4                          | 174      |
| 13.5       | 3.6                   | 3.5                   | 5.3                        | 4.5                        | 1.9                          | 2.1                          | 303      |
| 14.4       | 3.0                   | 3.6                   | 6.3                        | 4.6                        | 1.6                          | 2.0                          | 301      |
| 15.2       | 4.2                   | 4.0                   | 6.3                        | 5.1                        | 3.3                          | 1.9                          | 46       |

<sup>1</sup>R. Wielen. A method for determining the individual accuracy of astrometric catalogues. Astronomy and Astrophysics, 302, 613-622 (1995).

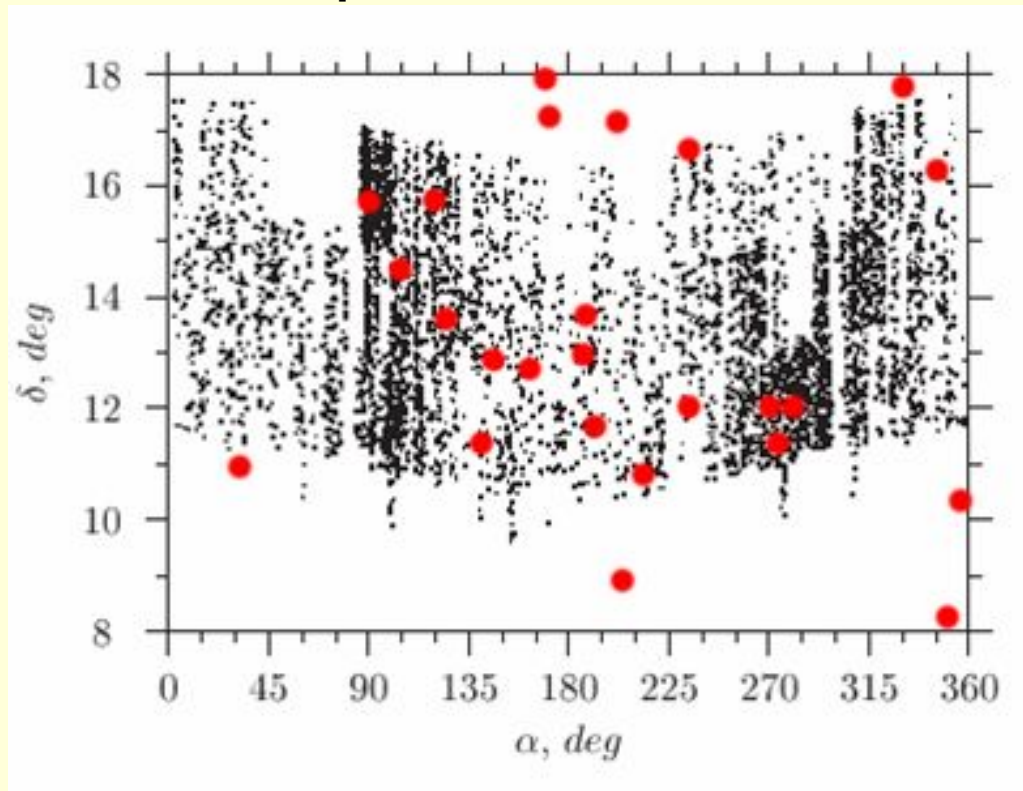
## Каталог CdC2000 (~350 тысяч звезд).

Переизмерение пластинок Carte du Ciel в зоне 11 – 18 deg по склонению (Bordeaux *Carte du Ciel* zone).

Опорный каталог: Tycho-2.

Средняя эпоха: 1910 – 1920.

Стандартные ошибки координат звезд: 50 – 100 mas.



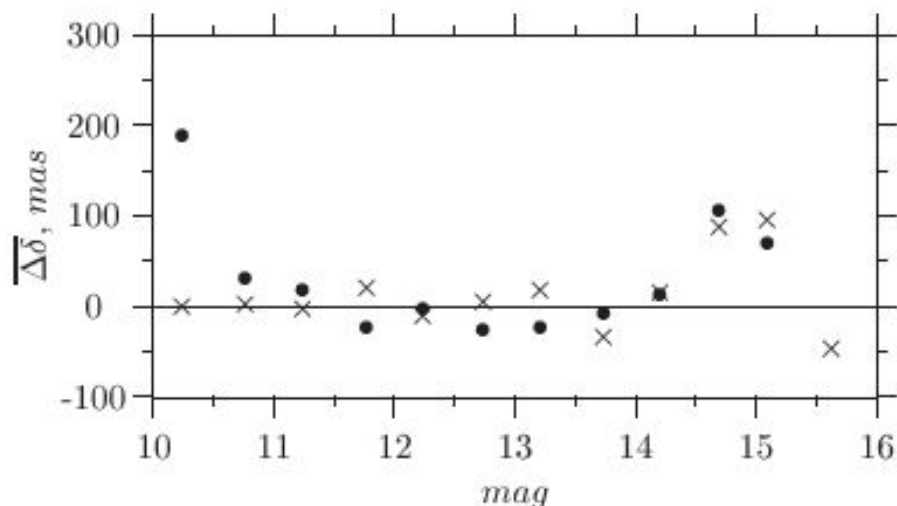
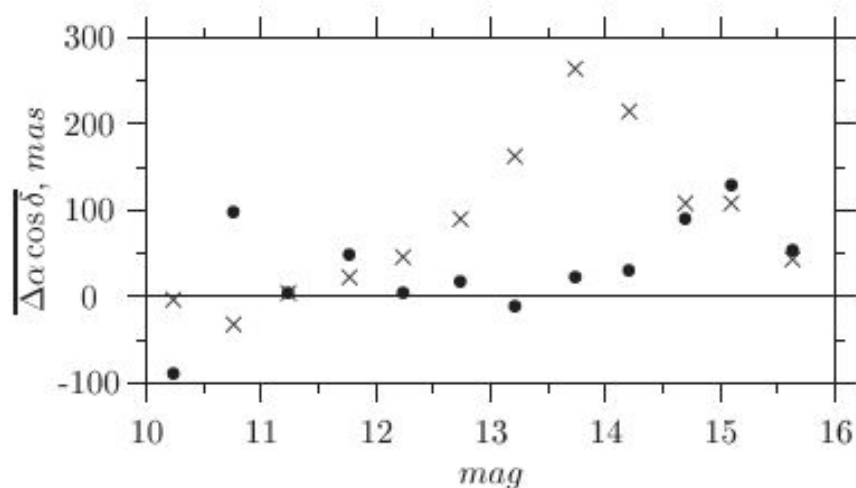
Распределение площадок CdC2000 и Pul-3.

# Сравнение координат звезд в каталогах Pul-3SE и UCAC2 с данными каталога CDC2000 (эпоха 1917г.)

| <i>mag</i> | $D_{\mu_1\alpha}$ | $D_{\mu_1\delta}$ | $D_{ucac2\alpha}$<br><i>mas</i> | $D_{ucac2\delta}$ | $e_{CdC_{pos}}$ | $err_{\mu_1\alpha}$ | $err_{\mu_1\delta}$ | $err_{ucac2\alpha}$<br><i>mas/yr</i> | $err_{ucac2\delta}$ | <i>N</i> |
|------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|----------|
| 10.7       | 273               | 300               | 140                             | 95                | 53              | 3.5                 | 3.8                 | 1.6                                  | 1.0                 | 31       |
| 11.5       | 260               | 260               | 143                             | 119               | 70              | 3.1                 | 3.1                 | 1.5                                  | 1.2                 | 81       |
| 12.5       | 290               | 300               | 265                             | 190               | 85              | 3.5                 | 3.6                 | 3.0                                  | 2.1                 | 172      |
| 13.5       | 305               | 315               | 382                             | 346               | 95              | 3.7                 | 3.8                 | 4.5                                  | 4.0                 | 279      |
| 14.4       | 290               | 340               | 425                             | 360               | 97              | 3.5                 | 4.1                 | 5.0                                  | 4.2                 | 283      |
| 15.2       | 425               | 315               | 560                             | 395               | 107             | 5.5                 | 4.0                 | 6.9                                  | 4.8                 | 43       |

$$D_x = \sqrt{\langle \Delta x_i^2 \rangle}$$

$$\tilde{D}_x^2 = err_x(t_0)^2 + err_\mu^2(t - t_0)$$



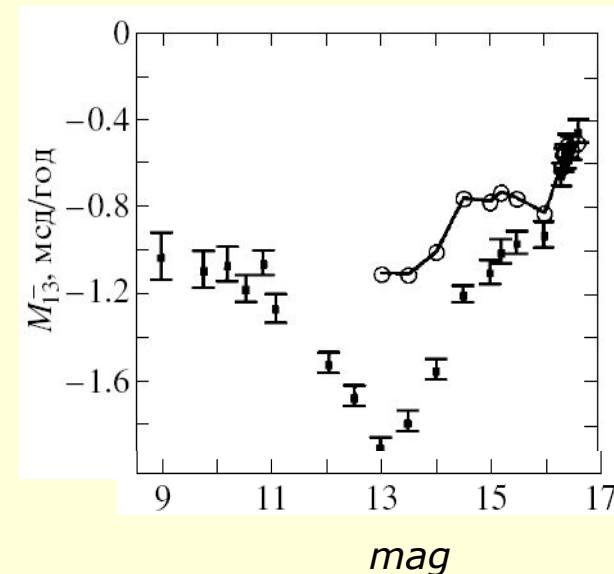
## Выводы.

Точность собственных движений звезд в каталоге Pul-3SE составляет 2-4 mas/yr.

Оценки точности собственных движений UCAC2 и PM2000, полученные авторами каталогов соответствуют реальности.

Собственные движения слабых звезд каталога UCAC2 содержат систематические ошибки зависящие от звездной величины и координат звезд. Значения этих ошибок лежат в пределах  $\pm 2-3$  mas/yr

Необходимо обратить внимание на систематические ошибки собственных движений слабых звезд каталога UCAC2 при исследованиях по звездной кинематике на основе данных этого каталога.



Зависимость компоненты вектора локального вращения относительно оси Y в галактической системе координат от звездной величины. Сплошная линия показывает ход зависимости после снятия уравнения блеска в собственных движениях звезд каталога UCAC2.