

# СОЗДАНИЕ БАЗЫ НАБЛЮДЕНИЙ ПОКРЫТИЙ ЗВЕЗД ЛУНОЙ

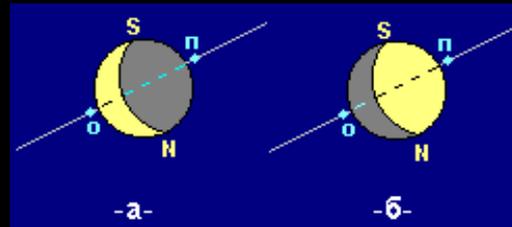
Докладчик:  
аспирант кафедры  
вычислительной физики и  
моделирования физ.процессов  
Чуркин К.О.  
Научный руководитель:  
проф. Нефедьев Ю.А.

# ПОСТАВЛЕННЫЕ ЗАДАЧИ:

- Создание базы фотоэлектрических покрытий звезд Луной;
- Анализ базы наблюдений;
- Исследование современных каталогов.

# ВИДЫ ЛУННЫХ ПОКРЫТИЙ:

- ✓ покрытия темной стороной лимба Луны (DD disappearances at the dark limb);
- ✓ открытия из-за темной стороны лимба Луны (RD reappearances at the dark limb);
- ✓ покрытие светлой стороной лимба Луны (DB disappearances at the bright limb);
- ✓ открытие из-за светлой стороны лимба Луны (RB reappearances at the bright limb);



- ✓ касательные покрытия;



# МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ПОКРЫТИЙ

✓ Оптический (при наблюдении покрытий необходима лишь регистрация моментов исчезновения и появления звезды):

- через позиционный угол;
- с привязкой к терминатору;
- с привязкой к ближайшему рогу серпа;
- с привязкой к опорным звездам;
- через гидирование;

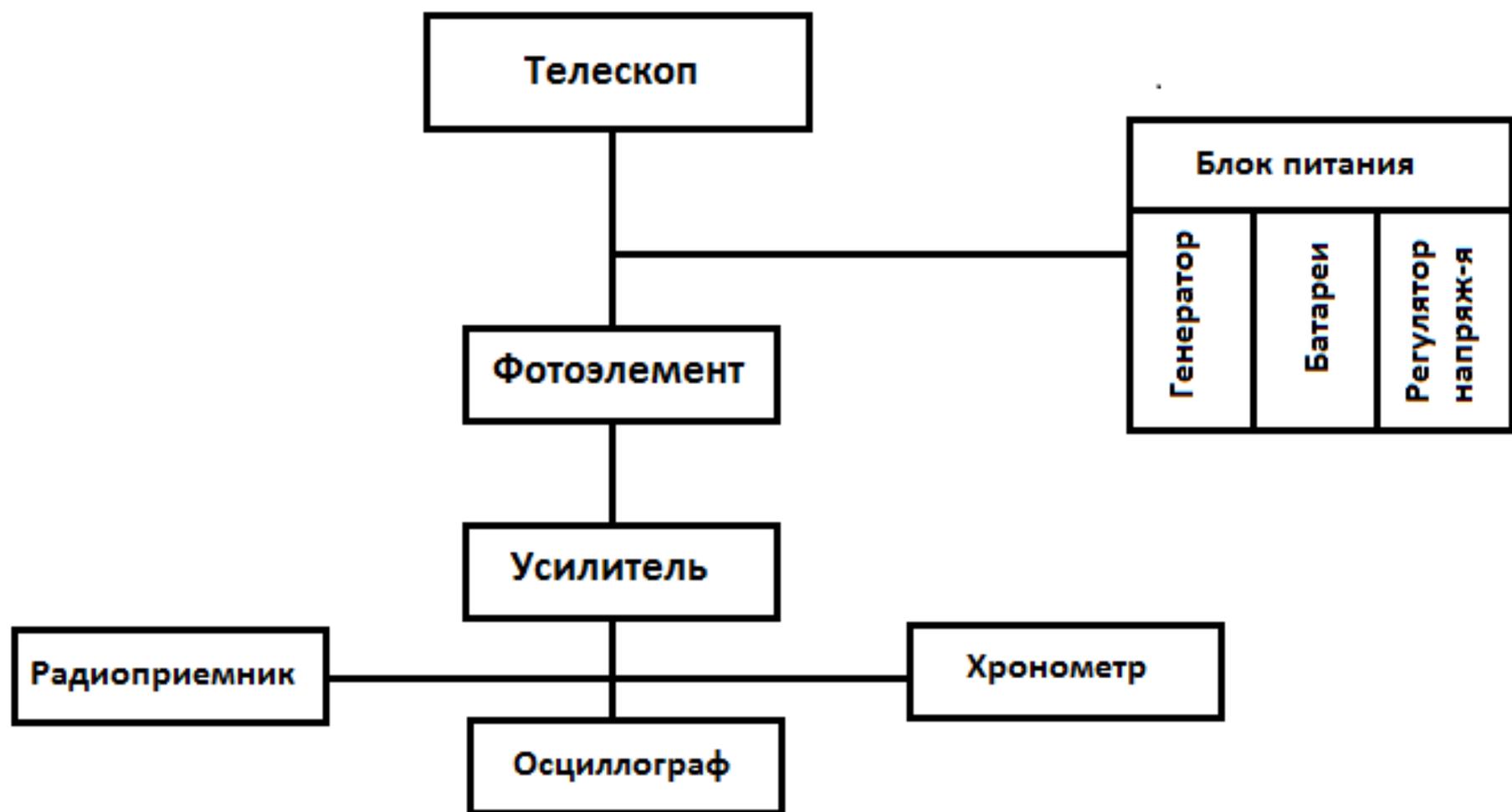
*Главный недостаток – невозможность достижения высокой точности;*

✓ Фотоэлектрический (использование фотоэлемента в соединении с телескопом)

*Дает возможность фиксировать покрытия звезд до девятой величины с точностью до  $0^s,001$*

Регистрация времени производится по атомному эталону с использованием служб времени.

Блок-схема установки для фотоэлектрического метода наблюдений покрытий



# ИСТОЧНИКИ ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ЛУННЫХ ПОКРЫТИЙ

- базы наблюдений до 80-х годов, созданные с 40-х годов Морисоном;
- базы наблюдений с 1983 по 1995 гг., только в печатном виде (создана в электронном виде выборкой ручным способом из 130094 покрытий);
- базы наблюдений с 1995г. по 2003г. (взяты в электронном виде);

*Данные наблюдений с 1983г. по 2003г. взяты из международного каталога International Lunar Occultation Center (ILOС), составленная из данных наблюдателей со всего мира.*

# Настоящая работа предполагает :

I. Построение общей базы данных покрытий из 430322 наблюдений;



II. Обработка наблюдений и идентификация звезд;



III. Разработка метода определения параметров ориентации каталога HIPPARCOS;



IV. Определение параметров ориентации космической системы координат по наблюдениям покрытий Луной.

# Идентификация звезд

SAO+ZC



PPM



PPM-HIPPARCOS

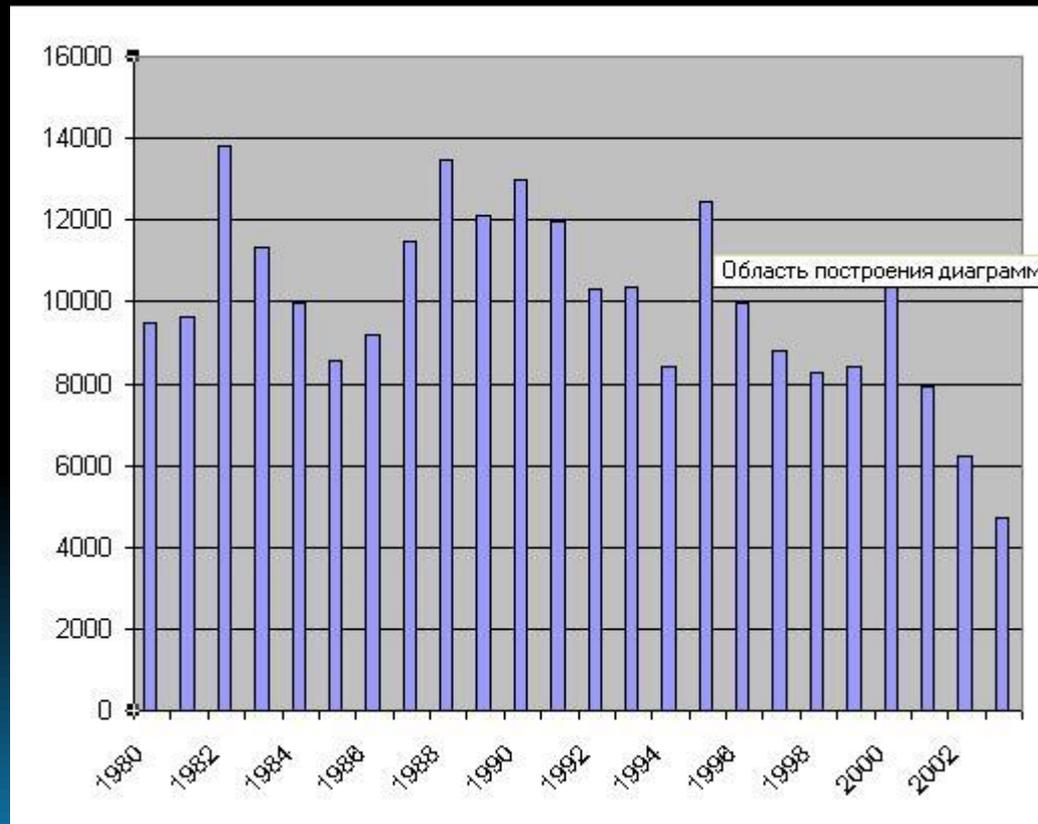
## Некоторые зарубежные станции наблюдений покрытий

*Фрагмент базы за 1983 год*

1 20 11 18 58.04 s 128889 dd so149 21  
1 20 11 25 44.60 s 128889 dd so177 1  
1 20 11 47 23.50 s 128899 dd so177 1  
1 20 12 12 23.26 s 128901 dd so177 1  
1 20 18 54 51.16 s 129029 dd su524 1  
1 20 20 16 38.58 s 109552 dd su524 1  
1 21 9 7 13.70 s 109870 dd so177 1  
1 21 9 14 45.20 s 109870 dd so179 21  
1 21 9 21 29.40 s 109875 dd so149 21  
1 21 9 26 54.07 s 109875 dd so177 1  
1 21 9 33 59.15 s 109875 dd so179 2

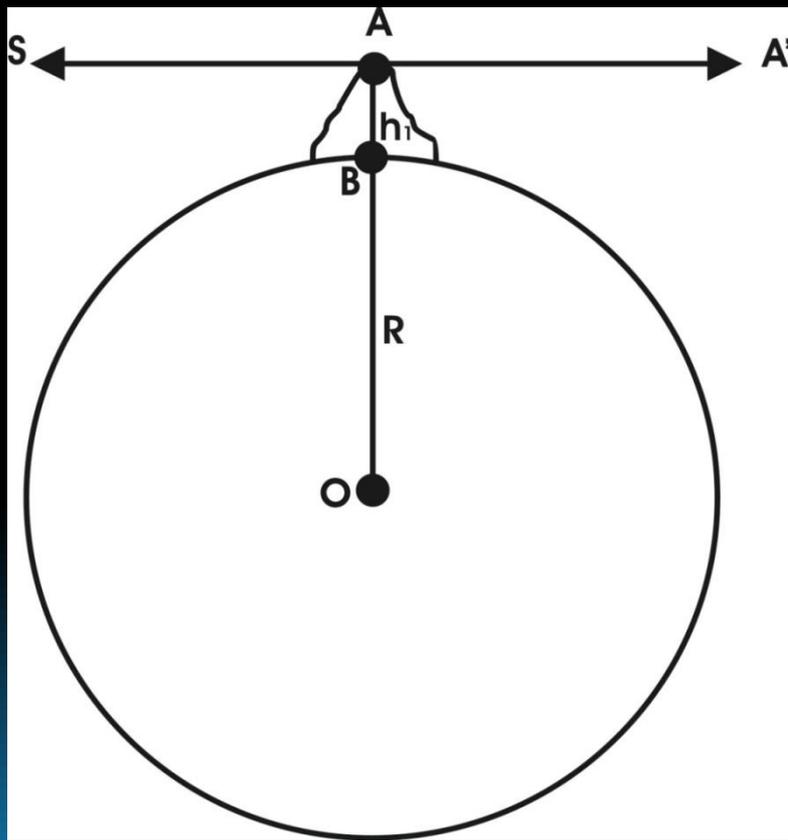
Фрагмент базы телескопов и их координат с которых производились наблюдения  
SO177 1 E 135 56 22.69 N 33 34 26.97 63.1 SIMOSATO OBS.JAPAN 62 1000 CED  
SO177 2 E 135 56 22.69 N 33 34 26.97 63.1 SIMOSATO OBS.JAPAN 15 225 RED  
SO178 56 E 133 34 27.16 N 34 40 35.98 516 BISEI OBS.JAPAN 60 942 CED

# Статистика наблюдений покрытий из серии каталогов *International Lunar Occultation Center (ILOC)*

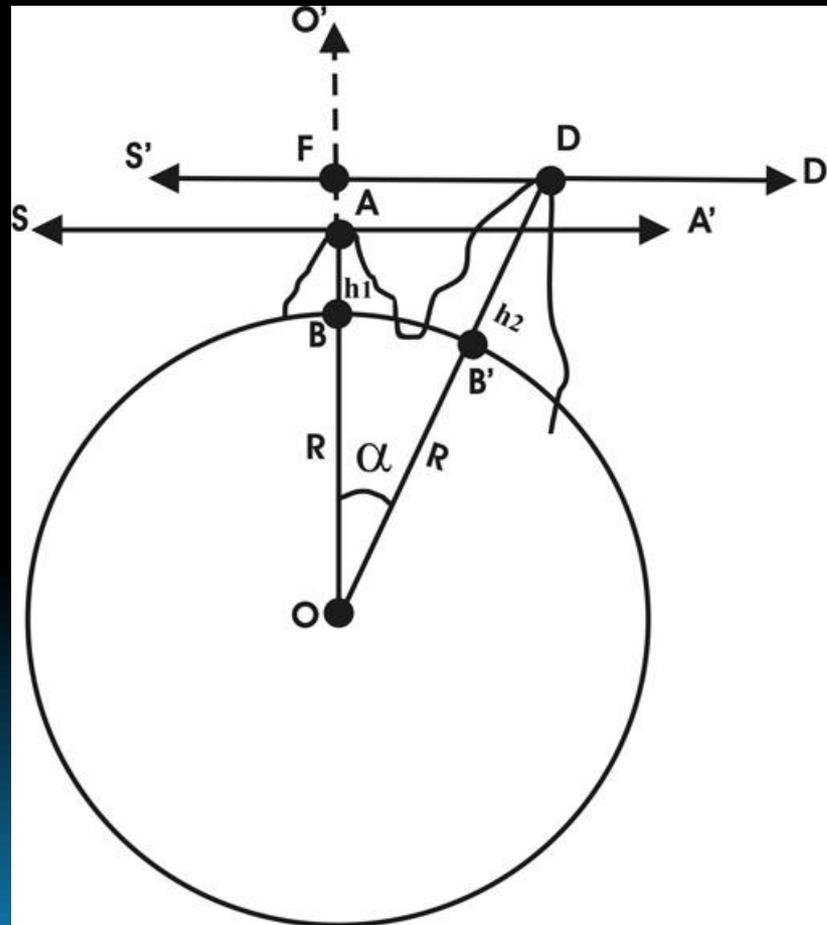


# Метод определения ориентации звездных каталогов на основе покрытий звезд Луной

Схематичное изображение наблюдения покрытия в классическом случае



Схематичное изображение наблюдения покрытия для редукций новым методом



## Актуальность метода

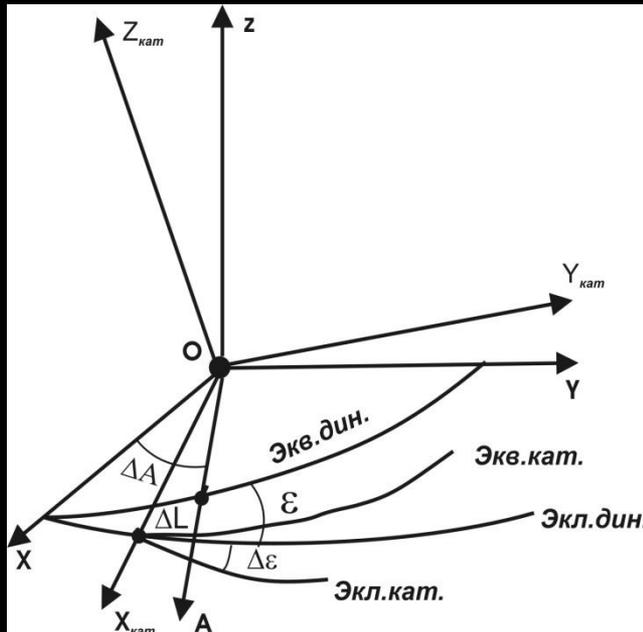
1. Неоценимый вклад в решение задач лунной астрометрии, особенно в изучение орбитального движения Луны, внесли меридианные наблюдения и наблюдения покрытий звезд Луной. Последние также оказали неоценимую помощь не только при уточнении теории движения, но также при уточнении значений параллакса и радиуса Луны, изучении неравномерности вращения Земли и установления шкалы эфемеридного времени. При разработке теорий движения Луны до эфемериды DE403 во всем объеме использовались наблюдения покрытий звезд Луной, а эфемериды Юпитера, Урана, Нептуна и Плутона до сих пор строятся на основе позиционных наблюдений. Причем, наблюдения покрытий вследствие их массовости и непрерывности представляют большую ценность.

2. Первая программа наблюдений малых тел для решения задачи по установлению связи звездной и динамической систем координат была поставлена Б.В.Нумеровым и Брауэром Д. в 1933 году и была реализована в ИПА группой Батракова Ю.В. только в 2000 году. Причем авторы пришли к выводу, что **необходимо продолжение и уточнение наземных позиционных наблюдений для более точного решения данной задачи.**

3. При выполнении миссии Hipparcos проводились наблюдения 48 малых планет с более высокой, чем наземные, точностью, однако была получена точность ориентации осей каталога Hipparcos относительно динамической системы координат ниже, чем внутренняя точность каталога, причиной чего была плохая обусловленность системы нормальных уравнений из-за малого временного ряда, неидеального распределения наблюдений по орбитам и недостаточного числа наблюдений для некоторых планет.

4. В настоящей работе предложен новый метод, основанный на наблюдениях покрытий звезд Луной, независимый от метода, основанного на наблюдениях малых планет, и обладающий не меньшей точностью

# Первый путь – это определение ориентации системы координат звездного



## каталога

Невязки наблюдений по  $\alpha$  и  $\delta$ , приведенные на среднее расстояние Луна-Земля

$$(\Delta\alpha_{o-c})'_v = (R_o - R_e) \sin \theta_* \times (932.58'') / R'_v,$$

$$(\Delta\delta_{o-c})'_v = (R_o - R_e) \cos \theta_* \times (932.58'') / R'_v.$$

$\nu_x, \nu_y, \nu_z$  - углы поворота системы координат каталога относительно динамической системы координат,

$w_x, w_y, w_z$  - скорости изменения углов  $\nu_x, \nu_y, \nu_z$ ,

В углах Эйлера:

$\Delta A, \Delta D$  - поправки к нулю - пункту каталога по  $\alpha$  и  $\delta$ ,

$\Delta L, \Delta \epsilon$  - поправки к долготе Луны и

к наклону эклиптики к экватору.

Можно записать:

$$\nu_x = -\Delta\epsilon, \nu_y = \Delta L \sin \epsilon, \nu_z = \Delta A - \Delta L \cos \epsilon,$$

$$w_x = -\Delta\dot{\epsilon}, w_y = \Delta\dot{L} \sin \epsilon, w_z = \Delta\dot{A} - \Delta\dot{L} \cos \epsilon.$$

Получаем 2n уравнений поправок вида:

$$\Delta\alpha_{o-c} = -(\Delta A + \Delta\dot{A}(t - t_0))$$

$$+ (\Delta L + \Delta\dot{L}(t - t_0)) \cos \epsilon (1 + \tan \epsilon \tan \delta \sin \alpha) - (\Delta\epsilon + \Delta\dot{\epsilon}(t - t_0)) \tan \delta \cos \alpha,$$

$$\Delta\delta_{o-c} = -\Delta D + (\Delta L + \Delta\dot{L}(t - t_0)) \sin \epsilon \cos \alpha$$

$$+ (\Delta\epsilon + \Delta\dot{\epsilon}(t - t_0)) \sin \alpha.$$

Производим оценку искомых поправок МНК.

# Вычислены поправки :

Для случая карт Уоттса с поправками Моррисона

$$\begin{aligned}v_x &= 30'' * 10^{-4} \pm 24'' * 10^{-4}, v_y = -11'' * 10^{-3} \pm 12'' * 10^{-4}, v_z = 16'' * 10^{-4} \pm 27'' * 10^{-4} \\w_x &= 7 * 10^{-4} \pm 10 * 10^{-4} (''/cy), w_y = -14 * 10^{-4} \pm 19 * 10^{-4} (''/cy), \\w_z &= -12 * 10^{-4} \pm 26 * 10^{-4} (''/cy) \\ \Delta A &= 74'' * 10^{-3} \pm 48'' * 10^{-3}, \Delta D = 45'' * 10^{-3} \pm 19'' * 10^{-3}, \\ \Delta L &= 41'' * 10^{-3} \pm 38'' * 10^{-3}, \Delta \varepsilon = 50'' * 10^{-4} \pm 41'' * 10^{-4}.\end{aligned}$$

Для карт Казань в цифровом виде

$$\begin{aligned}v_x &= 41'' * 10^{-4} \pm 20'' * 10^{-4}, v_y = -2'' * 10^{-3} \pm 15'' * 10^{-4}, v_z = 23'' * 10^{-4} \pm 19'' * 10^{-4} \\w_x &= 14 * 10^{-4} \pm 18 * 10^{-4} (''/cy), w_y = -27 * 10^{-4} \pm 10 * 10^{-4} (''/cy), \\w_z &= -21 * 10^{-4} \pm 31 * 10^{-4} (''/cy) \\ \Delta A &= 81'' * 10^{-3} \pm 54'' * 10^{-3}, \Delta D = 34'' * 10^{-3} \pm 25'' * 10^{-3}, \\ \Delta L &= 56'' * 10^{-3} \pm 31'' * 10^{-3}, \Delta \varepsilon = 62'' * 10^{-4} \pm 32'' * 10^{-4}.\end{aligned}$$

Второй путь – это определение системы координат каталога

$$\Delta\sigma = \sum_{k=1}^N \frac{\partial\sigma}{\partial Q_k} \Delta Q_k,$$

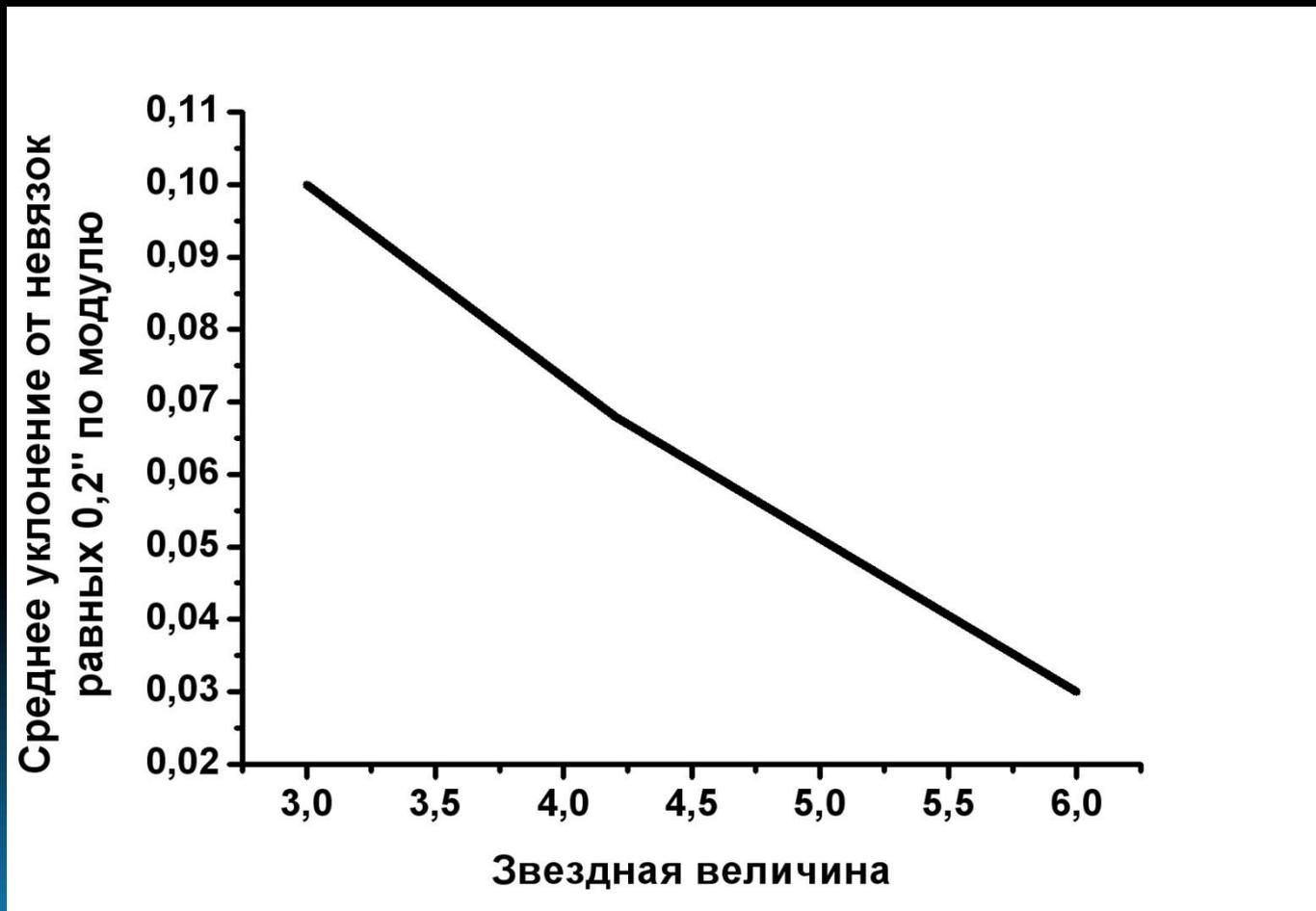
Где  $\sigma$  – угловое расстояние от звезды до центра масс Луны на момент покрытия

$$\frac{\partial\sigma}{\partial Q_k}$$

- известные из вычислений коэффициенты.

$N$  – число определяемых параметров.

# Зависимость невязок от звездной величины покрываемой звезды



# Заключение

1. Произведен анализ покрытий звезд Луной и вывод параметров ориентации каталога HIPPARCOS;
2. Построение и редуцирование Базы наблюдений покрытий звезд Луной;
3. Произведена идентификация покрываемых звезд;
4. Создан точный метод и применен на практике для точного учета поправок из-за неровности лунного края;
5. Разработан новый метод и практически использован для определения на основе наблюдений покрытий параметров ориентации системы координат каталога HIPPARCOS