

Результаты пулковских астрометрических наблюдений главных спутников Урана в 2016 – 2018 годах

Бикулова Д.А., Измайлов И.С., Ховричев М.Ю.,
Нарижная Н.В., Куликова А.М.

Пулковская обсерватория

1 октября 2018 г.

Зачем наблюдать?

- Теории движения спутников Урана базируются на наземных астрометрических наблюдениях. Нет космических наблюдений, кроме нескольких точек, полученных Вояджером-2 и телескопом Хаббла.
- Наблюдения Gaia если и будут, то охватят небольшой промежуток времени. В опубликованных в Gaia DR2 SSO Tables нет наблюдений спутников Урана.
- Точность наблюдений Gaia сильно различается в AL и в AC - направлениях.
- До сих пор ненадежно определяется вековое замедление в движении спутников, обусловленное взаимными приливами.

Инструменты

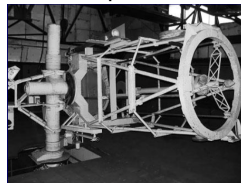
Астрометрические ПЗС-наблюдения велись с помощью:



$D=0.65\text{ m}$, $F=10.5\text{m}$,
 $FOV=12 \times 12\text{ arcmins}$,
 $CCD\text{-scale}=0.238\text{ arcsec/pix}$,
 $Ph\text{-scale}=19.81\text{ arcsec/mm}$,
 $mag_{lim} = 19.5^m$



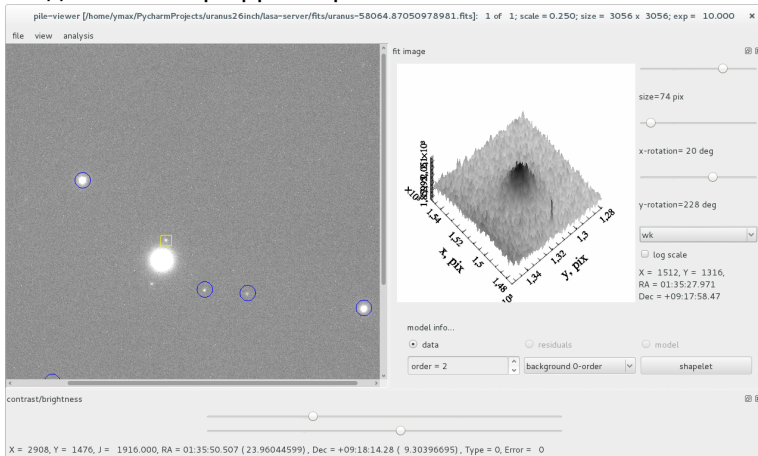
$D=0.33\text{ m}$, $F=3.5\text{m}$,
 $FOV=35 \times 25\text{ arcmins}$,
 $CCD\text{-scale}=0.530\text{ arcsec/pix}$,
 $Ph\text{-scale}=59.56\text{ arcsec/mm}$,
 $mag_{lim} = 17.0^m$



$D=1\text{ m}$, $F=4\text{m}$,
 $FOV=30 \times 20\text{ arcmins}$,
 $CCD\text{-scale}=0.460\text{ arcsec/pix}$,
 $mag_{lim} = 20.0^m$

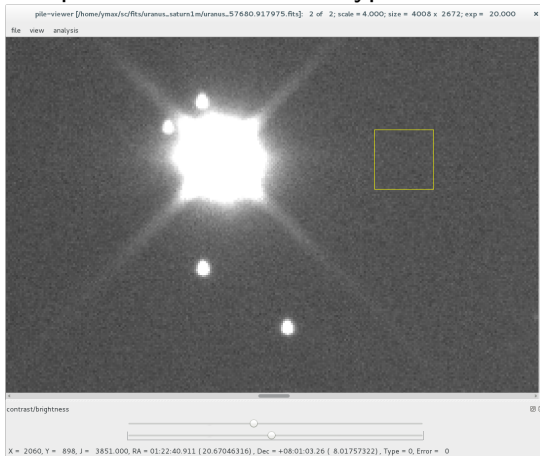
Типичные ПЗС-кадры...

26-дюймовый рефрактор



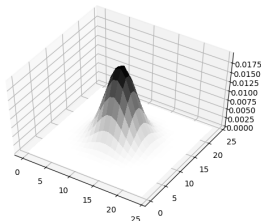
Типичные ПЗС-кадры...

Метровый телескоп «Сатурн»



Техника измерений изображений звезд...

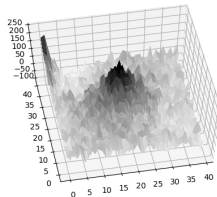
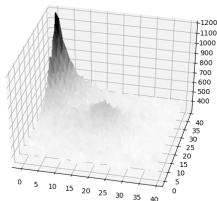
- Шейплет-декомпозиция изображений всех звезд в кадре → PSF на основе медианных значений коэффициентов разложения.



- Определение пиксельных координат звезд путем варьирования x_{ph} , y_{ph} , $Flux$ методом Левенберга-Марквардта.

Техника измерений изображений спутников...

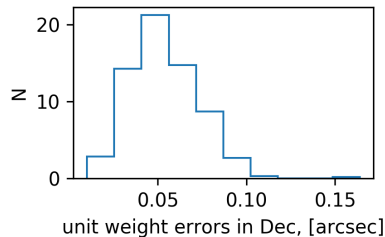
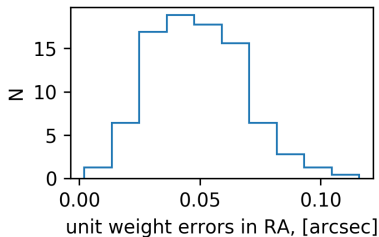
- Учет ореола от планеты. $J = B_0 + \frac{B_1}{(1+r)} + \frac{B_2}{(1+r)^2}$, r -пиксельное расстояние от центра изображения Урана до текущего пикселя.



- Определение пиксельных координат спутников по той же схеме, что и для звезд после вычитания ореола.

Астрометрическая редукция...

- Опорный каталог - Gaia DR2
- Метод шести постоянных
- Коррекция за систематические ошибки



Число опорных звезд: для 26-дюймового рефрактора - 6-12,
для телескопа Сатурн - 8 -30

Эфемериды...

Используется сервис MULTISAT. Ephemerides of planets and natural satellites.

The screenshot shows the MULTISAT web interface. The header includes logos for ГАИШ МГУ, Sternberg Astronomical Institute, and Московский Университет. The main content area is titled 'MULTISAT. Ephemerides of planets and natural satellites.' and 'Configuration of the system of satellites'. Under 'Satellites of Uranus', there are several configuration options: 'Choose a Satellite' (set to 'Center of Uranus'), 'Put' (set to 'U4 Oberon'), 'Enter Observatory code' (set to '084'), 'Epoch of equator and equinox' (set to 'J2000'), 'Choose Time Scale' (set to 'UTC'), 'Choose format of the initial date' (set to 'Year month day hour min sec decimals'), 'Enter initial moment' (set to '2000 01 01 0 0 0 0'), 'Choose the step unit' (set to 'day'), 'the step value' (set to '1'), 'the field' (set to '12'), and 'Choose type of coordinates' (set to 'Diff. X, Y (arcsec)'). A 'Show' button is at the bottom right of the configuration section.

```
mjd = str(cme.mjd)
```

```
import requests
```

```
Umultisat = ('http://nsdb.imcce.fr/cgi-bin/nss-eph4.cgi'  
            '?langue=30&relative=-1&nde=9'  
            '&epoch=ICRF&tscale=UTC&initform=3&outputtype=1000&steptype=-2'  
            '&imestep=1&ntimes=4&visible=&yangle=0&reserve=0')
```

```
Umultisat += '&satellite=7001&plnvar=0&observatory=084&initmom=%23+NSAT%3A1%'
```

```
satl='0,1,2,3,4,5'.split(',')
```

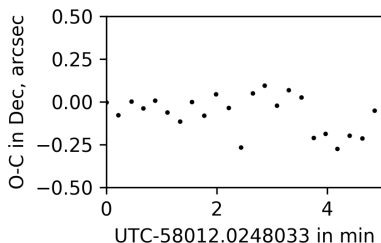
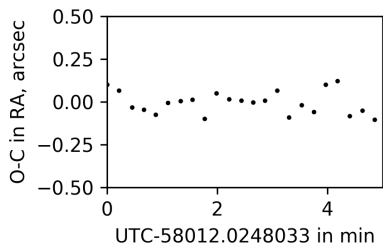
```
for k in range(len(satl)):  
    Umultisat += '%02A+' + satl[k] + '+' + mjd
```

```
rmultisat = requests.get(Umultisat).text.split('\n')  
key = mjd[mjd.find('.')-3:mjd.find('.')+3]
```

О-С вычислялись на основе комбинации U1-U5 by Lainey et al. (2015) + EPM2017

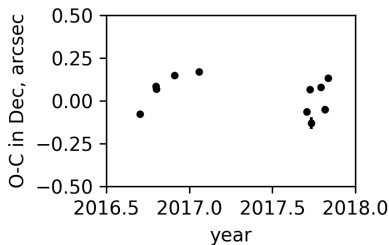
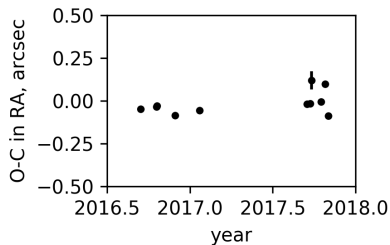
Оценка качества результатов...

Пример поведения О-С в ходе серии на 26-дюймовом рефракторе для U4(Oberon)...

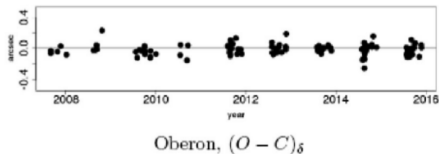
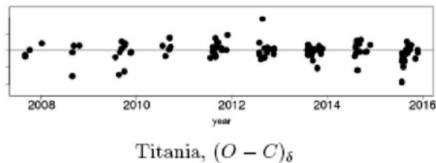


Анализ О-С...

Пример поведения О-С на протяжении всего периода наблюдений U4(Oberon)...



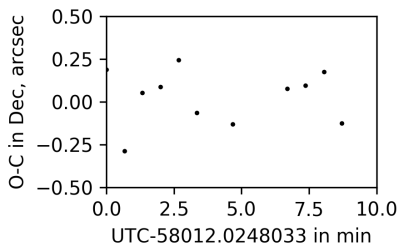
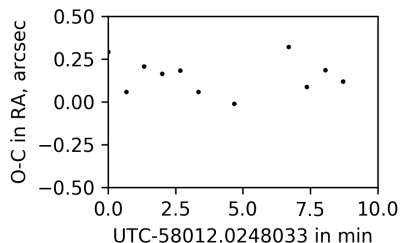
Наши старые наблюдения (Ershova et al, 2016).



$0.01 \text{ arcsec} \approx 150 \text{ км}$

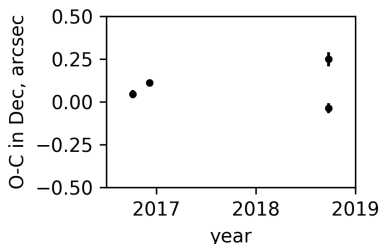
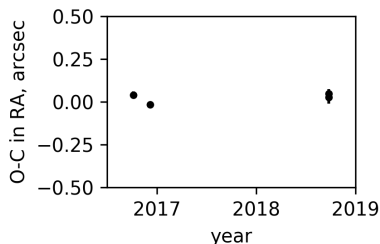
Анализ О-С...

Пример поведения О-С для U2 (Umbriel) на протяжении серии ПЗС-кадров (телескоп Сатурн)...



Анализ О-С...

Пример поведения О-С для U3-U4 на протяжении всего периода наблюдений (телескоп Сатурн)...

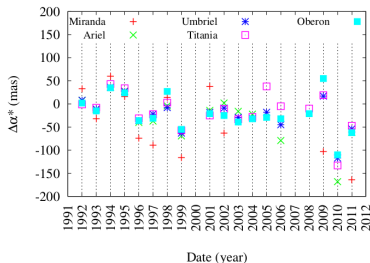


Выводы...

- Получено более 800 отдельных положений для U2,U3,U4 с помощью 26-дюймового рефрактора и метрового телескопа Сатурн Пулковской обсерватории.
- Нормальные места характеризуются ошибкой 10 - 30 mas и представлены в системе GaiaCRF2.
- Данные новых наблюдений не противоречат старым результатам.

Выводы...

- О-С нормальных мест могут достигать 100 mas и более. Аналогичные величины имеют место быть в работах других авторов ([Camargo et al, 2015](#)).



- Проявления систематических ошибок есть как в теории движения (периодический ход О-С на больших интервалах времени), так и в наблюдениях (значимые вариации О-С в ходе отдельных серий ПЗС-кадров).

Результаты наблюдений спутников Урана...

Спасибо за внимание!