

АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ УРАНА И ЕГО ГЛАВНЫХ СПУТНИКОВ НА НОРМАЛЬНОМ АСТРОГРАФЕ В ПУЛКОВЕ. НОВАЯ РЕДУКЦИЯ

Дементьева А.А.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Введение. Одним из важнейших аспектов изучения динамики далеких планет Солнечной системы и их спутников является уточнение теорий их движения. Для эффективного решения этой задачи необходимы длительные высокоточные ряды астрометрических наблюдений, результатами которых являются экваториальные координаты планет и их спутников, отнесенные к современной опорной системе. Астрометрические наблюдения Урана на Нормальном астрографе ведутся на протяжении нескольких десятилетий (например, [1]). В XX веке это были фотографические наблюдения. В данной работе, которая является продолжением работ [2] и [3], представлены результаты астрометрических ПЗС-наблюдений Урана, выполненных на Нормальном астрографе в период с 2006 по 2011 гг.

1. Наблюдения и обработка данных. Результаты данной работы основаны на полученных на Нормальном астрографе ПЗС-кадрах с изображениями Урана, в период с 2006 по 2011 гг. На телескопе установлена ПЗС-камера S2C (рабочее поле: 18'x16', масштаб: 900 мсд/пиксель). Наблюдения проводились, как правило, с августа по декабрь. За период 2006–2011 гг. с различными экспозициями было снято около 3000 ПЗС-кадров с изображением Урана. Съёмка велась по сериям. Серии варьировались от 5 до 100 кадров. Длинные серии снимались с короткими экспозициями (5, 10 секунд), короткие серии – с экспозициями 30, 60, 90 и 120 секунд. Всего было получено 1926 отдельных положений Урана. В работах [2] и [3] в качестве опорного использовался каталог UCAC3 [4]. В данной работе в качестве опорного использован каталог UCAC4 [5]. Кроме самого Урана на части кадров получились изображения Оберона и Титании в период с 2008 по 2011 гг.

При съёмке с длинными экспозициями, кроме изображений планеты и ее спутников в ПЗС-кадрах в среднем получились изображения 10 – 30 опорных звезд из каталога UCAC4. Это дало возможность выполнить стандартную астрометрическую редукцию методом шести постоянных и получить экваториальные координаты Урана в системе данного каталога с помощью программного пакета IZMCCD [6]. На кадрах, снятых с короткими экспозициями, опорные звёзды получились недодержанными. В этом случае ПЗС-кадры внутри серии складывались и результат сложения измерялся. При измерении спутников вблизи ореола планеты ореол учитывался. На данном этапе были отброшены звезды, по которым невязки условных

уравнений превышали 0.45". Затем все полученные из наблюдений положения Урана сравнивались с современной теорией его движения. Для вычисления величин (О-С) использовался сервер эфемерид планет и их спутников "Natural satellites service" [7]. Экваториальные координаты Урана рассчитывались с помощью теории движения INPOP10. Для всего ряда наблюдений Урана среднее значение (О-С) по прямому восхождению составило 0."0792 по склонению – -0."0955. Кроме самого Урана на части кадров получились изображения Оберона и Титании в период с 2008 по 2011гг.

2. Анализ величин (О-С). Для анализа внешней точности экваториальные координаты Урана, полученные из наблюдений, сравнивались с современной теорией его движения. Для вычисления величин (О-С) использовался сервер эфемерид "Natural satellites service". Экваториальные координаты Урана рассчитывались с помощью теории движения INPOP10. Результаты вычислений, средние по годам, приведены в таблице 1 в левой её части (а), в правой части приведены средние по годам (О-С) Урана для положений, полученных в системе каталога UCAC3 (б).

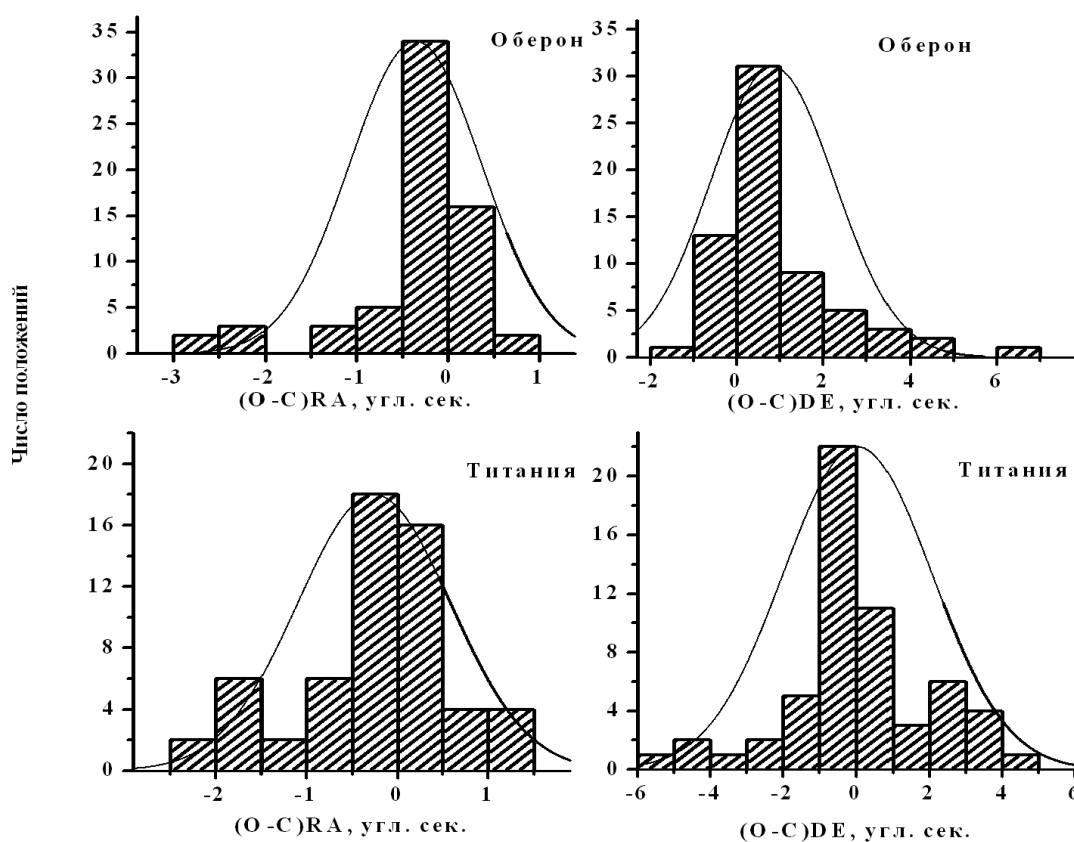
Таблица 1. Значения (О-С) для экваториальных координат Урана по данным наблюдений, выполненных на Нормальном астрографе. Все величины приводятся в секундах дуги.

Дата	INPOP10(а)		INPOP10(б)	
	(О-С) α	(О-С) δ	(О-С) α	(О-С) δ
2006	-0.0177	-0.0816	0.1304	-0.0623
2007	-0.1839	-0.2901	0.1226	-0.0624
2008	0.1167	-0.0380	0.6394	-0.1431
2009	0.1542	-0.1198	0.0946	-0.1556
2010	0.3921	0.1370	0.1032	0.0807
2011	0.0938	-0.1539	-0.0072	-0.1882

Позиционные положения спутников рассчитывались с помощью теорий движения планет INPOP10 и DE421/LE421 для Урана и Lainey(2008) для спутников. Вторая теория была взята для сравнения, чтобы посмотреть, есть ли большое отличие при использовании разных теорий движения для оценки точности полученных координат. Сопоставление (О-С) для экваториальных координат обоих спутников, вычисленных с использованием двух теорий движения: INPOP10+Lainey(2008) и DE421/LE421+Lainey(2008), показывает, что для полученного набора данных экваториальные координаты как Титании, так и Оберона, рассчитанные на основе обеих теорий, находятся примерно в одинаковом согласии, но предпочтение все-таки лучше отдать теории INPOP10+Lainey(2008).

Гистограммы распределения разностей (О-С) по координатам X и Y для всех полученных положений относительно теории INPOP10 приведены на рис. 1.

Рисунок 1. Гистограммы распределения разностей $(O-C)_\alpha$ и $(O-C)_\delta$ относительно теории INPOP10 для всех положений Титании и Оберона.



Средние значения разностей $(O-C)$, ошибки среднего (ϵ_α , ϵ_δ) и средне-квадратические ошибки (σ_α , σ_δ) в секундах дуги относительно обеих теорий приведены в табл. 2.

Таблица 2. Средние значения разностей $(O-C)$, их ошибки ϵ и ошибки среднего значения σ . Все величины приводятся в секундах дуги

№сп (Имя)	INPOP10+Lainey(2008)				DE421/LE421+Lainey(2008)			
	$(O-C)_\alpha$ ϵ_α	$(O-C)_\delta$ ϵ_δ	σ_α	σ_δ	$(O-C)_\alpha$ ϵ_α	$(O-C)_\delta$ ϵ_δ	σ_α	σ_δ
U3 (Титания)	0.021 0.057	-0.146 0.091	0.293	0.463	0.075 0.057	-0.039 0.090	0.291	0.461
U4 (Оберон)	-0.147 0.030	0.140 0.051	0.177	0.309	-0.082 0.029	0.246 0.051	0.175	0.307

Каталоги экваториальных координат Титании и Оберона в системе J2000.0 доступны в электронном виде по адресам: <http://puldb.ru/short?1dcc9c62>; <http://puldb.ru/short?6b7504cc>.

Каталоги содержат следующие данные:

- дату наблюдений в юлианских днях;
- момент наблюдения UTC в формате год–месяц–день;
- прямое восхождение;
- склонение;
- разность (O-C) по прямому восхождению ($\Delta\alpha\cos\delta$), в секундах дуги;
- разность (O-C) по склонению, в секундах дуги;
- эпоху экватора и равноденствия, J2000.0;
- каталог, в системе которого велась обработка наблюдений;
- указатель координат (геоцентрические или топоцентрические);
- инструмент, на котором производились наблюдения (нормальный астрограф);
- тип приемника (ПЗС).

3. Выводы. Поскольку работа ещё продолжается, предполагается получить большой ряд положений Оберона и Титании в системе каталога UCAC4. Все положения как Урана, так и его главных спутников, полученные в результате данной работы также предполагается поместить в электронном виде в «Астрометрическую базу данных Пулковской обсерватории». Эти положения могут быть использованы для улучшения теории их движения и решения различных задач небесной механики.

Автор выражает благодарность всем наблюдателям Нормального астрографа.

Литература.

1. Хруцкая Е.В., Ховричев М.Ю., Калинин С.И. и др. Астрометрические базы данных Пулковской обсерватории: астрометрические каталоги, результаты наблюдений тел Солнечной системы, двойные звезды//Изучение объектов околоземного пространства и малых тел Солнечной системы, 2007, Николаев; Атолл с.197-204.
2. Дементьева А.А., Астрометрические наблюдения Урана на Нормальном астрографе в Пулкове, Астрономический вестник, 2014, том 48, № 3, с.211–218.
3. Дементьева А.А., Астрометрические ПЗС-наблюдения 3-го и 4-го спутников Урана на Нормальном астрографе в Пулкове, Астрономический вестник, 2015, том 49, № 5, с.395–400.
4. Zacharias N. et al. The Third US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC3)// The Astronomical Journal, 2010, V.139, p.2184.
5. Zacharias N., Finch, C. et al. The fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4)// The Astronomical Journal, 2013, V.145, № 2, p.44.
5. Izmailov, I. S.; Khovricheva, M. L.; Khovrichev, M. Yu. et al. Astrometric CCD observations of visual double stars at the Pulkovo Observatory//Astronomy Letters, 2010, Volume 36, Issue 5, pp.349-354.
6. Emel'yanov N.V., Arlot J.-E. The natural satellites ephemerides facility MULTI-SAT //A&A, 487, 759. 2008.