

Оценка точности теорий движения Урана и его главных спутников по наблюдениям на инструментах Пулковской обсерватории

Ершова Анастасия

10 апреля 2016 г.

Аннотация

1 Введение

Для фундаментальных исследований динамики планетных систем, а также вопросов формирования и эволюции Солнечной системы важны теории движения больших планет и их спутников. Кроме того, до сих пор Уран был обделён вниманием космических аппаратов (Только Вояджер 2 внёс свою лепту в наблюдения системы Урана), и координаты Урана и его спутников понадобятся при подготовке будущих космических миссий.

В данной работе рассматриваются теории движения четырёх из пяти главных спутников Урана. Теоретически предсказанные положения светил на небесной сфере сравниваются с измеренными координатами, полученными из наблюдений на инструментах Пулковской обсерватории. Речь идёт о снимках с 26-дюймового рефрактора и Нормального астрографа. В работе использован длинный ряд наблюдений, включающий в себя и данные с фотопластинок, самые старые из которых датируются 1953 годом, и новейшие наблюдения с ПЗС.

2 Система близких спутников Урана и особенности её наблюдений

Уран является самой тусклой из планет, доступных для наблюдения невооружённым глазом. Он был открыт Уильямом Гершелем в 1781 году. Как и все большие планеты, Уран имеет систему колец и спутников, среди которых сейчас выделяют 5 главных, то есть ближайших к планете и имеющих наибольшие размеры. В порядке удаления орбиты спутника от планеты это — Миранда (u5), Ариэль (u1), Умбриэль (u2), Титания (u3) и Оберон (u4). История наблюдения самых крупных спутников — Титании и Оберона — начинается уже в 1787 году, Ариэль и Умбриэль были открыты в 1847, Миранда — в 1948. Хронологический порядок отражает трудоёмкость наблюдений этих объектов и точности теорий их движений. Измерить положение спутника на ПЗС-кадре тем сложнее, чем ближе спутник находится к планете и, соответственно, сильнее скрыт ореолом.

Можно оценить наибольшие угловые расстояния, на которые спутники могут отдаляться от планеты. Считая для оценки, что Земля и Уран в противостоянии, получим следующее.

Спутник	Максимальное удаление от Урана в секундах дуги
Оберон	44
Титания	33
Умбриэль	20
Ариэль	14
Миранда	9

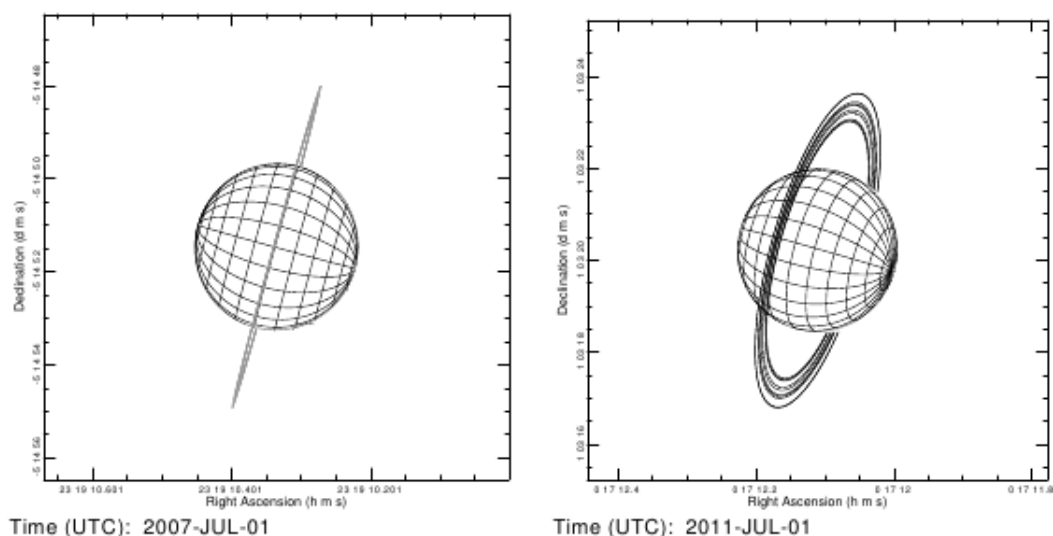


Рис. 1: Видимая с Земли ориентация Урана и орбит его спутников (“Astrometry of the main satellites of Uranus: 18 years of observations”, J.I.B. Camargo и др., 2015)

На снимках, используемых в данной работе, изображение Миранды удавалось выделить в крайне редких случаях (около 5 ночей за весь ряд наблюдений). Даже в этих случаях измерений приемлемого качества не получалось. Поэтому в дальнейшем этот спутник из рассмотрения выбрасывается.

Ось вращения Урана составляет малый угол ($\approx 8^\circ$) с плоскостью его орбиты, в следствие чего при движении Урана вокруг Солнца изменяется угол, под которым с Земли видна плоскость орбит его спутников (Рис. 1). Когда экваториальная плоскость Урана видна с ребра, велика вероятность, что спутник на кадре окажется непосредственно перед планетой или за ней, то есть его координаты измерить будет нельзя. Поэтому количество измеренных нормальных мест распределено во времени не равномерно. Если рассматривать ряд наблюдений, представленный конкретно в этой работе, то замечен дефицит положений спутников, полученных по ПЗС-кадрам в 2007 – 2010 годах. Однако объясняется он, скорее, не ориентацией экваториальной плоскости Урана, а техническими причинами. В то же время, сопоставляя годы с 2011 по 2015, в которых количества ночей наблюдений сравнимы, можно заметить, что доля измерений, не отсеянных в процессе обработки (с небольшой дисперсией), росла от 2011 к 2015 году.

2011	— 0.617
2012	—
2013	—
2014	— 0.629
2015	— 0.759

Географические координаты Пулковской обсерватории $59^\circ 46' 18.2''$ с. ш., $30^\circ 19' 33.8''$ в. д., что в настоящее время позволяет проводить наблюдения Урана в период с конца августа по начало января. В 1950-ые годы большинство наблюдений проводилось в марте.

3 Наблюдения с ПЗС и их обработка

Наблюдения системы Урана на ПЗС начались в августе 2007-го года, когда на 26"-рефрактор Пулковской обсерватории была установлена камера FLI Pro Line 09000, имеющая размеры 3056×3056 пикселей, каждый пиксель по $12 \mu m$. Фокусное расстояние телескопа – 10413 мм, диаметр апертуры – 65 см. Поле зрения при этом составляет $12' \times 12'$, масштаб $0''.24/px$ [1].

В начале 2007 года было сделано несколько серий снимков с экспозициями 3 секунды, всего порядка 300 кадров. Эти кадры складывались по 25. В дальнейшем за одну наблюдательную ночь снималось 40 кадров с Ураном с экспозициями 10 секунд. При обработке наблюдений эти кадры складывались по 8. Такие экспозиции и сложение кадров позволили получить на изображении достаточное число опорных

звёзд и хорошее отношение сигнала к шуму.

Таким образом, к 2015 году было накоплено около 6500 ПЗС-кадров с изображениями Урана. В таблице указано, сколько ночей наблюдался каждый из четырёх спутников, что соответствует числу полученных за год нормальных мест, в скобках указано количество измеренных за весь год индивидуальных положений.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Ариэль	0(0)	0(0)	3(15)	1 (5)	0(0)	2 (10)	2 (10)	2 (10)	7 (35)
Умбриэль	0(0)	2 (10)	4 (20)	4 (20)	4 (20)	4 (20)	14 (70)	8 (40)	11(55)
Титания	3 (13)	5 (25)	11 (55)	5 (25)	15 (75)	12 (60)	19 (91)	15 (74)	21 (105)
Оберон	4 (21)	7 (35)	11 (55)	5 (25)	18 (90)	13 (65)	18 (88)	19 (94)	21 (105)

Координаты центров изображений спутников и опорных звёзд вычислялись при помощи аппроксимации профилей изображений функцией Лоренца [4].

$$I(x, y) = \frac{C}{(1 + Ar)^\alpha} + D$$

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (1 + B)(y - y_0)^2 + E(x - x_0)(y - y_0)}$$

$I(x, y)$ – значение яркости в пикселе с координатами x и y

(x_0, y_0) – координаты центра изображения

α, A, B, C, D, E – параметры модели, определяемые при измерениях, при этом

A – задает размер изображения;

B – вытянутость изображения по оси y ;

C – яркость изображения в центре;

D – свободный член;

E – вытянутость изображения в произвольном направлении;

α – определяет форму аппроксимирующей кривой.

3.1 Ариэль

(2) (3)

3.2 Умбриэль

(4) (5)

3.3 Титания

(6) (7)

Список литературы

- [1] “Astrometric Observations of Satellites of Uranus Using 26-Inch Refractor in 2007–2011”, 2013, E. A. Roschina, I. S. Izmailov, T. P. Kiseleva
- [2] “Ephemerides of the main Uranian Satellites”, 2013, N. V. Emelyanov, D. V. Nikonchuk
- [3] “Astrometry of the main satellites of Uranus: 18 years of observations”, J.I.B. Camargo и др., 2015
- [4] <http://www.izmccd.puldb.ru/>

4 Заметки на будущее

Добавить в таблицу долю хороших измерений в 2012 и 2013 годах
сделать отступы в началах абзацев

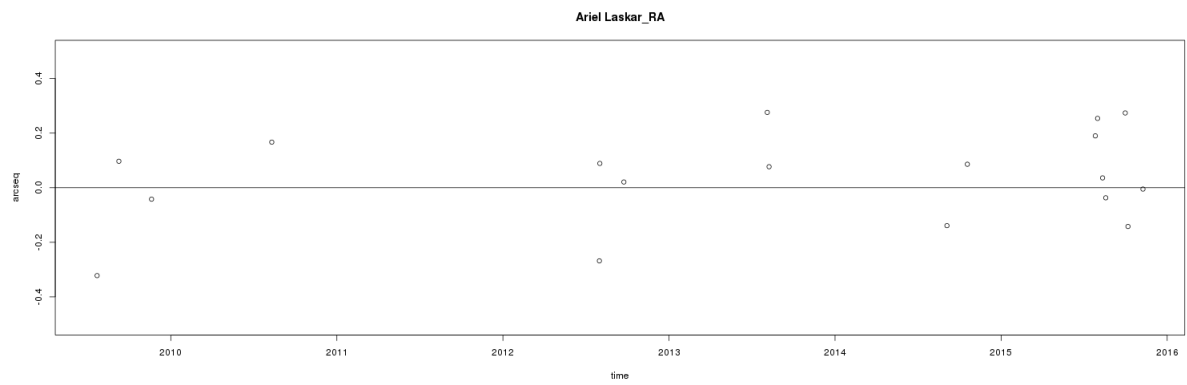
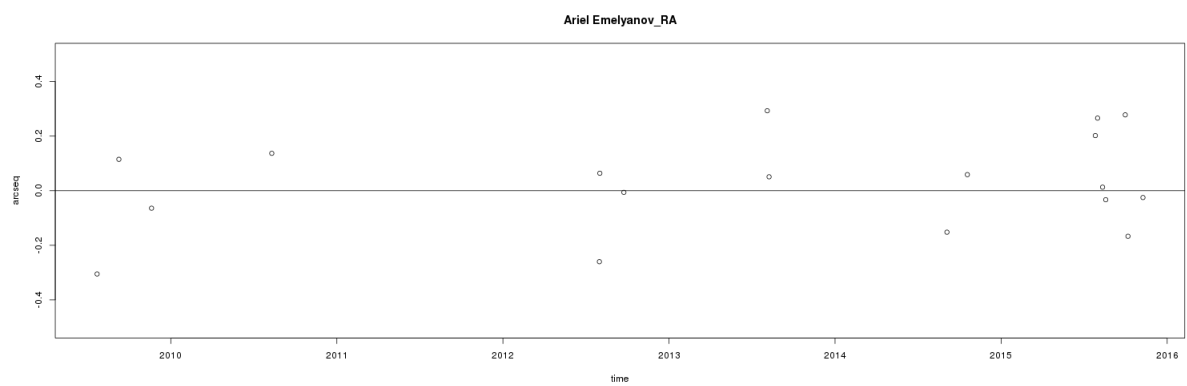
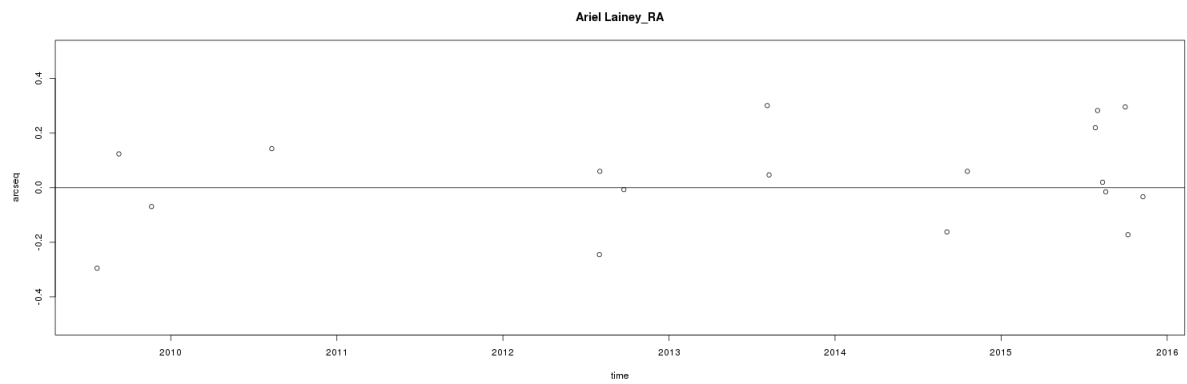
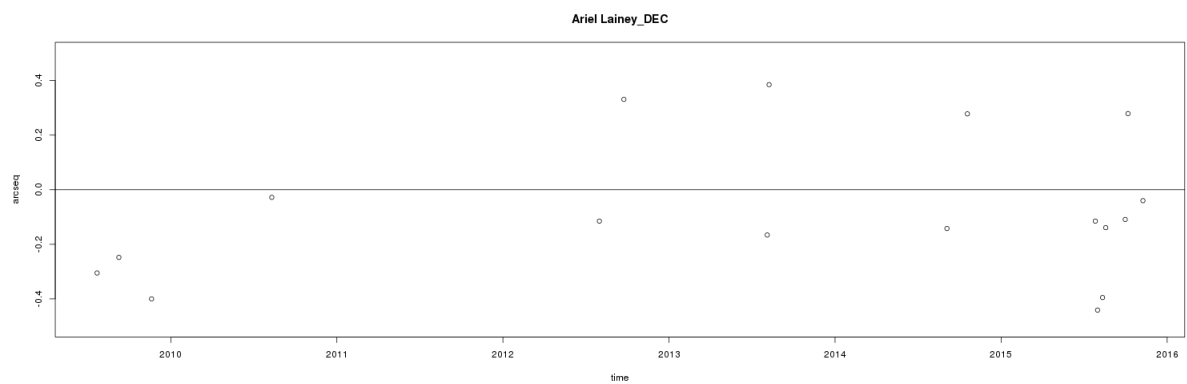


Рис. 2: О-С Ариэль, прямое восхождение



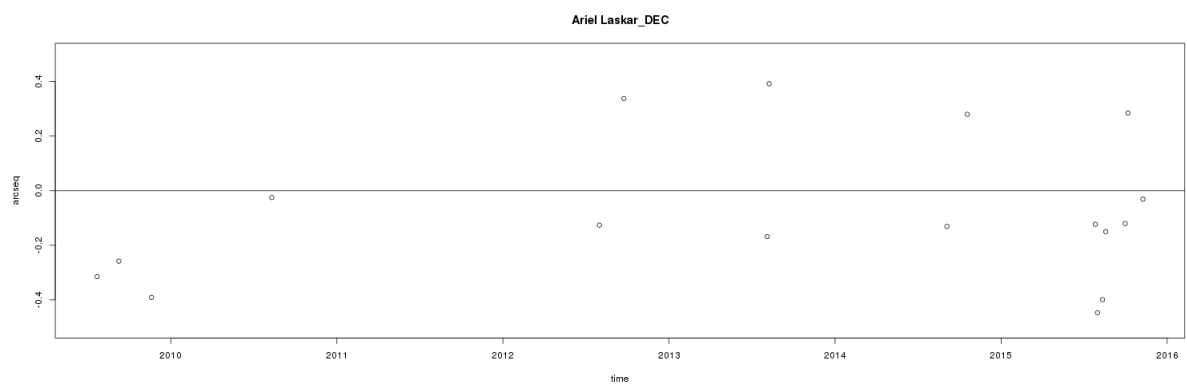
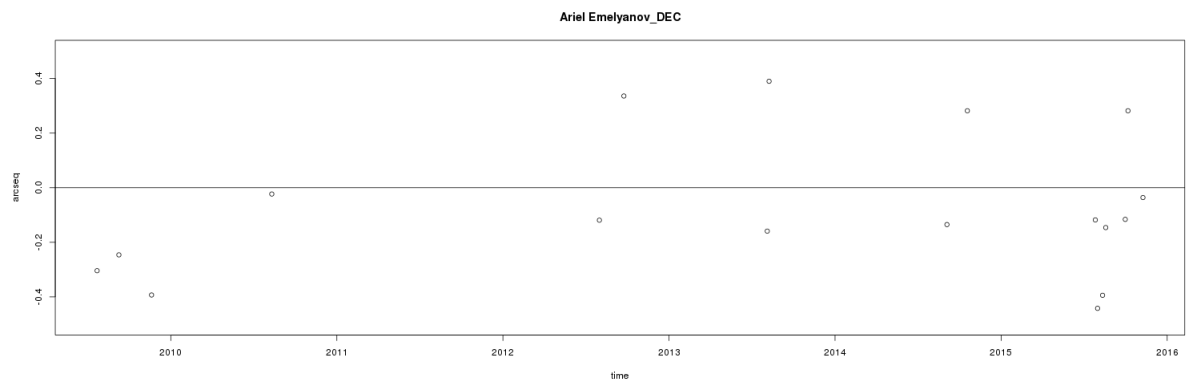
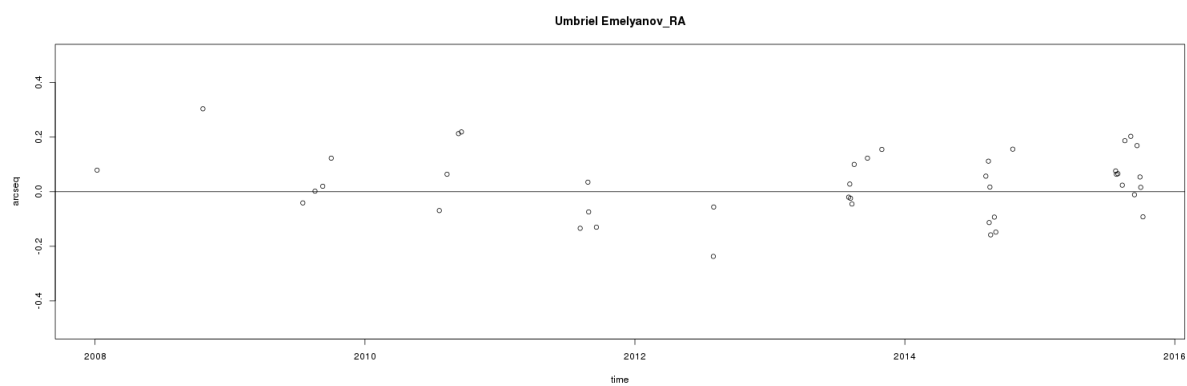
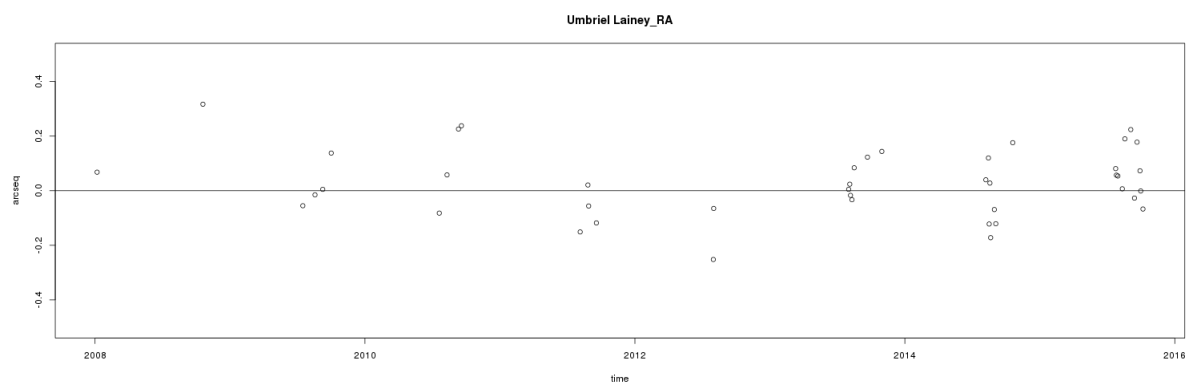


Рис. 3: О-С Ариэль, склонение



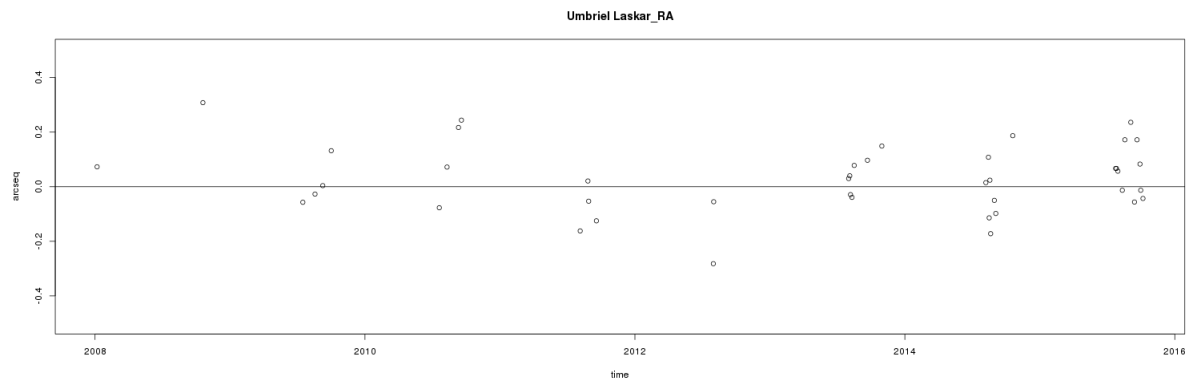


Рис. 4: О-С Умбриэль, прямое восхождение

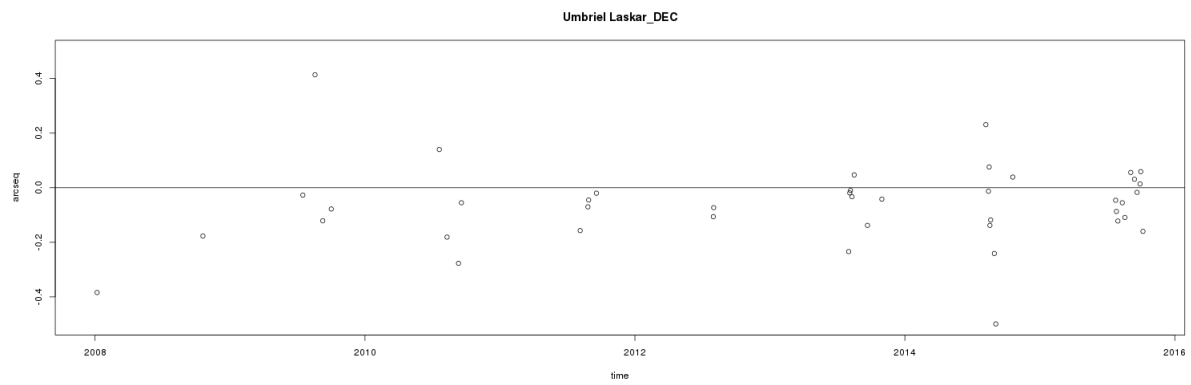
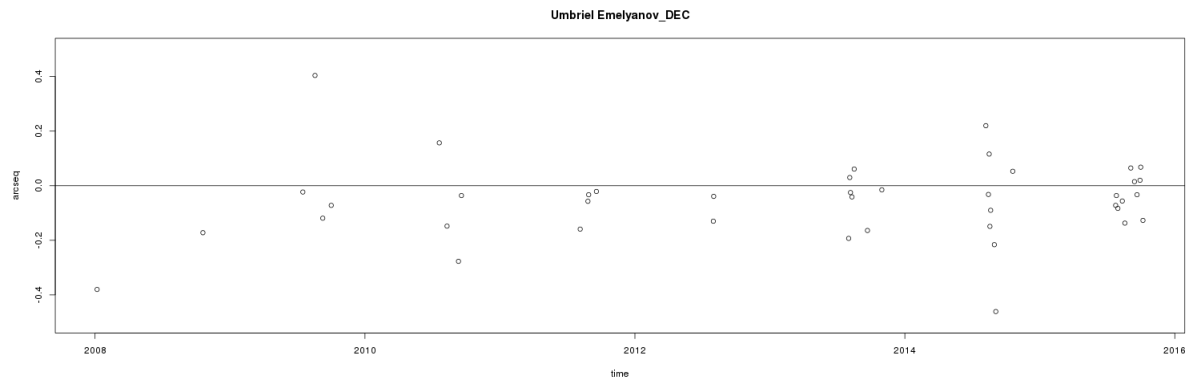
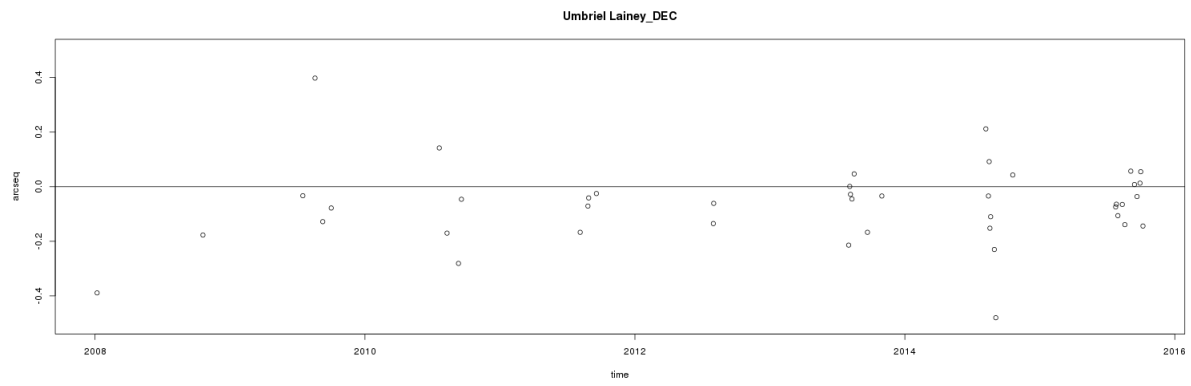


Рис. 5: О-С Умбриэль, склонение

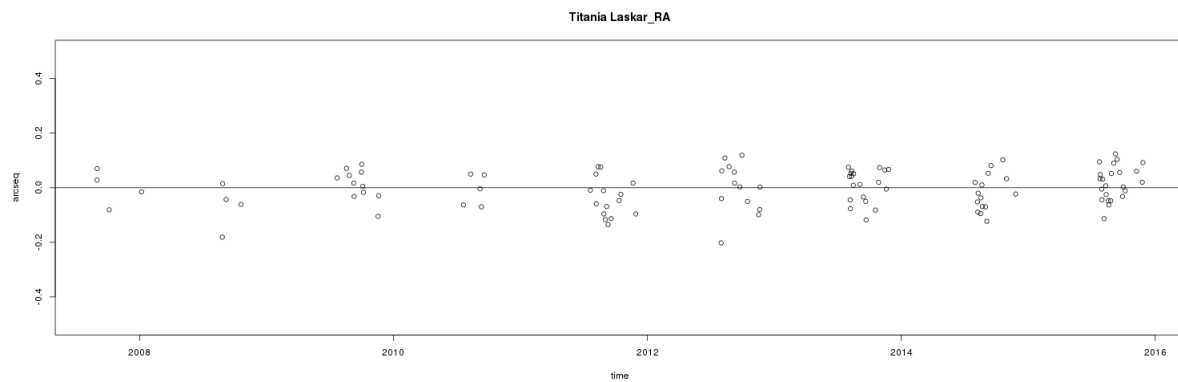
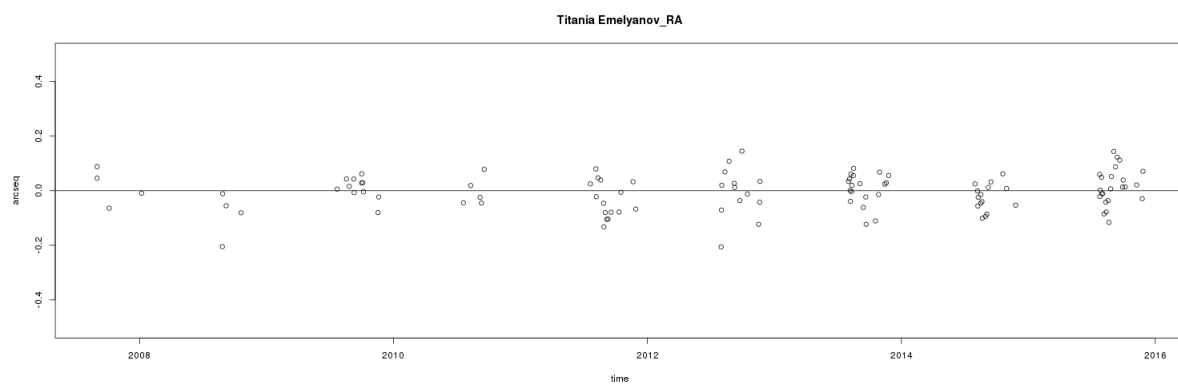
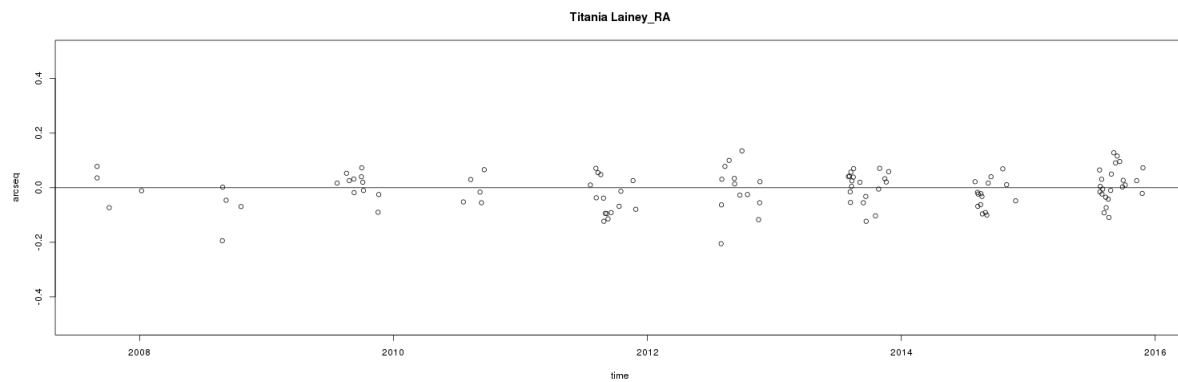
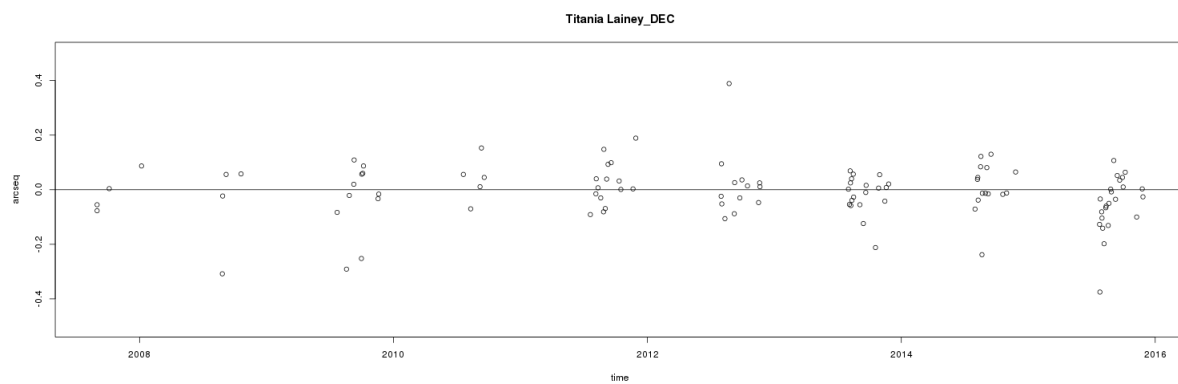


Рис. 6: О-С Титания, прямое восхождение



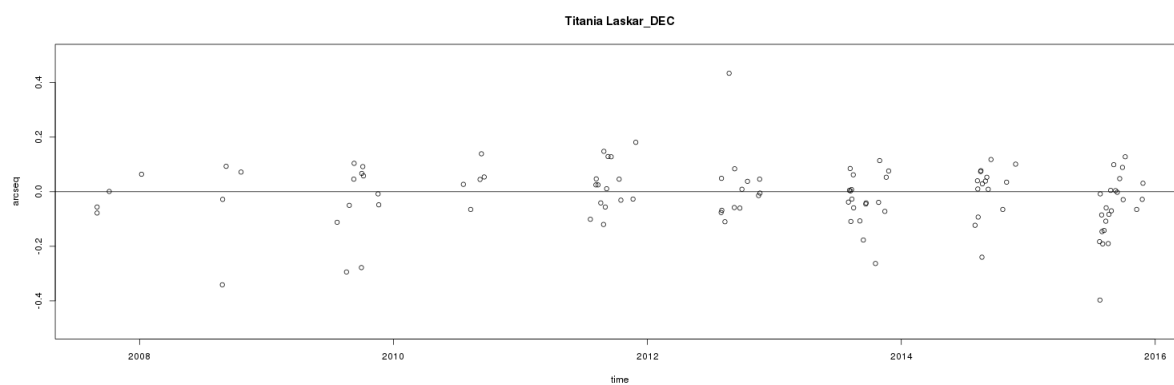
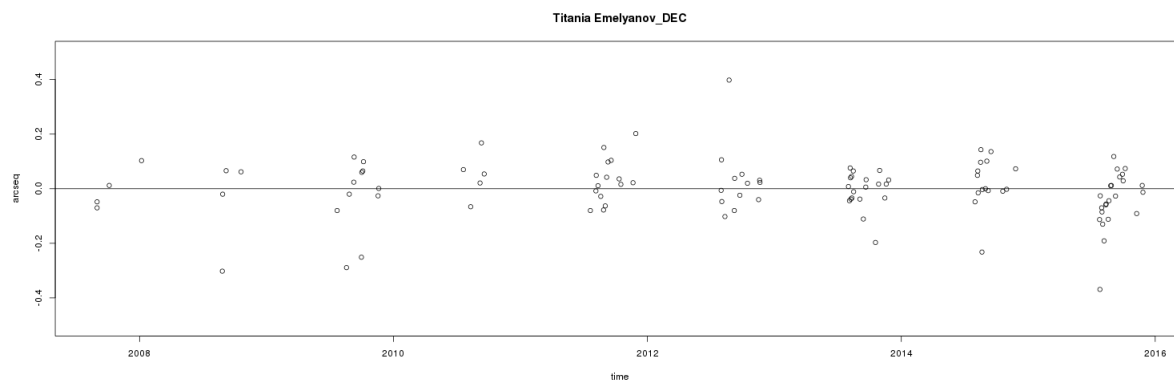


Рис. 7: О-С Титания, склонение