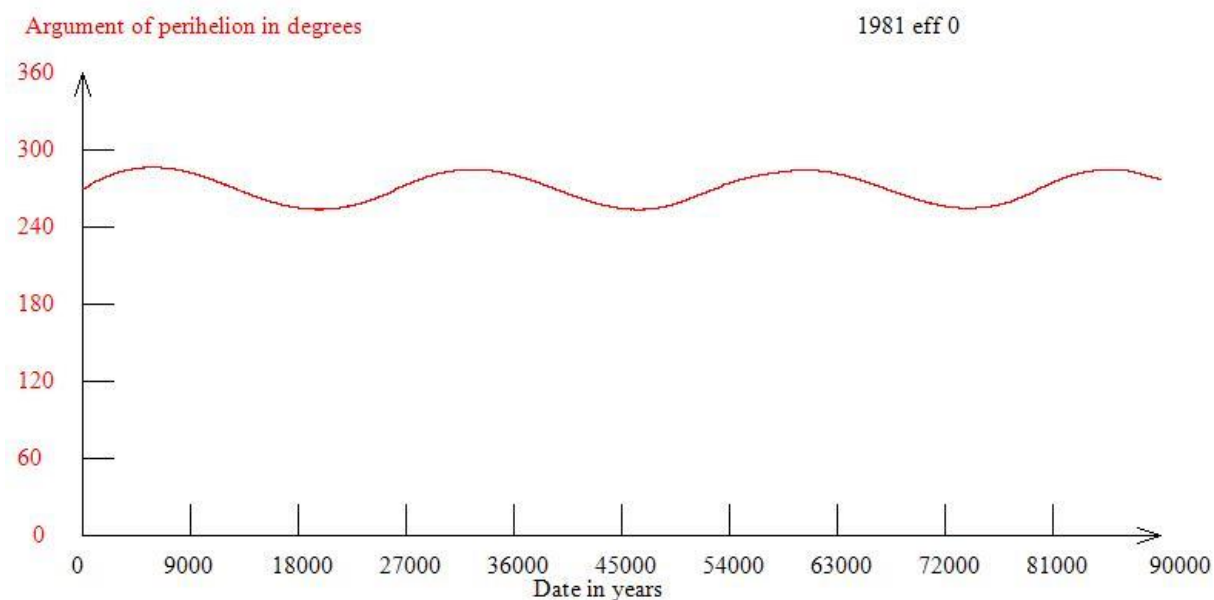
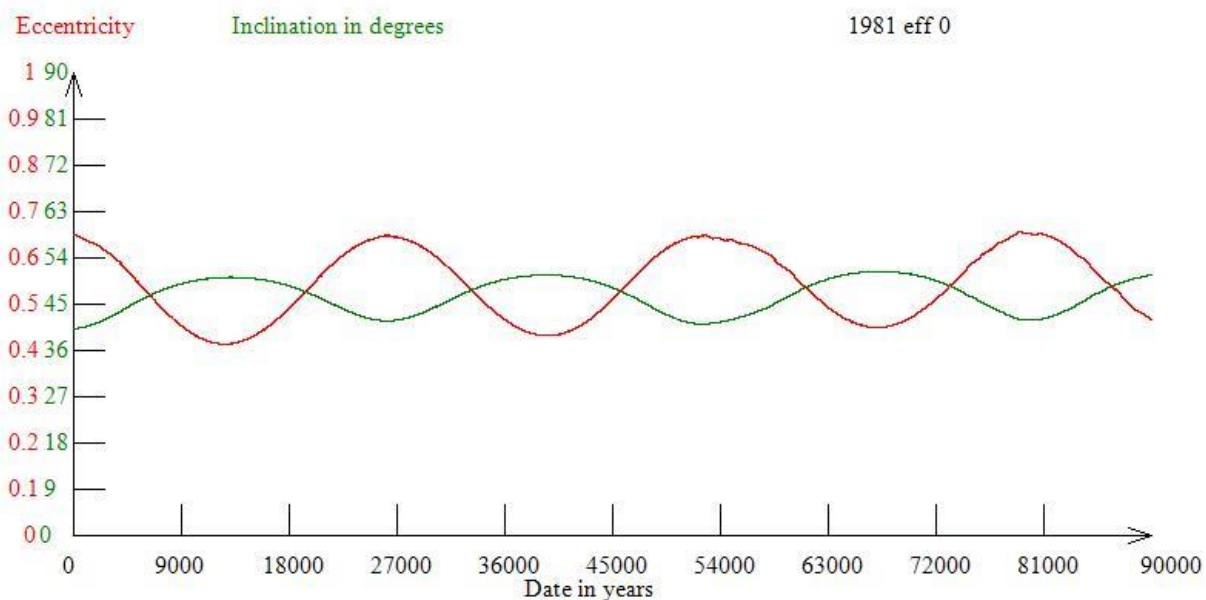


ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ АСТЕРОИДОВ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ЛИДОВА–КОЗАИ

СКРИПНИЧЕНКО П.В., КУЗНЕЦОВ Э.Д.
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Эффект Лидова-Козаи



$i > 39^\circ$, либрация аргумента перигелия – 90° или 270°

Lidov, M. L. (1962). The evolution of orbits of artificial satellites of planets under the action of gravitational perturbations of external bodies. Planet. Space Sci., 9, 719-759.

Параметры выбора объектов

Интегралы Лидова-Козаи

$$C1 = (1 - e^2) \cos^2 i$$

$$C2 = e^2 \left(\frac{2}{5} - \sin^2 i \sin^2 g \right)$$

Ограничения

$$C1 < 0.6$$

$$C2 < 0$$

Lidov, M. L. (1962). The evolution of orbits of artificial satellites of planets under the action of gravitational perturbations of external bodies. Planet. Space Sci., 9, 719-759.

Shevchenko, I. I. (2017). The Lidov-Kozai Effect: Applications in Exoplanet Research and Dynamical Astronomy volume 441 of Astrophysics and Space Science Library.

Нумерованные объекты и объекты, наблюдавшиеся в нескольких оппозициях.

Каталог AstDyS. Эпоха MJD58000 (04.09.2017)

Условия вычислений

ПО: программа Orbit9 комплекса OrbFit

Интегратор: Метод Эверхарта RADAU15

Разрядная сетка: 64

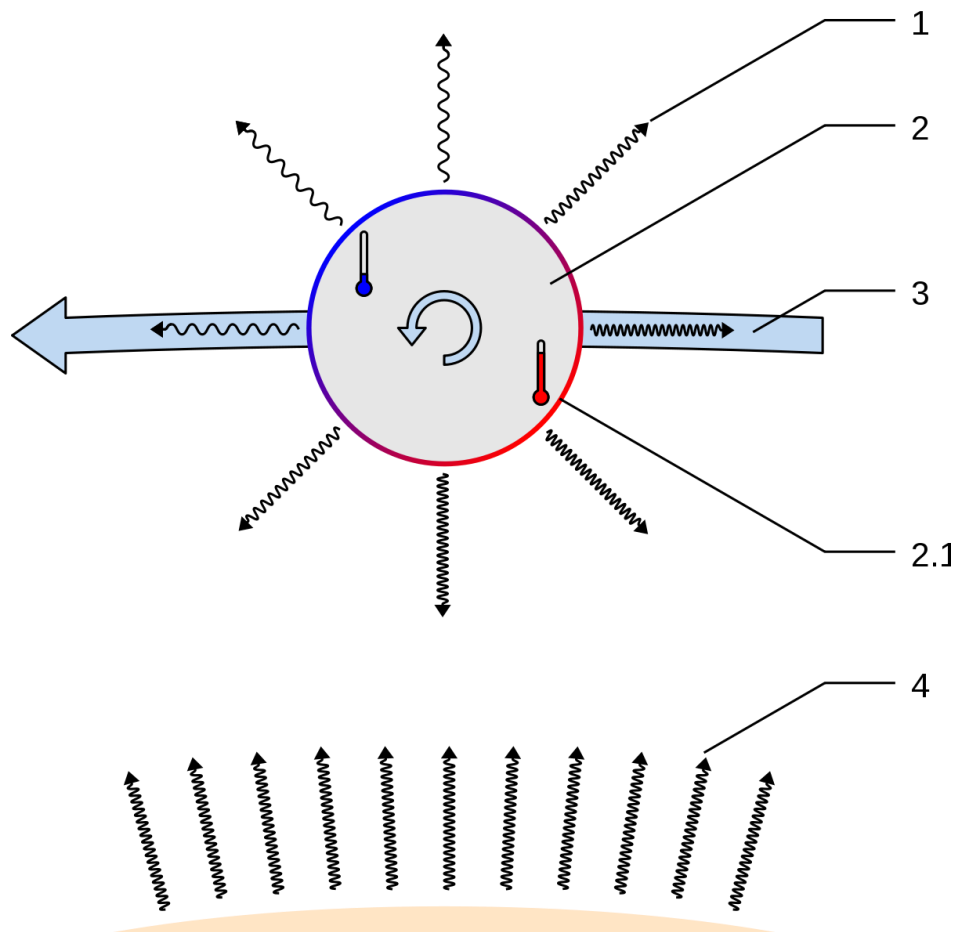
Порядок округления (тип переменных): real 8

Модель сил: 8 больших планет, Плутон, релятивистские эффекты, сжатие Солнца, эффект Ярковского

Координаты планет: совместное интегрирование. Начальные условия для планет из фонда DE431.

Интервал: 90000 лет. Интервал выдачи: 3 года.

Эффект Ярковского



1. Тепловое излучение астероида
2. Вращение астероида
- 2.1 Поверхность, освещаемая днём
3. Вектор реактивного импульса
4. Тепловое излучение Солнца

Дрейф большой полуоси

- 1) $\Delta = 0$ *a.e. / млн.лет*
- 2) $\Delta = 1 * 10^{-5}$ *a.e. / млн.лет*
- 3) $\Delta = 1 * 10^{-4}$ *a.e. / млн.лет*
- 4) $\Delta = 1 * 10^{-3}$ *a.e. / млн.лет*
- 5) $\Delta = -1 * 10^{-5}$ *a.e. / млн.лет*
- 6) $\Delta = -1 * 10^{-4}$ *a.e. / млн.лет*
- 7) $\Delta = -1 * 10^{-3}$ *a.e. / млн.лет*

Статистика объектов

Всего объектов - 161

Периодическое изменение соотношения эксцентриситета и наклона:

1). Явно выражено – 111 2). Слабо выражено – 22 3). Не выражено – 28

Интегралы Лидова-Козаи

$$C1 = (1 - e^2) \cos^2 i$$

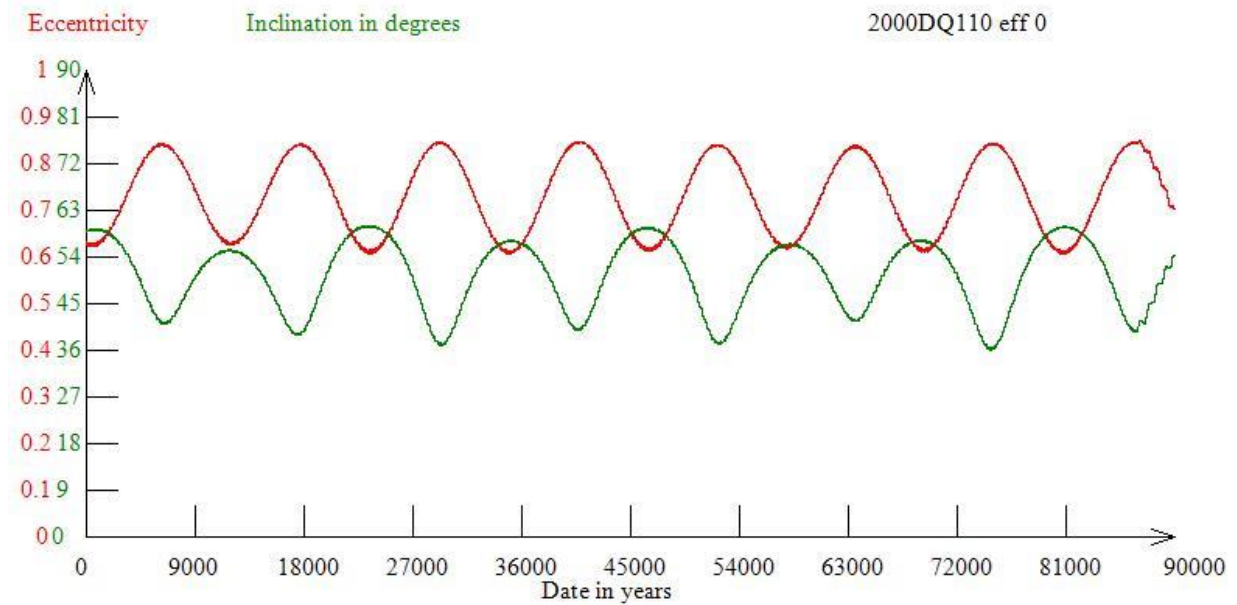
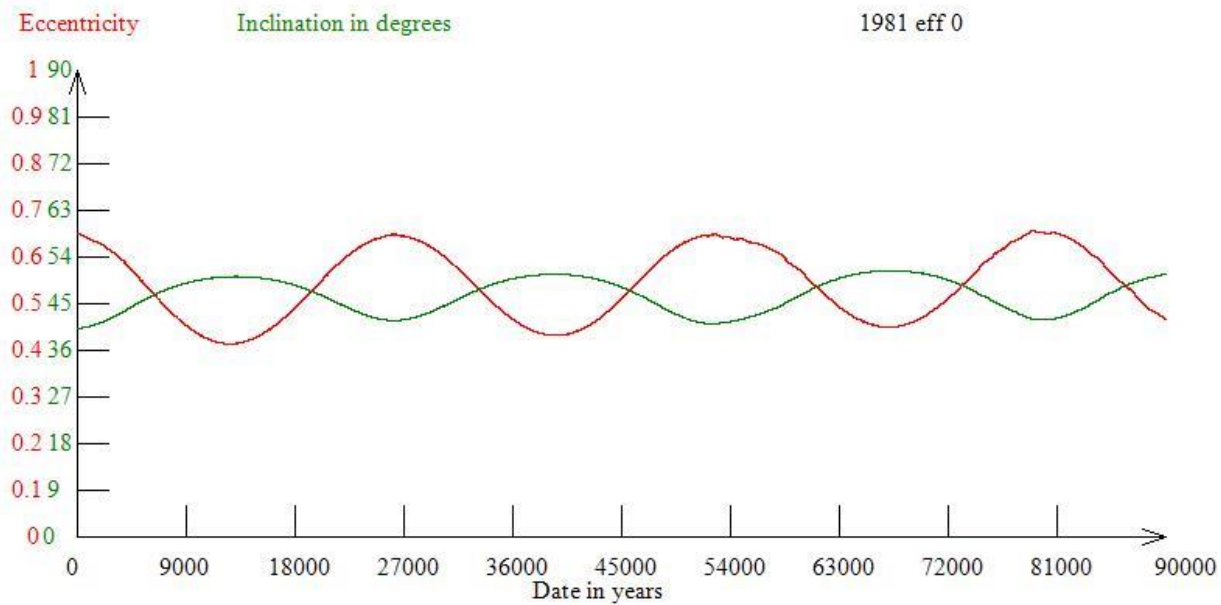
$$C2 = e^2 \left(\frac{2}{5} - \sin^2 i \sin^2 g \right)$$

Ограничения

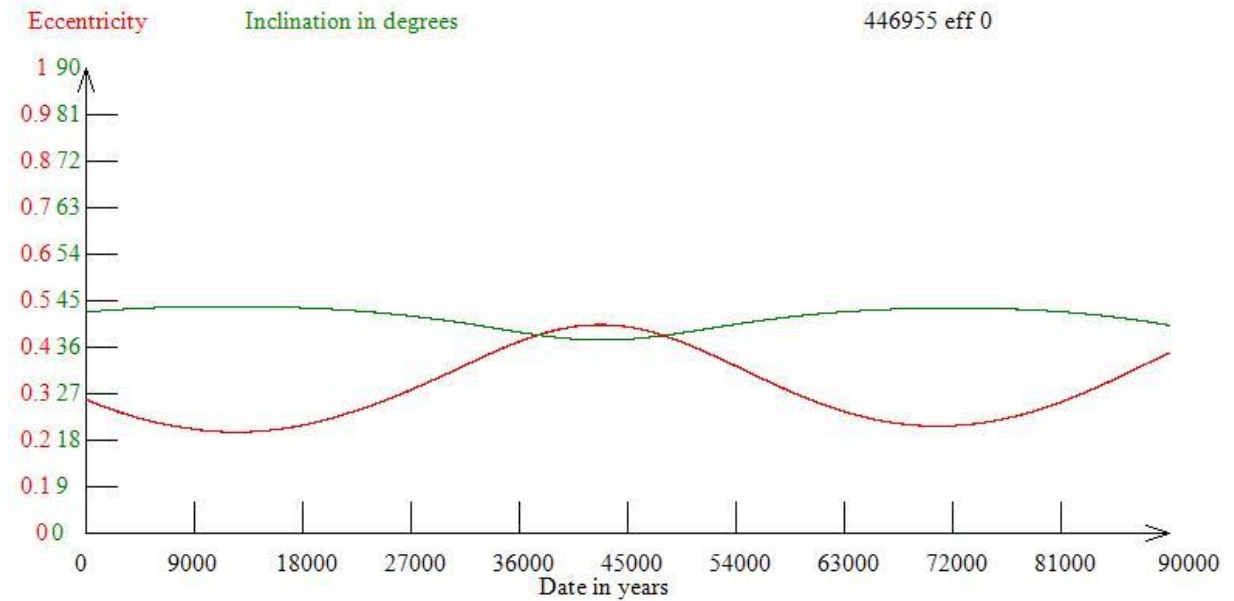
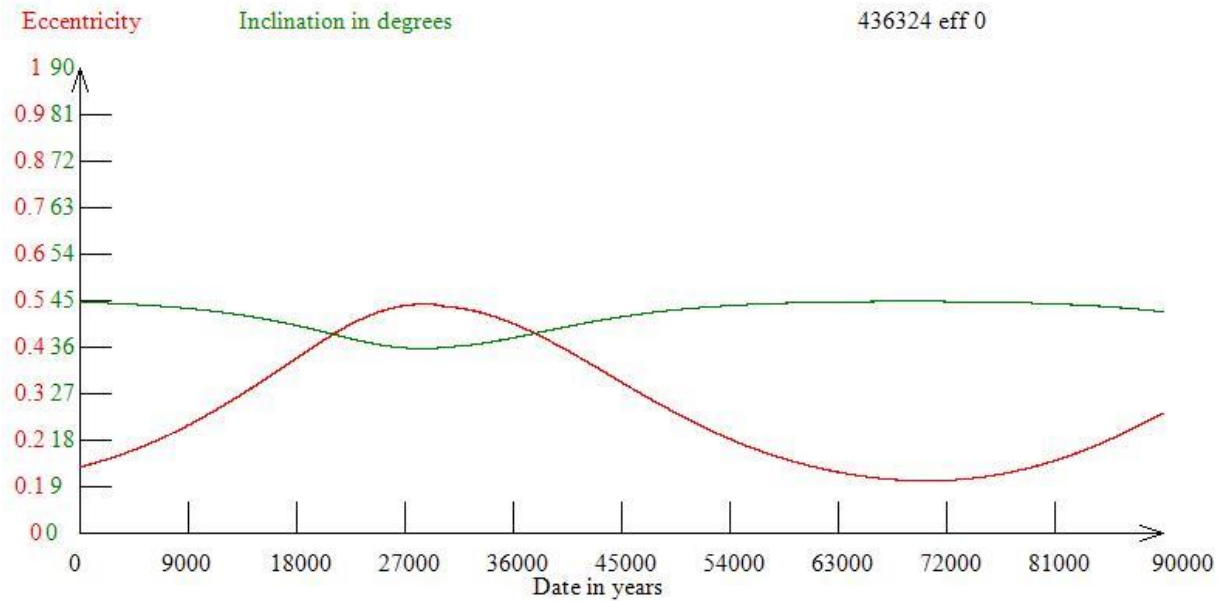
$$C1 < 0.6$$

$$C2 < 0$$

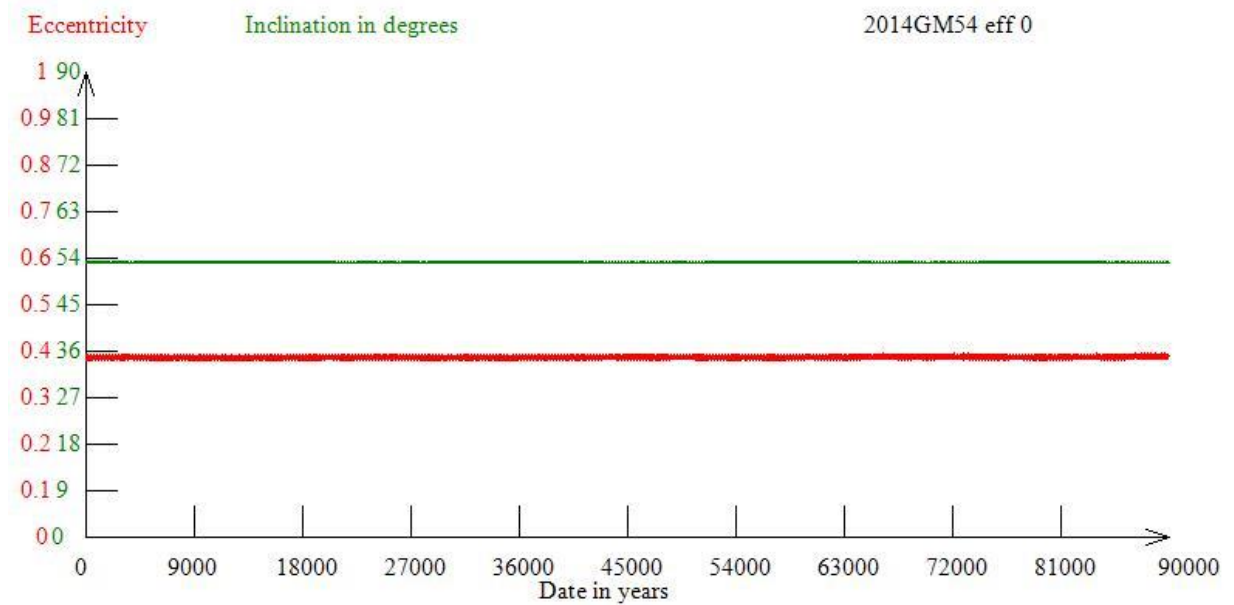
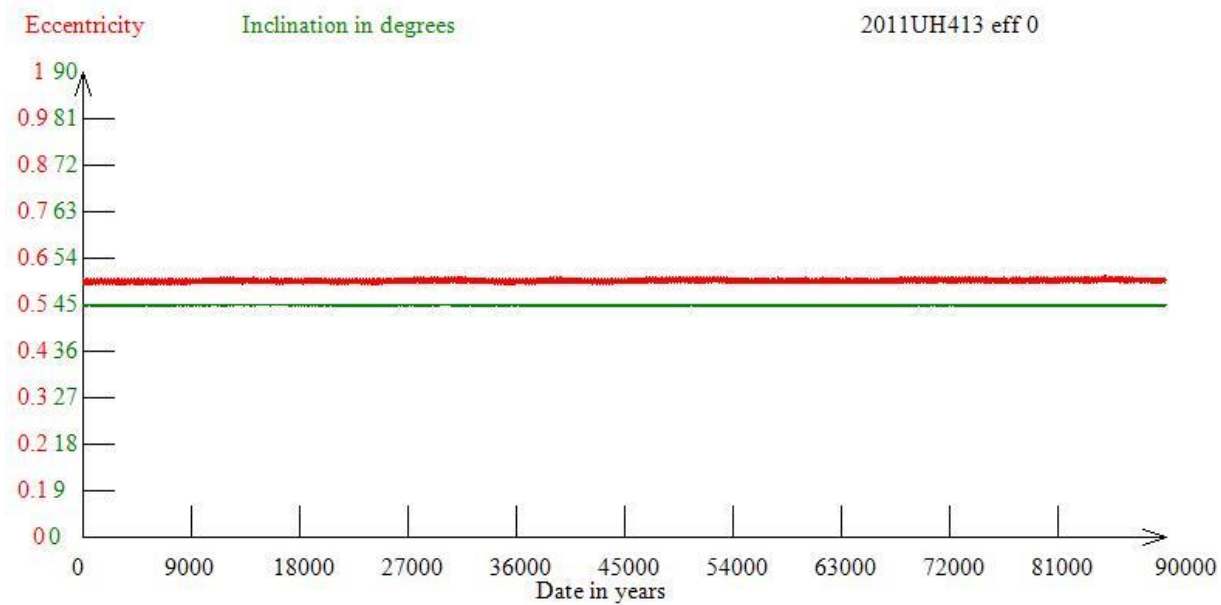
Пример 1. Явно выражено



Пример 2. Слабо выражено



Пример 3. Не выражено



Статистика объектов

Всего объектов - 161

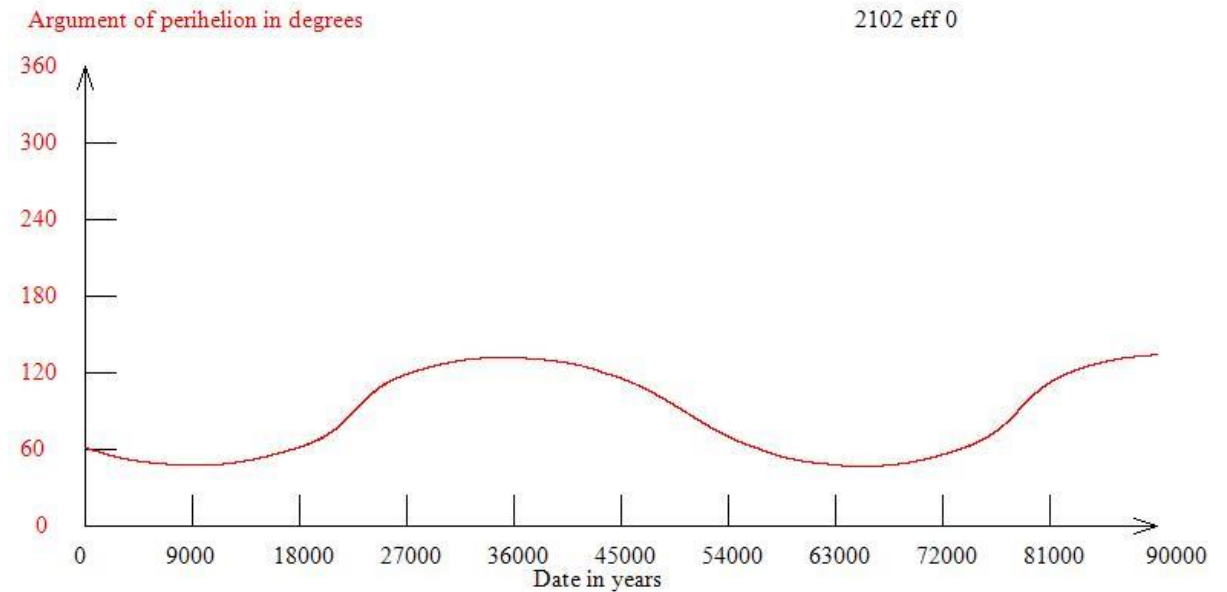
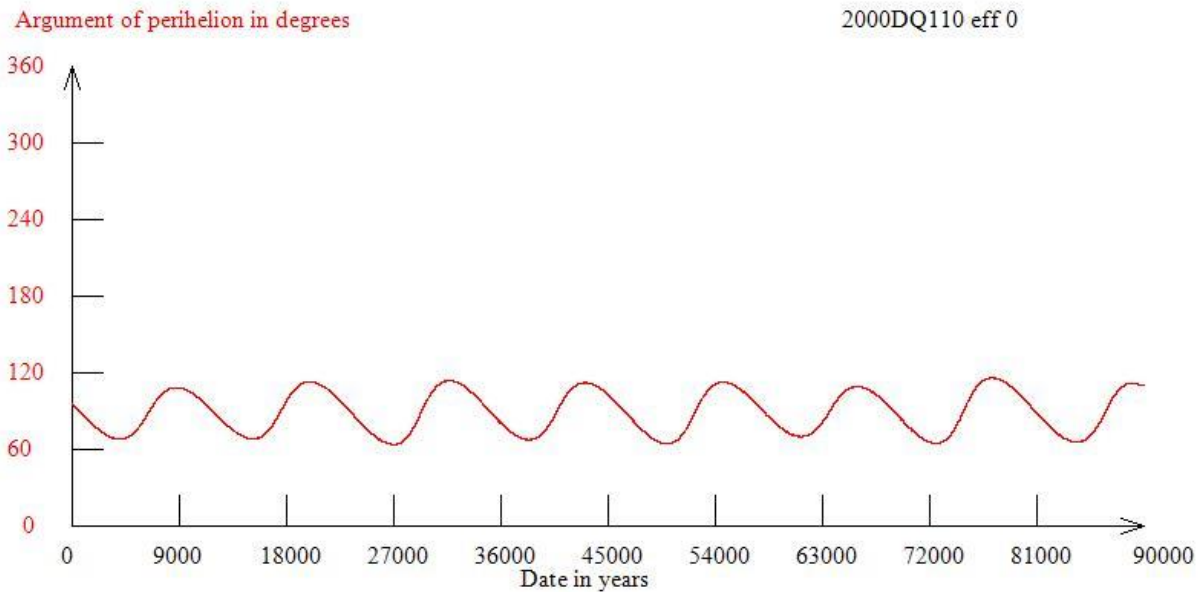
Периодическое изменение соотношения эксцентриситета и наклона:

1). Явно выражено – 111 2). Слабо выражено – 22 3). Не выражено – 28

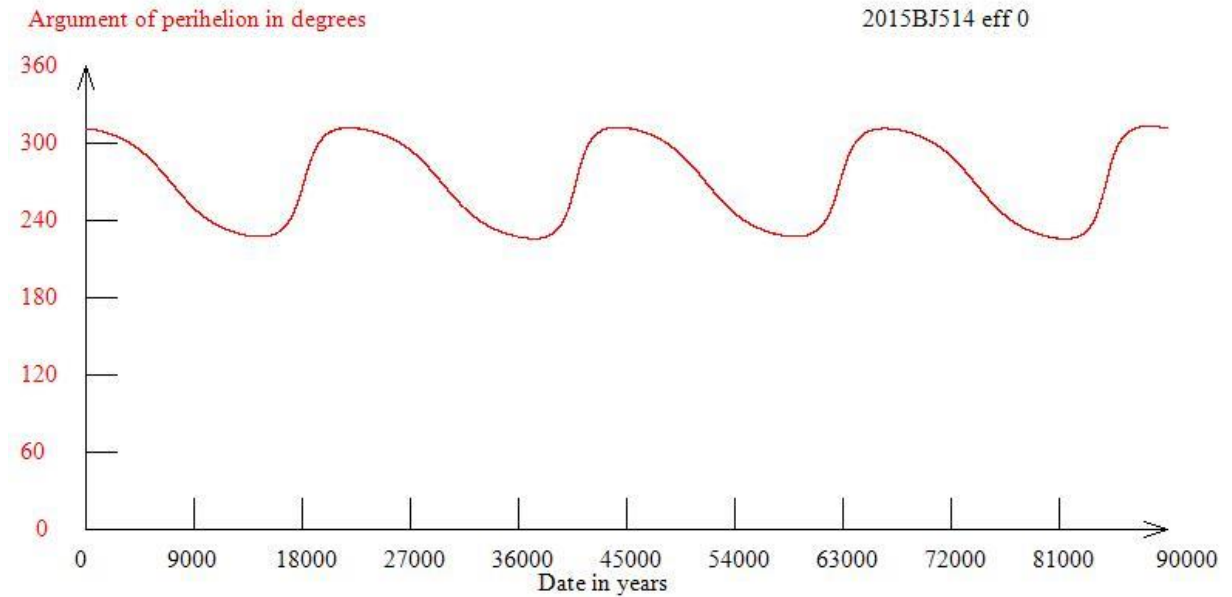
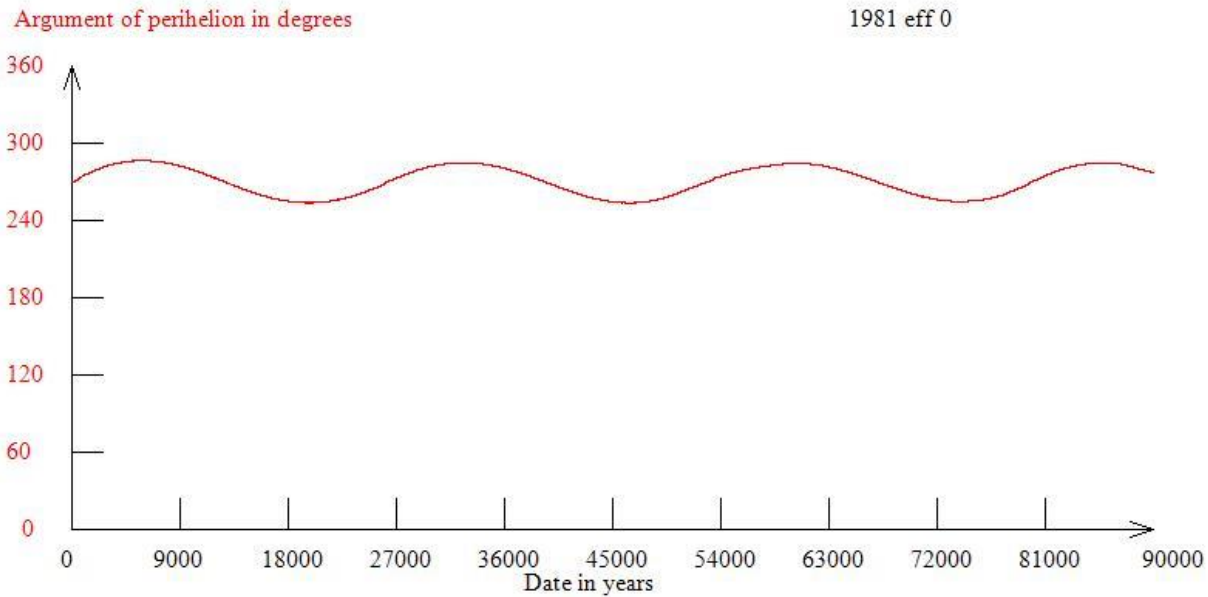
Либрации аргумента перигелия

1). Вблизи 90° – 56 2). Вблизи 270° – 66 3). Без либрации – 39

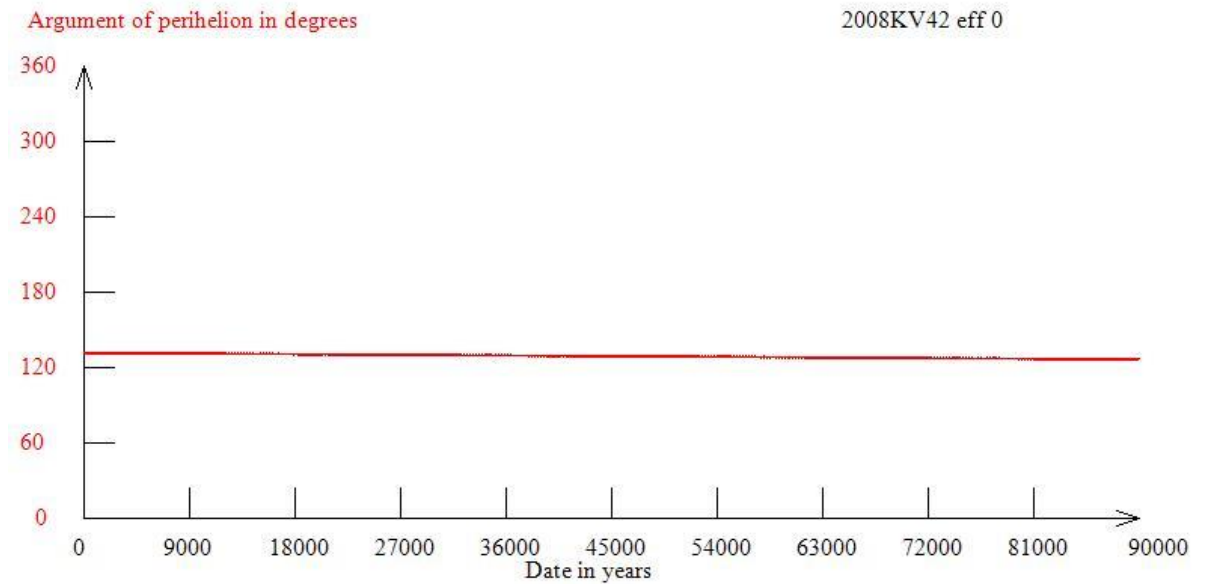
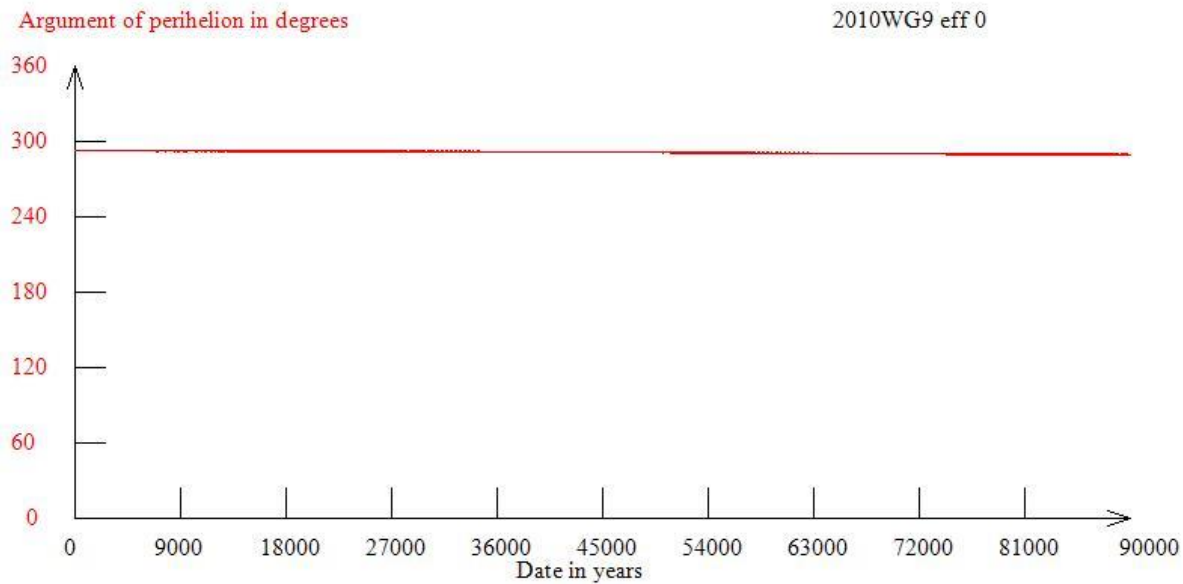
Пример 4. Либрация вблизи 90°



Пример 5. Либрация вблизи 270°



Пример 6. Без либрации



Статистика объектов

Всего объектов - 161

Периодическое изменение соотношения эксцентриситета и наклона:

1). Явно выражено – 111 2). Слабо выражено – 22 3). Не выражено – 28

Либрации аргумента перигея

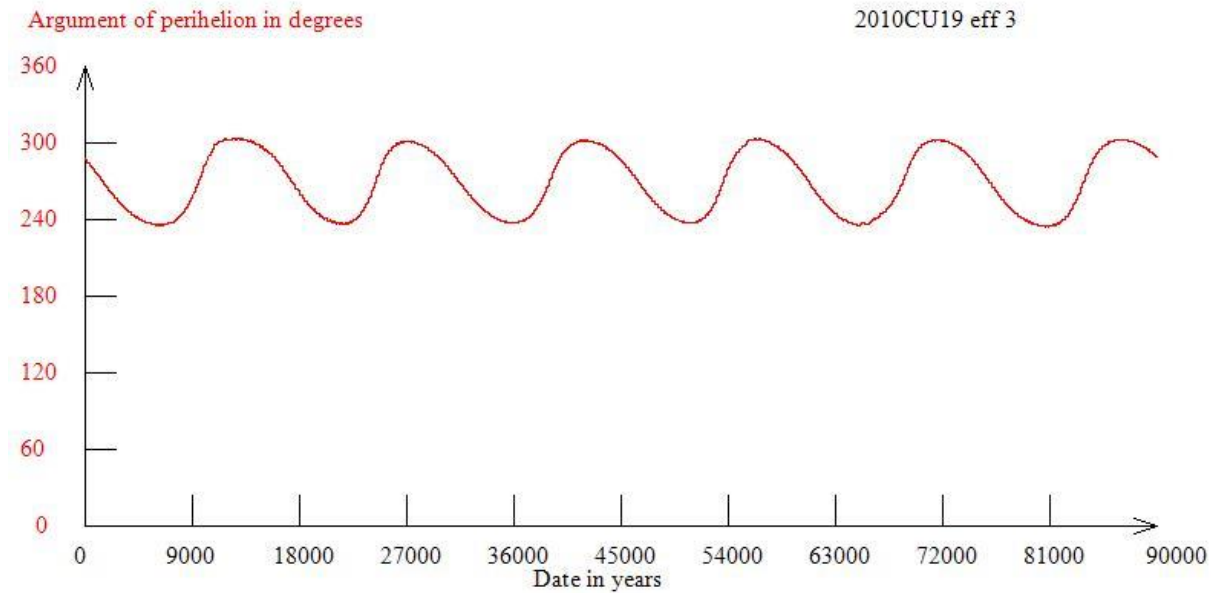
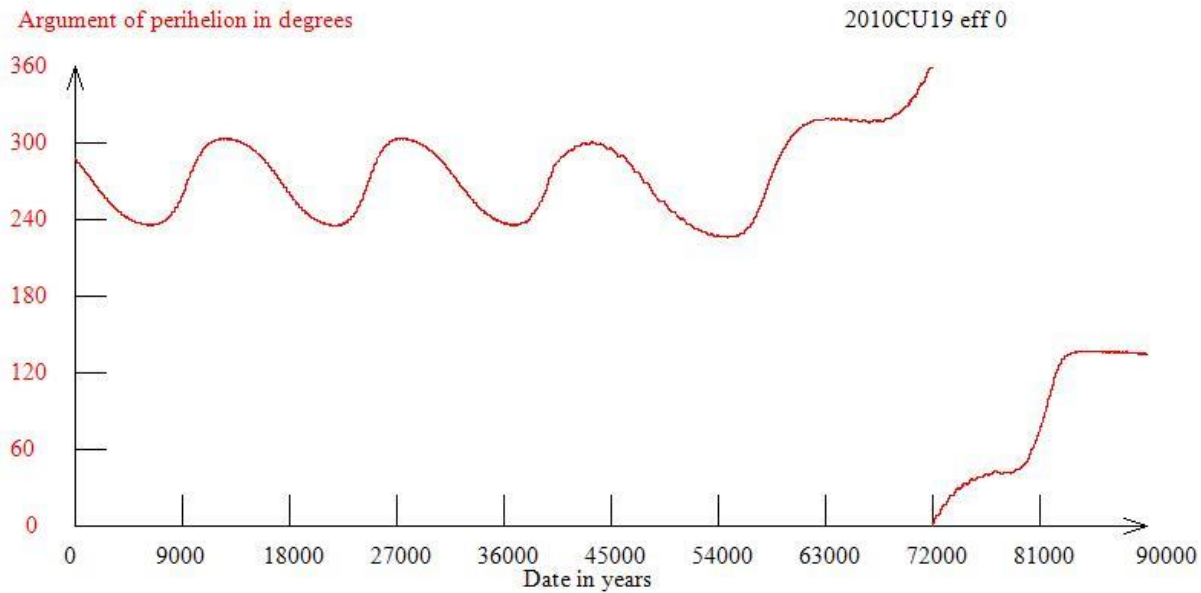
1). Вблизи 90° – 56 2). Вблизи 270° – 66 3). Без либрации – 39

Поведение C1 и C2:

1) Постоянны или либрируют – 138 2) Изменяются – 23

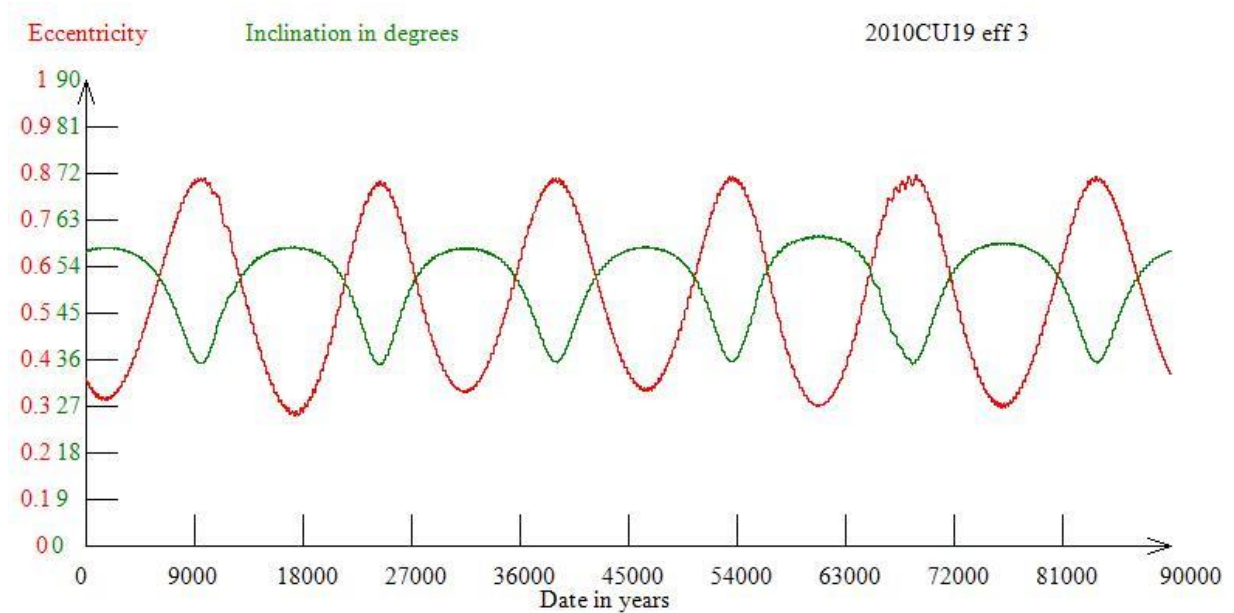
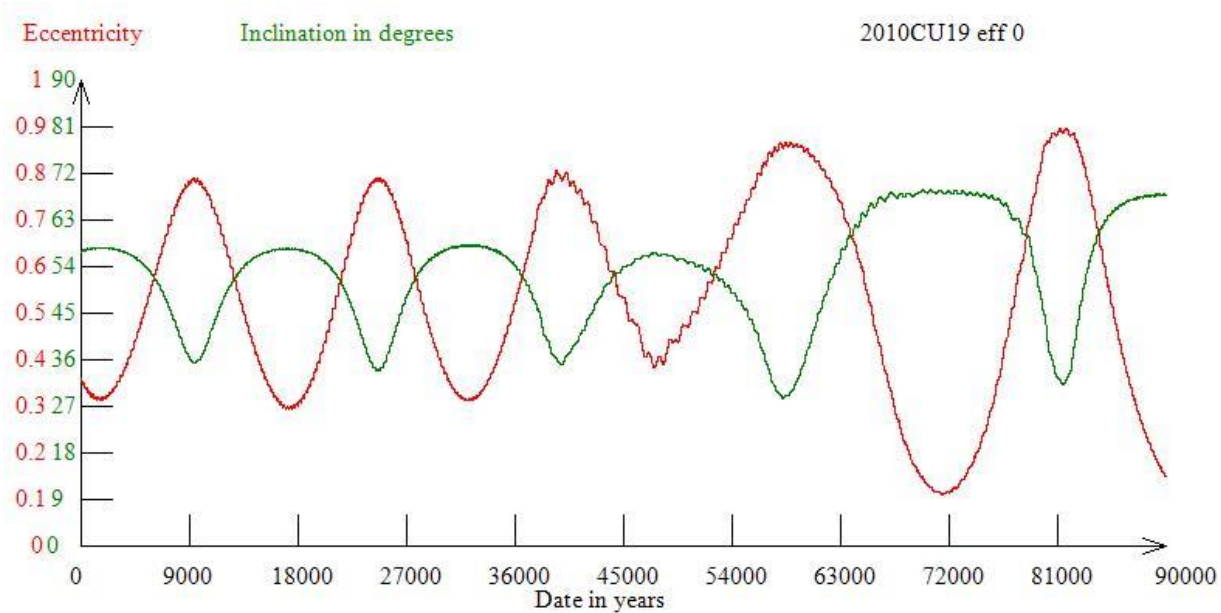
Всего в резонансе Лидова-Козаи - 122

Пример 7. Влияние эффекта Ярковского



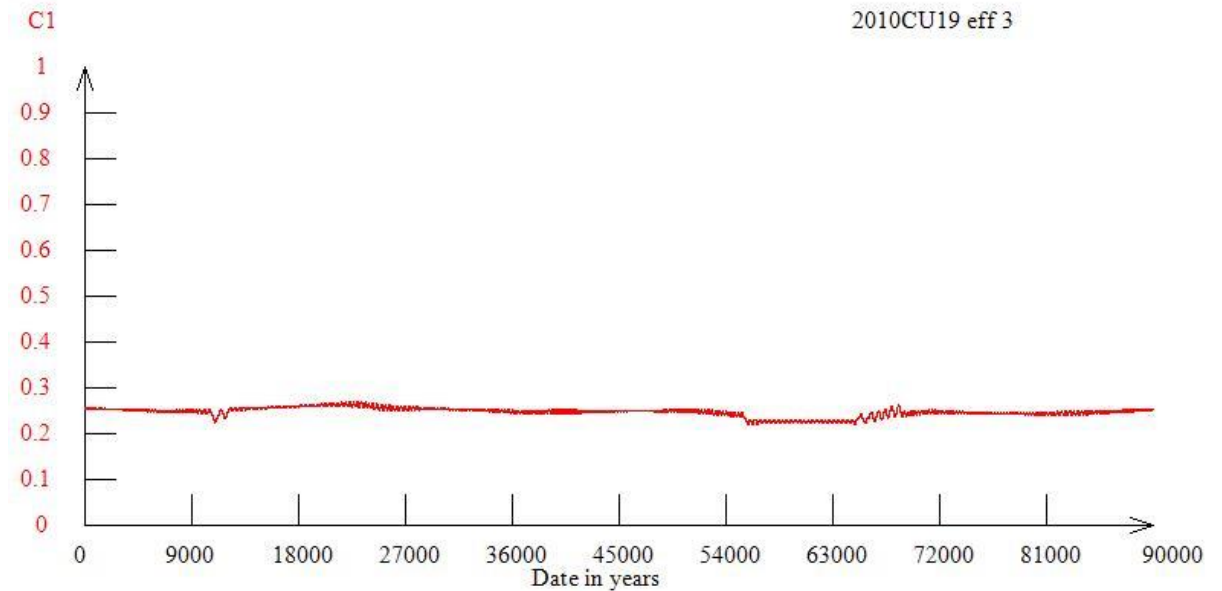
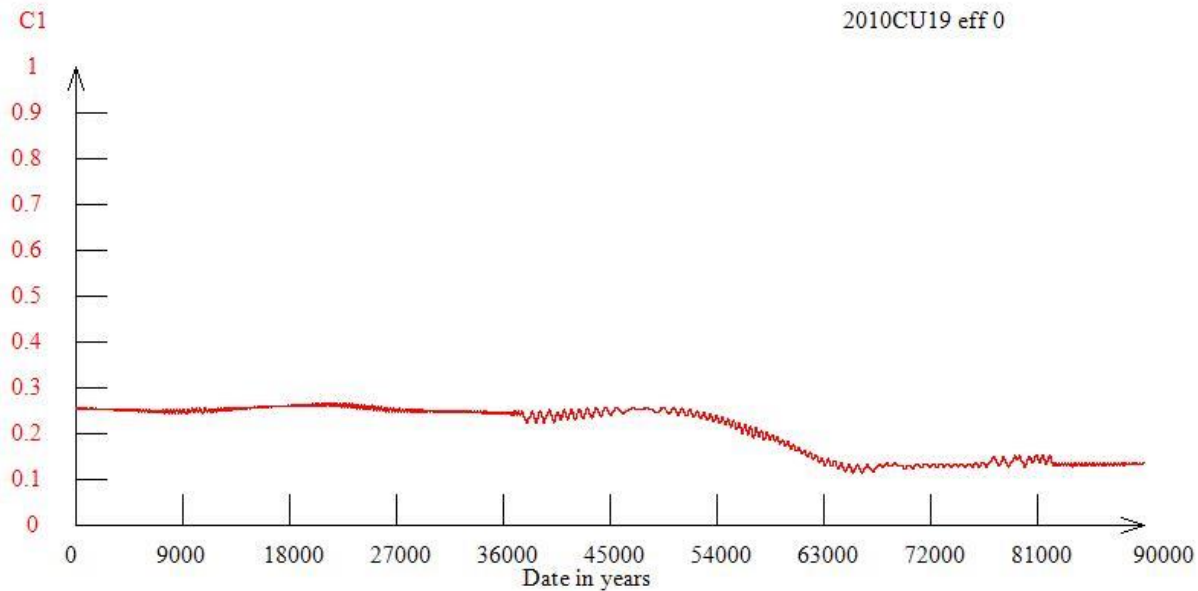
С учетом эффекта Ярковского – $1 \cdot 10^{-4}$ а.е./млн лет

Пример 7. Влияние эффекта Ярковского



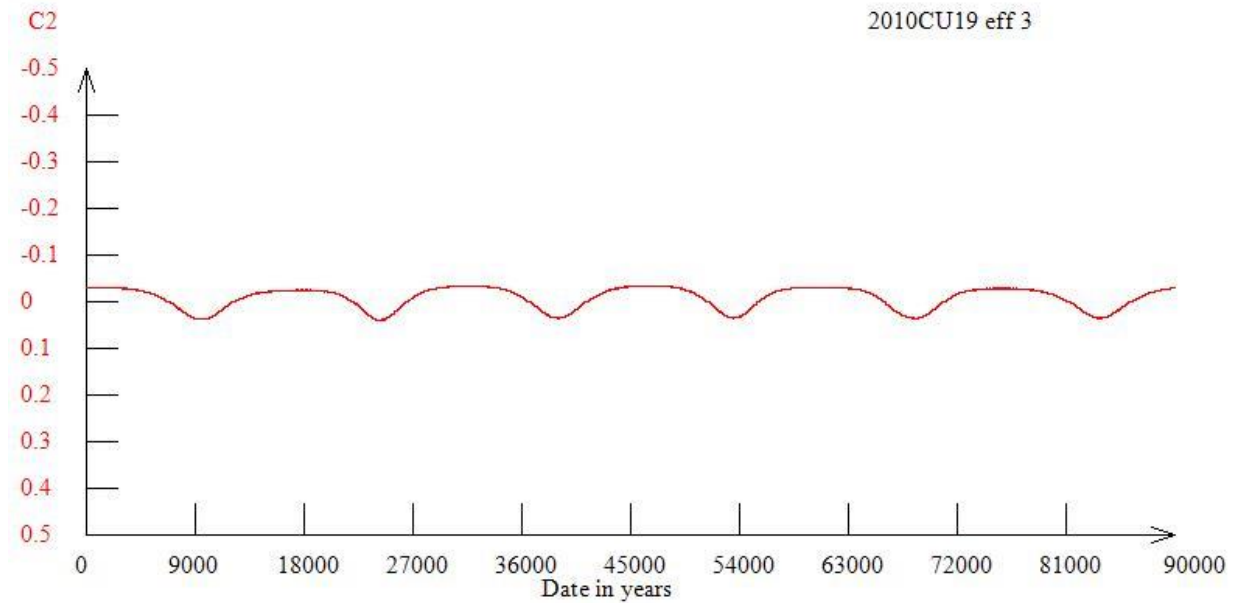
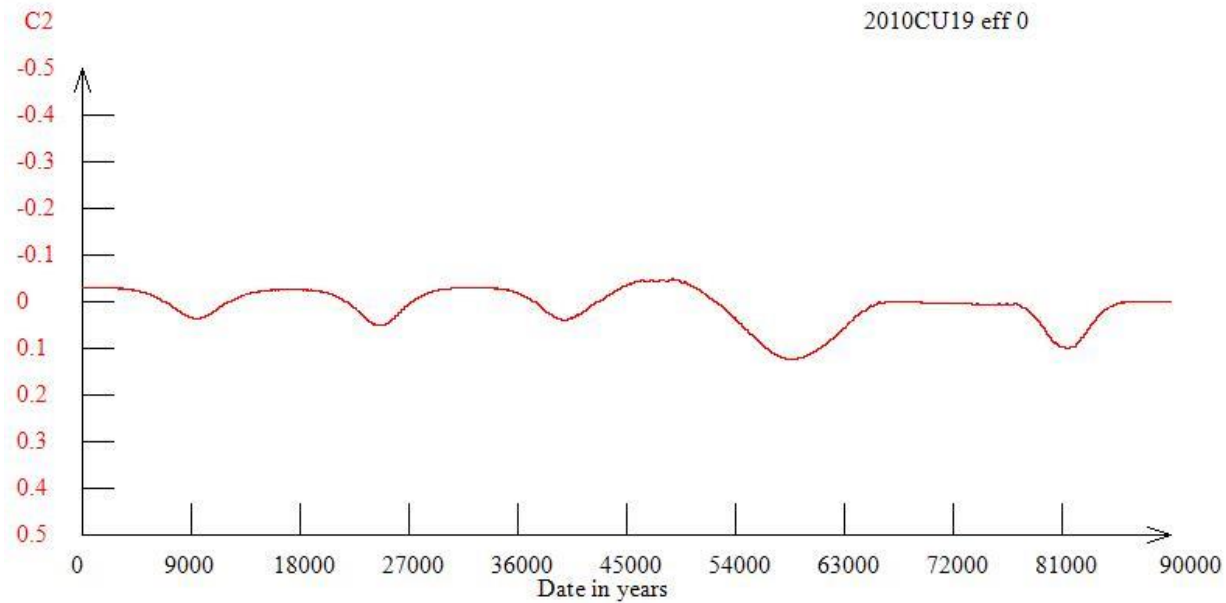
С учетом эффекта Ярковского – $1 \cdot 10^{-4}$ а.е./млн лет

Пример 7. Влияние эффекта Ярковского

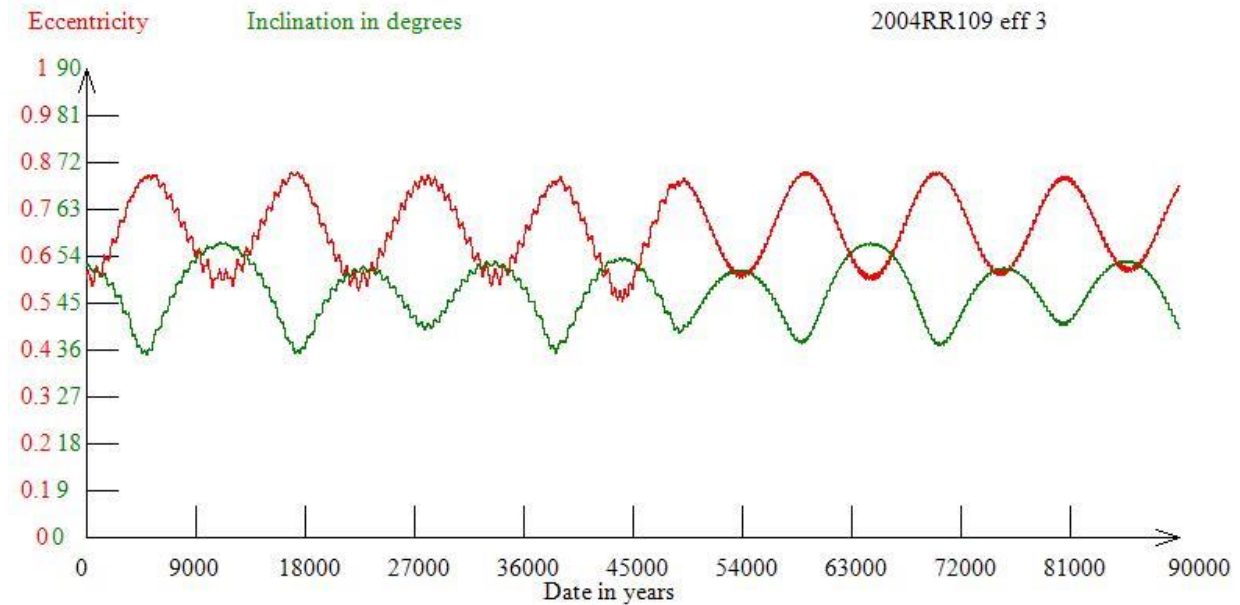
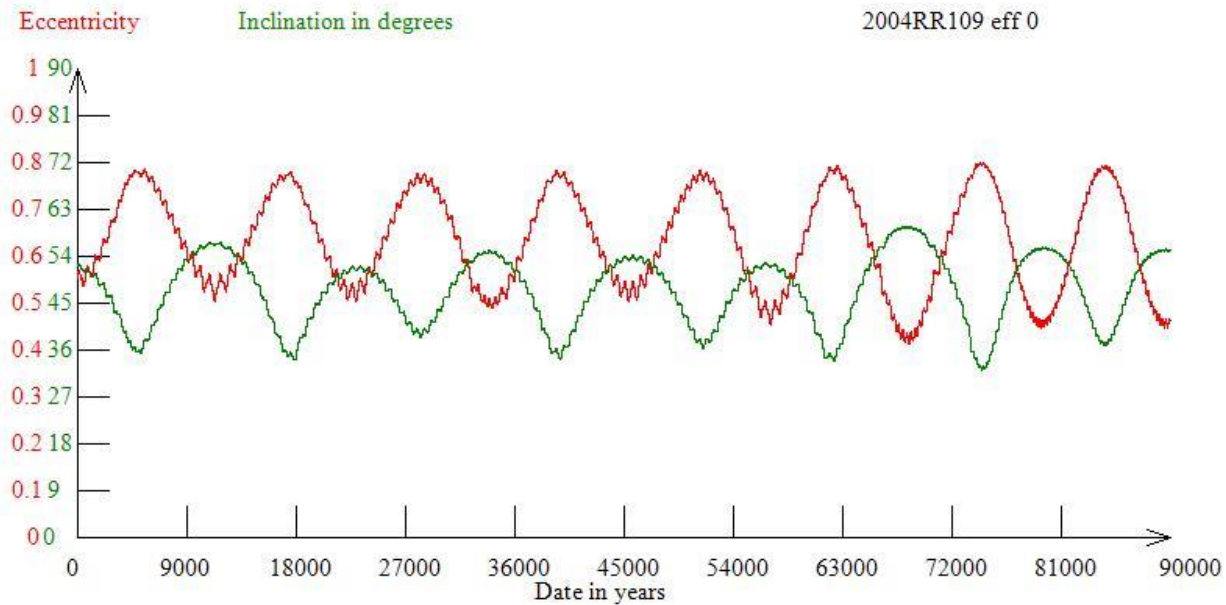


С учетом эффекта Ярковского – $1 \cdot 10^{-4}$ а.е./млн лет

Пример 7. Влияние эффекта Ярковского



Пример 8. Коротко-периодические колебания



Выводы

1. Для выявления объектов с $a > 5$ а.е. , испытывающих влияние эффекта Лидова-Козаи, требуется более длительный интервал интегрирования.
2. Для некоторых объектов высокая скорость дрейфа большой полуоси ($|da/dt| = 10^{-3}$ а.е./млн. лет)) приводит к изменению амплитуды коротко-периодических колебаний элементов орбит.
3. Моменты времени, соответствующие максимальным и минимальным значениям наклона и эксцентриситета, синхронно смещаются относительно моментов, получаемых для варианта без учета эффекта Ярковского, в прошлое или будущее.
4. Исследована долгопериодическая эволюция 161 объекта, предположительно 121 объект испытывает влияние эффекта Лидова-Козаи на всем рассмотренном интервале интегрирования.
5. Объект 2010 CU19 при интегрировании без учета эффекта Ярковского выходит из резонанса. При скорости дрейфа $da/dt = 10^{-3}$ а.е./млн. лет) – остается в резонансе на всем интервале интегрирования.

Спасибо за внимание

!!!