

Исследования потенциально опасных астероидов

*Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Наумов К.Н.,
Иванов А.В., Петрова С.Н., Мартюшева А.А.,
Русов С.А., Львов В.Н., Цекмейстер С.Д.*

ГАО РАН



Комплексное исследование астероидов

Наблюдательные исследования и численное моделирование

Астрометрические положения →

Улучшение орбит

Построение орбит

(например, при базисных наблюдениях)

Моделирование орбитальной эволюции

назад и вперёд по времени

Прогнозирование сближений с планетами

Квазиспутники

Расчёт негравитационных эффектов

Световое давление

Эффект Ярковского

Фотометрические измерения →

Построение кривых блеска →

Определение периодов вращения

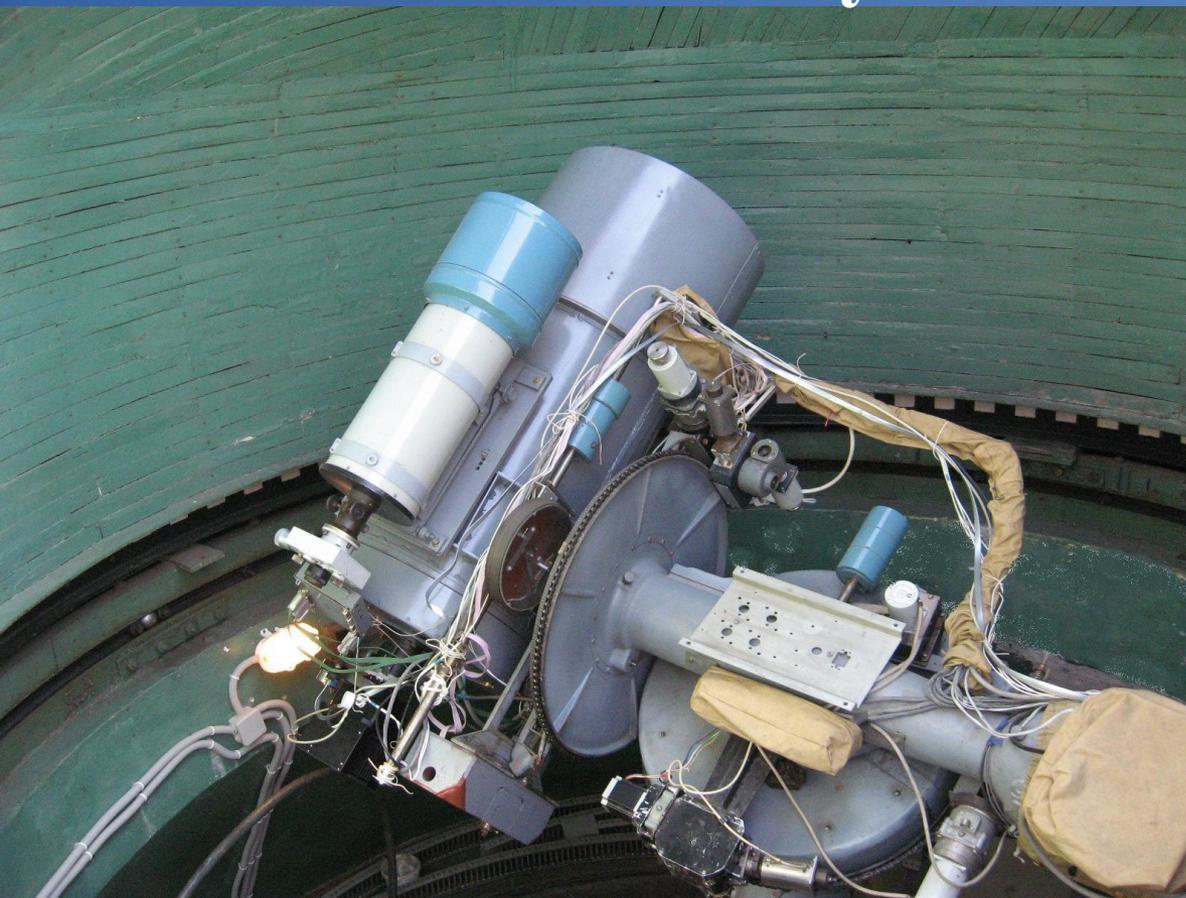
Наблюдения с широкополосными светофильтрами *BVRI* →

Определение показателей цвета →

Оценка принадлежности к таксономическим классам

Зеркальный астрограф ЗА-320М

Пулково



Система Кассегрена

$D = 320 \text{ mm}$
 $F = 3200 \text{ mm}$

ПЗС-камера
SBIG STX-16803
4096 × 4096 pix.
9 × 9 μm

FoV $\approx 39' \times 39'$

Светофильтры **BVRI**



Менисковый телескоп Д.Д.Максутова МТМ-500М

Горная астрономическая станция ГАО РАН ($h = 2100$ m)

Система Максутова – Кассегрена +
линзовый корректор

$D = 500$ mm
 $F = 4100$ mm

ПЗС-камера
SBIG STL 1001E
1024 × 1024 pix.
24 × 24 mm

FoV $\approx 21' \times 21'$



Светофильтры **BVR**I

АРЕХ-II

Автоматизированная система астрометрической и фотометрической обработки ПЗС-изображений
Пакет создан в ЛНА ГАО.

- Калибровка – «косметика», подбор, синтез и учёт темновых и плоских кадров
- Аппроксимация фона
- Выделение объектов на кадре
- Разделение слившихся изображений
- Определение центров изображений с использованием метода PSF
- Измерение потоков с использованием апертурного или PSF-методов
- Удаление шумов (в т.ч. треков космических частиц)
- Отождествление с каталогами (USNO-A2, USNO-B1, TYCHO-2, HIPPARCOS, UCAC-4, 2MASS, пользовательские каталоги)
- Астрометрическая редукция несколькими методами (6 постоянных, 8 постоянных, возможен учёт хроматической рефракции, ...)
- Фотометрическая редукция
- Обнаружение неизвестных объектов с использованием модуля программы ЭПОС
- Создание таблиц результатов в стандартных форматах
- Др. возможности



Каталоги
элементов



Что
наблюдать



Эфемериды



О-С



Определение
орбит



Кадр



Треки



Орбиты



Два центра



Опасные
объекты



Явления
сближений

ЭПОС

EPOS™

Ephemeris Program for Objects of the Solar System

v. 9.01.06

Copyright (c) 1999 - 2017

Pulkovo Observatory

All rights reserved



276033 (2002 AJ129)

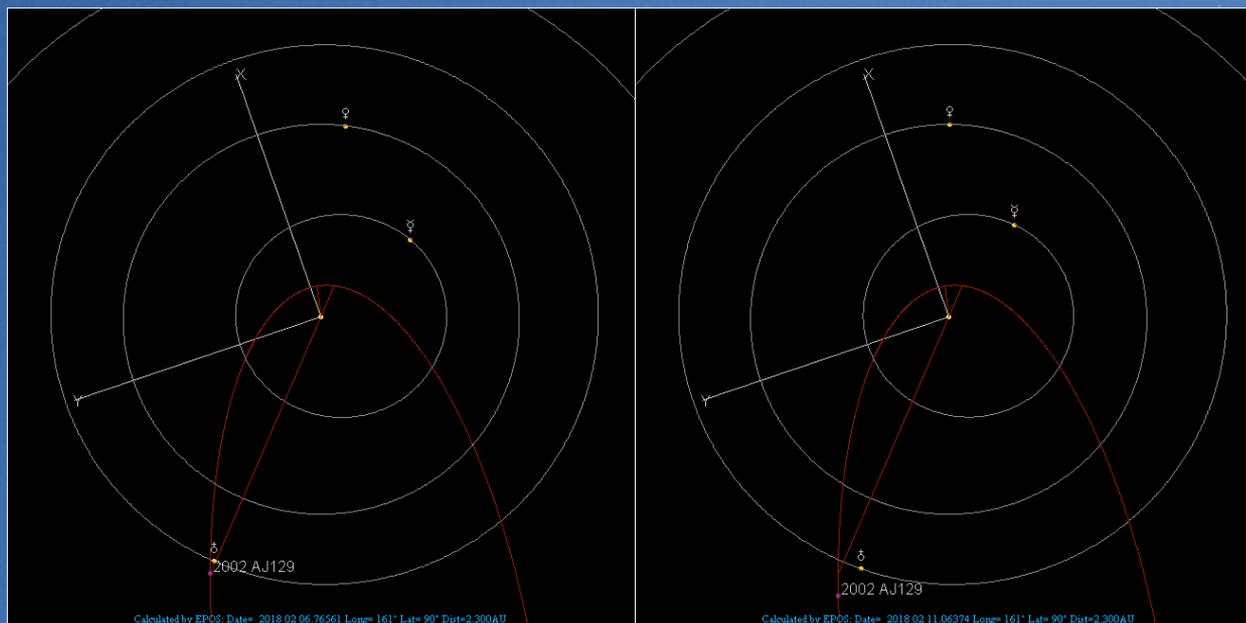
Аполло, потенциально опасный для Земли и Марса.

Сближение 4-го февраля 2018 г. на 0.0281 а.е. (4.2 млн. км).

Наблюдения на МТМ-500М – 6-го, 7-го и 10-го февраля.

Расстояние 0.046 – 0.125 а.е.

Блеск $\approx 12.5^m - 15.5^m$.



Ряд из 1209 астрометрических положений.

276033 (2002 AJ129)

улучшение орбиты

Программа «OrbImpr» из ПП ЭПОС.

Дифференциальный метод.

За первоначальную берётся орбита MPC на JD2458000.5.

Численная эфемерида DE405.

Учёт возмущений от всех планет Солнечной системы, четырех массивных астероидов и сжатия Земли.

На эпоху JD2458000.5

	Начальные	Улучшенные	Поправки	Дисперсия
<i>M</i>	288.22661	288.22620	-0.00041	0.000766
ω	211.01217	211.01227	0.00010	0.000210
Ω	138.05385	138.05387	0.00002	0.000009
<i>i</i>	15.44899	15.44895	-0.00004	0.000093
<i>e</i>	0.9149038	0.9149038	0.0000000	0.00000008
<i>a</i>	1.37105111	1.37104644	-0.00000467	0.000009719
<i>q</i>	0.11667124	0.11667090		

На эпоху JD2458200.5

	Улучшенные	Из каталога MPC	Разность
<i>M</i>	51.04717	51.04693	-0.00024
ω	211.00715	211.00728	0.00013
Ω	138.04186	138.04181	-0.00005
<i>i</i>	15.45478	15.45478	0.00000
<i>e</i>	0.9148962	0.9148963	0.0000001
<i>a</i>	1.37043774	1.37044240	0.00000534
<i>q</i>	0.11662943	0.11662972	0.00000029

Начальная оценка совпадения наблюдений и орбиты (RMS) составляла 7".825, после улучшения орбиты — 1".037.

276033 (2002 AJ129)

оценка эффекта Ярковского

Принятые параметры:

$n = 0.61434576$ °/сут — среднее суточное движение,
 $p = 0.04$ — альбедо,
 $R = 600$ м — радиус,
 $P = 3.9223$ ч — период вращения,
 $\rho = 2000$ кг/м³ — плотность,
 $\varepsilon = 0.9$ — коэффициент эмиссии,
 $C = 500$ Дж/кг/К — теплоемкость,
 $K = 10^{-2}$ Вт/м/К — теплопроводность,
 $e = 0.91489631$ — эксцентриситет,
 $M = 51.04690^\circ$ — средняя аномалия.

Изменение координат,
компонентов скорости
и большой полуоси
после одного оборота
для различных наклонов оси вращения γ

Интегрирование
методом Эверхарта

Изменение
большой полуоси
за 1 оборот
находится
в пределах 10 см.

	r (X, Y, Z) (a.e.)	V_x, V_y, V_z (a.e./сут)	$a, \Delta a$ (a.e.)
Начальные значения	-2.375329204839387 0.7352699782724319 0.2879029521144985	-3.839093914123425 · 10 ⁻³ -2.110341342546109 · 10 ⁻³ 1.143511032346927 · 10 ⁻³	1.3704424599103977
$\gamma = 0^\circ$	-2.3754645705471176 0.73519591921460037 0.28794319989410366	-3.8375214403313816 · 10 ⁻³ -2.1108274493188794 · 10 ⁻³ 1.1433203075287559 · 10 ⁻³	1.3704424599110349 6.3698 · 10 ⁻¹³
$\gamma = 45^\circ$	-2.3754645704345396 0.73519591909970872 0.28794319989691536	-3.8375214391469345 · 10 ⁻³ -2.1108274497832497 · 10 ⁻³ 1.1433203074052867 · 10 ⁻³	1.3704424599108346 4.3689 · 10 ⁻¹³
$\gamma = 90^\circ$	-2.3754645701727526 0.73519591883497704 0.28794319990295147	-3.8375214364006270 · 10 ⁻³ -2.1108274508546475 · 10 ⁻³ 1.1433203071179198 · 10 ⁻³	1.3704424599103706 -0.2706 · 10 ⁻¹³
$\gamma = 135^\circ$	-2.3754645699250783 0.73519591858808286 0.28794319990792921	-3.8375214338141526 · 10 ⁻³ -2.1108274518559216 · 10 ⁻³ 1.1433203068456767 · 10 ⁻³	1.3704424599099338 -4.6394 · 10 ⁻¹³
$\gamma = 180^\circ$	-2.3754645698266392 0.73519591849106669 0.28794319990967859	-3.8375214327898122 · 10 ⁻³ -2.1108274522500165 · 10 ⁻³ 1.1433203067373555 · 10 ⁻³	1.3704424599097607 -6.3698 · 10 ⁻¹³

276033 (2002 AJ129)

кривая блеска

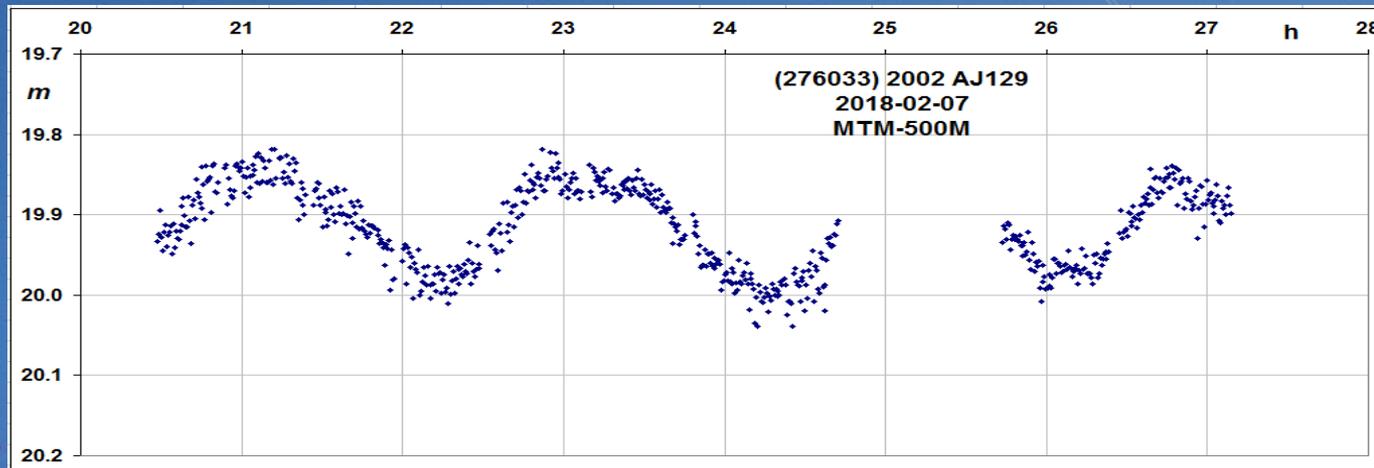
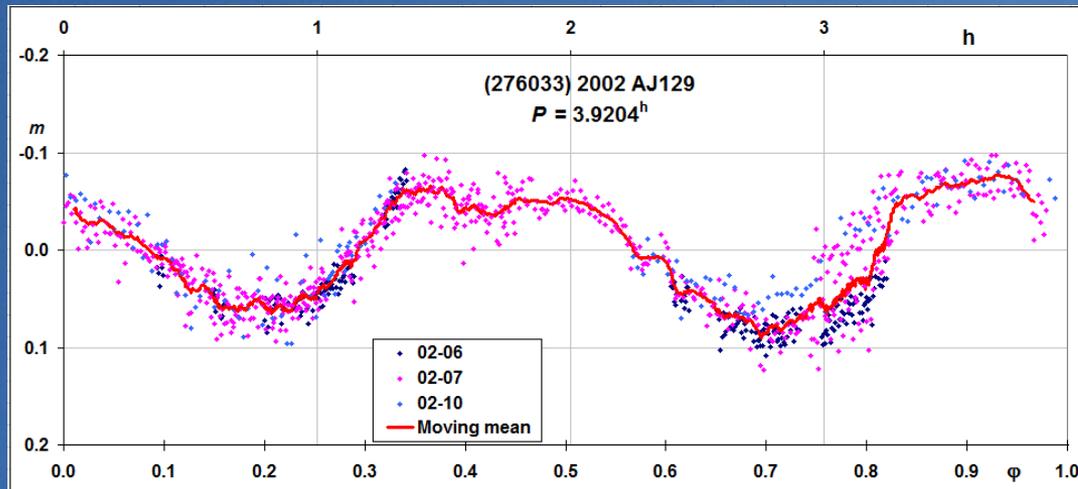
<https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi#top>

$P = 3.9226 \pm 0.0007$ ч.

<http://www.asu.cas.cz/~ppravec/neo.htm>

Метод Скаргла

$P = 3.9204 \pm 0.010$ ч.



276033 (2002 AJ129)

показатели цвета

2MASS: $J, K \rightarrow B, V, R, I$

Warner B.D. Initial Results from a Dedicated H-G Project //

Minor Planet Bulletin, 2007, vol. 34, no. 4, pp. 113–119.

$$B-V = 0.74 \pm 0.03$$

$$V-R = 0.38 \pm 0.04$$

$$R-I = 0.13 \pm 0.05$$

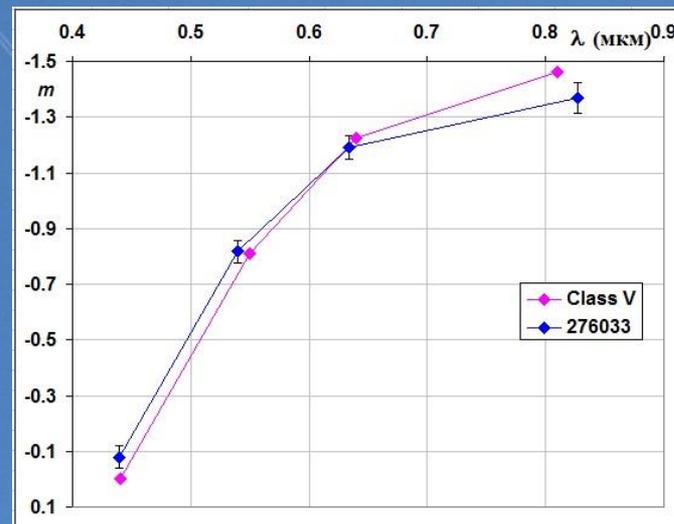
<http://www.asu.cas.cz/~ppravec/neo.htm> : $V-R = 0.384 \pm 0.012$

Dandy C.L., Fitzsimmons A., and Collander-Brown S.J.

Optical colors of 56 near-Earth objects: trends with size and orbit

Icarus, 2003, vol. 163, p. 363–373.

Классы V или B (?)



2017 VR12

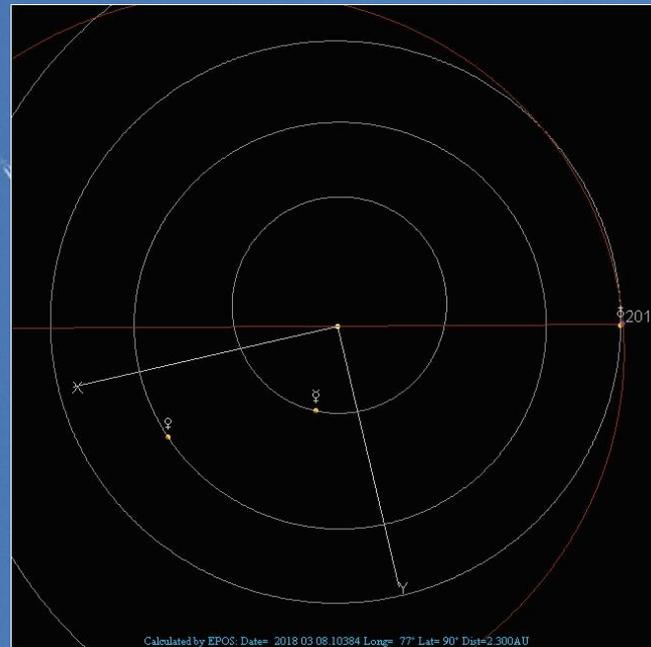
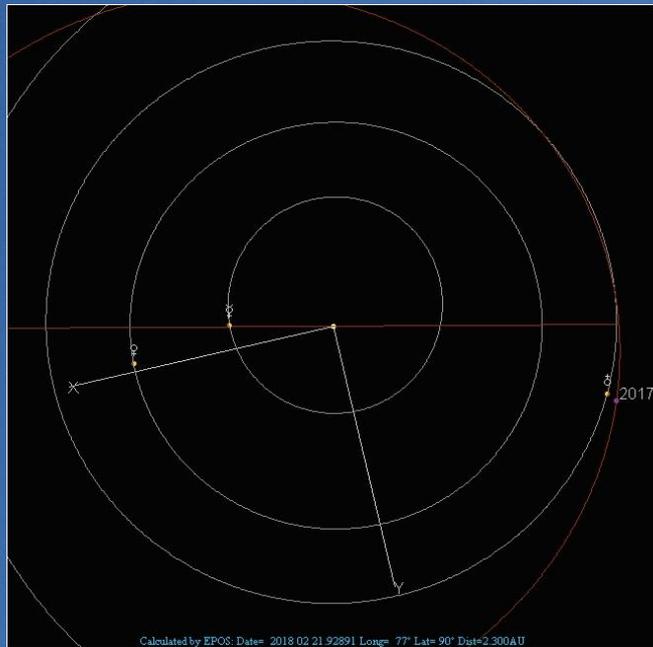
Аполло

Сближение 7-го марта 2018 г. на 0.00966 а.е. (1.445 млн. км).

Наблюдения на ЗА-320М – с 21-го февраля по 8-е марта.

Расстояние 0.049 – 0.010 а.е.

Блеск $\approx 14.5^m - 12^m$.



Ряд из 2315 астрометрических положений.

2017 VR12

улучшение орбиты

На эпоху JD2458000.5

На эпоху JD2458200.5

	Начальные	Улучшенные	Поправки	Дисперсия
M	246.94181	246.94144	-0.00037	0.000005
ω	180.05212	180.05275	0.00063	0.000005
Ω	347.40850	347.40803	-0.00047	0.000000
i	9.17972	9.17968	-0.00004	0.000006
e	0.2724360	0.2724360	0.0000000	0.00000002
a	1.37528980	1.37528645	-0.00000335	0.000000027
q	1.00061135	1.00060885		

	Улучшенные	Из каталога MPC	Разность
M	8.89262	8.89266	0.00004
ω	180.74457	180.74451	-0.00006
Ω	347.31609	347.31611	0.00002
i	9.22475	9.22471	-0.00004
e	0.2695842	0.2695830	-0.0000012
a	1.36967742	1.36967510	-0.00000232
q	1.00043404	1.00043398	-0.00000006

После исключения «вылетов» было использовано 2269 наблюдений. Начальная оценка совпадения наблюдений и орбиты (RMS) составляла 37".294, после улучшения орбиты — 0".245.

2017 VR12

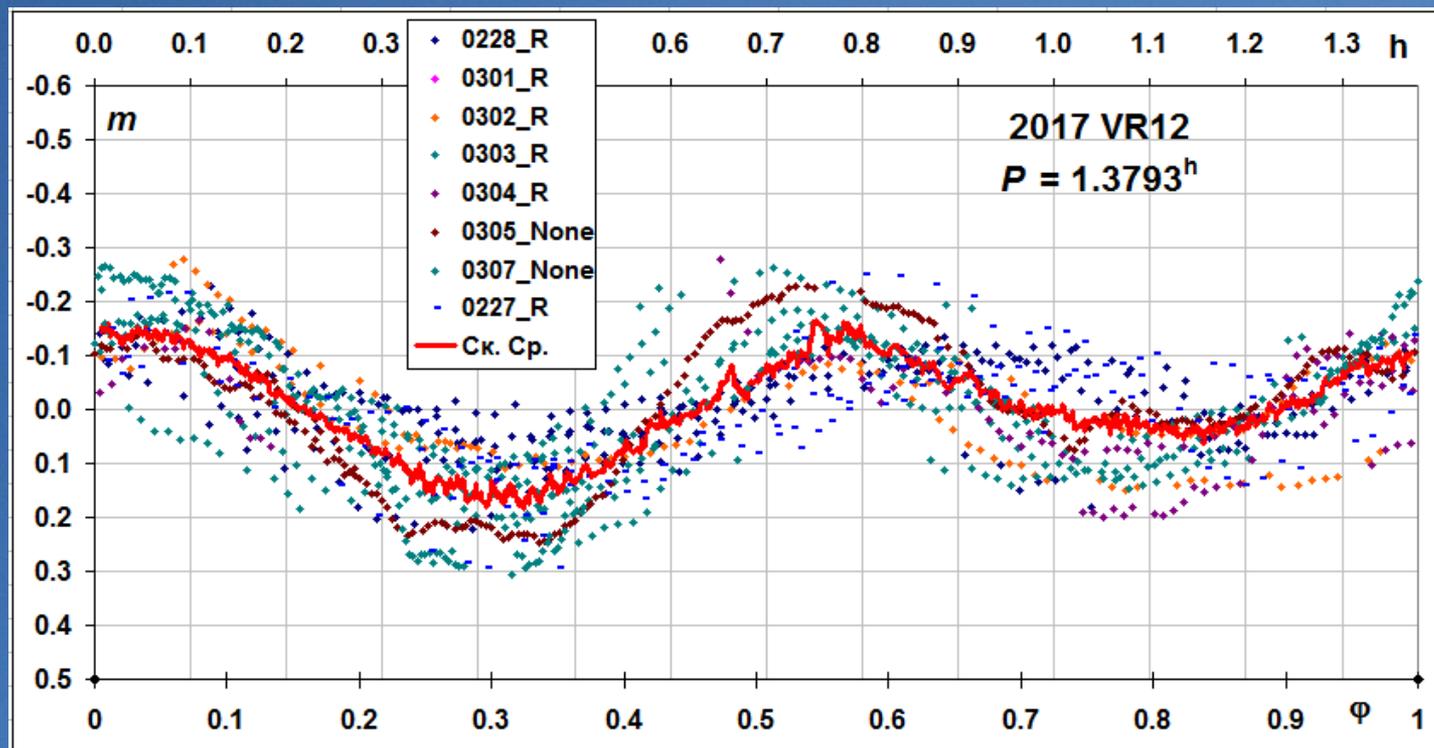
кривая блеска

<https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi#top>

$P = 1.37752 \pm 0.0007$ ч.

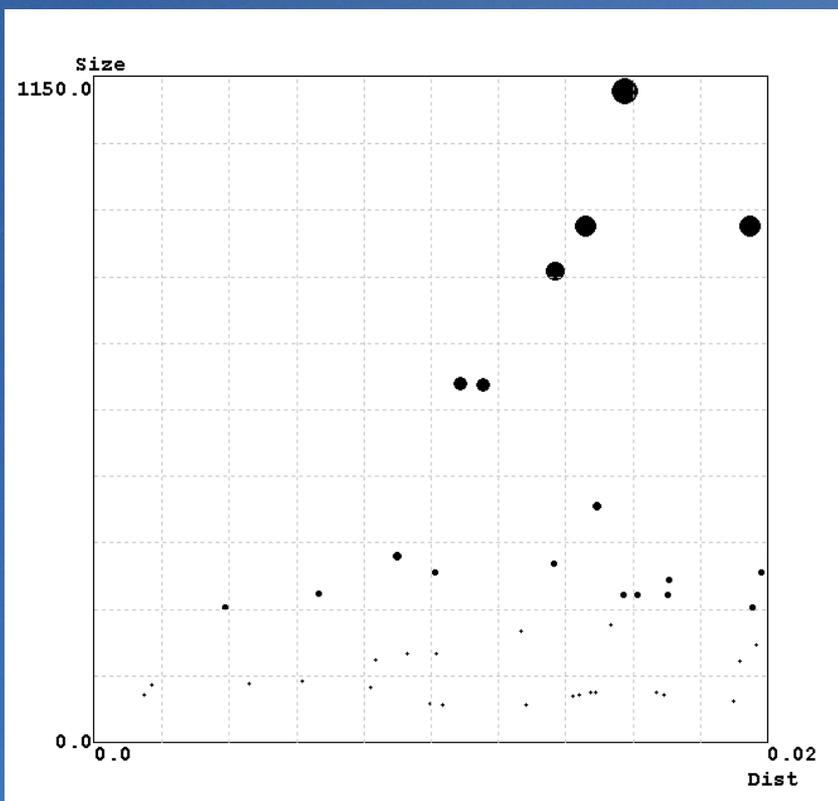
<http://www.asu.cas.cz/~ppravec/neo.htm>

$P = 1.3793 \pm 0.0005$ ч.

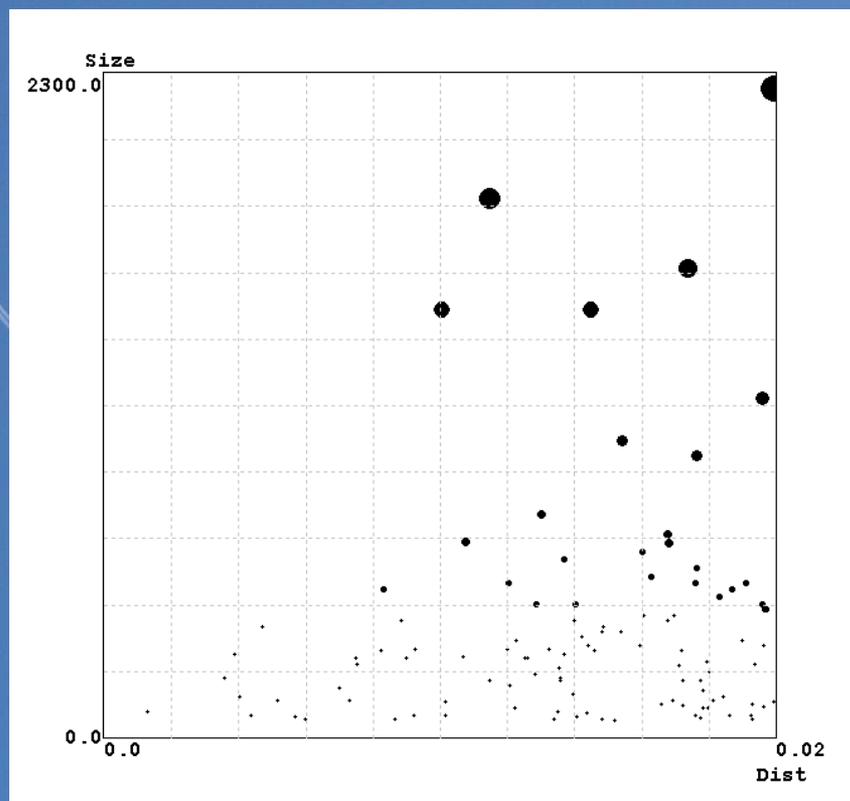


Сближения с другими астероидами за ближайшие полвека (ЭПОС)

276033 (2002 AJ129)



2017 VR12



Тесных сближений с крупными объектами не ожидается,
значит они останутся на потенциально опасных орбитах.

(13553) Masaakikoyama

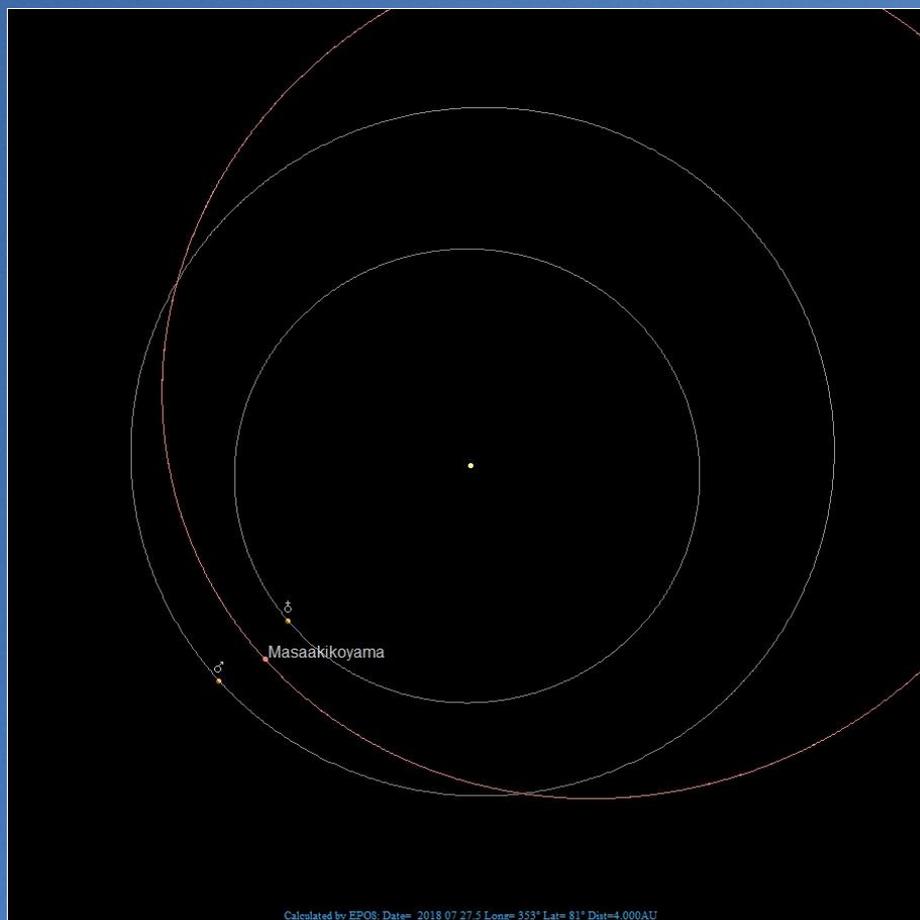
АСЗ, Amor

В конце июля – около 0.2 а.е.

Наблюдения на ЗА-320М и МТМ-500М в августе – сентябре.

Блеск $\approx 14^m - 15^m$.

Получено 2602 астрометрических положения.



(13553) Masaakikoyama

улучшение орбиты

Начальная орбита – MPC на 2017-12-17, построенная по 851 наблюдению.

Улучшение по наблюдениям 2018 г.: по мировым (544) + по пулковским (2602).

Выброшено всего 457 наблюдений, из них 332 пулковских.

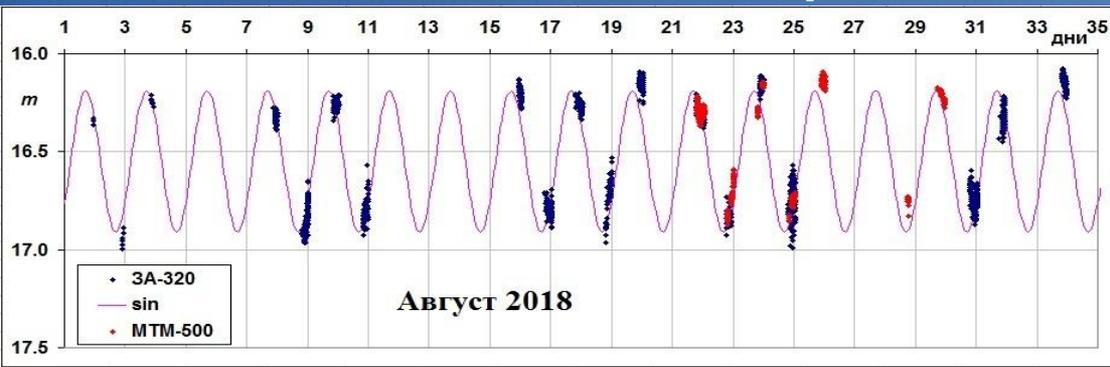
Варианты: 1) мировые + пулковские,

2) только мировые

	σ	Impr – MPC	
M	0.000017 0.000025	0.00008 -0.00006	мировые + пулковские только мировые
ω	0.000019 0.000036	0.00003 0.00016	
Ω	0.000012 0.000023	-0.00006 -0.00014	
i	0.000001 0.000001	-0.00001 -0.00001	
e	0.00000004 0.00000006	0.0000006 -0.0000004	
a	0.00000022 0.00000031	0.00000274 -0.00000170	

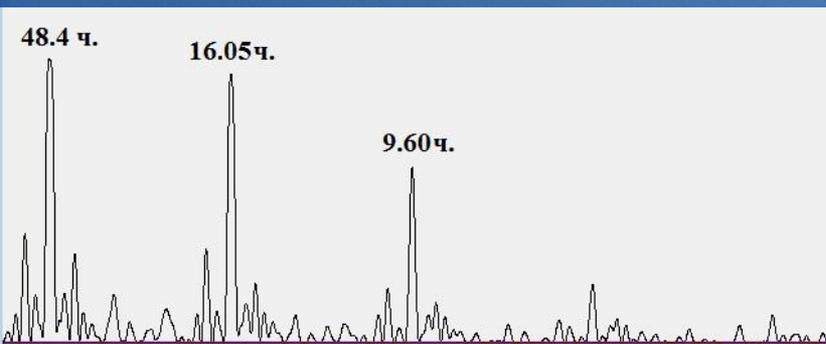
(13553) Masaakikoyama

кривая блеска



<https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi#top> :

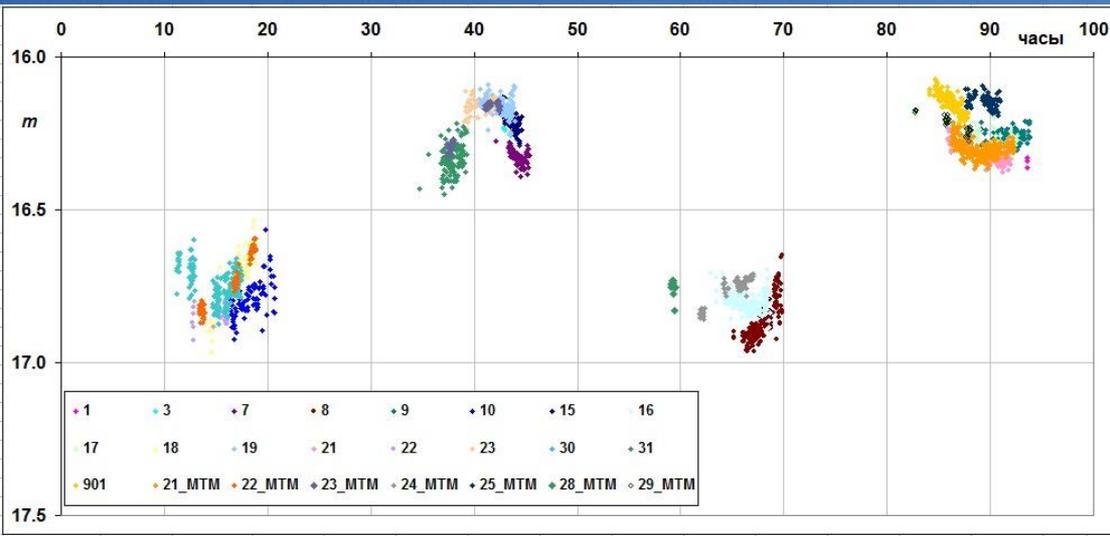
$P = 38$ ч. (?)



$P = 32.1$ ч.

(?)

$P = 96.8$ ч.



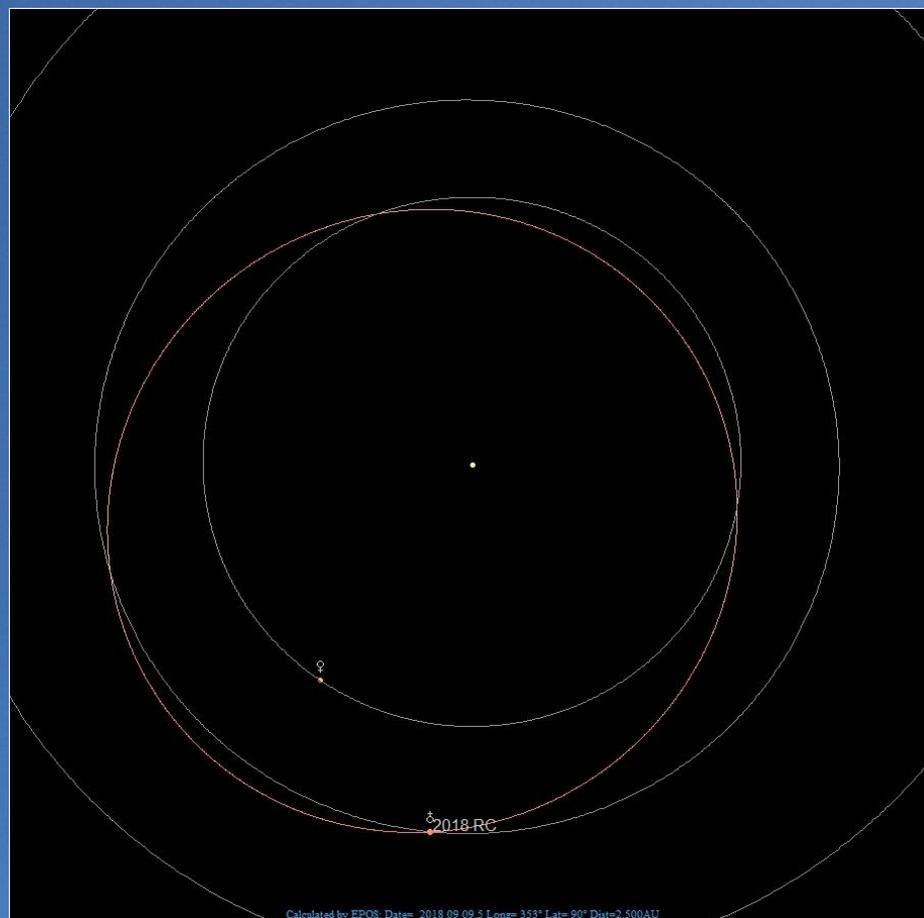
2018 RC

Aten

9-го сентября – 0.0015 а.е. (224 тыс. км.)

Наблюдения на ЗА-320М и МТМ-500М

7-го и 8-го сентября





2018 RC

MTM-500M

2018-09-07

705 тыс. км

**Спасибо
за внимание!**

