

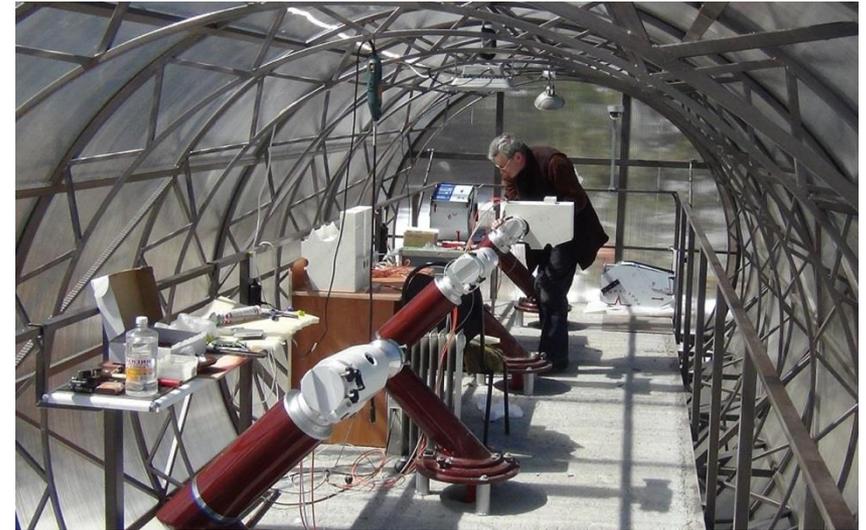
Фотометрия ИСЗ на ММТ-9 в течение пяти лет.

Каткова Е.В.¹, Бескин Г.М.², Бирюков А.В.⁴, **Бондарь С.Ф.¹**, Давыдов Д.В.⁵,
Иванов Е.А.¹, Карпов С.В.², Орехова Н.В.¹, Перков А.В.¹, Сасюк В.В.^{3,4}

¹НПК СПП СОИ “Архыз”, ²САО РАН, ³ООО “Параллакс”,
⁴Казанский (Приволжский) Федеральный Университет,
⁵ АО “АНЦ”



- Владелец телескопа ММТ-9: Казанский (Приволжский) Федеральный Университет
- Разработка и изготовление: ООО Parallax, СОН “Архыз” НПК СПП, САО РАН
- Обслуживание: ООО Parallax, СОН “Архыз” НПК СПП
- Обработка спутниковой информации: СОН “Архыз” НПК СПП



Параметры ММТ9

Проницание по движущимся объектам

Экспозиция

Угловой размер пиксела

Поле зрения одного канала

Количество каналов

Начало работы

10.5 mag

0.1 сек

16"

11° x 9.5°

9

Июнь 2014

Координаты:

41°25'53.3" E

43°38'59.5" N

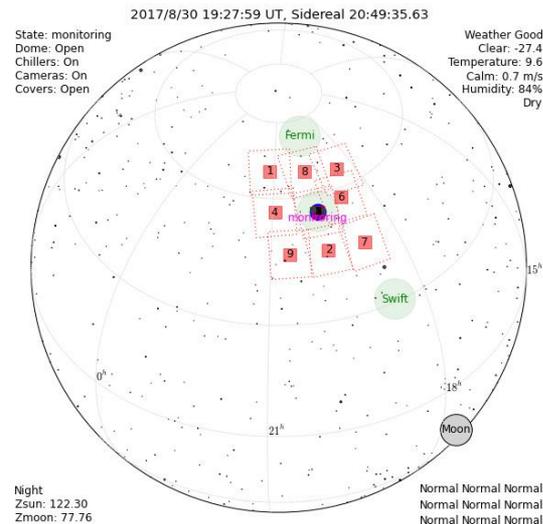
2030 m



Штатный режим работы – широкопольный мониторинг небесной сферы с высоким временным разрешением (0.1 сек).

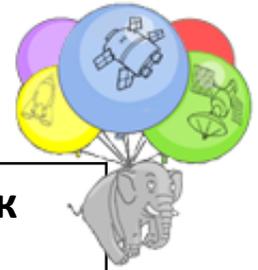
За ночь измеряется 200-500 КО.

Обновляемая публичная база данных фотометрии ИСЗ :
www.mmt9.ru/satellites



Темпы пополнения БД ММТ

www.mmt9.ru/satellites



Год	Количество ночей	Количество КО (+за год)	Количество проводов (+ за год)
Год 1-ый	189	4245	39130
Год 2-ой	227	4746 (+501)	79201 (+40071)
Год 3-ий	197	5201 (+455)	120525 (+41324)
Год 4-ый	210	5755 (+554)	167972 (+47447)
Год 5-ый	225	6290 (+535)	220524 (+52552)

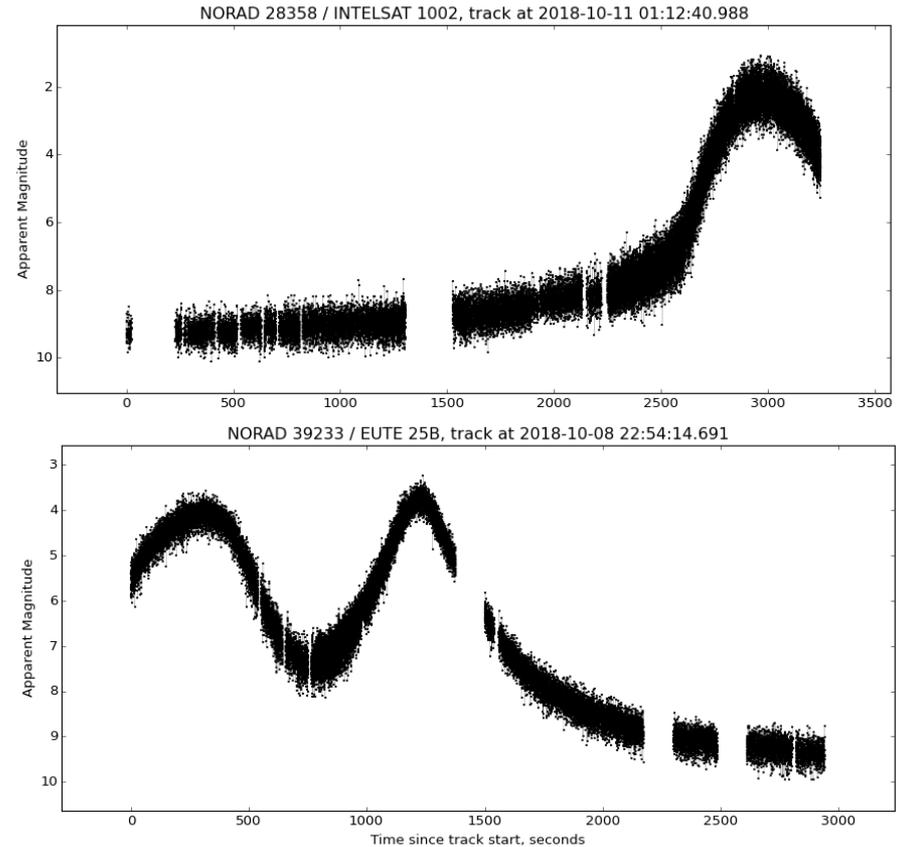
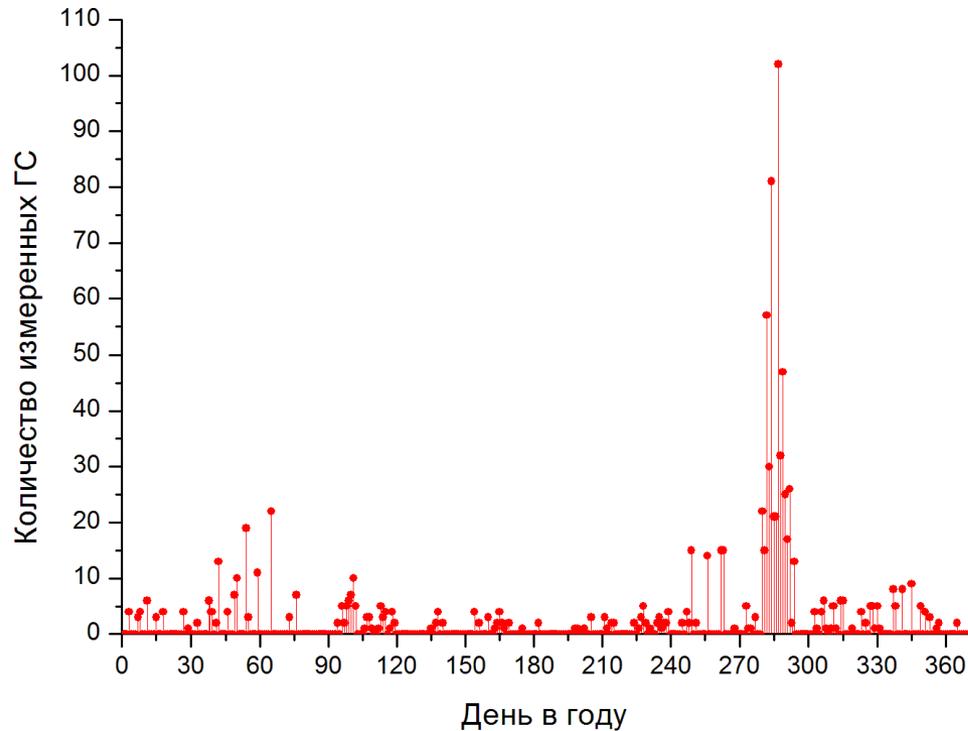
Год на ММТ-9 начинается 1 июня.

Половина базы данных является публичной.

Распределение по типам орбит

Тип орбиты	Доля ИСЗ в БД	Параметры орбиты
НО	73 %	На < 3500 км
ГС	3 %	На ≥ 3500 км, $e < 0.1$, $i < 30^\circ$, $ P - 1436 < 140$ мин
НГС ВО	24 %	Все остальные

Вспышки на ГСО



В 2018 г. на период осенних вспышек пришелся антициклон и 8-15 октября количество измеряемых за ночь ГС резко увеличилось. Максимум 13 октября.

При целенаправленных наблюдениях вблизи тени Земли измеряемых ГС было бы еще больше.

Орбитальная система координат

Оси орбитальной СК

$$Z = \frac{r}{|r|}$$

$$X = V - (r \cdot V) * r, \quad X = \frac{X}{|X|}$$

$$Y = Z \times X, \quad Y = \frac{Y}{|Y|}$$

r – вектор КО, v – вектор скорости КО
 s – вектор Земля-Солнце, R – вектор наблюдателя

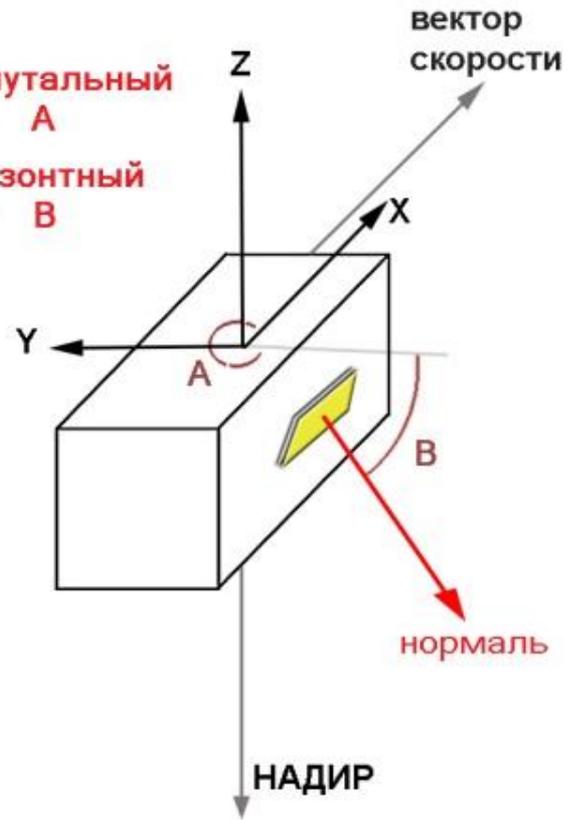
Нормаль отражающей поверхности:

$$n = \frac{s - r}{|s - r|} + \frac{R - r}{|R - r|}$$

$$n' = \begin{pmatrix} X_1 & X_2 & X_3 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 \\ Z_1 & Z_2 & Z_3 \end{pmatrix} * n$$

$$tgA = \frac{n'_2}{n'_1}$$

$$tgB = \frac{n'_3}{\sqrt{n'_1{}^2 + n'_2{}^2}}$$



Если вспышку дает неподвижный элемент конструкции, то координаты нормали в орбитальной СК будут постоянны.

Skymed



КА серии COSMO Skymed оснащен плоской антенной панелью 5.7 x 1.4 метра.

Известно, что режим съемки правосторонний, а штатная ориентация антенной панели составляет 56° от местного горизонта.

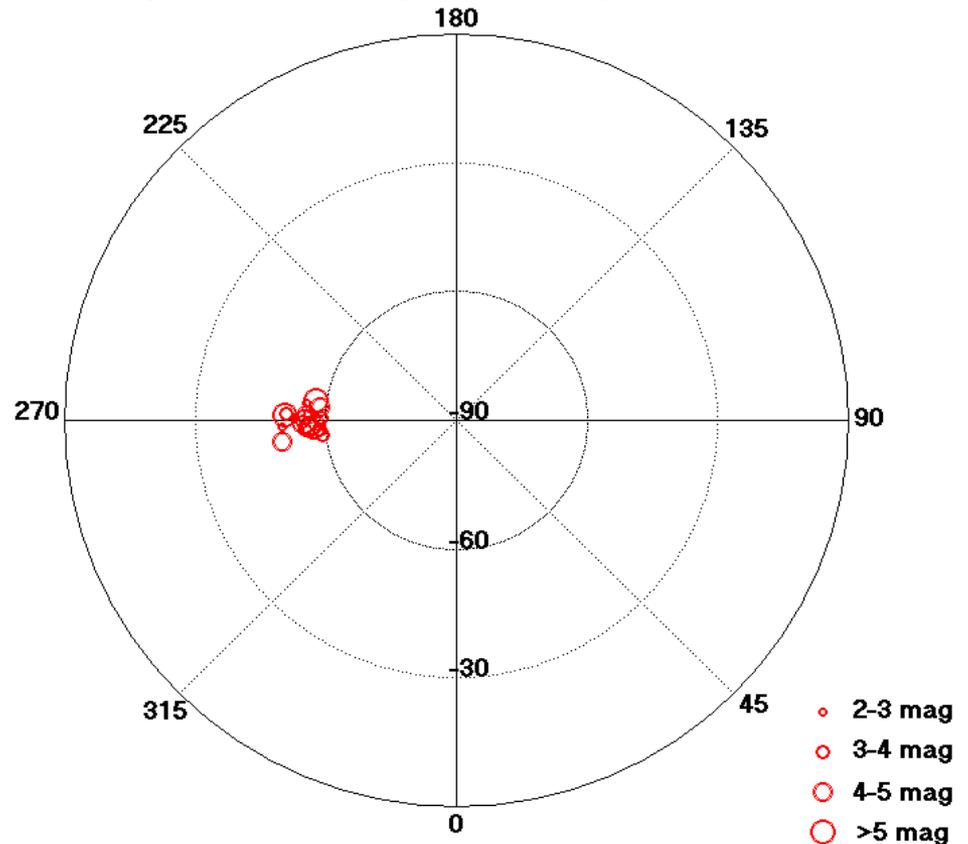
Углы ориентации нормали во время вспышек.

В измерениях ММТ было зафиксировано 19 случаев кратковременного повышения блеска до отрицательных звездных величин у КА Skymed-1, Skymed-2, Skymed-3, Skymed-4.

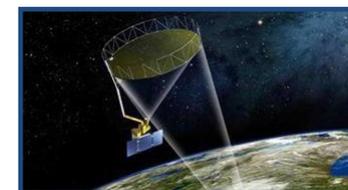
Вычисленные углы положения отражающей поверхности:

$$A = 270.2^\circ \pm 4.2^\circ$$

$$B = -55.4^\circ \pm 3.1^\circ$$



Выявление вращающихся элементов на борту КА



КА	Междунар. обознач. / № КК ВВС США	Параметры				Максимальная амплитуда изменения блеска, mag
		Название ПН	Размер антенны, м	Средний приведенный блеск	Период изменения блеска, секунд	
KA USA-181 DEB (NOSS 3-3C)	2005-004C / 28541	?	?	4.3 ± 0.5	2.11	0.7
KA USA-194 DEB (NOSS 3-4C)	2007-027C / 31708			4.4 ± 0.6	2.10	1.3
KA USA-229 (NOSS 3-5A)	2011-014A / 37386			4.0 ± 0.6	2.10	0.5
KA USA-238 (NOSS 3-6A)	2012-048A / 38758			3.9 ± 0.7	2.12	0.6
KA USA-264 DEB (NOSS 3-7R)	2015-058R / 40981			3.8 ± 0.6	2.10	0.7
KA USA-274 (NOSS 3-8A)	2017-011A / 42058			3.7 ± 0.5	2.10	0.9
D MSP 5D-2 F15	1999-067A / 25991	радиометр SSM/I (SSMIS)	0.66 x 0.61	5.0 ± 0.8	1.89	2.0
D MSP 5D-3 F17	2006-050A / 29522			5.4 ± 0.8	1.90	0.4
D MSP 5D-3 F18	2009-057A / 35951			5.5 ± 0.9	1.90	0.8
D MSP 5D-3 F19	2014-015A / 39630			5.0 ± 0.8	1.90	1.1
Fengyun-3B	2010-059A / 37214	радиометр MWRI	0.97 x 0.89	4.8 ± 0.6	1.78	1.3
Fengyun-3C	2013-052A / 39260			4.5 ± 0.5	1.80	0.6
Fengyun-3D	2017-072A / 43010			4.7 ± 0.4	1.80	0.7
Coriolis	* 2003-001A / 27640	радиометр Windsat	1.83	6.0 ± 1.0	1.90	4.3
Haiyang-2A	* 2011-043A / 37781	микроволновой скаттерометр	1.0	5.2 ± 0.6	3.76	1.3
Haiyang-2B	* 2018-081A / 43655			4.4 ± 0.6	3.79	1.4
GCOM W1	* 2012-025A / 38337	радиометр AMSR-2	2.0	5.4 ± 0.7	1.48	3.0
GPM	2014-009C / 39574	радиометр GMI	1.22	3.5 ± 0.7	1.87	1.3
SMAP	* 2015-003A / 40376	радиометр-радиолокатор	6.0	4.0 ± 0.8	4.14	1.7
SCATSat-1	* 2016-059H / 41790	скаттерометр OSCAT-2	1.0	6.9 ± 0.5	2.92	1.6
Yunhai-1-01	* 2016-068A / 41857	Микроволновой радиометр	?	4.7 ± 0.6	3.35	1.9
CFOSAT	2018-083A / 43662	Скаттерометр SCAT	1.2 x 0.4 (2 шт)	6.0 ± 1.0	17.48	1.6

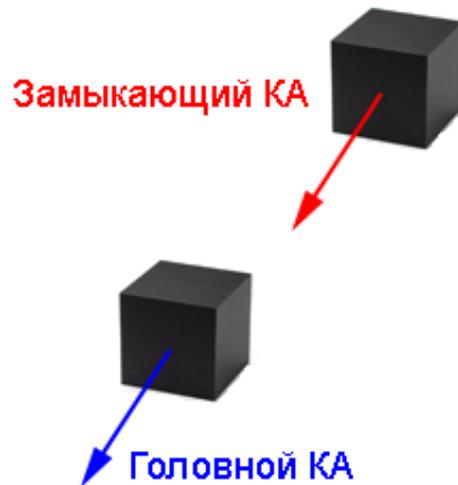
* - периодичность заметна при любом ракурсе

Пример фотометрии спутника серии NOSS

Американские низкоорбитальные КА радиотехнической разведки типа NOSS-3 в штатной конфигурации работают в составе пар. Спутники, составляющие пару, движутся в одной орбитальной плоскости, друг за другом (головной и замыкающий). Расстояние между КА в паре – 40...60 километров.

Внешний вид спутников неизвестен.

Периодичность наблюдается только у всех замыкающих спутников ($P=2.1$ сек).



MMT

NORAD # 38758

USA 238

Type: Active

Launch: 2012-09-13

Country: US

Track

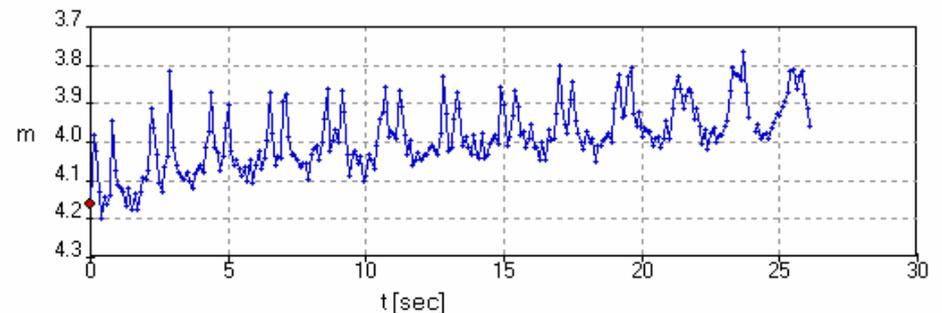
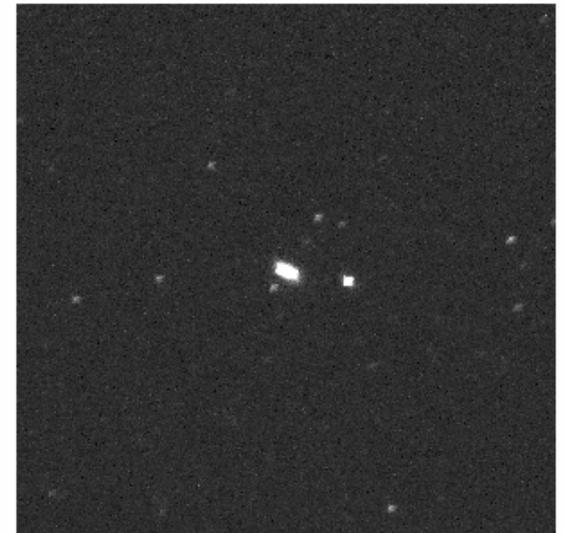
Date: 26.06.2016

UT: 21:09:51.0

Period = 2.10 sec

Range = 1121.0 km

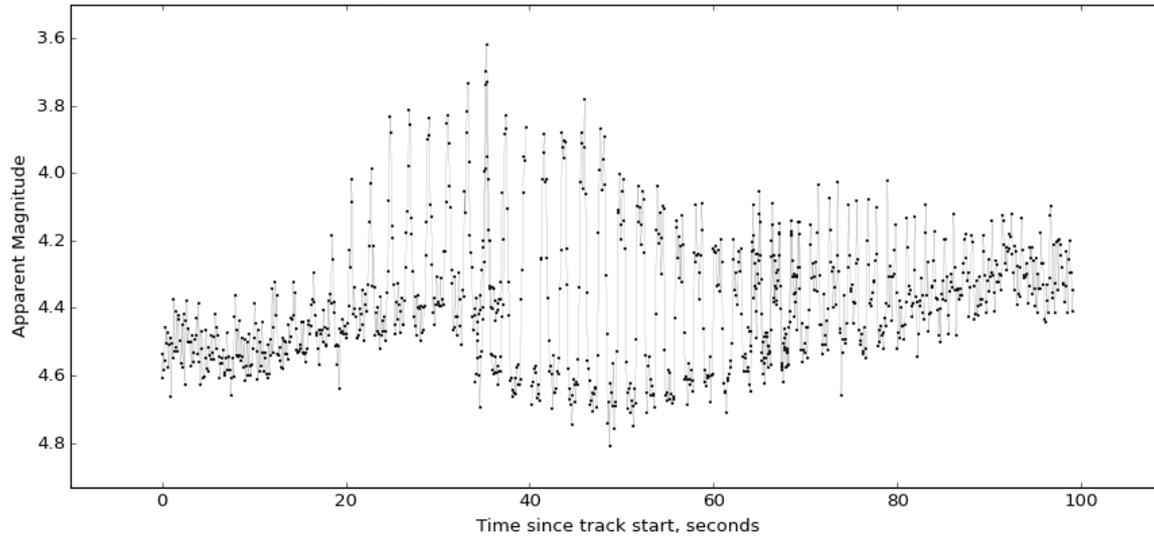
Phase angle = 71.1°



Особенности периодичности у замыкающих NOSS

Периодичность видна не во всех проводках.

McCants 42058 / USA 274 (NOSS 3-8 (A)), track at 2017-07-12 22:38:03.504

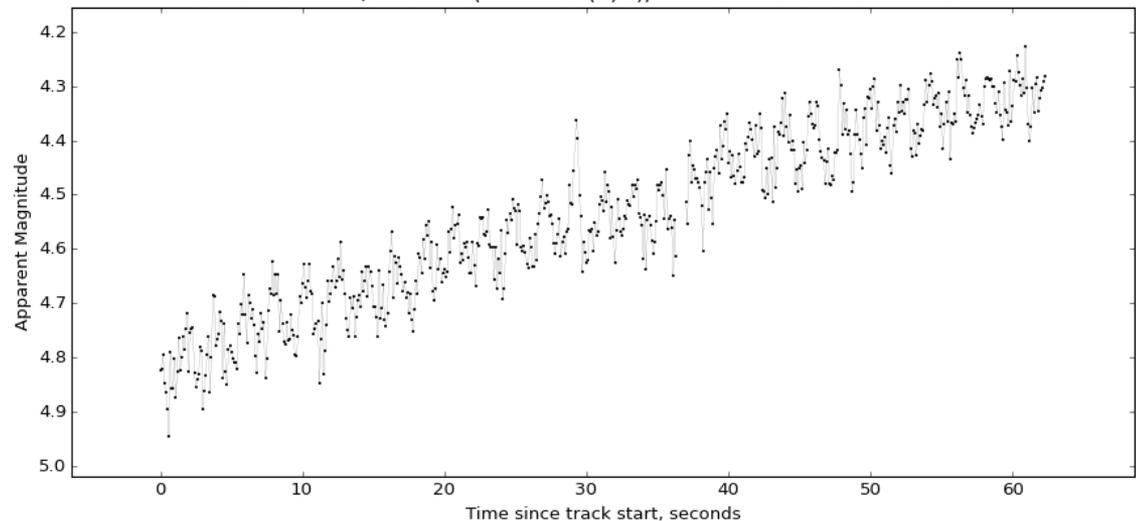


Периодичность может появляться и исчезать в течение 1 минуты.

Типичная амплитуда периодичности 0.1 mag.

Редко амплитуда достигает 1 mag.

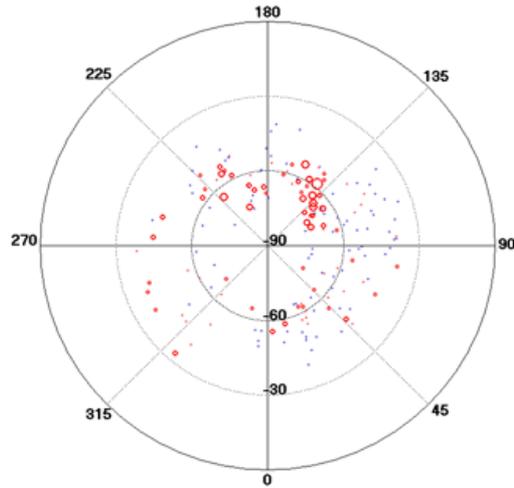
McCants 37386 / USA 229 (NOSS 3-5 (A) ?), track at 2015-09-02 00:58:27.598



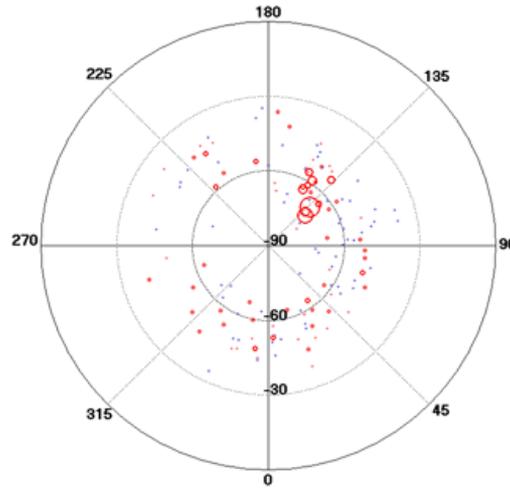
Условия видимости периодичности у замыкающих NOSS

Углы А и В в орбитальной системе координат для нормали отражения

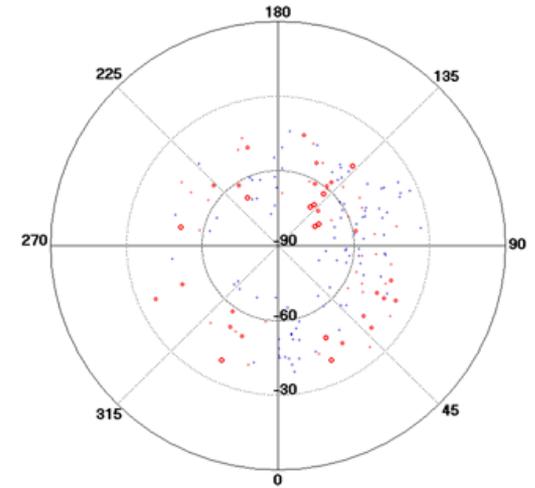
28541



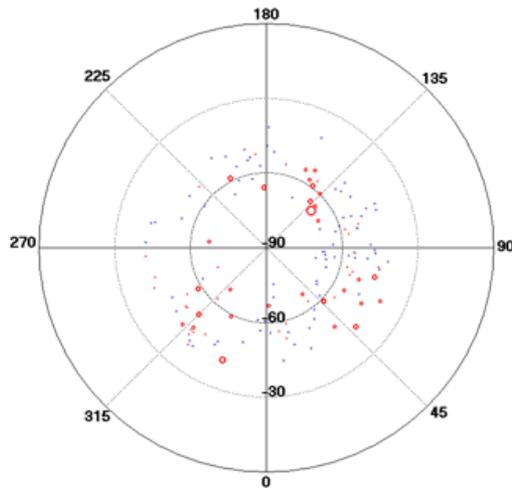
31708



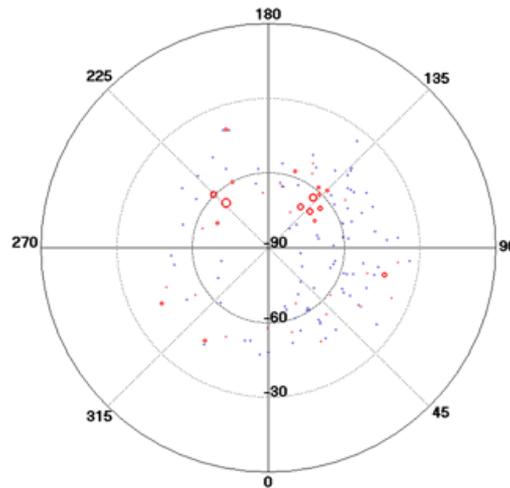
37386



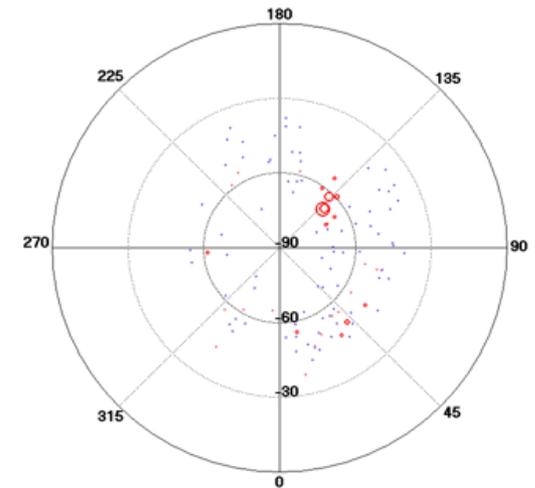
38758



40981



42058

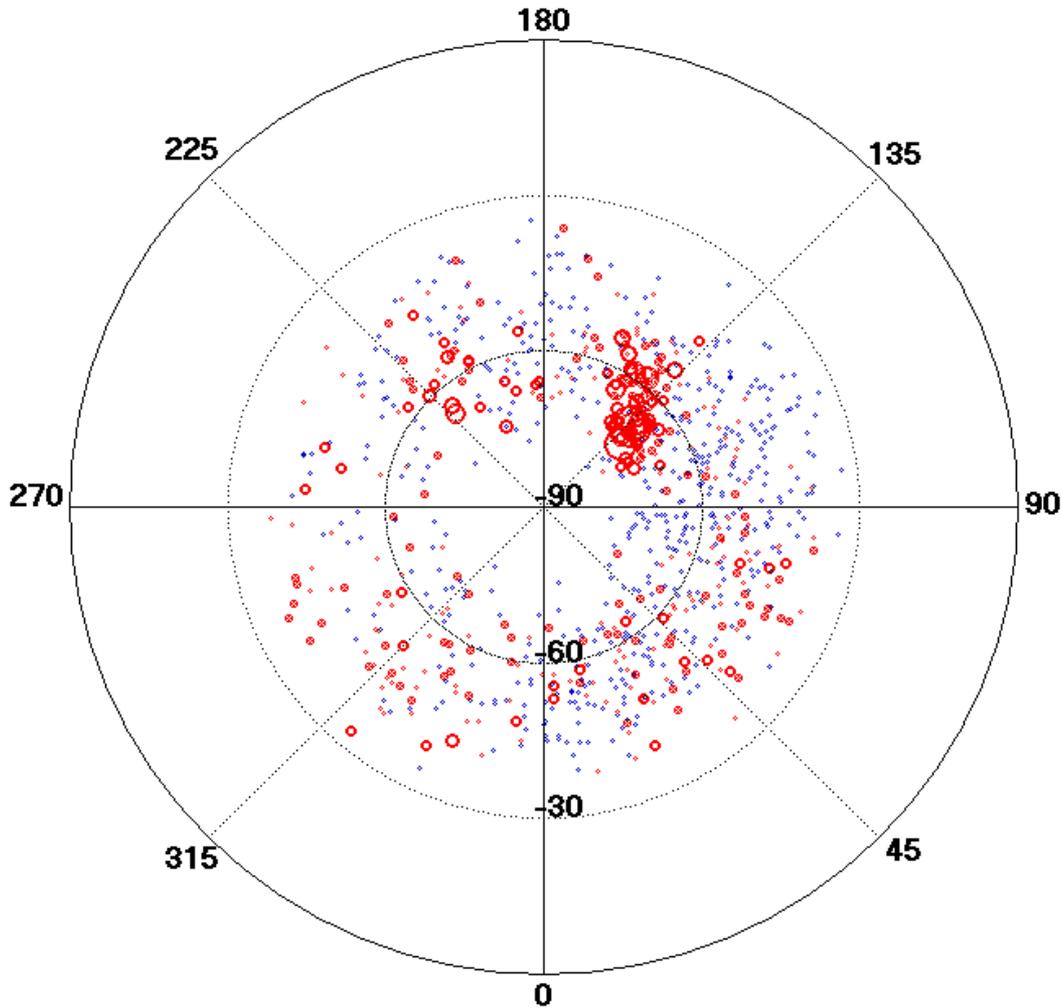


· Периодичность не видна

○ Периодичность видна (диаметр ~ амплитуде)

Условия видимости периодичности у замыкающих NOSS

Углы A и B в орбитальной системе координат для нормали отражения (по всем NOSS)



Максимальная вероятность наблюдать ярко выраженную периодичность при углах ориентации нормали отражающей поверхности:

A от 115° до 155°

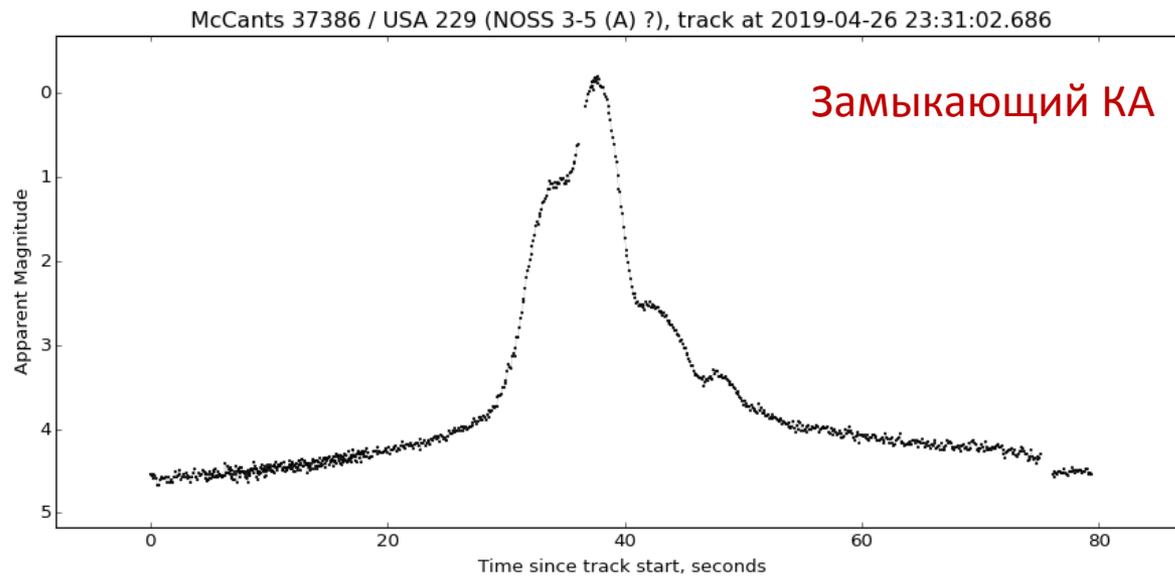
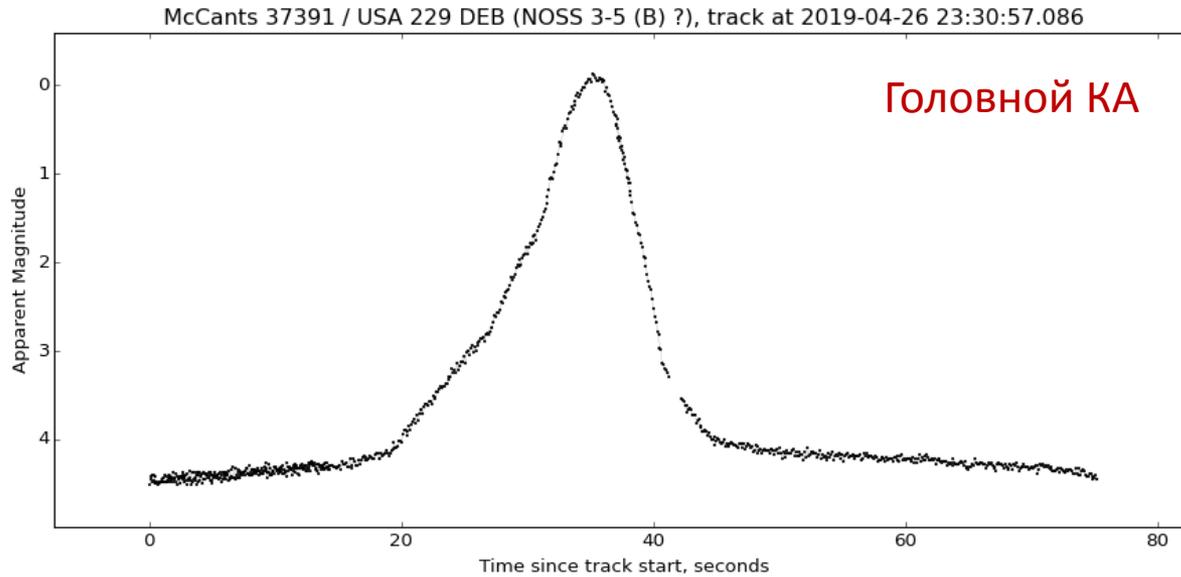
B от -55° до -75°

· Периодичность не видна

◦ Периодичность видна (диаметр ~ амплитуде)

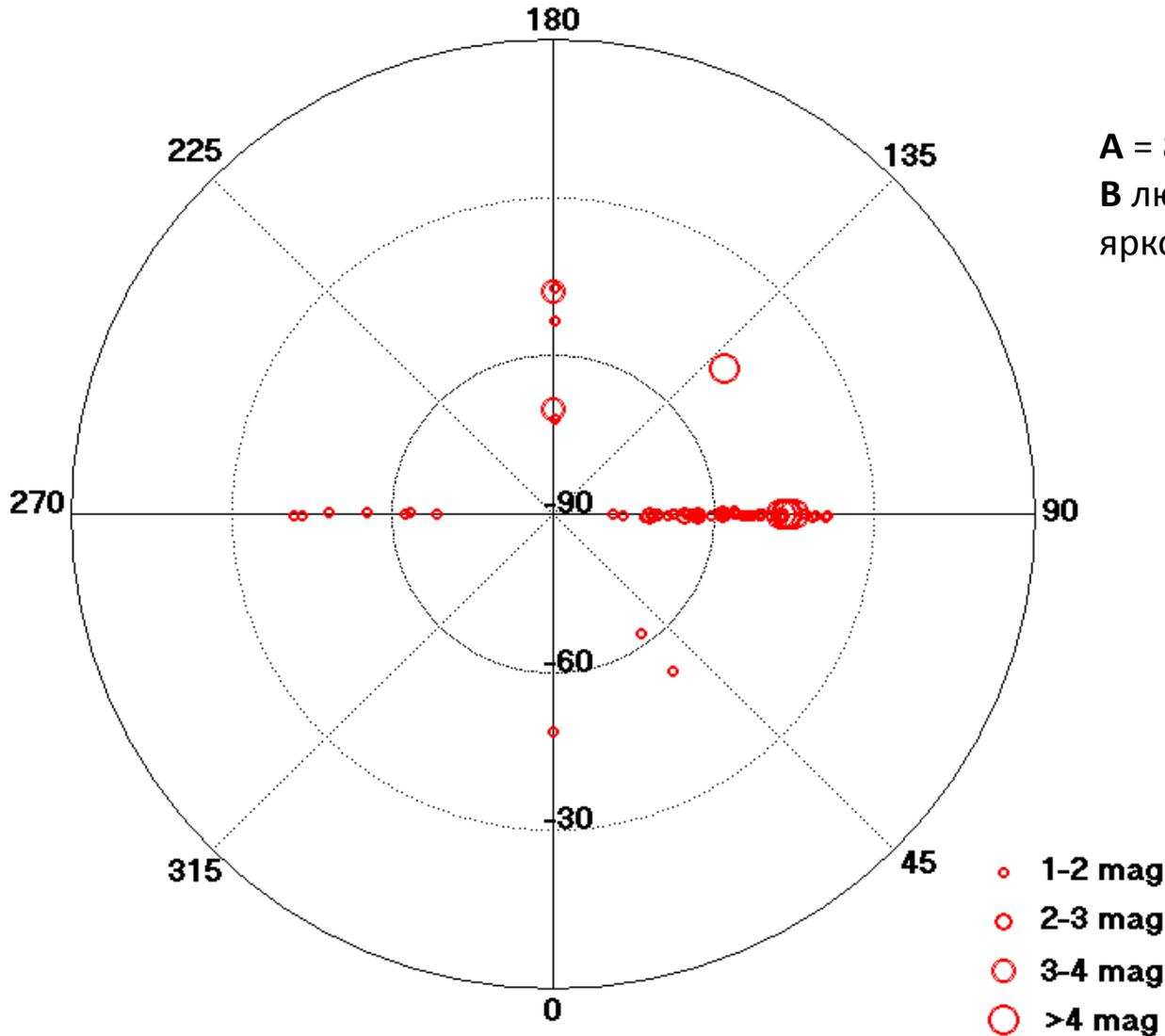
Вспышки NOSS

У всех NOSS наблюдаются повышения яркости длительностью 15-30 секунд.



Вспышки NOSS

Углы A и B в орбитальной системе координат для нормали отражения вспышки (по всем NOSS)



A = 89.9°

**B любой, но максимальная
яркость при B = - 46.5°**

Общий вид БД ММТ

<http://astroguard.ru/satellites> или <http://mmt9.ru/satellites/>

Satellites identified in MMT data

Поиск по номеру ID: Catalogue ID number(s) **Поиск по названию** Name: Satellite name **Поиск по комментарию** Comments: Comments

Поиск по периоду изменения блеска Non-variable Aperiodic Periodic Min Period, s Max Period, s Search

Отбор по типу объектов U/SAT ACT INACT R/B DEB M/DEB F/DEB UNIDENT [Orbital parameters](#)

Поиск по периоду и наклону Min Inclination, deg Max Inclination, deg Min Orb. Period, minutes Max Orb. Period, minutes

Satellites: 6124
Tracks: 211193
Oldest: 2014-06-04
Latest: 2019-04-10
[Download list of satellites](#)

При нажатии Search без задания параметров поиска выведется весь список

Enter either satellite ID or name. Several whitespace-separated IDs may be entered too. If exact name will not be found, substring search will be used to show candidates. Use checkboxes to select various variability classes or object types. Specify the period to refine search of satellites with periodic light curves. Read the [short description](#) also. Please note that all the satellites with CIS country code (i.e. Russian etc) are hidden from the list! If you have any questions or wish to use the data in your research, please contact Elena Katkova, who is the primary person behind the database, using e-mail address mmt.satellite@yandex.ru

Описание

ЭПР берется из <http://celestrak.com/pub/satcat.txt>

All satellites ordered by latest track - 3290 object(s)

Sort by latest track, latest new detection, number of tracks (descending), variability period (descending), mean brightness (descending), RCS (descending)

ID	Int	Name	Type	Launched	Latest Track	Ntracks	Std.Mag	Variability	RCS
43604	2018-067C	CZ-3B R/B	R/B	2018-08-24 / PRC	2019-04-01	47	3.0 ± 0.7	Period: 301.76 s	L S D P P S P T
36869	2010-039B	ATLAS 5 CENTAUR R/B	R/B	2010-08-14 / US	2019-04-01	6	3.4 ± 0.7	Period: 224.05 s	15.37 L S D P P S P T
12445	1980-098B	ATLAS CENTAUR R/B	R/B	1980-12-06 / US	2019-04-01	63	4.1 ± 0.7	Period: 46.06 s	16.02 L S D P P S P T
25624	1999-004D	GLOBALSTAR M038	INACT	1999-02-09 / GLOB	2019-04-01	215	6.3 ± 1.1	Period: 97.00 s	2.16 L S D P P S P T
25306	1998-023A	GLOBALSTAR M014	INACT	1998-04-24 / GLOB	2019-04-01	287	6.0 ± 0.9	Period: 23.60 s	2.64 L S D P P S P T
38252	2012-018C	CZ-3B DEB	DEB	2012-04-29 / PRC	2019-04-01	152	4.6 ± 0.9	Period: 251.92 s	12.37 L S D P P S P T
1983	1966-008B	DELTA 1 R/B	R/B	1966-02-03 / US	2019-04-01	20	8.1 ± 0.7		0.57 L S D P P S P T
25853	1999-037C	GLOBALSTAR M051	INACT	1999-07-10 / GLOB	2019-04-01	254	6.3 ± 1.0	Period: 8.32 s	2.39 L S D P P S P T
43583	2018-062C	CZ-3B R/B	R/B	2018-07-29 / PRC	2019-04-01	68	3.2 ± 0.7	Period: 109.42 s	L S D P P S P T
37739	2011-033A	GLOBALSTAR M083	ACT	2011-07-13 / GLOB	2019-04-01	218	6.1 ± 0.6	Aperiodic	4.67 L S D P P S P T

Средний приведенный блеск

Сортировка по последнему измеренному, введенному в БД, по количеству проводок, периоду изменения блеска, среднему приведенному блеску, ЭПР

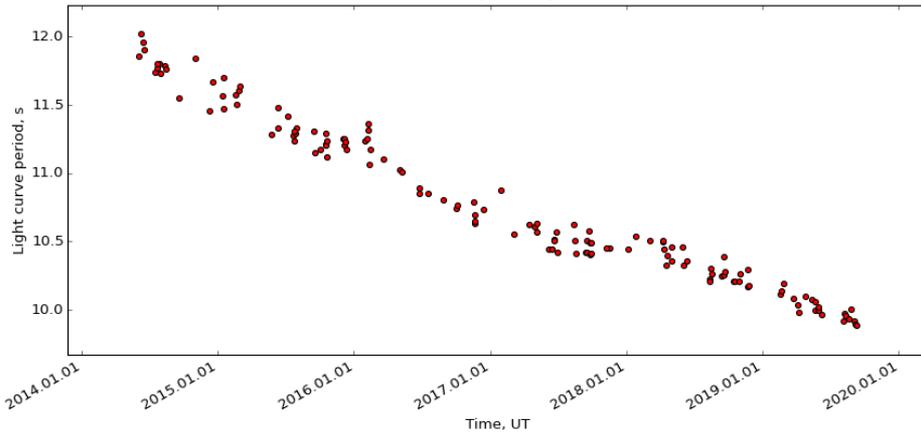
Ссылка на страницу объекта

Пролистывание

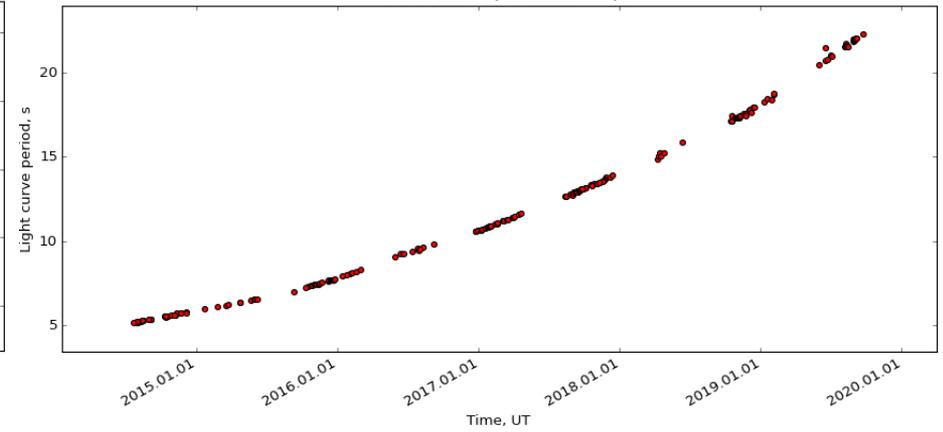
1 4 10 31 91 239 299 320 326 329 > >>

Накопление данных о динамике периода вращения

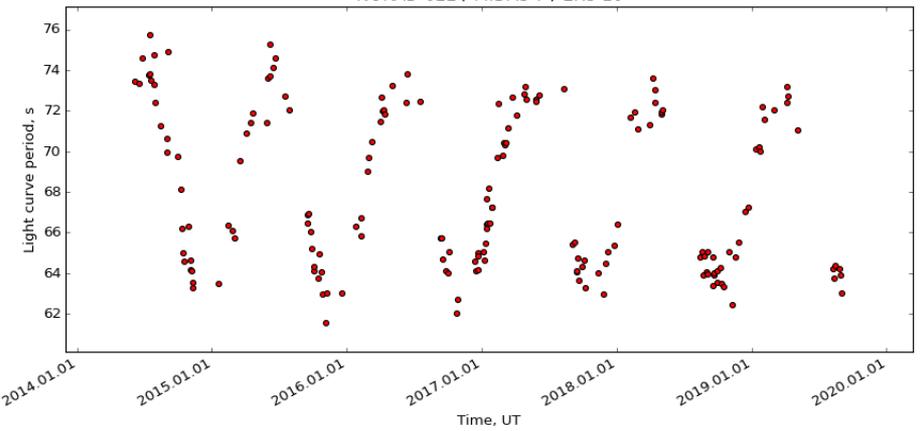
NORAD 22076 / TOPEX/POSEIDON



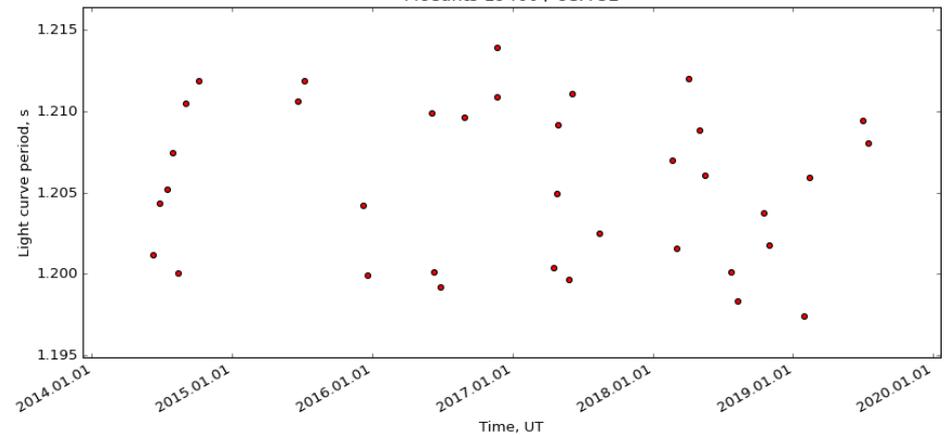
NORAD 28944 / BREEZE-M R/B



NORAD 622 / MIDAS 7 / ERS 10



McCants 19460 / USA 32



Поиск сгоревших КО в БД

Satellites identified in MMT data

ID:	Catalogue ID number(s)	Name:	Satellite name	Comments:	decay
<input type="checkbox"/> Non-variable	<input type="checkbox"/> Aperiodic	<input checked="" type="checkbox"/> Periodic	<input type="text"/> Min Period, s	<input type="text"/> Max Period, s	<input type="button" value="Search"/>
<input checked="" type="checkbox"/> U/SAT	<input checked="" type="checkbox"/> ACT	<input checked="" type="checkbox"/> INACT	<input checked="" type="checkbox"/> R/B	<input checked="" type="checkbox"/> DEB	<input checked="" type="checkbox"/> M/DEB
<input checked="" type="checkbox"/> F/DEB	<input checked="" type="checkbox"/> UNIDENT	Orbital parameters ▼			

Satellites	6154
Tracks	211573
Oldest	2014-06-04
Latest	2019-04-12

[Download list of satellites](#)

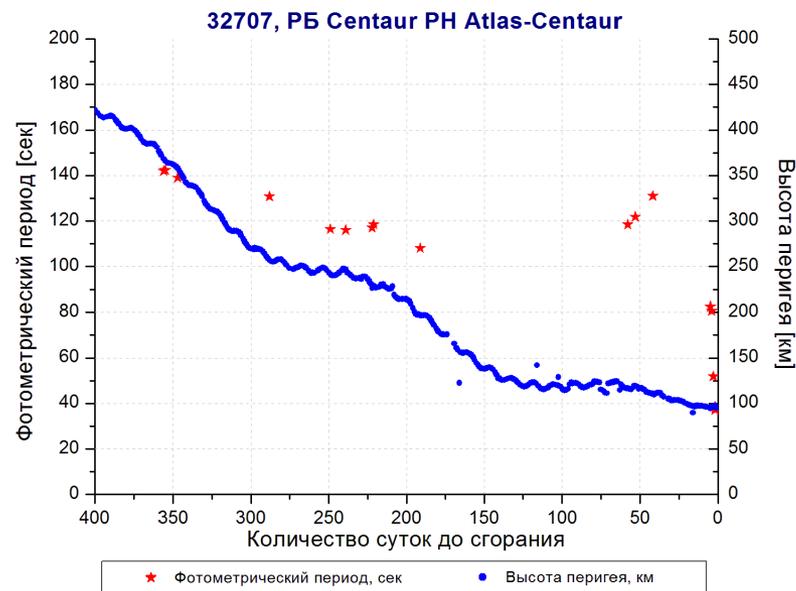
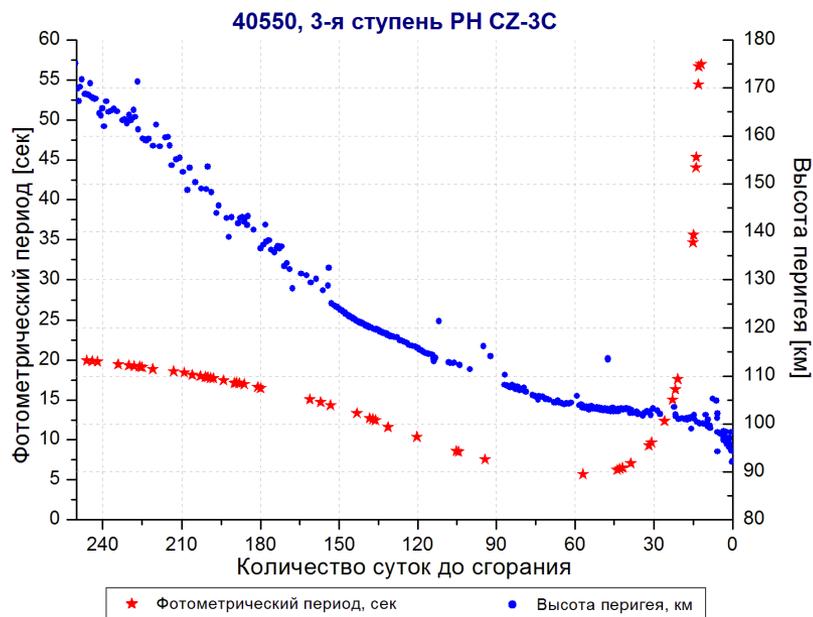
Enter either satellite ID or name. Several whitespace-separated IDs may be entered too. If exact name will not be found, substring search will be used to show candidates. Use checkboxes to select various variability classes or object types. Specify the period to refine search of satellites with periodic light curves. Read the [short description](#) also. **Please note that all the satellites with CIS country code (i.e. Russian etc) are hidden from the list!** If you have any questions or wish to use the data in your research, please contact Elena Katkova, who is the primary person behind the database, using e-mail address mmt.satellite@yandex.ru

All satellites ordered by latest track - 33 object(s)

Sort by [latest track](#), [latest new detection](#), [number of tracks \(descending\)](#), [variability period \(descending\)](#), [mean brightness \(descending\)](#), [RCS \(descending\)](#)

ID	Int	Name	Type	Launched	Latest Track	Ntracks	Std.Mag	Variability	RCS
43489	2018-049B	FALCON 9 R/B	R/B	2018-06-04 / US	2019-03-08	3	2.6 ± 0.3	Period: 271.54 s	L S D P P S P T
41883	2016-077B	CZ-3B R/B	R/B	2016-12-10 / PRC	2018-11-26	13	3.0 ± 0.8	Period: 8.70 s	10.29 L S D P P S P T
27373	2002-005B	IRIDIUM 90	INACT	2002-02-11 / US	2018-10-18	22	6.3 ± 0.9	Period: 2.26 s	3.46 L S D P P S P T
20230	1989-070B	H-1 R/B(1)	R/B	1989-09-05 / JPN	2018-10-13	31	6.1 ± 0.5	Period: 87.73 s	2.94 L S D P P S P T
42985	2017-067B	FALCON 9 R/B	R/B	2017-10-30 / US	2018-07-31	9	2.6 ± 0.2	Period: 171.97 s	L S D P P S P T
43166	2018-010D	ELECTRON R/B	R/B	2018-01-21 / US	2018-07-17	2	7.0 ± 0.9	Period: 3.51 s	L S D P P S P T
42748	2017-031B	GSLV R/B	R/B	2017-06-05 / IND	2017-12-12	5	3.5 ± 0.3	Period: 25.92 s	L S D P P S P T
42696	2017-024B	GSLV R/B	R/B	2017-05-05 / IND	2017-09-28	5	4.4 ± 0.4	Period: 29.44 s	L S D P P S P T
41472	2016-028B	FALCON 9 R/B	R/B	2016-05-06 / US	2017-09-05	27	2.8 ± 0.8	Period: 36.41 s	16.97 L S D P P S P T

Изменение периода вращения перед сгоранием в атмосфере



После преодоления некоторой граничной высоты перигея вращения КО изменяется кардинально. В большинстве случаев влияние атмосферы тормозит вращение объекта (период изменения блеска увеличивается). Бывают случаи раскрутки и случаи хаотичного изменения скорости вращения.

Эволюция вращения КО на орбитах с низким перигеем зависит от формы и ориентации КО, состояния атмосферы, частоты входа в атмосферу.

Единой граничной высоты нет.

Вращение может начать меняться и на высоте 100 км, и на высоте 200 км.

Каждый случай индивидуален.

Ежемесячные отчеты о состоянии БД: <http://mmt9.ru/report/>

Результаты анализа фотометрической информации по космическим объектам на околоземных орбитах. Информационно-аналитические отчеты.



Август 2019



Июль 2019



Июнь 2019



Май 2019



Апрель 2019



Март 2019



Февраль 2019



Январь 2019

Спасибо за внимание!