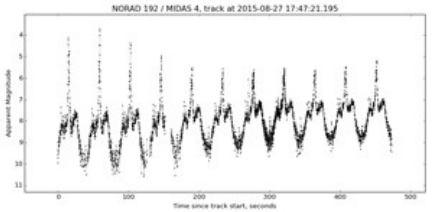
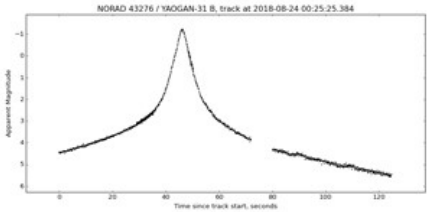
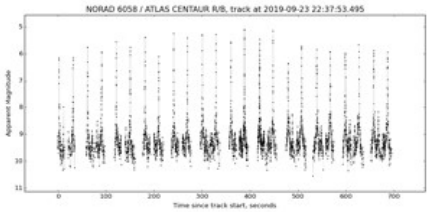
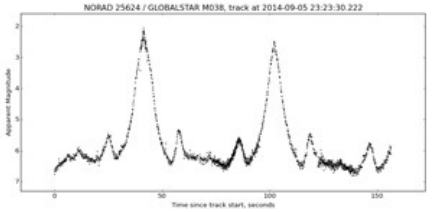
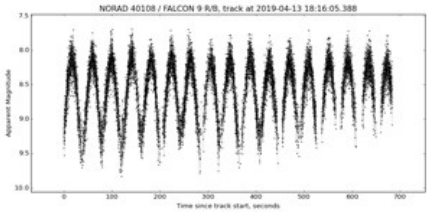



# Фотометрия ИСЗ на ММТ-9 в течение пяти лет.

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]

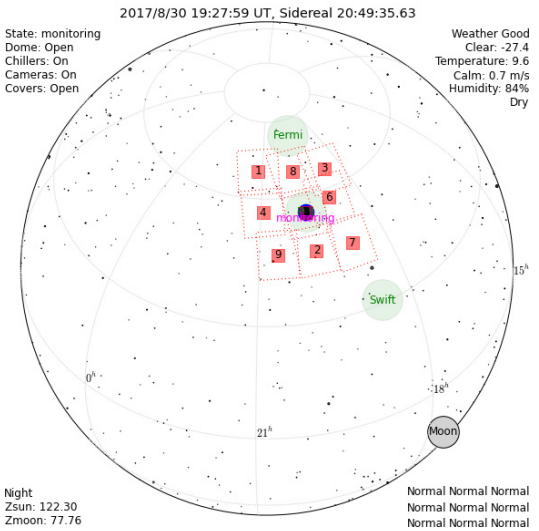
[1]НПК СПП СОН “Архыз”, [2]САО РАН, [3]ООО “Параллакс”,
[4]Казанский (Приволжский) Федеральный Университет,
[5] АО “АНЦ”

“Околоземная астрономия и космическое наследие”, Казань

Настоящее время
СЕРГЕЙ БОНДАРЬ
ТЕХНИЧЕСКИЙ ДИРЕКТОР ПРОЕКТА ММТ

## Параметры ММТ9

| | |
|---|---|
| Проницание по движущимся объектам | 10.5 mag |
| Экспозиция | 0.1 сек |
| Угловой размер пиксела | 16" |
| Поле зрения одного канала | 11°x 9.5° |
| Количество каналов | 9 |
| Начало работы | Июнь 2014 |




Координаты:
41°25'53.3" E
43°38'59.5" N
2030 m

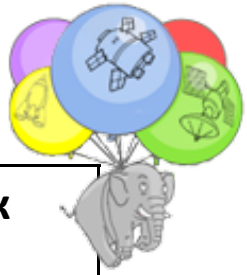
Штатный режим работы – широкопольный мониторинг небесной сферы с высоким временным разрешением (0.1 сек).

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 проводок (+ 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) |

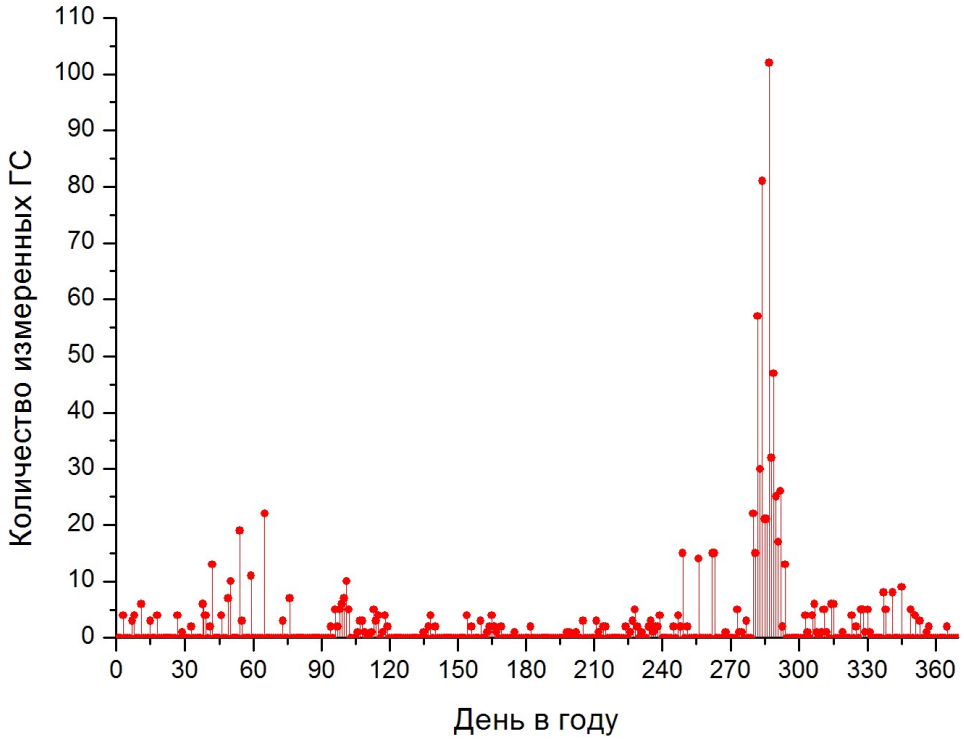
Год на ММТ-9 начинается 1 июня.

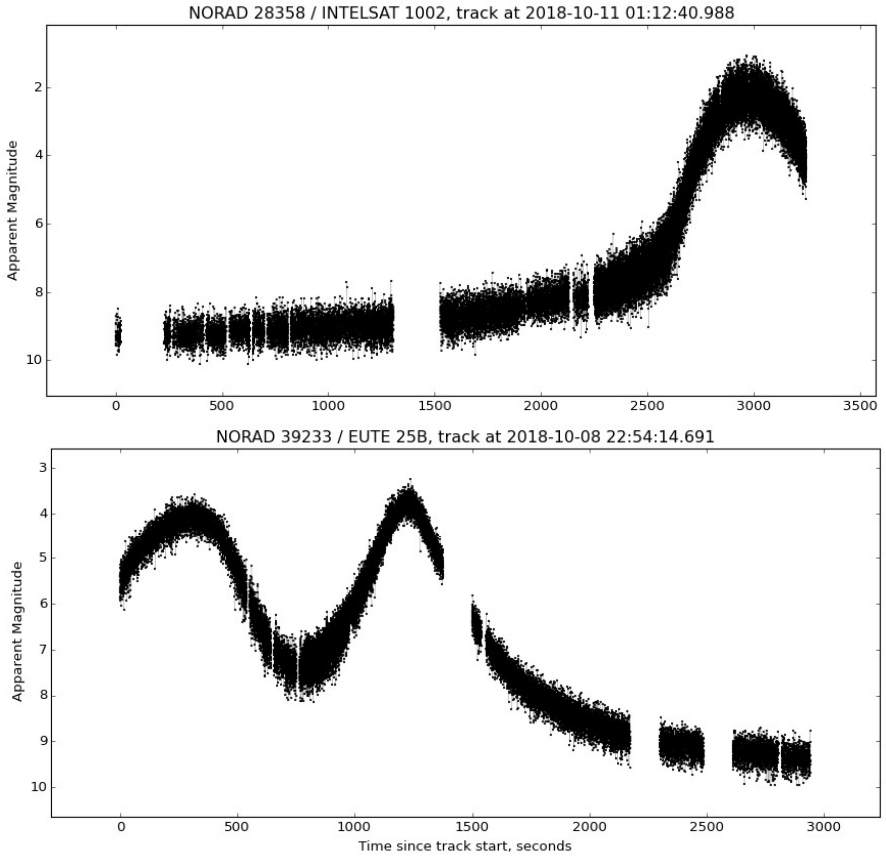
Половина базы данных является публичной.

## 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°, \|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

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

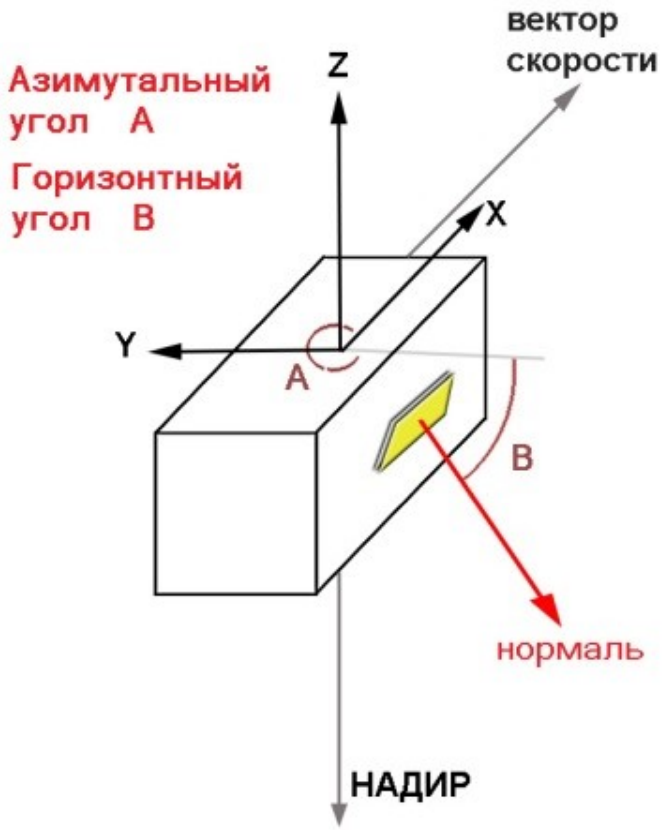
$$X = V - (r \bullet V) * r, \qquad X = \frac{X}{|X|}$$

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

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

Нормаль отражающей поверхности:

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




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

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

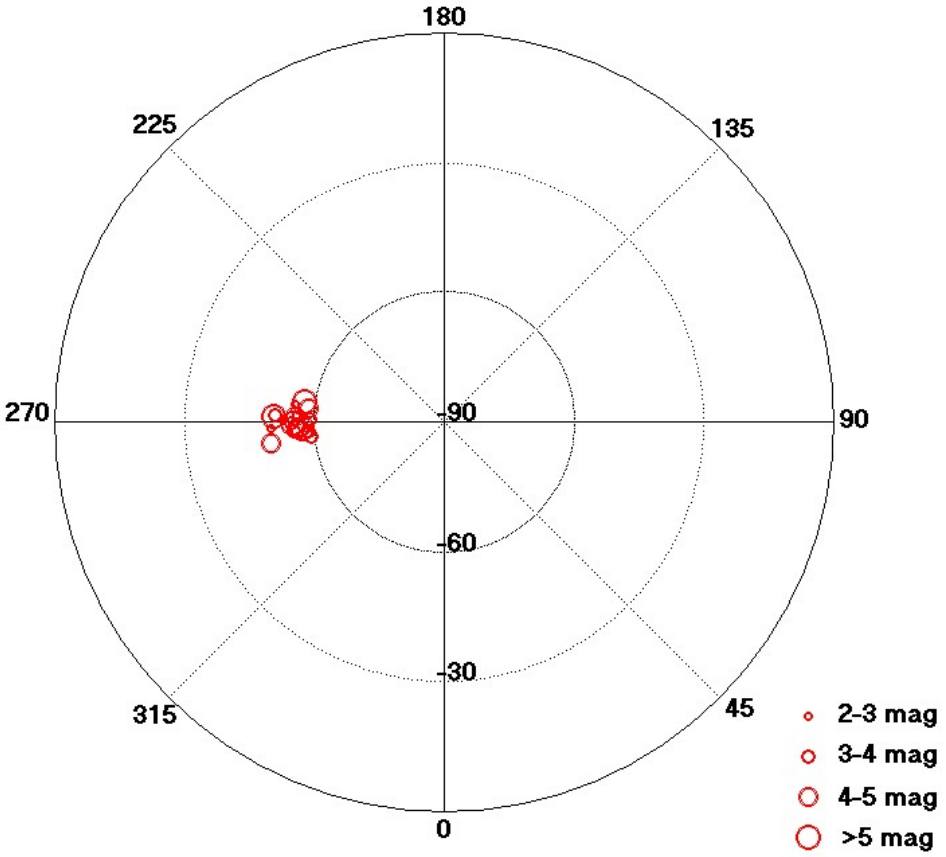
$$tgB = \frac{n'_3}{\sqrt{n'^2_1 + n'^2_2}}$$

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.

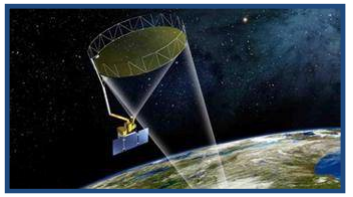
Углы ориентации нормали во время вспышек.




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° ± 4.2°
B = -55.4° ± 3.1°

# Выявление вращающихся элементов на борту КА



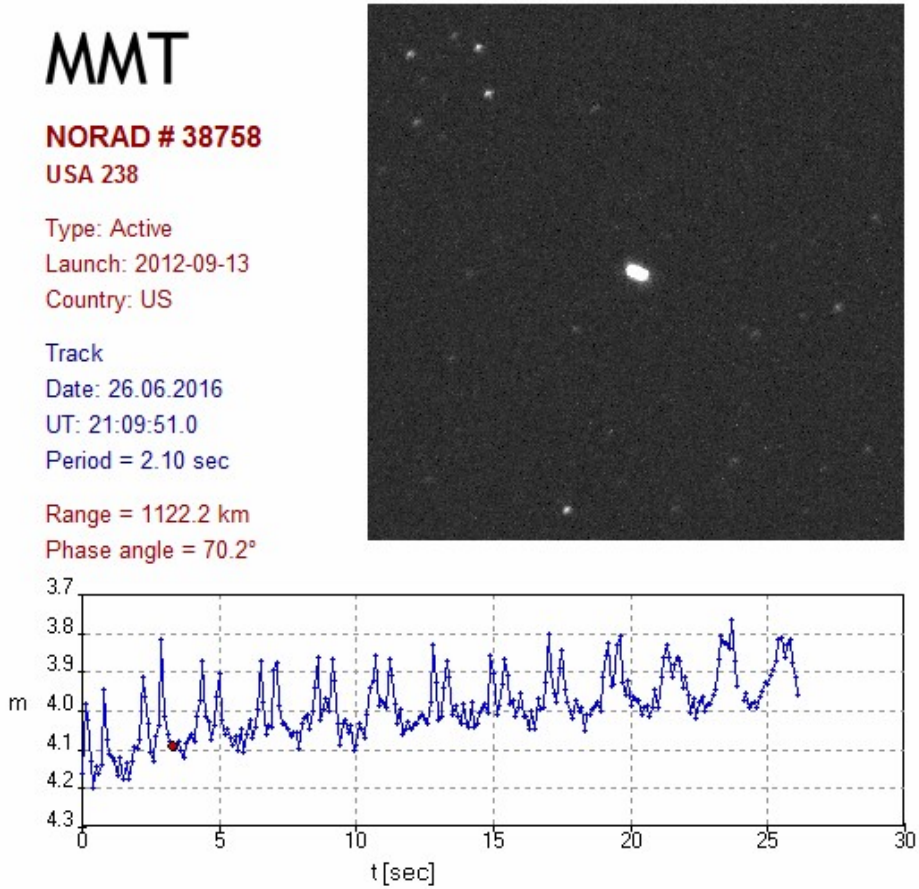
| КА | Междунар. обознач. / № КК ВВС США | Параметры | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Название ПН | Размер антенны, м | Средний приведенный блеск | Период изменения блеска, секунд | Максимальная амплитуда изменения блеска, mag |
| **КА USA-181 DEB (NOSS 3-3C)** | 2005-004C / 28541 | ? | ? | 4.3 ± 0.5 | 2.11 | **0.7** |
| **КА USA-194 DEB (NOSS 3-4C)** | 2007-027C / 31708 | | | 4.4 ± 0.6 | 2.10 | **1.3** |
| **КА USA-229 (NOSS 3-5A)** | 2011-014A / 37386 | | | 4.0 ± 0.6 | 2.10 | **0.5** |
| **КА USA-238 (NOSS 3-6A)** | 2012-048A / 38758 | | | 3.9 ± 0.7 | 2.12 | **0.6** |
| **КА USA-264 DEB (NOSS 3-7R)** | 2015-058R / 40981 | | | 3.8 ± 0.6 | 2.10 | **0.7** |
| **КА USA-274 (NOSS 3-8A)** | 2017-011A / 42058 | | | 3.7 ± 0.5 | 2.10 | **0.9** |
| **DMSP 5D-2 F15** | 1999-067A / 25991 | радиометр SSM/I (SSMIS) | 0.66 x 0.61 | 5.0 ± 0.8 | 1.89 | **2.0** |
| **DMSP 5D-3 F17** | 2006-050A / 29522 | | | 5.4 ± 0.8 | 1.90 | **0.4** |
| **DMSP 5D-3 F18** | 2009-057A / 35951 | | | 5.5 ± 0.9 | 1.90 | **0.8** |
| **DMSP 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

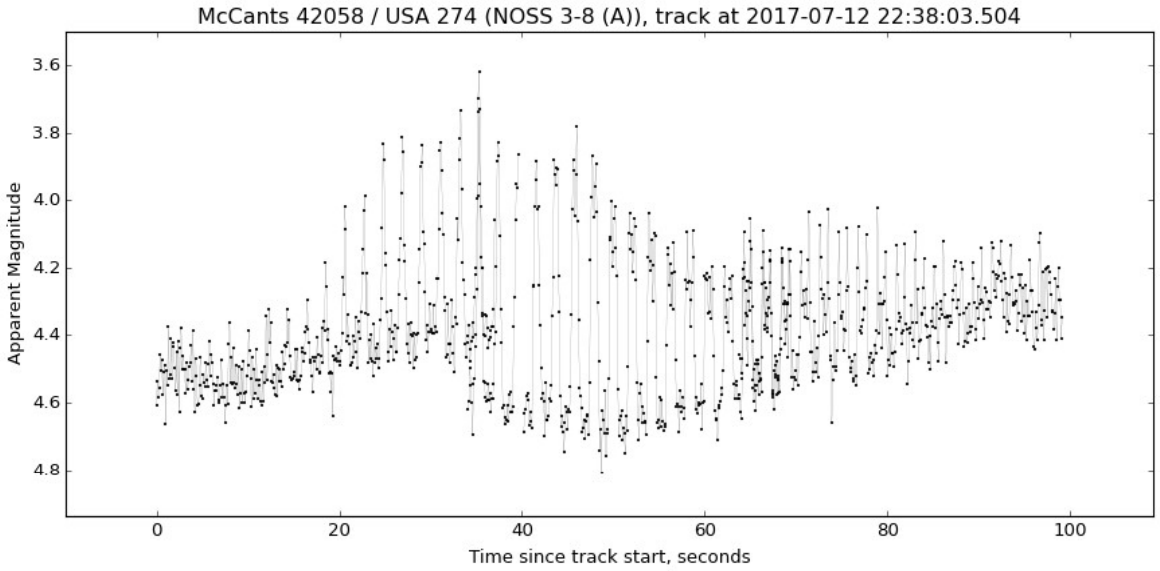
Американские низкоорбитальные КА радиотехнической разведки типа NOSS-3 в штатной конфигурации работают в составе пар. Спутники, составляющие пару, движутся в одной орбитальной плоскости, друг за другом (головной и замыкающий). Расстояние между КА в паре – 40…60 километров.
Внешний вид спутников неизвестен.

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



## Особенности периодичности у замыкающих NOSS

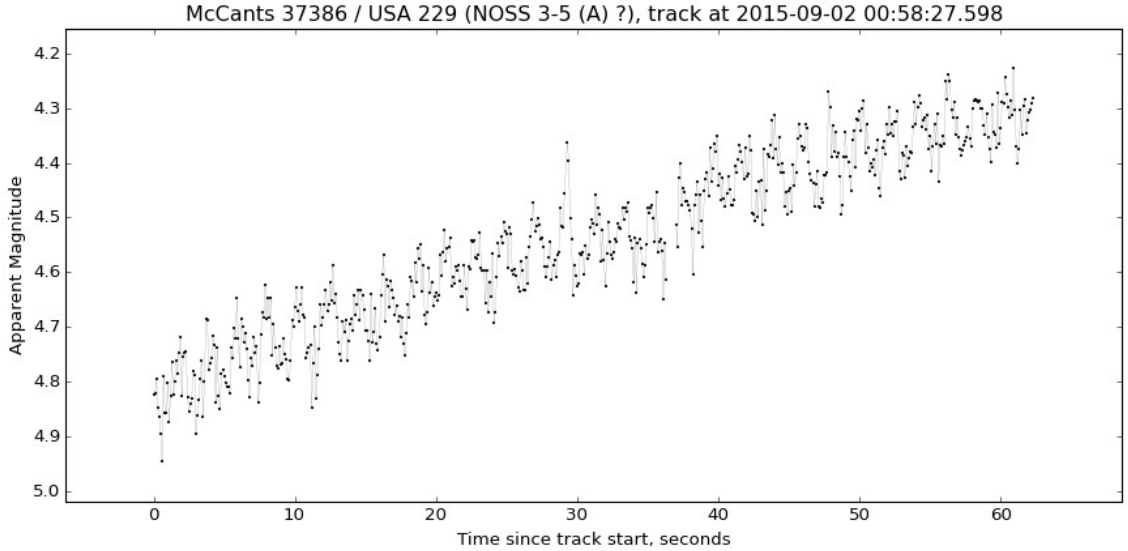
Периодичность видна не во всех проводках.




Периодичность может появляться и исчезать в течение 1 минуты.

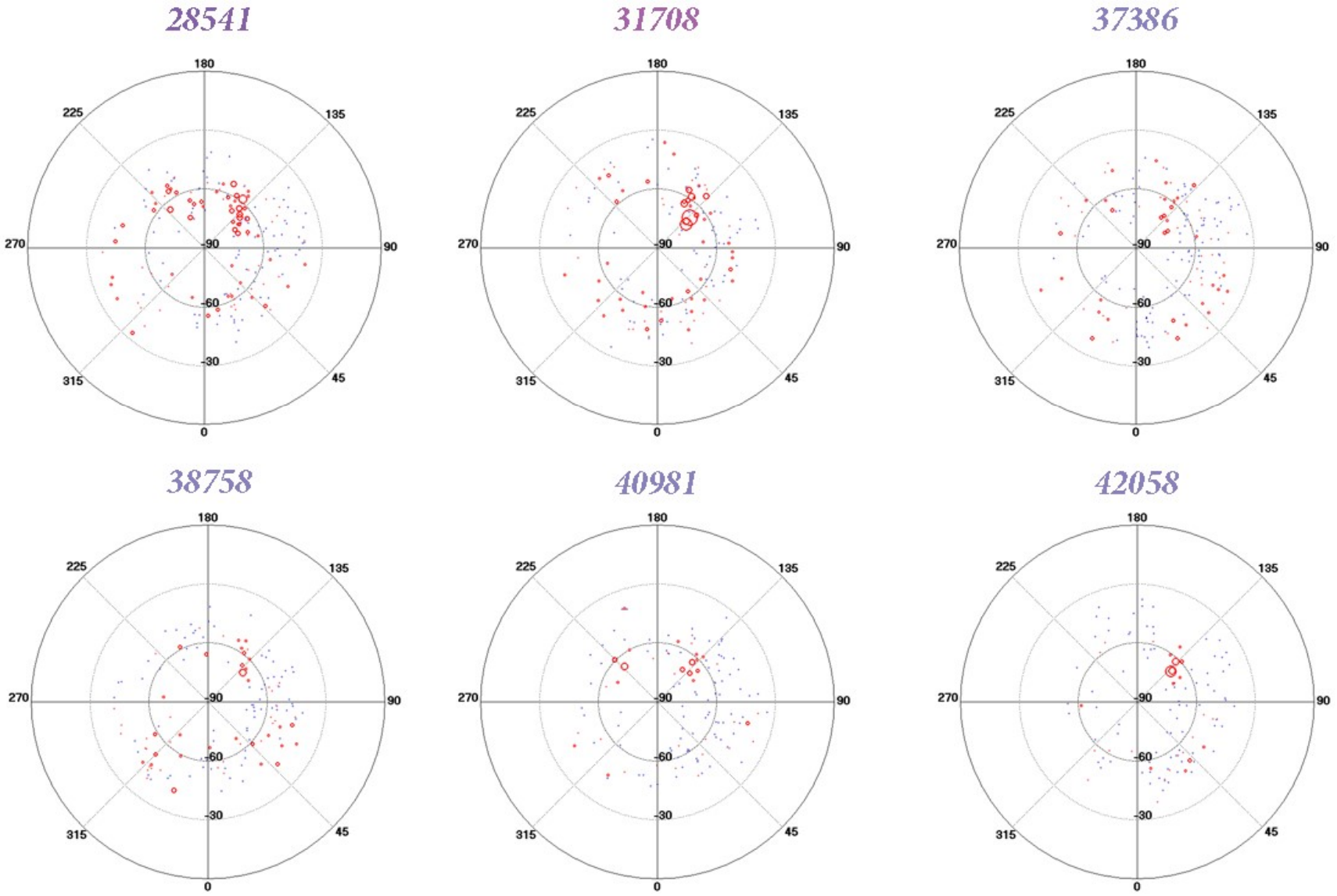
Типичная амплитуда периодичности 0.1 mag.

Редко амплитуда достигает 1 mag.



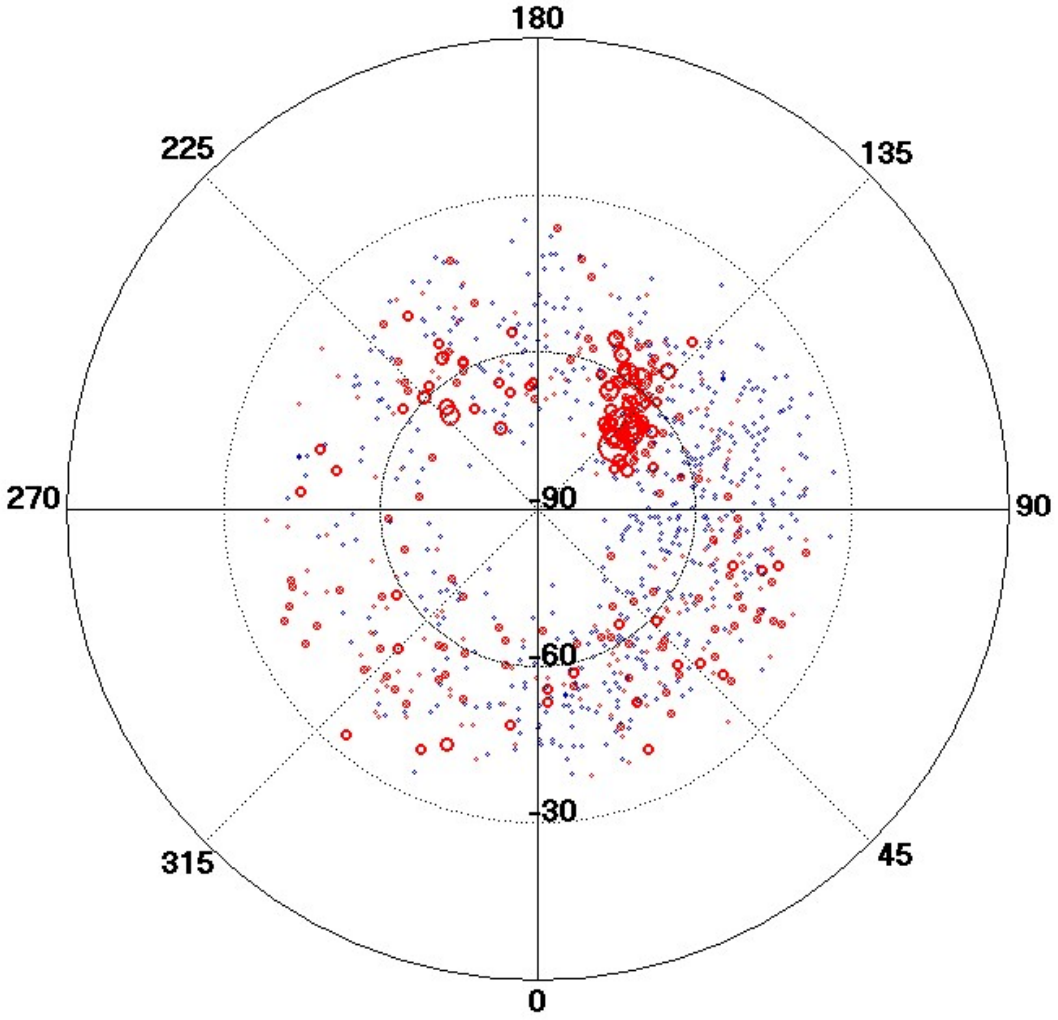
## Условия видимости периодичности у замыкающих NOSS

Углы A и B  в орбитальной системе координат для нормали отражения



## Условия видимости периодичности у замыкающих NOSS

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



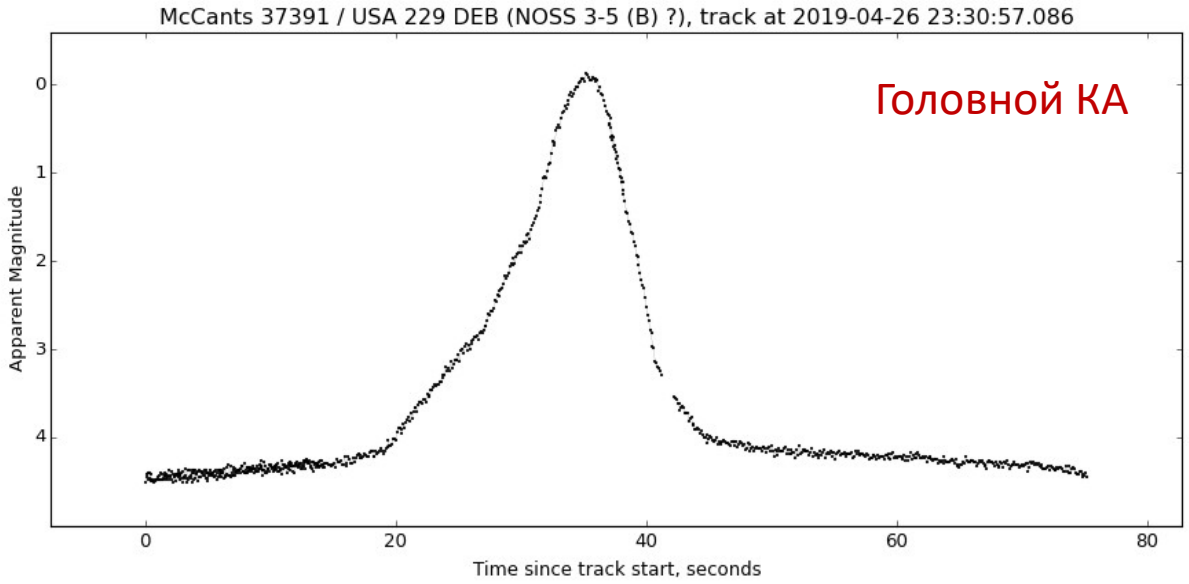

Максимальная вероятность наблюдать ярко выраженную периодичность при углах ориентации нормали отражающей поверхности:

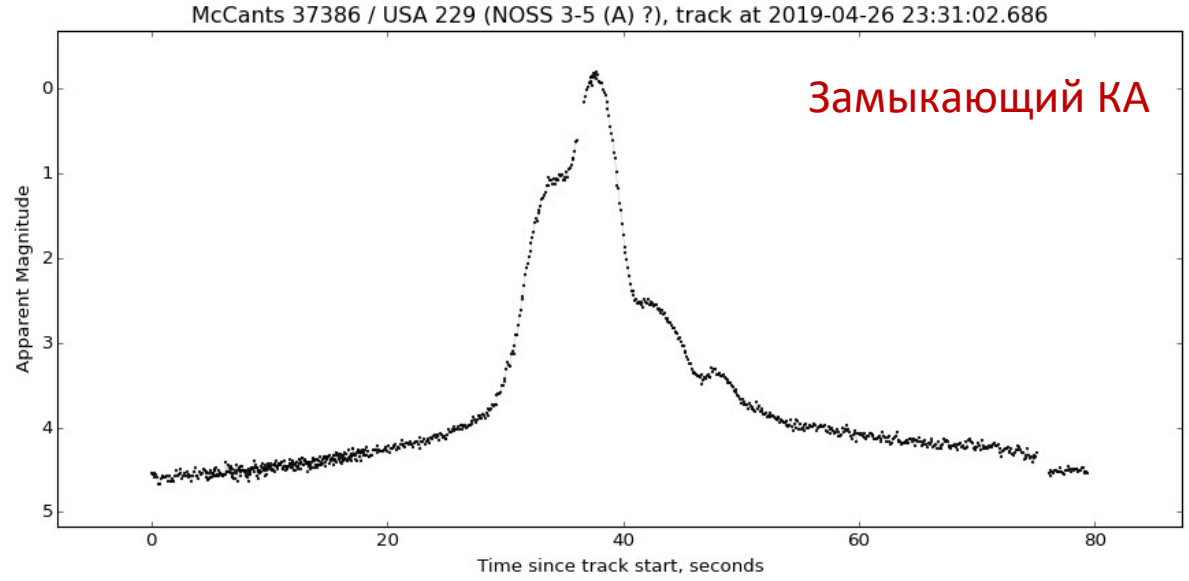
A  от 115° до 155 °

B  от -55°  до -75 °

## Вспышки NOSS

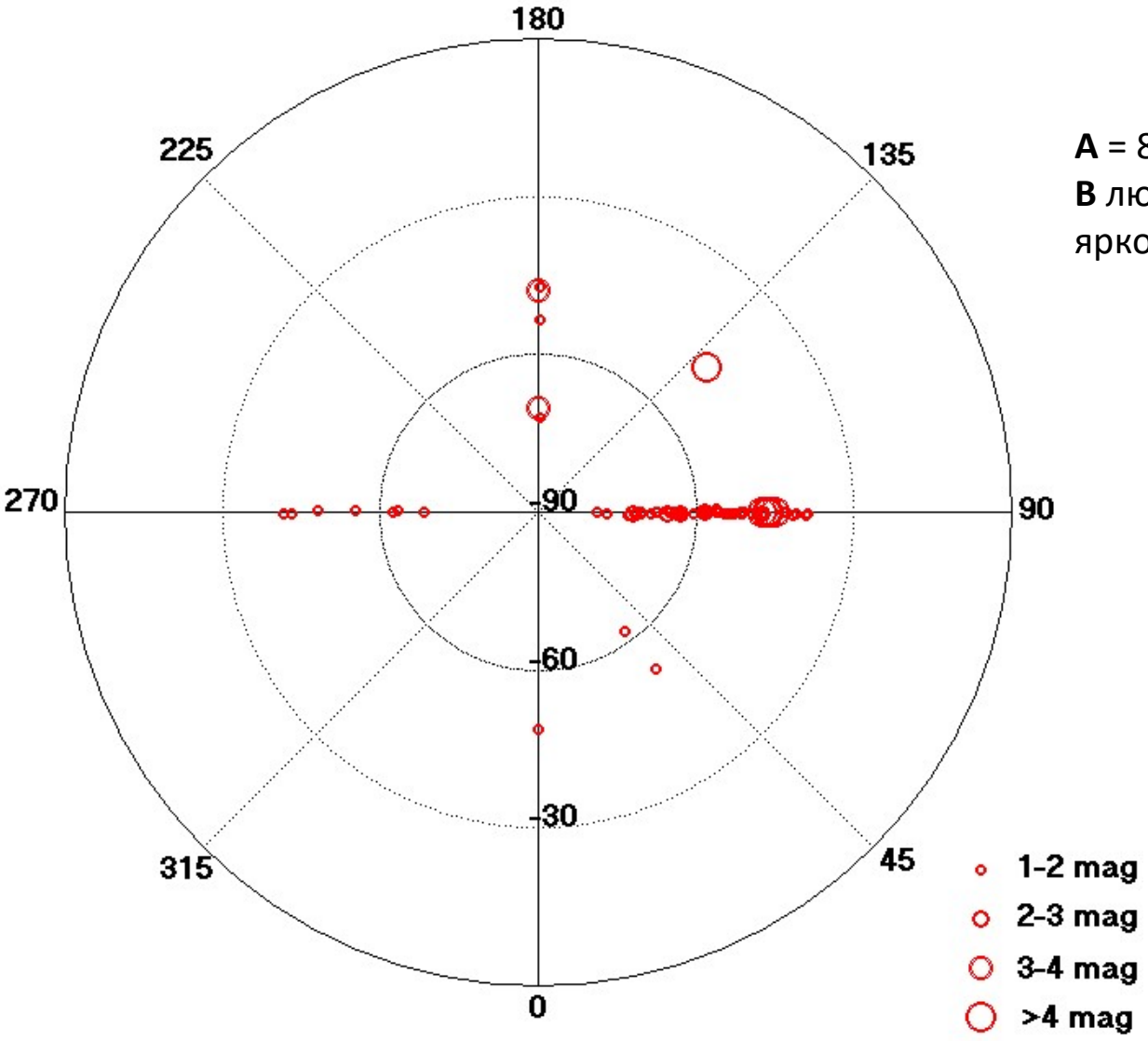
У всех NOSS наблюдаются повышения яркости длительностью 15-30 секунд.



# Вспышки NOSS

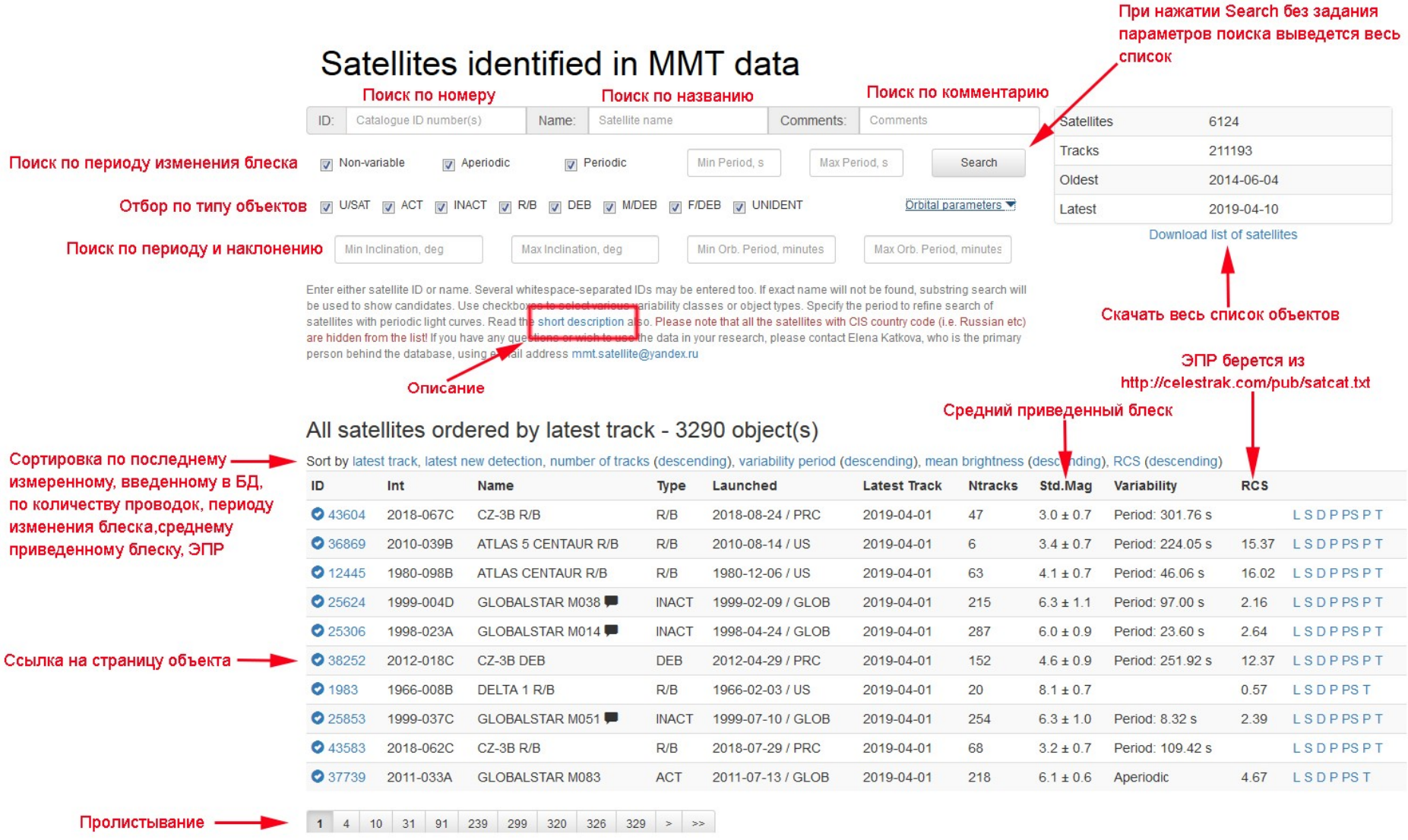
Углы A и B  в орбитальной системе координат для нормали отражения вспышки (по всем NOSS)



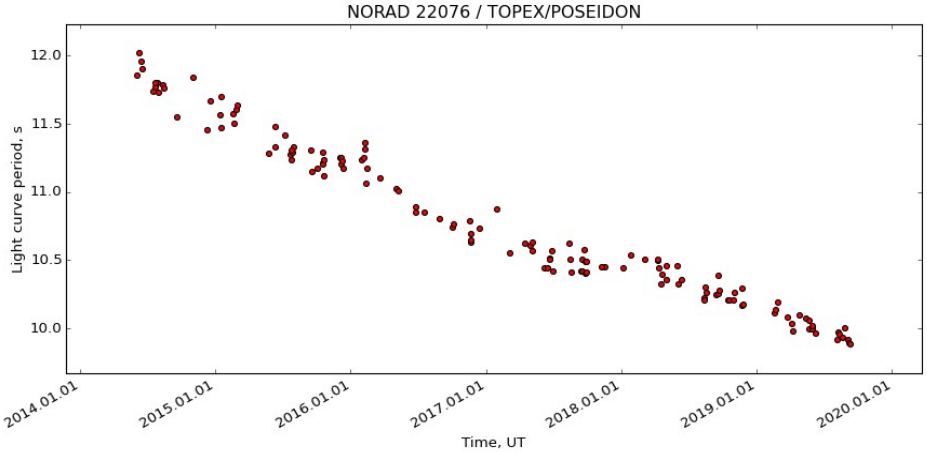

**A** = 89.9°
**B** любой, но максимальная яркость при **B** = - 46.5°

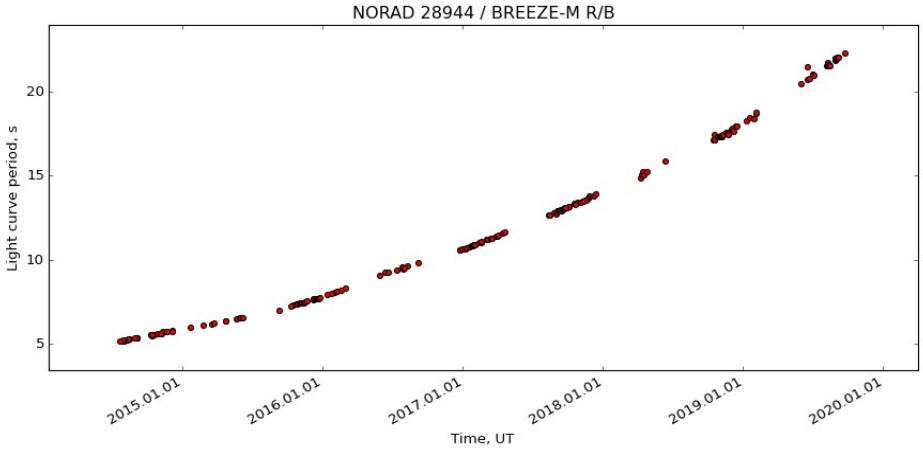
# Общий вид БД ММТ

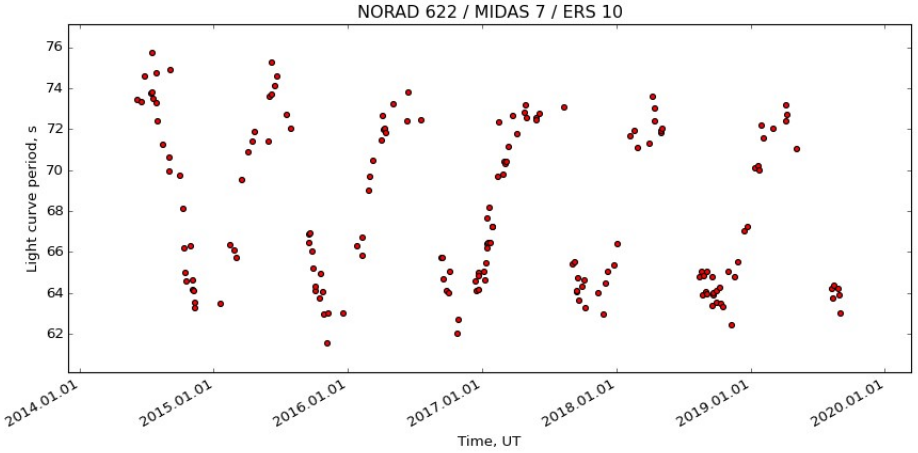
http://astroguard.ru/satellites или http://mmt9.ru/satellites/

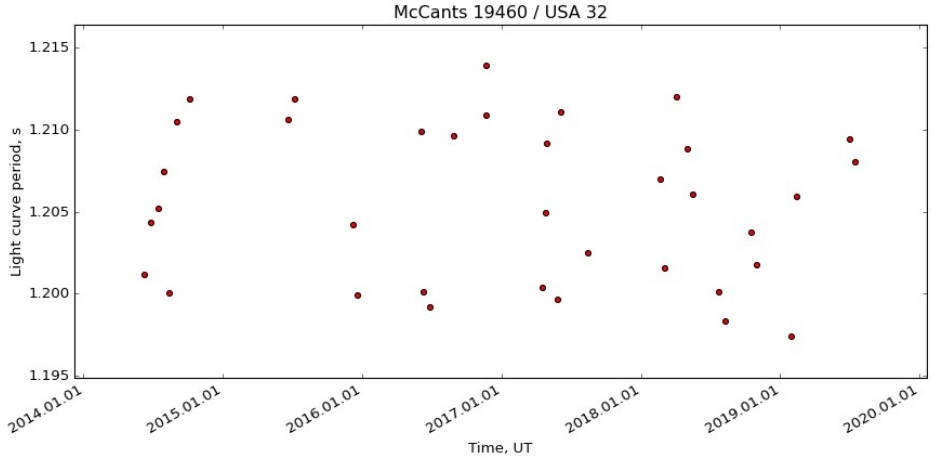


# Накопление данных о динамике периода вращения



# Поиск сгоревших КО в БД

## Satellites identified in MMT data

ID: Catalogue ID number(s) | Name: Satellite name | Comments: decay

Non-variable | Aperiodic | Periodic | Min Period, s | Max Period, s | Search

U/SAT | ACT | INACT | R/B | DEB | M/DEB | F/DEB | UNIDENT | Orbital parameters

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

Download list of satellites

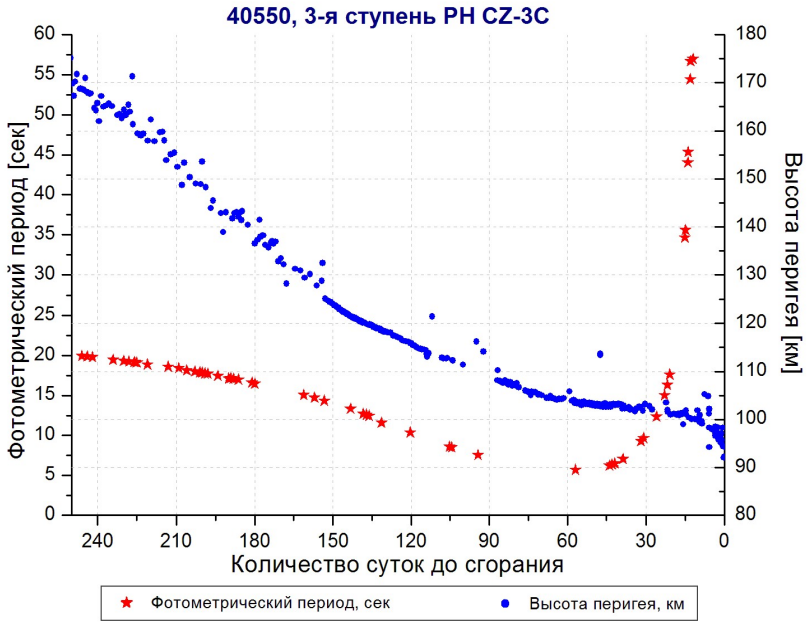
Enter either satellite ID or name. Several whitespace-separated IDs may be entered too. If exact name will not be found, substring search will be used to show candidates. Use checkboxes to select various variability classes or object types. Specify the period to refine search of satellites with periodic 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

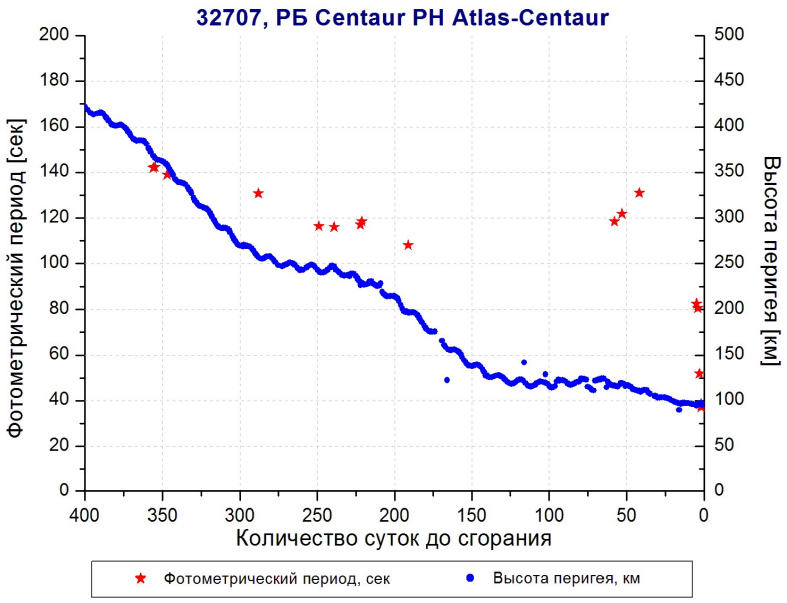
### All satellites ordered by latest track - 33 object(s)

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 PS 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 PS 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 PS 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 PS 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 PS 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 PS 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 PS 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 PS 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 PS P T |

# Изменение периода вращения перед сгоранием в атмосфере




После преодоления некоторой граничной высоты перигея вращение КО изменяется кардинально. В большинстве случае 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!

Пролет КА Starlink