

Массовая фотометрия низкоорбитальных ИСЗ на ММТ-9

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

¹НПК СПП СОН «Архыз», ²САО РАН, ³ООО «Параллакс», ⁴Казанский
(Приволжский) Федеральный Университет, ⁵АО «АНЦ «Проект-Техника»

Аннотация

В июне 2014 года началась тестовая эксплуатация 9-канальной системы высокого временного разрешения Mini-MegaTORTORA (ММТ-9). При рабочей экспозиции 0.1 секунды система имеет проницание по быстродвижущимся объектам до 10.0 mag. Наблюдения ИСЗ не являются главной задачей ММТ-9 в основном режиме функционирования, тем не менее за ночь фиксируется 200-500 пролетов низкоорбитальных и высокоэллиптических ИСЗ. На основе этих данных создана и поддерживается публичная база данных фотометрических характеристик измеренных спутников: <http://astroguard.ru/satellites>.

The 9-channel Mini-MegaTORTORA (ММТ-9) optical wide-field monitoring system with high temporal resolution system is in operation since June 2014. The system has 0.1 s temporal resolution and detection limit around 9.5 mag (calibrated to V filter) for fast-moving objects on this timescale. In addition to its main scientific operation, the system detects 200-500 tracks of satellites every night, both on low-altitude and high ellipticity orbits. Using these data we created and support the public database of photometric characteristics for these satellites, available at <http://astroguard.ru/satellites>.

1. Введение

Результаты многолетних наблюдений с широкоугольной одноканальной мониторинговой системой FAVOR (Karpov et al., 2005) в 2003-2009 годах

показали, что подобные системы являются перспективным инструментом для изучения низкоорбитальных ИСЗ. Начавшая работу в июне 2014 года система Mini-MegaTORTORA (Beskin et al., 2015; Карпов и др., 2015) имеет 9 каналов, более высокое пространственное и временное разрешение, а также несколько большую проникающую силу. Одной из основных её задач и является исследование искусственных спутников Земли. Угловые измерения ИСЗ, выделяемых автоматической системой обнаружения транзиентов (Karpov et al., 2010), имеют точность порядка 5-30", которой вполне достаточно для идентификации спутников на низких и средних орбитах, а получаемая фотометрическая информация высокого временного разрешения (временное разрешение 0.1 с) является уникальной и не имеющей аналогов в мире. Для её публикации нами создана регулярно пополняемая база данных, доступная по адресу <http://astroguard.ru/satellites>. В её открытую часть входят все измеренные ИСЗ, идентифицированные по публичным орбитальным данным и не принадлежащие Российской Федерации. За первые 12 месяцев в базу вошли оценки блеска 4245 низкоорбитальных и среднеорбитальных ИСЗ. Темпы пополнения БД в первый год работы отражены в Таблице 1.

Таблица 1. Темпы пополнения базы данных за первый год работы ММТ-9.

Год	Месяц	Количество наблюдательных часов	Количество проводок	Количество новых ИСЗ
2014	Июнь	53	3242	1499
	Июль	78	4209	1010
	Август	115	5671	555
	Сентябрь	103	3416	208
	Октябрь	175	4527	307
	Ноябрь	181	3680	179
	Декабрь	102	1839	81
2015	Январь	76	1478	83
	Февраль	100	2827	102
	Март	96	2727	79
	Апрель	55	2532	82
	Май	76	2982	60

2. Описание базы данных

Созданная нами фотометрическая база данных содержит для каждого измеренного ИСЗ общие данные (номер, название, дату запуска) и все кривые блеска данного спутника в графическом виде. Помимо графиков имеется возможность скачивания файлов фотометрических данных, содержащих дату, время, измеренный блеск, дальность и фазовый угол спутника. Для каждого ИСЗ по всем внеполутеневым измерениям вычисляется средний приведенный (к дальности 1000 км. и фазовому углу 90°) блеск. При режиме работы с цветовыми фильтрами системы BVR вычисляется и приведенный блеск в конкретном фильтре.

Все объекты в базе данных разделены на классы по типу изменения блеска, описание классов приведено в Таблице 2.

Таблица 2. Классификация типов переменности кривых блеска в базе данных

Класс	Описание
Периодичный (periodic)	Период изменения блеска определен хотя бы в одной проводке
Апериодичный (aperiodic)	Присутствуют непериодичные изменения блеска, или периодичность не определена из-за недостаточной длины проводки
Стабильный (non-variable)	В фотометрических данных отсутствуют значимые вариации блеска

Из 4337 объектов, содержащихся в БД ММТ на момент представления доклада, 2112 объектов имеют стабильный блеск, 1459 объектов имеют апериодические изменения блеска и 766 имеют периодичные изменения блеска.

Причины периодичного изменения блеска у объектов могут быть следующими:

- 1) Объект вращается вокруг оси пассивно неконтролируемым образом.
- 2) Объект стабилизирован вращением.
- 3) Объект имеет быстровращающийся элемент конструкции.

Вариант 1. Объект вращается вокруг оси пассивно. Эта причина характерна для отработавших КА, разгонных блоков (R/B), фрагментов.

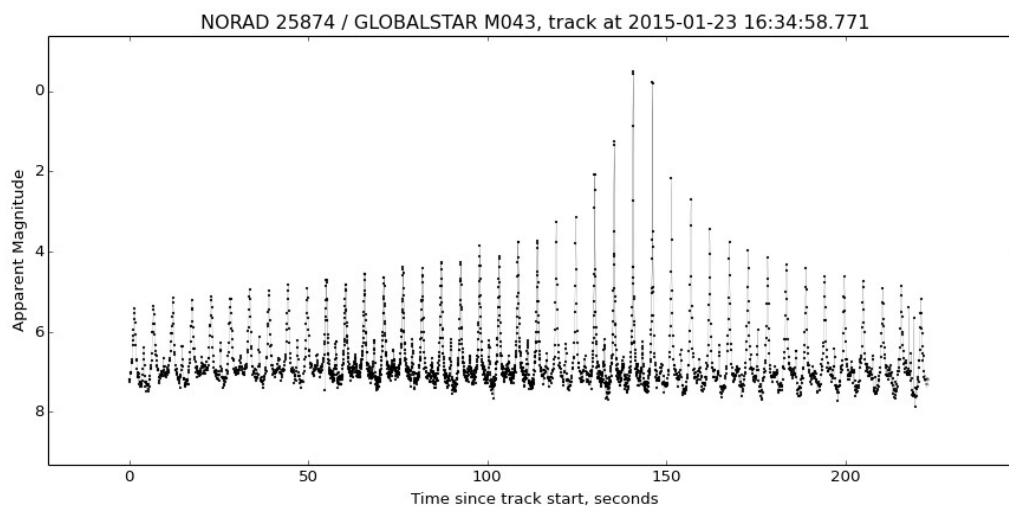


Рис.1. Пример пассивного КА, период вращения 10.7 сек.

Для ряда ИСЗ на интервале в год уже видна динамика периода изменения блеска (графики изменения периода кривой блеска доступны в БД для объектов класса “периодичный”):

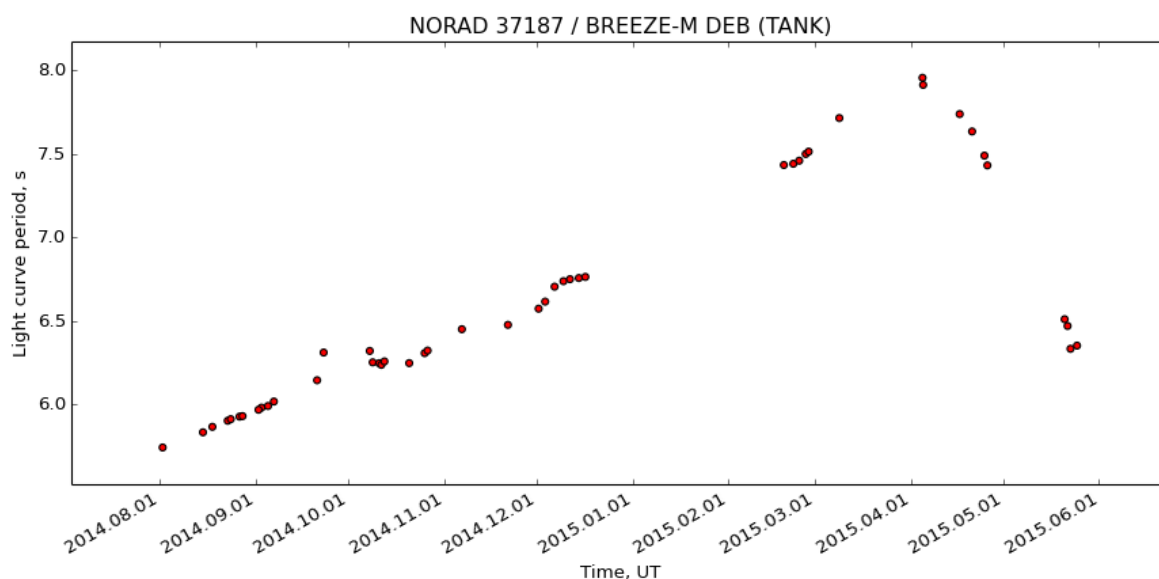


Рис.2. Пример немонотонного изменения периода вращения, вызванного остаточными технологическими процессами.

Вариант 2. ИСЗ стабилизирован вращением.

Примером данной причины периодического изменения блеска является КА Акебон (Norad 19822), который стабилизирован вращением, причем ось вращения ориентирована по направлению на Солнце. Штатная скорость

вращения этого КА составляет 7.5 оборотов в минуту (период 8 секунд). ИСЗ оснащен четырьмя симметричными конструктивными отражающими элементами, и по данным ММТ определялась $\frac{1}{4}$ периода. Как известно, в апреле 2015 г. эксплуатация Акебонo была прекращена, но еще какое-то время скорость вращения сохранялась. Последнее измерение данного ИСЗ в августе 2015 г. показывает, что скорость вращения начала замедляться.

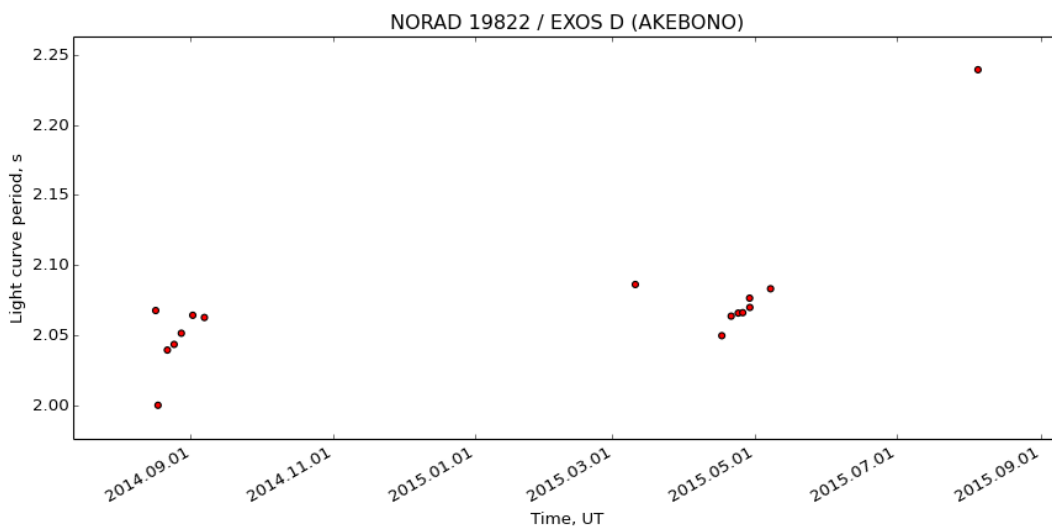


Рис.3. Период вращения ИСЗ, который был стабилизирован вращением.

Вариант 3. Объект имеет быстровращающийся элемент конструкции.

1) Американские военные метеорологические КА DMSP-5D.

КА этой группы имеют параболические антенны радиометра размером 0.66 x 0.61 м., вращающиеся со скоростью 31.9 об/мин (период 1.88 сек). Для трех ИСЗ этой серии (25991, 35951, 39630) определен период изменения блеска 1.9 сек. Амплитуда изменения блеска может быть как небольшой (Рис.4), так и довольно значительной (Рис.5).

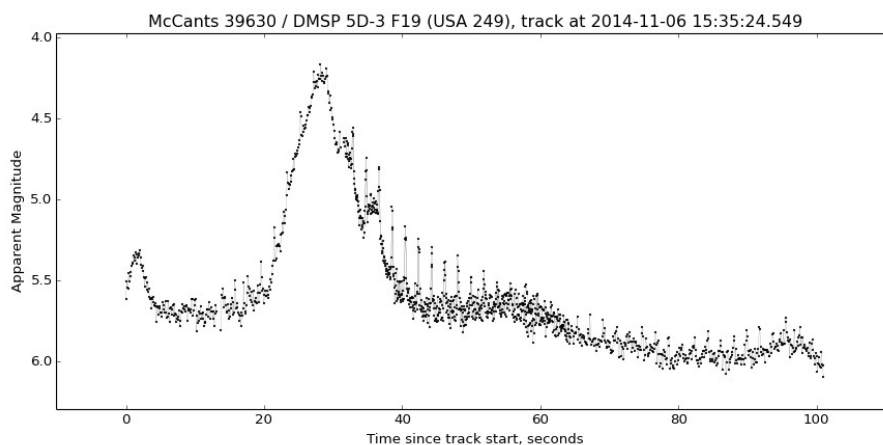


Рис.4. Осцилляции блеска с амплитудой менее 0.5 величины и периодом 1.9 с, вызванные вращением антенны радиометра КА.

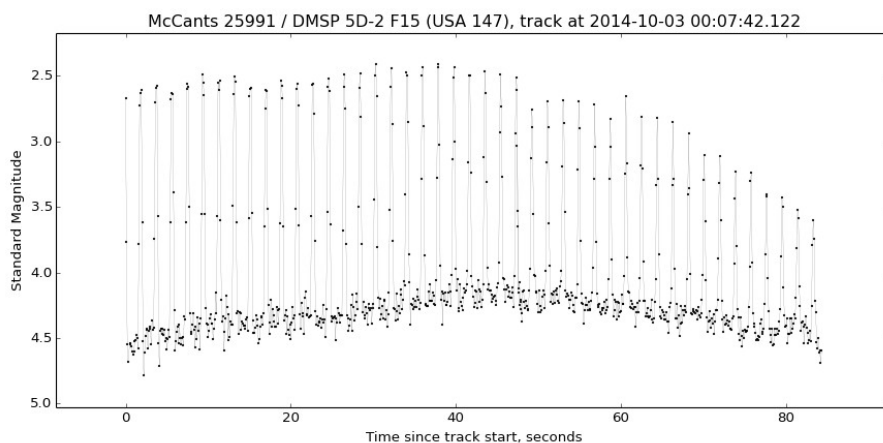


Рис.5. Осцилляции блеска с амплитудой 1-2 величины и периодом 1.91 с, вызванные вращением антенны радиометра КА.

2) Китайские метеорологические КА FengYun-3.

Эта группировка состоит из трех аппаратов, имеющих радиометры с параболическими антеннами 1.0 x 0.9 м. Скорость вращения антенны равна 1.7 ± 0.1 сек на оборот. По данным БД ММТ FengYun-3В и FengYun-3С имеют период изменения блеска 1.8 сек. У FengYun-3А периодичности не наблюдается, что согласуется с априорной информацией о том, что радиометр на этом КА вышел из строя вскоре после запуска.

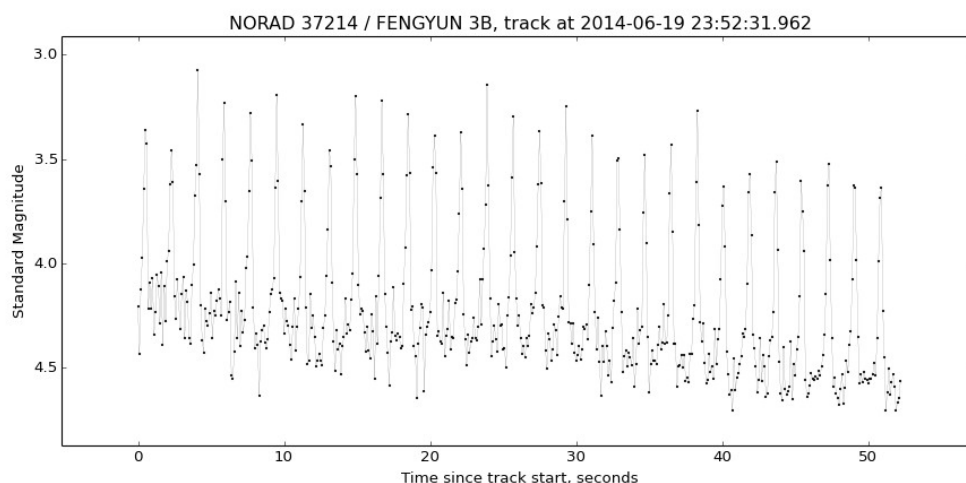


Рис.6. Ярковыраженный эффект вращения антенны с периодом 1.8 с.

3) Другие КА, имеющие в конструкции вращающиеся антенны.

Для космических аппаратов Coriolis (период 1.9 сек), GCOM W1 (период 1.5 сек) и GPM (период 1.8 сек) определенные по фотометрическим данным периоды изменения блеска соответствуют априорным данным о частоте вращения антенн.

4) КА, конструктивные особенности которых неизвестны.

Рассмотрим применение информации БД ММТ на примере КА типа NOSS-3. Общее построение системы NOSS-3 включает четыре орбитальных плоскости, в каждой из которых движется два КА при взаимном расстоянии 40-60 км. “Головной” КА идет впереди, “замыкающий” – сзади, построение не меняется. Данные о конструкции КА типа NOSS-3 в открытых источниках отсутствуют, так же как и данные о различиях между двумя КА, составляющими пару. В результате анализа данных, представленных в Таблице 3, выявлено периодическое изменение блеска “замыкающего” спутника в составе каждой из четырех активно работающих пар КА типа NOSS-3. Можно сделать предположение о наличии на борту “замыкающего” КА быстро вращающегося конструктивного элемента (например – сканирующей антенны). Предполагаемая скорость вращения указанного элемента составляет 28.6 об/мин.

Таблица 3. Данные о космических аппаратах типа NOSS-3, наблюдавшихся ММТ-9.

КА	SCN	Дата запуска	Колич. проводок в БД ММТ	Период в БД ММТ, сек	Примечание
NOSS 3-1A	26905	08.09.2001	22		Пара прекратила скоординирован- ный полет
NOSS 3-1C	26907	08.09.2001	27		
NOSS 3-2A	28095	02.12.2003	40		Пара прекратила скоординирован- ный полет
NOSS 3-2C	28097	02.12.2003	38		
NOSS 3-3A	28537	03.02.2005	33		“Головной”
NOSS 3-3C	28541	03.02.2005	34	2.10	“Замыкающий”
NOSS 3-4A	31701	15.06.2007	23		“Головной”
NOSS 3-4C	31708	15.06.2007	24	2.10	“Замыкающий”
NOSS 3-5A	37386	15.04.2011	35	2.10	“Замыкающий”
NOSS 3-5B	37391	15.04.2011	35		“Головной”
NOSS 3-6A	38758	13.09.2012	27	2.10	“Замыкающий”
NOSS 3-6P	38773	13.09.2012	28		“Головной”

Помимо определения наличия вращающихся элементов, по данным БД ММТ можно в ряде случаев определять факт функционирования КА, идентифицировать КА, выявлять столкновения и проводить мониторинг состояния низкоорбитальных спутниковых систем в целом.

Благодарности. Работа была поддержана грантами РФФИ (№. 09–02–12053 и 12–02–00743-А), программой Президиума РАН, а также грантом Европейского Союза (283 783, проект GLORIA) и Программой повышения конкурентоспособности Казанского Государственного Университета. В части проведения наблюдений работа была поддержана грантом РФФИ 14-50-00043.

Список литературы.

1. Karpov S. et al. *Nuovo Cimento C*, 28:747–750, July 2005.
2. Beskin G. et al, *Baltic Astronomy*, 2015, Vol.24, p.100-108.
3. Карпов С. и др., *настоящий том*.
4. Karpov S. et al. *Advances in Astronomy*, 2010, vol.2010, Article ID 784141