Многоканальный мониторинговый телескоп ММТ. Результаты анализа фотометрической информации по космическим объектам на околоземных орбитах. Февраль 2021 года.

Информационно-аналитический отчет.

2021

Список сокращений

AMSR	Advanced Microwave Scanning Radiometer
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
GCOM	Global Change Observation Mission
GMI	GPM Microwave Imager
GPM	Global Precipitation Measurement
GPS	Global Positioning System
MWRI	Microwave Radiation Imager
NOSS	Naval Ocean Surveillance System
OSCAT	Ocean Scatterometer
SCN	Satellite Catalog Number
SDS	Satellite Data System
SMAP	Soil Moisture Active Passive
SSM/I	Special Sensor Microwave Imager
SSMIS	Special Sensor Microwave Imager Sounder
TLE	Two Line Element
UTC	Coordinated Universal Time
БД ММТ	база данных многоканального мониторингового телескопа
ГО	головной обтекатель
ГСО	геостационарная орбита
ДВУ	долгота восходящего узла
ДЗЗ	дистанционное зондирование Земли
ДПТ	долгота подспутниковой точки
КА	космический аппарат
КК ВВС	Космическое командование Военно-воздушных сил
КО	космический объект
ММТ	многоканальный мониторинговый телескоп
НССС	низкоорбитальная система спутниковой связи
ОКП	околоземное космическое пространство
ОПМ	отношение площади к массе
ПН	полезная нагрузка
РБ	разгонный блок
РДТТ	ракетный двигатель твердого топлива
РН	ракета-носитель
САО	Специальная астрофизическая обсерватория
СБ	солнечная батарея
СНС	спутниковая навигационная система
ЭО	элементы орбиты
ЭПР	эквивалентная площадь рассеяния

СОДЕРЖАНИЕ

1. Многоканальный мониторинговый телескоп ММТ и база данных БД ММТ.....5

2. Наблюдения космических объектов на околоземных орбитах системой ММТ в феврале 2021 года.....6

3. Космические объекты, внесенные в БД ММТ в феврале 2021 года.....7

4. Оценка состояния КА с быстровращающимися внешними антеннами.....10

5. Оперативная оценка состояния многоспутниковых группировок.....16

5.1 НССС Iridium.....16

5.2 НССС Globalstar.....18

5.3 НССС Orbcomm.....19

5.4 НССС Starlink.....21

5.5 НССС OneWeb.....22

6. Непривязанные измерения системы ММТ, полученные в феврале 2021 года.....24

Заключение.....26

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Рисунок 1. Наработка системы ММТ в феврале 2021 года.....6
Рисунок 2. Распределение находящихся на орбите КА типа Iridium по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021).....17
Рисунок 3. Распределение КА типа Globalstar по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021).....19
Рисунок 4. Распределение КА Orbcomm по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021).....21
Рисунок 5. Распределение КА типа Starlink по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021).....22
Рисунок 6. Распределение КА типа OneWeb по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021).....23

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Космические объекты, ранее не измерявшиеся системой ММТ и внесенные в открытую часть БД ММТ в течение февраля 2021 года.....8
Таблица 2. Информация по КА с быстровращающимися внешними антеннами (по состоянию на 1.03.2021).....11
Таблица 3. Поступление измерительной информации системы ММТ по активн. КА с быстровращающимися элементами конструкции за последние 12 месяцев.....14
Таблица 4. Сводные данные по КА типа Iridium 1-го покол. (на 1.03.2021).....16
Таблица 5. Сводные данные по КА типа Iridium 2-го покол. (на 1.03.2021).....17
Таблица 6. Сводные данные по КА типа Globalstar 1-го покол. (на 1.03.2021).....18
Таблица 7. Сводные данные по КА типа Globalstar 2-го покол. (на 1.03.2021).....18
Таблица 8. Сводные данные по КА типа Orbcomm 1-го покол. (на 1.03.2021).....20
Таблица 9. Сводные данные по КА типа Orbcomm-QL (на 1.03.2021).....20
Таблица 10. Сводные данные по КА типа Orbcomm 2-го покол. (на 1.03.2021).....20
Таблица 11. Сводные данные по КА типа Starlink (на 1.03.2021).....22
Таблица 12. Сводные данные по КА типа OneWeb (на 1.03.2021).....23
Таблица 13. Непривязанные проводки системы ММТ, полученные в феврале 2021 года 25

1. Многоканальный мониторинговый телескоп ММТ и база данных БД ММТ

В феврале 2021 года продолжены наблюдения на многоканальном мониторинговом телескопе ММТ. Работы выполнялись Казанским (Приволжским) Федеральным Университетом, совместно с САО РАН и АО «НПК СПП».

Система ММТ предназначена для широкоугольного мониторинга небесной сферы с целью обнаружения, классификации и исследования переменных в пространстве и во времени источников оптического излучения.

Основная целевая функция системы ММТ – астрофизические наблюдения в интересах изучения оптических послесвечений, сопровождающих космические гамма-всплески. С этой целью производится мониторинг определенных участков небесной сферы по целеуказаниям, выдаваемым низкоорбитальными астрофизическими КА Swift и Fermi. Часть наблюдательного времени система ММТ использует для обзоров всей видимой части небесной сферы в интересах задачи фотометрирования звездных полей.

В качестве дополнительного результата своей работы система ММТ получает большие объемы оптической измерительной информации по объектам искусственного происхождения на околоземных орбитах (космические аппараты, ступени РН и РБ, фрагменты).

Место дислокации системы ММТ – Северный Кавказ, поселок Нижний Архыз. Географические координаты пункта 43°38'59.5"с.ш. 41°25'53.3"в.д., высота над уровнем моря 2030 метров.

Поле зрения одного оптического канала 100 кв. градусов (~11° x 9.5°), общее поле зрения системы ММТ – 900 кв. градусов. Разрешение системы по времени – 0.1 с (10 кадров в секунду), при этом минимальный блеск обнаруживаемого объекта – 12-я звездная величина. Предел проницания по быстродвижущимся объектам составляет порядка 9.5…10.0 зв. вел.

В течение наблюдательной ночи в поле зрения системы ММТ попадают от 100 до 400 КО, находящиеся на околоземных орбитах. По полученным кадрам определяются угловые координаты и блеск этих объектов. Угловые координаты КО идентифицируются по открытым источникам орбитальной информации. В качестве источников орбитальных данных используются двустрочные элементы TLE, выдаваемые Космическим командованием ВВС США, и орбитальная информация независимых наблюдателей (для КО, по которым КК ВВС США не выдает элементы орбит).

По результатам наблюдений системы ММТ формируется и оперативно пополняется база данных фотометрии КО на околоземных орбитах.

Для каждого КО по всем полученным измерениям (исключая полутеневые засечки) вычисляется средний приведенный (к дальности 1000 километров и фазовому углу 90°) блеск. При режиме работы с фотометрическими фильтрами BVR вычисляется приведенный блеск в конкретном фильтре. Для КО, имеющих явную периодичность блеска, определяется период изменения блеска (в секундах).

Помимо измеренного и приведенного блеска объектов, в БД заносятся данные о дальности и фазовом угле во время наблюдений, а также кривые изменения блеска.

Часть фотометрической информации, относящаяся к иностранным КО, предоставляется в открытый публичный доступ. Данные доступны на интернет-сайте http://mmt9.ru/satellites/. Через веб-интерфейс БД ММТ доступны как усредненные данные по каждому занесенному в базу КО, так и сведения по каждой идентифицированной проводке.

Приведенные в БД ММТ данные по периодам вращения КО являются достоверными и подтверждаются другими источниками информации о состоянии КО на момент получения измерений.

2. Наблюдения космических объектов на околоземных орбитах системой ММТ в феврале 2021 года.

По состоянию на 1 марта 2021 года, в базе данных многоканального мониторингового телескопа (БД ММТ) содержится фотометрическая информация о 7988 КО на околоземных орбитах, измеренных в 317076 проводках. Информация по 4890 иностранным КО (153632 проводки) представлена в открытой публичной части БД ММТ.

В течение февраля 2021 года системой ММТ отработано (полностью или частично) 10 ночей (рис. 1), получены измерения по 890 КО на околоземных орбитах. Информация по 514 иностранным КО, измеренным в течение февраля, представлена в открытой публичной части БД ММТ.

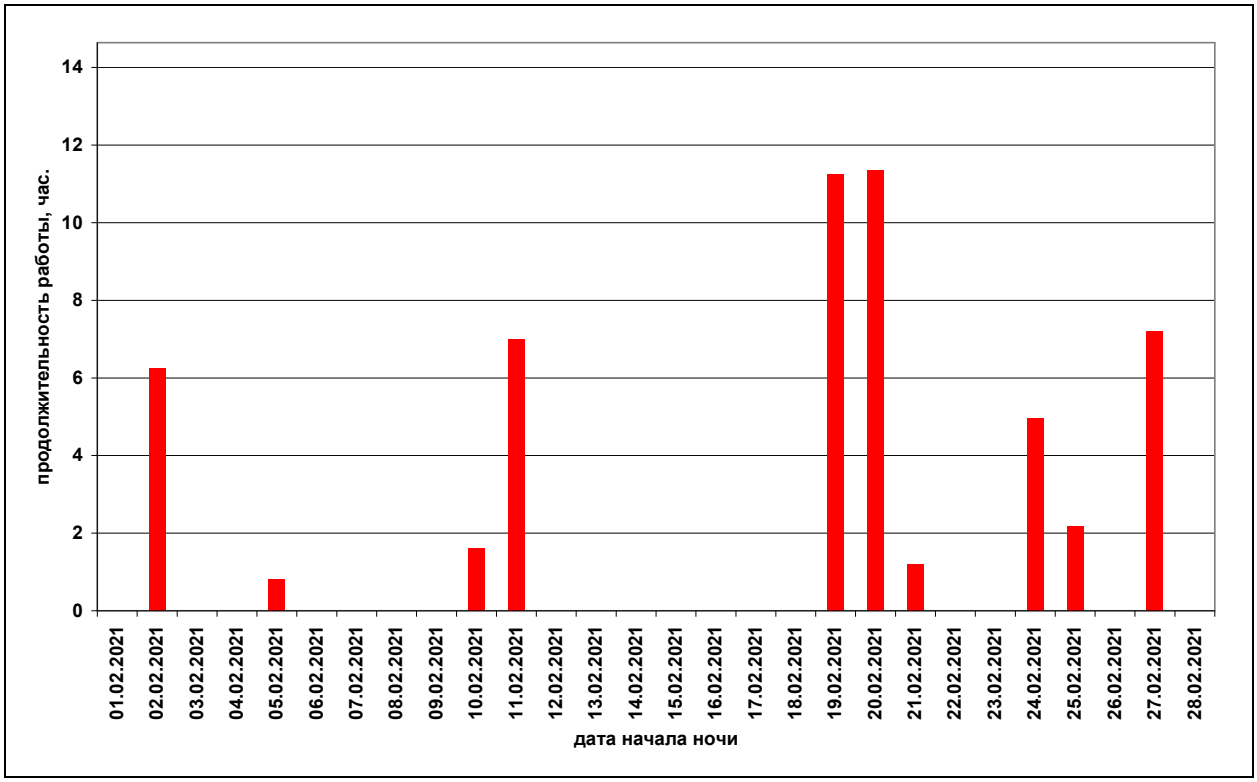

Рисунок 1. Наработка системы ММТ в феврале 2021 года

В феврале 2021 года в БД ММТ внесены 28 новых (ранее не измерявшихся системой ММТ) космических объектов. Из этого количества новых КО, внесенных в БД ММТ в феврале 2021 года, 23 объекта являются иностранными КО; информация по ним представлена в открытой публичной части БД ММТ.

Основные сведения об иностранных КО, внесенных в БД ММТ в течение февраля 2021 года, приводятся в разделе 3 отчета.

Разделы 4 и 5 отчета посвящены вкладу системы ММТ в решение частных задач оценки обстановки в околоземном космическом пространстве (ОКП). В разделе 4 описано использование измерительной информации ММТ для оценки состояния космических аппаратов с внешними быстровращающимися антеннами; в разделе 5 – для оперативной оценки состояния многоспутниковых группировок.

В разделе 6 приводятся данные о проводках, для которых на основе имеющихся источников орбитальных данных не удалось выполнить привязку к известным КО.

Отчет составлен на основе публичных открытых источников информации.

3. Космические объекты, внесенные в БД ММТ в феврале 2021 года

В феврале 2021 года в открытую часть базы фотометрической информации системы ММТ (БД ММТ) внесены 23 новых (ранее не измерявшихся системой ММТ) иностранных КО.

Вновь внесенные в БД ММТ иностранные объекты распределяются по типам КО следующим образом:

- 19 КО – космические аппараты (в т.ч. 14 КА Starlink);
- 3 КО – ступени РН и РБ;
- 1 КО – фрагмент.

Распределение вновь внесенных в БД ММТ иностранных объектов по типам орбит:

- 23 КО на низких орбитах.

Для одного объекта из 23 иностранных КО, внесенных в открытую часть БД ММТ в течение февраля, по результатам выполненных измерений определена величина фотометрического периода.

Информация по 23 иностранным КО, ранее не измерявшимся системой ММТ и внесенным в открытую часть БД ММТ в течение февраля 2021 года, приведена в табл. 1. В дополнение к фотометрической информации из БД ММТ, в таблице приводятся параметры орбит соответствующих КО, а также данные по величинам ЭПР объектов (по информации интернет-сайта ***celestrak.com***).

В табл. 1 в графе «Тип КО» используются условные обозначения:

- «ACT» – активный КА;
- «INACT» – нефункционирующий КА;
- «U/SAT» – КА без уточнения функционального состояния;
- «R/B» – ступень РН или РБ;
- «M/DEB» – операционный (технологический) фрагмент запуска;
- «F/DEB» – фрагмент разрушения;
- «DEB» – фрагмент без уточнения способа образования;
- «UNID» – КО неизвестного типа.

Привязка измерений системы ММТ к космическим объектам произведена на основе орбитальной информации Космического командования ВВС США. Для КО, по которым КК ВВС США не выдает в открытый публичный доступ оперативную орбитальную информацию, привязка измерений системы ММТ выполнена на основе орбитальных данных независимых наблюдателей.

Таблица 1. Космические объекты, ранее не измерявшиеся системой ММТ и внесенные в открытую часть БД ММТ в течение февраля 2021 года

КО	Междунар. обознач. / № КК ВВС США	Тип КО	По информации БД ММТ			Элементы орбиты (по данным КК ВВС США или по данным независимых наблюдателей)				ЭПР, $м^2$
			Кол. проводок в БД ММТ	Средний приведен-ный блеск	Периодичность изменения блеска	Период, мин.	Наклонение, °	Выс. апогея, км	Выс. перигея, км	
КА Starlink-1499	2020-038AJ / 45762	U/SAT	1	6.5 ± 0.2		95.59	53.06	548	546	
КА RedEye-2 (Merlot)	1998-067RM / 45800	U/SAT	1	9.2 ± 0.1		92.78	51.64	411	410	
КА RedEye-3 (Cabernet)	1998-067RN / 45809	U/SAT	1	9.3 ± 0.2		92.77	51.64	411	410	
КА Starlink-1574	2020-055AM / 46062	U/SAT	1	8.1 ± 0.1		95.59	53.06	548	546	
КА Starlink-1905	2020-074H / 46746	U/SAT	1	8.0 ± 0.1		95.59	53.05	549	545	
КА Starlink-1903	2020-074AB / 46764	U/SAT	1	7.9 ± 0.1		95.59	53.06	549	545	
КА Starlink-1942	2020-074BH / 46794	U/SAT	1	8.1 ± 0.1		95.59	53.06	549	546	
КА Starlink-1944	2020-074BK / 46796	U/SAT	1	8.2 ± 0.1		95.59	53.05	548	546	
КА Starlink-1852	2020-088T / 47139	U/SAT	2	7.5 ± 0.9		95.70	53.04	554	551	
КА Starlink-1860	2020-088AB / 47147	U/SAT	1	8.0 ± 0.2		95.59	53.05	549	546	
КА Starlink-1862	2020-088AD / 47149	U/SAT	2	7.0 ± 0.4		95.59	53.05	549	546	
КА Starlink-1867	2020-088AH / 47153	U/SAT	1	6.5 ± 0.1		95.59	53.05	549	546	
КА Starlink-1877	2020-088AS / 47162	U/SAT	1	7.8 ± 0.3		95.59	53.05	549	546	
КА Starlink-1881	2020-088AW / 47166	U/SAT	1	6.6 ± 0.3		94.41	53.04	491	489	
КА Starlink-1885	2020-088AY / 47168	U/SAT	1	6.3 ± 0.5		95.59	53.05	549	546	

КО	Междунар. обознач. / № КК ВВС США	Тип КО	По информации БД ММТ			Элементы орбиты (по данным КК ВВС США или по данным независимых наблюдателей)				ЭПР, $м^2$
			Кол. проводок в БД ММТ	Средний приведен-ный блеск	Периодичность изменения блеска	Период, мин.	Наклонение, °	Выс. апогея, км	Выс. перигея, км	
КА Starlink-1887	2020-088BA / 47170	U/SAT	1	6.8 ± 0.2		95.59	53.05	549	546	
РБ Curie РН Electron	2021-004B / 47347	R/B	1	7.3 ± 0.5		101.62	89.99	1215	456	
2 ст. РН Electron	2021-004C / 47348	R/B	1	6.7 ± 1.1	период 4.78 с	97.70	90.00	1084	213	
КА Yaogan-31D	2021-007A / 47532	АСТ	1	5.0 ± 0.3		107.05	63.41	1097	1083	
КА Yaogan-31E	2021-007B / 47533	АСТ	1	5.2 ± 0.2		107.05	63.41	1097	1083	
адаптер РН CZ-4C	2021-007D / 47535	M/DEB	1	6.0 ± 0.7		107.16	63.40	1099	1091	
КА Yaogan-31F	2021-007E / 47536	АСТ	1	5.1 ± 0.2		107.05	63.41	1097	1083	
3 ст. РН CZ-4C	2021-007F / 47537	R/B	1	4.7 ± 0.7		105.28	63.46	1096	920	

4. Оценка состояния КА с быстровращающимися внешними антеннами

Выполняемые с помощью системы ММТ наблюдения демонстрируют, что наличие в составе космического аппарата быстровращающегося (с периодом несколько секунд) внешнего конструктивного элемента вносит устойчивые характерные особенности в фотометрические характеристики данного КА. Наличие этих характерных признаков может быть определено на основе измерительной информации, получаемой системой ММТ, что дает возможность контролировать функциональность спутников данного класса в целом, а также позволяет определять состояние отдельных компонентов их полезной нагрузки.

В таблице 2 представлены сведения по КА с быстровращающимися внешними антеннами (по состоянию на 1.03.2021). Приводятся описание компонентов полезной нагрузки спутников с быстровращающимися антеннами, данные по размерам вращающихся конструктивных элементов, информация о номинальных скоростях их вращения. По каждому КА приводится обобщенная информация из БД ММТ (количество проводок, полученных за все время наблюдения, средний приведенный блеск и его вариация, определенный по измерениям период изменения блеска). Также приведены данные о количестве суток, прошедшем с момента получения системой ММТ последней проводки по каждому из представленных КА, и количество суток с момента последнего подтверждения системой ММТ номинальной скорости вращения быстровращающейся внешней антенны КА.

Подробное описание каждого из представленных в таблице спутников приводится в разделе 4 информационно-аналитического отчета «Многоканальный мониторинговый телескоп ММТ. Результаты анализа фотометрической информации по космическим объектам на околоземных орбитах. Декабрь 2018 года» (http://mmt9.ru/wp-content/uploads/report/%D0%9C%D0%9C%D0%A2_2018_12.pdf).

В таблице 3 приведена информация по количеству проводок, полученных системой ММТ по каждому из рассматриваемых активных КА с быстровращающимися внешними антеннами за последние 12 месяцев. Указано общее количество проводок, полученное в течение каждого месяца по каждому КА, и количество проводок, в которых подтверждена номинальная скорость вращения быстровращающейся внешней антенны.

Таблица 2. Информация по КА с быстровращающимися внешними антеннами (по состоянию на 1.03.2021)

КА	Междунар. обознач. / № КК ВВС США	Описание элемента ПН с вращающимся конструктивным элементом			Информация из БД ММТ					Примечание
		Название ПН	Размер антенны, м	Скорость вращения, об/мин (секунд на 1 оборот)	Количество проводок в БД ММТ	Средний приведенный блеск	Период изменения блеска, секунд	Давность последней полученной проводки, суток	Давность последней проводки с подтверждением период. блеска, суток	
КА USA-181 DEB (NOSS 3-3C)	2005-004C / 28541	?	?	?	169	4.4 ± 0.5	2.10	81	128	«замыкающий» КА пары NOSS 3-3
КА USA-194 DEB (NOSS 3-4C)	2007-027C / 31708				137	4.5 ± 0.5	2.08	60	763	«замыкающий» КА пары NOSS 3-4, периодич. блеска не наблюдается с янв.2019
КА USA-229 (NOSS 3-5A)	2011-014A / 37386				166	4.0 ± 0.6	2.11	9	9	«замыкающий» КА пары NOSS 3-5
КА USA-238 (NOSS 3-6A)	2012-048A / 38758				142	3.9 ± 0.6	2.10	37	37	«замыкающий» КА пары NOSS 3-6
КА USA-264 DEB (NOSS 3-7R)	2015-058R / 40981				142	3.9 ± 0.5	2.10	91	94	«замыкающий» КА пары NOSS 3-7
КА USA-274 (NOSS 3-8A)	2017-011A / 42058				107	3.8 ± 0.5	2.20	9	73	«замыкающий» КА пары NOSS 3-8
DMSP 5D-2 F15 (USA 147)	1999-067A / 25991	радиометр SSM/I (SSMIS)	0.66 x 0.61	31.9 (1.88)	116	5.2 ± 0.7	1.90	4	4	
DMSP 5D-3 F16 (USA 172)	2003-048A / 28054				104	5.4 ± 0.6		4		вероятно, радиометр SSMIS не работает
DMSP 5D-3 F17 (USA 173)	2006-050A / 29522				44	5.4 ± 0.7	1.90	56	872	периодич. блеска не наблюдается с окт.2018
DMSP 5D-3 F18 (USA 210)	2009-057A / 35951				59	5.6 ± 1.1	1.90	4	1570	периодич. блеска не наблюдается с нояб.2016
DMSP 5D-3 F19 (USA 249)	2014-015A / 39630				45	5.2 ± 0.8	1.90	38	1911	КА не функционирует с августа 2017 года

КА	Междунар. обознач. / № КК ВВС США	Описание элемента ПН с вращающимся конструктивным элементом			Информация из БД ММТ					Примечание
		Название ПН	Размер антенны, м	Скорость вращения, об/мин (секунд на 1 оборот)	Количество проводок в БД ММТ	Средний приведенный блеск	Период изменения блеска, секунд	Давность последней полученной проводки, суток	Давность последней проводки с подтверждением период. блеска, суток	
Fengyun-3B	2010-059A / 37214	радиометр MWRI	0.9774 x 0.8970	35.3 (1.7±0.1)	132	4.7 ± 0.7	1.79	28	564	периодич. блеска не наблюдается с авг.2019
Fengyun-3C	2013-052A / 39260				88	4.5 ± 0.6	1.80	4	547	периодич. блеска не наблюдается с сент.2019
Fengyun-3D	2017-072A / 43010				52	4.8 ± 0.4	1.81	184	185	
Haiyang-2A	2011-043A / 37781	микроволновой скаттерометр	1.0	15.8 (3.8) 17.5 (3.4)	48	5.4 ± 0.6	3.77	38	437	вероятно, скаттерометр не работает с янв. 2020
Haiyang-2B	2018-081A / 43655				30	4.8 ± 0.5	3.78	38	38	
Haiyang-2C	2020-066A / 46469				9	4.7 ± 0.3	3.80	28	28	
Yunhai-1-01	2016-068A / 41857	микроволновой радиометр	?	?	44	4.7 ± 0.6	3.32	38	38	
Yunhai-1-02	2019-063A / 44547				39	4.4 ± 0.5	3.32	24	24	
Coriolis	2003-001A / 27640	радиометр Windsat	1.83	31.6 (1.9)	54	6.3 ± 0.9	1.90	38	38	
GCOM W1	2012-025A / 38337	радиометр AMSR-2	2.0	40 (1.5)	87	5.4 ± 0.7	1.50	191	191	
GPM	2014-009C / 39574	радиометр GMI	1.22	32 (1.88)	31	3.6 ± 0.7	1.88	92	245	
SMAP	2015-003A / 40376	радиометр-радиолокатор	6.0	14.6 (4.1)	40	4.2 ± 0.8	4.13	38	38	

КА	Междунар. обознач. / № КК ВВС США	Описание элемента ПН с вращающимся конструктивным элементом			Информация из БД ММТ					Примечание
		Название ПН	Размер антенны, м	Скорость вращения, об/мин (секунд на 1 оборот)	Количество проводок в БД ММТ	Средний приведенный блеск	Период изменения блеска, секунд	Давность последней полученной проводки, суток	Давность последней проводки с подтверждением период. блеска, суток	
SCATSat-1	2016-059H / 41790	скаттерометр OSCAT-2	1.0	20.5 (2.93)	45	7.0 ± 0.6	2.92	4	4	
CFOSAT	2018-083A / 43662	скаттерометр SCAT	1.2 x 0.4	17.1 (3.5)	27	6.2 ± 0.8	17.79	9	378	периодич. блеска не наблюдается с февр.2020

Таблица 3. Поступление измерительной информации системы ММТ по активн. КА с быстровращающимися элементами конструкции за последние 12 месяцев

КА	Междунар. обознач. / № КК ВВС США	Количество проводок, полученных системой ММТ (из них – проводок с определенной величиной фотометрического периода)											
		март 2020	апр. 2020	май 2020	июнь 2020	июль 2020	авг. 2020	сент. 2020	окт. 2020	нояб. 2020	дек. 2020	янв. 2021	февр. 2021
КА USA-181 DEB (NOSS 3-3C)	2005-004C / 28541	1 (1)	9 (3)		3 (2)	6 (2)	4 (2)	2 (1)	2 (1)	2 (0)	1 (0)		
КА USA-194 DEB (NOSS 3-4C)	2007-027C / 31708	5 (0)	3 (0)	1 (0)	5 (0)	6 (0)	2 (0)	3 (0)	2 (0)	3 (0)	2 (0)		
КА USA-229 (NOSS 3-5A)	2011-014A / 37386			4 (0)	7 (3)		3 (0)	4 (2)	3 (1)	1 (1)	3 (1)	1 (0)	1 (1)
КА USA-238 (NOSS 3-6A)	2012-048A / 38758	2 (2)	4 (1)	2 (0)		1 (0)	6 (2)	3 (2)	2 (0)			1 (1)	
КА USA-264 DEB (NOSS 3-7R)	2015-058R / 40981	4 (2)	3 (0)		5 (3)	2 (2)	2 (0)	2 (0)	4 (2)	3 (1)			
КА USA-274 (NOSS 3-8A)	2017-011A / 42058	2 (0)	5 (1)	1 (0)		4 (1)	6 (1)	1 (1)	4 (0)	2 (0)	2 (1)		1 (0)
DMSP 5D-2 F15 (USA 147)	1999-067A / 25991	2 (1)	2 (1)				2 (1)	6 (1)	2 (1)	4 (0)			2 (1)
DMSP 5D-3 F16 (USA 172)	2003-048A / 28054							2 (0)	2 (0)	3 (0)	1 (0)	4 (0)	3 (0)
DMSP 5D-3 F17 (USA 173)	2006-050A / 29522									5 (0)	2 (0)	1 (0)	
DMSP 5D-3 F18 (USA 210)	2009-057A / 35951								2 (0)	2 (0)	3 (0)	1 (0)	1 (0)
Fengyun-3B	2010-059A / 37214	2 (0)	1 (0)						1 (0)	4 (0)	3 (0)	4 (0)	
Fengyun-3C	2013-052A / 39260	2 (0)	6 (0)	1 (0)				6 (0)	4 (0)				2 (0)
Fengyun-3D	2017-072A / 43010			5 (2)	4 (1)	5 (0)	8 (5)						
Haiyang-2A	2011-043A / 37781								1 (0)	4 (0)	1 (0)	3 (0)	
Haiyang-2B	2018-081A / 43655								1 (1)	2 (2)	3 (3)	3 (3)	
Haiyang-2C	2020-066A / 46469							1 (0)	4 (4)		3 (3)	1 (1)	

КА	Междунар. обознач. / № КК ВВС США	Количество проводок, полученных системой ММТ (из них – проводок с определенной величиной фотометрического периода)											
		март 2020	апр. 2020	май 2020	июнь 2020	июль 2020	авг. 2020	сент. 2020	окт. 2020	нояб. 2020	дек. 2020	янв. 2021	февр. 2021
Yunhai-1-01	2016-068A / 41857									1 (1)	3 (3)	2 (2)	
Yunhai-1-02	2019-063A / 44547	2 (2)							6 (6)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	1 (1)
Coriolis	2003-001A / 27640								1 (1)	5 (5)	3 (3)	2 (2)	
GCOM W1	2012-025A / 38337		1 (1)	3 (3)	5 (5)	4 (3)	3 (3)						
GPM	2014-009C / 39574	1 (0)			2 (1)	1 (0)				1 (0)			
SMAP	2015-003A / 40376									2 (2)	3 (3)	3 (3)	
SCATSat-1	2016-059H / 41790	7 (7)	3 (3)					3 (3)	1 (1)	1 (0)			1 (1)
CFOSAT	2018-083A / 43662	1 (0)							4 (0)			1 (0)	1 (0)

5. Оперативная оценка состояния многоспутниковых группировок.

В настоящее время на низких орбитах эксплуатируется несколько иностранных космических систем, в состав каждой из которых входит значительное количество (несколько десятков) серийных КА. К таким многоспутниковым космическим системам относятся низкоорбитальные системы спутниковой связи (НССС) Iridium, Globalstar, Orbcomm и Starlink.

Развертывание указанных космических систем начиналось в 1997-98 гг. (системы Starlink и OneWeb развертываются с 2019 года). В процессе их эксплуатации и модернизации происходило накопление на орбитах работающих и прекративших функционирование КА, а также КА, относящихся к разным поколениям.

За время работы телескопа ММТ в базе данных БД ММТ накоплен значительный объем фотометрической информации по космическим аппаратам, входящим в состав указанных космических систем, как действующим, так и прекратившим работу. Это дает возможность использовать информацию БД ММТ для мониторинга текущего состояния многоспутниковых орбитальных группировок.

5.1 НССС Iridium

Система Iridium предназначена для обеспечения персональной мобильной связи. По состоянию на 1.03.2021 на орбитах находится 29 КА типа Iridium 1-го поколения (все нефункционирующие) и 75 КА типа Iridium 2-го поколения (из них 67 активных КА и 8 резервных КА в режиме орбитального хранения). Рабочими орбитами для КА НССС Iridium являются околокруговые орбиты высотой 780 километров (период 100.4 минуты) с наклонением 86.4°. Во время активной эксплуатации КА Iridium находятся в режиме трехосной стабилизации.

По 165 КА типа Iridium (в т.ч. по 104 КА, по состоянию на 1.03.2021 находящимся на орбитах) в БД ММТ имеется фотометрическая информация. В табл. 4 и табл. 5 приведены обобщенные данные по КА Iridium по состоянию на 1.03.2021.

Таблица 4. Сводные данные по КА типа Iridium 1-го покол. (на 1.03.2021)

Статус КА	**Количество КА**		
		в т.ч. КА, внесенных в БД ММТ	
			из них КА с выявленной периодичностью блеска
Работающие в составе системы	0	0	0
Резервные в режиме орбитального хранения	0	0	0
На этапе ввода в эксплуатацию	0	0	0
Нефункционирующие	29	29	11
КА неясного статуса	0	0	0
Всего КА, находящихся на орбите	29	29	11
Прекратившие баллистическое существование	66	61 *	2

Примечание:

* – 5 КА типа Iridium 1-го поколения прекратили существование до начала работы системы ММТ

Таблица 5. Сводные данные по КА типа Iridium 2-го покол. (на 1.03.2021)

Статус КА	Количество КА		
		в т.ч. КА, внесенных в БД ММТ	
			из них КА с выявленной периодичностью блеска
Работающие в составе системы	67	67	0
Резервные в режиме орбитального хранения	8	8	0
На этапе ввода в эксплуатацию	0	0	0
Нефункционирующие	0	0	0
КА неясного статуса	0	0	0
Всего КА, находящихся на орбите	75	75	0
Прекратившие баллистическое существование	0	0	0

На рис. 2 показано распределение КА типа Iridium по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021). Из диаграммы видно, что для 20 из 104 находящихся на орбите КА типа Iridium в БД ММТ имеются фотометрические измерения не старше 30 суток.

Рисунок 2. Распределение находящихся на орбите КА типа Iridium по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021)

5.2 НССС Globalstar

Система Globalstar предназначена для обеспечения мобильной спутниковой связи. По состоянию на 1.03.2021, на орбитах находится 60 КА типа Globalstar 1-го поколения (из них 6 активных КА, 52 выведенных из состава системы КА, 2 КА неясного статуса) и 24 КА Globalstar 2-го поколения (все активные). Рабочими орбитами для КА типа Globalstar являются околокруговые орбиты высотой 1415 километров (период 114 минут) с наклонением 52°. Во время активной эксплуатации в составе НССС Globalstar, КА Globalstar находятся в режиме трехосной стабилизации.

По всем находящимся на орбитах КА типа Globalstar в БД ММТ имеется фотометрическая информация. В табл. 6 и табл. 7 приведены обобщенные данные по КА типа Globalstar 1-го и 2-го поколений по состоянию на 1.03.2021.

Таблица 6. Сводные данные по КА типа Globalstar 1-го покол. (на 1.03.2021)

Статус КА	Количество КА		
		в т.ч. КА, внесенных в БД ММТ	
			из них КА с выявленной периодичностью блеска
Работающие в составе системы	6	6	0
Резервные в режиме орбитального хранения	0	0	0
На этапе ввода в эксплуатацию	0	0	0
Нефункционирующие	52	52	38
КА неясного статуса	2	2	0
Всего КА, находящихся на орбите	60	60	38
Прекратившие баллистическое существование	0	0	0

Таблица 7. Сводные данные по КА типа Globalstar 2-го покол. (на 1.03.2021)

Статус КА	Количество КА		
		в т.ч. КА, внесенных в БД ММТ	
			из них КА с выявленной периодичностью блеска
Работающие в составе системы	24	24	0
Резервные в режиме орбитального хранения	0	0	0
На этапе ввода в эксплуатацию	0	0	0
Нефункционирующие	0	0	0
КА неясного статуса	0	0	0
Всего КА, находящихся на орбите	24	24	0
Прекратившие баллистическое существование	0	0	0

На рис. 3 показано распределение КА типа Globalstar по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021). Из диаграммы видно, что для 57 из 84 находящихся на орбите КА типа Globalstar в БД ММТ имеются фотометрические измерения не старше 30 суток.

Рисунок 3. Распределение КА типа Globalstar по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021)

5.3 НССС Orbcomm

Система Orbcomm обеспечивает передачу данных по каналам связи «машина-машина» (межмашинное взаимодействие). По состоянию на 1.03.2021, на орбитах находится 35 КА типа Orbcomm 1-го поколения (все нефункционирующие), 6 КА Orbcomm-QL (все нефункционирующие) и 17 КА Orbcomm 2-го поколения (16 КА активные и 1 КА нефункционирующий). КА Orbcomm всех типов имеют гравитационную систему стабилизации.

По всем находящимся на орбитах КА Orbcomm в БД ММТ имеется фотометрическая информация. В табл. 8…10 приведены обобщенные данные по КА Orbcomm различных типов по состоянию на 1.03.2021.

Таблица 8. Сводные данные по КА типа Orbcomm 1-го покол. (на 1.03.2021)

Статус КА	Количество КА		
		в т.ч. КА, внесенных в БД ММТ	
			из них КА с выявленной периодичностью блеска
Работающие в составе системы	0	0	0
Резервные в режиме орбитального хранения	0	0	0
На этапе ввода в эксплуатацию	0	0	0
Нефункционирующие	35	35	2
КА неясного статуса	0		0
Всего КА, находящихся на орбите	35	35	2
Прекратившие баллистическое существование	0	0	0

Таблица 9. Сводные данные по КА типа Orbcomm-QL (на 1.03.2021)

Статус КА	Количество КА		
		в т.ч. КА, внесенных в БД ММТ	
			из них КА с выявленной периодичностью блеска
Работающие в составе системы	0	0	0
Резервные в режиме орбитального хранения	0	0	0
На этапе ввода в эксплуатацию	0	0	0
Нефункционирующие	6	6	0
КА неясного статуса	0	0	0
Всего КА, находящихся на орбите	6	6	0
Прекратившие баллистическое существование	0	0	0

Таблица 10. Сводные данные по КА типа Orbcomm 2-го покол. (на 1.03.2021)

Статус КА	Количество КА		
		в т.ч. КА, внесенных в БД ММТ	
			из них КА с выявленной периодичностью блеска
Работающие в составе системы	16	16	0
Резервные в режиме орбитального хранения	0	0	0
На этапе ввода в эксплуатацию	0	0	0
Нефункционирующие	1	1	0
КА неясного статуса	0	0	0
Всего КА, находящихся на орбите	17	17	0
Прекратившие баллистическое существование	1	0 *	0

Примечание:

* – 1 КА типа Orbcomm 2-го поколения прекратил существование до начала работы системы ММТ

На рис. 4 показано распределение КА Orbcomm по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021). Из диаграммы видно, что для 20 из 58 находящихся на орбите КА Orbcomm в БД ММТ имеются фотометрические измерения не старше 30 суток.

Рисунок 4. Распределение КА Orbcomm по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021)

5.4 НССС Starlink

Система Starlink предназначена для предоставления доступа к сети Интернет. По состоянию на 1.03.2021, на орбитах находится 1081 КА Starlink (из них 810 активных КА в составе системы, 1 выведенный из состава системы КА, 222 КА на этапе ввода в эксплуатацию, 48 КА неясного статуса). На начальном этапе развертывания системы рабочими орбитами КА Starlink являются околокруговые орбиты высотой 550 километров (период 95.65 минуты) с наклонением 53°. Во время активной эксплуатации в составе системы КА Starlink находятся в режиме трехосной стабилизации.

По 832 КА Starlink (в т.ч. по 779 из 1081 находящихся на орбитах) в БД ММТ имеется фотометрическая информация. Периодическое изменение блеска спутников не выявлено. В табл. 11 приведены обобщенные данные по КА Starlink по состоянию на 1.03.2021.

Таблица 11. Сводные данные по КА типа Starlink (на 1.03.2021)

Статус КА	Количество КА		
		в т.ч. КА, внесенных в БД ММТ	
			из них КА с выявленной периодичностью блеска
Работающие в составе системы	810	716	0
Резервные в режиме орбитального хранения	0	0	0
На этапе ввода в эксплуатацию	222	22	0
Нефункционирующие	1	1	0
КА неясного статуса	48	40	0
Всего КА, находящихся на орбите	1081	779	0
Прекратившие баллистическое существование	62	53	0

На рис. 5 показано распределение КА типа Starlink по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021). Из диаграммы видно, что для 148 из 1081 находящихся на орбите КА типа Starlink в БД ММТ имеются фотометрические измерения не старше 30 суток.

Рисунок 5. Распределение КА типа Starlink по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021)

5.5 НССС OneWeb

Система OneWeb предназначена для предоставления доступа к сети Интернет. По состоянию на 1.03.2021, на орбитах находится 110 КА OneWeb (из них 6 активных КА в составе системы, 96 КА на этапе ввода в эксплуатацию и 8 КА неясного статуса). Рабочими орбитами КА OneWeb являются околокруговые орбиты высотой 1180

километров (период 108.9 минут) с наклонением 87.9°. Во время активной эксплуатации в составе системы КА OneWeb находятся в режиме трехосной стабилизации.

По 83 КА OneWeb в БД ММТ имеется фотометрическая информация. Периодическое изменение блеска спутников не выявлено. В табл. 12 приведены обобщенные данные по КА OneWeb по состоянию на 1.03.2021.

Таблица 12. Сводные данные по КА типа OneWeb (на 1.03.2021)

Статус КА	Количество КА		
		в т.ч. КА, внесенных в БД ММТ	
			из них КА с выявленной периодичностью блеска
Работающие в составе системы	6	6	0
Резервные в режиме орбитального хранения	0	0	0
На этапе ввода в эксплуатацию	96	69	0
Нефункционирующие	0	0	0
КА неясного статуса	8	8	0
Всего КА, находящихся на орбите	110	83	0
Прекратившие баллистическое существование	0	0	0

На рис. 6 показано распределение КА типа OneWeb по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021). Из диаграммы видно, что для 37 из 110 находящихся на орбите КА типа OneWeb в БД ММТ имеются фотометрические измерения не старше 30 суток.

Рисунок 6. Распределение КА типа OneWeb по давности последней полученной системой ММТ проводки (по состоянию на 1.03.2021)

6. Непривязанные измерения системы ММТ, полученные в феврале 2021 года

Привязка угловых координат, получаемых в измерениях системы ММТ, к находящимся на околоземных орбитах космическим объектам выполняется по открытым источникам орбитальной информации (двустрочные элементы TLE, выдаваемые Космическим командованием ВВС США и данные независимых наблюдателей). При этом часть проводок привязать к известным КО не удается.

В таблице 12 представлено 6 непривязанных проводок, полученных системой ММТ в течение февраля 2021 года. Приводится следующая информация о представленных непривязанных проводках:

- Дата (UTC) получения проводки.
- Номер проводки по системе обозначений, принятой в БД ММТ.
- Длительность проводки в минутах.
- Величина измеренной дуги в градусах.
- Средний измеренный блеск по всем засечкам в проводке.
- Величина периода изменения блеска.

Дополнительно в таблице приводятся оценочные параметры орбит измеренных неидентифицированных космических объектов:

- Среднее движение, витков в сутки.
- Наклонение плоскости орбиты КО к экватору.
- Долгота восходящего узла.

Оценка параметров орбит неидентифицированных КО выполнена по единичным коротким проводкам, полученные значения являются приблизительными и могут отличаться от фактических значений.

Проводки в таблице упорядочены по возрастанию оценочной величины наклонения.

Таблица 13. Непривязанные проводки системы ММТ, полученные в феврале 2021 года

Дата и время, UTC	Учетный номер проводки	Длительность проводки, минут	Измеренная дуга, °	Средний блеск по всем засечкам	Период изменения блеска, с	Оценочные параметры орбит КО		
						среднее движение (вит./сут.)	наклонение, °	ДВУ, °
19.02.2021 16:05	18940195	2.13	23.8	7.9	*	8.9	51.1	319.2
02.02.2021 18:15	18936201	3.01	21.8	8.9	*	7.3	51.2	322.9
02.02.2021 17:37	18936139	2.81	23.9	7.2	*	7.8	51.6	314.9
19.02.2021 16:39	18940444	0.40	4.7	8.4	*	12.1	51.8	313.6
12.02.2021 01:40	18939892	0.50	12.8	8.2		14.1	62.9	181.1
25.02.2021 02:24	18945215	0.60	14.4	8.5	*	13.8	62.9	203.2

Примечание:

* - в проводке присутствует признак периодического изменения блеска, но величина периода не определена

Заключение

1. В феврале 2021 года Казанским (Приволжским) Федеральным Университетом, совместно с САО РАН и АО «НПК СПП», продолжена эксплуатация многоканального мониторингового телескопа ММТ.

В течение февраля 2021 года системой ММТ отработано (полностью или частично) 10 ночей, получены измерения по 890 КО на околоземных орбитах. Информация по 514 иностранным КО, измеренным в течение февраля, представлена в открытой публичной части БД ММТ.

В феврале 2021 года в БД ММТ внесены 28 новых (ранее не измерявшихся системой ММТ) космических объектов. Из этого количества новых КО, внесенных в БД ММТ в феврале 2021 года, 23 объекта являются иностранными КО; информация по ним представлена в открытой публичной части БД ММТ.

Вновь внесенные в БД ММТ иностранные КО распределяются по типам следующим образом:

- 19 КО – космические аппараты (в т.ч. 14 КА Starlink);
- 3 КО – ступени РН и РБ;
- 1 КО – фрагмент.

Распределение вновь внесенных в БД ММТ иностранных КО по типам орбит:

- 23 КО на низких орбитах.

Для одного объекта из 23 иностранных КО, внесенных в открытую часть БД ММТ в течение февраля, по результатам выполненных измерений определена величина фотометрического периода.

2. Фотометрическая информация, полученная системой ММТ в феврале 2021 года, подтверждает работоспособность аппаратуры с быстровращающимися антеннами в составе следующих иностранных космических аппаратов:

- КА **NOSS 3-5A (2011-014A, 37386)**;
- КА **DMSP 5D-2 F15 (USA 147) (1999-067A, 25991)**;
- КА **Yunhai-1-02 (2019-063A, 44547)**;
- КА **SCATSat-1 (2016-059H, 41790)**.

Работоспособность аппаратуры с быстровращающейся антенной в составе КА **NOSS 3-4C (2007-027C, 31708)** не подтверждается с февраля 2019 года, КА **Haiyang-2A (2011-043A, 37781)** – с декабря 2019 года.

3. В течение февраля 2021 года при помощи системы ММТ получена фотометрическая информация по КА, входящим в состав низкоорбитальных систем спутниковой связи Iridium, Globalstar, Orbcomm, Starlink и OneWeb.

В феврале получены измерения по 20-ти из 104-х находящихся на орбитах КА Iridium; по 57-ми из 84-х находящихся на орбитах КА типа Globalstar; по 20-ти из 58-ми находящихся на орбитах КА Orbcomm; по 148-ми из 1081-го находящихся на орбитах КА Starlink; по 37-ми из 110-ти находящихся на орбитах КА OneWeb.

4. В феврале 2021 года системой ММТ получена 6 проводок, которые на основе доступных источников орбитальной информации не удалось привязать к известным космическим объектам.

Список источников

1. Интернет-сайт http://mmt9.ru/
2. «Фотометрия ИСЗ на ММТ-9 в течение трех лет» *Каткова Е.В. и др.* Доклад на конференции «Околоземная астрономия-2017».
3. Интернет-сайт https://www.space-track.org
4. Интернет-сайт http://spacedata.vimpel.ru
5. Интернет-сайт https://planet4589.org/space/gcat (McDowell, Jonathan C., 2020. General Catalog of Artificial Space Objects)
6. Интернет-сайт http://celestrak.com
7. Интернет-сайт http://www.rod.sladen.org.uk/iridium.htm