

ОБЗОР ОРБИТАЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОПЕРАТИВНОГО МЕТЕОНАБЛЮДЕНИЯ

А. А. Асташкин, А. В. Карелин, И. Н. Комиссарова,
Ю. А. Кузьмин, В. А. Шувалов, А. А. Яковлев

Приводится обзор действующих орбитальных группировок космических аппаратов оперативного метеонаблюдения. Определены основные задачи гидрометеорологических служб различных стран: США, Европы, Китая, Индии, России, Кореи и Японии. Показано, что на сегодняшний день всего четырнадцать организаций располагают космическими средствами гидрометеорологического назначения. Приведен состав орбитальных группировок космических аппаратов оперативного метеонаблюдения. Рассмотрен состав и распределение по космическим аппаратам целевой аппаратуры гидрометеорологического назначения. Представлены основные технические характеристики целевой аппаратуры. Рассматриваются тактико-технические характеристики российских космических аппаратов на примере «Метеор-М» № 2 и «Электро-Л» № 3 в сравнении с зарубежными аналогами, дается оценка, а также отмечается уникальность космической системы «Арктика-М». Представлены данные по ограничению в работе действующих российских и зарубежных космических аппаратов, а также о тенденции переноса сроков запусков. Разработаны предложения по развитию российских космических средств гидрометеорологического назначения.

Ключевые слова: глобальная метеорологическая космическая система, орбитальная группировка, космический аппарат оперативного метеонаблюдения, целевая аппаратура мониторинга параметров погоды, космическая метеорологическая информация.

Введение

Целью настоящего обзора является рассмотрение и сравнение между собой основных параметров орбитальных группировок космических аппаратов и бортовой целевой аппаратуры оперативного метеонаблюдения разных стран, в том числе, с характеристиками космических аппаратов оперативного метеонаблюдения России на современном этапе развития.

Космические спутниковые метеосистемы образуют орбитальный компонент глобальной системы наблюдений Всемирной метеорологической организации (ВМО) (WMO – World Meteorological Organization) [1]. Основными задачами космических систем гидрометеорологического обеспечения (ГМО), с точки зрения гидрометеорологических служб различных стран, являются:

– Оперативное гидрометеорологическое и гелиогеофизическое обеспечение:

- мониторинг и прогноз состояния атмосферы и океана;
- мониторинг ледовой обстановки для обеспечения навигации в Арктике, Антарктике и замерзающих морях;
- информационное обеспечение гелиогеофизической службы.

– Мониторинг, контроль и прогноз развития чрезвычайных ситуаций (ЧС), оценка размеров ущерба:

- оценка вероятности возникновения ЧС;
- мониторинг ЧС и оценка последствий ущерба от ЧС.

– Мониторинг глобальных изменений Земли и ее климата:

- изучение климатических, океанических и ландшафтных изменений на основе наблюдений за радиационным балансом, концентрацией парниковых газов, облачным покровом, озоновым слоем,

снежным и ледяным покровами, температурой и цветностью океана, растительным покровом и т.д.;

- изучение климата и климатообразующих факторов.

С точки зрения технической реализации получение данных с борта космических аппаратов (КА) глобальную космическую метеосистему можно условно разделить на тематические орбитальные группировки (ОГ):

- ОГ КА оперативного метеонаблюдения;
- ОГ информационного обеспечения гелиогеофизической службы (КА «космической погоды»);
- ОГ океанографического обеспечения;
- ОГ мониторинга возникновения и развития ЧС, мониторинга загрязнения окружающей среды;
- ОГ мониторинга глобальных изменений климата Земли и изучения климатообразующих факторов (включающих изменения концентрации парниковых газов, температуру поверхности океана и подстилающей поверхности Земли, тепловой баланс планеты и т. д.).

Космические системы и космические аппараты оперативного метеонаблюдения

В настоящее время, вследствие большой значимости метеорологических наблюдений и прогнозирования погоды, ведущие космические государства создают и эксплуатируют свои национальные космические системы (КС) и КА гидрометеорологического обеспечения. К основным операторам систем КА оперативного метеонаблюдения можно отнести всего четырнадцать организаций: NASA (National Aeronautics and Space Administration) и NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (США), ESA (European Space Agency) и европейское космическое агентство и метеорологическая органи-

зация EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites), Китайское национальное космическое управление CNSA (China National Space Administration) и CMA (China Meteorological Administration), Индийская организация космических исследований ISRO (Indian Space Research Organisation) и Метеорологический департамент Индии IMD (India Meteorological Department), Госкорпорация «Роскосмос» и Росгидромет (Россия), Корейский институт аэрокосмических разработок KARI (Korea Aerospace Research Institute) и Корейская метеорологическая администрация КМА (Korea Meteorological Administration), Японское агентство аэрокосмических исследований JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) и Японское метеорологическое агентство JMA (Japan Meteorological Agency). Именно им принадлежат 34 (находящихся на эксплуатации на начало 2021 года) космических аппарата оперативного метеонаблюдения [1]. Особенность КА оперативного метеонаблюдения заключается в передаче на Землю большого количества данных о метеопараметрах, измеренных одновременно в определенных диапазонах электромагнитного излучения (каналах) бортовой аппаратурой с заданными характеристиками (разрешением, точностью, шириной полосы захвата и т. д.) в определенные сроки (синоптические периоды). Для выполнения требований ВМО на космических аппаратах оперативного метеонаблюдения размещают целевую аппаратуру (ЦА) с большим количеством каналов измерения. Работы в области спутниковой метеорологии управляются ВМО, под эгидой которой создана координационная группа по метеорологическим спутникам (CGMS – Coordination Group for Meteorological Satellites). В состав группы вошли представители организаций-операторов систем КА оперативного метеонаблюдения, ВМО, ЮНЕСКО, Международной рабочей группы по радиозатменным исследованиям (IROWG – International Radio Occultation Working Group), Международной рабочей группы по осадкам (IPWG – International Precipitation Working Group), Международной группы по изучению облаков (ICWG – International Cloud Working Group), Международной рабочей группы по ветрам (IWWG – International Wind Working Group).

Одной из главных задач, стоящих перед группой CGMS, является стандартизация форматов и аппаратуры сбора метеоинформации.

До последнего времени развитие космических систем оперативного метеонаблюдения происходило по двум направлениям, одно из которых связано с проведением непрерывных наблюдений метеорологических явлений с геостационарной орбиты (ГСО) и

второе – с всеширотными глобальными наблюдениями с солнечно-синхронной орбиты (ССО) с использованием более широкого комплекса бортовой аппаратуры для контроля основных метеопараметров.

Вследствие геометрических и атмосферных ограничений для космических аппаратов на ГСО возможно получение целевой информации по сектору от надире только в пределах $\pm 60^\circ$, как по широте, так и по долготе. Из этого следует, что России для получения полной картины по долготам всего земного шара в непрерывном режиме наблюдения необходимо, чтобы на ГСО находилось не менее трех КА, разнесенных по долготе на 120° . С учетом необходимого перекрытия между зонами обзора соседних КА на $\sim 30\%$ число КА на ГСО должно быть не менее четырех. Для наблюдения полярных районов, недоступных для мониторинга с ГСО, в ОГ необходимо присутствие КА на высокоэллиптических орбитах (ВЭО), или на геосинхронных 12-, 24-часовых орбитах с приполярным наклоном. Для круглосуточного мониторинга полярных районов необходимо, чтобы на 12-часовой ВЭО находилось не менее двух КА, поочередно ведущих наблюдения на апогейных участках. Если такая КС покажет свою эффективность, то в будущем Всемирная метеорологическая группировка (ВМГ) может включить в свой состав и КС для наблюдения южных полярных широт. В этом случае ВМГ будет обеспечивать как получение непрерывной гидрометеорологической информации (ГМИ) по всему земному шару, так и обеспечение задач связи с воздушными и морскими судами. До последнего времени в мире существовало два проекта (у России и Канады) создания КС оперативного метеонаблюдения на ВЭО – «Арктика-М» и PCW (Канада). Но по сообщению ВМО после декабря 2018 года развитие проекта с канадской стороны далее не планируется. Россия 28 февраля 2021 года запустила КА «Арктика-М» № 1 на 12-часовую рабочую орбиту типа «Молния». В табл. 1 представлено общее количество КА оперативного метеонаблюдения по странам и орбитам.

В настоящее время геостационарными спутниками, используемыми для сбора метеоданных, являются [1]:

- четыре спутника США серии GOES (GOES-14 (точка стояния 105° з. д., в настоящее время в резерве), GOES-15 (точка стояния 128° з. д.), GOES-16 (точка стояния $75,2^\circ$ з. д.), GOES-17 (точка стояния $137,2^\circ$ з. д.);

- четыре европейских КА серии METEOSAT (Meteosat-8 (точка стояния $41,5^\circ$ в. д.), Meteosat-9 (точка стояния $3,5^\circ$ в. д., в настоящее время в резерве), Meteosat-10 (точка стояния $9,5^\circ$ в. д.), Meteosat-11 (точка стояния $0,0^\circ$ в. д.);

- четыре китайских геостационарных космических аппарата (FY-2F (точка стояния 112° в. д.), FY-2G (точка стояния $99,5^\circ$ в. д.), FY-2H (точка стояния 79° в. д.), FY-4A (точка стояния 105° в. д.);

Таблица 1

Действующая орбитальная группировка метеорологических космических аппаратов на апрель 2021 года [1]

	Количество КА оперативной метеорологии по странам						
	США	ЕС и страны Европы	КНР	Индия	Япония	Корея	Россия
Общее количество КА оперативной метеорологии	11	7	6	2	2	1	5
Количество КА, находящихся на ГСО	4	4	4	2	2	1	2
Количество КА, находящихся на ССО	7	3	2	–	–	–	2
Количество КА, находящихся на ВЭО	–	–	–	–	–	–	1

– два спутника Японии (Himawari-8 (точка стояния 140,68° в. д.), Himawari-9 (точка стояния 140,73° в. д., в настоящее время в резерве);

– два индийских КА (INSAT-3D (точка стояния 82° в. д.), INSAT-3DR (точка стояния 74° в. д.);

– КА Кореи (GEO-KOMPSAT-2A (точка стояния 128,2° в. д.);

– два КА России на ГСО («Электро-Л» № 2 (точка стояния 14,5° в. д.), «Электро-Л» № 3 (точка стояния 76° в. д.);

– российский КА «Арктика-М» № 1 на высокоэллиптической орбите.

На солнечно-синхронных орбитах используются 14 метеоспутников:

– семь КА США: пять (NOAA-15, -18, -19, -20; SNPP) американского управления NOAA и два спутника серии DMSP министерства обороны США (DMSP-F17, DMSP-F18);

– три европейских КА серии Metop (Metop-A, -B, -C);

– два китайских спутника (FY-3C, FY-3D);

– три российских метеоспутника («Метеор-М» № 1, «Метеор-М» № 2, «Метеор-М» № 2-2).

Метеоспутники США

Геостационарные космические аппараты оперативного метеонаблюдения США. КА оперативного метеонаблюдения на ГСО запущены в рамках программы GOES и являются ключевыми поставщиками данных для работы Национальной метеорологической службы США (NWS). КА GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) предназначены для получения изображений облачного покрова и поверхности Земли, данных количественного зондирования атмосферы, позволяющих оценить текущее состояние и прогнозировать

изменения метеорологической обстановки в западном полушарии и, в первую очередь, на территории США, а также данных о состоянии «космической погоды» в точках стояния на ГСО (магнитного поля, рентгеновского излучения, ультрафиолета, потока частиц высоких энергий и т. д.). КА GOES служат для ретрансляции данных от дистанционных измерительных средств (плавучие буи, шары-зонды, автоматические метеостанции) и используются в составе международной системы КОСПАС (Космическая система поиска аварийных судов) – SARSAT (Search and rescue satellite-aided tracking) (КОСПАС-SARSAT) для сбора данных о терпящих бедствие морских и воздушных транспортных средствах. Вся информация транслируется на Землю практически в непрерывном режиме.

GOES-14 (в резерве) и **GOES-15** являются КА серии GOES второго поколения (срок активного существования (САС) пять лет). В состав ЦА входят: сканирующий пятиканальный радиометр IMAGER (GOES 12 – 15) для получения изображений облачного покрова Земли в видимом и инфракрасных (ИК) участках спектра; 19-канальный радиометр-зондировщик SOUNDER для измерения профилей температуры и влажности атмосферы. Кроме того, на спутниках имеется аппаратура ретрансляции данных DCIS (Data Collection and Interrogation Service); система поиска и спасения КОСПАС-SARSAT представлена прибором GEOS&R (Geostationary Search and Rescue); аппаратура контроля космической погоды SEM (SEM/EPS, SEM/HEPAD, SEM/MAG, SEM/XRS-EUV, SXI).

GOES-16 (GOES-R) и **GOES-17** (GOES-S) являются КА серии GOES третьего поколения [2, 3]. Предполагается, что САС спутников будет состав-

лять 11 лет. В состав ЦА входят: сканирующий радиометр ABI (Advanced Baseline Imager), установленный на GOES-16 и GOES-17, существенно улучшен и обладает 16-ю каналами в VIS-, NIR-, SWIR-, MWIR- и TIR-диапазонах, детектор молний GLM (Geostationary Lightning Mapper) обеспечивает непрерывный мониторинг грозовой активности. Аппаратура ретрансляции данных DCIS и системы поиска и спасения GEOS&R такая же, как на КА для второго поколения. Кроме того, по сравнению с предыдущими спутниками GOES, на КА GOES-16 (GOES-R) и GOES-17 (GOES-R) установлен аналогичный, но более мощный набор оборудования для получения изображений в солнечном ультрафиолете и мониторинга «космической погоды» (EXIS, SEISS/EHIS, SEISS/MPS, SEISS/SGPS, SEM/MAG, SUVI).

Характеристика полезной нагрузки геостационарных космических аппаратов США:

– ABI (Advanced Baseline Imager) – сканирующий радиометр ABI [4 – 8] предназначен для получения изображений облачного покрова и поверхности Земли. Прибор мультиспектральный, включает 16 каналов, два канала – в видимом диапазоне (0,47 мкм и 0,64 мкм) и 14 каналов – в ИК-диапазоне (0,86 – 13,3 мкм). Пространственное разрешение зависит от диапазона длин волн и составляет 0,5 км для видимой области, 1,0 км для SWIR и 2,0 км для данных MWIR и TIR. ABI имеет три режима съемки: полный диск; целевая область размером 5000 × 3000 км; и мезомасштабный размером 1000 × 1000 км [9], причем все три режима съемки могут осуществляться одновременно. Периодичность получения изображения для полного диска наблюдения Земли 15 минут; область размером 5000 × 3000 км каждые 5 минут; изображения минимального размера 1000 × 1000 км (надир) каждые 30 с. Для термостатирования детекторной матрицы в ABI используется система активного двухступенчатого охлаждения компании NGAS (Northrop Grumman Aerospace Systems).

– GLM (детектор молний): GLM также называют LMS (Lightning Mapper Sensor). Основная цель – измерение с геостационарной орбиты общей грозовой активности как в дневное, так и в ночное время над Северной и Южной Америкой и частями прилегающих океанов. GLM обеспечивает непрерывную фиксацию молний и осадков в ледяной фазе, что используется для: прогнозирования сильных штормовых явлений, торнадо, ливней и ливневых наводнений; изучения сезонной и межгодовой изменчивости штормов [10, 11]. GLM это система камер, оптимизированных для обнаружения и определения местоположения молнии. Основными подсистемами прибора являются: система форми-

рования изображения, блок фокальной плоскости, процессоры событий реального времени, форматтер, источник питания и интерфейсная электроника. Подсистема формирования изображений – это светосильный телескоп с диафрагмой $f/1,2$ с диаметром апертуры 12 см и интерференционным фильтром с полосой пропускания 1 нм. Широкополосный блокирующий фильтр размещен на передней поверхности фильтрующей подложки, чтобы максимизировать эффективность узкополосного фильтра. Чтобы понять, как GLM обнаруживает молнию, полезно рассматривать его как детектор событий.

– DCIS (Data Collection and Interrogation Service) – прибор системы сбора и передачи данных. Предназначен для сбора и ретрансляции сообщений от платформ сбора данных DCP (Data Collection Platform): региональных или международных.

– GEOS&R (Geostationary Search and Rescue) – аппаратура ретрансляции сигналов бедствия в поисково-спасательные центры от наземных радиомаяков, передающая экстренное сообщение и информацию о местоположении на частоте 406 МГц. Часть международной поисково-спасательной системы КОСПАС-SARSAT, согласованной Канадой, Францией, Россией и США и подписанной еще 37-ю государствами. Нисходящая передача осуществляется в S-диапазоне.

Целевая аппаратура для получения гелиогеофизической информации:

– EXIS (Extreme Ultraviolet Sensor/X-Ray Sensor Irradiance Sensors) – прибор сканирования экстремального ультрафиолета и рентгеновского излучения Солнца с GCO: EXIS содержит два полнодисковых прибора: EUVS (EUV Sensor) и XRS (X-Ray Sensor). EUVS измеряет поток ультрафиолета в диапазоне 5 – 127 нм. Ультрафиолетовое (УФ) излучение играет ключевую роль в нагреве термосферы и создании ионосферы. XRS измеряет потоки рентгеновского излучения. Инструмент EXIS был разработан и создан в LASP (Лаборатория атмосферной и космической физики университета штата Колорадо, Боулдер) [12, 13] для мониторинга в реальном времени изменчивости и влияния на верхнюю атмосферу солнечной радиации [14].

– SUVI (Solar Ultra Violet Imager) – солнечный ультрафиолетовый радиометр-телескоп, основной задачей которого является предоставление информации о солнечной активности и влиянии Солнца на Землю и околоземную космическую среду. SUVI обеспечивает узкополосную визуализацию в диапазоне длин волн от мягкого рентгеновского излучения до EUV (9,4 – 30,4 нм) с высокой частотой

той кадров (до трех изображений за секунду). SUVI контролирует весь динамический диапазон солнечных рентгеновских объектов, включая корональные пятна и солнечные вспышки, и будет предоставлять данные о быстро меняющихся условиях в атмосфере Солнца. Эти данные используются для прогнозов геомагнитных бурь и потоков высокоэнергичных корпускулярных излучений [15].

– SEM/MAG (SEM/Magnetometer) – магнитометр обеспечивает мониторинг геомагнитного поля в магнитосфере, который контролирует динамику заряженных частиц во внешней области магнитосферы. Представляет собой сборку из двух магнитометров, каждый из которых состоит из трехосного феррозондового датчика. Каждый магнитометр измеряет три ортогональных векторных компоненты магнитного поля вблизи космического корабля в диапазоне от $\pm 0,1$ до ± 512 нТл с разрешением $\pm 0,3$ нТл при максимуме динамики и предоставляет информацию об общем уровне геомагнитной активности и обнаружении внезапных магнитных бурь [16].

– Комплекс приборов SEISS (Space Environment In situ Suite) – проводит измерения электромагнитной среды в режиме реального времени; мониторинг электронов, протонов и тяжелых ионов солнечного происхождения, а также частиц галактического фона. Комплекс SEISS состоит из следующих инструментов:

– SEISS/EHIS (SEISS/Energetic Heavy Ion Sensor) – комплект спектрометров для мониторинга протонов, альфа-частиц и ионов до ($Z = 28$) в диапазоне энергий 10 – 200 МэВ, разработан в NHU (Нью-Гэмпширский университет). Целью работы EHIS является: измерение дифференциального направленного потока альфа-частиц, энергии потока тяжелых ионов и масс-спектрометрия; измерение дифференциального направленного потока протонов на ГСО, а также частиц, захваченных магнитосферой Земли, солнечных и галактических космических лучей.

– SEISS/MPS (SEISS/Magnetospheric Particle Sensor) – прибор для измерения интегральных направленных потоков протонов и электронов. MPS предназначен для мониторинга и контроля потоков электронов и протонов, представляющих опасность для спутника. Он картографирует космическую среду, во внешней области магнитосферы и состоит из двух блоков:

- MPS-LO – прибор измерения потока электронов и протонов в диапазоне энергий от 30 эВ до 30 кэВ;
- MPS-HI – прибор мониторинга протонов и электронов средней и высокой энергии (0,05 – 4 МэВ для электронов, 0,8 – 12 МэВ для протонов).

– SEISS/SGPS (SEISS/Solar and Galactic Proton Sensor) – прибор интегральных измерений направленных потоков солнечных и галактических протонов в десяти логарифмически разнесенных каналах для энергии 10 – 500 МэВ и интегрального потока частиц с энергией >500 МэВ.

Низкоорбитальные космические аппараты оперативного метеонаблюдения США. Орбитальная группировка КА оперативного метеонаблюдения США, находящаяся на ССО, состоит из семи спутников, которые принадлежат трем согласованным между собой программам NOAA-POES, DMSP и программы объединенной полярно-орбитальной спутниковой системы JPSS. Программы NOAA-POES и DMSP до 2010 года были объединены в единый национальный комплекс сбора и обработки метеоданных NPOESS (National Polar-Orbiting Operational Environmental Satellite System).

Метеорологическая система NOAA-POES (Polar Operational Environmental Satellites) предназначена для сбора данных о метеорологической обстановке с использованием низкоорбитальных КА на полярных орбитах. Космические аппараты этой программы, NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19, обеспечивают сбор метеорологической информации о состоянии облачного покрова, определение теплового баланса Земли, параметров озонового слоя и контроля состояния околоземного космического пространства. Спутники также используются в системе ARGOS для ретрансляции данных от дистанционных измерительных средств управления NOAA (плавучие буи, шары-зонды, автоматические метеостанции) и в составе международной системы КОСПАС-SARSAT для сбора данных о терпящих бедствие морских и воздушных транспортных средствах в целях определения их местоположения и скорейшей организации поисково-спасательных работ.

NOAA-15 – первый КА оперативного метеонаблюдения NOAA пятого поколения [17]. Высота орбиты 813 км, нисходящая траектория, время пересечения экватора 06:54, был запущен в 1998 году, САС три года. Целевая информация (ЦИ) гидрометеорологического и океанографического назначения, информация о космической погоде и химии атмосферы. *Полезная нагрузка* [18]: пассивный микроволновый радиометр (температурный зондировщик атмосферы) AMSU-A – деградировал; прибор микроволнового зондирования влажности атмосферы AMSU-B – неактивен; оптический сканирующий многоканальный радиометр среднего разрешения AVHRR/3 – деградировал;

инфракрасный зондировщик атмосферы высокого разрешения HIRS/3 – неактивен; прибор системы поиска и спасения S&RSAT (КОСПАС-SARSAT) – деградировал; по данным ВМО работают: аппаратура сбора и ретрансляции данных от дистанционных измерительных средств DCS/2 и приборы мониторинга космической погоды: SEM/MEPED; SEM/TED.

NOAA-18 – четвертый КА оперативного метеонаблюдения NOAA пятого поколения. Высота орбиты 854 км, нисходящая траектория, время пересечения экватора 09:15, был запущен в 2005 году, САС три года. ЦИ гидрометеорологического и океанографического назначения, информация о космической погоде и химии атмосферы. *Полезная нагрузка*: пассивный микроволновый радиометр (температурный зондировщик) AMSU-A; оптический сканирующий многоканальный радиометр среднего разрешения AVHRR/3; инфракрасный зондировщик атмосферы высокого разрешения HIRS/4 – неактивен; пассивный микроволновый радиометр MHS – неактивен; сканирующий радиометр УФ-диапазона SBUV/2 – неактивен; прибор системы поиска и спасения S&RSAT; аппаратура сбора и ретрансляции данных от дистанционных измерительных средств DCS/2 и приборы мониторинга «космической погоды»: SEM/MEPED; SEM/TED (деградировал).

NOAA-19 – пятый КА оперативного метеонаблюдения NOAA пятого поколения. Высота орбиты 870 км, нисходящая траектория, время пересечения экватора 05:15, был запущен в 2009 году, САС три года. ЦИ гидрометеорологического и океанографического назначения, информации о космической погоде и химии атмосферы. *Полезная нагрузка*: пассивный микроволновый радиометр (температурный зондировщик) AMSU-A – деградировал; оптический сканирующий многоканальный радиометр среднего разрешения AVHRR/3; инфракрасный зондировщик атмосферы высокого разрешения HIRS/4 – деградировал; микроволновый радиометр MHS – деградировал; сканирующий радиометр УФ-диапазона SBUV/2; прибор системы поиска и спасения S&RSAT; аппаратура сбора и ретрансляции данных от дистанционных измерительных средств A-DCS – деградировал; приборы мониторинга «космической погоды»: SEM/MEPED; SEM/TED.

Метеорологическая система министерства обороны США DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) предназначена для сбора метеоданных в глобальном масштабе в интересах гидрометеорологического обеспечения (ГМО) повседневной деятельности подразделений вооруженных сил, подготовки и проведения военных операций [19, 20].

Космические аппараты серии **DMSP-F17**, **DMSP-F18** (Defense Meteorological Satellite Program – Block 5D-3) предназначены для получения метеоизображений облачного покрова и земной поверхности с высоким разрешением, определения концентрации влаги и вертикальных профилей температуры атмосферы, а также измерения других параметров, характеризующих состояние атмосферы Земли и околоземной среды. Аппараты имеют одинаковые наборы целевой аппаратуры, некоторые из которых вышли из строя. Доступ к ЦИ ограничен.

DMSP-F17 – КА оперативного метеонаблюдения министерства обороны США. Высота орбиты 848 км, нисходящая траектория, время пересечения экватора 06:40, был запущен в 2006 году. САС пять лет. *Полезная нагрузка*: сканирующий радиометр OLS, предназначенный для получения изображений облачного покрова Земли в видимом и ИК-участках спектра; микроволновый радиометр конического сканирования SSMIS – деградировал; монитор дрейфа ионосферной плазмы/сцинтилляционный монитор SESS/SSI/ES-3 – деградировал; электронно-протонный спектрометр SESS/SSJ5; прибор измерения геомагнитных колебаний, связанных с солнечными геофизическими явлениями SESS/SSM-Boom; ультрафиолетовый радиометр лимба Земли SESS/SSULI – деградировал; ультрафиолетовый спектрографический сканер SESS/SSUSI – неактивен.

DMSP-F18 – КА оперативного метеонаблюдения министерства обороны США. Высота орбиты 850 км, нисходящая траектория, время пересечения экватора 04:50, был запущен в 2009 году. САС пять лет. *Полезная нагрузка*: сканирующий радиометр OLS, предназначенный для получения изображений облачного покрова Земли в видимом и ИК-участках спектра; микроволновый радиометр конического сканирования SSMIS – деградировал; монитор дрейфа ионосферной плазмы/сцинтилляционный монитор SESS/SSI/ES-3 – деградировал; электронно-протонный спектрометр SESS/SSJ5; прибор измерения геомагнитных колебаний, связанных с солнечными геофизическими явлениями SESS/SSM-Boom – деградировал; ультрафиолетовый радиометр лимба Земли SESS/SSULI – деградировал; ультрафиолетовый спектрографический сканер SESS/SSUSI.

Полярно-орбитальная спутниковая система JPSS (Joint Polar Satellite System) [21 – 23] – следующая программа после программы NOAA-POES. Новое поколение космических аппаратов оперативного метеонаблюдения на полуденных полярных солнечно-синхронных орбитах предназначено

для получения информации в части: изучения облачного покрова, концентрации взвешенных частиц (аэрозолей); распределения водяного пара в атмосфере; мониторинга опасных атмосферных явлений; восстановления профилей влажности и температуры воздуха; изучения температурного режима океана; мониторинга динамики ледников, процессов заболачивания и опустынивания, засоления и паводков; оперативного автоматизированного выявления очагов лесных пожаров; мониторинга природных катастроф, спровоцированных человеком на региональном и глобальном уровнях. В соответствии с соглашениями между NOAA и EUMETSAT получение космической информации скоординировано. Спутникам JPSS выделены «дневные» орбиты, спутникам Metop – «утренние», а DMSP – «ранние утренние» орбиты. В настоящее время ОГ JPSS состоит из двух космических аппаратов SNPP и NOAA-20.

SNPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership) – экспериментальный спутник-прототип этой серии, был запущен в 2011 году. Проходил испытания в течение четырех лет наблюдений на орбите и был объявлен основным метеорологическим спутником в 2014 году [24]. Высота орбиты 833 км, нисходящая траектория, время пересечения экватора 13:25. САС пять лет.

Полезная нагрузка на КА SNPP:

– **VIIRS** (Visible/Infrared Imager Radiometer Suite) [25 – 27] – блок мультиспектральных радиометров видимого и ИК-диапазона среднего разрешения для получения многоцелевых изображений облачного, снежного, ледяного и растительного покрова, водяных паров, атмосферных аэрозолей, пожаров, цвета океана и температуры поверхности океана и других характеристик поверхности в 22 диапазонах. Сканирование – поперечное, полоса обзора 3000 км, разрешение – от 375 м до 750 м на пиксель.

– **ATMS** (Advanced Technology Microwave Sounder) [28, 29] – пассивный микроволновый зондировщик атмосферы. Прибор предназначен для измерения температуры и влажности с высоким пространственным разрешением при любых погодных условиях, а также для определения общего содержания льда, жидкой воды, водяного пара, высоты уровня промерзания в облаках, интенсивности осадков. Имеет 22 канала в диапазонах от 23,8 до 183 ГГц. Сканирование поперечное, полоса обзора 2200 км, разрешение – 16 км на пиксель для каналов 165 – 183 ГГц, 32 км для каналов 50 – 90 ГГц, 75 км для каналов 23 – 32 ГГц. Возможности ATMS объединяют в себе возможности микроволновых при-

боров AMSU-A, AMSU-B и AMSU-B/MHS, установленных на КА NOAA пятого поколения.

– **CrIS** (Cross-track Infrared Sounder) [30, 31] – оптический инфракрасный интерферометр (является продолжением разработок приборов HIRS/4 (POES) и AIRS (Aqua) и представляет собой инфракрасный зонд с высоким спектральным и пространственным разрешением для приложений атмосферного профилирования). Прибор предназначен для получения глобальных профилей температуры и влажности высокого разрешения, грубых профилей озона и парниковых газов в столбе атмосферы. Данные с этого прибора совместно с данными ATMS позволяют получать трехмерные изображения температуры атмосферы, водяного пара и газовых примесей. Интерферометр проводит измерения в трех ИК-диапазонах на 1305 каналах на КА SNPP и на 2211 каналах на последующих КА серии JPSS. Сканирование поперечное, разрешение – 14 км, спектральное разрешение: для диапазона SWIR от 5,4 нм (при 4,64 мкм) до 38,4 нм (при 3,92 мкм); для диапазона MWIR от 92,8 нм (при 8,62 мкм) до 40,6 нм (при 5,7 мкм), для диапазона TIR от 146 нм (при 15,3 мкм) до 51,7 нм (при 9,1 мкм).

– **CERES** (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) [32, 33] – оптический широкополосный радиометр исследования радиационного баланса Земли, измерения падающей и отраженной радиации и облачности. Измерения CERES направлены для оценки влияния облаков на энергетический баланс Земли, что является одним из самых больших источников неопределенности, а также для составления временных рядов климатических данных радиационного баланса Земли, которые производились в течение более 20 лет, включая измерения спутниками Terra и Aqua. Анализ этих рядов позволяет прогнозировать изменения климата Земли на основе глобальных полярно-орбитальных наблюдений. Прибор CERES состоит из двух идентичных сканеров и измеряет длинноволновое (LW) и коротковолновое (SW) ИК-излучение с помощью болометров (в каждом радиометре три спектральных канала: 0,3 – 5,0 мкм; 8,0 – 12,0 мкм; 0,35 – 125 мкм). Сканирование в двух режимах: 1) поперек трека и вдоль трека каждые 3 с; 2) двухосное сканирование с вращением по азимуту. Разрешение – 30 км.

– **OMPS** (OMPS-limb и OMPS-nadir) (Ozone Mapping and Profiler Suite) [34 – 36] – комплект ультрафиолетовых гиперспектрометров для картографирования и профилирования распределения озона и малых газовых составляющих (BrO, H₂O, HCHO, NO₂, NO₃, O₃, OClO, SO₂) в атмосфере, также отслеживает уровень озона в тропосфере.

– OMPS-limb – ультрафиолетовый гиперспектральный спектрометр для обзора атмосферы, в том числе и верхних слоев (лимба). Прибор представляет собой спектрометр UV/VIS/NIR диапазона 290 – 1000 нм со спектральным разрешением от 0,75 до 25 нм. Разрешение – 300 км по горизонтали, 2,2 км по вертикали. Полоса обзора – 50 км. Глобальное покрытие – 4 дня. Измерения только при солнечном свете.

– OMPS-nadir – зондировщик атмосферы в ультрафиолетовом и в видимом диапазонах. Предназначен для измерения концентрации в атмосфере: BrO, ClO, HCHO. Общего содержания в столбе: HCHO, NO, NO₂, O₃, SO₂. Измерения: оптической глубины аэрозоля, эффективного радиуса аэрозоля, типа аэрозоля, общего содержания аэрозольного вулканического пепла. Конструктивно прибор состоит из двух ультрафиолетовых решетчатых спектрометров со спектральным разрешением 1 нм. Первый – для отображения общего содержания озона в столбе атмосферы (картограф): диапазон измерений (300 – 380) нм с поперечной полосой обзора 50 × 2800 км и разрешением 50 км. Второй – профилировщик озона, просматривающий в надир в диапазоне длин волн – (250 – 310) нм область – (250 × 250 км) с разрешением 250 км. Глобальное покрытие: картограф один раз в день, профилировщик надира один раз за 12 дней. Измерения только при солнечном свете.

NOAA-20 (JPSS-1) – первый КА программы JPSS, после запуска переименован в NOAA-20. Высота орбиты 834 км, нисходящая траектория, время пересечения экватора 13:25, был запущен в 2017 году. САС семь лет. Основное назначение – оперативная метеорология, океанография, большой объем об экологии и химии атмосферы. *Полезная нагрузка*: комплект целевой аппаратуры полностью соответствует комплекту SNPP за исключением прибора OMPS-limb, который отсутствует, но предполагается, что будет установлен на других спутниках серии JPSS (JPSS-2, -3, -4).

Метеоспутники Европы (агентство EUMETSAT)

Космическая система организации EUMETSAT предназначена для сбора данных о состоянии атмосферы и околоземного космического пространства в интересах метеослужб европейских стран. Конвенция об организации EUMETSAT была подписана в 1983 г. В настоящее время организация является оператором в том числе и спутников оперативного метеонаблюдения серий Meteosat и Metop.

Геостационарные европейские космические аппараты EUMETSAT серии Meteosat. Космиче-

ские аппараты Meteosat (Meteorological Satellite) служат для получения изображений облачного покрова и поверхности Земли, а также сбора данных, позволяющих оценить текущее состояние и прогнозировать изменения метеорологической обстановки в Европейском регионе. С их помощью осуществляется ретрансляция данных от автоматических измерительных средств (плавучие буи, шары-зонды, автоматические метеостанции) и уже обработанных метеоданных в виде синоптических карт и изображений облачного покрова с низким разрешением. Используются в составе международной системы КОСПАС-SARSAT для сбора данных о терпящих бедствие морских и воздушных транспортных средствах.

В настоящее время на ГСО работают четыре КА серии Meteosat второго поколения серии MSG (Meteosat Second Generation): **Meteosat-8 (IODC)** (был запущен в 2002 году, первоначальная точка стояния – 3,7° в. д., в 2016 году переведен на позицию 41,5° в. д., где вошел в систему сбора данных над Индийским океаном (IODC)); **Meteosat-9** (был запущен в 2005 году, точка стояния 3,5° в. д. (в настоящее время в резерве)); **Meteosat-10** запущен в 2012 году, точка стояния 9,5° в. д.; **Meteosat-11** запущен в 2015 году, точка стояния 0,0° в. д. Планировалось, что САС спутников этого поколения будет составлять пять и более лет. Все КА этой серии имеют одинаковый набор приборов *полезной нагрузки*:

– SEVIRI (Spinning Enhanced Visible Infra-Red Imager) [37 – 39] – радиометр видимого и ИК-диапазонов (вращающийся сканер). Сканирование в направлении восток – запад – механическое, осуществляется за счет вращения космического аппарата, в направлении север – юг пошагово, в самом сканере (при каждом обороте спутника снимаются три строки изображения (9 строк для видимого канала высокого разрешения), всего около 1250 строк в цикле повторения продолжительностью 15 минут. Прибор имеет 12 каналов – 11 узкополосных от 0,56 до 14,4 мкм с разрешением 1,6 – 4,8 км на пиксел и один широкополосный высокого разрешения – 0,6 – 0,9 мкм с разрешением 1 км на пиксел. Съемка всего диска Земли выполняется с периодом 15 минут. Возможна фрагментная съемка поверхности с более коротким интервалом.

– GERB (Geostationary Earth Radiation Budget) [40, 41] – прибор для определения радиационного баланса Земли и солнечной постоянной. Имеет два широкополосных канала, измеряет отражение в коротковолновой и испускание в длинноволновой областях спектра. Сканирование диска каждые 5 минут с усреднением по трем циклам. Разрешение – 42 км.

– DCS (Meteosat) (Data Collection Service) [42] – аппаратура предназначена для ретрансляции данных от средств контроля состояния окружающей среды, устанавливаемых на автономных наземных, воздушных и морских платформах DCP (Data Collection Platform). Передача данных от платформ DCP осуществляется в диапазоне 402,001 ... 402,199 МГц. Ретрансляция от КА серии **Meteosat** осуществляется в S-диапазоне (1675 ... 1676 МГц) по 66 каналам с шириной полосы частот 3 кГц каждый, 33 из которых предназначены для обслуживания платформ DCP организации EUMETSAT и 33 канала – для международного использования.

– GEOS&R (Geostationary Search and Rescue) [43] – аппаратура ретрансляции сигналов бедствия в поисково-спасательные центры от наземных радиомаяков, передающий экстренное сообщение и информацию о местоположении на частоте 406 МГц. Часть международной поисково-спасательной системы КОСПАС-SARSAT, согласованной Канадой, Францией, Россией, США и еще 37 государствами. Нисходящая передача информации с борта на Землю осуществляется в S-диапазоне.

Солнечно-синхронные космические аппараты оперативного метеонаблюдения Европы. Орбитальная группировка КА оперативного метеонаблюдения Европы, находящиеся на ССО состоит из трех спутников серии Metop (Metop-A, -B, -C) [44, 45]. Они предназначены для получения информации в части: изучения состояния облачного покрова, концентрации взвешенных частиц (аэрозолей); распределения водяного пара, малых газовых составляющих в атмосфере; химии атмосферы; мониторинг опасных атмосферных явлений; восстановления профилей влажности и температуры воздуха; изучения температурного режима океана; мониторинга динамики ледников и ледяного покрова, процессов загрязнения окружающей среды; определение теплового баланса Земли, параметров озонового слоя и контроля состояния околоземного космического пространства. Спутники также используются в системе ретрансляции данных от автономных наземных, воздушных и морских платформ DCP (Data Collection Platform) и в составе международной системы КОСПАС-SARSAT для сбора и ретрансляции сигналов бедствия в поисково-спасательные центры данных о терпящих бедствие морских и воздушных транспортных средствах в целях определения их местоположения и скорейшей организации поисково-спасательных работ.

Metop-A. Высота орбиты 827 км, нисходящая траектория, время пересечения экватора 08:46, был

запущен 19 октября 2006 года. Расчетный САС от пяти до шести лет.

Metop-B. Высота орбиты 827 км, нисходящая траектория, время пересечения экватора 09:30, был запущен 17 сентября 2012 года. САС шесть лет.

Metop-C. Высота орбиты 817 км, нисходящая траектория, время пересечения экватора 09:30, был запущен 7 ноября 2018 года. САС шесть лет.

Характеристика целевой аппаратуры космических аппаратов серии Metop. Комплексы целевой аппаратуры **Metop-A** и **Metop-B** полностью совпадают: AVHRR/3; HIRS/4; IASI; MHS; AMSU-A; GOME-2; ASCAT; GRAS; A-DCS; S&RSAT; SEM/MEPED; SEM/TED.

Целевая аппаратура **Metop-C** состоит из приборов: AVHRR/3; IASI; MHS; AMSU-A; GOME-2; ASCAT; GRAS; A-DCS.

Приборы AVHRR/3; HIRS/4; AMSU-A; SEM/MEPED; SEM/TED были разработаны в рамках программы метеорологической системы NOAA-POES (Polar Operational Environmental Satellites).

– AVHRR/3 (Advanced Very High Resolution Radiometer/3) [1] – шестиканальный сканирующий радиометр видимого и ИК-диапазонов среднего разрешения. Предназначен для получения изображений облачного покрова и поверхности Земли в видимом и ИК-участках спектра с разрешением до 1,1 км и полосой обзора 2900 км.

– HIRS/4 (High-resolution Infra-Red Sounder/4) [1] – прибор инфракрасного зондирования атмосферы высокого разрешения. Служит для построения атмосферных профилей температуры и влажности, измерения температуры поверхности, облачных параметров и общего содержания озона. Из 20-ти каналов один видимого диапазона, а остальные 19 каналов – инфракрасные, в диапазоне от 3,8 до 15 мкм. Установлен на Metop-A, Metop-B и Metop-C и на всех деградировал.

– AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A) [1] – прибор микроволнового зондирования температуры атмосферы. Предназначен для температурного зондирования практически при любых погодных условиях. Имеет 15 каналов в диапазоне 23 – 90 ГГц. Полоса захвата прибора – 2250 км, разрешение – 48 км. Деградировал на Metop-A и Metop-C.

– IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) [46, 47] – инфракрасный интерферометр зондирования атмосферы. Прибор проводит измерения спектров атмосферы в инфракрасном диапазоне. Интерферометр обладает 8461 каналами, с одним встроенным ИК-каналом формирования изображений. Предназначен для предоставления профилей температуры и водяного пара с высоким разрешением по вертикали,

температуры и высоты верхней границы облачности, поверхностных температур суши и океана; профили озона, общего содержания монооксида углерода (CO), диоксида углерода (CO₂), закиси азота (N₂O) и метана (CH₄) в атмосфере Земли. Охватывает спектральный диапазон 3,62 – 15,5 мкм, ширина полосы съемки – 2130 км, разрешение 4 × 12 км рядом с центром ячейки 48 × 48 км².

– MHS (Microwave Humidity Sounding) [48, 49] – прибор микроволнового зондирования влажности атмосферы практически при любых погодных условиях, а также измерения интенсивности осадков. Является пятиканальным радиометром поперечного сканирования в диапазоне 89 – 190 ГГц. Работает совместно с прибором AMSU, полоса обзора составляет 2180 км, разрешение – 16 км.

– GOME-2 (Global Ozone Monitoring Experiment-2) [50, 51] – прибор для мониторинга озонового слоя. Спектрометр видимого, ультрафиолетового излучения и ближнего ИК-диапазонов среднего разрешения. Измеряет отраженное или рассеянное атмосферой и отраженное поверхностью Земли солнечное излучение в диапазоне 240 – 790 нм со спектральным разрешением 0,2 – 0,4 нм в 4096 каналах в четырех полосах спектра (240 – 315 нм, 311 – 403 нм, 401 – 600 нм, 590 – 790 нм). Прибор предназначен для мониторинга стратосферных и тропосферных профилей озона и общего содержания озона в атмосферном столбе, а также измерение общего количества малых газовых составляющих (BrO, ClONO₂, H₂O, HCHO, NO₂, O₂, O₃, O₄, OCIO, SO₂), аэрозолей, измерение количества H₂O и других газовых примесей, участвующих в фотохимии озона. Разрешение основных каналов: 40 × 40 км², для полосы обзора 960 км, или 40 × 80 км², для полосы обзора 1920 км. Глобальное покрытие каждые три дня с высоким разрешением или 1,5 дня с низким разрешением.

– ASCAT (Advanced Scatterometer) [52, 53] – прибор для измерения скорости и направления ветра над океаном (скаттерометр). Предназначен для определения векторных полей ветра над поверхностью моря путем измерения коэффициента обратного рассеяния. Помимо измерения векторов ветра, ASCAT отслеживает распределение снега и льда на суше и на море, а также крупномасштабно влажность почвы. Представляет из себя импульсный радар в С-диапазоне на 5,2555 ГГц. Имеет две широкие полосы обзора по 550 км. Разрешение прибора составляет в режиме высокого разрешения – 12,5 км; в номинальном режиме (50 – 25) км.

– GRAS (GNSS Receiver for Atmospheric Sounding) [54] – система построения атмосферных про-

филей температуры, давления, влажности с использованием GPS-сигналов спутников радиозатемненным способом. Принцип работы основан на измерении задержки фазовых параметров радиосигнала GPS, проходящего сквозь атмосферу до спутника из-за изменений показателя преломления различных слоев атмосферы и ионосферы, который зависит от давления, температуры и влажности атмосферы. Измерения проводятся в моменты ухода или появления спутников над горизонтом, когда эта трасса последовательно пересекает атмосферу от верхних до приземных слоев и обратно. В сутки может быть получено до 500 атмосферных профилей по высотам от 5 до 30 км. Разрешение 300 км по горизонтали, 0,5 км по вертикали.

– A-DCS [1] – аппаратура системы сбора и ретрансляции метеорологических данных от средств контроля состояния окружающей среды, устанавливаемых на автономных наземных, воздушных и морских платформах DCP, осуществляет прием сигналов (на частоте 401,65 МГц) и определение местоположения платформ с помощью расчетов доплеровского сдвига. Основная цель – сбор и распространение данных через сеть Argos по измерению температуры, давления, влажности, уровня моря, состояния океанов, атмосферы, вулканов, рыболовных флотилий и т. д.

– S&RSAT [1] – элементы системы КОСПАС-SARSAT. Принимают и обрабатывают аварийные сигналы от радиобуев на частоте 406 МГц, а затем передаются на частоте 1544,5 МГц на локальные терминалы пользователей.

– SEM/MEPED [55] – детектор электронов и протонов средней энергии (монитор космической погоды); предназначен для измерения интегрального направленного потока электронов в диапазоне 30 – 300 кэВ и измерения интегрального направленного потока протонов в диапазоне от 0,03 до 6,9 МэВ.

– SEM/TED [55] – спектрометр энергетических частиц (монитор космической погоды). Предназначен для измерения дифференциальных направленных потоков протонов и электронов на уровне платформы.

Спутники оперативного метеонаблюдения Китая

Орбитальная группировка КА оперативного метеонаблюдения Китая состоит из 4-х КА на ГСО (трех КА серии FY-2 и одного КА серии FY-4) и двух КА на ССО серии FY-3. Она предназначена для сбора данных, позволяющих контролировать текущее состояние и прогнозировать развитие метеорологической обстановки как на территории страны, так и в глобальном масштабе с использованием низкоорбитальных и геостационарных КА.

Низкоорбитальные спутники имеют обозначения FY-3 (FENG-YUN, что переводится как «ветер и облако»), а геостационарные КА – FY-2 и FY-4. Общее руководство работами в области оперативного метеонаблюдения из космоса осуществляет Китайское метеорологическое управление (СМА – China Meteorological Administration).

Геостационарные космические аппараты оперативного метеонаблюдения Китая. В настоящее время на геостационарной орбите у Китая находятся четыре спутника [56]. Три КА серии FY-2 (САС три года): **FY-2F** (запущен в 2012 году, точка стояния 112° в. д., в настоящее время в резерве), **FY-2G** (запущен в 2014 году, точка стояния $99,5^\circ$ в. д.), **FY-2H** (запущен в 2018 году, точка стояния 79° в. д.). Основной КА, серия **FY-4**, запущен в 2016 году, точка стояния 105° в. д.

Все эти КА предназначены для получения изображений облачного покрова и поверхности Земли, контроля состояния околоземного космического пространства и ретрансляции данных от дистанционных измерительных средств. С их помощью получают изображения облачности в видимом и ИК-диапазонах, карт распределения водяного пара, ведется сбор данных с автоматических метеорологических, океанографических и гидрологических измерительных платформ.

Полезная нагрузка космических аппаратов **FY-2F, FY-2G, FY-2H** имеет одинаковый состав целевой аппаратуры:

– SVISSR (FY-2F/G/H) (Stretched Visible and Infrared Spin Scan Radiometer) [1] – сканирующий радиометр видимого и ИК-диапазонов, имеющий пять каналов VIS/MWIR/TIR (один VIS (0,55 – 0,99) мкм; 4 ИК (10,3 – 11,3) мкм; (11,5 – 12,5) мкм; (6,3 – 7,6) мкм; (3,5 – 4,0) мкм)). Изображения полного диска Земли каждые 30 минут, локальные области в более короткие промежутки времени. Разрешение – 5,0 км для ИК-каналов; 1,25 км для канала VIS.

– DCS (FY) (Data Collection Service) [1] – аппаратура системы сбора и ретрансляции данных от наземных, воздушных и морских платформ контроля параметров окружающей среды DCP (Data Collection Platform). DSC (FY) устанавливается на все КА серий FY-2 и FY-4. Прием данных от платформ DCP осуществляется на частоте 401 МГц. Ретрансляционное оборудование DCS на КА FY-2 позволяет ретранслировать данные по 100 каналам, 33 из которых предназначены для международного использования.

– SEM (FY-2) (Space Environment Monitor) [1] – монитор космической среды для измерения пото-

ков альфа-частиц, протонов и электронов на уровне платформы. Набор счетчиков электронов (0,15 – 1 МэВ), протонов (0,85 – 400 МэВ) и альфа-частиц (3,8 – 500 МэВ).

– SXM (Solar X-ray monitor) (Solar X-ray monitor) – монитор потока солнечного рентгеновского излучения, достигающего платформы, в диапазоне 1 – 10 кэВ.

Космический аппарат FY-4A – первый КА из серии FY-4 трехосных стабилизированных геостационарных метеорологических спутников второго поколения. Характеристики серии FY-4 значительно превышают по объему и пропускной способности передачи данных, видов и количества продуктов КА серии FY-2. Спутники нового поколения FY-4 обладают расширенными возможностями сканирования изображений, имеют приборы вертикального температурного и влажностного зондирования атмосферы. На космических аппаратах серии, начиная со второго **FY-4B**, предполагается существенно расширить пакет приборов гелиогеофизического назначения, включая приборы солнечного наблюдения в диапазонах EUV (экстремального ультрафиолета) и рентгеновского излучения. КА **FY-4A** имеет расчетный срок службы пять лет, начальная масса 5300 кг, средняя мощность системы электропитания 3200 Вт [57, 58].
Полезная нагрузка FY-4A:

– AGRI (Advanced Geosynchronous Radiation Imager) [59] – сканирующий радиометр видимого и ИК-диапазонов. Так же как и прибор ABI (GOES-R), разработан компанией Harris (ранее ITT Corporation) и предназначен для круглосуточного получения изображений облачного покрова и поверхности Земли. Мультиспектральный прибор проводит съемку в 14-ти каналах; три канала – в видимом диапазоне (0,45 – 0,49; 0,55 – 0,75 и 0,75 – 0,90 мкм) и 11 каналов – в ИК-диапазоне (1,36 – 13,8 мкм). Пространственное разрешение зависит от диапазона длин волн и составляет 0,5 км – 1,0 км для видимой области, 2,0 км для SWIR и 4,0 км для диапазонов MWIR и LWIR. AGRI может вести съемку полного диска Земли каждые 15 минут и ограниченные области каждые 5 минут.

– GIIRS (Geostationary Interferometric Infra Red Sounder) [60] – геостационарный интерферометрический инфракрасный зондировщик атмосферы является первым датчиком зондирования высокого разрешения на борту геостационарного спутника. Прибор предназначен для зондирования температуры и влажности атмосферы, для определения профиля ветра путем отслеживания характеристик

водяного пара. Данные предоставляемые GIRS, используются для построения профилей температуры и влажности атмосферы, высоты и температуры верхней границы облачности, температуры поверхности моря, профилей удельной влажности, интегрированных измерений водяного пара, карт облачного покрова, температуры поверхности Земли, горизонтальных ветров, общего содержания озона в столбе и определения типов облаков. Это интерферометр диапазонов MWIR/TIR с 913 (охватывает 538 каналов TIR и 375 каналов MWIR), каналами для FY-4A, и 1188-ю каналами на последующих КА серии FY-4. Пространственное разрешение для диапазонов LWIR и MWIR – 16 км, VIS – 2 км на пиксель. Период сканирования – площади Китая (5000×5000 км) за 67 мин, мезомасштабной области (1000×1000 км) за 35 мин.

– LMI (Lightning Mapper Imager) [61] – детектор молний, является первым датчиком обнаружения молний на спутниках Китая, камера работает на длине волны 777,4 нм (атомарный кислород O), для подсчета вспышек и измерения их интенсивности. LMI имеет возможность непрерывного мониторинга в зоне покрытия (поле обзора по диагонали 9000 км). Разрешение – 7,8 км на пиксель в подспутниковой точке и непрерывное наблюдение за полным диском с временным разрешением около 2 мс. LMI наблюдает за региональной грозовой активностью. Информация LMI необходима для прогнозирования конвективных осадков, а также для изучения электрического поля Земли. Цели миссии – это фиксация общей плотности молний, непрерывное измерение активности разрядов молний (как внутри облаков, так и между облаками и Землей) в пределах поля обзора как днем, так и ночью.

– DCS (FY) – аппаратура системы сбора и ретрансляции данных от автономных наземных, воздушных и морских платформ контроля параметров окружающей среды DCP (Data Collection Platform). DSC (FY) устанавливается на все КА серий FY-2 и FY-4. Прием данных от платформ DCP осуществляется на частоте 401 МГц. Ретрансляционное оборудование DCS на КА FY-2 позволяет ретранслировать данные по 100 каналам, 33 из которых предназначены для международного использования.

– SEP (Space Environment Package) [1] – пакет приборов для измерения потоков частиц и электромагнитных излучений в режиме реального времени и состоит из двух инструментов:

• SEP/HEPS (SEP/High Energetic Particles Sensor) – датчик высокоэнергетических частиц представляет собой комплект счетчиков электронов и протонов. Детектор высокоэнергетических протонов содер-

жит 8 каналов в диапазоне энергий 1 – 165 МэВ с коническим полем зрения под углом 60° . Детектор высокоэнергетических электронов содержит девять каналов в диапазоне энергий 0,4 – 4 МэВ с коническим полем зрения под углом 25° .

• SEP-fields – датчик магнитного поля. Комплект приборов, включающий в себя магнитометр с магнитным затвором (FGM), дозиметр радиации и датчики поверхностного заряда. Динамический диапазон FGM: от $\pm 0,01$ до ± 600 нТл для каждого компонента, с разрешением $\pm 0,06$ при максимальной динамике.

Солнечно-синхронные космические аппараты оперативного метеонаблюдения Китая. Серия FY-3 – второе поколение китайских полярно-орбитальных метеорологических спутников (продолжение FY-1) совместной программы СМА и CNSA. Основные задачи программы – сбор гидрометеорологических данных для среднесрочного и долгосрочного прогнозирования погоды и глобальных климатических исследований [62].

КА серии FY-3 предназначены для получения информации в части: измерения параметров облачного покрова и осадков; распределения водяного пара, малых газовых составляющих в атмосфере; химии атмосферы; мониторинга опасных атмосферных явлений; глобального измерения и трехмерного зондирования температуры и влажности атмосферы; процессов загрязнения окружающей среды; крупномасштабных метеорологических катастроф, вторичных стихийных бедствий. А также для предоставления геофизических параметров для научных исследований изменения климата, определения теплового баланса Земли, параметров озонового слоя и контроля состояния околоземного космического пространства.

На этапе эксплуатации орбитальная группировка КА серии FY-3 спланирована для скоординированной одновременной работы двух спутников, один из которых на утренней орбите, а другой на полуденной. Полезная нагрузка спутников отличается, а временные интервалы согласуются с ВМО.

В настоящее время в эксплуатации находятся КА FY-3C и FY-3D:

КА FY-3C запущен в 2013 году, высота орбиты – 836 км, нисходящая траектория, время пересечения экватора – 09:07, стартовая масса – 2300 кг; средняя мощность солнечных батарей (СБ) – 2500 Вт. САС спутника пять лет. Набор целевой аппаратуры: MERSI-1; MWTS-2; MWHS-2; MWRI; GNOS; ERM-1; IRAS; VIRR (FY-3); TOU; SBUS; SIM-1; SEM/HEPD; SEM/IMS;

КА FY-3D запущен в 2017 году, высота орбиты – 836 км, нисходящая траектория, время пересечения

экватора – 13:29, стартовая масса – 2300 кг; средняя мощность СБ – 2500 Вт. САС спутника 5 лет. Набор целевой аппаратуры: MERSI-2; MWTS-2; MWHS-2; MWRI; GNOS; HIRAS; GAS; SWS/IPM; SWS/SEM/HEPD; SWS/SEM/IMS; SWS/WAI. *Полезная нагрузка спутников FY-3:*

– VIRR (FY-3) (Visible and Infra-Red Radiometer) [63] – оптический радиометр среднего разрешения, видимого и ИК-диапазонов предназначен для получения многоцелевых изображений облачного, снежного, ледяного и растительного покрова, водяных паров, аэрозолей и т. д. в 10 диапазонах (0,43 – 0,48 мкм; 0,48 – 0,53 мкм; 0,53 – 0,58 мкм; 0,58 – 0,68 мкм; 0,84 – 0,89 мкм; 1,325 – 1,395 мкм; 1,58 – 1,64 мкм; 3,55 – 3,95 мкм; 10,3 – 11,3 мкм; 11,5 – 12,5 мкм). Сканирование – поперечное, полоса обзора 2800 км, разрешение – 1,1 км на пиксель. Прибор установлен на FY-3C, в настоящее время деградировал.

– MERSI-1 (Medium Resolution Spectral Imager-1) [64] – спектрометрический радиометр среднего разрешения (сканер цветности океана). Прибор предназначен для определения суточных карт облачности, снежного, морского ледяного и растительного покрова, температуры поверхности Земли и поверхности океана, изучения оптической глубины аэрозоля, концентрации хлорофилла в океане, обнаружения пожаров, наводнений. Измерения проводятся в 20 диапазонах (19 узких полос пропускания в VIR/NIR/SWIR и одна широкополосная) от 0,44 до 12,5 мкм. Сканирование – поперечное, полоса обзора 2900 км, разрешение от 250 м до 1 км на пиксель. Прибор установлен на FY-3C, в настоящее время неактивен.

– MERSI-2 (Medium Resolution Spectral Imager-2) [65] – спектрометрический радиометр среднего разрешения (сканер цветности океана). Прибор предназначен для определения суточных карт облачности, снежного, морского ледяного и растительного покрова, температуры поверхности Земли и поверхности океана, изучения оптической глубины аэрозоля, концентрации хлорофилла в океане, обнаружения пожаров, наводнений. Измерения проводятся в 25 каналах в диапазонах от 0,402 до 12,5 мкм. Сканирование – поперечное, полоса обзора 2900 км, разрешение от 250 м до 1 км на пиксель. Прибор активно работает на FY-3D.

– MWRI (Micro-Wave Radiation Imager) [65] – пассивный микроволновый сканирующий радиометр. Прибор предназначен для определения интенсивности осадков на поверхности, морского ледяного покрова, скорости ветра над поверхностью моря, встроенного водяного пара, снежного покрова, состояния снега (влажное/сухое), влажности почвы,

содержания в облаках воды в жидком виде, получения параметров морской поверхности и т. д. Состоит из 10 каналов работающих на пяти частотах в диапазоне от 10,65 до 89 ГГц. Сканирование прибора – коническое (зенитный угол – 53,1°, ширина полосы обзора 1400 км, разрешение – от 9 × 15 до 51 × 85 км. Прибор на обоих КА FY-3C и FY-3D. На FY-3C в настоящее время неактивен.

– IRAS (Infra-Red Atmospheric Sounder) [65] – инфракрасный зондировщик атмосферы. Прибор предназначен для определения профиля температуры и влажности атмосферы, встроенного водяного пара, температуры поверхности моря, высоты верхней границы облачности, для определения общей концентрации озона, перистой облачности, аэрозолей и т. д. Измерения проводятся с помощью 26-ти каналов в диапазонах от 0,69 мкм до 14,95 мкм (в том числе шесть коротковолновых). Сканирование – поперечное, ширина полосы обзора 2250 км. Разрешение – 17 км. Прибор работает на FY-3C.

– HIRAS (Hyperspectral Infrared Atmospheric Sounder) [65] – гиперспектральный инфракрасный зондировщик атмосферы. Прибор предназначен для определения профиля температуры и влажности атмосферы, измерения озонового профиля и парниковых газов, температуры поверхности моря; температуры облачности; температуры поверхности Земли; высоты верхней границы облачности, высоты тропосферы, встроенного водяного пара, удельной влажности, восходящего длинноволнового излучения, типа облачности и т. д. Прибор представляет из себя интерферометр Майкельсона с тремя полосами: 3,92 – 4,64 мкм; 5,71 – 8,26 мкм; 8,80 – 15,39 мкм, (1370 каналов). Сканирование – поперечное, ширина полосы обзора 2250 км. Разрешение – 16 км. Прибор работает на спутнике FY-3D.

– MWTS-2 (Micro-Wave Temperature Sounder) [65] – микроволновый температурный зондировщик атмосферы. Прибор определяет профиль температуры в атмосфере, высоту замерзания воды в облаках, интенсивность осадков (жидкой и твердой фаз), нисходящей длинноволновой радиации на поверхности Земли, восходящей длинноволновой радиации на поверхности Земли. Измерения проводятся с помощью 13 каналов (на 13 частотах) в диапазонах от 50,30 до 57,29 ГГц. Сканирование – поперечное, ширина полосы обзора 2250 км. Разрешение – 32 км. Прибор установлен на обоих КА FY-3C и FY-3D. На КА FY-3C в настоящее время неактивен.

– MWHS-2 (Micro-Wave Humidity Sounder-2) [66] – микроволновый зондировщик влажности атмосферы. Прибор для определения профилей влажности в атмосфере практически во всех погодных условиях,

определения концентрации водяных паров, количества атмосферных осадков и содержания в облаках воды в жидком виде, температуры атмосферы; общего содержания облачного льда, встроенного водяного пара. Измерения проводятся с помощью 15 каналов, включая полосы 183 ГГц (для влажности) и 118 ГГц (для поддержки информации о температуре). Сканирование – поперечное, ширина полосы обзора 2700 км. Разрешение – 32 км на пиксель (для частот 118 ГГц) и 16 км на пиксель (для частот 183 ГГц). Прибор установлен на FY-3C и FY-3D. На КА FY-3C в настоящее время деградировал.

– GNOS (GNSS Radio Occultation Sounder) [67, 68] – радиозатменный зондировщик атмосферы на радиочастотах GNSS. Прибор предназначен для определения профиля температуры и влажности атмосферы с высоким вертикальным разрешением, удельной влажности, высоты верхней границы облачности, высоты тропопаузы, температуры тропопаузы, вертикального общего содержания электронов в ионосфере, плотности, ионосферной сцинтилляции. Сканирование толщи атмосферы на просвет с высоты орбиты спутника. Разрешение – около 300 км по горизонтали, 0,5 км по вертикали. Прибор установлен на обоих КА FY-3C и FY-3D. На КА FY-3C в настоящее время деградировал.

– ERM-1 (Earth Radiation Measurement-1) [65] – прибор измерения радиационного баланса Земли. Прибор предназначен для измерения радиационного баланса Земли (Earth radiation budget), цель состоит в том, чтобы точно измерить падающее солнечное излучение, а также отраженное коротковолновое и длинноволновое излучение от системы Земля – атмосфера для определения радиационного баланса Земля – атмосфера. ERM-1 состоит из двух блоков для измерения солнечной радиации и излучения системы Земля – атмосфера, соответственно: монитор солнечного излучения – состоит из трех радиометров в спектральном диапазоне 0,2 – 50 мкм, измерение излучения производится в диапазоне 100 – 2000 Вт/м² с чувствительностью 0,2 Вт/м² и монитор излучения Земля – атмосфера, прибор может измерять отраженное излучение Земля – атмосфера в двух каналах и двух режимах: в режиме без сканирования с широким полем и в режиме сканирования в узком поле. Два канала в диапазонах 0,2 – 4,3 мкм и 0,2 – 50 мкм. Сканирование – поперечное (каждые 4 с), полоса обзора 2300 км, разрешение 28 км на пиксель. В режиме без сканирования с широким полем угол обзора 120 градусов (2200 км). Прибор на спутнике FY-3C в настоящее время неактивен.

– GAS (Greenhouse-gases Absorption Spectromete) [65] – спектрометр парниковых газов, оптический зонди-

ровщик атмосферы. Прибор предназначен для измерения концентрации малых газовых составляющих (CO₂, CH₄, CO, N₂O), возможно использование для измерения высоты верхней границы облачности. Спектрометр работает при дневном свете в четырех диапазонах NIR/SWIR (0,75 – 0,77 мкм; 1,56 – 1,72 мкм; 1,92 – 2,08 мкм; 2,20 – 2,38 мкм). Разрешение – 10 км. Прибор установлен и работает на КА FY-3D.

– TOU (Total Ozone Unit) [69] – оптический коротковолновый зондировщик атмосферы. Прибор предназначен для определения глобального распределения общего содержания озона O₃, а также распределения HCHO, NO₂, SO₂. Прибор работает при дневном свете в диапазоне от 308 до 360 нм. Шесть каналов шириной 1,2 нм. Ширина полосы обзора 3000 км. Разрешение – 50 км. Прибор, установленный на КА FY-3C, деградировал.

– SBUS (Solar Backscatter Ultraviolet Sounder) [65] – зондировщик атмосферы в ультрафиолетовом диапазоне. Зонд рассеянного солнечного УФ-излучения, служащий для измерения вертикального профиля озона и общей его концентрации, для измерения общего содержания в столбе атмосферы HCHO, общего содержания NO₂. Прибор работает при дневном свете в диапазоне от 252 до 340 нм. Двенадцать дискретных каналов шириной 1,15 нм. Сканирование только в надир. Разрешение – 200 км. Прибор, установленный на КА FY-3C, в настоящее время неактивен.

– SIM-1 (Solar Irradiance Monitor-1) – монитор солнечной активности. Прибор измерения общего солнечного излучения в спектральном диапазоне 0,2 – 50 мкм, с абсолютной точностью 0,5%. Просмотр Солнца на каждом витке в момент нахождения спутника в районе Северного полюса. Прибор установлен на КА FY-3C, в настоящее время неактивен.

– SEM/HEPD (Space Environment Monitor/High Energy Particle Detector) – монитор космической среды – детектор частиц высокой энергии [1]. Прибор предназначен для измерения дифференциальных направленных потоков электронов, протонов и альфа-частиц на уровне платформы. Прибор состоит из спектрометров для электронов с энергией от 0,25 до 2,0 МэВ, протонов с энергией от 6,4 до 38 МэВ и альфа-частиц (15 – 60 МэВ). Прибор установлен на КА FY-3C, в настоящее время неактивен.

– SEM/IMS (Space Environment Monitor – Ionosphere Measurement Sensor) – монитор космической среды – прибор измерения параметров ионосферы. Прибор предназначен для измерения температуры и плотности ионосферных электронов, заряда платформы и дозы на уровне платформы космического аппарата [1]. Цели – измерение электростати-

ческого заряда; радиационной дозы и плотности электронов. Специально устроенный зонд Ленгмюра для измерения температуры электронов от 0 до 1 эВ и плотности электронов в диапазоне $10 - 10^{-6}$ электронов на см^3 . Прибор установлен на КА FY-3C, в настоящее время неактивен.

Пакет приборов «космической погоды» – SWS (Space Weather Suite) [1]:

– SWS/IPM (Space Weather Suite/Ionospheric PhotoMeter) – прибор ультрафиолетовой спектрометрии ионосферы. Прибор осуществляет наблюдение ионосферы с ССО: за интенсивностью свечения кислорода в ночном небе на длине волны 135,6 нм и интенсивностью свечения кислорода в воздухе при ярком дневном свете на длине волны 135,6 нм, а также за интенсивностью свечения в воздухе азота (140 – 180 нм). Угол обзора: $3,5^\circ$ (вдоль трека) \times $1,6^\circ$ (поперек трека). Разрешение – 30 км на высоте 300 км. Прибор работает на КА FY-3D.

– SWS/SEM/HEPD (Space Weather Suite/Space Environment Monitor/High Energy Particle Detector) – монитор космической среды – детектор частиц высокой энергии. Прибор предназначен для измерения дифференциальных направленных потоков электронов, протонов и альфа-частиц на уровне платформы. Прибор состоит из спектрометров для электронов с энергией от 0,25 до 2,0 МэВ, протонов с энергией от 6,4 до 38 МэВ и альфа-частиц (15 – 60 МэВ). Прибор установлен и работает на КА FY-3D.

– SWS/SEM/IMS (Space Weather Suite/Space Environment Monitor/Ionosphere Measurement Sensor) – монитор космической среды – прибор измерения параметров ионосферы. Прибор предназначен для измерения температуры и плотности ионосферных электронов, заряда платформы и дозы на уровне платформы космического аппарата. Цели – измерение электростатического заряда; радиационной дозы и плотности электронов. Зонд Ленгмюра измеряет температуры электронов до 1 эВ и плотности электронов в диапазоне $10 - 10^{-6}$ электронов/ см^3 . Прибор установлен и работает на КА FY-3D.

– SWS/WAI (Space Weather Suite/Wide-field Auroral Imager) – широкоформатный авроральный радиометр ультрафиолетового диапазона. Прибор предназначен для измерения интенсивности потоков ультрафиолетового излучения для диапазона 140 – 180 нм. Основная задача – авроральные наблюдения с ССО интенсивности и формы полярного сияния, которые позволяют определить связь геомагнитной активности с динамическими характеристиками высокоэнергетических частиц в полярной области, а также влияние солнечного ветра на ионосферу. Сканирование – изображения полярного сияния с углом обзора $130 \times 130^\circ$.

Разрешение – 10 км на пиксель. Глобальное покрытие ежедневно. Прибор установлен и работает на КА FY-3D.

Дальнейшее развитие полярно-орбитальной группировки спутников Китая, в соответствии с национальным планом развития космической инфраструктуры, связывается с запуском следующих КА серии FY-3 (FY-3E, -F, -H, -I). СМА планирует развивать возможности наблюдений, используя новую ЦА, например, WindRAD для морских ветров, всего до 16-ти новых и модернизированных приборов.

Космический аппарат оперативной метеорологии Индии

В Индии в интересах оперативного метеонаблюдения используется система INSAT (Indian National Satellite) на базе спутников на геостационарной орбите [70]. Система предназначена для получения метеорологических данных с ГСО в интересах IMD. Заказчиком и головным разработчиком является национальное космическое агентство ISRO. Программа Insat-3D предусматривает развитие взаимодействия Индии и США по вопросам решения технических и научных задач. В число взаимодействующих организаций вошли: Министерство землеведения Индии (MoES – Ministry of Earth Sciences) и IMD с одной стороны и Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы NOAA и Национальная информационная служба спутниковых данных об окружающей среде NESDIS (National Environmental Satellite, Data and Information Service) с другой.

В настоящее время в составе системы используются два геостационарных космических аппарата серии INSAT-3 (САС КА семь лет).

КА INSAT-3D запущен в 2013 году, точка стояния 82 в. д., стартовая масса 2060 кг; средняя мощность СБ 1164 Вт).

КА INSAT-3DR запущен в 2016 году, точка стояния 74 в. д., стартовая масса 2060 кг; средняя мощность СБ 1164 Вт [71, 72].

Полезная нагрузка каждого КА включает радиометр видимого и ИК-диапазонов, а также ИК-зондировщик атмосферы.

Установленный на КА INSAT-3D инфракрасный зондировщик атмосферы SOUNDER (INSAT) в настоящее время неактивен.

КА предназначены для проведения развернутых метеорологических исследований, для получения изображений облачного покрова, подстилающей поверхности Земли, поверхности океана, получения данных количественного зондирования атмосферы, вертикальных профилей температуры, влажности и

общего содержания озона. Данные с КА вводятся в модели численного прогноза погоды в режиме реального времени. С их помощью получают изображения облачности в видимом и ИК-диапазонах, карт распределения водяного пара, ведется сбор и ретрансляция данных с автоматических метеорологических, океанографических и гидрологических измерительных платформ. Решаются задачи составления прогноза погоды и предупреждения о стихийных бедствиях и штормах. КА используются в составе международной системы КОСПАС-SARSAT для сбора данных о терпящих бедствие морских и воздушных транспортных средствах.

Полезная нагрузка геостационарных космических аппаратов INSAT. Космические аппараты INSAT-3D и INSAT-3DR имеют одинаковый состав целевой аппаратуры: IMAGER (INSAT), SOUNDER (INSAT), DCS (INSAT), SAS&R:

– IMAGER (INSAT) [72, 73] – изображающий радиометр видимого и ИК-диапазонов предназначен для получения многоцелевых изображений Земли в шести диапазонах длин волн: (0,55 – 0,75 мкм VIS (видимый); 1,55 – 1,70 мкм SWIR (коротковолновый инфракрасный); 3,80 – 4,00 мкм MWIR (средневолновый инфракрасный); 6,50 – 7,10 мкм WV (водяной пар); 10,3 – 11,3 мкм TIR-1 (инфракрасный); 11,5 – 12,5 мкм TIR-2 (инфракрасный)). Геометрическое разрешение: 1 км для VIS и SWIR; 4 км для MWIR; 8 км для WV; 4 км для TIR-1 и TIR-2. Периодичность получения изображений полного диска Земли – 30 минут. Целевая информация предназначена для получения данных об облачном покрове; высоты верхней границы облачности; температуры верхней границы облачности; определения типа облачности; получения интегрированных данных о водяном паре в столбе атмосферы; данных, позволяющих построить горизонтальный профиль ветров; определить эффективный радиус облачной капли; эффективный радиус облачного льда; температуру земной поверхности; осадки, скорость у поверхности; температуру поверхности океана; обнаружение действующих пожаров; снежный покров и т. д.

– SOUNDER (INSAT) [72, 73] – инфракрасный зондировщик атмосферы. Прибор предназначен для получения вертикальных профилей температуры, влажности и общего содержания озона и обеспечивает возможность построения вертикальных профилей: температуры на 40 уровнях от земной поверхности до высоты 70 км; влажности на 21 уровне от поверхности Земли до высоты 15 км и общего содержания озона от поверхности Земли до верхних слоев атмосферы. Зондировщик имеет 18

узких спектральных каналов в областях SWIR (коротковолновый инфракрасный, 6 каналов), MWIR (средневолновый инфракрасный, 5 каналов) и LWIR (длинноволновый инфракрасный, 7 каналов) и один канал в видимой области. Полный цикл сканирования области 6400×6400 км² за 3 часа. Меньшие площади сканируются за более короткие промежутки времени. Разрешение – 10 км. Кроме того, прибор получает информацию о: температуре поверхности океана; облачном покрове; высоте верхней границы облачности; температуре верхней границы облачности; типе облачности; нисходящем длинноволновом излучении (у поверхности Земли); температуре поверхности Земли; исходящем длинноволновом излучении (у поверхности Земли); исходящем длинноволновом излучении (у границы атмосферы) и т. д. Установленный на КА INSAT-3D инфракрасный зондировщик атмосферы SOUNDER (INSAT) в настоящее время неактивен.

– DCS (INSAT) – прибор службы сбора данных (Data Collection Service). Предназначен для сбора и ретрансляция данных от автоматических платформ сбора данных DCP в наземном сегменте, работает с более чем 1800 платформами сбора данных, как по времени, так и по запросу и проводит определение местонахождения платформ. Ретранслирует информацию на нисходящую линию связи в расширенном С-диапазоне.

– SAS&R (Advanced Aided Search & Rescue) – прибор расширенного поиска и спасения. Назначение прибора – ретрансляция сигналов бедствия в поисково-спасательные центры и определение местонахождения источника на Земле на частоте 406 МГц. Сообщения и информация о местоположении терпящих бедствие передаются на локальные пользовательские терминалы для переадресации в центр управления, который активирует соответствующую спасательную организацию. Нисходящая линия связи работает в расширенном С-диапазоне. Основными пользователями службы SAS&R в Индии являются Индийская береговая охрана, ААИ (Управление аэропортов Индии), Генеральный директорат судоходства и служб обороны. Индийский регион обслуживания включает большую часть региона Индийского океана, охватывающую Индию, Бангладеш, Бутан, Мальдивы, Непал, Сейшельские острова, Шри-Ланку и Танзанию.

Дальнейшее развитие орбитальной группировки индийских спутников метеонаблюдения на ГСО связывается с запуском КА INSAT-3DS в 2023 году в ту же точку стояния (74 в. д.) с набором целевой аппаратуры аналогичному набору для КА INSAT-3DR.

Геостационарные спутники оперативного метеонаблюдения Японии

Орбитальная группировка КА оперативного метеонаблюдения Японии состоит из двух геостационарных спутников третьего поколения [74 – 76]:

КА **Himawari-8** – запущен в 2014 году, точка стояния $140,68^\circ$ в. д., стартовая масса 3500 кг; средняя мощность 2600 Вт;

КА **Himawari-9** (JMA) – запущен в 2016 году, точка стояния $140,73^\circ$ в. д., стартовая масса 3500 кг; средняя мощность 2600 Вт (в настоящее время в резерве).

КА разработаны и созданы специалистами компании MELCO (Mitsubishi Electric Corporation) на основе платформы DS-2000. Космические аппараты Himawari предназначены для получения данных, позволяющих оценить и прогнозировать метеорологическую обстановку на территории Японских островов и большинства стран Азиатско-Тихоокеанского региона. Они служат для получения изображений облачного покрова и поверхности Земли, данных количественного зондирования атмосферы, данных о состоянии «космической погоды» в точке стояния на ГСО, сбора другой метеорологической информации и ретрансляции в наземные центры сбора информации данных от дистанционных измерительных средств (плавучие буи, шары-зонды, автоматические метеостанции). Спутники имеют идентичные спецификации. Основным прибор АНИ для КА Himawari-8 и Himawari-9 был изготовлен компанией Harris (ранее ITT Corporation). Он был разработан на основе радиометра Advanced Baseline Imager (ABI), создаваемого фирмой Harris для американских метеорологических спутников серии GOES-R. *Целевая аппаратура* обоих КА одинаковая: АНИ, DCS (Himawari), SEDA:

– АНИ (Advanced Himawari Imager) [77] – сканирующий изображающий радиометр видимого и ИК-диапазонов. ABI и АНИ проводят съемку в 16 мультиспектральных каналах в видимом и инфракрасном спектрах (VIS, NIR, SWIR, MWIR и TIR, от 0,47 мкм до 13,3 мкм). Оба прибора имеют одинаковые спектральные полосы с двумя отличиями: ABI включает канал 1,38 мкм (для обнаружения перистых облаков), тогда как этот канал заменяется каналом 0,51 мкм (зеленая полоса – для получения цветных композиционных изображений) на АНИ. Сканирование полного диска Земли производится за 10 мин. Ограниченные площади сканируются с пропорционально более короткими интервалами. Пространственное разрешение зависит от спектрального диапазона и составляет от 0,5 км (645 нм); 1 км (455 нм, 510 нм, 860 нм); до 2 км (для диапазонов 1,61 – 13,30 мкм). Прибор АНИ

предназначен для круглосуточного получения многоцелевых изображений облачного покрова и поверхности Земли. Целевые данные прибора позволяют формировать информацию об оптической толщине облаков, высоте и температуре верхней границы облачности; типе облачности, общем содержании водяного пара, горизонтальном профиле ветров, оптической толщине аэрозоля, общем содержании аэрозольного вулканического пепла, эффективном радиусе облачной капли, эффективном радиусе облачного льда, площади пожара, обнаружении действующих пожаров, температуре поверхности Земли, температуре поверхности океана и др.

– DCS (Himawari) (Data Collection Service (Himawari)) – прибор сбора и ретрансляции данных с автоматических наземных платформ, а также сбора и регистрации параметров погоды на местности. Ретрансляция информации проводится по линии связи Ка-диапазона.

– SEDA (Space Environment Data Acquisition monitor) – монитор сбора данных о космической среде. Прибор предназначен для мониторинга потоков электронов и протонов в среде платформы, воздействию которых спутники Himawari-8/-9 подвергаются на ГСО, представляет собой 8-канальный счетчик частиц для измерения направленных потоков протонов в диапазоне 15 – 100 МэВ и электронов в диапазоне 0,2 – 5 МэВ с периодичностью 10 с.

Геостационарный спутник оперативного метеонаблюдения Кореи

КА **GEO-KOMPSAT-2A** (Geostationary Korea Multi-Purpose Satellite-2A) [78, 79] – второй космический аппарат программы COMS (Communication, Oceanography and Meteorology Satellite) КМА запущен в 2018 году, точка стояния $128,2^\circ$ в. д., стартовая масса 2850 кг, средняя мощность 2600 Вт, САС спутника 10 лет. КА предназначен для получения изображений облачного покрова, подстилающей поверхности Земли, поверхности океана, получения данных количественного зондирования атмосферы, вертикальных профилей температуры, влажности, общего содержания озона и т. д. Данные с КА вводятся в модели численного прогноза погоды. С их помощью решаются задачи получения карт облачности в видимом и ИК-диапазонах, карт распределения водяного пара, мониторинга электромагнитной среды, мониторинга направленных потоков электронов и протонов на геостационарной орбите. *Полезная нагрузка КА GEO-KOMPSAT-2A:*

– АМІ (Advanced Meteorological Imager) [80, 81] – сканирующий радиометр видимого и ИК-диапазонов. Также, как приборы ABI (GOES-R) и

АНИ (Himawari-8, -9), разработан компанией Harris. Радиометр проводит съемку в 16-ти мультиспектральных каналах в видимом и ИК-диапазонах спектра (VIS, NIR, SWIR, MWIR и TIR, от 0,47 мкм до 13,29 мкм). Все три прибора имеют одинаковые спектральные полосы с некоторыми отличиями (см. табл. 2). Сканирование полного диска Земли АМІ производит за 10 мин. Ограниченные площади сканируются с пропорционально более короткими интервалами времени. Пространственное разрешение зависит от спектрального диапазона и составляет: 0,5 – 1,0 км для каналов видимого диапазона и 2 км для ИК-каналов.

– KSEM/CM (Korean Space Environment Monitor/Charging Monitor) [82, 83] – монитор космической среды/монитор определения заряда. Прибор предназначен для измерения электростатического заряда платформы на геостационарной орбите. Представляет собой электрометр для измерения токов в диапазоне ± 3 пА/см² с разрешением 0,001 пА/см² с интервалом в 1 с.

– KSEM/MG (Korean Space Environment Monitor/Magnetometer) [82, 83] – монитор космической среды/магнитометр. Предназначен для измерения геомагнитного поля на уровне платформы. Представляет собой трехосевой магнитометр, работающий в диапазоне от ± 4 до ± 64 000 нТл с разрешением ± 1 нТл при максимальной динамике. Периодичность измерений 0,1 с.

– KSEM/PD (Korean Space Environment Monitor/Particle Detector) [82, 83] – монитор космической среды/детектор частиц. Прибор предназначен для измерения интегральных направленных потоков электронов и протонов на уровне платформы. Прибор измеряет интегральные направленные потоки электронов и протонов с энергией в диапазоне 0,1 – 2,0 МэВ (электроны) и 0,1 – 12 МэВ (протоны) с энергетическим разрешением $\Delta E/E \leq 30\%$ в шести направлениях с полем зрения $>60^\circ$ и с периодичностью 0,33 секунды.

Космические аппараты оперативного метеонаблюдения России

Орбитальная группировка КА оперативного метеонаблюдения России предназначена для ГМО и сбора данных о состоянии атмосферы и околоземного космического пространства. В настоящее время в ОГ входят спутники серий «Электро-Л», «Метеор-М» и «Арктика-М».

Геостационарные космические аппараты оперативного метеонаблюдения России. Орбитальную группировку КА оперативного метеона-

блюдения России, находящуюся на геостационарной орбите, представляют космические аппараты «Электро-Л № 2» (запущен в 2015 году, точка стояния $14,5^\circ$ в. д., масса 1890 кг) и «Электро-Л № 3» (запущен в 2019 году, точка стояния 76° в. д., масса 2094 кг), САС спутников 10 лет [84]. Они входят в состав геостационарной гидрометеорологической космической системы «Электро» и предназначены для получения и предварительной обработки многоспектральных снимков облачности и подстилающей земной поверхности в пределах всего наблюдаемого диска Земли; получения гелиофизических данных на высоте орбиты; выполнения телекоммуникационных функций по распространению, обмену гидрометеорологическими и гелиогеофизическими данными; ретрансляции сигналов от аварийных радиобуев системы КОСПАС-SARSAT.

Основная задача КА «Электро-Л» [84] – обеспечение Росгидромета и других ведомств оперативной космической информацией в целях:

- синоптического анализа и прогноза погоды (характер и параметры облачных образований, фронтальные разделы, особенности циркуляции воздушных масс, стихийные гидрометеорологические явления);
- анализа и прогноза состояния акваторий морей и океанов;
- анализа пространственно-временного изменения состояния снежного покрова и влагозапасов;
- анализа и прогноза условий для полетов авиации (температура и высота верхней границы облачности, направление и скорость ветра);
- анализа и прогноза гелиогеофизической обстановки в околоземном космическом пространстве, состояния ионосферы и магнитного поля Земли;
- мониторинга климата и глобальных изменений;
- обеспечения экологического контроля и охраны окружающей среды (экологический контроль в промышленных районах, выявление загрязнений снежного покрова);
- контроля чрезвычайных ситуаций (наблюдение районов чрезвычайных ситуаций с целью оценки последствий стихийных бедствий, аварий, катастроф и планирования мероприятий по их ликвидации, контроль возникновения и лесных пожаров). *Полезная нагрузка геостационарных КА:*

– МСУ-ГС – многозональное сканирующее устройство [84] (сканирующий изображающий радиометр видимого и ИК-диапазонов); съемка в десяти мультиспектральных каналах в видимом и ИК-спектрах (0,5 – 12,5 мкм). Сканирование полного диска Земли МСУ-ГС производит за 15 – 30 мин. Пространственное разрешение составляет: 1,0 км для каналов видимого диапазона и 4 км для ИК-каналов. Прибор

МСУ-ГС предназначен для круглосуточного получения многоспектральных изображений облачности и подстилающей поверхности в пределах видимого диска Земли во всем диапазоне условий наблюдения в видимом диапазоне, ближнем, среднем, и дальнем (тепловом) ИК-диапазонах. Целевая информация, передаваемая с прибора, позволяет определять оптическую толщину облаков, высоту и температуру верхней границы облачности, тип облачности, общее содержание водяного пара, горизонтальный профиль ветров, оптическую толщину аэрозоля, общее содержание аэрозольного вулканического пепла, эффективный радиус облачной капли, эффективный радиус облачного льда, площадь пожара, действующие пожары, температуру поверхности Земли, индекс поверхности листвы, стандартизованный индекс растительного покрова, общее содержание озона, интенсивность осадков, температуру поверхности океана.

– ГГЭК-Э – гелиогеофизический аппаратный комплекс предназначен для мониторинга гелиогеофизических параметров с целью контроля и прогноза вспышечной активности Солнца, контроля и прогноза радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, контроля и прогноза состояния геомагнитного поля, диагностики и контроля состояния естественных и модифицированных магнитосферы, ионосферы и верхней части атмосферы с геостационарной орбиты.

Комплекс ГГЭК-Э состоит из отдельных приборов: спектрометр корпускулярных излучений СКИФ-6; спектрометр солнечных космических лучей СКЛ-Э; детектор галактических космических лучей ГАЛС-Э; измеритель солнечной постоянной ИСП-2М; измеритель потока рентгеновского излучения Солнца ДИР-Э; измеритель ультрафиолетового излучения Солнца; магнитометрическая аппаратура ФМ-Э (состоит из блока электроники БЭ ФМ-Э и блока датчиков БД); интерфейсный электронный блок БНД-Э.

Бортовая система сбора данных предназначена для обеспечения сбора целевой и служебной информации, формирования единого информационного потока данных для передачи по радиолинии.

Бортовой радиотехнический комплекс предназначен для передачи и обмена гидрометеорологическими данными между станциями космической связи, а также для ретрансляции сигналов от аварийных радиобуев на станции приема информации международной космической системы поиска и спасения КОСПАС-SARSAT.

Высокоэллиптические космические аппараты оперативного метеонаблюдения России. Предполагается, что орбитальная группировка КА оперативного метеонаблюдения России, находящаяся на высокоэллиптических орбитах (ВЭО), «Арктика-М» [84], будет состоять, как минимум из двух космических аппаратов, которые обеспечат круглосуточный всепогодный мониторинг поверхности Земли и морей Северного Ледовитого океана, выполнение телекоммуникационных функций по распространению, обмену гидрометеорологическими и гелиогеофизическими данными, ретрансляции сигналов от аварийных радиобуев системы КОСПАС-SARSAT, а также постоянную и надежную связь, что, в настоящий момент, остро необходимо для динамичного социально-экономического развития северных регионов нашей страны.

КА «Арктика-М» № 1 – первый КА серии «Арктика-М», запущен 18 февраля 2021 года на высокоэллиптическую орбиту типа «Молния», масса 2100 кг, САС 10 лет. Он имеет практически идентичную целевую аппаратуру с КА «Электро-Л». Главным отличием является способ решения целевой задачи – «Электро-Л» проводит регулярную (с периодичностью 15 – 30 минут) съёмку Земли с геостационарной орбиты, а «Арктика-М» проводит аналогичную съёмку арктического региона Земли, недоступного для наблюдения с геостационарных КА «Электро-Л», находясь на рабочем участке высокоэллиптической орбиты типа «Молния» в районе апогея. Аналогов, с точки зрения орбитального построения, КС «Арктика-М» не имеет.

Солнечно-синхронные космические аппараты оперативного метеонаблюдения России. ОГ КА оперативного метеонаблюдения России, находящаяся на ССО, состоит из двух спутников серии «Метеор-М» [85]. Они предназначены для получения информации о: глобальных и локальных изображениях облачности, поверхности Земли, ледового и снежного покровов в видимом, ИК- и микроволновом диапазоне; данных для определения температуры морской поверхности и радиационной температуры подстилающей поверхности; радиолокационных изображений земной поверхности; данных о распределении озона в атмосфере и его общего содержания; информации о гелиогеофизической обстановке в околоземном космическом пространстве; данных для определения общего содержания малых газовых компонентов атмосферы; данных о спектральной плотности энергетических яркостей уходящего излучения для опре-

деления вертикального профиля температуры и влажности в атмосфере, а также для оценки составляющих радиационного баланса системы Земля – атмосфера.

«Метеор-М» № 1 первый космический аппарат серии «Метеор-М» был запущен 17 сентября 2009 года, расчетный срок службы спутников – 5 лет, восходящая траектория, высота орбиты в восходящем узле 832 км, масса – 2930 кг, масса полезной нагрузки – 700 кг, среднесуточная мощность системы энергоснабжения – 1,4 кВт, пиковая – 2000 Вт. Полезная нагрузка «Метеор-М» № 1: МСУ-МР, КМСС, МТВЗА-ГЯ, ГГАК-М, БРК ССПД, БРЛК «Северянин». После отработки гарантийного срока существования (5 лет) с 1.10.14 КА «Метеор-М» № 1 выведен из оперативного использования и передан на исследование главному конструктору. По завершении программы исследования будет принято решение о дальнейшей эксплуатации КА [85].

«Метеор-М» № 2 второй космический аппарат серии «Метеор-М» был запущен 8 июля 2014 года, расчетный срок службы спутников – 5 лет, восходящая траектория, высота орбиты в восходящем узле 832 км, время пересечения экватора 09:30, масса – 2900 кг, масса полезной нагрузки – 1250 кг, среднесуточная мощность системы энергоснабжения – 1,4 кВт, пиковая – 2000 Вт. *Полезная нагрузка «Метеор-М» № 2:* МСУ-МР, КМСС, МТВЗА-ГЯ, ИКФС-2, ГГАК-М, БРК ССПД, БРЛК «Северянин» [85].

«Метеор-М» № 2-2 четвертый космический аппарат серии «Метеор-М» был запущен в 2019 года, САС пять лет, восходящая траектория, высота орбиты в восходящем узле 821 км, время пересечения экватора 15:00, масса 2900 кг, среднесуточная мощность системы энергоснабжения 1,4 кВт, пиковая – 2000 Вт. *Полезная нагрузка «Метеор-М» № 2-2:* МСУ-МР, КМСС, МТВЗА-ГЯ, ИКФС-2, ГГАК-М, БРК ССПД. Бортовая аппаратура системы КОСПАС-SARSAT [85].

Характеристика целевой аппаратуры КА «Метеор-М»:

– МСУ-МР – многозональное сканирующее устройство малого разрешения, для получения изображений облачности, земной поверхности, ледяного покрова в видимом и ИК-участках спектра с разрешением до 1 км в полосе обзора 2900 км [85];

– КМСС – комплекс многозональной спутниковой съемки среднего разрешения, для получения многозональных изображений поверхности Земли и Мирового океана в видимом участке спектра с разрешением до 60 м, в полосе обзора 1000 км;

– МТВЗА-ГЯ – прибор зондирования температуры и влажности атмосферы в СВЧ-диапазоне спек-

тра 10,6 – 183,31 ГГц, в 29-ти каналах в полосе обзора 1500 км. Он установлен на КА «Метеор-М» № 2 (неактивен с 15 августа 2017 года);

– ИКФС-2 – инфракрасный Фурье-спектрометр для температурного и влажностного зондирования атмосферы, определения составляющих радиационного баланса, концентрации озона и малых газовых составляющих атмосферы в спектральном диапазоне 5 – 15 мкм, с разрешением до 35 км в полосе обзора 2500 км. Он установлен на «Метеор-М» № 2-2 (неактивен);

– БРЛК «Северянин-М» – бортовой радиолокационный комплекс, для получения всепогодного и независимого от естественной освещенности дистанционного зондирования Земли с целью мониторинга ледяного и снежного покрова и других объектов, а также суши и растительности с несущей частотой зондирующего сигнала 9,4 – 9,9 МГц, с разрешением 0,4 – 1,3 км в полосе обзора 600 км. Установлен на «Метеор-М» № 2 (деградировал);

– ГГАК-М – гелиогеофизический аппаратный комплекс. Набор приборов идентичен приборам ГГАК-Э на КА серии «Электро-Л»;

– БРК ССПД – бортовой радиокomплекс для сбора и передачи гидрометеорологических данных от автоматических измерительных платформ сбора данных различных типов (наземных и ледовых), размещенных в любых (в том числе полярных) районах Земли, диапазон частот на прием 401,9 – 402,0 МГц, скорость передачи данных в канале 400 бит/с, одновременная обработка не менее 4 каналов с частотным разделением, общий объем запоминаемых данных за виток до 300 Кб;

– бортовая аппаратура системы КОСПАС-SARSAT – для решения задач обеспечения поиска и спасения, терпящих бедствие морских, воздушных и сухопутных объектов, прием сигналов аварийных радиобуев в диапазоне частот 406,01 – 406,09 МГц и их ретрансляцию на частоте 1544,5 МГц.

Сравнение тактико-технических характеристик отечественных космических аппаратов гидрометеорологического назначения с зарубежными разработками

Сравнение тактико-технических характеристик (ТТХ) низкоорбитальных КА типа «Метеор-М» с зарубежными аналогами представлен в табл. 2.

Анализ показывает, что эксплуатируемые КА «Метеор-М» № 2 и № 2-2 незначительно уступают низкоорбитальным зарубежным КА серий Metop (ЕКА), FY (Китай), и JPSS (США).

В состав бортовых приборов отечественных КА «Метеор-М» входят: уникальный прибор

МТВЗА-ГЯ, радиолокатор и комплекс многозональной съемки, что значительно расширяет функциональные возможности и увеличивает объём решаемых задач.

Спутники «Метеор-М» № 2 и № 2-2 в настоящее время в силу разных причин работают с ограничениями: прибор зондирования температуры и влажности атмосферы МТВЗА-ГЯ, установленный на «Метеор-М» № 2, неактивен с 15 августа

2017 года, БРЛК «Северянин» деградировал, прибор ИКФС-2, установленный на «Метеор-М» № 2-2, неактивен.

КА «Электро-Л» № 2 на ГСО тоже функционирует с некоторыми ограничениями; в штатном режиме работают приборы:

– КОСПАС-SARSAT, ГГК-Э;

– тепловые каналы МСУ-ГС не отвечают требованиям по качеству информации.

Таблица 2

Тактико-технические характеристики гидрометеорологического КА «Метеор-М» № 2 и зарубежных аналогов

Параметр	Характеристика			
	«Метеор-М» № 2 (Россия)	FY-3D (Китай)	Метоп-С (Европа, ЕКА)	NOAA-20 (JPSS-1) (США)
Год запуска	2014	2017	2018	2017
Рабочая орбита				
– тип	ССО	ССО	ССО	ССО
– высота, км	832	836	817	834
– наклонение, град	98,7	98,9	98,8	98,9
– траектория орбиты	Восходящая	Восходящая	Нисходящая	Нисходящая
– время пересечения экватора	9:30	13:29	09:30	13:25
Масса КА, кг	2900	2300	3950	2540
Расчетный срок службы, лет	5	5	5	5
Конструктивное исполнение	Герметичное	Негерметичное	Негерметичное	Негерметичное
Компоновка платформы	Вертикальная	Горизонтальная	Горизонтальная	Горизонтальная
Основные информационные параметры				
Основная съемочная система	МСУ-МР, КМСС	MERSI-2	AVHRR/3	VIIRS
Число каналов	6 + 6	25	6	22
Разрешение, км	0,054; 1,0	0,25; 1,0	1,1	0,375; 0,75
Полоса обзора, км	2900	2900	2900	3000
Количество приборов	8	11	8	5
Состав комплекса целевой аппаратуры	МСУ-МР КМСС МТВЗА БРЛК «Северянин» ИКФС-2 ГГК-М БРК ССПД БИС	MERSI-2 MWHS-2 MWRI HIRAS MWRI GAS GNOS MWTS-2 SWS/IPM SWS/WAI SWS/SEM/IMS SWS/SEM/HEPD	AVHRR/3 ASCAT AMSU-A IASI GOMI-2 GRAS MHS A-DCS	VIIRS ATMS CrIS CERES OMPS-nadir

Справедливости ради, нужно отметить, что и зарубежные КА работают с ограничениями и сроки запусков у них тоже сдвигаются (см. ниже).

Сравнение ТТХ проектов метеорологических геостационарных КА, функционирующих в настоящее время, в России на примере «Электро-Л» № 3 и за рубежом показаны в табл. 3.

Лидерами в ОГ ВМО являются проекты GOES-16 (США) и FY-4A (Китай). Близки к ним по информационным характеристикам GEO-KOMPSAT-2A (Корея) и Himavari-8 (Япония). Технические характеристики основных приборов (ABI, AGRI, AMI и AHI) этих проектов близки между собой и разрабатывались компанией Harris (США).

Приведенные данные в табл. 3 показывают, что параметры космической информации серии КА «Электро-Л» существенно уступают параметрам КА GOES-16 и FY-4A как по составу комплекса целевой аппаратуры, так и по информационным параметрам (в два раза более высокое разрешение сканирующего устройства ABI по сравнению с отечественным

МСУ-ГС) и более широкий состав ЦА (дополнительно к сканеру ABI установлены зондировщики атмосферы и датчики молний). Такой расширенный состав приборов планируется установить на отечественный КА «Электро-М» не ранее 2025 года.

Планами предусматривается создание к 2025 году полной ОГ ГМО в составе трех КА на ССО и трех КА на ГСО.

Начало разработки и создания КА нового поколения «Электро-М» со сканером МСУ-ГСМ, характеристики которого близки к существующим зарубежным образцам (16 каналов, частота съемки всего земного диска 1 раз за 10 минут), запланировано на период после 2025 года. При этом для соответствия мировому уровню МСУ-ГСМ по отношению к МСУ-ГС должен быть существенно усовершенствован.

В период после 2022 года запланирован запуск КА «Арктика-М» № 2 на высокоэллиптическую орбиту (ВЭО) для непрерывного наблюдения арктических районов северного полушария.

Таблица 3

Сравнение тактико-технических характеристик космического аппарата гидрометеорологического назначения «Электро-Л» № 3 и зарубежных аналогов

ТТХ	«Электро-Л» № 3	GOES-16	Meteosat-11	Himavari-8	FY-4A	INSAT-3DR	GEO-KOMPSAT-2A
Страна	РФ	США	ЕКА	Япония	Китай	Индия	Корея
Год запуска	2019	2016	2015	2014	2016	2016	2018
Точка стояния	76° в. д.	75,2° з. д.	0,0° в. д.	140,7° в. д.	105° в. д.	74° в. д.	128,2° в. д.
Масса КА, кг	2094	5500	2040	3500	5300	2060	2850
Расчетный срок службы, лет	10	11	5	8	Для серии 7 (5 для -4A)	7	10
Комплекс целевой аппаратуры							
Съемочная система	МСУ-ГС	ABI	SEVIRI	AHI	AGRI	Imager INSAT	AMI
Разрешение, км	1; 4 ИК	0,5 – 2 ИК	1; 4 ИК	0,5 – 2 ИК	0,5 – 1 для каналов ВИД (0,47–0,825 мкм); 2 – 4 для ИК-каналов (1,375 мкм – 13,8 мкм)	1; 4 ИК	0,5 – 2 ИК
Съемка полного диска Земли	15 – 30 минут			10 минут	15 минут		
Число каналов	10	16	12	16	14	6	16
Состав комплекса целевой аппаратуры	ГТАК (7 приборов); ССПД; КОСПАС-SARSAT	5 приборов: SEM (3 датчика); ССПД; КОСПАС-SARSAT; Sounder	3 прибора, включая: КОСПАС-SARSAT; GERB- (система радиационного баланса)	2 прибора: ССПД; система связи	7 приборов, включая детектор молний	3 прибора: ССПД; КОСПАС-SARSAT; Sounder INSAT	5 приборов: SEM (3 датчика); ССПД; КОСПАС-SARSAT; Sounder

При проектировании КС ГМО РФ реализован подход к параметрам получаемой космической информации, при котором обеспечивается совместимость информационных форматов с данными ВМО и поступление космической информации (КИ) в заданные синоптические сроки на постоянной основе. КС ГМО РФ входит в состав ВМГ, однако объем и качество получаемой КИ существенно уступает зарубежным данным. В то же время по структурному построению ОГ КС ГМО РФ выглядит более предпочтительно, так как предоставляет возможность непрерывных наблюдений всего северного полушария и комплексных глобальных наблюдений Земли. Планы развития КС РФ направлены на преодоление отставания национальных средств от зарубежных.

Ограничения в работе космических аппаратов и перенос сроков запусков

Ограничения в работе КА и перенос сроков запусков достаточно распространенное явление. Так GOES-T столкнулся с проблемами охлаждения прибора ABI. Подсистема тепловой трубы, которая передает тепло от электроники ABI к радиатору, не работала должным образом, что приводило к потере инфракрасного изображения. Первоначально запуск GOES-18 (GOES-T) планировался на середину 2019 года, но позже запуск был перенесен на 2020 год, а затем на декабрь 2021 года.

КА NOAA-15 работает с ограничениями, большинство приборов комплекса целевой аппаратуры не функционируют: микроволновый радиометр AMSU-A – деградировал; пассивный микроволновый радиометр AMSU-B – неактивен; оптический сканирующий многоканальный радиометр среднего разрешения AVHRR/3 – деградировал; инфракрасный зондировщик атмосферы высокого разрешения HIRS/3 – неактивен; прибор системы поиска и спасения S&RSAT – деградировал.

КА NOAA-18 работает с ограничениями: инфракрасный зондировщик атмосферы высокого разрешения HIRS/4 – неактивен; пассивный микроволновый радиометр MHS – неактивен; сканирующий радиометр УФ-диапазона SBUV/2 – неактивен; прибор мониторинга «космической погоды» SEM/TED деградировал.

На КА NOAA-18 не работают: AMSU-A, HIRS/4, MHS.

На КА DMSP-F17 не работают: микроволновый радиометр конического сканирования SSMIS, монитор дрейфа ионосферной плазмы SESS/SSI/ES-3, ультрафиолетовый радиометр лимба Земли

SESS/SSUL, ультрафиолетовый спектрографический сканер SESS/SSUSI.

На КА DMSP-F18 не функционируют: микроволновый радиометр конического сканирования SSMIS, сцинтилляционный монитор SESS/SSI/ES-3, прибор измерения геомагнитных колебаний, связанных с солнечными геофизическими явлениями SESS/SSM-Boom, ультрафиолетовый радиометр лимба Земли SESS/SSULI

На КА Meteosat-8 не функционирует: GEOS&R.

На КА Meteosat-9 не работают: GERB и DCS (Meteosat).

На КА Meteosat-10 не работает: GERB.

На КА Metop-A не функционируют: AMSU-A, HIRS/4, MHS.

На КА Metop-B не функционирует HIRS/4.

На Metop-C деградировал AMSU-A.

На китайском КА на ГСО FY-2F не активны: DCS (FY), SEM (FY-2), SXM. На китайском КА на ССО FY-3C не работают все 13 приборов, кроме IRAS.

На индийском КА INSAT-3D инфракрасный зондировщик атмосферы SOUNDER (INSAT) в настоящее время неактивен.

Для иллюстрации по сдвигам сроков запусков КА ГМО можно отметить, что запуски КА серии FY-4B, в соответствии с NSIP (National Space Infrastructure Plan) национальным планом развития космической инфраструктуры (с 2015 по 2025 год), первоначально были запланированы следующим образом: FY-4B в 2018 году; FY-4C в 2020 году; FY-4D в 2023; FY-4E в 2027; FY-4F в 2030; FY-4G в 2033 году.

Но уже сегодня ясно, что запуски сдвинулись «вправо». И запуск FY-4B перенесен как минимум на 2021 год (перенос запуска на три года), а FY-4C планируется запустить в 2023 году (перенос запуска на три года); FY-4D в 2024 (перенос запуска на год).

Ранее, по состоянию на осень 2015 г. [58], планировалось, что запуски космических аппаратов будут проводиться: FY-3E в 2018 году и FY-3F в 2019 году, но сроки были сдвинуты и запуск FY-3E был перенесен на 2021 год (перенос запуска на три года), а FY-3F на 2023 год (перенос запуска на четыре года).

С другой стороны, нужно отметить, что ряд спутников (в том числе работающих с ограничениями: GOES-14, -15; Meteosat-8, -9, -10, -11; NOAA-15, -18, -19; SNPP; DMSP-F17, -F18; Metop-A; -B; FY-2F, -2G; -3C; INSAT-3D; «Метеор-М» № 2) работают с превышением расчетных сроков эксплуатации на орбите, часто, более чем на пять лет.

Выводы

1. Наметилось отставание России от ведущих космических держав в создании новой бортовой целевой аппаратуры для геостационарных КА метеорологического назначения. Существующий прибор МСУ-ГС необходимо модернизировать с целью достижения ТТХ и режимов работы современных зарубежных аналогов в части: пространственного разрешения в коротковолновой области спектра 0,5 – 1 км, частоты съемки всего видимого земного диска – 1 раз в 10 минут с возможностью одновременной учащенной съемки отдельных заданных районов с частотой 2 раза в 5 минут.

2. Основным направлением повышения эффективности КА на ГСО и преодоления отставания отечественной КС на ГСО от зарубежных систем является расширение состава целевой аппаратуры КА «Электро-М» путем включения дополнительных приборов таких, как ИК-зондировщик, прибор мониторинга радиационного баланса, детектор молний, комплекс гелиогеофизической аппаратуры, система сбора с наземных платформ и система поиска и спасания. В то же время следует отметить, что структурно отечественная система выглядит более предпочтительно за счет возможности наблюдения полярной области Земли.

3. Должна быть выполнена оптимизация состава бортовой аппаратуры метеорологических низкоорбитальных и геостационарных КА с учетом разделения энергоемких приборов СВЧ-диапазона и оптико-электронных систем непрерывной съемки.

4. Анализ зарубежных и отечественных космических средств показал, что для повышения качества и количества данных ГМО необходимо планировать создание перспективного научно-технического и технологического заделов по целевой аппаратуре и системам оперативной доставки космической информации потребителям. В России для этого имеются предпосылки, поскольку космическая деятельность планируется на уровне фонда крупных предприятий России (ФКПР).

Литература

1. Observing Systems Capability Analysis and Review Tool [сайт]. – Geneva, Switzerland : World Meteorological Organization, 2021. – URL: <http://www.wmo-sat.info/oscar/> (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
2. Mission Overview / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: <http://www.goes-r.gov/mission/mission.html> (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
3. Spacecraft Overview / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: [\[r.gov/spacesegment/spacecraft.html\]\(http://www.goes-r.gov/spacesegment/spacecraft.html\) \(дата обращения: 01.04.2021\). – Текст : электронный.](http://www.goes-

</div>
<div data-bbox=)

4. GOES-R Instrument Operations / Hal Bloom // Fifth annual Symposium on Future National Operational Environmental Satellite Systems; NPOESS and GOES-R. – Phoenix, AZ, 2009. – URL: http://www.goes-r.gov/downloads/AMS_2009_GOES-R_Instruments_v4.pdf (дата обращения: 02.04.2021). – Текст : электронный.
5. Multimedia – Space Segment – Instruments Image Gallery / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: http://www.goes-r.gov/multimedia/instr_images.html#exis (дата обращения: 02.04.2021). – Текст : электронный.
6. The Advanced Baseline Imager (ABI) on Geostationary Environmental Satellites (GOES-r) / T. J. Schmit, J. J. Gurka, M. M. Gunshor [et al.] // 21st International Conference on Interactive Information Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, part of the 85th AMS Annual Meeting. – San Diego, CA, 2005. – URL: <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/83565.pdf> (дата обращения: 31.03.2021). – Текст : электронный.
7. The ABI on the GOES-R series / T. J. Schmit, J. J. Gurka, M. M. Gunshor [et al.] // 5th GOES Users' Conference. – New Orleans, LA, 2008. – URL: http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/abi/ABI_AMS_2008_schmit_final.pdf. – Текст : электронный.
8. Advanced Baseline Imager (ABI) / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: http://www.goes-r.gov/education/docs/Factsheet_ABI_v6.pdf (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
9. Introducing the Next-generation Advanced Baseline Imager (ABI) on GOES-R / T. J. Schmit, M. M. Gunshor, W. P. Menzel [et al.] // Bulletin of the American Meteorological Society. – Vol. 86. – № 8. – P. 1079 – 1096. – URL: <http://epssi.mtu.edu/seminar/i1520-0477-86-8-1079.pdf>. – Текст : электронный. – DOI : 10.1175/BAMS-86-8-1079.
10. The Geostationary Lightning Mapper (GLM) on the GOES-R: A new operational capability to improve storm forecasts and warnings / S. Goodman, R. Blakeslee, W. Koshak [et al.] // AMS 6th Annual Symposium on Future National Symposium on Operational Environmental Satellite Systems-NPOESS and GOES-R. – Atlanta, GA, 2010. – URL: http://cimss.ssec.wisc.edu/goes_r/proving-ground/presentations/AMS-2010-GLM-Goodman.pdf (дата обращения: 31.03.2021). – Текст : электронный.
11. Geostationary Lightning Mapper (GLM) / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: <http://www.goes-r.gov/spacesegment/glm.html> (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
12. Satellite instrument package to assess space weather ready for delivery by CU / Frank Eparvier // University of Colorado [сайт]. – 2013. – URL: <http://www.colorado.edu/news/releases/2013/05/02/satellite-instrument-package-assess-space-weather-ready-delivery-cu> (дата обращения: 31.03.2021). – Текст : электронный.
13. LASP-built space weather instrument ready for delivery / LASP [сайт]. – 2013. – URL: <http://lasp.colorado.edu/home/>

- blog/2013/05/02/lasp-built-space-weather-instrument-ready-for-delivery/ (дата обращения: 31.03.2021). – Текст : электронный.
14. EUV and X-Ray Irradiance Sensors (EXIS) / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: <http://www.goes-r.gov/spacesegment/exis.html> (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
15. Solar Ultraviolet Imager (SUVI) / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA, NASA, 2021. – URL: <http://www.goes-r.gov/spacesegment/suvi.html> (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
16. Magnetometer (MAG) / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA, NASA, 2021. – URL: <http://www.goes-r.gov/spacesegment/mag.htm> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
17. NOAA-15 Makes 100 Thousandth Orbit / NOAA/NESDIS [сайт]. – 2017. – URL: <https://www.nesdis.noaa.gov/content/noaa-15-makes-100-thousandth-orbit> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
18. AVHRR/3 Instrument Technical Overview / G. A. Mandt // POES Program; NOAA. – New-York, USA : ITT A/CD, 1995.
19. DMSP – Block 5D-3 Spacecraft Overview / Patrick Blau // Spaceflight101 [сайт]. – 2021. – URL: <http://www.spaceflight101.com/dmsp-block-5d-3-spacecraft-overview.html> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
20. Defense Meteorological Satellite Program capabilities through the end of this century and requirements for the converged DMSP NOAA Systems / J. Goyette, L. Belsma, J. Bohlson [et al.] // SPIE ; European Symposium on Satellite Remote Sensing II. – Paris, France, 1995. – Vol. 2578.
21. Preston M. Burch. Joint Polar Satellite System (JPSS), Program Overview and Status / Preston M. Burch. – 2012. – URL: <http://www.goddard-contractors-association.org/presentations/7-31-2012%20GCA%20Presentation%20Preston%20Burch.pdf> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
22. Mehta A., Watkins M. Joint Polar Satellite System (JPSS) / A. Mehta, M. Watkins. – 2012. – URL: <http://www.goes-r.gov/downloads/2012-AMS/01/Mehta.pdf> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
23. Mission and instruments. – URL: <http://www.jpss.noaa.gov/satellites.html> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
24. Joint Polar Satellite System (JPSS) – The Contribution of Operational and Research Applications from the Joint Polar Satellite System to Societal Benefits / Mitchell Goldberg // The 1st KMA International Meteorological Satellite Conference. – Seoul, Korea, 2015. – URL: http://www.kmainsc.kr/html/menu1_sub4.php (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
25. Joint Polar Satellite System (JPSS) Instrument Transition to NASA and Development Status / Christopher W. Brann // Proceedings of SPIE Remote Sensing 2012, 'Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites'. – Edinburgh, Scotland, UK, 2012. – V. 8531 – 8539.
26. Joint Polar Satellite System Algorithm & Data Products Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) // STAR-JPSS. – 2012. – URL: <http://www.star.nesdis.noaa.gov/jpss/VIIRS.php>. – Текст : электронный.
27. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) // NASA/GSFC. – 2013. – URL: <http://npp.gsfc.nasa.gov/viirs.html> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
28. Northrop Grumman to Complete Advanced Technology Microwave Sounder for Joint Polar Satellite Systems // Space Daily. – 2011. – URL: http://www.spacedaily.com/reports/Northrop_Grumman_to_Complete_Advanced_Technology_Microwave_Sounder_for_Joint_Polar_Satellite_Systems_999.html. – Текст : электронный.
29. The Advanced Technology Microwave Sounder (ATMS) : New Capabilities for Atmospheric Sensing / W. J. Blackwell, C. F. Cull, R. N. Czerwinski [et al.] // 92nd AMS (American Meteorological Society) Annual Meeting. – New Orleans, LA, USA, 2012. – URL: <http://www.goes-r.gov/downloads/2012-AMS/02/Blackwell.pdf> (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
30. Goldberg M. CrIS and ATMS Applications / Mitch Goldberg // NOAA Satellite Conference 2015. – Greenbelt, MD, 2015. – URL: http://www.jpss.noaa.gov/events_conferences/satellite_conference/presentations/2.3c_NSC2015_Session_Goldberg.pdf (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
31. Cross-Track Infrared Sounder FPAA Performance / S. Masterjohn, A. I. D'Souza, L. C. Dawson [et al.] // Proceedings of SPIE. – Seattle, WA, 2002. – Vol. 4820.
32. CERES – Clouds and the Earth's Radiant Energy System : NASA brochure. – 2017. – URL: <https://eosps.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/publications/CERES%20Mission%20Brochure%20508.pdf> (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
33. Clouds and Earth Radiant Energy System (CERES): from Measurement to Data Products / G. Louis Smith, Kory J. Priestley, Norman G. Loeb // Proceedings of the 2012 IEEE Aerospace Conference. – Big Sky, Montana, USA, 2012.
34. Asbury S. OMPS – The Next Generation Sensor Suite for Global Ozone Monitoring / S. Asbury, S. Cass, L. Farwell [et al.]. – URL: http://npoess.noaa.gov/IPOarchive/ED/Outreach_Materials/public_presentations/AMS/2008/Posters/2.NPOESS_Sym_2008_Asbury_Final.pdf (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
35. Joint Polar Satellite System Algorithm & Data Products Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) // STAR-JPSS. – 2012. – URL: <http://www.star.nesdis.noaa.gov/jpss/OMPS.php> (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
36. Atmospheric Chemistry Products from the Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS): Validation and Applications / L. Flynn ; NOAA and NASA OMPS S-NPP Teams // NOAA Satellite Conference. – Greenbelt, MD, 2015. – URL: http://www.jpss.noaa.gov/events_conferences/satellite_conference/presentations/2.3d_NSC2015_Session_Flynn_F.pdf (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
37. MSG's SEVIRI Instrument / D. M. A. Aminou // ESA Bulletin 111. – 2002. – P. 15 – 17. – URL: http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet111/chapter4_bul111.pdf (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
38. Meteosat Second Generation Instruments. – URL: <http://www.eumetsat.int/Home/Main/Satellites/MeteosatSec>

- ondGeneration/Instruments/index.htm (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
39. The In-orbit Performance of the Meteosat Second Generation SEVIRI Instruments / P. Pili, L. Matheson, C. Tranquilli [et al.] // Proceedings of the EUMETSAT 2016 Meteorological Satellite Conference. – Darmstadt, Germany, 2016. – URL: http://www.eumetsat.int/website/home/News/ConferencesandEvents/DAT_2833302.html (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
40. MSG's GERB Instrument / H.-J. Luhmann // ESA Bulletin 111. – 2002. – P. 18 – 20. – URL: http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet111/chapter5_bul111.pdf (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
41. Geostationary Earth Radiation Budget GERB unit level spectral response data / J. Russell // Earth Radiation Budget Workshop 2010. – Paris, France, 2010.
42. The Transition from MTP to MSG operations for the End-User Community / R. Francis, V. Gärtner // Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite Data User's Conference. – Copenhagen, Denmark, 1999. – P. 55 – 60.
43. Description of the 406 MHz Payloads used in the COSPAS-SARSAT GEOSAR System / C/S T.011. – 2008. – Issue 1. – Rev. 5.
44. EPS, the European contribution to the NOAA/EUMETSAT Initial Joint Polar system (IJPS) / C. Cohen, P. G. Edwards // Proceedings of IAC 2004. – Vancouver, Canada, 2004. – IAC-04-B.1.02.
45. MetOp: The Space Segment for EUMETSAT's Polar System / P. G. Edwards, D. Pawlak // ESA Bulletin. – 2000. – № 102. – P. 7 – 18. – URL: <http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet102/Edwards102.pdf> (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
46. IASI – an infrared sounder for operational meteorology // CNES Magazine. – 2003. – № 19. – P. 10.
47. IASI Instrument Onboard MetOp-A: Lessons Learned after almost two Years in Orbit / L. Buffet, E. Pequinot, D. Blumstein [et al.] // Proceedings of the 7th ICSO (International Conference on Space Optics) 2008. – Toulouse, France, 2008.
48. Humidity Sounders for the 21st Century / C. J. Bushell [et al.] // Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite User's Conference. – Copenhagen, Denmark, 1999. – P. 77 – 84.
49. The Radiometric Performance of the Microwave Humidity Sounder / G. Shaw, C. J. Bushell // Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite User's Conference. – Copenhagen, Denmark, 1999. – P. 135 – 139.
50. GOME-2 – MetOp's Second-Generation Sensor for Operational Ozone Monitoring / J. Callies, E. Corracioli, M. Eisinger [et al.] // ESA Bulletin. – 2000. – № 102. – P. 28 – 36. – URL: <http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet102/Callies102.pdf> (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
51. The New Advanced Polarization Measurements of GOME-2 on-board the MetOp satellites / J. Callies, E. Corracioli, M. Eisinger [et al.] // Proceedings of SPIE. SPIE Annual Meeting 2002: Remote Sensing and Space Technology. – Seattle, WA, 2002. – Vol. 4814.
52. The advanced scatterometer (ASCAT) on the meteorological operational (MetOp) platform: A follow on for European wind scatterometers / J. Figa-Saldaña, J. J. W. Wilson, E. Attema [et al.] // Canadian Journal of Remote Sensing. – 2002. – Vol. 28. – № 3. – P. 404 – 412.
53. The Payload for the Polar Orbiting Operational Meteorological Satellite Metop / A. P. Albiñana, J. Wilson, G. Kayal [et al.] // SPIE Conference Optics & Photonics. – San Diego, CA, 2005. – Vol. 5883. – 200.
54. Near Real-Time Precise Orbit Determination for Radio Occultation and Altimetry Missions / Y. Andrés, P. L. Righetti, C. Marquardt // Proceedings of ION GNSS 2010. – Portland, OR, USA, 2010.
55. Polar Orbiting Environmental Satellite, Space Environment Monitor-2, Instrument Descriptions and Archive Data Documentation / D. S. Evans, M. S. Greer // NOAA Technical Memorandum, version 1.4. – 2004 – URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/NOAA/docs/SEM2v1.4b.pdf> (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
56. FY-2 Series Satellites // NSMC. – URL: http://www.nsmc.cma.gov.cn/en/NSMC/Channels/FY-2_SeriesSatellites.html. – Текст : электронный.
57. FY-4 Series Satellites // NSMC. – URL: http://www.nsmc.cma.gov.cn/en/NSMC/Channels/FY-4_SeriesSatellites.html. – Текст : электронный.
58. Status of Current and Future Satellite Programs of China Meteorological Administration / Ruixia Liu // The 1st KMA International Meteorological Satellite Conference. – Seoul, Korea, 2015. – URL: http://www.kmainsc.kr/html/menu1_sub4.php. – Текст : электронный.
59. GEO-News around the world – FengYun-4: [сайт]. – 2015. – URL: <http://goes.gsfc.nasa.gov/text/geonews.html#FENGYUN4> (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
60. The Geostationary Interferometric Microwave Sounder (GIMS): Instrument Overview and Recent Progress / H. Liu, J. Wu, S. Zhang [et. al.] // Proceedings of IGARSS (International Geoscience and Remote Sensing Symposium). – Vancouver, Canada, 2011.
61. Development and Evaluation of detection algorithm for FY-4 Geostationary Lightning Imager (GLI) measurement / D. Cao, F. Huang, X. Qie // XV International Conference on Atmospheric Electricity. – Norman, Oklahoma, USA, 2014. – URL: http://www.nssl.noaa.gov/users/mansell/icae2014/preprints/Cao_59.pdf (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
62. The 2nd Generation of Chinese Polar-orbiting Satellite-Fengyun-3 Series: Status Report / J. Yang, C. Dong, P. Zhang [et al.] // Proceedings of ITSC-16 (16th International TOVS Study Conference). – Angra dos Reis, Brazil, 2008. – URL: http://cimss.ssec.wisc.edu/itwg/itsc/itsc16/11_05_ma.pdf (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
63. Evaluation of Total Precipitable Water over East Asia from FY-3A/VIRR Infrared Radiances / J. Zheng, C.-X. Shi, Q.-F. Lu [et al.] // Atmospheric and Oceanic Science Letters. – 2010. – Vol. 3. – № 2. – P. 93 – 99. – URL: http://www.lasg.ac.cn/staff/xie/papers/2010_zheng_AOSL.pdf (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
64. MERSI in FY-3 Meteorological Satellite / X. Niu, L. Ding // Proceedings of the 59th IAC (International Astronautical Congress). – Glasgow, Scotland, UK, 2008. – IAC-08-B1.3.6.

65. FY-3 (FengYun-3) 2nd Generation Polar Orbiting Meteorological Satellite Series. – URL: <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/f/fy-3>. – Текст : электронный.
66. Design of the second generation Microwave Humidity Sounder (MWS-II) for Chinese Meteorological Satellite FY-3 / S. Zhang, J. Li, Z. Wang [et al.] // Proceedings of IGARSS (International Geoscience and Remote Sensing Symposium). – Munich, Germany, 2012.
67. An introduction to the FY3 GNOS instrument and mountain-top tests / W. Bai, Y. Sun, Q. Du [et al.] // Atmospheric Measurement Techniques. – 2014. – Vol. 7. – P. 1817 – 1823. – URL: <http://www.atmos-meas-tech.net/7/1817/2014/amt-7-1817-2014.pdf> (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
68. An introduction to China FY3 radio occultation mission and its measurement simulation / Y. M. Bi, Z. D. Yang, P. Zhang [et al.] // Advances in Space Research. – 2012. – Vol. 49. – Iss. 7. – P. 1191 – 1197.
69. FY-3 satellite Ultraviolet Total Ozone Unit / Y. M. Wang, Y. J. Wang, W. H. Wang [et al.] // Chinese Science Bulletin. – Vol. 55. – № 1. – 2010. – P. 84 – 89. – URL: <http://www.springerlink.com/content/tm78t2v025102170/fulltext.pdf> (дата обращения: 10.04.2021). – DOI: 10.1007/s11434-009-0335-8. – Текст : электронный.
70. Kelkar R. R. Indias INSAT-3D Satellite Mission / R. R. Kelkar. – 2008. – URL : <http://www.earthscienceindia.info/popular%20archival/download.php?file=pdf-1.pdf> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
71. INSAT-3DR // ISRO. – 2016. – URL: <http://www.isro.gov.in/Spacecraft/insat-3dr> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
72. GSLV-F05/INSAT-3DR // ISRO brochure. – 2016. – URL: http://www.isro.gov.in/sites/default/files/gslv_f05_insat_3dr-final.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
73. INSAT-3D: an advanced meteorological mission over Indian Ocean / V. R. Katti, V. R. Pratap, R. K. Dave [et al.] // Proceedings of SPIE, 'GEOSS and Next-Generation Sensors and Missions'; Stephen A. Mango; Ranganath R. Navalgund; Yoshifumi Yasuoka, Editors. – Goa, India, 2006. – Vol. 6407. – № 13. – DOI: 10.1117/12.697880.
74. Kimura T. Up-to-date Information on the Japanese Next-Generation Himawari-8/9 Satellites for Users' Preparedness / T. Kimura. – 2013. – URL: http://www.wmo.int/pages/prog/sat/meetings/documents/EC-65-SideEvent-UserPrep_Doc_02_JMA.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
75. Status of Next Generation Japanese Geostationary Meteorological Satellites – Himawari-8/9 and their Products / Masaya Takahashi // NOAA Satellite Science Week: GOES-R Algorithm Working Group (AWG), Proving Ground, and Risk Reduction annual meetings. – Kansas City, MO, USA, 2012. – URL: <http://www.goes-r.gov/downloads/2012-Science-Week/posters/tues> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
76. New geostationary meteorological satellites – Himawari-8/9 // JMA Leaflet. – URL: http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/materials/Himawari89/himawari89_leaflet2/201507_leaflet89.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
77. Advanced Himawari Imager (AHI) Design and Operational Flexibility / Paul C. Griffith // 12th Annual Symposium on New Generation Operational Environmental Satellite Systems, AMS Annual Meeting. – New Orleans, Louisiana, USA, 2016. – URL: https://ams.confex.com/ams/96Annual/webprogram/Handout/Paper289069/NGOESS-7.1_Griffith_AHI_Design_v2.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
78. Geostationary Earth Orbit (GEO) Satellite // KARI. – URL: http://www.kari.re.kr/eng/sub03_02_02.do (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
79. How GK2 (GEO-KOMPSAT-2) Program is Ensuring COMS Follow-on Mission in Korea / Sang-Ryool Lee // 6th Annual MilSatCom Asia-Pacific. – Singapore, 2016.
80. ITT Exelis advanced weather imager technology to improve forecasting capabilities in South Korea // Exelis. – 2013. – URL: <http://investors.exelisin.com/phoenix.zhtml?c=248208&p=ir-ol-newsArticle&ID=1804180&highlight=> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
81. Current Status and Future Plan of KMA Satellite Program / Sang-Jin Lyu // NOAA Satellite Conference. – Greenbelt, MD, USA, 2015. – URL : http://satelliteconferences.noaa.gov/2015/doc/presentation/1.9_NSC2015_Session_1.9_Lyu.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
82. KMA launch contract for GK2A space weather mission // RA II (WMO Regional Association-II) WIGOS Project Newsletter, WMO. – 2014. – Vol. 5. – № 1. – URL: http://www.wmo.int/pages/prog/sat/documents/RA-2-WIGOSPP_Newsletter-Vol5-N1.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
83. Overview on KMA KSEM: The first Korean Space Weather mission flying on Geostationary orbit / J.-G. Won, H.-S. Lee, J.-H. Seon [et al.] // The 1st KMA International Meteorological Satellite Conference. – Seoul, Korea, 2015. – URL: http://www.kmainsc.kr/html/menu1_sub4.php (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
84. Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (АО «НПО Лавочкина») : официальный сайт. – Москва. – URL: <https://www.laspace.ru/projects/information-systems> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
85. Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна» (АО «Корпорация «ВНИИЭМ») : официальный сайт. – Москва. – URL: http://www.vniiem.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=609:-1-3r-new&catid=37:spaceprograms&Itemid=62 (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.

Поступила в редакцию 14.04.2021

Александр Алексеевич Асташкин, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, т. (495) 513-55-87, e-mail: astashkin@tsniimash.ru.

Александр Витальевич Карелин, доктор физико-математических наук, доцент, начальник отдела, т. (495) 513-54-01, e-mail: avkarelin@tsniimash.ru.

Ирина Николаевна Комиссарова, ведущий специалист, т. (495) 513-48-61, e-mail: KomissarovaIN@tsniimash.ru.

Юрий Александрович Кузьмин, кандидат технических наук, начальник сектора, т. (495) 513-40-88, e-mail: kuzminya@tsniimash.ru.

Вячеслав Александрович Шувалов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, т. (495) 513-49-45, e-mail: vashuvalov@tsniimash.ru.

Александр Александрович Яковлев, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела, т. (495) 513-47-44, e-mail: aayakovlev@tsniimash.ru.

(Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (АО «ЦНИИМаши»)).

SATELLITES OF OPERATIONAL METEOROLOGY CONSTELLATIONS OVERVIEW

**A. A. Astashkin, A. V. Karelin, I. N. Komissarova,
Yu. A. Kuzmin, V. A. Shuvalov, A. A. Yakovlev**

An overview of the operating orbital constellations of spacecraft for operational meteorological observation is given. The main tasks facing the hydrometeorological services of different countries of the world are presented. The composition of orbital groups of spacecraft for operational meteorological observation is presented. The composition and distribution of target equipment for hydrometeorological spacecraft are considered. The main technical characteristics of the target equipment are presented. Proposals were made for the development of Russian spacecraft for meteorological support.

Keywords: *global meteorological space system, orbital constellation, spacecraft for operational meteorological observation, target equipment for monitoring weather parameters, space meteorological information.*

References

1. Observing Systems Capability Analysis and Review Tool : [сайт]. – Geneva, Switzerland : World Meteorological Organization, 2021. – URL: <http://www.wmo-sat.info/oscar/> (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
2. Mission Overview / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: <http://www.goes-r.gov/mission/mission.html> (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
3. Spacecraft Overview / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: <http://www.goes-r.gov/spacesegment/spacecraft.html> (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
4. GOES-R Instrument Operations / Hal Bloom // Fifth annual Symposium on Future National Operational Environmental Satellite Systems; NPOESS and GOES-R. – Phoenix, AZ, 2009. – URL: http://www.goes-r.gov/downloads/AMS_2009_GOES-R_Instruments_v4.pdf (дата обращения: 02.04.2021). – Текст : электронный.
5. Multimedia – Space Segment – Instruments Image Gallery / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: http://www.goes-r.gov/multimedia/instr_images.html#exis (дата обращения: 02.04.2021). – Текст : электронный.
6. The Advanced Baseline Imager (ABI) on Geostationary Environmental Satellites (GOES-r) / T. J. Schmit, J. J. Gurka, M. M. Gunshor [et al.] // 21st International Conference on Interactive Information Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, part of the 85th AMS Annual Meeting. – San Diego, CA, 2005. – URL: <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/83565.pdf> (дата обращения: 31.03.2021). – Текст : электронный.
7. The ABI on the GOES-R series / T. J. Schmit, J. J. Gurka, M. M. Gunshor [et al.] // 5th GOES Users' Conference. – New Orleans, LA, 2008. – URL: http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/abi/ABI_AMS_2008_schmit_final.pdf. – Текст : электронный.
8. Advanced Baseline Imager (ABI) / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: http://www.goes-r.gov/education/docs/Factsheet_ABI_v6.pdf (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
9. Introducing the Next-generation Advanced Baseline Imager (ABI) on GOES-R / T. J. Schmit, M. M. Gunshor, W. P. Menzel [et al.] // Bulletin of the American Meteorological Society. – Vol. 86. – № 8. – P. 1079 – 1096. – URL: <http://epssi.mtu.edu/seminar/i1520-0477-86-8-1079.pdf>. – Текст : электронный. – DOI : 10.1175/BAMS-86-8-1079.
10. The Geostationary Lightning Mapper (GLM) on the GOES-R: A new operational capability to improve storm forecasts and warnings / S. Goodman, R. Blakeslee, W. Koshak [et al.] // AMS 6th Annual Symposium on Future National Symposium on Operational Environmental Satellite Systems-NPOESS and GOES-R. – Atlanta, GA, 2010. – URL: http://cimss.ssec.wisc.edu/goes_r/proving-ground/presentations/AMS-2010-GLM-Goodman.pdf (дата обращения: 31.03.2021). – Текст : электронный.

11. Geostationary Lightning Mapper (GLM) / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: <http://www.goes-r.gov/spacesegment/glm.html> (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
12. Satellite instrument package to assess space weather ready for delivery by CU / Frank Eparvier // University of Colorado [сайт]. – 2013. – URL: <http://www.colorado.edu/news/releases/2013/05/02/satellite-instrument-package-assess-space-weather-ready-delivery-cu> (дата обращения: 31.03.2021). – Текст : электронный.
13. LASP-built space weather instrument ready for delivery / LASP [сайт]. – 2013. – URL: <http://lasp.colorado.edu/home/blog/2013/05/02/lasp-built-space-weather-instrument-ready-for-delivery/> (дата обращения: 31.03.2021). – Текст : электронный.
14. EUV and X-Ray Irradiance Sensors (EXIS) / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA; NASA, 2021. – URL: <http://www.goes-r.gov/spacesegment/exis.html> (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
15. Solar Ultraviolet Imager (SUVI) / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA, NASA, 2021. – URL: <http://www.goes-r.gov/spacesegment/suvi.html> (дата обращения: 01.04.2021). – Текст : электронный.
16. Magnetometer (MAG) / GOES-R [сайт]. – Greenbelt, MD : NOAA, NASA, 2021. – URL: <http://www.goes-r.gov/spacesegment/mag.htm> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
17. NOAA-15 Makes 100 Thousandth Orbit / NOAA/NESDIS [сайт]. – 2017. – URL: <https://www.nesdis.noaa.gov/content/noaa-15-makes-100-thousandth-orbit> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
18. AVHRR/3 Instrument Technical Overview / G. A. Mandt // POES Program; NOAA. – New-York, USA : ITT A/CD, 1995.
19. DMSP – Block 5D-3 Spacecraft Overview / Patrick Blau // Spaceflight101 [сайт]. – 2021. – URL: <http://www.spaceflight101.com/dmsp-block-5d-3-spacecraft-overview.html> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
20. Defense Meteorological Satellite Program capabilities through the end of this century and requirements for the converged DMSP NOAA Systems / J. Goyette, L. Belsma, J. Bohlson [et al.] // SPIE ; European Symposium on Satellite Remote Sensing II. – Paris, France, 1995. – Vol. 2578.
21. Preston M. Burch. Joint Polar Satellite System (JPSS), Program Overview and Status / Preston M. Burch. – 2012. – URL : <http://www.goddard-contractors-association.org/presentations/7-31-2012%20GCA%20Presentation%20Preston%20Burch.pdf> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
22. Mehta A., Watkins M. Joint Polar Satellite System (JPSS) / A. Mehta, M. Watkins. – 2012. – URL: <http://www.goes-r.gov/downloads/2012-AMS/01/Mehta.pdf> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
23. Mission and instruments. – URL: <http://www.jpss.noaa.gov/satellites.html> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
24. Joint Polar Satellite System (JPSS) – The Contribution of Operational and Research Applications from the Joint Polar Satellite System to Societal Benefits / Mitchell Goldberg // The 1st KMA International Meteorological Satellite. Conference. – Seoul, Korea, 2015. – URL : http://www.kmainsc.kr/html/menu1_sub4.php (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
25. Joint Polar Satellite System (JPSS) Instrument Transition to NASA and Development Status / Christopher W. Brann // Proceedings of SPIE Remote Sensing 2012, 'Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites'. – Edinburgh, Scotland, UK, 2012. – V. 8531 – 8539.
26. Joint Polar Satellite System Algorithm & Data Products Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) // STAR-JPSS. – 2012. – URL : <http://www.star.nesdis.noaa.gov/jpss/VIIRS.php>. – Текст : электронный.
27. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) // NASA/GSFC. – 2013. – URL : <http://npp.gsfc.nasa.gov/viirs.html> (дата обращения: 03.04.2021). – Текст : электронный.
28. Northrop Grumman to Complete Advanced Technology Microwave Sounder for Joint Polar Satellite Systems // Space Daily. – 2011. – URL: http://www.spacedaily.com/reports/Northrop_Grumman_to_Complete_Advanced_Technology_Microwave_Sounder_for_Joint_Polar_Satellite_Systems_999.html. – Текст : электронный.
29. The Advanced Technology Microwave Sounder (ATMS) : New Capabilities for Atmospheric Sensing / W. J. Blackwell, C. F. Cull, R. N. Czerwinski [et al.] // 92nd AMS (American Meteorological Society) Annual Meeting. – New Orleans, LA, USA, 2012. – URL : <http://www.goes-r.gov/downloads/2012-AMS/02/Blackwell.pdf> (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
30. Goldberg M. CrIS and ATMS Applications / Mitch Goldberg // NOAA Satellite Conference 2015. – Greenbelt, MD, 2015. – URL: http://www.jpss.noaa.gov/events_conferences/satellite_conference/presentations/2.3c_NSC2015_Session_Goldberg.pdf (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
31. Cross-Track Infrared Sounder FPAA Performance / S. Masterjohn, A. I. D'Souza, L. C. Dawson [et al.] // Proceedings of SPIE. – Seattle, WA, 2002. – Vol. 4820.
32. CERES – Clouds and the Earth's Radiant Energy System : NASA brochure. – 2017. – URL: <https://eosps.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/publications/CERES%20Mission%20Brochure%20508.pdf> (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
33. Clouds and Earth Radiant Energy System (CERES): from Measurement to Data Products / G. Louis Smith, Kory J. Priestley, Norman G. Loeb // Proceedings of the 2012 IEEE Aerospace Conference. – Big Sky, Montana, USA, 2012.

34. Asbury S. OMPS – The Next Generation Sensor Suite for Global Ozone Monitoring / S. Asbury, S. Cass, L. Farwell [et al.]. – URL: http://npoess.noaa.gov/IPOarchive/ED/Outreach_Materials/public_presentations/AMS/2008/Posters/2.NPOESS_Sym_2008_Asbury_Final.pdf (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
35. Joint Polar Satellite System Algorithm & Data Products Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) // STAR-JPSS. – 2012. – URL: <http://www.star.nesdis.noaa.gov/jpss/OMPS.php> (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
36. Atmospheric Chemistry Products from the Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS): Validation and Applications / L. Flynn ; NOAA and NASA OMPS S-NPP Teams // NOAA Satellite Conference. – Greenbelt, MD, 2015. – URL: http://www.jpss.noaa.gov/events_conferences/satellite_conference/presentations/2.3d_NSC2015_Session_Flynn_F.pdf (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
37. MSG's SEVIRI Instrument / D. M. A. Aminou // ESA Bulletin 111. – 2002. – P. 15 – 17. – URL : http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet111/chapter4_bul111.pdf (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
38. Meteosat Second Generation Instruments. – URL: <http://www.eumetsat.int/Home/Main/Satellites/MeteosatSecondGeneration/Instruments/index.htm> (дата обращения: 06.04.2021). – Текст : электронный.
39. The In-orbit Performance of the Meteosat Second Generation SEVIRI Instruments / P. Pili, L. Matheson, C. Tranquilli [et al.] // Proceedings of the EUMETSAT 2016 Meteorological Satellite Conference. – Darmstadt, Germany, 2016. – URL: http://www.eumetsat.int/website/home/News/ConferencesandEvents/DAT_2833302.html (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
40. MSG's GERB Instrument / H-J. Luhmann // ESA Bulletin 111. – 2002. – P. 18 – 20. – URL: http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet111/chapter5_bul111.pdf (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
41. Geostationary Earth Radiation Budget GERB unit level spectral response data / J. Russell // Earth Radiation Budget Workshop 2010. – Paris, France, 2010.
42. The Transition from MTP to MSG operations for the End-User Community / R. Francis, V. Gärtner // Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite Data User's Conference. – Copenhagen, Denmark, 1999. – P. 55 – 60.
43. Description of the 406 MHz Payloads used in the COSPAS-SARSAT GEOSAR System / C/S T.011. – 2008. – Issue 1. – Rev. 5.
44. EPS, the European contribution to the NOAA/EUMETSAT Initial Joint Polar system (IJPS) / C. Cohen, P. G. Edwards // Proceedings of IAC 2004. – Vancouver, Canada, 2004. – IAC-04-B.1.02.
45. MetOp: The Space Segment for EUMETSAT's Polar System / P. G. Edwards, D. Pawlak // ESA Bulletin. – 2000. – № 102. – P. 7 – 18. – URL: <http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet102/Edwards102.pdf> (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
46. IASI – an infrared sounder for operational meteorology // CNES Magazine. – 2003. – № 19. – P. 10.
47. IASI Instrument Onboard MetOp-A: Lessons Learned after almost two Years in Orbit / L. Buffet, E. Pequinot, D. Blumstein [et al.] // Proceedings of the 7th ICSO (International Conference on Space Optics) 2008. – Toulouse, France, 2008.
48. Humidity Sounders for the 21st Century / C. J. Bushell [et al.] // Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite User's Conference. – Copenhagen, Denmark, 1999. – P. 77 – 84.
49. The Radiometric Performance of the Microwave Humidity Sounder / G. Shaw, C. J. Bushell // Proceedings of the EUMETSAT Meteorological Satellite User's Conference. – Copenhagen, Denmark, 1999. – P. 135 – 139.
50. GOME-2 – MetOp's Second-Generation Sensor for Operational Ozone Monitoring / J. Callies, E. Corraccioli, M. Eisinger [et al.] // ESA Bulletin. – 2000. – № 102. – P. 28 – 36. – URL: <http://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet102/Callies102.pdf> (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
51. The New Advanced Polarization Measurements of GOME-2 on-board the MetOp satellites / J. Callies, E. Corraccioli, M. Eisinger [et al.] // Proceedings of SPIE. SPIE Annual Meeting 2002: Remote Sensing and Space Technology. – Seattle, WA, 2002. – Vol. 4814.
52. The advanced scatterometer (ASCAT) on the meteorological operational (MetOp) platform: A follow on for European wind scatterometers / J. Figa-Saldaña, J. J. W. Wilson, E. Attema [et al.] // Canadian Journal of Remote Sensing. – 2002. – Vol. 28. – № 3. – P. 404 – 412.
53. The Payload for the Polar Orbiting Operational Meteorological Satellite Metop / A. P. Albiñana, J. Wilson, G. Kayal [et al.] // SPIE Conference Optics & Photonics. – San Diego, CA, 2005. – Vol. 5883. – 200.
54. Near Real-Time Precise Orbit Determination for Radio Occultation and Altimetry Missions / Y. Andrés, P. L. Righetti, C. Marquardt // Proceedings of ION GNSS 2010. – Portland, OR, USA, 2010.
55. Polar Orbiting Environmental Satellite, Space Environment Monitor-2, Instrument Descriptions and Archive Data Documentation / D. S. Evans, M. S. Greer // NOAA Technical Memorandum, version 1.4. – 2004 – URL : <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/NOAA/docs/SEM2v1.4b.pdf>. (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
56. FY-2 Series Satellites // NSMC. – URL : <http://www.nsmc.cma.gov.cn/en/NSMC/Channels/FY-2 SeriesSatellites.html>. – Текст : электронный.
57. FY-4 Series Satellites // NSMC. – URL: <http://www.nsmc.cma.gov.cn/en/NSMC/Channels/FY-4 SeriesSatellites.html>. – Текст : электронный.

58. Status of Current and Future Satellite Programs of China Meteorological Administration / Ruixia Liu // The 1st KMA International Meteorological Satellite Conference. – Seoul, Korea, 2015. – URL : http://www.kmainsc.kr/html/menu1_sub4.php. – Текст : электронный.
59. GEO-News around the world – FengYun-4: [сайт]. – 2015. – URL: <http://goes.gsfc.nasa.gov/text/geonews.html#FENGYUN4> (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
60. The Geostationary Interferometric Microwave Sounder (GIMS): Instrument Overview and Recent Progress / H. Liu, J. Wu, S. Zhang [et. al.] // Proceedings of IGARSS (International Geoscience and Remote Sensing Symposium). – Vancouver, Canada, 2011.
61. Development and Evaluation of detection algorithm for FY-4 Geostationary Lightning Imager (GLI) measurement / D. Cao, F. Huang, X. Qie // XV International Conference on Atmospheric Electricity. – Norman, Oklahoma, USA, 2014. – URL: http://www.nssl.noaa.gov/users/mansell/icae2014/preprints/Cao_59.pdf (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
62. The 2nd Generation of Chinese Polar-orbiting Satellite-Fengyun-3 Series: Status Report / J. Yang, C. Dong, P. Zhang [et al.] // Proceedings of ITSC-16 (16th International TOVS Study Conference). – Angra dos Reis, Brazil, 2008. – URL: http://cimss.ssec.wisc.edu/itwg/itsc/itsc16/11_05_ma.pdf (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
63. Evaluation of Total Precipitable Water over East Asia from FY-3A/VIRR Infrared Radiances / J. Zheng, C.-X. Shi, Q.-F. Lu [et al.] // Atmospheric and Oceanic Science Letters. – 2010. – Vol. 3. – № 2. – P. 93 – 99. – URL: http://www.lasg.ac.cn/staff/xie/papers/2010_zheng_AOSL.pdf (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
64. MERSI in FY-3 Meteorological Satellite / X. Niu, L. Ding // Proceedings of the 59th IAC (International Astronautical Congress). – Glasgow, Scotland, UK, 2008. – IAC-08-B1.3.6.
65. FY-3 (FengYun-3) 2nd Generation Polar Orbiting Meteorological Satellite Series. – URL: <https://eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/f/fy-3>. – Текст : электронный.
66. Design of the second generation Microwave Humidity Sounder (MWHs-II) for Chinese Meteorological Satellite FY-3 / S. Zhang, J. Li, Z. Wang [et al.] // Proceedings of IGARSS (International Geoscience and Remote Sensing Symposium). – Munich, Germany, 2012.
67. An introduction to the FY3 GNOS instrument and mountain-top tests / W. Bai, Y. Sun, Q. Du [et al.] // Atmospheric Measurement Techniques. – 2014. – Vol. 7. – P. 1817 – 1823. – URL: <http://www.atmos-meas-tech.net/7/1817/2014/amt-7-1817-2014.pdf> (дата обращения: 09.04.2021). – Текст : электронный.
68. An introduction to China FY3 radio occultation mission and its measurement simulation / Y. M. Bi, Z. D. Yang, P. Zhang [et al.] // Advances in Space Research. – 2012. – Vol. 49. – Iss. 7. – P. 1191 – 1197.
69. FY-3 satellite Ultraviolet Total Ozone Unit / Y. M. Wang, Y. J. Wang, W. H. Wang [et al.] // Chinese Science Bulletin. – Vol. 55. – № 1. – 2010. – P. 84 – 89. – URL: <http://www.springerlink.com/content/tm78t2v025102170/fulltext.pdf> (дата обращения: 10.04.2021). – DOI: 10.1007/s11434-009-0335-8. – Текст : электронный.
70. Kelkar R. R. Indias INSAT-3D Satellite Mission / R. R. Kelkar. – 2008. – URL : <http://www.earthscienceindia.info/popular%20archival/download.php?file=pdf-1.pdf> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
71. INSAT-3DR // ISRO. – 2016. – URL: <http://www.isro.gov.in/Spacecraft/insat-3dr> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
72. GSV-F05/INSAT-3DR // ISRO brochure. – 2016. – URL: http://www.isro.gov.in/sites/default/files/gslv_f05_insat_3dr-final.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
73. INSAT-3D: an advanced meteorological mission over Indian Ocean / V. R. Katti, V. R. Pratap, R. K. Dave [et al.] // Proceedings of SPIE, 'GEOSS and Next-Generation Sensors and Missions'; Stephen A. Mango; Ranganath R. Navalgund; Yoshifumi Yasuoka, Editors. – Goa, India, 2006. – Vol. 6407. – № 13. – DOI: 10.1117/12.697880.
74. Kimura T. Up-to-date Information on the Japanese Next-Generation Himawari-8/9 Satellites for Users' Preparedness / T. Kimura. – 2013. – URL: http://www.wmo.int/pages/prog/sat/meetings/documents/EC-65-SideEventUserPrep_Doc_02_JMA.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
75. Status of Next Generation Japanese Geostationary Meteorological Satellites – Himawari-8/9 and their Products / Masaya Takahashi // NOAA Satellite Science Week: GOES-R Algorithm Working Group (AWG), Proving Ground, and Risk Reduction annual meetings. – Kansas City, MO, USA, 2012. – URL: <http://www.goes-r.gov/downloads/2012-ScienceWeek/posters/tues> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
76. New geostationary meteorological satellites – Himawari-8/9 // JMA Leaflet. – URL: http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/materials/Himawari89/himawari89_leaflet2/201507_leaflet89.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
77. Advanced Himawari Imager (AHI) Design and Operational Flexibility / Paul C. Griffith // 12th Annual Symposium on New Generation Operational Environmental Satellite Systems, AMS Annual Meeting. – New Orleans, Louisiana, USA, 2016. – URL: https://ams.confex.com/ams/96Annual/webprogram/Handout/Paper289069/NGOESS-7.1_Griffith_AHI_Design_v2.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
78. Geostationary Earth Orbit (GEO) Satellite // KARI. – URL: http://www.kari.re.kr/eng/sub03_02_02.do (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
79. How GK2 (GEO-KOMPSAT-2) Program is Ensuring COMS Follow-on Mission in Korea / Sang-Ryool Lee // 6th Annual MilSatCom Asia-Pacific. – Singapore, 2016.

80. ITT Exelis advanced weather imager technology to improve forecasting capabilities in South Korea // Exelis. – 2013. – URL: <http://investors.exelisinc.com/phoenix.zhtml?c=248208&p=irol-newsArticle&ID=1804180&highlight=> (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
81. Current Status and Future Plan of KMA Satellite Program / Sang-Jin Lyu // NOAA Satellite Conference. – Greenbelt, MD, USA, 2015. – URL : http://satelliteconferences.noaa.gov/2015/doc/presentation/1.9_NSC2015_Session_1.9_Lyu.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
82. KMA launch contract for GK2A space weather mission // RA II (WMO Regional Association-II) WIGOS Project Newsletter, WMO. – 2014. – Vol. 5. – № 1. – URL: http://www.wmo.int/pages/prog/sat/documents/RA-2-WIGOSPP_Newsletter-Vol5-N1.pdf (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
83. Overview on KMA KSEM: The first Korean Space Weather mission flying on Geostationary orbit / J.-G. Won, H.-S. Lee, J.-H. Seon [et al.] // The 1st KMA International Meteorological Satellite Conference. – Seoul, Korea, 2015. – URL: http://www.kmaimsc.kr/html/menu1_sub4.php (дата обращения: 10.04.2021). – Текст : электронный.
84. Joint Stock Company ‘Research and Production Association named after S.A. Lavochkin’ (JSC NPO Lavochkin) : official website. – Moscow. – URL : <https://www.laspance.ru/projects/information-systems> (date of access: 10.04.2021). – Text : electronic.
85. Joint Stock Company ‘Research and Production Corporation ‘Space Monitoring Systems, Information & Control and Electromechanical Complexes’ named after A. G. Iosifian’ (VNIIEМ Corporation JSC) : official website. – Moscow. – URL: http://www.vniiem.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=609:-1-3r-new&catid=37:spaceprograms&Itemid=62 (date of access: 10.04.2021). – Text : electronic.

*Aleksandr Alekseevich Astashkin, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Leading Researcher,
tel.: +7 (495) 513-55-87, e-mail: astashkin@tsniimash.ru.*

*Aleksandr Vitalevich Karelin, Associate Professor, Doctor of Physics and Mathematics (D. Sc.),
Head of Department, tel.: +7 (495) 513-54-01, e-mail: avkarelin@tsniimash.ru.*

*Irina Nikolaevna Komissarova, Leading Specialist, tel.: +7 (495)513-48-61,
e-mail: KomissarovaIN@tsniimash.ru.*

*Yury Aleksandrovich Kuzmin, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Head of Sector,
tel.: +7 (495)513-40-88, e-mail: kuzminya@tsniimash.ru.*

*Viacheslav Aleksandrovich Shuvalov, Candidate of Technical Sciences (Ph. D),
Leading Researcher, tel.: +7 (495)513-49-45, e-mail: vashuvalov@tsniimash.ru.*

*Aleksandr Aleksandrovich Yakovlev, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Deputy Head of Department,
tel.: +7 (495)513-49-45, e-mail: AAYakovlev@tsniimash.ru.
(Joint-Stock Company «Central Research Institute for Machine Building»).*