

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

УДК 551.5

ЗАПУСК ПЕРВОГО РОССИЙСКОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО КА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ «МЕТЕОР-М» № 1 – НАЧАЛО ВОССОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ

Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов,
В. П. Ходненко, А. Л. Чуркин

Рассматриваются назначение и основные характеристики космического комплекса «Метеор-3М» с метеорологическим космическим аппаратом (КА) нового поколения «Метеор-М» № 1, запуском которого началось воссоздание отечественной орбитальной группировки. Приведены состав, характеристики служебных и съёмочных систем КА «Метеор-М» № 1, а также сведения об экспериментальных системах. Приводятся основные сведения о наземном комплексе приёма, обработки и распространения данных (НКПОР) Росгидромета и Роскосмоса – Научном центре оперативного мониторинга Земли ОАО «Российские космические системы». Представлены основные результаты полученной КА «Метеор-М» № 1 информации и её целевого использования. Обобщены основные результаты создания комплекса «Метеор-3М». Ввод в эксплуатацию космического комплекса «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» № 1 позволил решить ряд принципиальных задач наблюдения атмосферы, океана и суши Земли за счёт повышения периодичности метеонаблюдений, особенно в приполярных районах, и комплексности проводимых наблюдений.

Ключевые слова: космический аппарат, орбитальная группировка, целевое назначение, полезная нагрузка, многозональное сканирующее устройство, комплекс многозональной спутниковой съёмки, модуль температурного и влажностного зондирования атмосферы, бортовой радиолокационный комплекс, радиополиния.

Запуск модернизированной РН «Союз-2.1б» / «Фрегат» осуществлён 17 сентября 2009 г., она вывела КА «Метеор-М» № 1 на ССО со следующими параметрами:

- средняя высота ССО – 821,8 км;
- период обращения – 101,3 мин;
- наклонение – 98,79 град.;
- эксцентриситет – $1,42 \times 10^{-3}$;
- аргумент перигея – 70,62 град.

«Метеор-М» № 1 – первый из серии перспективных КА гидрометеорологического обеспечения. 8 июня 2014 г. запущен следующий из этой серии – КА «Метеор-М» № 2, а в последующем предусматривается запуск ещё трёх метеорологических КА: «Метеор-М» № 2-2, № 2-3, № 2-4.

Запуском КА «Метеор-М» № 1 началось воссоздание отечественной метеорологической орбитальной группировки, отсутствовавшей с момента завершения эксплуатации КА «Метеор-3М» № 1 (10.12.2001 – 05.04.2006).

В качестве попутной нагрузки на заданные орбиты выведены шесть МКА и устройств, в том числе запущенный в интересах ЮАР спутник ДЗ «Сумбандила» (ZA-002 Symbandila-Sat), российские малые спутники: «Стерх-2», «Университетский – Татьяна-2», Ygamu-Cat, «Блиц» (микроспутник с автономной лазерной сферической стеклянной отражательной системой), а также установки «ИРИС».

По завершению ЛИ 24 декабря 2009 г. КА «Метеор-М» № 1 был переведён в режим опытной эксплуатации.

КА «Метеор-М» № 1 входит в состав КК гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М».

Комплекс, созданный по заданию Роскосмоса и Росгидромета в АО «Корпорация «ВНИИЭМ», предназначен для оперативного получения информации в целях прогноза погоды, контроля озонового слоя и радиационной обстановки в ОКП, а также для мониторинга морской поверхности, включая ледовую обстановку.

Управление КА «Метеор-М» № 1 и планирование работы бортовой ЦА осуществляет находящийся в ведении Роскосмоса оператор КК – НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы».

Приём информации ЦА КА «Метеор-М» № 1 осуществляют три центра федерального уровня, находящиеся в ведении ФГБУ «НИЦ Планета» Росгидромета: Европейский (г. Москва – г. Обнинск – г. Долгопрудный), Сибирский (г. Новосибирск), Дальневосточный (г. Хабаровск), а также упомянутый НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы». Указанные центры позволяют обеспечить получение оперативной спутниковой информации по всей территории России, а также сбор гидрометеорологических данных с удалённых метеостанций и других измерительных платформ.

Основными потребителями информации являются Росгидромет, Министерство природных ресурсов России, Минобороны России, Роскосмос, МЧС России, Рослесхоз, Минэкономразвития России, Минсельхоз России, органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации и др. [1].



Рис. 1. КК «Метеор-3М» с КА «Метеор-М»



Рис. 2. КА «Метеор-М» № 1 (при выведении)

Всего космической информацией обеспечено более 460 пользователей местного, регионального и федерального уровней.

Оперативная космическая информация предназначена для решения следующих основных задач:

1. Мониторинга климата и его глобальных изменений с целью анализа и прогноза погоды в региональном и глобальном масштабах.

2. Анализа и прогноза состояния акватории морей и океанов.

3. Анализа и прогноза условий использования авиации.

4. Анализа и прогноза гелиогеофизической обстановки в ОКП, состояния ионосферы и магнитного поля Земли.

5. Контроля чрезвычайных ситуаций, включая мониторинг наводнений, дымовых шлейфов и гарей от лесных пожаров.

6. Мониторинга вулканической деятельности.

7. Экологического мониторинга окружающей среды.

8. Мониторинга водной среды:

– картирование динамических структур в приповерхностном слое моря;

– картирование загрязнений водной поверхности нефтяными плёнками и плёнками поверхностно-активных веществ биогенного происхождения;

– картирование мутности и прозрачности вод.

9. Мониторинга почвенно-растительного покрова.

10. Мониторинга ледяного покрова:

– картирование ледовой обстановки замерзающих морей России;

– картирование дрейфа морского льда в Арктике и Антарктике и замерзающих морях России;

– создание радиолокационных карт Антарктиды и российского сектора Арктики.

Состав КК «Метеор-3М» (рис. 1): КА «Метеор-М»; СК с РКН; НКУ КА «Метеор-М»; НКПОР; ТК – РН; КА; РБ «Фрегат»; КГЧ.

КА «Метеор-М» № 1. Полярно-орбитальный КА «Метеор-М» № 1 (рис. 2, 3) предназначен для оперативного получения в интересах подразделений Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и других ведомств следующей информации:

– глобальных и локальных изображений облачности, поверхности Земли, ледяного и снежного покровов в видимом, ИК- и микроволновом диапазонах;

– данных для определения температуры морской поверхности и радиационной температуры подстилающей поверхности;

– радиолокационных изображений земной поверхности;

– данных о распределении в атмосфере малых газовых составляющих, включая озон, и его общего содержания;

– информации о гелиогеографической обстановке в ОКП, состоянии ионосферы и магнитного поля Земли;

– данных о спектральной плотности энергетических яркостей уходящего излучения для определения вертикального профиля температуры и влажности в атмосфере, а также для оценки составляющих радиационного баланса системы «Земля – атмосфера».

Основные характеристики КА «Метеор-М» приведены в табл. 1.

Состав КА «Метеор-М» № 1. КА состоит из СП «Ресурс-УКП» и полезной нагрузки. Структурная схема КА «Метеор-М» № 1 представлена на рис. 4.

Основу спутниковой платформы составляет конструкция, а также комплекс служебных систем, включающих в себя: БКУ, который предназначен для программно-командного управления аппаратурой БИК, БНО и контроля функционирования КА автономно или совместно с НКУ.

В состав БКУ входит БКА; БСВЧ «Лавр»; БПВУ; БА КИС.

Процесс бортового управления основан на реализации набора программ, предварительно (при наземной подготовке КА) записанных в ПЗУ БПВУ.

Реализация необходимых временных программ обеспечивается предварительным заданием КПИ через прямой (Земля – КА) радиоканал КИС с наземных командных пунктов.

В ПЗУ используется так называемый трассово-временной метод управления, при котором ЦУП использует корректируемую модель орбиты КА.

Коррекция модели орбиты и, соответственно, необходимая точность баллистического прогноза обеспечиваются радиоконтролем орбиты с использованием НА БА КИС.

Предусмотрен также метод непосредственного управления БА прямыми радиокомандами, поступающими от БА КИС в БКА.

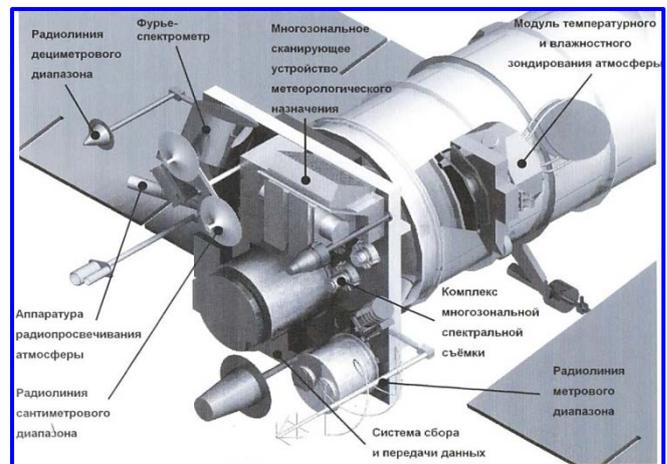
Временная синхронизация информации реализуется с помощью БСВЧ. Контроль функционирования БКУ и БА в целом осуществляется с помощью БА телеизмерений МБИТС-01.

Кроме того, бортовой комплекс служебных систем включает в себя обычный набор служебной аппаратуры: СЭС; СТР; СОК; СО БФ; АФУ.

С целью экспериментальной отработки на КА «Метеор-М» № 1 установлены перспективные служебные системы: ККВО; периферийный адаптер БИС-М; БАУ.



а



б

Рис. 3. КА «Метеор-М» № 1 с полезной нагрузкой: а – КА «Метеор-М» № 1; б – полезная нагрузка

Наличие перечисленных систем позволяет значительно расширить функциональные возможности КА «Метеор-М» № 1.

Функциональная схема КА «Метеор-М» № 1, показывающая основные направления взаимодействия систем БКУ, а также служебных и экспериментальных систем, представлена на рис. 5.

В состав полезной нагрузки входит: БИК, предназначенный для получения информации в целях решения задач гидрометеорологического обеспечения, мониторинга климата и окружающей среды, изучения природных ресурсов Земли, контроля гелиогеофизической обстановки в ОКП.

БИК включает в себя:

– МСУ-М, предназначенное для широкозахватной трассовой съемки (полоса захвата не менее 2800 км) с получением изображения облачного покрова и подстилающей поверхности Земли в видимом и ИК- (ближайшем, среднем и тепловом)

Таблица 1

Основные сведения и общие характеристики

Тип спутника	Метеорологический
Дата и время запуска	17 сентября 2009 г. 19:55 МСК
Средства выведения	РН «Союз-2.1 б»/«Фрегат»
Спутниковая платформа	«Ресурс-УКП»
Заказчики	Роскосмос, Росгидромет
Головной разработчик	АО «Корпорация «ВНИИЭМ»
Технические характеристики	
Орбита КА	
Тип	Околокруговая, ССО
Средняя высота	832 км
Наклонение	98,77 град.
Период обращения	101,3 мин
Период изомаршрутности	14/199 сутки/витки
Коррекция орбиты	Отсутствует
Стартовая масса КА	2630 кг
Масса полезной нагрузки	1200 кг
Режимы передачи данных	НП, ВИ, а также режим НП локальных данных в формате LRPT
Габаритные размеры КА	
Высота	5,0 м
Ширина с развернутыми БФ	14,0 м
Диаметр, описывающий окружность корпуса	2,5 м
Система электроснабжения	
Площадь БФ	33,0 м ²
Мощность БФ (начало/конец службы)	4500/4000 Вт
Среднесуточная мощность потребителей	1430 Вт
Пиковая мощность	2000 Вт
Максимальное сеансное потребление	до 2500 Вт
Аккумуляторы солнечной энергии	Никель-кадмиевые
Ёмкость АБ	90 А·ч
Количество АБ	2
Выходное напряжение	26 – 34 В
Система ориентации	
Тип	Постоянная трёхосная на Землю и по курсу, маховичная
Точность ориентации	
По крену и тангажу, не более	10,0 угл. мин
По рысканию, не более	15,0 угл. мин
Угловая скорость в режиме стабилизации по всем осям, не более	5×10^{-4} град./с
Определение положения осей КА с погрешностью, не более	61
Точность временной привязки положения осей КА, не хуже	1 мс
Общие характеристики	
Автономность функционирования КА	4 сут.
Наличие автономной навигации	Имеется АСН
Период обновления гидрометеорологических данных	12 ч
Гарантированный полётный ресурс	5 лет
Состав НКУ	ЦУП, КИС, РТС
Средства НКПОР	НКПОР Росгидромета (г. Москва, г. Новосибирск, г. Хабаровск); НКПОР Роскосмоса (г. Москва)

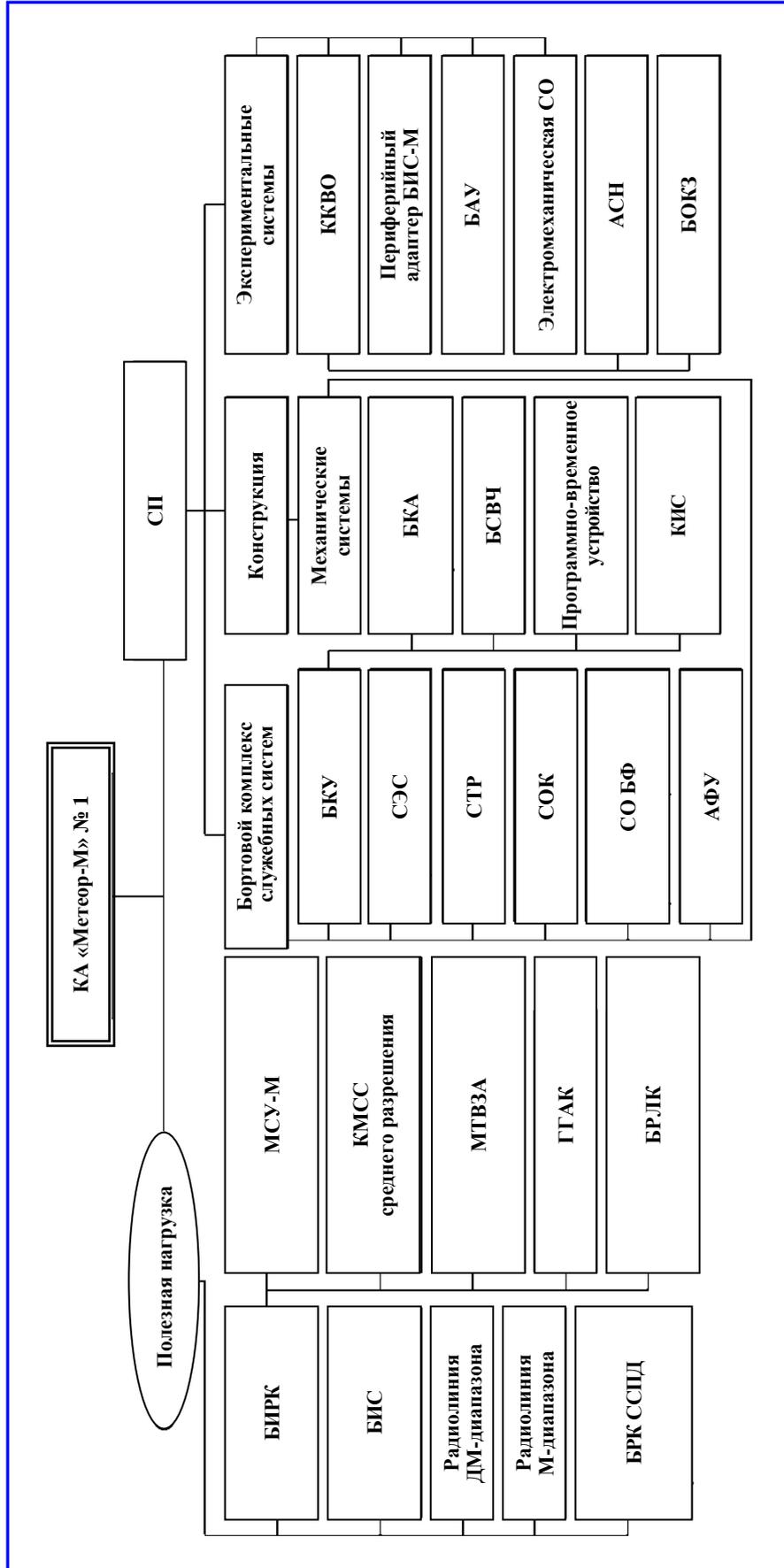


Рис. 4. Структурная схема КА «Метеор-М» № 1

участках спектра с разрешением не хуже 1 км в надире;

– КМСС среднего разрешения для получения многозональных изображений поверхности Земли и Мирового океана с использованием гидрометеорологического и экоприродного мониторинга и обеспечения различных отраслей экономики оперативной космической информацией;

– МТВЗА (МТВЗА-ГЯ);

– ГГК-М, предназначенный для глобального мониторинга гелиогеофизических параметров с целью: контроля и прогноза радиационной обстановки в околоземном пространстве и состояния магнитного поля, контроля и прогноза состояния ионосферы и условий распространения радиоволн, диагностики и контроля состояния естественных и модифицированных параметров магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы;

– БРЛК «Северянин-М» для сканирования поверхности Земли в радиодиапазоне в целях обеспечения безопасности мореплавания, исследования ледового покрова, мониторинга наводнений, гидрометеорологического обеспечения сельскохозяйственного производства и прочего;

– БИС-М;

– БИС-МВ;

– БРК ССПД, предназначенных для получения гидрометеорологических данных от автоматических измерительных пунктов.

Необходимо отметить, что в составе БИК КА «Метеор-М» № 1 работает ряд пассивных приборов оптического и инфракрасного (МСУ-МР, КМСС), а также микроволнового (МТВЗА-ГЯ) диапазонов спектра. Такой комплекс приборов во многих случаях позволяет повысить качество выходной информации или даже производить новую.

Прибор МСУ-МР по своему назначению и выходным характеристикам во многом подобен широко известному сканирующему радиометру AVHRR/3, устанавливаемому на оперативных метеоспутниках серии NOAA и европейском полярно-орбитальном метеоспутнике MetOp. Прибор разработан в АО «Российские космические системы» и предназначен для широкозахватной съёмки вдоль трассы полёта спутника и получения изображений облачности, почвенно-растительного, ледяного и снежного покровов в трёх диапазонах видимого/ближнего ИК- и трёх диапазонах теплового ИК-спектра.

Прибор МСУ-МР позволяет получать карты облачного покрова, карты нефанализа, данные для климатологии облачного покрова, макро- (облачность, высота ВГО) и микрофизические (оптическая толщина, фазовый состав и др.) параметры облачности, оценки температуры подстилающей поверхно-

сти (с наибольшей точностью оценки ТВП, состояния растительного покрова, альbedo подстилающей поверхности, коротко- и длинноволновой составляющей РБ, очаги пожаров и многое другое).

МСУ для дистанционного получения изображений в широком угле обзора содержит две идентичные оптико-механические системы, визирные оси которых параллельны.

В процессе работы устройства системы дублируют друг друга, т. е. включаются последовательно. Охлаждение приёмников среднего и дальнего ИК-диапазона от 3,5 до 12,5 мкм осуществляется с помощью общей радиационной системы охлаждения, ориентированной на космос.

Режимы работы МСУ-МР следующие:

– в основном режиме – непрерывная съёмка;

– режим очистки РХ (при этом съёмка прибором не производится).

Погрешность измерений уходящего излучения в ИК-каналах ΔT должна быть не выше 0,5 и 0,12 К, соответственно.

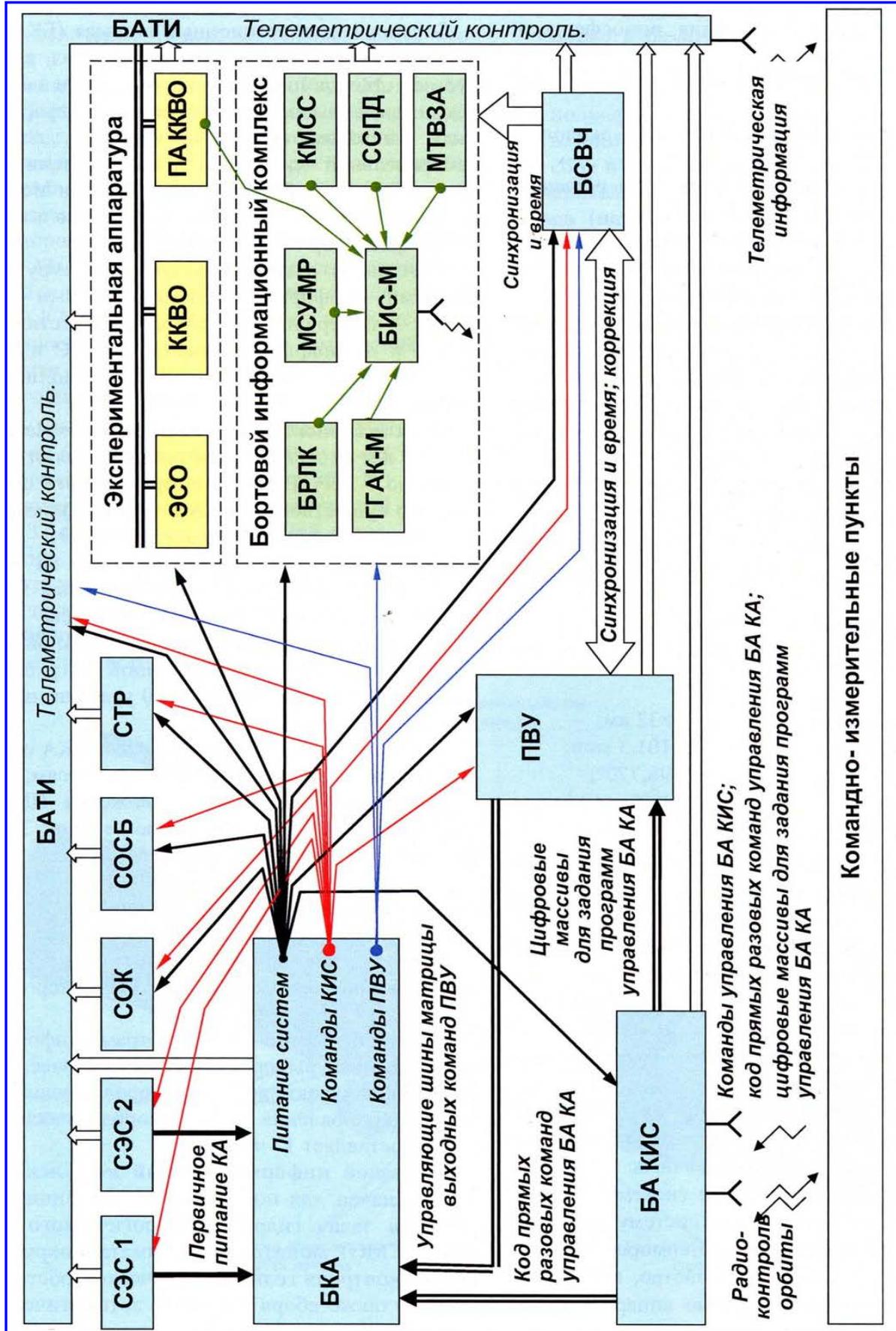
Номенклатура выходных информационных продуктов, которые можно получать по информации МСУ-МР, чрезвычайно широка: это и монтажи облачного покрова, макро- (балльность, высота верхней границы облачности) и микрофизические (оптическая толщина, фазовый состав и др.) параметры облачности, оценки температуры подстилающей поверхности (с наибольшей точностью оценки ТВП), оценки состояния растительного покрова, альbedo подстилающей поверхности, картирование снежного и ледяного покровов, очаги пожаров и др.

Запуск КА «Метеор-М» № 1 с аппаратурой МСУ-МР предоставил уникальную возможность получать перечисленную выше продукцию, пользуясь отечественными данными, причём не только локального или регионального, но и глобального характера, поскольку БИС-М позволяет накапливать повитковые (глобальные) данные от МСУ-МР и затем сбрасывать их в пунктах приёма (г. Москва, г. Новосибирск, г. Хабаровск).

В состав БИК КА «Метеор-М» № 1 входит также КМСС разработки ИКИ РАН, работающий в сеансном режиме и обеспечивающий получение изображений земной и водной поверхности в нескольких каналах видимой облачности спектра (табл. 2).

Получаемые многозональные изображения Земли и Мирового океана могут использоваться при решении целого ряда задач гидрометеорологического и экоприродного мониторинга, включая контроль чрезвычайных ситуаций.

В состав КМСС входят три съёмочные камеры – две МСУ-100 и одна МСУ-50, которые являются



Командно- измерительные пункты

Рис. 5. Функциональная схема КА «Метеор-М». № 1

Таблица 2

Основные характеристики бортовой информационной аппаратуры

Прибор	Применение	Спектральные/ частотные диапазоны	Полоса захвата, км	Пространственное разрешение, м
МСУ-МР	Широкозахватная трассовая съёмка облачного покрова и подстилающей поверхности (в том числе ледяного покрова)	6 каналов: 0,5 – 0,7 мкм; 0,7 – 1,1 мкм; 1,6 – 1,8 мкм; 3,5 – 4,1 мкм; 10,5 – 11,5 мкм; 11,5 – 12,5 мкм	2800	1000
КМСС	Получение многозональных изображений подстилающей поверхности в оптическом диапазоне	(две камеры МСУ-100) 0,535 – 0,90 мкм; (одна камера МСУ-50) 0,37 – 0,69 мкм; (3 + 3 канала)	960; 940	54; 116
МТВЗА (микроволновый радиометр)	ТВЗА в СВЧ-диапазоне	10,6 – 183,3 ГГц (29 каналов)	1500	16 – 198 км гориз.; 1,5 – 7 км верт.
БРЛК	Мониторинг ледяного и снежного покровов, состояния гидрологических объектов, а также растительности в X-диапазоне	Несущая частота ~9,6 ГГц	600	500 и 1000
ГГАК-М	Глобальный мониторинг гелиогеофизических параметров ОКП в X-диапазоне	Измерение характеристик ОКП: плотности потока электронов в энергетических интервалах 0,03 – 15,0 МэВ; плотности потока протонов в энергетических интервалах 0,5 – 30,0 МэВ; ионный состав верхней атмосферы в диапазоне 1 – 20 а. е. м.		
БРК ССПД	Сбор и передача гидрометеорологических данных от АИП	150 ледовых, наземных, морских платформ одновременно		

практически идентичными и различаются лишь использованными в них объективами и светофильтрами.

Одновременно съёмка может производиться либо двумя камерами МСУ-100, либо одной камерой МСУ-50, либо одной камерой МСУ-100 и МСУ-50. Спектральные зоны МСУ-50 и МСУ-100 выбраны исходя из указанных выше целевых задач.

Принцип действия МСУ основан на одновременной построчной регистрации с помощью линейных ПЗС оптического изображения, перемещающегося в фокальной плоскости объектива при движении КА по орбите.

На рис. 6 приведена геометрическая схема съёмки КМСС, поясняющая принцип формирования полосы изображения. Два прибора МСУ-100 установлены на приборную платформу КА таким образом, что их оптические оси отклонены от «вертикальной» оси КА на угол $\pm 14^\circ$ в плоскости, перпендикулярной плоскости орбиты. В результате обеспечивается формирование полосы обзора МСУ-100, примерно равной полосе обзора МСУ-50 (960 и 940 км соответственно). С другой стороны, поскольку расстояние между центрами чувствительных элементов линейных ПЗС разных спектральных каналов в фокальной плос-

кости приборов МСУ-50 и МСУ-100 составляет 15,24 мм, одни и те же объекты на земной поверхности наблюдаются в разных спектральных каналах с временной задержкой 18,6 с и под разными углами в орбитальной плоскости: $-16,95^\circ$ и $+16,95^\circ$ для МСУ-50 и $-8,67^\circ$ и $+8,67^\circ$ для МСУ-100.

Географическая привязка видеоданных КМСС обеспечивается ККВО, в состав которого входят:

- АСН АСН-М-М (приёмник GPS/ ГЛОНАСС), позволяющая измерять положение КА на орбите с точностью ~ 15 м (1σ);

- датчик звёздной ориентации БОКЗ-М, позволяющий измерять ориентацию КА в инерциальной системе координат с точностью $2/20$ угл. с (1σ) в зависимости от оси.

Для интерполяции результатов измерений БОКЗ-М на моменты регистрации строк КМСС используются штатные ДУС КА. Точность привязки изображений порядка одного пикселя МСУ-100.

Данные ККВО передаются вместе с видеоданными КМСС на центральные пункты приёма КИ и малые приёмные станции пользователей.

К важным компонентам БИК, безусловно, относится СВЧ-сканер МТВЗА-ГЯ.

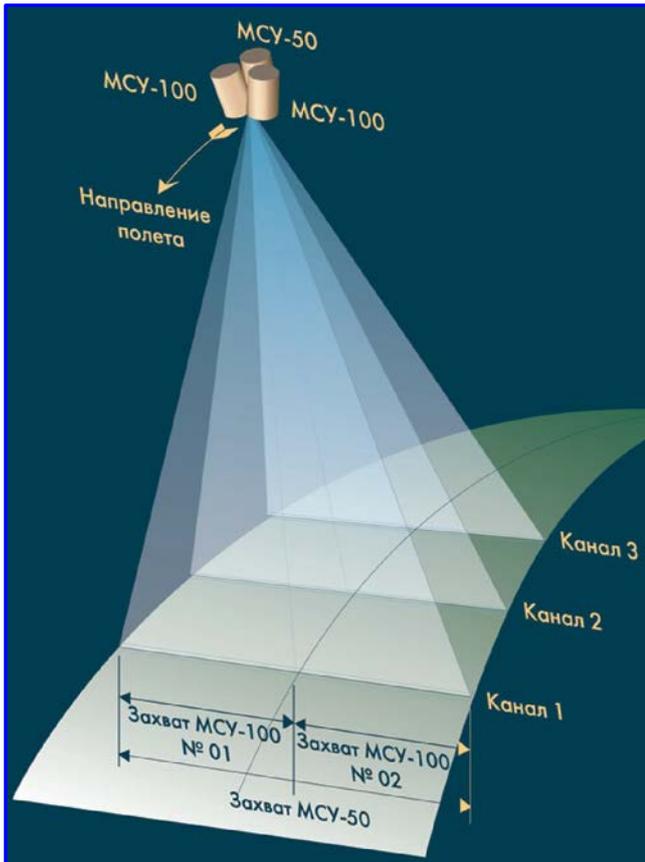


Рис. 6. Схема съёмки аппаратурой КМСС с КА «Метеор-М» № 1

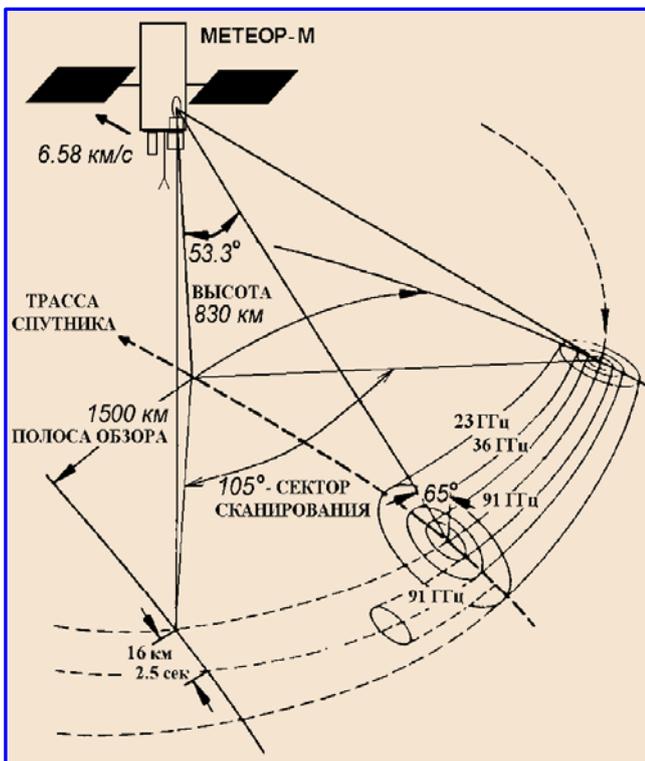


Рис. 7. Схема наблюдения МТВЗА-ГЯ с орбиты КА «Метеор-М» № 1

Микроволновый сканер-зондировщик МТВЗА-ГЯ предназначен для температурно-влажностного зондирования из космоса атмосферы, океана и суши в СВЧ-диапазоне длин волн с целью решения следующих основных задач:

- определения вертикальных профилей температуры и влажности безоблачной и облачной атмосферы;
- мониторинга ледяных и снежных покровов;
- оценки интегральной влажности и водозапаса облаков;
- определения зон осадков над водной поверхностью;
- оценки модуля скорости «приводного» ветра, температуры поверхности океана.

Известны также экспериментальные проработки данной аппаратуры в отношении оценки влагосодержания верхнего слоя почвы и решения ряда других задач.

Главной целевой функцией МТВЗА-ГЯ является ТВЗА в условиях облачности. Результаты ТВЗА являются всепогодными (на их достоверность слабо влияет облачность в поле зрения прибора), однако имеют недостаточно высокое вертикальное разрешение (меньше 3 – 6 км), поэтому для обеспечения улучшенного вертикального разрешения обычно используются совместно с результатами СВЧ-зондирования (с помощью прибора МТВЗА-ГЯ) и ИК-зондирования высокого спектрального разрешения. Такой ИК-прибор разработан на ФГУП «Исследовательский центр им. М. В. Келдыша», назван ИКФС-2 (ИК-фурье-спектрометр) и включён в полезную нагрузку КА «Метеор-М» № 2.

Схема наблюдения с помощью прибора МТВЗА-ГЯ приведена на рис. 7 [2].

Схема кругового конического зондирования МТВЗА-ГЯ осуществляется слева направо с рабочим сектором 105° (от -90° до $+15^\circ$ относительно трассы КА), что обеспечивает полосу обзора 1500 км. Угол визирования составляет $53,3^\circ$, а угол падения – 65° . За период сканирования 2,5 с перемещение нормали спутника составляет 16 км, что сравнимо с элементом пространственного разрешения микроволнового радиометра в каналах 91 и 183 ГГц.

Включённый в БИК БРЛК предназначался для:

- исследования ледяных покровов в приполярных акваториях Мирового океана (в частности в арктических морях), детектирования льда на внутренних замерзающих морях и озерах;
- мониторинга наводнений;
- обнаружения и оценки площади разливов нефтепродуктов на водной поверхности, мониторинга динамики загрязнений акватории Мирового океана и решения многих других задач.

К сожалению, по ряду причин БРЛК не мог функционировать в штатном режиме, что привело

к некоторому снижению полезной отдачи от КА «Метеор-М» № 1.

В состав БИК входит также ГГАК-М, обеспечивающий глобальный мониторинг гелиогеофизических параметров ОКП.

Важной аппаратурой БИК являлся БРК как составная часть ССПД с соответствующими платформ.

БРК ССПД предназначался для сбора и передачи гидрометеорологической информации от автоматических измерительных платформ различных типов (наземных, ледовых, дрейфующих), размещаемых в любых (в том числе труднодоступных) районах Земли.

Для сбора, запоминания и передачи данных от ЦА КА использовалась БИС, которая обеспечивала передачу на Землю информации по следующим радиолиниям:

- МВ-диапазона (137,025 – 137,925 МГц) со скоростью 80 Кбит/с – для передачи на сеть НС в режиме НП информации прибора МСУ-МР в цифровом международном формате LRPT (Low Resolution Picture Transmission);

- ДМ-диапазона (1,6985 – 1,7065 ГГц) со скоростью 665,4 Кбит/с – для передачи в режиме НП информации целевых приборов и данных ПСД;

- СМ-диапазона (две радиолинии частотой 8,048 – 8,3815 ГГц) со скоростью до 122,88 Мбит/с – для передачи в режиме ВИ полного потока данных ЦА КА в ЦПОД Росгидромета: Европейский (г. Москва), Сибирский (г. Новосибирск) и Дальневосточный (г. Хабаровск), центры ФГБУ «НИЦ «Планета».

Дополнительно в состав СП КА «Метеор-М» № 1 введены указанные выше экспериментальные системы с современными микроЭВМ, необходимость разработки и лётной отработки которых в составе первого лётного образца КА определены объективными причинами.

В связи с этим в состав КА «Метеор-М» № 1 была введена экспериментальная система ориентации с современной БУВМ, разработанная АО «НИИ «Аргон» на основе средств, прошедших длительные лётные испытания в составе КА «Ямал». Это позволит в дальнейшем использовать систему ориентации КА, обеспечивающую повышение точности и срока службы. Большая вычислительная мощность и возможности БУВМ позволяют отработать дополнительные функциональные задачи КА, связанные с управлением режимами полезных нагрузок, диагностикой системы ориентации и общим повышением срока службы КА до 7 лет.

Вторая экспериментальная система – разработанный ИКИ РАН ККВО – предназначен для исследований возможности автономной выработки

на борту КА данных, вводимых непосредственно в информационный радиоканал с целью оперативной и точной географической привязки информации ДЗЗ высокого разрешения.

В состав ККВО входят прецизионные звёздные датчики БОКЗ (разработчик – ИКИ РАН) с цифровой обработкой информации в микроЭВМ и блоки АСН, работающие от сигналов КС ГЛОНАСС и NAVSTAR.

Всего на КА «Метеор-М» № 1 размещено 17 новых приборов и радиолиний ДЗЗ, что позволяет повысить эффективность его целевого назначения.

НКПОР от КА «Метеор-М» № 1 (НКПОР-М Росгидромета). НКПОР-М предназначен в целом для планирования целевого применения КА, приёма всей информации, передаваемой с его борта, предварительной и тематической её обработки, хранения и распространения полученных данных.

Упомянутый комплекс, созданный путём модернизации и расширения соответствующего НКПОР Росгидромета, в качестве составных частей включает в себя:

- Европейский (главный) центр приёма и обработки данных – ФГБУ «НИЦ «Планета» (г. Москва – г. Обнинск – г. Долгопрудный);

- ЗС РЦПОД (г. Новосибирск);

- ДВ РЦПОД (г. Хабаровск);

- АППИ в территориальных подразделениях Росгидромета;

- сеть ПСД;

- средства связи и передачи данных, служащие для обмена информацией внутри НКПОР-М и передачи данных внешним пользователям.

ФГБУ НИЦ «Планета», являясь оператором бортовых информационных комплексов гидрометеорологического и океанографического назначения, осуществляет планирование работы целевой аппаратуры, а также координацию работ региональных центров Росгидромета по приёму, обработке, архивации и распространению пользователям соответствующих космических данных.

Зоны радиовидимости с трёх центров федерального значения (ФГБУ «НИЦ «Планета», ЗС РЦПОД, ДВ РЦПОД) покрывают всю территорию России и ближнего зарубежья (рис. 8), таким образом, глобальное покрытие позволяет формировать данные в интересах как российских, так и зарубежных пользователей.

Укрупнённая функциональная схема НКПОР-М Росгидромета приведена на рис. 9.

Основными задачами НКПОР-М являются:

- планирование работы ЦА гидрометеорологического назначения;

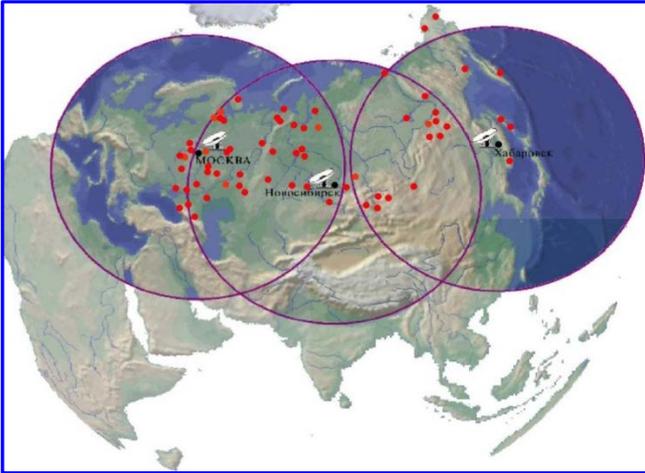


Рис. 8. Зоны радиовидимости КА «Метеор-М» № 1 (3 федеральных и 65 территориальных центров)

- приём данных с КА «Метеор-М» № 1;
- анализ и оценка качества получаемой информации;
- сбор всей зарегистрированной спутниковой информации в главном центре её приёма и обработки;
- предварительная и тематическая обработка всех видов спутниковых данных;
- долговременная архивация данных и ведение их каталога на интернет-сервисе ФГБУ «НИЦ «Планета»;
- подготовка спутниковой информационной продукции и её распространение пользователям (более 400 потребителей федерального, регионального и локального уровней).

Наиболее сложной частью НКПОР-М Росгидромета являются подготовленные для работы с КА «Метеор-М» № 1 (на основе многолетнего опыта работы с зарубежными и отечественными КА ДЗЗ) подсистемы предварительной и тематической обработки данных.

Эта подсистема включает в себя около 20 АРМ, которые подразделяются на две группы: автоматической и интерактивной обработки.

Подсистема тематической обработки предназначена для получения различных выходных информационных продуктов: карты облачности (регионального и глобального покрытия), тематической карты нефанализа и прогноза изменения облачных образований, карты-схемы ледовой обстановки в акваториях морей, карты температуры поверхностей морей и океанов, карты разливов рек и водоёмов, координаты расположения тропических вихрей, карты-схемы границ распространения снежного покрова, карты районов лесных пожаров, результаты ТВЗА в европейской части России, карты состояния растительного покрова и др.

Следует отметить, что кроме НКПОР-М Росгидромета создан и функционирует НКПОР КА «Метеор-М» № 1 Роскосмоса – Научный центр оперативного мониторинга Земли НИЦ ОМЗ АО «Российские космические системы», который осуществляет управление КА «Метеор-М» № 1 и участвует в планировании работы бортовой ЦА.

В ходе ЛИ КА «Метеор-М» № 1 центры Росгидромета обеспечили приём всего объёма передаваемых с борта данных, их обработку и анализ возможности использования информации, получаемой от целевой аппаратуры, по назначению.

За время опытной эксплуатации основными потребителями информации являлись: Росгидромет, Минприроды России, Роскосмос, МЧС России, Рослесхоз, РАН, органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации (Воронежской, Волгоградской, Владимирской, Томской, Калужской, Кировской областей, Камчатского и Хабаровского краев и др.).

Например, за период с 25.12.2009 г. по 17.09.2012 г. по целевому использованию КК «Метеор-3М» с КА «Метеор-М» № 1 разработано и реализовано 500 программ работы бортовой ЦА. Средствами НКПОР Роскосмоса и Росгидромета было проведено 10 378 сеансов приёма целевой информации с КА.

Результаты анализа, обработки и использования данных с КА «Метеор-М» № 1. ЦИ с КА «Метеор-М» № 1 успешно используется для различных видов мониторинга, в том числе мониторинга сельскохозяйственного землепользования, лесопользования (незаконные вырубки, восстановление лесов), лесных пожаров, паводковой ситуации, снежного покрова, ледовой обстановки, зарождения тайфунов, вулканической деятельности, обзорных наблюдений за облачностью по всей территории России и миру.

ФГБУ «НИЦ «Планета» только за указанный период опытной эксплуатации было составлено:

- 377 карт по мониторингу ледяного покрова и получено 96 изображений контроля состояния ледяных полей, на которых были расположены полярные станции СП-38, СП-39;
- 28 карт мониторинга наводнений;
- 87 карт мониторинга дымовых шлейфов и гарей от лесных пожаров;
- более 170 карт мониторинга водной среды;
- 12 карт мониторинга вулканической деятельности;
- 9 карт мониторинга почвенно-растительного покрова.

За этот период оператором КК было получено и обработано более 3000 заявок на получение информации с аппаратуры МСУ-МР и КМСС.

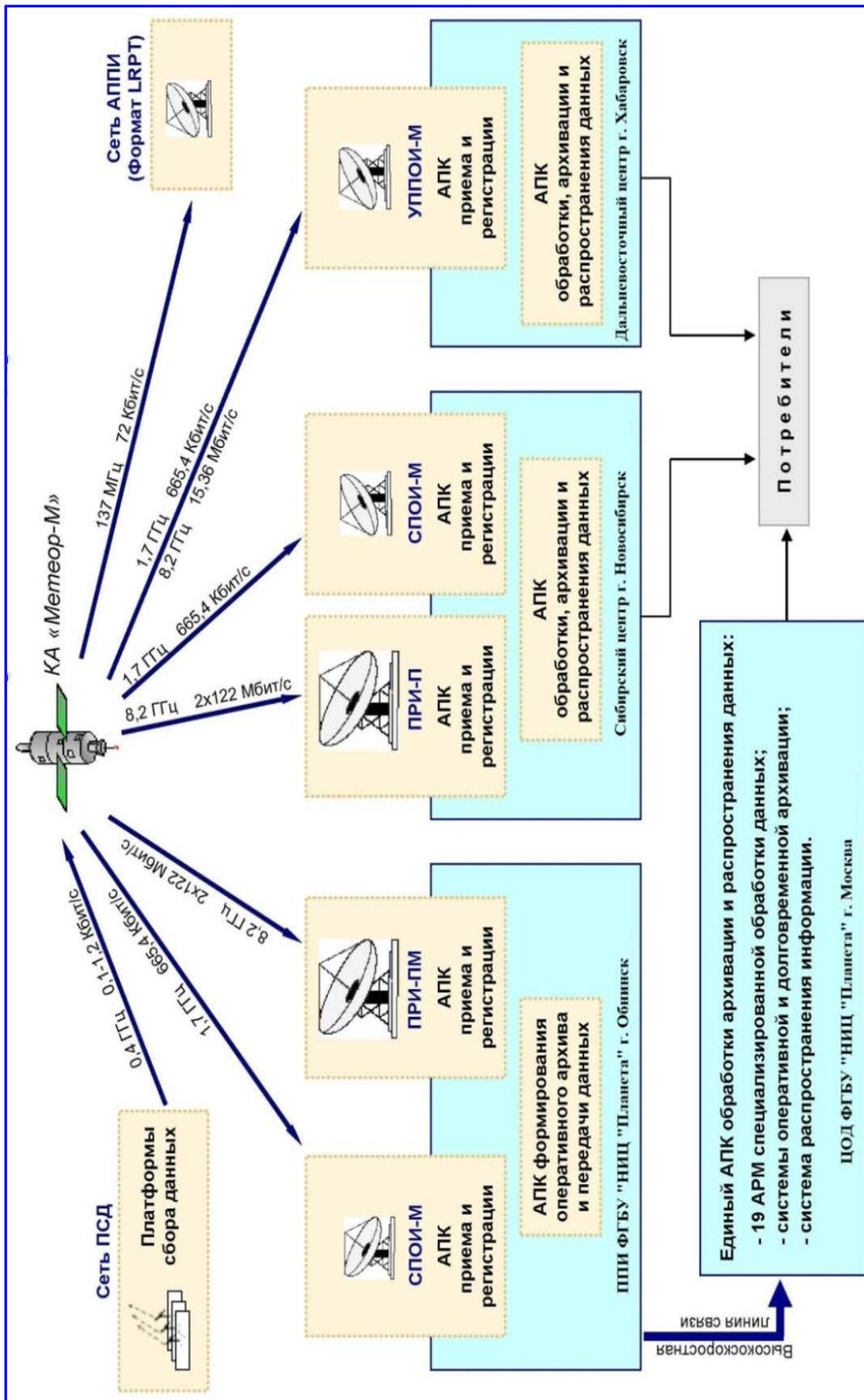


Рис. 9. Укрупнённая функциональная схема НКЮР-М Росгидромета

Выдано потребителям более 338 млн кв. км информации КМСС и более 7425 млн кв. км информации МСУ-МР.

В настоящее время в рамках ОКР «Метеор-3М» ведутся работы по созданию КА «Метеор-М» № 2-2, № 2-3, № 2-4 с учётом результатов ЛИ и опытной эксплуатации КА «Метеор-М» № 1 и КА «Метеор-М» № 2.

Спутниковая информация является одним из основных видов гидрометеорологического обеспечения в Арктике и Антарктике. С помощью данных целевой аппаратуры КА «Метеор-М» № 1 на регулярной основе проводятся работы по оперативному картированию ледовой обстановки на внутренних и внешних морях России. Снимки, полученные со спутника, используются для анализа ледовой обстановки перед открытием навигации по Северному морскому пути. На основе данных, получаемых с КА «Метеор-М» № 1, специалистами строятся обзорные и локальные карты облачности.

Глобальные данные прибора МСУ-МР позволяют отслеживать траектории перемещения тайфунов, которые относятся к опасным явлениям природы. Данные о тайфунах используются Росгидрометом, Минобороны России, Минтрансом России для проводки судов рекомендованными курсами и своевременного оповещения населения. Специальные телеграммы с координатами тропических циклонов передаются всем заинтересованным организациям по глобальной системе телесвязи.

Для прогнозирования весеннего половодья и паводков на основе данных ЦА КА «Метеор-М» № 1 подготавливаются спутниковые изображения о степени разрушения ледяного покрова и разливов рек.

За период опытной эксплуатации спутника ФГБУ «НИЦ «Планета» подготовлены спутниковые изображения по рекам: Лаба, Кубань, Кайсу, Обь, Томь, Катунь, Ангара, Енисей, Лена (верховье), Алдан, Виллой, Амга, Амур, Иртыш, Северная Двина.

Данные переданы в Гидрометцентр России, Северокавказское ЦГМС, Дагестанский ЦГМС, Северное ЦГМС, Гидрометслужбу Вооружённых сил Российской Федерации.

С помощью данных спутниковой съёмки на регулярной основе проводится мониторинг вулканической активности.

С КА «Метеор-М» № 1 осуществлялся контроль распространения пылевого облака, возникшего в результате извержения вулкана Эйяфьятлайокудль в Исландии. Цветосинтезированные изображения дымового шлейфа, совмещённые с картой барической типографии АТ-500, были переданы в Росгидромет для выпуска штормовых предупреждений об опасных для авиации явлениях по зонам воздушного пространства.

Данные съёмки с КА «Метеор-М» № 1 также активно использовались для осуществления оперативного мониторинга районов Российской Федерации, охваченных лесными и торфяными пожарами (Московская, Рязанская, Нижегородская, Владимирская, Свердловская и другие области).

В рамках подготовки Олимпиады-2014 в г. Сочи с помощью спутниковых наблюдений осуществлялся комплексный экологический мониторинг Сочинского национального парка и прилегающих территорий. Данные съёмки КА «Метеор-М» № 1 использовались для составления прогнозов погоды по району большого Сочи, которые передавались главному метеорологу.

По данным от МСУ-МР и КМСС в ФГБУ «НИЦ «Планета» подготовлено большое количество тематических информационных продуктов, касающихся состояния облачности, ледяного, растительного, почвенного покровов, наводнений и прочего.

В табл. 3 представлены области применения данных с КА «Метеор-М» № 1 на этапе опытной эксплуатации.

Заключение. Впервые в отечественной практике создан гидрометеорологический КА «Метеор-М» № 1, соответствующий международным стандартам (по орбитальным параметрам, составу и характеристикам БА, форматам передачи данных). Характеристики измерительной аппаратуры КА «Метеор-М» № 1 соответствуют мировому уровню, а по совокупности измеряемых параметров российский КА превосходит зарубежные спутники гидрометеорологического назначения.

Обеспечено получение глобальных данных (по всему земному шару) о состоянии атмосферы и поверхности Земли.

После ввода в эксплуатацию КК «Метеор-3М» с КА «Метеор-М» № 1 было решено несколько принципиальных задач наблюдения атмосферы, океана и суши Земли:

Таблица 3

Применение данных с КА «Метеор-М» № 1

Аппаратура	Применение
МСУ-МР	Глобальный и региональный мониторинг облачности, снежного, ледяного и растительного покровов, наводнений, пожаров
КМСС	Региональный мониторинг облачности, снежного, ледяного и растительного покровов, водной среды, наводнений
МТВЗА-ГЯ	Определение интегрального содержания влаги в атмосфере, водозапаса облаков, модуля приводного ветра
ССПД	Сбор

– за счёт пополнения мировой системы полярно-орбитальных КА спутником «Метеор-М» № 1 повышена периодичность метеонаблюдений в приполярных районах до 8 – 10 раз в сутки, что положительно сказывается на точности оперативных прогнозов погоды в регионах с широтой выше 50 – 55°, т. е. в России, Канаде, Скандинавии и США (Аляска), а также по акваториям полярных морей;

– комплексность синхронных (одновременных) наблюдений суши, океана и атмосферы в оптических ИК- и микроволновых (пассивных и активных, радиолокационных) диапазонах позволяет более эффективно решать задачи оперативного мониторинга природных и антропогенных катастроф, а также задачи судовождения в Северном Ледовитом океане;

– передаваемая с борта КА «Метеор-М» № 1 мультиспектральная информация среднего (150 – 100 м) разрешения позволяет восстановить место России на мировом рынке, занятое КА Terra (240 м), Aqua и IRS (55 м). Непосредственный приём российской информации производится в широкой сети российских станций сантиметрового диапазона (более

30 станций) и многочисленных станций за рубежом. Комплексное получение этой информации используется для контроля с высокой периодичностью (1 – 2 суток) возникновения и развития чрезвычайных ситуаций антропогенного и природного происхождения в интересах экологического контроля, а также оценки биопродуктивности океанских шельфов.

Создание КК «Метеор-3М» с КА «Метеор-М» № 1 является лучшим инновационным достижением российской космической промышленности за последнее десятилетие.

Литература

1. Космические системы, комплексы и аппараты дистанционного зондирования разработки АО «Корпорация «ВНИИЭМ» / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов, В. П. Ходненко. – М. : АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2018. – Том 2. – 332 с.
2. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» № 1. – М. : ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. – 147 с.

Поступила в редакцию 09.04.2018

Леонид Алексеевич Макриденко, доктор технических наук, генеральный директор, т. (495) 365-56-10.
Сергей Николаевич Волков, доктор технических наук, 1-й заместитель генерального директора, т. (495) 366-42-56.
Александр Викторович Горбунов, кандидат технических наук, заместитель генерального директора, т. (495) 623-41-81.
Александр Львович Чуркин, кандидат технических наук, главный конструктор космических систем и комплексов, т. (495) 623-31-98.
Владимир Павлович Ходненко, доктор технических наук, главный научный сотрудник, т. (495) 624-94-98.
E-mail: vniiem@orc.ru.
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

LAUNCH OF FIRST RUSSIAN METEOROLOGICAL SPACECRAFT OF NEW GENERATION «METEOR-M» № 1: BEGINNING OF RECREATION OF RUSSIAN METEOROLOGICAL ORBITAL CONSTELLATION

L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov, V. P. Khodnenko, A. L. Churkin

The article describes the purpose and main characteristics of «Meteor-3M» space system with meteorological spacecraft (SC) of new generation «Meteor-M» № 1. The launch of this SC marked the beginning of recreation of Russian orbital constellation. The equipment and characteristics of housekeeping and imaging systems of «Meteor-M» № 1, as well as information on experimental systems are specified in the article. The basic information on the Ground Receiving, Processing and Distribution Center (GRPDC) of Roshydromet and Roscosmos (Scientific Center of Earth on-line monitoring of JSC «Russian Space Systems») is provided. The main data received from «Meteor-M» № 1 and results of the intended use of this data are presented. The basic results of development of «Meteor-3M» system are summarized. Putting the «Meteor-3M» space system with «Meteor-M» № 1 SC into operation allowed resolving a number of crucial problems of atmosphere, ocean and land observation due to the increase in frequency of meteorological observations, especially in polar regions, and comprehensiveness of performed observations.

Key words: spacecraft, orbital constellation, purpose, payload, multispectral scanner, multispectral space imaging system, atmosphere temperature and humidity sensing module, on-board radar system, radio link.

References

1. Space systems, complexes and spacecraft for remote sensing developed by JC «VNIEM Corporation» / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov, V. P. Khodnenko. – М. : JC «VNIEM Corporation», 2018. – Vol. 2. – 332 p.

2. Hydrometeorological and oceanographic space system Meteor-3M with Meteor-M No.1 spacecraft. – M. : FGUE «NPP VNIIEМ», 2009. – 147 p.

Leonid Alekseevich Makridenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Director General, tel.: (495) 365-56-10.

Sergei Nikolaevich Volkov, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), First Deputy Director General, tel.: (495) 366-42-56.

Aleksandr Viktorovich Gorbunov, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Deputy Director General, tel.: (495) 623-41-81.

*Aleksandr Lvovich Churkin, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Chief Designer of Space Systems and Complexes,
tel.: +7 (495) 623-31-98.*

*Vladimir Pavlovich Khodnenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Chief Researcher,
tel.: (495) 624-94-98, e-mail: vniiem@orc.ru.
(JC «VNIIEМ Corporation»).*