

Задачи обработки многозональных видеоданных КМСС на КА «Метеор-М»

Б.С. Жуков^{1,2}, А.С. Василейский^{1,2}, М.М. Железнов^{1,2}, С.Б. Жуков²,
О.В. Бекренев³, Л.И. Пермитина³

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Автономная некоммерческая организация «Космос-НТ»
117997 Москва, Профсоюзная, 84/32
E-mail: bzhukov@nserv.iki.rssi.ru*

³ *Научный центр оперативного мониторинга Земли Роскосмоса РФ
127490, Москва, ул. Декабристов, владение 51, строение 25
E-mail: permitina@ntsomy.ru*

С Комплекса многозональной спутниковой съемки (КМСС) на КА «Метеор-М» №1 будут поступать видеоданные в полосе захвата более 900 км с разрешением 60 м в трех спектральных зонах, оптимизированных для исследований суши, и с разрешением 120 м в трех зонах, оптимизированных для исследований акваторий. Видеоданные КМСС, а также результаты их синтеза с данными одновременных тепловых и радиолокационных съемок с КА «Метеор-М» позволят решать задачи оценки состояния окружающей среды, прикладные хозяйственные и гидрометеорологические задачи и будут способствовать фундаментальным исследованиям процессов изменения биосферы, компонентов цикла углерода и других биогеохимических циклов и климатообразующих процессов. Разрабатывается программно-алгоритмическое обеспечение оперативной радиометрической и геометрической коррекции и географической привязки видеоданных КМСС, а также их последующей тематической интерпретации и синтеза с данными других съемочных систем на КА «Метеор-М».

Введение

На борту космического аппарата «Метеор-М» №1, который должен быть запущен в 2008 г., будет установлен комплекс съемочных систем видимого, ИК и СВЧ диапазонов для решения задач мониторинга природной среды и околоземного космического пространства, а также для получения оперативной гидрометеорологической информации [1]. В составе этого комплекса обзорные съемки земной поверхности со средним пространственным разрешением в видимом и ближнем ИК диапазонах будут выполняться с помощью Комплекса многозональной спутниковой съемки (КМСС) [2]. В данной работе приводится краткое описание КМСС, характеризуются решаемые с его помощью задачи и описываются методы предварительной и тематической обработки получаемой информации.

Основные характеристики КМСС

В состав Комплекса многозональной спутниковой съемки входят три многозональных съемочных устройства (МСУ), выполненные в виде отдельных конструктивных блоков:

- два МСУ-100, предназначенные для съемки поверхности суши,
- одно МСУ-50, предназначенное для съемки акваторий.

За исключением объективов и фильтров перед ПЗС-приемниками конструкция приборов МСУ-50 и МСУ-100 аналогична. Основные характеристики камер КМСС приведены в Табл.1. Расчетный срок функционирования КМСС – не менее 10 лет.

Таблица 1. Основные характеристики камер КМСС

| Параметры | Камера | |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
| | МСУ-100 | МСУ-50 |
| Фотоприемники | 3 линейных ПЗС | |
| Число элементов в строке | 3 × 7926 | |
| Захват, км (H = 830 км) | 960 (двумя камерами) | 940 |
| Проекция элемента на поверхность, м (H = 830 км) | 60 | 120 |
| Спектральные зоны, нм | 535-575 630-680 700-900 | 370-450 450-510 580-690 |
| Частота строк, Гц | 156,25 | |
| Информационный поток одной камеры, Мбит/сек | ~30 | |
| Разрядность АЦП / изображения, бит | 16 / 8 | |
| Динамический диапазон ПЗС | 5000 | |
| Масса, кг | 2,9 | 2,3 |
| Максимальное энергопотребление, Вт | 6,8 | 6,8 |
| Число камер | 2 | 1 |

Спектральные зоны МСУ-50 выбраны, исходя из целевой задачи исследования акваторий, а МСУ-100 – исходя из задачи исследований суши.

Принцип действия МСУ основан на одновременной построчной регистрации с помощью линейных ПЗС оптического изображения, перемещающего в фокальной плоскости объектива при движении КА по орбите. На рис.1 приведена геометрическая схема съемки КМСС, поясняющая принцип формирования полосы изображения. Два прибора МСУ-100 устанавливаются на приборную платформу КА таким образом, что их оптические оси отклоняются от «вертикальной» оси космического аппарата на угол $\pm 14^\circ$ в плоскости, перпендикулярной плоскости орбиты. В результате обеспечивается формирование суммарной полосы обзора МСУ-100, примерно равной полосе обзора прибора МСУ-50 (960 и 940 км соответственно). С другой стороны, поскольку расстояние между центрами чувствительных элементов линейных ПЗС разных спектральных каналов в фокальной плоскости приборов МСУ-50 и МСУ-100 составляет 15,24 мм, одни и те же объекты на земной поверхности наблюдается в разных спектральных каналах с временной задержкой 18,6 сек и под разными углами в орбитальной плоскости: $-16,95, 0$ и $+16,95^\circ$ для МСУ-50 и $-8,67, 0$ и $+8,67^\circ$ для МСУ-100.

Географическая привязка видеоданных КМСС обеспечивается Комплексом координатно-временного обеспечения (ККВО), в состав которого входят [3]:

- аппаратура спутниковой навигации АСН-М-М (приемник GPS/ГЛОНАСС), позволяющая измерять положение КА на орбите с точностью ~ 15 м (1σ),
- датчик звездной 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 датчики угловых скоростей КА. Ожидаемая точность привязки изображений – порядка 1 пиксела МСУ-100.

Данные ККВО будут передаваться вместе с видеоданными КМСС на центральные пункты приема космической информации и малые приемные станции пользователей.

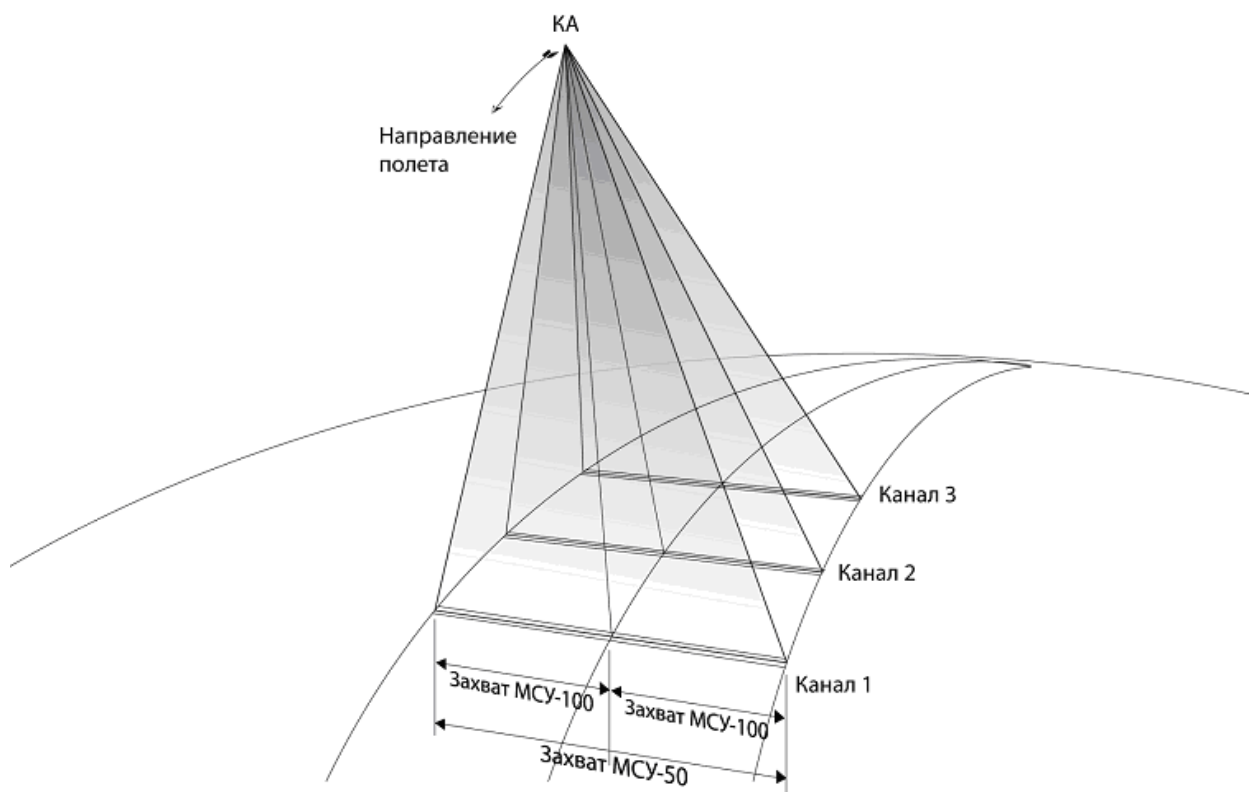


Рис.1. Геометрия съемки КМСС

Области применения информации КМСС

Сопоставление характеристик КМСС с характеристиками существующих космических съемочных систем оптического диапазона (Табл. 2) показывает, что КМСС занимает промежуточное место между предназначенными для локальных исследований системами высокого разрешения на КА QuickBird, Ресурс-ДК, SPOT, Монитор-Э, Landsat и обзорными системами низкого разрешения MODIS и AVHRR. Таким образом, КМСС хорошо дополняет их, обеспечивая среднее пространственное разрешение 60-120 м в широкой полосе обзора более 900 км.

Таблица 2. Характеристики космических съемочных систем оптического диапазона

| Съемочная система | Спектральный диапазон, мкм | Разрешение, м | Полоса обзора, км |
|---------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|
| BGIS 2000 / QuickBird | 0,45 – 0,9 | 0,6 / 2,4 | 16,5 |
| Геотон-1 / Ресурс-ДК | 0,5 – 0,8 | 1 / 3 | 28 |
| HRG / SPOT-5 | 0,5 – 1,7 | 5 / 10 / 20 | 60 |
| ПСА+РДСА / Монитор-Э | 0,5 – 0,9 | 8 / 20 | 90/160 |
| ETM+ / Landsat | 0,45 – 12,5 | 15 / 30 / 60 | 185 |
| ASTER / Terra | 0,5 – 11,7 | 15 / 30 / 90 | 60 |
| AWiFS / IRS-P6 | 0,52 - 1,7 | 56 | 740 |
| КМСС / Метеор-М №1 | 0,37-0,9 | 60 / 120 | 960 / 940 |
| MODIS / Terra-Aqua | 0,5 – 14,4 | 250 / 1000 | 2230 |
| AVHRR / NOAA | 0,6 – 12,5 | 1100 | 2600 |

Данные КМСС могут использоваться для решения народно-хозяйственных и научных задач в региональном и глобальном масштабе. Объектами оперативного хозяйственного мониторинга могут, в частности, быть:

- состояние и прогноз продуктивности с/х культур,
- состояние и динамика лесного покрова,
- процессы опустынивания и обезлесивания,
- состояние и динамика снежного покрова,
- оптические характеристики, первичная продуктивность и загрязнения морей и океанов,
- состояние и динамика ледового покрова морей и океанов,
- структура облачного покрова,
- аэрозольные загрязнения атмосферы,
- чрезвычайные ситуации и их последствия: лесные пожары, паводки и наводнения, атмосферные катастрофические явления, извержения вулканов, крупные антропогенные катастрофы.

Объектами фундаментальных научных исследований могут быть, например:

- процессы изменения биосферы,
- процессы взаимодействия суша-океан-атмосфера,
- компоненты цикла углерода и других биогеохимических циклов,
- климатообразующие процессы.

Эффективность применения видеоданных КМСС для решения указанных задач существенно повышается при их синтезе с данными других съемочных систем на КА «Метеор-М» №1: многозонального сканирующего устройства МСУ-МР, дополняющего данные КМСС измерениями в коротковолновом, среднем и тепловом ИК диапазонах, и радиолокатора «Северянин-М». Метод синтеза видеоданных съемочных систем различного пространственного разрешения обсуждается в [4].

Предварительная обработка видеоданных КМСС

Общая схема предварительной обработки данных КМСС показана на рис. 2.

Предварительная обработка до уровня L1B включает следующие этапы:

1. Выделение видеоданных КМСС, служебной и навигационной информации из информационного потока КА.
2. Радиометрическая коррекция видеоданных и формирование зональных изображений.
3. Временная и географическая привязка зональных изображений с использованием информации о положении и ориентации КА.
4. Геометрическое совмещение зональных изображений.
5. Архивация.

Абсолютная радиометрическая коррекция видеоданных КМСС проводится с использованием калибровочных файлов, полученных в результате наземной радиометрической калибровки, которые будут проверяться и при необходимости корректироваться по результатам съемок тестовых участков и Луны. Кроме того, при коррекции используются результаты бортовых измерений темного сигнала для каждой строки изображения.

Временная и географическая привязка каждого зонального изображения осуществляется на сетке с шагом 100 пикселей на основе результатов наземной геометрической калибровки камер, которые будут проверяться и при необходимости корректироваться по результатам съемок тестовых участков, а также данных измерений положения и ориентации КА на момент получения каждой строки изображения.

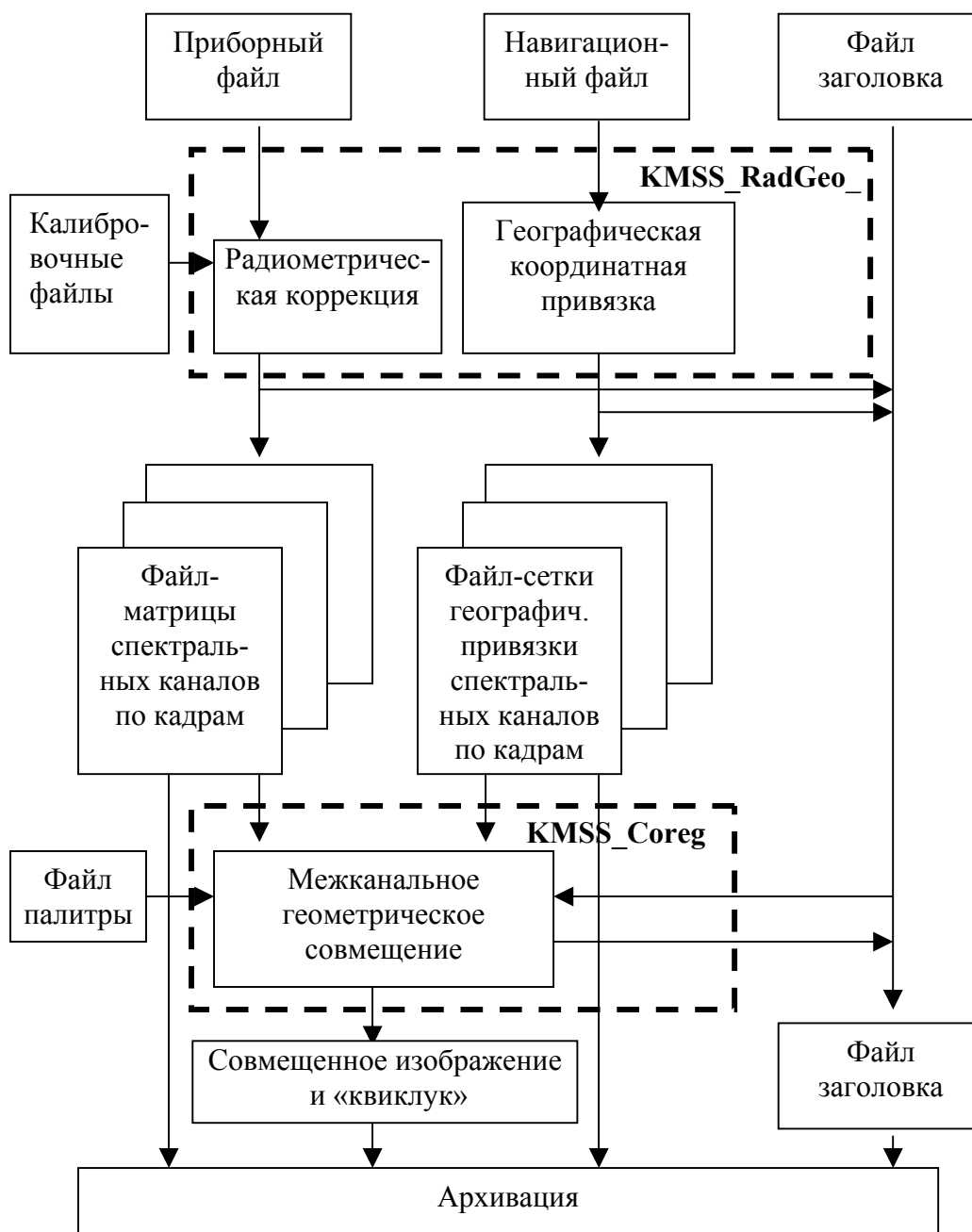


Рис. 2. Общая схема предварительной обработки видеoinформации КМСС

Для каждого узла сетки географической привязки определяются:

- время съемки узла,
- географические координаты узла,
- вектор направления из узла на КА и
- вектор направления из узла на Солнце.

Интерполяция указанных параметров позволяет определить их значения для каждого пиксела изображений КМСС.

Сетка географической привязки используется далее для межзонального совмещения изображений в заданной географической проекции.

Выходной информацией этапа предварительной обработки видеоданных КМСС являются:

- радиометрически скорректированные зональные изображения с сеткой геометрической привязки,
- совмещенные многозональные изображения в заданной географической проекции и
- «квиклук» - заглубленные условно-цветовые изображения, используемые для быстрого просмотра полученной информации.

Вся входная информация КМСС и результаты ее предварительной обработки архивируются.

В НЦ ОМЗ, где обработка данных КМСС будет проводиться на этапе летно-конструкторских испытаний КА, создана и функционирует информационная система (ИС), которая в настоящее время доработана для её использования в потоковой обработке видеоданных аппаратуры КМСС.

Информационная система НЦ ОМЗ включает в себя:

- прием спутниковых данных, их архивирование в оперативном архиве,
- обработку данных до уровня L1B (откалиброванные данные),
- каталогизацию информации в разработанной для этих целей Базе данных,
- создание долговременного архива на магнитных лентах типа DLT,
- систему поиска и заказа данных, имеющихся в НЦ ОМЗ, через Интернет.

Аппаратно-программные комплексы КМСС и ККВО создаются при головной роли Автономной некоммерческой организации «Космос – наука и техника» (АНО КНТ) совместно с Оптико-физическим отделом ИКИ РАН. Программно-алгоритмическое обеспечение предварительной обработки видеоданных КМСС разрабатывается АНО КНТ совместно с НЦ ОМЗ.

Тематическая обработка информации КМСС

Данные КМСС, прошедшие предварительную обработку до уровня L1B, далее могут использоваться в различных тематических проектах, направленных на решение различных социально-экономических и природно-ресурсных задач [5]. В качестве примера рассмотрим созданный в НЦ ОМЗ многофункциональный комплекс тематической обработки. В настоящее время комплекс используется для комплексной обработки данных от различных космических систем «Монитор-Э», «Ресурс-ДК», Тетта, ERS-2, а после начала функционирования КМСС будет использоваться также для обработки данных КМСС. Обработка данных проводится с помощью специально разработанного в НЦ ОМЗ программно-алгоритмического обеспечения и коммерческих ДЗЗ и ГИС программных пакетов : ERDAS, ENVI, ARCGIS, MICROSTATION.

Комплекс тематической обработки включает:

- сервер сбора и подготовки многоспектральной видеоинформации,
- рабочее место геокодирования и ортотрансформирования изображений,
- рабочее место подготовки многоспектральных изображений для тематической обработки и интерпретации,
- рабочее место создания векторных карт и цифровых моделей рельефа,
- рабочие места выполнения тематической обработки по целевым проектам,
- рабочее место формирования выходных информационных продуктов по заявкам потребителей.

Все рабочие места комплекса объединены в единую локальную сеть, имеющую выход в сеть НЦ ОМЗ.

Литература

1. *Акопов Г.А., Семенов В.Т., Чуркин А.Л.* Задачи, решаемые космическим аппаратом «Метеор-М» по мониторингу Земли и околоземного космического пространства // Солнечно-земная физика, 2004. Вып.5. С.40-42.
2. *Аванесов Г.А., Зиман Я.Л., Куделин М.И. и др.* Комплекс многозональной съемочной аппаратуры, разрабатываемый для КА "Метеор-М" // Третья всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ИКИ РАН, 14-17 ноября 2005 г. Сборник тезисов конференции. С. 72.
3. *Василейский А.С., Горбунов А.В., Фори А.А. и др.* Комплекс координатно-временного обеспечения системы управления полетом КА серии "Метеор-М" // 5-ая международная конференция «Авиация и космонавтика-2006», Москва, 23-26 октября 2006 г. Тезисы докладов. С. 268-269.
4. *Жуков Б.С.* Метод синтеза многосенсорных видеоданных различного пространственного разрешения // Настоящий сборник.
5. *Новикова Н.Н., Пахомов Л.А., Пермитина Л.И. и др.* Материалы космического мониторинга окружающей среды как источник пространственных данных для регионов России. // Пятый международный аэрокосмический конгресс IAC'06, Москва, 27-31 августа. Тезисы докладов конгресса. С. 237.