

**О. В. Бекренёв** (НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы»)

В 1993 г. окончил Ташкентский государственный университет по специальности «ядерная физика». В настоящее время — начальник сектора НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы».

**Л. А. Гришанцева** (НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы»)

В 2001 г. окончила Московский инженерно-физический институт (государственный университет) по специальности «ядерная физика». В настоящее время — начальник сектора НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы». Кандидат физико-математических наук.

**Б. С. Жунов** (ИКИ РАН)

В 1975 г. окончил Московский физико-технический институт по специальности «ядерная физика». В настоящее время — старший научный сотрудник Института космических исследований РАН. Кандидат физико-математических наук.

**И. В. Полянский** (ИКИ РАН)

В 1989 г. окончил Московский институт гражданской авиации по специальности «радиоэлектроника летательных аппаратов». В настоящее время — главный конструктор проекта Института космических исследований РАН.

## Особенности автоматической потоковой обработки данных КМСС космического комплекса «Метеор-3М»

Космический комплекс (КК) «Метеор-3М», создаваемый в соответствии с Федеральной космической программой России, предназначен для получения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в интересах решения задач метеорологии, гидрологии и контроля состояния окружающей среды [1]. Запланировано развитие КК до пяти космических аппаратов (КА) к 2020 году [2], на четырех из которых предусмотрена установка комплекса многозональной спутниковой съемки (КМСС, разработчик — ИКИ РАН) в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. В 2009 г. начал работу первый КА, оснащенный КМСС, — «Метеор-М» №1, в 2014 году — второй — «Метеор-М» №2.

Эксплуатацию КК «Метеор-3М» в целях информационного обеспечения государственных социально-экономических и научных программ выполняет НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы» — Оператор российских космических средств ДЗЗ — в рамках бюджетного финансирования.

КМСС состоит из трех многозональных сканирующих устройств (МСУ): двух МСУ-100, предназначенных для исследования поверхности суши, и одного МСУ-50 — для исследования океана. МСУ-100 развернуты поперек трассы полета КА и в сумме обеспечивают примерно такое же поле зрения, как МСУ-50 — порядка 900 км [3]. Характеристики МСУ представлены в табл. 1.

	Фокусное расстояние объектива, мм	Пространственное разрешение, м	Спектральные диапазоны, мкм	Ширина полосы обзора, км
МСУ-100	100	60	0,535–0,575; 0,630–0,680 0,760–0,900	470
МСУ-50	50	120	0,370–0,450; 0,450–0,510 0,580–0,690	900

Табл. 1. Характеристики МСУ

Высокая интенсивность информационного потока, получаемого с КК «Метеор-ЗМ», и потребность в оперативном предоставлении продуктов обработки данных конечным пользователям выдвигают требования по максимальной автоматизации аппаратно-программных средств обработки данных КМСС, обеспечению обработки и последующего хранения всего массива полученных данных с целью сокращения эксплуатационных расходов и уменьшения количества ошибок, вызванных человеческим фактором.

В составе наземного комплекса приема, обработки и распространения космической информации (НКПОР) Роскосмоса в штатном режиме функционирует разработанная специалистами НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы» технология потоковой автоматической обработки данных КМСС до всемирно принятых уровней, в частности, уровня 1В (по классификации NASA/CEOS). Применительно к российским КК ДЗЗ используемая технология является уникальной: ни в одном другом КК не реализованы средства стандартной обработки, находящиеся только под контролем администратора и не требующие интерактивного участия операторов, при этом аппаратная составляющая представляет собой два сервера и рабо-

чее место администратора.

Программный комплекс разработан таким образом, что может работать как на мощных серверах, так и на обычных ПЭВМ, оснащенных следующим базовым программным обеспечением:

- ОС Windows версии XP или 7;
- СУБД Firebird 2.0 или 2.5;
- архиватор WinRAR (версия не ниже 3.0) или 7-ZIP (версия 9.2).

Время обработки данных до уровня 1В на ПЭВМ с различными характеристиками представлено в табл. 2.

Аппаратно-программные средства, универсальные по отношению к данным с КА «Метеор-М» №1 и №2, обеспечивают выполнение следующих операций:

- распаковка исходных данных, получаемых приемными комплексами, фильтрация, исправление ошибок;
- вычисление и аппроксимация элементов внешнего ориентирования для приборной системы координат МСУ в системе координат WGS-84, формирование навигационных файлов на основе обработки результатов прямых измерений местоположения и ориентации КА, содержащихся в исходных данных;

Основные характеристики ПЭВМ	Время обработки одного маршрута съемки длительностью около 10 мин.
Процессор Intel Xeon X5690 (3,5 ГГц, 2 ядра), оперативная память объемом 3 Гб	20 мин.
Процессор Intel Core i7 (3 ГГц, 4 ядра), оперативная память объемом 12 Гб	10 мин.

Табл. 2. Время обработки данных КМСС до уровня 1В

- выделение данных КМСС из приборного файла, разбиение на кадры (гранулы), длина которых примерно равна ширине полосы обзора МСУ, радиометрическая и геометрическая коррекция, географическая координатная привязка видеоинформации по навигационным данным, при этом радиометрическая и геометрическая коррекция выполняется по данным периодически проводимых полетных калибровок;
- геометрическое совмещение зональных данных в кадре на заданной географической сетке.

Географическая привязка видеоинформации, как правило, осуществляется на основе результатов обработки данных прямых измерений местоположения и ориентации КА, содержащихся в выходном кадре аппаратуры бортового синхронизирующего координатно-временного устройства (БСКВУ-М). Данное устройство содержит аппаратуру спутниковой навигации ГЛОНАСС, а также прибор астроориентации БОКЗ-М, предназначенный для высокоточного определения инерциальной трехосной ориентации КА по данным произвольных участков небесной сферы, то есть ориентации КА относительно инерциальной системы координат в каждый момент времени. В случае отсутствия данных БОКЗ-М для геометрического совмещения зональных данных и географической привязки маршрута используются общедоступные баллистические данные NORAD (North American Aerospace Defense Command), в которых отсутствует информация об ориентации КА в момент съемки.

Опыт эксплуатации аппаратно-программных средств показал, что автоматическая географическая координатная привязка по независимым орбитальным данным NORAD дает погрешности порядка 5 км, ошибка в геометрическом совмещении зональных данных составляет величину около 5 км.

Использование информации БОКЗ-М уменьшает погрешности привязки до 500 м для КА «Метеор-М» №1 и до 60 м — для КА «Метеор-М» №2. Точность совмещения зональных данных при этом составляет 200–500 м для КА «Метеор-М» №1 и 60 м — для КА «Метеор-М» №2. Необходимо отметить, что указанные ошибки геопроецирования для КА «Метеор-М» №1 возникают, в основном, из-за погрешности привязки видеоинформации к сетке времени КА [4]. В КА «Метеор-М» №2 привязка данных ко времени производится на аппаратном уровне, что позволяет довести точность геопроецирования до одного пикселя (60 м), что в целом соответствует общепринятым требованиям к информации ДЗЗ среднего пространственного разрешения.

Радиометрическая коррекция данных КМСС выполняется по данным наземных предполетных испытаний на сертифицированных ВНИИ-ОФИ средствах. Проведенное в период летных испытаний сопоставление данных КМСС MODIS/Terra и КА «Метеор-М» №2 показало, что относительная погрешность расхождения данных не превышает величины 10%, соответственно представляется возможным интерпретировать данные КМСС, как спектральную плотность энергетической яркости на верхней границе атмосферы.

НКПОР Роскосмоса обеспечивает получение и хранение следующих выходных продуктов обработки информации КМСС, предназначенных для непосредственного использования конечными потребителями:

- данные уровня 1В — радиометрически и геометрически скорректированные, географически привязанные без использования опорных точек, в виде файлов-матриц зональных данных, файлов-сеток географической привязки и файла-заголовка;
- данные уровня 2А — синтезированные, трансформированные в одну из стандартных картографических проекций (UTM или полярную стереографическую) без исполь-

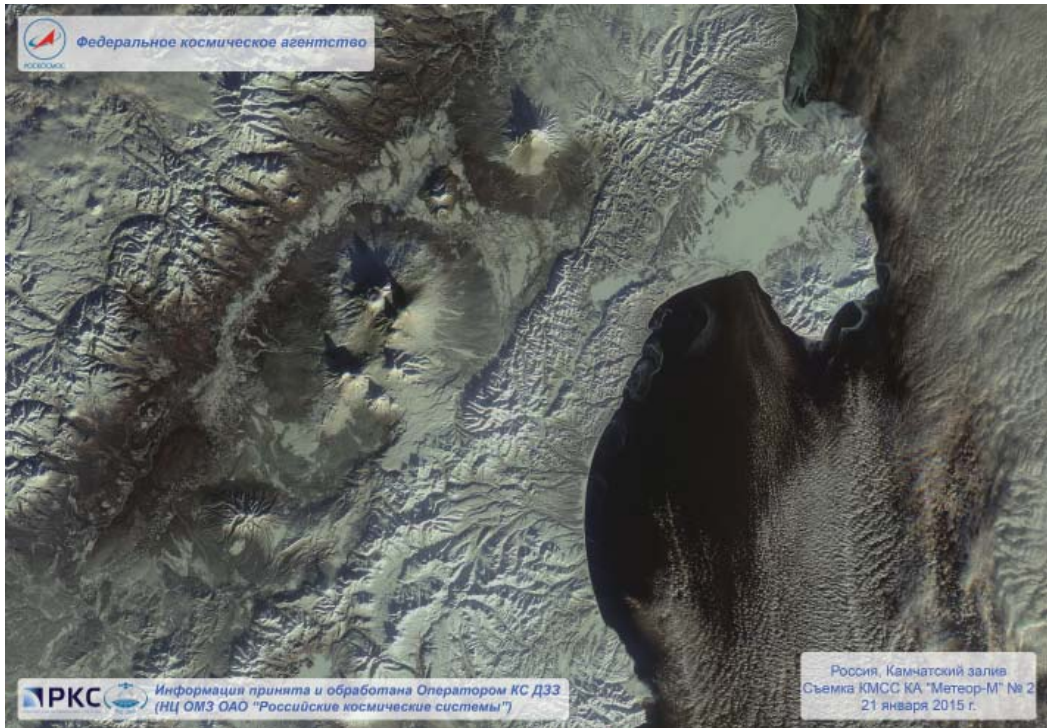


Рис. 1. Пример визуализации данных, полученных КМСС КА «Метеор-М» №2. Камчатский залив

зования опорных точек, представленные в яркостях или коэффициентах яркостей, в виде файлов в форматах JPEG, ENVI (\*.hdr), Erdas Imagine (\*.img), GeoTIFF;

- данные уровня 2А (см. выше), атмосферно скорректированные по выбранной стандартной зимней или летней модели атмосферы, в виде файлов в форматах JPEG, ENVI (\*.hdr), Erdas Imagine (\*.img), GeoTIFF;
- данные уровня 3А — синтезированные, трансформированные в стандартную картографическую проекцию (UTM или полярную стереографическую) путем ортотрансформирования, в виде файлов в форматах JPEG, ENVI (\*.hdr), Erdas Imagine (\*.img), GeoTIFF;
- обзорные изображения («вкликлуки») с прос-

транственным разрешением 1 км, одноканальные в случае выполнения обработки по данным баллистического прогноза и цветосинтезированные — в остальных случаях, в форматах JPEG, ENVI (\*.hdr), Erdas Imagine (\*.img).

Примеры визуализированных данных уровня обработки 1В представлены на рис. 1 и 2.

Основными потребителями данных КМСС являются научно-производственные организации различной ведомственной принадлежности, обеспечивающие природно-ресурсный мониторинг регионального характера.

В условиях одновременной работы не менее трех КА типа «Метеор-М», оснащенных КМСС возможно обеспечение ежедневного

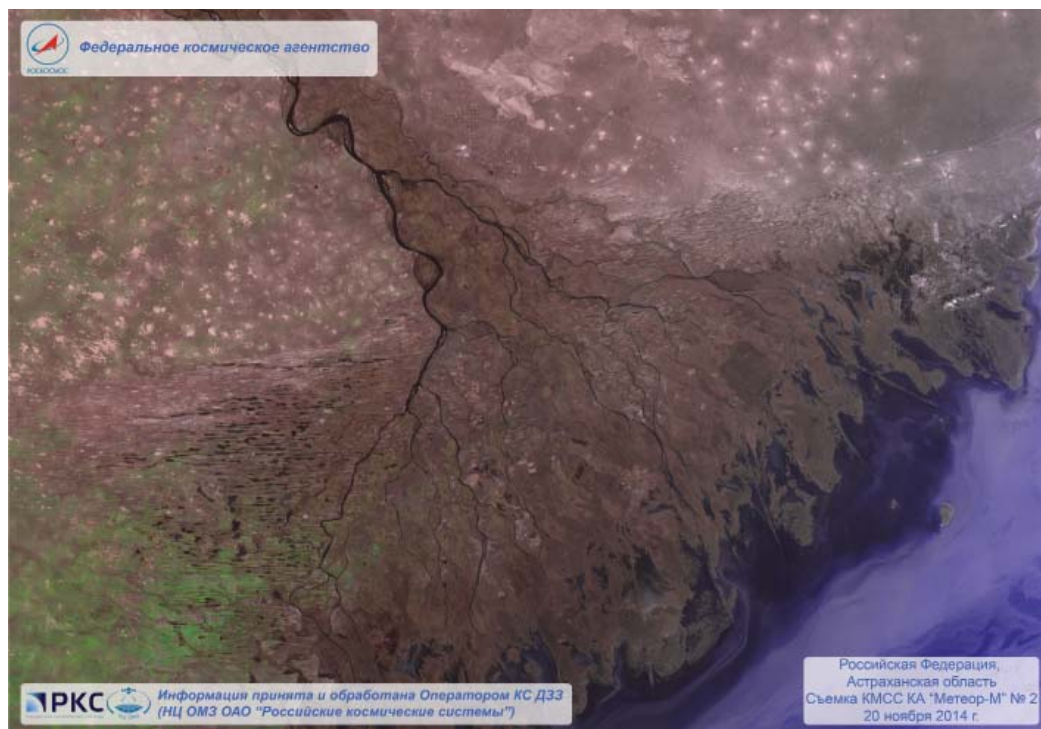


Рис. 2. Пример визуализации данных, полученных КМСС КА «Метеор-М» № 2. Дельта Волги

наблюдения одной и той же территории, например, отдельных субъектов Российской Федерации. В настоящее время открытый доступ к данным КМСС, путем обеспечения возможности приема и обработки предоставлен только для участников консорциума УНИ-ГЕО. Роскосмосом рассматривается возможность предоставления данных КМСС для широкого круга потребителей, в том числе зарубежных, через создаваемый портал открытых данных в Интернете.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чуркин А. Л., Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-ЗМ» со спутником

«Метеор-М» // Геоматика, 2009, № 3(4).

2. ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ» [электронный ресурс] – Режим доступа: [www.vniiem.ru](http://www.vniiem.ru) (дата обращения 05.03.2015).

3. Аванесов Г. А., Полянский И. В., Жуков Б. С. и др. Комплекс многозональной спутниковой съемки на борту КА «Метеор-М» №1: три года на орбите // Исследование Земли из космоса, 2013. №2.

4. Кондратьева Т. В., Никитин А. В., Полянский И. В., Точность координатной привязки видеоданных камер МСУ-100/50 КА «Метеор-М» №1.

5. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2013. Т. 10. №3.