

КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ, СИСТЕМЫ И ПРОГРАММЫ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

КОМПЛЕКС МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ  
НА БОРТУ КА “МЕТЕОР-М” № 1: ТРИ ГОДА НА ОРБИТЕ

© 2013 г. Г. А. Аванесов\*, И. В. Полянский, Б. С. Жуков, А. В. Никитин, А. А. Форш

*Институт космических исследований РАН, Москва*

*\*E-mail: genrikh-avanesov@yandex.ru*

Поступила в редакцию 29.09.2012 г.

Комплекс многозональной спутниковой съемки (КМСС) на КА “Метеор-М” № 1 проводит в течение трех лет съемки территории России и прилегающих стран в трех зонах видимого и ближнего ИК-диапазонов с разрешением 60/120 м в полосе обзора шириной более 900 км. Видеоданные КМСС, дополненные синхронной навигационной информацией, автоматически принимаются, обрабатываются в потоковом режиме, архивируются и каталогизируются на наземных приемных станциях в Москве, Новосибирске и Хабаровске. Полученные материалы используются для решения широкого круга задач землепользования, экологического мониторинга, контроля чрезвычайных ситуаций, оценки ледовой обстановки на морях, реках, озерах и водохранилищах и др. Дальнейшее развитие съемочной аппаратуры оперативного мониторинга ведется в направлении повышения разрешающей способности до 20–30 м при одновременном расширении полосы обзора до 1600–1800 км, что позволит обеспечить межвитковое перекрытие изображений при съемке большей части территории Российской Федерации.

**Ключевые слова:** комплекс многозональной спутниковой съемки, КА “Метеор-М” № 1, оперативный спутниковый мониторинг, землепользование, экологический мониторинг, контроль чрезвычайных ситуаций, оценка ледовой обстановки

DOI: 10.7868/S0205961413020012

ВВЕДЕНИЕ

17 сентября 2009 г. с космодрома Байконур был запущен космический аппарат (КА) “Метеор-М” № 1, разработанный и изготовленный на предприятии ОАО “Научно-производственная корпорация “Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы” им. А.Г. Иосифьяна” (ОАО “Корпорация “ВНИИЭМ”). На этом КА среди других научных приборов установлен комплекс многозональной спутниковой съемки (КМСС), который успешно работает уже более трех лет, снимая поверхность Земли в видимом и ближнем ИК-диапазонах спектра электромагнитных волн. Вслед за “Ресурсом-ДК”, “Метеор-М” № 1 стал вторым в истории современной России постоянно действующим КА, предназначенным для съемки земной поверхности в указанных диапазонах.

Для Института космических исследований (ИКИ) РАН создание КМСС стало вторым этапом в накоплении опыта разработки многоспектральных приборов и средств навигационного обеспечения для целей дистанционного зондирования (ДЗ) Земли. Первый был реализован на КА “Метеор-Природа” № 3 в рамках эксперимента

“Фрагмент-2” в 1980 г. (Аванесов, 1981; Аванесов и др., 1981). Напоминание об эксперименте 30-летней давности здесь делается лишь для иллюстрации темпа научно-технического прогресса. Многоспектральное сканирующее устройство “Фрагмент-2” при массе около 250 кг обеспечило наблюдение земной поверхности в четырех зонах спектра в полосе 80 км с разрешением 80 м с высоты 650 км и имело информативность 4 Мбит/с. Аппаратура КМСС при массе чуть более 6 кг позволяет наблюдать земную поверхность в трех зонах спектра в полосе почти 1000 км с разрешением 60 м с высоты 830 км и имеет информативность 60 Мбит/с.

Несмотря на весьма скромные характеристики сканера “Фрагмент-2”, его создание в какой-то степени опередило свое время. Для приема информации в этом эксперименте использовался единственный приемный пункт в Медвежьих озерах. Вычислительных средств обработки больших по тем временам потоков информации еще не существовало, также как и средств архивации и визуализации. На универсальных вычислительных машинах обрабатывались лишь отдельные кадры изображения, что не могло иметь практического значения. Координатная привязка снимков осу-

ществлялась по баллистическим данным и уточнялась вручную операторами по реперным точкам. Однако постановка такого эксперимента в то время все же имела смысл. В нем закладывались методические основы построения современных глобальных систем землеобзора. Эксперимент, продолжавшийся около четырех лет, завершился созданием обширного атласа снимков земной поверхности с примерами их визуально-инструментального и машинного дешифрирования (Дешифрирование ..., 1988). Материалы эксперимента вошли в курсы лекций ряда высших учебных заведений страны.

### ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ, СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА МНОГОЗОНАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

Возвращаясь во второй половине 90-х годов прошлого века к вопросам создания бортовых съемочных систем наблюдения земной поверхности, ИКИ РАН исходил из накопленного к тому времени опыта разработки съемочных приборов и систем для исследования планет и малых тел солнечной системы. Из большого числа возможных решений для реализации был выбран относительно простой вариант построения многоканальных камер. Три ПЗС-линейки, закрытые индивидуальными светофильтрами, устанавливались параллельно друг другу и перпендикулярно направлению полета в фокальной плоскости широкоугольного объектива. Таким образом, боковые линейки оказывались разнесенными по отношению к центральной вперед и назад по ходу полета. Соответственно построенная по такой схеме камера могла быть в дальнейшем использована как трехзональная при установке различных фильтров или как стереоскопическая – в случае использования одинаковых фильтров.

При очевидной простоте конструкции камеры, ее малых весе и габаритах, проблемным становится вопрос восстановления получаемого с ее помощью изображения, как стереоскопического, так и многозонального, и его координатной привязки. Фактически это можно сделать лишь при условии достаточно точного знания параметров орбитального и углового движения КА на интервале съемки, для чего потребовалось введение в состав бортовой аппаратуры КА комплекса координатно-временного обеспечения (ККВО), выполняющего указанные навигационные измерения. Такой комплекс, созданный ИКИ РАН в кооперации с РКК “Энергия” и Российским институтом радионавигации и времени (РИРВ), получил на борту КА “Метеор-М” № 1 статус экспериментального оборудования.

**Таблица 1.** Основные характеристики камер МСУ-100 и МСУ-50

Параметры	Камера	
	МСУ-100	МСУ-50
Фотоприемники	3 линейных ПЗС	
Число элементов в строке	3 × 7926	
Захват (H = 830 км), км	960 (двумя камерами)	940
Проекция элемента на поверхность (H = 830 км), м	60	120
Спектральные зоны, нм	535–575	370–450
	630–680	450–510
	700–900	580–690
Частота строк, Гц	156.25	
Информационный поток одной камеры, Мбит/с	30.08	
Разрядность изображения, бит	8	
Динамический диапазон ПЗС	5000	
Масса, кг	3.2	2.7
Максимальное энергопотребление, Вт	7	7
Число камер в составе КМСС	2	1

Общая структура взаимодействия КМСС и ККВО, обеспечивающих получение видеоданных и вспомогательной навигационной информации, показана на рис. 1. Данные КМСС и ККВО через бортовую информационную систему (БИС-М) транслируются на наземные приемные пункты Научного центра оперативного мониторинга Земли ОАО “Российские космические системы” (НЦ ОМЗ ОАО РКС) и Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии “Планета” Росгидромета (ФГБУ НИЦ “Планета”), располагающего филиалами в Сибири (Новосибирск) и на Дальнем Востоке (Хабаровск).

В состав КМСС входят три многозональные камеры (МСУ), выполненные в виде отдельных конструктивных блоков: две МСУ-100 и одна МСУ-50. Вследствие ограничений бортовой информационной системы съемка может одновременно вестись только двумя камерами из трех.

Камеры МСУ-100 и МСУ-50 отличаются объективами и набором спектральных каналов. Изначально спектральные зоны чувствительности для камер МСУ-100 выбирались, исходя из решения задач наблюдения земной поверхности, а для МСУ-50 – морской. Внешний вид приборов показан на рис. 2, а их основные характеристики приведены в табл. 1.

Принцип действия МСУ основан на одновременной строчной регистрации с помощью линейных ПЗС-фотоприемников оптического изоб-

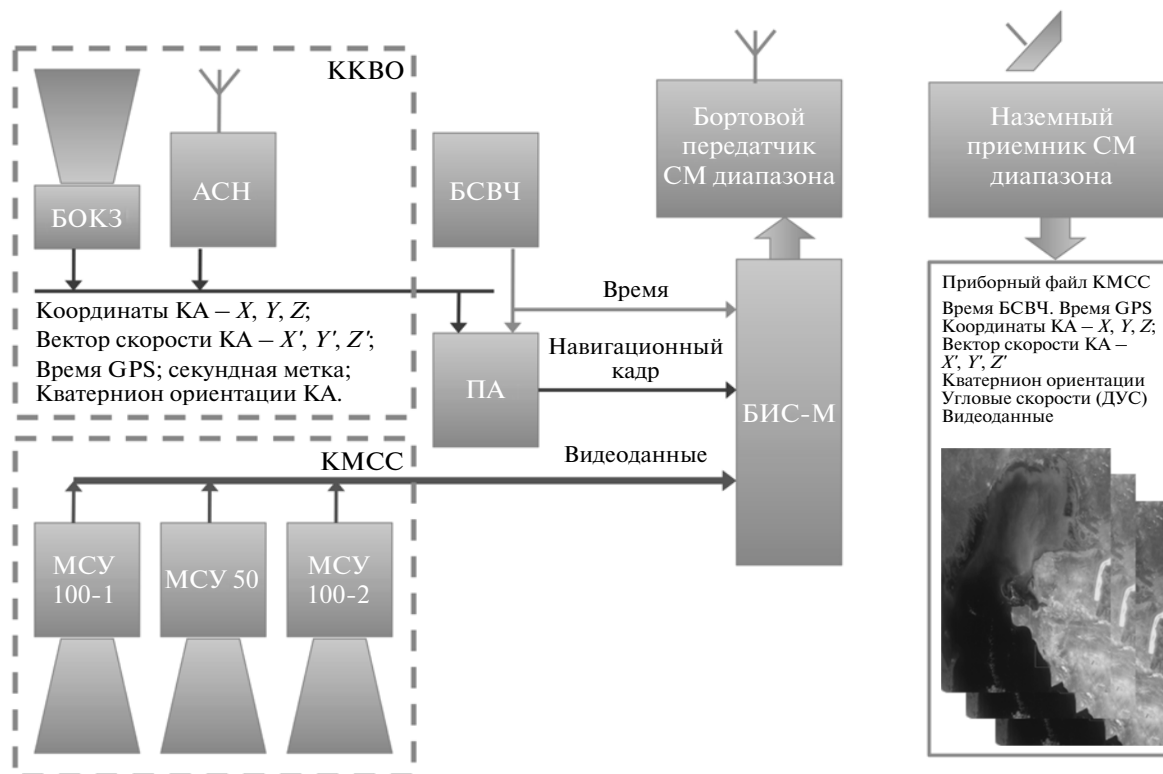


Рис. 1. Структура бортового комплекса KMSS/ККВО на борту КА “Метеор-М” № 1.

ражения, перемещающегося по фокальной плоскости камеры при движении КА по орбите. На рис. 3 приведена геометрическая схема съемки KMSS, поясняющая принцип формирования полосы изображения. Две камеры MSU-100 установлены на приборную платформу КА таким образом, что их оптические оси отклоняются от вертикальной оси КА на угол  $\pm 14^\circ$  в плоскости, перпендикулярной плоскости орбиты. В результате обеспечива-

ется формирование суммарной полосы обзора MSU-100, примерно равной полосе обзора прибора MSU-50 (960 и 940 км соответственно). При этом перекрытие полос обзора двух приборов MSU-100 составляет примерно 40 км.

Поскольку расстояние между ПЗС-линейками разных спектральных каналов в фокальной плоскости равно 15.24 мм, соответствующие друг другу элементы разрешения на земной поверхности наблюдаются в разных спектральных каналах под разными углами, составляющими в плоскости орбиты  $-16.95^\circ$ ,  $0^\circ$  и  $+16.95^\circ$  для MSU-50 и  $-8.67^\circ$ ,  $0^\circ$  и  $+8.67^\circ$  для MSU-100, и с временной задержкой между ближайшими каналами 38.9 и 19.4 с соответственно.

В состав ККВО входят звездный датчик БОКЗ-М, измеряющий ориентацию КА, и автономная системы навигации АСН-М-М, измеряющая время, координаты и линейную скорость КА на орбите. Кроме этих приборов в формировании выходной информации ККВО задействованы штатные датчики угловых скоростей (ДУС) и специализированный прибор – периферийный адаптер (ПА), формирующий выходной навигационный кадр. Внешний вид БОКЗ-М показан на рис. 4, АСН-М-М – на рис. 5, а их основные параметры приведены в табл. 2. Экспериментальный комплекс ККВО установлен на борту КА “Метеор-М” № 1 в нерезервированной комплек-

Таблица 2. Основные характеристики ККВО

Параметры	Значение
Точность определения ориентации оптической оси БОКЗ-М ( $1\sigma$ ), с	2
Точность определения ориентации БОКЗ-М вокруг оптической оси ( $1\sigma$ ), с	20
Период определения ориентации, с	3
Точность определения местоположения ( $1\sigma$ ), м	15
Точность определения скорости ( $1\sigma$ ), м/с	0.03
Период определения местоположения, с	1
Масса БОКЗ-М, кг	4
Масса АСН-М-М, кг	4.5
Энергопотребление БОКЗ-М, Вт	11
Энергопотребление АСН-М-М, Вт	16



Рис. 2. Внешний вид камер КМСС: слева – MSU-100; справа – MSU-50.

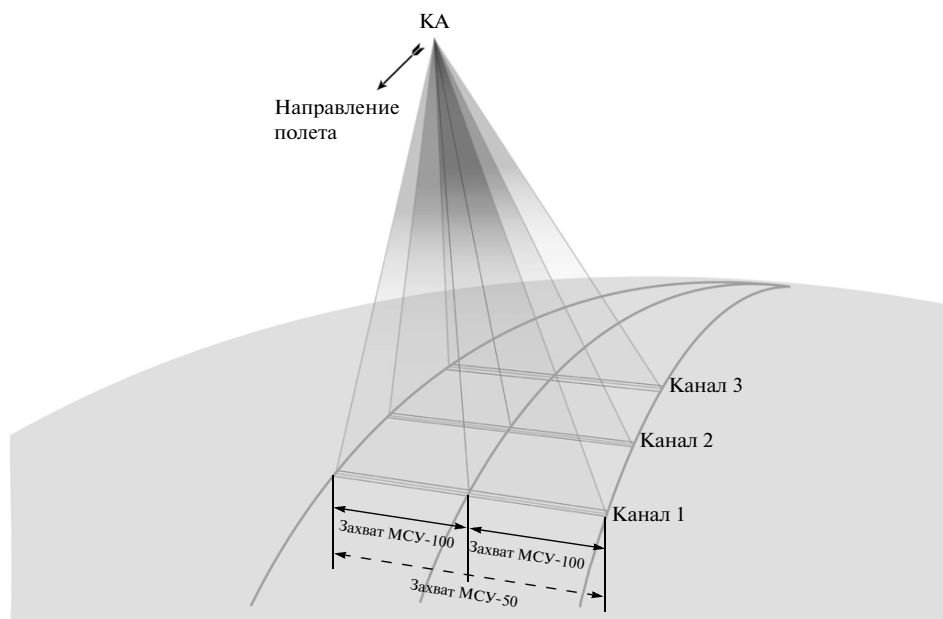


Рис. 3. Схема съемки земной поверхности аппаратурой КМСС.

тации: один прибор БОКЗ-М и один прибор АСН-М-М.

КМСС и ККВО своевременно прошли полный цикл наземной обработки, включая геометрическую и радиометрическую калибровку (Ваваев и др., 2009; Никитин и др., 2011). Результаты

наземных калибровок КМСС периодически проверяются в полете и при необходимости вносятся коррективы в калибровочные файлы, используемые при коррекции видеоданных.

Полетная геометрическая калибровка камер проводится путем определения направляющих



Рис. 4. Звездный датчик БОКЗ-М.

косинусов всех элементов линейных ПЗС в каждом канале с использованием элементов внешнего ориентирования и координат опорных точек на изображении и на имеющихся картографических материалах (Никитин и др., 2011). Среднеквадратическая ошибка геометрической калибровки составляет около одного пиксела и соответствует ошибке измерения ориентации прибором БОКЗ-М вокруг оптической оси. С такой же точностью совмещаются зональные изображения при цветовом синтезе. Ошибка геореференцирования (координатной привязки данных КМСС) достигает 1–2 км в основном из-за погрешности привязки видеоданных к сетке времени и дрейфа оптических осей приборов звездной ориентации и камер МСУ по причине температурных деформаций конструкции платформы КА. Следует отметить, что на следующем КА “Метеор-М” № 2 привязка видеоданных КМСС к сетке времени будет производиться на аппаратном уровне, что, надеемся, позволит довести точность геореференцирования примерно до одного пиксела.

Проверка радиометрической калибровки КМСС в полете проводится с использованием данных подспутниковых измерений коэффициента спектральной яркости тестовых участков, а также путем кросс-калибровки со съемочной системой МСУ-МР, которая также установлена на КА “Метеор-М” № 1, и со спектрорадиометром MODIS на КА Terra (Жуков и др., 2012), в результате чего обеспечивается точность абсолютных яркостных измерений КМСС на уровне 6–7%.

#### ОБРАБОТКА ДАННЫХ КОМПЛЕКСА КМСС/ККВО

Вскоре после запуска КА “Метеор-М” № 1 на приемных пунктах НЦ ОМЗ и НИЦ “Планета” были налажены автоматический прием, потоковая обработка, архивирование и каталогизация данных, что позволило обеспечить периодическое покрытие всей территории России и прилегающих стран материалами съемки, пригодными для использования в интересах решения широкого круга задач землепользования, экологического мониторинга, контроля чрезвычайных ситуаций, оценки ледовой обстановки на морях, реках, озерах и водохранилищах.

Рассмотрим для примера процедуру предварительной обработки видеоданных КМСС, разработанную в ИКИ РАН и реализованную в НЦ ОМЗ.

Принятая информация КМСС поступает на станцию приема НЦ ОМЗ и затем на сервер предварительной обработки, где осуществляется выделение данных КМСС из общего потока и формирование следующих файлов:

- приборный файл, содержащий строки упакованных данных КМСС;
- файл данных ККВО;
- файл заголовка (метаданные), содержащий в себе всю информацию о сеансе измерений.

На первом этапе обработки по данным ККВО формируется навигационный файл, который содержит информацию об элементах внешнего ориентирования камер КМСС (координаты центра проектирования в системе координат WGS-84 и матрица перехода от связанной системы координат камеры к гринвичской системе координат WGS-84) в момент получения каждой строки изображения. Определение элементов внешнего ориентирования в момент съемки каждой строки камер КМСС проводится путем сглаживания координатных данных по шкале GPS и трех углов, определяющих матрицу перехода от связанной к гринвичской системе координат, в скользящем окне с размером, равным десяти измерениям, и их аппроксимации полиномами второй степени по времени.

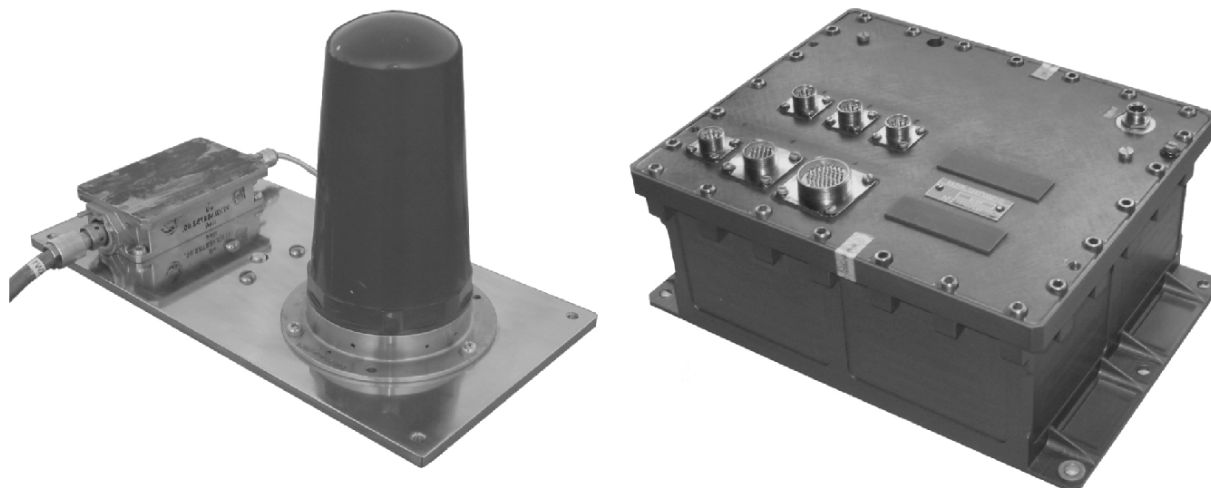


Рис. 5. Блоки АСН-М-М: слева — антенное устройство с усилителем; справа — блок навигационных модулей.

Далее с использованием навигационного файла проводится предварительная обработка данных КМСС, которая включает (рис. 6):

1) разбиение видеоданных на кадры, радиометрическую коррекцию и создание зональных изображений;

2) временную и географическую привязку зональных изображений с использованием информации о положении и ориентации КА из навигационного файла;

3) геометрическое совмещение зональных изображений на заданной картографической проекции с учетом влияния рельефа и атмосферную коррекцию по заданной модели атмосферы.

После предварительной обработки видеоданных КМСС архивируются и передаются пользователям для тематической обработки.

#### ПРИМЕРЫ ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

На рис. 7 представлено одно из самых первых изображений, полученное камерой МСУ-100 на борту КА “Метеор-М” — район г. Актау, Казахстан, на восточном берегу Каспийского моря. Показанный в правом углу увеличенный фрагмент изображения аэропорта позволяет судить о реальном пространственном разрешении изображения. Взлетно-посадочная полоса аэропорта имеет ширину несколько десятков метров, т.е. близкую к размеру пиксела камеры МСУ-100.

На рис. 8–11 (см. на цветных вклейках) приведены примеры цветосинтезированных изображений, полученных камерами МСУ-100. При этом канал 700–900 нм кодирован красным цветом, канал 630–680 нм — зеленым, а канал 535–575 нм — синим.

Снимок дельты р. Нил (рис. 8) иллюстрирует сильный цветовой контраст между зеленой растительностью вблизи реки, которая при указанном цветокодировании выглядит красной, и окружающими засушливыми пустынными районами, которые выглядят желто-зелеными. Увеличенный фрагмент, показывающий Суэцкий канал, городские кварталы и порт г. Порт-Саид (Египет), позволяет судить о разрешении снимка.

Снимок о. Балхаш (рис. 9), где “зеленый” канал кодирован синим цветом, показывает увеличение в этом канале яркости воды в западной части озера и в районе п-ва Сарыесик, которая свидетельствует об увеличении мутности воды. На этом же снимке желто-зеленым цветом опять выделяются пустынные районы к востоку от озера.

Возможность контроля ледовой обстановки в морях и океанах иллюстрирует снимок акватории о-ва Врангеля (рис. 10).

В левой части снимка Якутии (рис. 11) хорошо видны дымы пожаров, отображающиеся голубоватой дымкой (вследствие увеличения яркости дыма при уменьшении длины волны), а в правой — ледники в горах.

Опыт практического применения показал, что изображения МСУ-50 имели меньший спрос у пользователей, чем изображения МСУ-100, вероятно, вследствие их более низкого разрешения и специфического набора спектральных зон. Поэтому обычно съемка проводится двумя камерами МСУ-100, покрывающими ту же полосу обзора, но с более высоким разрешением.

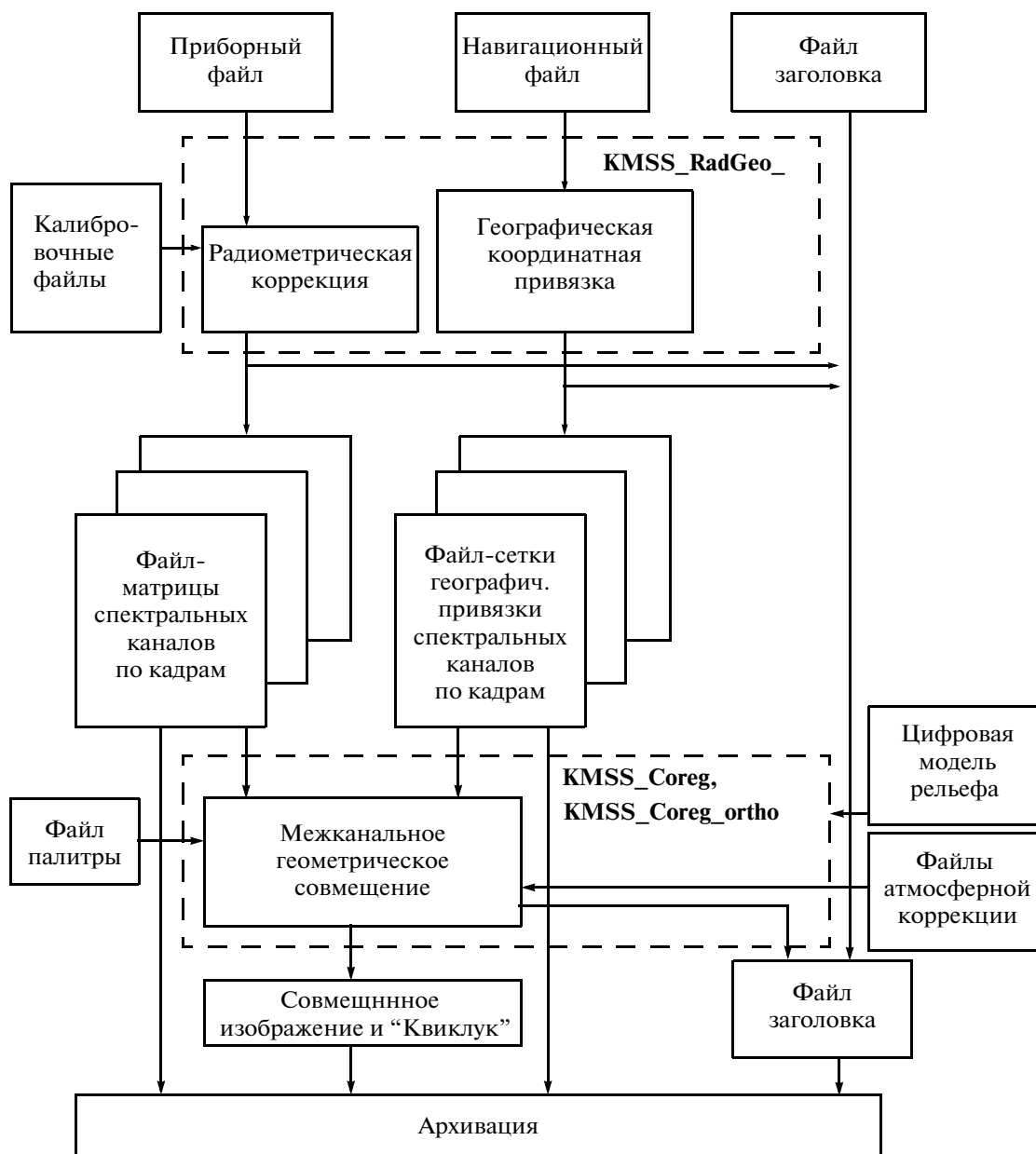


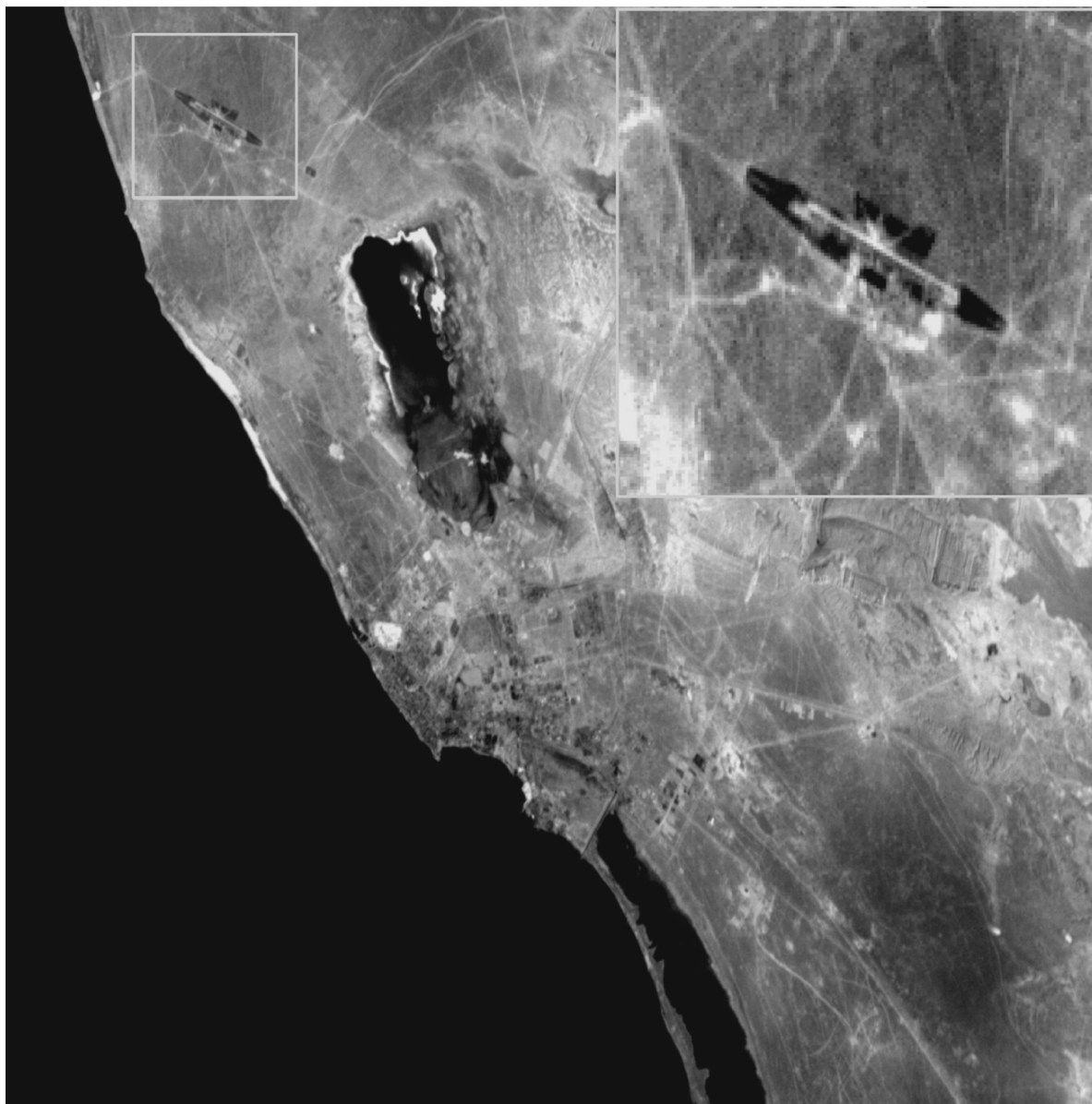
Рис. 6. Схема предварительной обработки и коррекции данных КМСС.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ОЦЕНКА ПОЛУЧЕННОГО ОПЫТА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КМСС

Оценивая с объективных позиций результаты разработки КМСС и трехлетний опыт его эксплуатации совместно с ККВО на борту КА «Метеор-М» № 1, можно констатировать, что созданные приборы полностью соответствуют характеристикам, указанным в техническом задании. Решая мониторинговые задачи, они надежно функционируют на борту КА, а получаемая с их помощью информация находит практическое применение в ряде областей хозяйственной деятельности во

многом благодаря высокому уровню автоматизации процессов синтеза мультиспектральных изображений и координатной привязки снимков.

Цветосинтезированные снимки земной поверхности с нанесенной на них координатной сеткой, предназначенные для визуального анализа («квиклук»), а также геометрически- и радиометрически-скорректированные мультиспектральные изображения, пригодные для цифровой обработки, формируются на пунктах приема данных с незначительной задержкой по времени. Создание и внедрение такой технологии было для ИКИ РАН и ВНИИЭМ одной из побудительных причин для постановки подобного эксперимента.



**Рис. 7.** Снимок района г. Актау, Казахстан, полученный 2 октября 2009 г. камерой МСУ-100 (канал 630–670 нм); в углу справа показан увеличенный фрагмент района аэропорта.

Вместе с тем следует заметить, что сроки реализации эксперимента сильно затянулись. Облик КМСС и ККВО в существующем ныне виде сформировался в середине 90-х годов прошлого века. Тогда предполагалось, что эксперимент удастся осуществить весьма скоро, никак не позднее 2000–2002 гг. Но жизнь внесла в эти планы свои коррективы. Сегодня на борту метеорологического КА должна была бы устанавливаться съемочная аппаратура с существенно иными параметрами, не говоря уже о том, что координатно-временное обеспечение необходимо использовать при наземной обработке для всех измерительных средств бортового комплекса. Однако, к сожалению,

КМСС для следующего КА “Метеор-М” № 2 изготовлен уже четыре года назад. Это значит, что потребители еще несколько лет будут вынуждены пользоваться прежним видом видеoinформации, правда, с улучшенной точностью географической привязки изображений. Обстановка изменится к лучшему только на следующем КА “Метеор-М” № 2-1, где комплекс КМСС-2 будет принципиально модернизирован. В новых камерах, получивших название МСУ-100ТМ, будет установлена оптическая призматическая спектроделительная система, что позволит одновременно получать изображения одних и тех же участков земной поверхности в разных каналах и благодаря этому

обеспечить синтез многозональных изображений прямо на борту. Но и это не превратит КМСС в метеорологический комплекс.

Типичным требованием к метеорологическим съемочным системам на полярных КА является глобальный обзор поверхности Земли с разрешением порядка 1 км. Подобные системы существуют как в России (например, МСУ-МР на КА “Метеор-М”), так и за рубежом (радиометры AVHRR на КА серии NOAA, спектрорадиометры MODIS на КА Terra и Aqua). Наиболее совершенными из современных метеорологических съемочных систем этого типа являются спектрорадиометры MODIS, имеющие при полосе обзора 2200 км разрешение 1 км в 36-ти каналах, которые покрывают широкий спектральный диапазон - от видимого до ИК-теплого.

Несмотря на то что в сочетании с очень широкой полосой захвата MODIS имеет также два канала с разрешением 250 м в красном и ближнем ИК-диапазонах, чувствительных к состоянию растительности, а также несколько каналов с разрешением 500 м для зондирования водных объектов, получаемые изображения не применимы для решения многих задач мониторинга поверхности суши, ледовой обстановки и других задач, когда требуется на порядок лучшее разрешение.

Отметим, что в условиях доступности метеорологической информации от зарубежных КА, и в частности данных MODIS, заинтересованность отечественных заказчиков в создании подобных приборов в России не наблюдается.

Для мониторинговых систем важно сочетание достаточно высокого пространственного разрешения с большой полосой обзора, обеспечивающей высокую периодичность съемки, которая необходима, например, при контроле состояния растительности, ледовой обстановки и особенно катастрофических ситуаций. В существующих системах, в том числе и зарубежных, вследствие того, что то и другое трудно обеспечить одновременно, приоритет обычно отдается повышению пространственного разрешения в ущерб полосе захвата, а периодичность съемки обеспечивается запуском нескольких КА на разнесенных во времени точках одной орбиты. Такое решение оправдано при условии возможности построения качественных, надежных и недорогих спутниковых платформ, что в наших условиях остается пока неразрешимой задачей.

Из всех стран мира задачи оперативного мониторинга наиболее актуальны для России, обладающей огромными малонаселенными территориями, которые просто невозможно контролировать иными средствами, кроме средств ДЗ.

С самого начала КМСС замышлялся как мониторинговый комплекс, в котором широкий захват земной поверхности сочетается с относитель-

но высоким разрешением. Вместе с тем ширина полосы обзора в 960 км мала для глобального покрытия, а разрешающая способность в 60 м недостаточна для анализа происходящих на земной поверхности событий.

Понимая важность этой проблемы, дальнейшее развитие аппаратуры оперативного мониторинга, которая будет занимать ту же нишу, что и КМСС, ведется в направлении повышения разрешающей способности до 20–30 м при одновременном расширении полосы обзора до 1600–1800 км, чтобы обеспечить межвитковое перекрытие изображений хотя бы на уровне средних и высоких широт земного шара, где и располагается большая часть территории Российской Федерации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Аванесов Г.А.* Экспериментальный информационно-измерительный комплекс на основе многозональной сканирующей системы “Фрагмент” // Исслед. Земли из космоса. 1981. № 5. С. 40–44.

*Аванесов Г.А., Глазков В.Д., Зиман Я.Л. и др.* Многозональная сканирующая система “Фрагмент” // Исслед. Земли из космоса. 1981. № 5. С. 45–56.

*Ваваев В.А., Василейский А.С., Жуков Б.С., Жуков С.Б., Куркина А.Н., Полянский И.В.* Наземная калибровка камер КМСС для КА “Метеор-М” № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. 2009. Вып. 6. Т. 1. С. 251–258.

Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Сканирующая система “Фрагмент”. Методика и результаты. Берлин: Академии-Ферлаг, М.: Наука, 1988.

*Жуков Б.С., Полянский И.В., Куревлева Т.Г., Пермитина Л.И., Гектин Ю.М., Цветкова И.П., Попов М.А., Станкевич С.А., Дугин С.С.* Полетная абсолютная радиометрическая калибровка комплекса многозональной спутниковой съемки на КА “Метеор-М” № 1 // Тез. 3-й Всерос. научн.-техн. конф. “Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов”. 10–13 сентября 2012 г., Таруса, Россия. С. 45.

*Никитин А.В., Дунаев Б.С., Кондратьева Т.В., Полянский И.В.* Определение геометрических параметров многозональных сканирующих устройств МСУ-100, МСУ-50 на лабораторном стенде и в условиях полета космического аппарата “Метеор-М” // Сб. тр. 2-й Всерос. научн.-техн. конф. “Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов”. 13–16 сентября 2010 г., Таруса, Россия. М.: ИКИ РАН, 2011. С. 330–337.

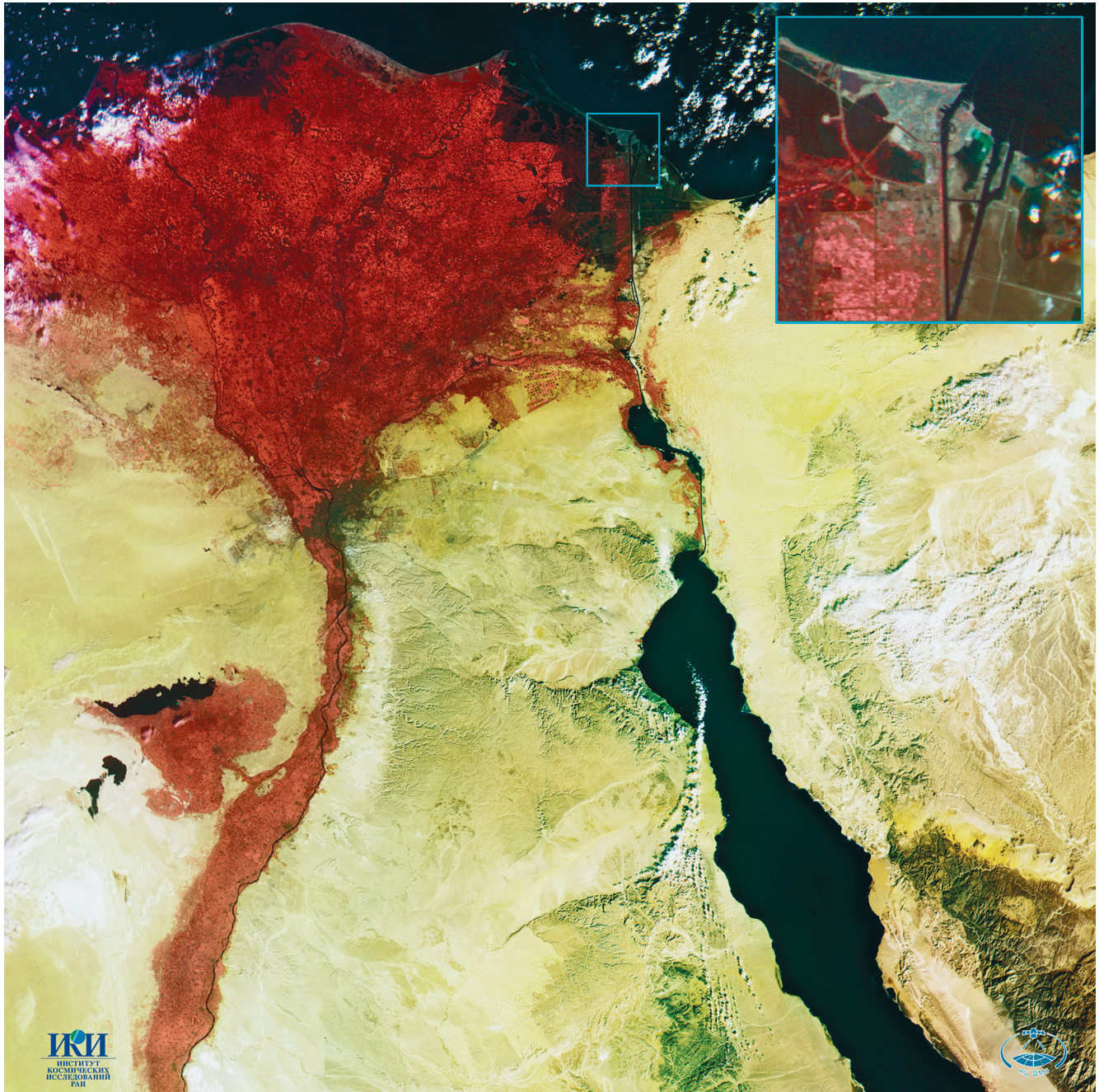
## Multispectral Satellite Imaging System on-board “Meteor-M” No. 1: Three Years in Orbit

G. A. Avanesov, I. V. Polyansky, B. S. Zhukov, A. V. Nikitin, A. A. Forsh

*Space Research Institute, Moscow*

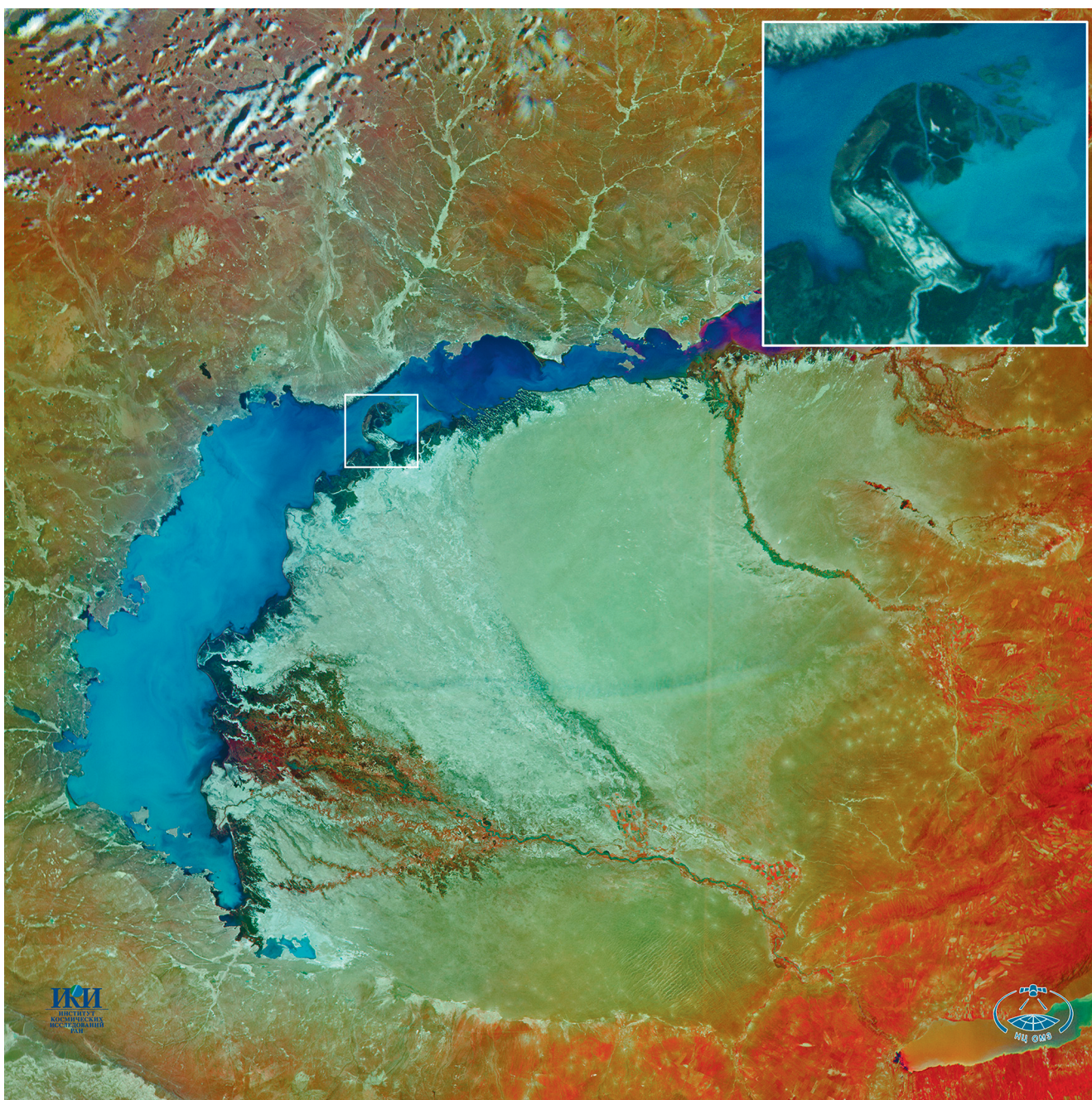
Multispectral satellite imaging system KMSS on-board “Meteor-M” No. 1 satellite surveys for more than 3 years the territory of Russia and neighboring countries in three bands of the visible and near IR spectral ranges with a resolution of 60/120 m in a swath of more than 900 km. The KMSS data supported by synchronous navigational information is automatically received, pipeline-processed, archived and cataloged at on-ground receiving stations in Moscow, Novosibirsk and Khabarovsk. The data are used for a wide range of applications in land use, ecological and emergency monitoring, sea-, river- and lake ice situation assessment, et al. Further development of the imaging systems for operational monitoring is aimed at achieving a resolution of 20–30 m in a swath of 1600–1800 km, providing a complete daily coverage of the most part of the territory of Russia.

**Keywords:** multispectral satellite imaging system KMSS, “Meteor-M” No. 1, operational satellite monitoring, land use, ecological and emergency monitoring, estimation of ice condition



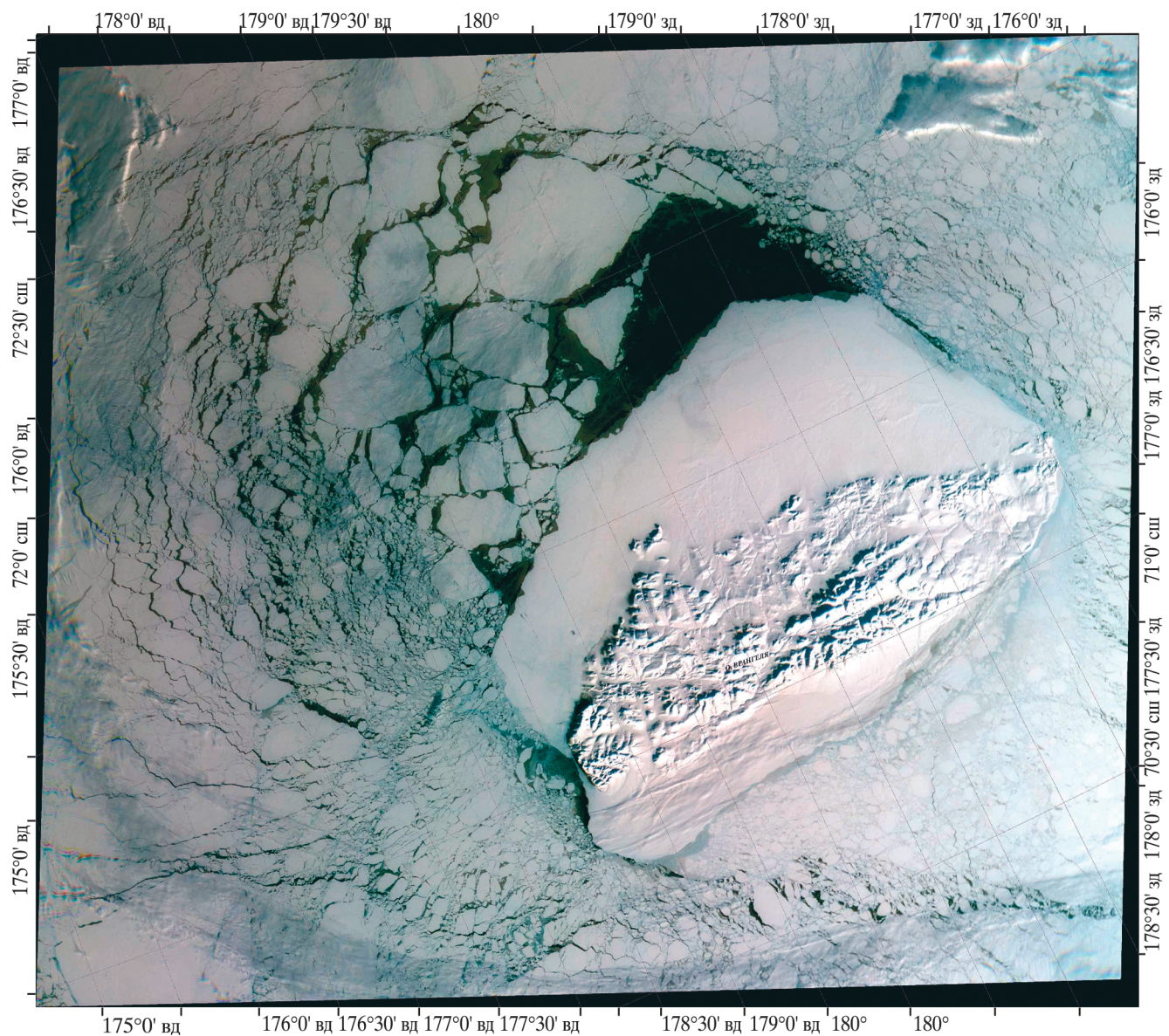
**Рис. 8.** Цветосинтезированное изображение дельты Нила, полученное 30 ноября 2009 г. камерой МСУ-100; в углу справа показан увеличенный фрагмент района г. Порт-Саид, Египет (обработка ИЦ ОМЗ).





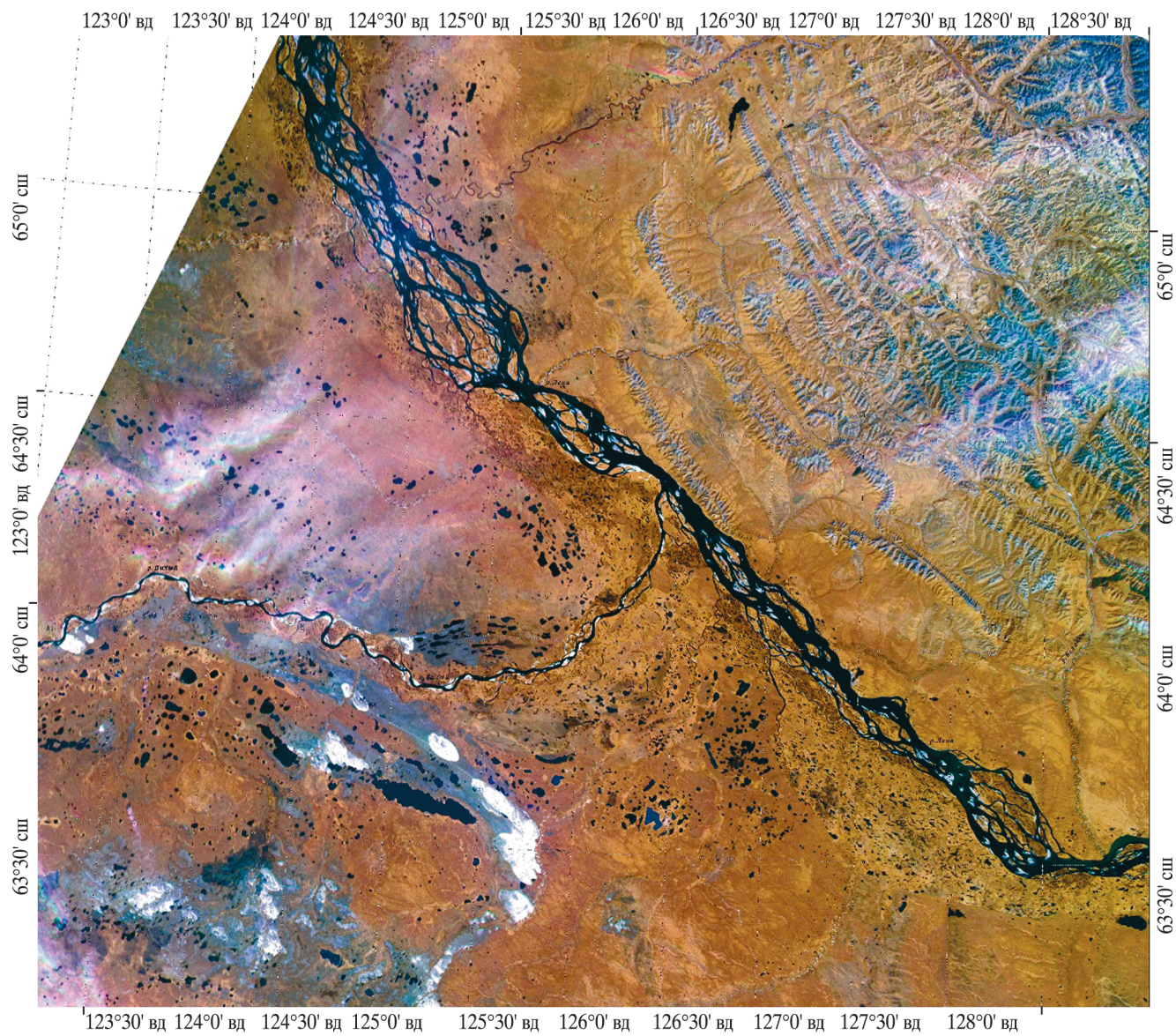
**Рис. 9.** Цветосинтезированное изображение оз. Балхаш, полученное 13 мая 2010 г. камерой МСУ-100; в углу справа показан увеличенный фрагмент с п-овом Сарысик (обработка ИЦ ОМЗ).





**Рис. 10.** Цветосинтезированное изображение ледовой обстановки вокруг о-ва Врангеля, полученное 9 марта 2011 г. камерой МСУ-100 (обработка НИЦ “Планета”).





**Рис. 11.** Цветосинтезированное изображение пожаров в Якутии, полученное 2 июля 2012 г. камерой МСУ-100 (обработка Дальневосточного центра НИЦ “Планета”).

