

## Программное обеспечение комплекса тематической обработки целевой информации космического аппарата «Метеор-М»

А.Е. Кузнецов<sup>1</sup>, В.И. Соловьёв<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Рязанский государственный радиотехнический университет, Рязань 390005, Россия  
E-mail: foton@rsreu.ru

<sup>2</sup> НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Москва 123242, Россия  
E-mail: solovjev@planet.iitp.ru

Рассматриваются функциональные возможности программного комплекса PlanetaMeteor, используемого в НИЦ «Планета» для первичной и тематической обработки информации датчиков МСУ-МР и КМСС космического аппарата «Метеор-М» №1. Комплекс обеспечивает обработку информации, принимаемой в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах радиоволн. Отмечаются особенности представления данных МСУ-МР и КМСС, формулируются задачи по их обработке. Кратко рассматриваются функции, выполняемые в ходе первичной обработки и связанные с радиометрической коррекцией и геопривязкой материалов съемки. Описываются новые возможности по визуализации многовитковых маршрутов съемки с использованием как режимов 2D, так и режима 3D на фоне глобуса. Приводятся примеры выходных информационных продуктов, получаемых в ходе тематической обработки спутниковых измерений, в том числе: температурные карты, карты высот облачных образований, глобальные и региональные карты облачности. Описывается новый вид выходной продукции уровня обработки 1D, получаемой в ходе цифрового совмещения измерений от разного типа датчиков. Отмечаются перспективы развития созданного программного комплекса для обработки данных группировки КА серии «Метеор-М». Приводятся сведения об основных этапах наземной обработки информации МСУ-МР, КМСС, установленных на КА «Метеор-М» №1, и видах выходных информационных продуктов, получаемых с помощью специализированного программного обеспечения PlanetaMeteor.

**Ключевые слова:** космический аппарат «Метеор-М» №1, первичная обработка, визуализация, тематическая обработка данных МСУ-МР, КМСС и ИКФС-2.

### Введение

Для решения задач космической гидрометеорологии Россией запущен и успешно функционирует на орбите космический аппарат (КА) «Метеор-М» № 1. В ближайшее время планируется запуск еще серии аналогичных спутников «Метеор-М» № 2, № 2-1 и № 2-2. Съёмочная аппаратура спутников представлена:

- многозональным съёмочным устройством малого разрешения (МСУ-МР), формирующим изображения земной поверхности в 6-и спектральных диапазонах с пространственным разрешением в подспутниковой точке, равным 1 км;
- комплексом многозональной спутниковой съемки (КМСС), состоящим из трех линейных съёмочных устройств МСУ-100/50, которые формируют изображения подстилающей поверхности в видимом диапазоне спектра;
- инфракрасного фурье-спектрометра (ИКФС-2), формирующего измерения атмосферы в отдельных точках в ~ 5000 спектральных каналах.

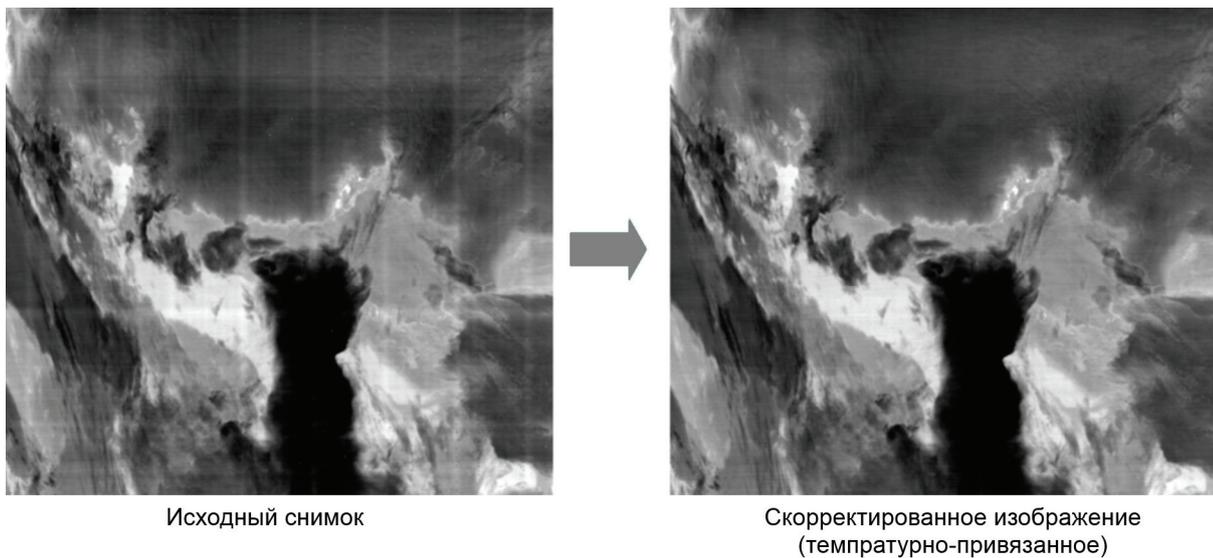
КА «Метеор-М» №1 в сантиметровом диапазоне радиоволн осуществляет сброс целевой информации от всех типов съёмочной аппаратуры в режимах непосредственной

передачи и воспроизведения информации. Информация датчика МСУ-МР передается от 7-и витков, что позволяет получать полное покрытие земной поверхности, в том числе и полярных областей. В дециметровом и метровом диапазонах радиоволн на приемные центры поступает информация только от датчика МСУ-МР в режиме непосредственной передачи.

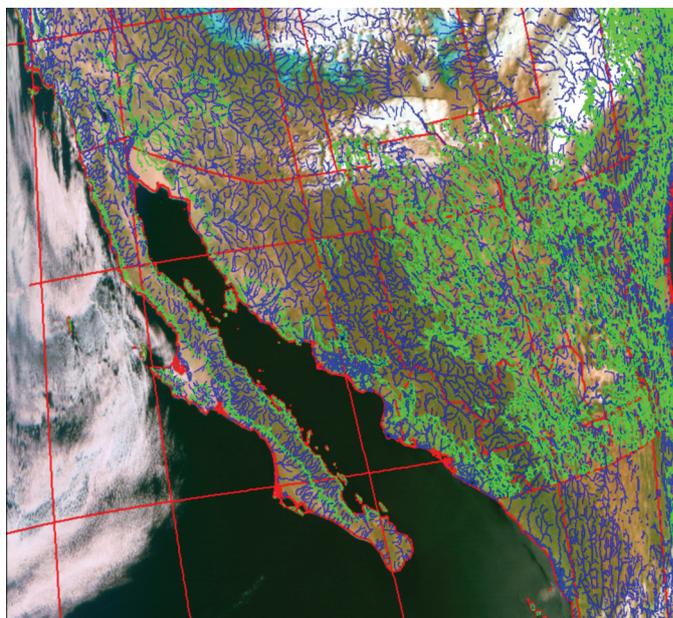
Для наземной обработки получаемой от датчиков информации Рязанским государственным радиотехническим университетом по заказу НИЦ космической гидрометеорологии «Планета» разработан многофункциональный программный комплекс PlanetaMeteor, функционирующий в ОС Windows XP/7/8 на компьютерах с характеристиками не ниже следующих: ЦП 3 ГГц / ОП 8Гб / видео 1Гб / HDD 2 Тб. Комплекс обеспечивает получение различных видов выходной продукции гидрометеорологического назначения, используя которые можно организовать спутниковый мониторинг полярных областей как территории РФ, так и сопредельных государств. В статье рассматриваются функциональные возможности комплекса, связанные как с особенностями первичной обработки исходной информации, так и с формированием выходных информационных продуктов.

### **Первичная обработка**

Первичная обработка информации МСУ-МР и КМСС (данные с ИКФС-2 обрабатываются отдельно) связана с распаковкой и декоммутацией входного потока, регистрируемого антенным комплексом, восстановлением структуры информации датчика, а также радиометрической калибровкой и геопривязкой. Радиометрическая калибровка и коррекция информации предназначена для устранения на изображении структурных шумов, проявляющихся в виде «полосатости» снимка. После выполнения этой операции по изображениям можно измерять энергетическую яркость (для видимого диапазона) и радиационную температуру (для ИК-диапазонов) объектов земной поверхности без учета искажающего действия атмосферы (на входе «зрачка» прибора). Особенность радиометрической коррекции данных МСУ-МР состоит в том, что не все искажения устраняются с использованием информации от калибровочных излучателей. Поэтому для компенсации остаточных яркостных искажений на снимках применяется метод статистической обработки, в соответствии с которым параметры корректирующей функции формируются по результатам анализа снимка. На *рис. 1* приведен пример такой обработки, связанной с устранением вертикальной «полосатости» на тепловых изображениях от 4-го спектрального канала датчика МСУ-МР.



*Рис. 1. Пример радиометрической коррекции теплового изображения 4-го спектрального канала датчика МСУ-МР*



*Рис. 2. Пример точно геокодированного изображения МСУ-МР, полученного на 7-и витковом маршруте съемки*

Для обеспечения высокоточной геодезической привязки информации МСУ-МР была выполнена геометрическая калибровка прибора, в ходе которой найдены поправки к установочным углам: по крену – 14", тангажу 15' и рысканью 1°19", а также к углу сканирования  $\Delta\psi=14'$ . Таким образом, по орбитальным данным маршруты съемки МСУ-МР, включающие до 7-и витков, геокодируются с точностью 10-15 км. Такая величина ошибки вызвана главным образом неточной временной синхронизацией и неточным определением углового положения спутника по данным построителя местной вертикали. На *рис. 2* показан пример геокодированного снимка с точностью 1 пиксел, полученного после коррек-

ции ошибок временной привязки. Эти проблемы будут устранены на КА «Метеор-М» №2, №2-1, №2-2 за счет использования специального навигационного оборудования на базе приемников GPS/ГЛОНАСС и звездных датчиков угловой ориентации. Для учета этих параметров в комплексе PlanetaMeteor проведены определенные доработки, которые будут отработаны в ходе летных испытаний спутников.

### Визуализация

Для визуального анализа спутниковой информации в программном комплексе имеется большой набор инструментальных средств, обеспечивающих:

- «моментальное» открытие изображений объемом до сотен гигабайт;
- выполнение на снимках измерений (геодезических координат, длин, площадей, температур, альbedo и др.);
- выполнение операций линейной фильтрации, контрастирования, сохранения областей интереса;
- комплексный просмотр данных КМСС и МСУ-МР;
- представление информации КМСС в естественных цветах и др.

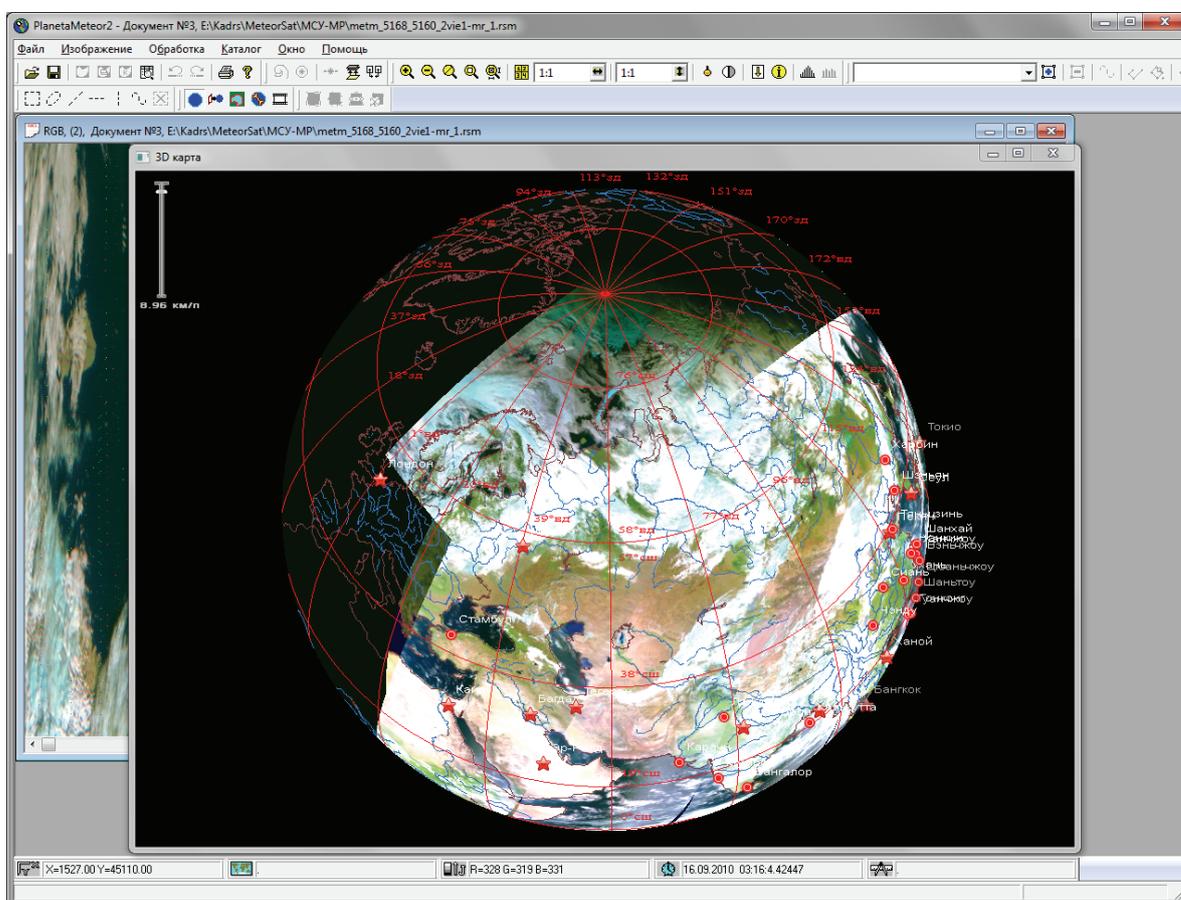
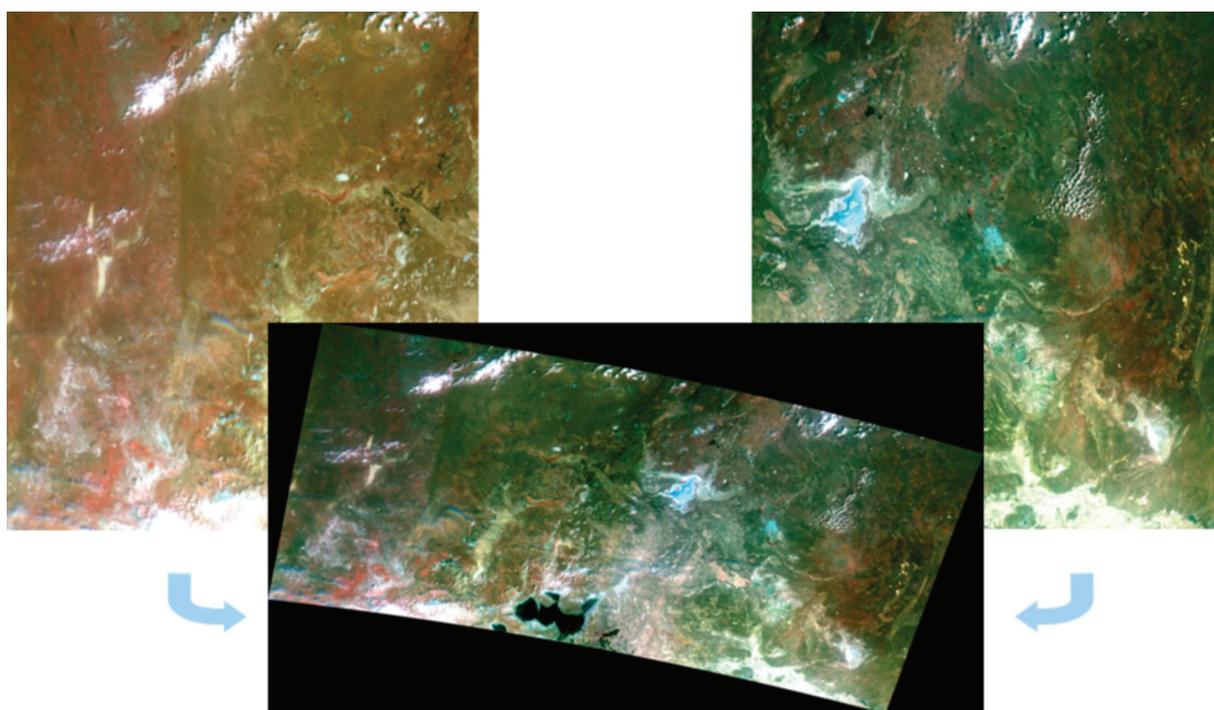


Рис. 3. Пример отображения метеобстановки по данным МСУ-МР с использованием 3D-модели земного шара

Отличительная особенность подсистемы визуализации состоит в том, что она позволяет просматривать многовитковые маршруты съемки на фоне 3D-модели земного шара (глобуса). При этом, как показано на *рис. 3*, предоставляется удобный сервис по анализу метеообстановки полярных областей нашей страны. Принципы построения пользовательского интерфейса и алгоритмы отображения рассмотрены в (Ветров, Кочергин, Кузнецов, 2011).

### Тематическая обработка

В ходе тематической обработки данных КМСС, выполняемой как в интерактивном, так и в автоматическом режимах, комплекс обеспечивает получение геокодированных изображений земной поверхности в ГИС-форматах. На *рис. 4* показан пример получения непрерывного кадра в ходе геометрической и радиометрической «сшивки» изображений, полученных от двух приборов МСУ-100 аппаратуры КМСС.



*Рис. 4. Пример синтеза общего кадра по данным от 2-х приборов МСУ-100*

Вторым важным информационным продуктом аппаратуры КМСС является карта параметров верхней границы облачности. Эта аппаратура функционирует по принципу пространственного разделения отраженного от земной поверхности потока лучистой энергии по спектральным каналам. Согласно этому принципу осуществляется стереосъемка земной поверхности в разных спектральных каналах. В программном комплексе реализована технология стереообработки получаемых изображений, которая прак-

тически со 100 % вероятностью позволяет отделить облачные объекты от аналогичных по цвету объектов земной поверхности. При этом высота облачных объектов определяется с точностью порядка 150 м, что значительно превосходит точностные возможности какой-либо другой специализированной аппаратуры ДЗЗ (Кузнецов, Пошехонов, 2009).

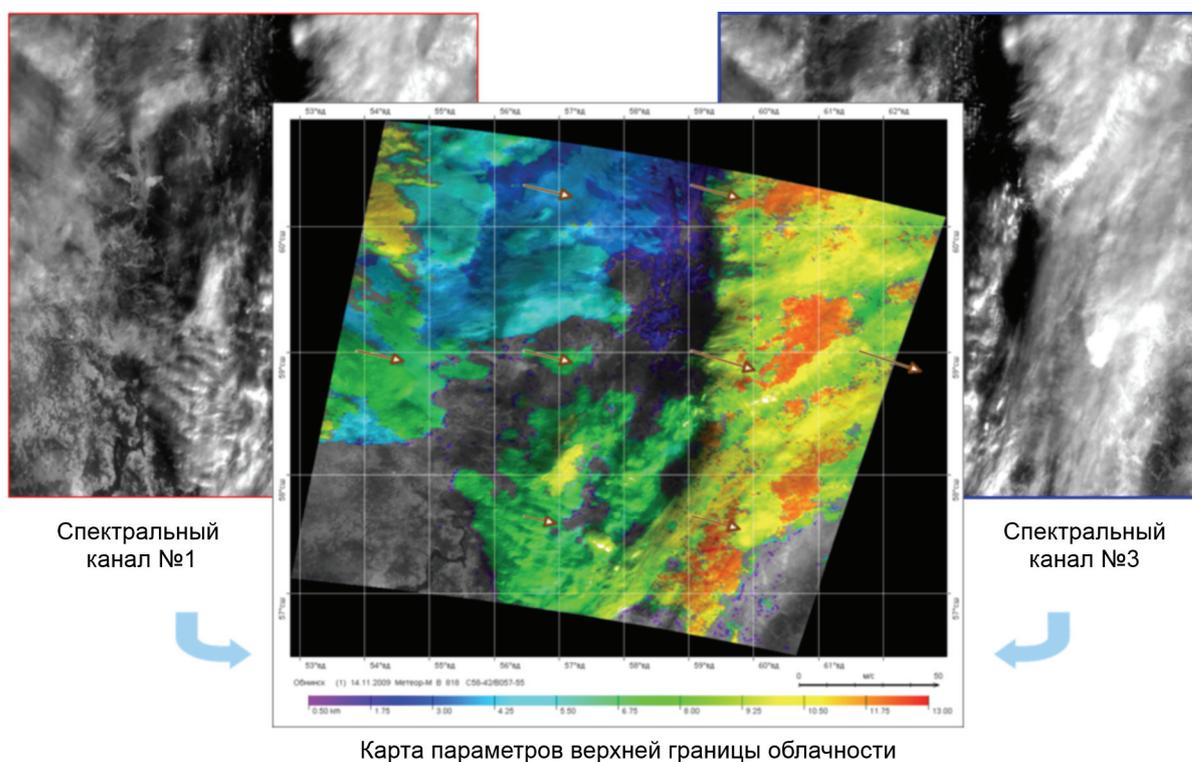


Рис. 5. Карта высоты облачности, сформированная по данным КМСС

Поскольку съемка выполняется в разное время, то проводя анализ сравнительного местоположения облачных объектов относительно земной поверхности, можно определить скорость и направление их перемещения. На рис. 5 приведен пример карты высоты облачности, полученной по данным 1-го и 3-го спектральных каналов МСУ-100. Цветовой клин карты задает высоту облачности, а стрелками указаны направления перемещения облаков. Соответствующий масштабный отрезок позволяет оценить величину скорости в м/с.

По данным аппаратуры МСУ-МР в автоматическом и интерактивном режимах формируются следующие выходные продукты:

- глобальные и региональные карты облачности (рис. 6);
- температурные карты морской поверхности (рис. 7).

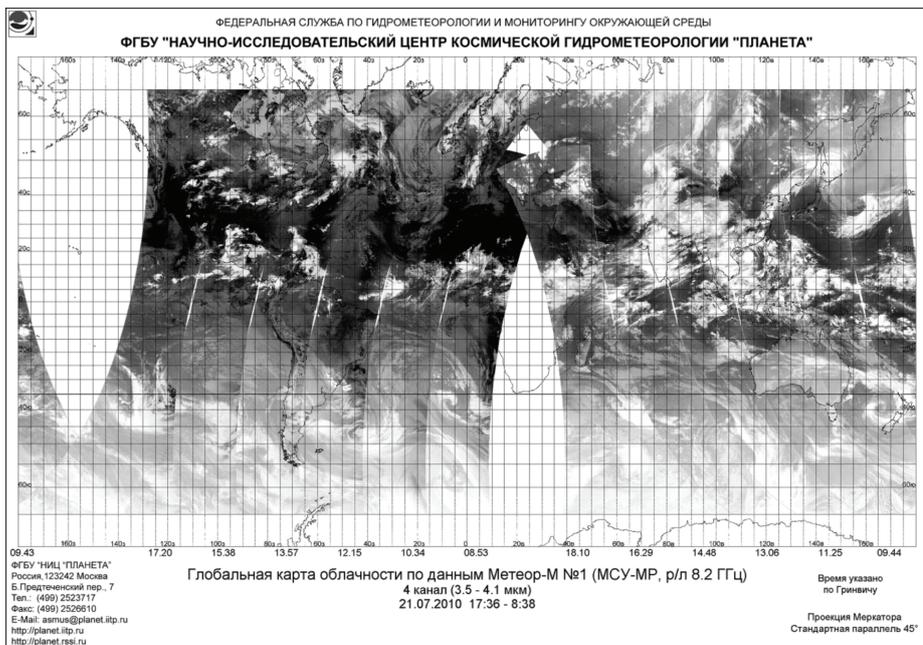


Рис. 6. Глобальная карта облачности, сформированная по данным МСУ-МР

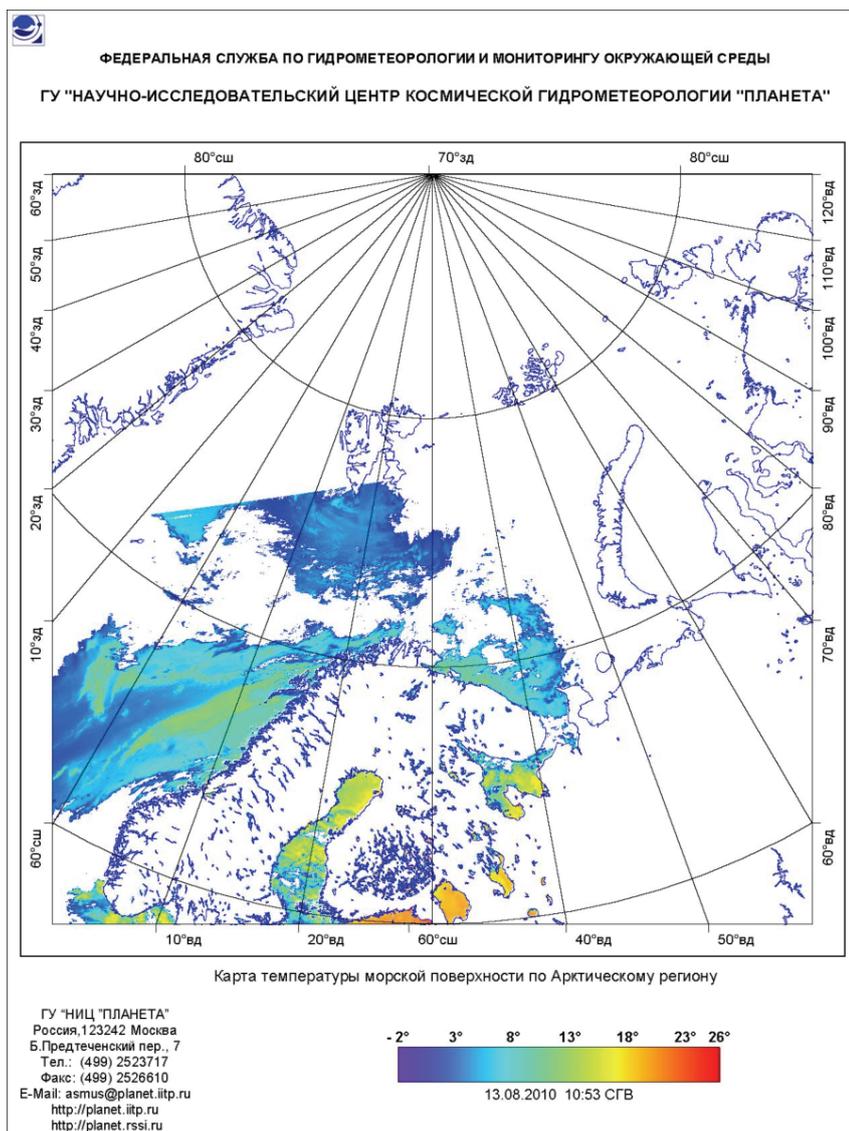
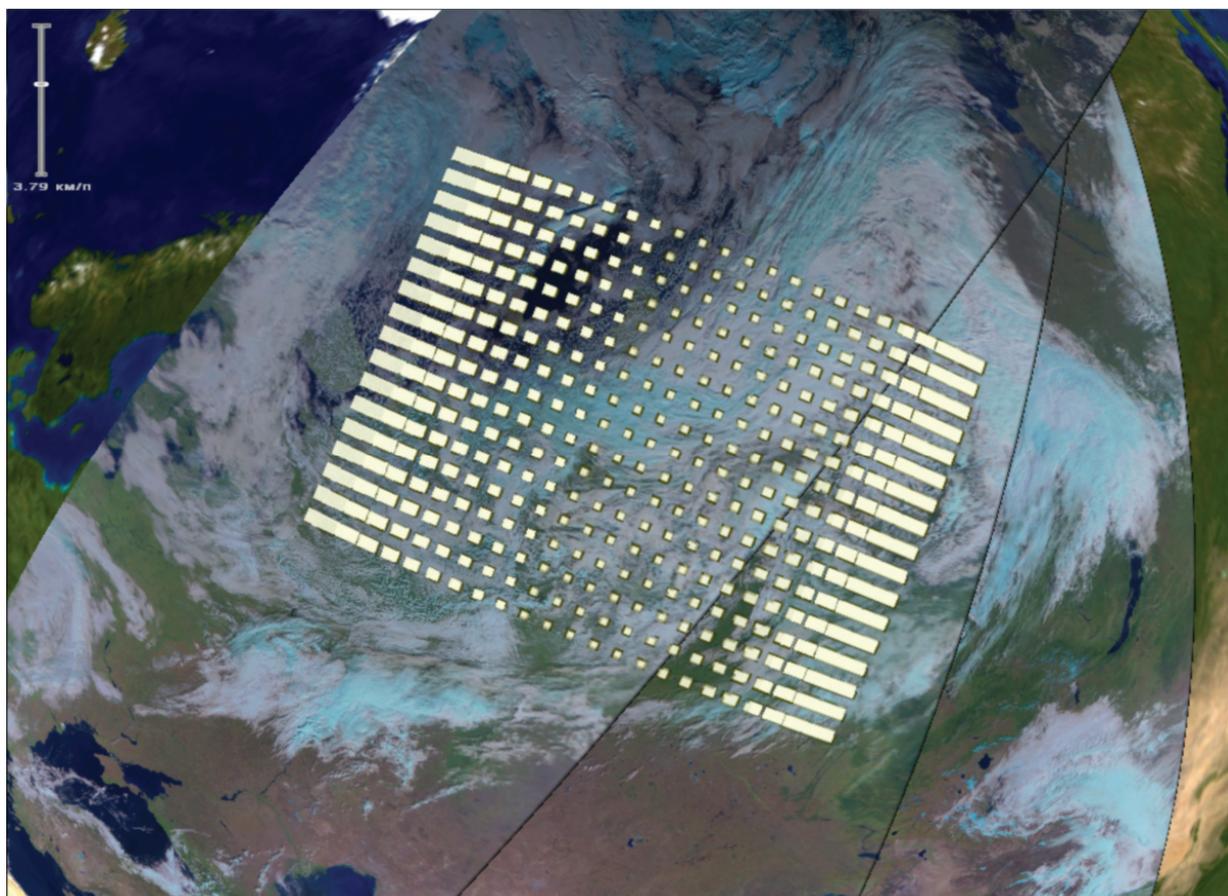


Рис. 7. Температурная карта морской поверхности

Помимо растровой карты температур, комплекс обеспечивает формирование цифрового файла, который включает совокупность текстовых записей. Каждая запись описывает одну точку водной поверхности, для которой была рассчитана температура, и включает значения широты и долготы, показателя достоверности оценки и само значение температуры.



*Рис. 8. Пример взаимного расположения отсчетов ИКФС-2 и изображений земной поверхности от датчика МСУ-МР*

Новым видом выходной продукции является информация уровня обработки 1D. Данный уровень обработки предполагает выполнение операции цифрового совмещения измерений прибора ИКФС-2 с данными от прибора МСУ-МР (алгоритм цифрового совмещения изложен в (Кузнецов, Нефедов, 2013)). Поскольку измерения ИКФС-2 выполняются в отдельных точках диаметром  $\sim 33$  км, то для правильного детектирования полученных сигналов эти измерения дополняются статистической информацией от датчика МСУ-МР. Для этого вида продукции разработана спецификация на базе формата HDF, которая включает блок общих атрибутивных данных, блок базового изображения, блок матрицы геопривязки, блоки совмещенных тематически обработанных данных. На *рис. 8*

приведен модельный пример взаимного расположения данных ИКФС-2 и находящихся под ним изображений МСУ-МР.

### Заключение

Рассмотренный в настоящей статье программный комплекс PlanetaMeteor в течение нескольких лет успешно эксплуатируется в НИЦ космической гидрометеорологии «Планета» и на приемных центрах Росгидромета в городах Новосибирске и Хабаровске. Его особенность состоит в том, что, помимо спутника «Метеор-М» №1, многие виды обработок выполняются и для данных NOAA.

Комплекс постоянно совершенствуется, и в настоящее время ведутся работы по его модернизации для работы в распределенном режиме. Данный режим предполагает, что крупный приемный центр, например в г. Москве, будет осуществлять прием информации от КА «Метеор-М», а потребители по сети Internet будут получать доступ к данным оперативного архива, визуализировать их и получать требуемые виды выходных информационных продуктов. Эта технология будет в значительной мере расширять спектр потенциальных потребителей спутниковой информации и сделает информацию КА «Метеор-М» более доступной.

### Литература

1. *Ветров А.А., Кочергин А.М., Кузнецов А.Е.* Принципы построения геопортала спутниковых изображений, разрабатываемого в рамках проекта MEDEO // Цифровая обработка сигналов. 2011. № 3. С. 37–41.

## Software package for thematic processing of target information from “Meteor-M” satellite

A.E. Kuznetsov <sup>1</sup>, V.I. Solov'ev <sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan 390005, Russia  
E-mail: foton@rsreu.ru*

<sup>2</sup> *State Research Center “Planeta”, Moscow 123242, Russia  
E-mail: solovjev@planet.iitp.ru*

The article discusses the capabilities of the software package PlanetaMeteor which is used in the State Research Center "Planeta" for initial and thematic processing of information received from sensors MSU-MR and KMSS of the satellite "Meteor-M" No. 1. This software provides processing of the information received in centimeter, decimeter and meter radio bands. The article describes MSU-MR and KMSS data representation features and processing tasks. Functions performed during initial data processing such as radiometric correction and geocoding of the imagery data are briefly discussed. The new features of visualization of multicycle imagery routes in 2D and 3D modes are described. The article includes examples of information products (temperature maps, clouds altitude

maps, global and regional clouds maps) obtained as a result of thematic processing of satellite data. A new type of processing level 1D products obtained by a digital combination of data received from different types of sensors is described. The perspectives of PlanetaMeteor software capabilities extension to process data from satellite constellation of "Meteor-M" series are discussed. The information about the main stages of on-ground processing of information from MSU-MR and KMSS sensors installed on satellite "Meteor-M" No. 1 is given as well as types of resulting information products derived by PlanetaMeteor.

**Keywords:** satellite "Meteor-M", primary processing, visualization, thematic processing of MSU-MR, KMSS and IRFS-2 data.

## References

1. Vetrov A.A., Kochergin A.M., Kuznetsov A.E., Principy postroenija geoportala sputnikovyh izobrazhenij, razrabatyvaemogo v ramkah proekta MEDEO (Principles of satellite images geoportal building as part of the MEDEO project), *Cifrovaja obrabotka signalov*, 2011, No. 3, pp. 37-41.