

## ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

УДК 528.85/87(15); 528.94

С.В. Абламейко<sup>1</sup>, С.А. Золотой<sup>2</sup>, А.Н. Крючков<sup>1</sup>, О.А. Семенов<sup>2</sup>

**НАЗЕМНЫЙ КОМПЛЕКС БЕЛОРУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ:  
ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

*Рассматривается наземный комплекс Белорусской космической системы дистанционного зондирования в части создания комплексных технологий получения, архивации, обработки и выдачи пользователям данных от оперативных космических систем наблюдения Земли. Представляются состав и функциональные возможности технологических систем и комплексов, обеспечивающих получение информационных продуктов на основе данных дистанционного зондирования и цифровых карт.*

### **Введение**

Современная концепция развития средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) основана на постепенном переходе к использованию малых и микроспутников наряду с применением современных крупногабаритных космических аппаратов (КА), обеспечивающих получение снимков земной поверхности очень высокого (1–10 м) и сверхвысокого (менее 1 м) разрешения [1, 2]. Это требует организации и развития наземной структуры приема, обработки, архивации и распространения космической информации.

В статье рассматриваются технологии обработки данных ДЗЗ, разработанные в рамках создания наземного комплекса Белорусской космической системы дистанционного зондирования (НК БКСДЗ) и ряда заданий союзной программы «Космос-СГ».

Разрабатываемый наземный комплекс предназначен в первую очередь для обработки данных ДЗЗ, которые должны были поступать от белорусского космического аппарата (БКА), обеспечивающего панхроматическую съемку с разрешением 2,5 м и многозональную съемку (по четырем каналам: 0,54–0,6; 0,63–0,69; 0,69–0,72; 0,75–0,86 мкм) с разрешением 10 м. Полоса захвата при съемке в надир с высоты 510 км составляет 23,3 км при панхроматической съемке и 20,1 км при многозональной. После неудачного запуска первого БКА принято решение о создании и запуске второго аппарата с аналогичными характеристиками и начале работ по созданию БКА со съемной аппаратурой сверхвысокого разрешения.

Снимки, которые планируют получать с БКА, относятся к снимкам высокого разрешения, что обеспечивает среднемасштабное топографическое картографирование и детальное тематическое картографирование природных и социально-экономических объектов [3, 4]. Разработанные технологии обработки данных ДЗЗ НК БКСДЗ ориентированы на обработку данных и от других спутников: как с низким разрешением – NOAA (США), TERRA (США), так и с высоким и сверхвысоким разрешением – Монитор-Э (Россия), Ресурс-ДК (Россия), Ikonos (США) и др. Планируется также создание группировки КА, в состав которой должны войти БКА и российский КА «Конопус». На борту «Конопуса» устанавливается белорусская целевая аппаратура разработки ОАО «Пеленг». Это требует расширения функциональных возможностей НК БКСДЗ как в части введения в состав НК БКСДЗ наземного комплекса управления (НКУ), так и в части расширения технологических возможностей наземного комплекса.

### **1. Структура и состав задач НК БКСДЗ**

Технологии, разработанные и вновь разрабатываемые для НК БКСДЗ, реализуются на основе следующих технологических систем и комплексов (рис.1):

- наземного комплекса управления;
- комплекса приема и регистрации данных;
- комплекса планирования и управления БКСДЗ;
- комплекса тематической обработки данных ДЗЗ (АТС-ТО);
- системы каталогизации, архивации, поиска и выдачи цифровой информации о местности (ЦИМ) потребителям (АТС-БДЦИМ).

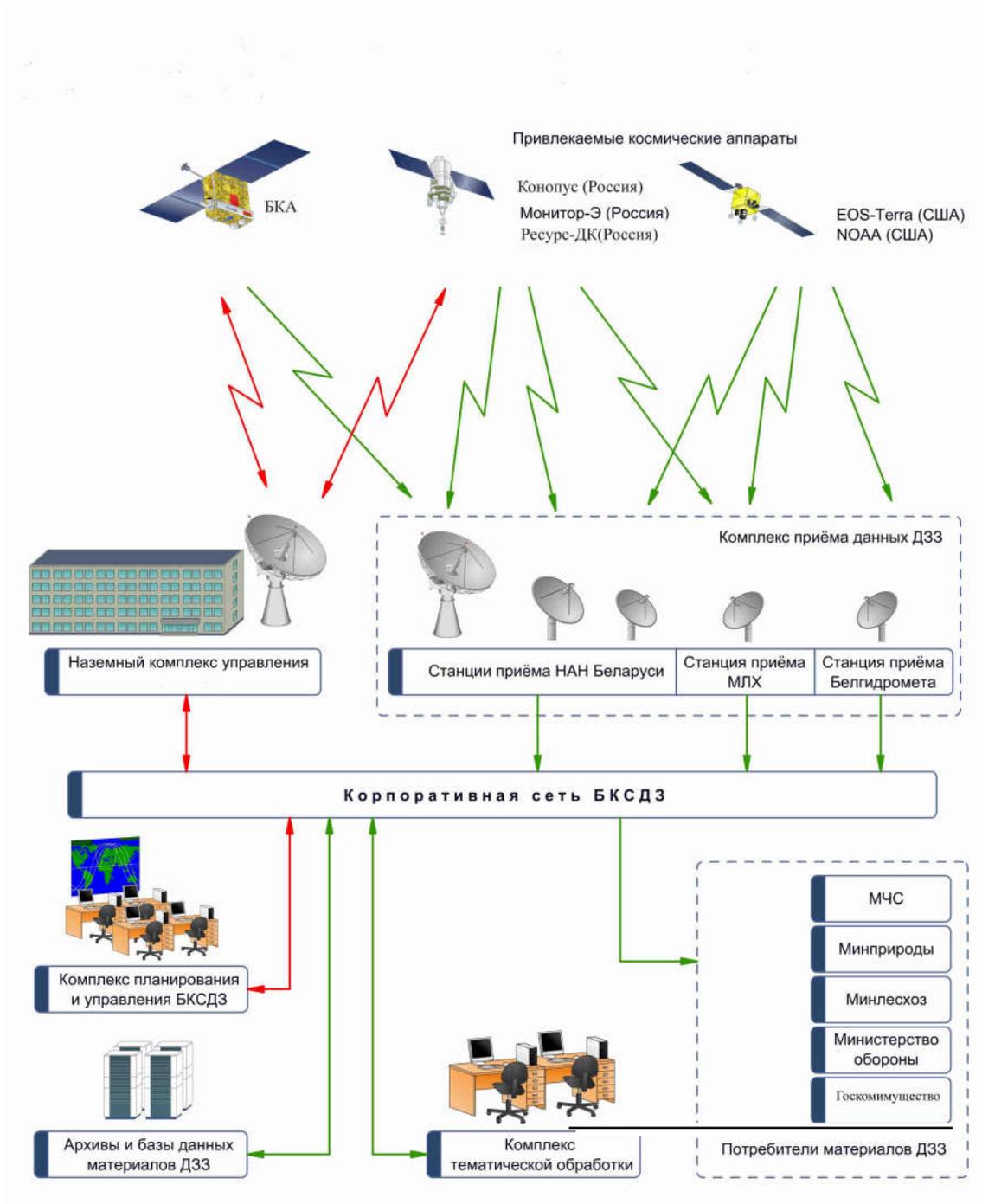


Рис. 1. Структура НК БКСДЗ

В состав НКУ входят командный измерительный пункт (КИП) и Центр управления полетом (ЦУП). АТС-ТО состоит из трех технологически и информационно взаимосвязанных систем:

- первичной обработки данных (ЦФС-ЛМ);
- картографического обеспечения (АТС-КО);
- тематического дешифрирования (АТС-ТД).

Разрабатываемые технологии должны обеспечить потребителей информацией, прошедшей разные уровни обработки [1, 5], в том числе:

- первичную (устранение помех, восстановление структуры сигнала, радиометрическую и геометрическую коррекции);
- межотраслевую (создание цифровой или аналоговой картографической продукции в виде фотопланов, фотокарт, а также пространственных моделей местности);
- целевую и тематическую.

### ***1.1. Командный измерительный пункт***

КИП должен обеспечивать:

- управление БКА;
- передачу программно-командной информации на БКА;
- прием телеметрической информации с БКА;
- измерение текущих навигационных параметров;
- информационный обмен с ЦУП в процессе подготовки к сеансу связи с БКА, в процессе сеанса и после него.

### ***1.2. Центр управления полетом***

ЦУП должен осуществлять управление полетом и контроль состояния служебных бортовых систем и целевой аппаратуры на этапе летных испытаний и эксплуатации, т. е. решение следующих задач:

- планирование работы с БКА и формирование программно-командной информации для управления работой его подсистем;
- планирование работы КИП;
- передачу программно-командной информации на КИП;
- определение параметров орбиты на основе разработки информации с навигационных систем БКА и результатов измерений, получаемых от КИП;
- расчет и формирование траекторной (баллистико-навигационной) информации, целеуказаний для обеспечения наведения антенных устройств КИП и наземных станций приема и др.

В ЦУП должен осуществляться обмен информацией между его подсистемами, а также с КИП и внешними объектами (российским ЦУП-М и др.).

### ***1.3. Комплекс планирования и управления БКСДЗ***

К задачам, выполняемым на комплексе планирования и управления БКСДЗ, относятся:

- сбор заявок на выполнение работ по обеспечению потребителей космической информацией;
- расчет баллистических и навигационных параметров прогнозируемой орбиты;
- планирование съемки и времени передачи информации с БКА;
- организационно-информационное взаимодействие НК БКСДЗ с российским ЦУП (формируется полетное задание, которое передается в ЦУП для обеспечения управления БКА и выполнения съемки поверхности Земли);
- анализ и отображение информации по планируемым заявкам и съемкам;
- ведение оперативного банка данных комплекса (параметры орбит, результаты планирования и т. д.).

### ***1.4. Система приема и регистрации данных***

Система включает три станции, которые обеспечивают прием и регистрацию информационных потоков, поступающих от БКА, NOAA, TERRA и Монитор-Э. Прием потоков информации обеспечивают комплексы с антенной системой, имеющей зеркало диаметром 9 м (разработчик – Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения), 3,7

и 1 м (разработчик – российская фирма «СКАНЭКС»). Поступающие от антенных комплексов данные ДЗЗ в режиме реального масштаба времени записываются на жесткие диски системой приема и регистрации.

После приема первичной информации она по каналам локальной вычислительной сети поступает в базу данных материалов ДЗЗ (БД ЦИМ), после чего данные ДЗЗ поступают в систему первичной обработки, которую разрабатывает ОАО «Пеленг».

### **1.5. Система первичной обработки**

Назначение системы первичной обработки ЦФС-ЛМ – это формирование данных и ориентация цифровых изображений, полученных целевой аппаратурой (ЦА) БКА и соответствующих требованиям целевой и тематической обработки. Комплекс ЦА формирует цифровые изображения в линейно-матричном представлении. В этом представлении изображение земной поверхности отображается в виде полосы, которая образуется из строк, перпендикулярных направлению полета КА и состоящих из цифровых изображений матриц фотоприемников соответствующих каналов (микрокадров) панхроматической и многозональной съемочных систем ЦА.

Основой для создания выходных цифровых изображений различных уровней обработки является база первичных данных кадров цифровых изображений маршрута съемки и сопроводительных данных, которая формируется для каждого маршрута заданного полетного задания на основе сведений, полученных комплексом приема БКСДЗ. С учетом особенностей процесса съемки земной поверхности ЦА и методов обработки в ЦФС-ЛМ предусмотрено формирование различных видов цифровых изображений, которые можно разделить на следующие уровни:

«А» – обзорные и детальные изображения выбранных участков маршрута съемки в виде единой и согласованной мозаики микрокадров – мозаики цифрового изображения. В таком представлении каждому фрагменту общей мозаики соответствует микрокадр цифрового изображения, полученный отдельной матрицей фотоприемников с учетом времени его создания и пространственного положения с исключением поперечных и продольных перекрытий;

«В» – геопривязанные цифровые изображения в одной из выбранных систем координат, при формировании которых путем геометрической коррекции цифровых данных учтены основные параметры ЦА, орбиты и положения КА, параметров Земли, кроме рельефа местности;

«С» – геокодированные цифровые изображения (ортофотоизображения), представляющие собой точную основу для фотопланов и фотокарт, в заданной картографической проекции, в которых путем геометрической коррекции цифровых данных учтены все основные параметры ЦА, КА и Земли;

«D» – цифровые стереоизображения – стереопары в «мозаично-эпиполярной» проекции, в которых путем геометрической коррекции цифровых данных уровня «А» учтены все факторы, требуемые для уровня «С», за исключением цифровой модели рельефа местности.

В системе первичной обработки цифровые данные дополняются метафайлом, содержащим сведения о цифровом снимке, условиях съемки, траектории КА и др.

### **1.6. Автоматизированная технологическая система картографического обеспечения**

АТС-КО предназначена для решения следующих задач:

- оперативного создания ЦИМ по аналоговым картографическим материалам (топографическим и специальным картам, планам городов, тематическим картам);
- оперативного обновления ЦИМ по данным ДЗЗ;
- подготовки ЦИМ на заданную территорию произвольной конфигурации;
- формирования матриц высот рельефа и матриц высот местности на заданную территорию;
- экспорта/импорта файлов в наиболее известные форматы геоинформационных систем (Shapefile, MID/ MIF, SXF, DXF).

Технология создания ЦИМ основана на смешанной обработке растровых и векторных изображений с использованием сканерных средств ввода и обеспечивает полный технологический цикл получения цифровых карт местности (ЦКМ) с заданной производительностью,

точностью и достоверностью. Разработанная технология растровой обработки картографических изображений основана на методах автоматического и интерактивного формирования векторного представления и частичной автоматической классификации объектов изображения [6, 7].

Технология обновления ЦКМ по данным ДЗЗ реализует следующие режимы обработки [7]:

по одиночным снимкам – используются возможности картографического редактора, который обеспечивает привязку и трансформирование цифрового снимка к векторной карте с последующим ее обновлением;

по растровому фотодокументу (фотокарте, фотоплану) – фотодокумент поступает с цифровой фотограмметрической системы ЦФС-ЛМ либо с автоматизированной технологической системы тематического дешифрирования АТС-ТД.

Технология подготовки ЦИМ на заданную территорию включает операции отбора объектов по заданным ключам, сшивки цифровых карт в цифровой район с последующим вырезанием области заданного региона.

### ***1.7. Автоматизированная технологическая система тематического дешифрирования***

АТС-ТД предназначена для оперативной обработки цифровых карт и цифровых снимков (ЦС) с целью получения следующих информационных продуктов [8]:

- ЦС, прошедших различные уровни предварительной обработки;
- цифровых фотодокументов (фотосхем, фотокарт, фотопланов);
- ЦКМ, полученных в результате прямого обновления по ЦС;
- тематических карт, полученных на основе ЦКМ и результатов дешифрирования ЦС.

В состав АТС-ТД входят следующие основные функциональные модули:

- предварительной подготовки исходных данных;
- предварительной обработки ЦС;
- формирования мозаичных изображений из разновременных перекрывающихся снимков;
- привязки и трансформирования ЦС и ЦКМ;
- специальной обработки изображений (обработки многозональных снимков, стереообработки изображений и др.);
- тематического дешифрирования;
- формирования фотодокументов;
- формирования тематических карт;
- прямого обновления ЦКМ;
- геоинформационной поддержки технологий создания информационных продуктов.

Все технологии по обработке и созданию информационных продуктов, реализуемые посредством указанных модулей, опираются на единую технологическую базу данных, которая включает базы эталонов, классификаторов объектов местности, условных знаков и шрифтов, дешифровочных признаков и др.

## **2. Базовые технологии создания информационных продуктов**

В зависимости от вида получаемой выходной продукции выделено четыре технологических маршрута (ТМ) обработки данных ДЗЗ и ЦКМ:

ТМ1 – получение ЦС заданного уровня обработки;

ТМ2 – получение фотодокументов (фотосхем, фотопланов, ортофотопланов) и тематических карт;

ТМ3 – прямое обновление ЦКМ по данным ДЗЗ;

ТМ4 – создание ЦИМ.

### ***2.1. Технологический маршрут ТМ1***

Технология получения ЦС заданного уровня обработки реализуется с помощью технологических систем, входящих в АТС-ТО: первичной обработки данных ЦФС-ЛМ (уровни «А»–«D») и

тематического дешифрирования АТС-ТД (уровни «В», «С»). Полученные изображения заданного уровня обработки помещаются в базу данных средствами АТС-БДЦИМ с соответствующим паспортом снимка (рис. 2).

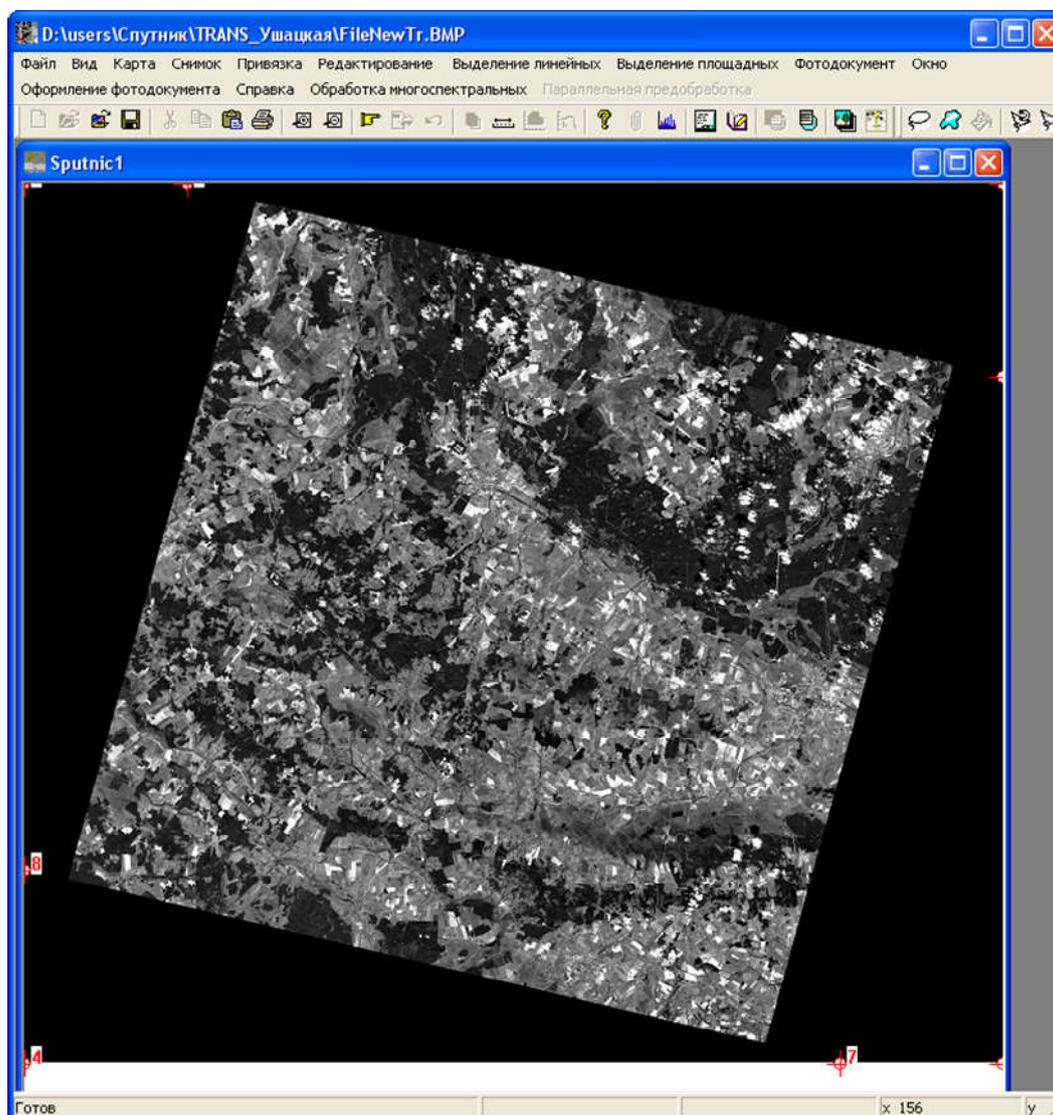


Рис. 2. ЦС, обработанный до уровня «В»

## 2.2. Технологический маршрут ТМ2

ТМ2 предназначен для получения цифровых фотодокументов и тематических карт по материалам аэрокосмической съемки и ЦКМ [9], при этом могут использоваться как стереоскопические, так и одиночные снимки. Технология маршрута ТМ2 реализуется на основе двух систем: ЦФС-ЛМ и АТС-ТД – и включает следующие основные блоки операций:

- получение необходимой информации из базы данных;
- предварительную обработку ЦС;
- формирование тематической нагрузки по ЦС и оформление тематической карты;
- помещение цифрового фотодокумента или тематической карты в базу данных.

Операции предварительной обработки включают стандартные функции улучшения ЦС. Это функции геометрических преобразований, коррекции изображений, подавления шумов. Геометрические преобразования включают функции масштабирования, поворота, инверсии и зеркального отражения. Модуль коррекции изображений включает функции компенсации линейных и нелинейных искажений. Для фильтрации и сглаживания маскирующего изображения

ЦС низкочастотного шума используются методы цифровой обработки, основанные на операциях свертки с шумоподавляющими фильтрами, а также функции, нормирующие яркостно-контрастные характеристики изображения (рис. 3).

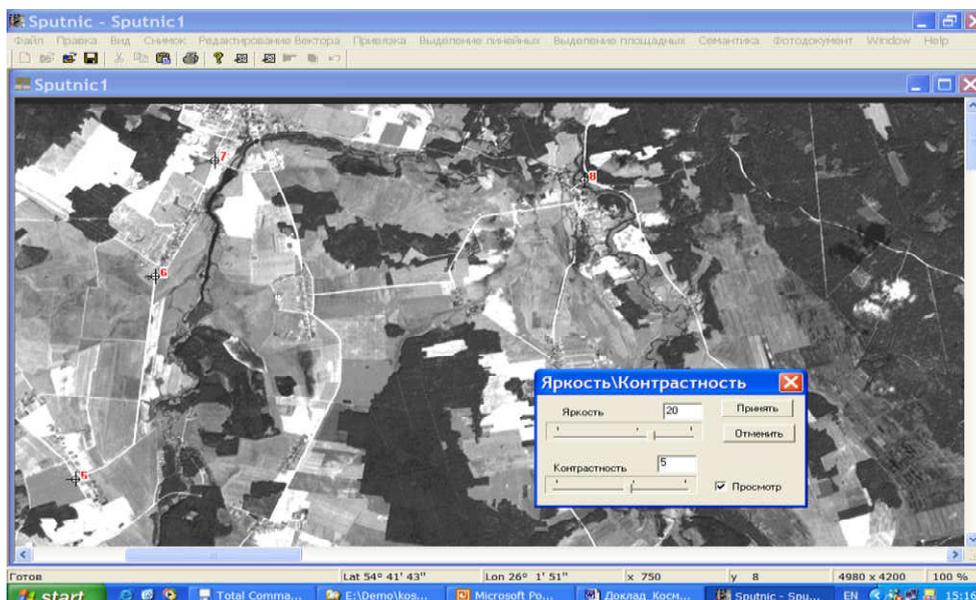


Рис. 3. Пример операции улучшения яркостно-контрастных характеристик ЦС

Привязка и ортотрансформирование снимков обеспечивают привязку ЦС к ЦКМ и преобразование систем координат с учетом поправок на рельеф. Задача решается путем определения параметров пространственного преобразования по известным координатам опорных точек (рис. 4).

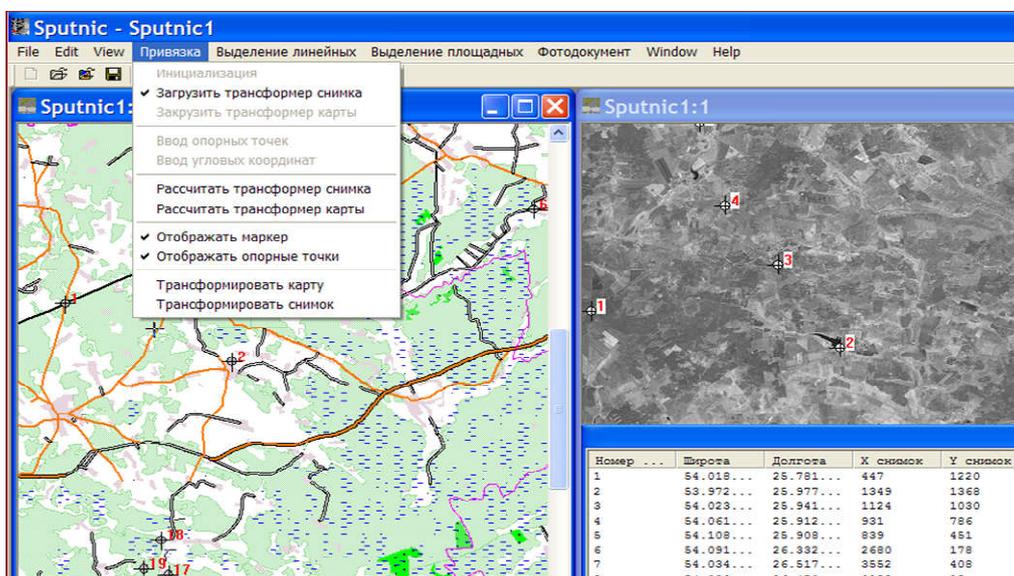


Рис. 4. Привязка ЦС к ЦКМ по опорным точкам

Элементы внешнего ориентирования снимков для ортотрансформирования берутся из результатов фотограмметрической обработки ЦС в ЦФС-ЛМ. Информация о рельефе для ортотрансформирования может быть получена также по уже имеющимся ЦКМ. Процедура ортотрансформирования выполняется для каждого снимка, покрывающего требуемый номенклатурный лист или район работ с заданными границами.

На следующем этапе фрагменты ортотрансформированных изображений сшиваются в единое изображение – фотоплан. При сшивке соседних фрагментов выполняется автоматическое выравнивание яркости изображения. При необходимости могут быть выполнены операции автомати-

ческого и интерактивного дешифрирования ЦС с целью выделения определенных объектов (рис. 5). По результатам обработки формируются тематические слои с заданным классом объектов в векторной форме, которые могут редактироваться средствами специального картографического редактора.

Для получения цифровой фотокарты на фотоплан переносится часть векторной информации из ЦКМ. Технология включает также формирование зарамочного оформления и легенды фотодокумента или тематической карты (рис. 6).

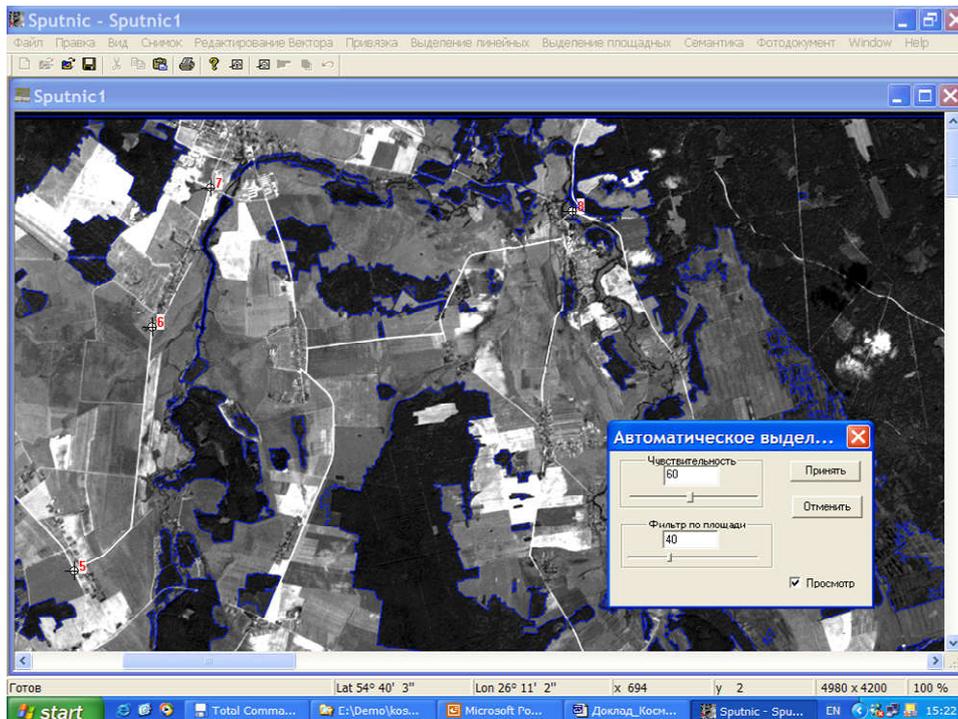


Рис. 5. Автоматическое выделение площадных объектов

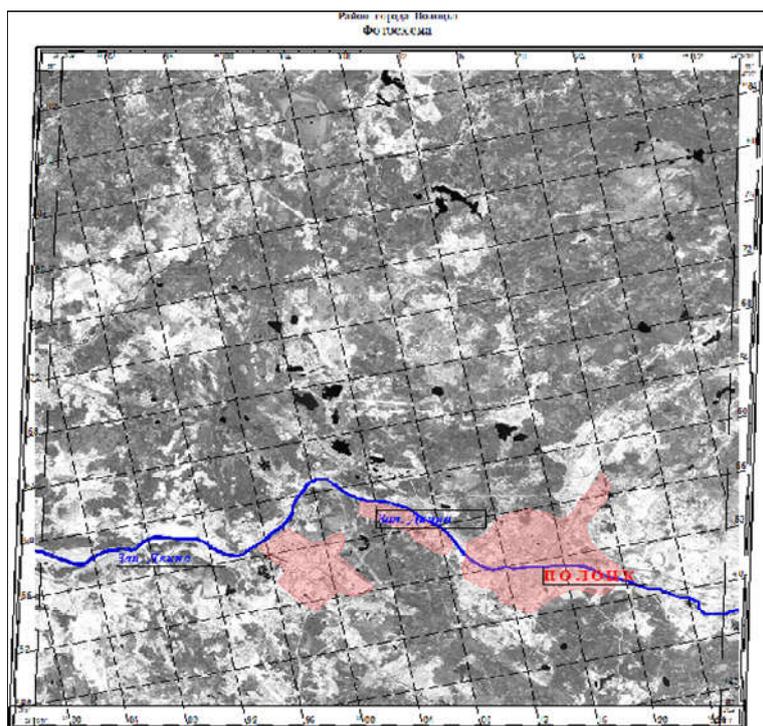


Рис. 6. Пример фотодокумента (фотосхемы)

### 2.3. Технологический маршрут ТМ3

Обновление ЦКМ выполняется по одиночным ЦС и фотодокументам, составленным по материалам космической съемки в ТМ2 либо полученным с аналогичных цифровых фотограмметрических систем (ЦФС) в формате BMP или TIFF [7, 10]. В процессе обновления контурной части содержание цифровой карты приводится в соответствие с ЦС и устраняются обнаруженные ошибки в изображении форм рельефа (если рельеф был получен на ЦФС). В процессе обновления ЦКМ исключаются отсутствующие на снимке объекты, включаются вновь появившиеся, корректируются форма или семантика существующих объектов. Операции выделения изменений на местности выполняются с использованием средств автоматической и интерактивной классификации объектов ЦС с использованием ЦКМ и базы эталонов. По результатам обработки формируются объекты заданного класса в векторном формате.

Полученный массив изменений трансформируется в систему координат ЦКМ и передается в АТС-КО для обновления ЦКМ (рис. 7).

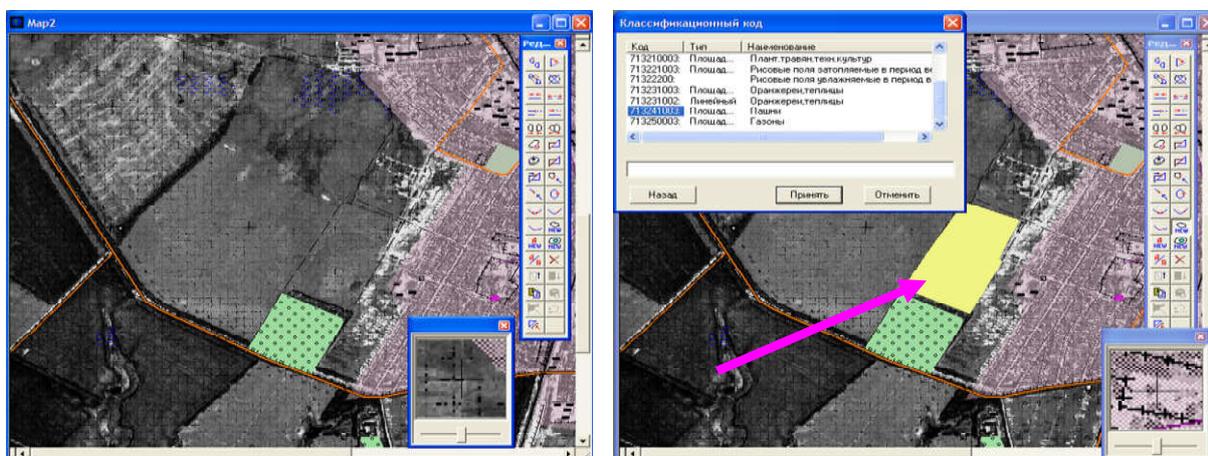


Рис. 7. Пример обновления ЦКМ

### 2.4. Технологический маршрут ТМ4

ТМ4 обеспечивает получение ЦИМ по цветным тиражным оттискам, черно-белым оригиналам топографических и специальных карт, цифровым снимкам, а также получение ЦИМ на произвольный район путем сшивки отдельных ЦКМ. Технология реализуется средствами АТС-КО и АТС-ТД.

В технологии создания ЦИМ по исходным картматериалам реализуется полный технологический цикл формирования векторных моделей ЦКМ [6, 7], который включает операции ввода исходных изображений и предварительной обработки растровой информации, предварительного структурирования и автоматизированного формирования векторного описания объектов изображения, формирования объектно-ориентированного описания изображения, контроля и редактирования цифровой модели местности.

Технология формирования ЦИМ на заданный район включает такие операции, как сшивка номенклатурных листов цифровых карт, отбор объектов по заданным ключам, разграфка изображения и формирование цифровой модели в заданной системе координат, проекции и формате [11].

Кроме перечисленных выше базовых информационных технологий обработки данных ДЗЗ, в НК БКСДЗ включен ряд технологий, обеспечивающих целевую обработку данных ДЗЗ:

- мониторинг мелиоративных систем;
- мониторинг динамики природных экосистем;
- оценку состояния лесных насаждений;
- обнаружение тепловых аномалий по ЦС;
- мониторинг паводков и наводнений.

### Заключение

Разработанные технологии обработки информации в НК БКСДЗ должны обеспечить комплексную обработку данных ДЗЗ в интересах различных пользователей космической информации. Технологические системы АТС-КО, АТС-ТД и АТС-БДЦИМ прошли первый этап приемочных испытаний в составе НК БКСДЗ, на котором решались задачи по лесному и городскому кадастрам с использованием снимков высокого и сверхвысокого разрешения, полученных с КА «Монитор-Э» (Россия), IRS (Индия), Ikonos (США), Landsat (США) и Quickbird (США). Испытания показали, что базовые технологии могут обеспечивать обработку данных ДЗЗ в интересах различных пользователей.

### Список литературы

1. Системы и технологии приема, обработки и распространения данных дистанционного зондирования Земли Росавиакосмоса / Л.А. Макриденко [и др.] // Исследование Земли из космоса. – 2001. – № 6. – С. 31–40.
2. Кравцова, В.И. Снимки сверхвысокого разрешения – новый комплект фонда цифровых космических снимков / В.И. Кравцова // Геодезия и картография. – 2004. – № 7. – С. 17–26.
3. Использование детальной цифровой космической информации в интересах Роскартографии (первый отечественный опыт – космический аппарат «Монитор-Э») / И.А. Глазкова [и др.] // Геодезия и картография. – 2006. – № 4. – С. 42–48.
4. Сухих, В.И. Функциональная структура космического сегмента мониторинга лесов России / В.И. Сухих // Исследование Земли из космоса. – 2001. – № 3. – С. 61–76.
5. Киенко, Ю.П. Об использовании цифровой космической информации для целей картографирования / Ю.П. Киенко, В.А. Горелов // Геодезия и картография. – 2002. – № 1. – С. 5–11.
6. Абламейко, С.В. Географические информационные системы. Создание цифровых карт / С.В. Абламейко, Г.П. Апарин, А.Н. Крючков. – Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2000. – 276 с.
7. Абламейко, С.В. Информационные технологии создания и обновления цифровых и электронных карт местности / С.В. Абламейко, А.Н. Крючков // Информатика. – 2004. – № 2. – С. 86–93.
8. Крючков, А.Н. Автоматизированная технологическая система тематического дешифрирования: программные средства и технологии создания информационных продуктов на основе данных ДЗЗ / А.Н. Крючков, Л.Н. Соболев, Е.Е. Сотикова // Материалы Второго Белорусского космического конгресса. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – С. 224–229.
9. Создание тематических карт на основе данных дистанционного зондирования и цифровых карт / А.Н. Крючков [и др.] // Искусственный интеллект. – № 2. – С. 328–331.
10. Грузинов, В.С. Обновление цифровых топографических карт по материалам космической фотосъемки / В.С. Грузинов // Геодезия и картография. – 2002. – № 1. – С. 15–18.
11. Технология формирования электронной карты местности на территорию произвольной конфигурации / А.Н. Крючков [и др.] // Цифровая обработка изображений. – Вып. 5. – Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2001. – С. 39–47.

Поступила 18.06.07

<sup>1</sup>Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,  
Минск, Сурганова, 6  
e-mail: abl@newman.bas-net.by

<sup>2</sup>УП «Геоинформационные системы»  
НАН Беларуси,  
Минск, Сурганова, 6  
e-mail: Zolotoy@itk2.bas-net.by

**S.V. Ablameyko, S.A. Zolotoy, A.N. Kryuchkov, O.A. Semenov**

**GROUND COMPLEX OF BELARUSIAN SPACE SYSTEM:  
TECHNOLOGIES OF REMOTE SENSING DATA PROCESSING**

Ground-based complex of Belarusian space system is considered in. The developed technologies for receiving, storing and processing of remote sensing data are described. The processes of preparing and delivering the required information to customers are described.