

Методика съемок и построение крупномасштабных картосхем зон чрезвычайных ситуаций по данным АСК–ЧС

А.А. Казак, Л.В. Катковский, Н.А. Кейдо,
Т.М. Курикина, А.В. Роговец, С.В. Хвалей

*НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко Белгосуниверситета
ул. Курчатова, 7, 220180, Минск, Беларусь
E-mail: remsens@niks.by*

Описана методика авиационных съемок с использованием разработанной и созданной авиационной системы контроля обстановки в зоне чрезвычайных ситуаций и последствий от них (АСК–ЧС). Рассмотрены методы совмещения изображений различных зон спектра, тематической обработки синтезированных изображений. Предложена методика построения многослойных крупномасштабных картосхем. Представлены примеры использования данных тепловой ИК–съемки системы АСК–ЧС.

Ключевые слова: авиационная съемка, контроль чрезвычайных ситуаций, совмещение изображений, классификация изображений, картосхема.

Характеристики авиационной системы АСК–ЧС

В НИИ прикладных физических проблем Белгосуниверситета по заказу МЧС РБ разработана и создана авиационная система контроля зон чрезвычайных ситуаций и последствий от них АСК–ЧС [1].

В состав АСК–ЧС, устанавливаемой на специально оборудованном самолете АН-2 МЧС РБ входят: блок оптических датчиков; блок обработки информации; специальное программное обеспечение. Блок оптических датчиков состоит из: модуля зональной съемки (МЗС), предназначенного для съемки в 3-х узких спектральных диапазонах с высоким пространственным разрешением; модуля обзорной съемки (МОС); модуля инфракрасной съемки (МИК) для съемки в диапазоне длин волн 7,5 – 13 мкм; модуля трассовой съемки (МТС) для обеспечения визуальной навигации самолета; модуля координатной привязки (МКП).

На основании анализа и обобщения спектральных и поляризационных характеристик отраженного излучения исследуемых объектов [2] для модуля зональной съемки с учетом спектральной чувствительности его камер предложены различные сменные кассеты светофильтров, применяемых в зависимости от поставленных задач (исследование растительного покрова, водных поверхностей, исследование растительности при низкой освещенности, оценка последствий пожаров, наводнений, вырубок, утечек из нефте– и продуктопроводов).

Блок обработки информации выполняет задачи управления параметрами и процессом съемки; приема, записи и хранения спектральнозональных и обзорных изображений, снимков ИК–камеры и данных координатной привязки зоны съемки; визуализации результатов съемки на мониторе бортового компьютера.

Несмотря на то, что существует много различных программ, предназначенных для обработки и представления полученной информации в виде тематических карт исследуемых объектов (RSI ENVI, ERDAS Imaging, eCognition и др.), для решения конкретных задач системой АСК–ЧС разработано специальное программное обеспечение, позволяющее избежать избыточной функциональности указанных программных пакетов и сделать процесс построения картосхем более гибким, быстрым, адаптированным к данным АСК–ЧС.

В результате анализа и тестов были выбраны наиболее быстрые и точные алгоритмы, удовлетворяющие поставленным задачам.

Интерфейс программного обеспечения разработан исходя из удобства его использования конечным пользователем.

Методика съемки АСК-ЧС



Рис. 1. Методика авиационных съемок, блок-схема

– построение географически «привязанных» многослойных картосхем зон чрезвычайных ситуаций и их последствий (могут быть представлены такие слои, как мозаики спектральных изображений и ИК-снимков, температурные карты, векторные контурные карты, полученные с помощью методов классификации с обучением).

Этап I. Подготовка к проведению авиационных измерений

1.1. Нанесение объектов съемки на карту. При подготовке маршрутных данных (конфигурации трасс полета) используются имеющиеся в наличии ретроспективные космические снимки на территорию съемки, топографические карты и картосхемы. На имеющемся

Разработанная методика авиационных съемок, блок-схема которой представлена на рисунке 1, включает пять этапов.

Особое внимание при обработке данных уделяется следующим задачам:

– совмещение изображений различных зон спектра (каналов), включая совмещение кадров, снятых в видимом диапазоне, со снимками в ИК-диапазоне;

– построение мозаик синтезированных (псевдоцветных) изображений по координатным данным GPS с последующей коррекцией по координатам отдельных опорных точек;

– быстрая тематическая обработка полученных изображений (используются традиционные методы классификации с обучением, эталонные участки определяются с использованием наземных данных или на основе визуального анализа изображений);

– построение картосхем тепловых полей пожаров в целях оценки ущерба, теплотрасс и нефте- и продуктопроводов в целях диагностики их состояния и обнаружения аварийных ситуаций;

– расчет площадей зон чрезвычайных ситуаций;

картографическом материале отмечаются все планируемые к измерениям объекты и территории, определяются и наносятся их географические координаты.

1.2. Определение параметров полета и прокладка съемочных трасс. С учетом погодных условий предстоящей съемки (возможных освещенностей), времени съемки и стоящих задач определяются следующие параметры съемки:

- скорость носителя;
- высота полета;
- размеры кадра и поля зрения всех съемочных модулей на Земле (рассчитываются);
- процент перекрытия кадров спектрозональной камеры вдоль трассы и между трассами;
- выбор зон спектра для спектрозональной камеры (кассеты со светофильтрами);
- временные экспозиции спектрозональной и обзорной камер, а также скважность (межкадровые временные промежутки) и допустимый смаз.

С учетом расположения объектов съемки, полосы захвата и заданных продольных и боковых перекрытий кадров рассчитываются количество и конфигурация трасс полета (направления, длина гона, поворотные точки, межтрассовые расстояния), которые наносятся на крупномасштабную карту или картосхему с координатной сеткой, используемую затем штурманом для подготовки полетных данных. Подготовленная таким образом картосхема с наложенной при необходимости дополнительной текстовой и цифровой информацией (например, дата, параметры съемок и т. д.) выводится на печать. В случае необходимости планируется несколько эшелонов (высот) съемки.

Этап II. Проведение авиационных измерений

2.1. Штурманская подготовка полетов включает ознакомление штурмана (пилота) с первичной маршрутной картосхемой и подготовку штурманских данных для полетов: выбор способа проведения съемки (галсов), подготовку и проверку работоспособности навигационного оборудования.

Способ разведки «параллельное галсирование» применяется для обследования значительной площади последовательно одним самолетом.

2.2. Установка и проверка съемочной аппаратуры на борту носителя, пробное включение и тестирование всего комплекса аппаратуры.

2.3. Проведение съемок. Старт на запись обзорных и спектрозональных изображений дается в начале каждой трассы и останавливается в конце трассы при заходе самолета на разворот. В процессе съемок оператор в реальном времени просматривает текущие изображения и спектры, выводимые на монитор, с целью контроля процесса регистрации данных. Штурман (пилот) должен контролировать отклонения трасс полета от запланированных и осуществлять необходимую коррекцию курса самолета.

Этап III. Предварительная обработка данных

3.1. Перенос данных на сервер обработки. Полученные АСК–ЧС данные переписываются на лабораторный (стационарный) комплекс обработки, распаковываются архивы.

3.2. Предварительная обработка изображений. Проводится обработка обзорных и спектрозональных изображений, корегистрация каналов, построение композитов, спектральная и пространственная подвыборки, ресемплирование, контрастирование, преобразование форматов, построение мозаик изображений трасс и полигона в целом.

Сложность получения синтезированного (псевдоцветного) изображения путем наложения одного кадра на другой кадр того же участка земной поверхности обусловлена отсутствием точной пространственно-временной синхронизации съемки различных каналов, как из-за особенностей поступления и обработки команд с блока электроники, так и наличия случайных

колебаний при полете авианосителя (крен, тангаж, рыскание). Основное назначение корегистрации – точное попиксельное совмещение снимков. Корегистрация производится на основе алгоритма, который является модификацией метода, предложенного в [3]. Чтобы компенсировать нелинейные искажения, поворот и изменение масштаба, изображения разбиваются на несколько прямоугольных сегментов, которые совмещаются отдельно, и затем производится сшивка полученных синтезированных сегментов. Данный алгоритм позволил достичь погрешности совмещения изображений в 1 пиксель.

Т.к. поля зрения камер МЗС и МИК и их пространственные разрешения значительно отличаются друг от друга, процесс совмещения синтезированных изображений видимого диапазона со снимками ИК-диапазона состоит из двух стадий. Сначала по данным полета и характеристикам камер рассчитывается коэффициент масштабирования и диапазоны смещения, затем используется тот же алгоритм, что и при корегистрации снимков спектральнозональных камер.

Аппаратно-программная реализация АСК-ЧС позволяет регистрировать как распределение радиационных контрастов в тепловом ИК-диапазоне, так и измерение истинных термодинамических температур. Поэтому при масштабировании ИК-снимков необходимо изменять оба массива данных. С помощью алгоритмов интерполяции данных в совмещенных синтезированных изображениях возможно определять температуру в каждой точке (пикселе).

Таким образом, полученные синтезированные снимки представляют собой четырехканальные псевдоцветные изображения, которые можно использовать для решения следующих задач:

- тематическая обработка изображений по данным четырех каналов с использованием методов классификации с обучением;
- определение температур в заданных точках картосхем мозаичных изображений;
- визуализация обнаруженных с помощью инфракрасной камеры чрезвычайных ситуаций.

Этап IV. Тематическая обработка данных

4.1. Формирование обучающих выборок. Составление описаний объектов для тематического поиска. Обучающие выборки для проведения управляемой классификации изображений могут задаваться по имеющимся в базе данных эталонным спектрам объектов (с соответствующей их подвыборкой по используемым при съемке спектральным каналам) либо путем задания «областей интереса» на изображениях по имеющейся наземной или иной дополнительной информации.

4.2. Классификация объектов изображений, расчет площадей. Проводится тематическая классификация с обучением изображений на основе заданных классов (обучающих выборок), подсчитываются площади различных классов. Классифицированные изображения записываются на диск.

Благодаря совмещению спектральнозональных изображений с ИК-снимками стало возможно проводить тематическую обработку изображений по четырехмерному пространству признаков. С помощью ИК-снимков также возможно отличать области, сходные по спектральным характеристикам, но различные по температуре.

Тематическая классификация осуществляется методами попиксельной классификации с обучением. При этом используются различные варианты (в зависимости от характера данных и поставленных задач) определения межклассовых расстояний (метрик) и задания решающих правил (функций), например: параллелепипеда, минимального расстояния, максимального правдоподобия, спектрального угла и др. [4].

В результате процесса классификации получается картосхема с выделенными на ней замкнутыми областями различных типов, по которой рассчитываются площади объектов, в

том числе площади зон, пострадавших от чрезвычайных ситуаций – пожаров, наводнений, утечек из нефте- и продуктопроводов.

Для векторизации полученных растровых мозаик в автоматическом режиме на основе данных тематической обработки строятся контуры различающихся областей (например, участок леса, пашни, озера). Векторная карта представляется в виде совокупности многоугольников заданных типов. Для каждой вершины многоугольника рассчитываются географические координаты. Таким образом, векторная карта является масштабируемой и легко совместимой с мозаиками изображений видимого диапазона и картами тепловых полей. Кроме того, на векторную карту могут быть нанесены названия географических объектов и другая дополнительная информация.

Этап V. Оформление результатов съемки

5.1. Координатная привязка мозаик изображений. Для точной координатной привязки площадных мозаичных изображений используются как данные GPS системы АСК-ЧС (со специальной процедурой интерполяции), так и уточняющая привязка по отдельным точкам изображений на имеющихся космических снимках и электронных картах.

5.2. Построение картосхем отснятых территорий является окончательным этапом обработки данных авиационной системы АСК-ЧС. В программном комплексе реализовано построение следующих слоев:

- слой мозаики синтезированных изображений спектральнональных камер;
- слой мозаики снимков ИК-камеры;
- слой векторной карты контуров областей и дополнительной информации;
- слой температур;
- слой масок, полученных с помощью тематической обработки;
- слой координатной сетки;
- слой топографической основы.

Все слои связаны между собой посредством географической привязки. В качестве топографической основы могут загружаться различные векторные карты, растровые электронные карты, «геопривязанные» изображения Земли из космоса.

5.3. Архивирование данных, печать картосхем. Полученная и обработанная видеоинформация заносится в соответствующие разделы формируемых по территориям архивов (базы данных, ГИС) в виде изображений, картосхем, карт-изображений, векторных слоев с необходимой сопутствующей информацией. Необходимые для отчетности картосхемы выводятся на печать.

Апробация результатов. Тепловая ИК-съемка

Тепловая инфракрасная аэросъемка является высокопроизводительным методом контроля различных теплотрасс и продуктопроводов. Тепловой след от продуктопровода регистрируется в тепловом поле на поверхности Земли в виде узких линейных аномалий различной интенсивности и размеров. Аномалии имеют положительный знак и в тепловом поле отображаются белым тоном на цифровом изображении. Параметры аномалий (уровень контраста и ширина теплового следа) зависят от диаметра и глубины заложения теплопровода, его температуры, теплопроводности перекрывающих грунтов, состояния излучающей поверхности.

Авиационные съемки системой АСК-ЧС проводились для различных объектов природно-техногенной сферы. В частности трассовая съемка на большом протяжении участка продуктопровода «Дружба» в Гомельской области, наиболее характерные кадры которой для теплового ИК-канала приведены на рисунке 2.

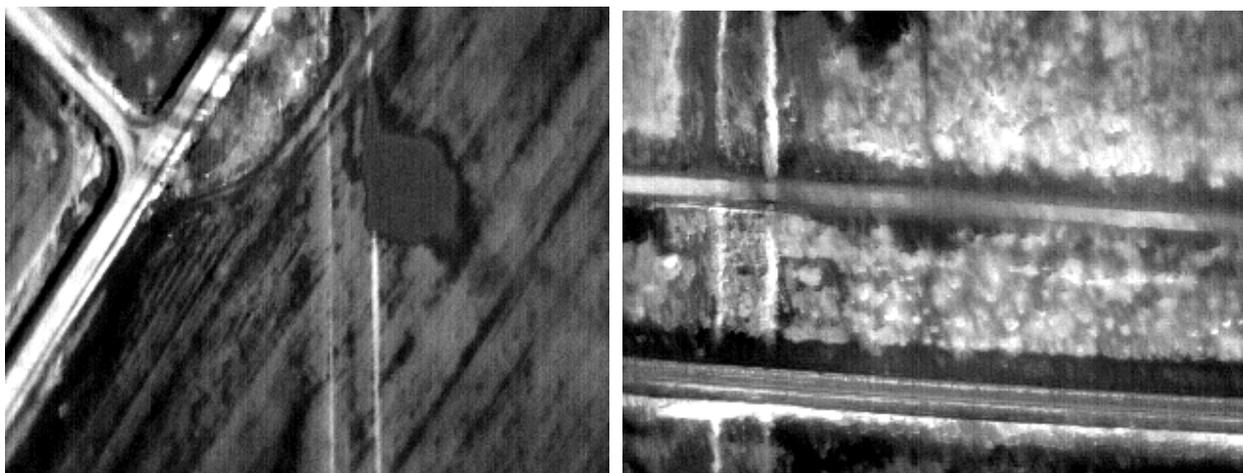
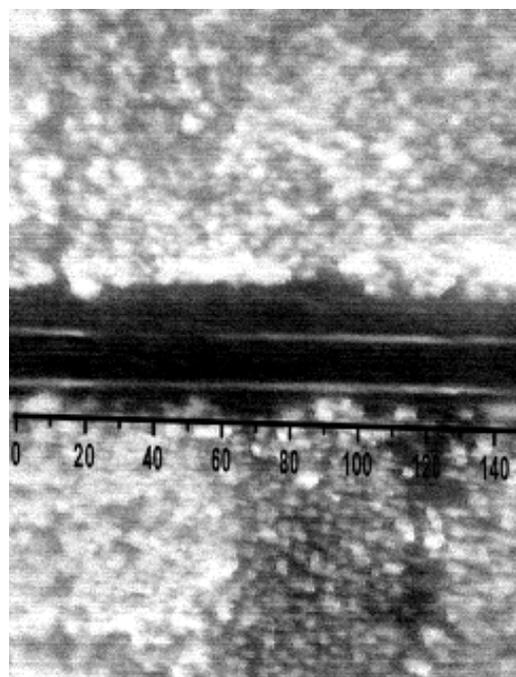


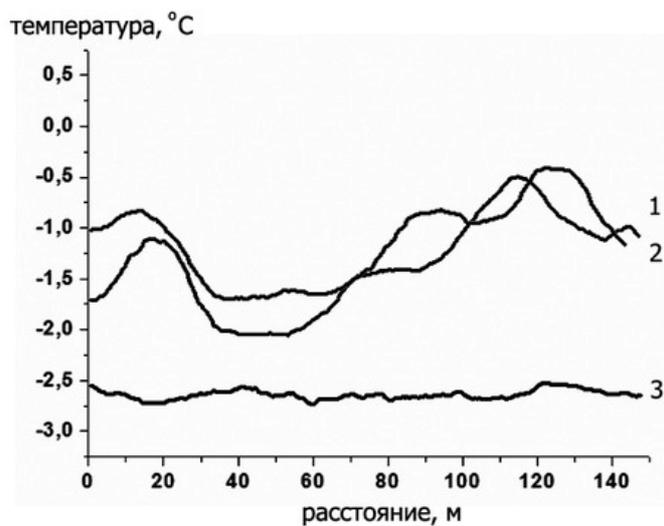
Рис. 2. Отдельные кадры тепловой ИК-съемки подземного продуктопровода «Дружба» в Гомельской области, 01.02.2008 г. (разрешение на местности 0,60 м, ширина кадра – 220 м, высота кадра – 145 м)

Полученные тепловые изображения показывают очень хорошую тепловую заметность подземного продуктопровода по его тепловому следу на поверхности Земли. Ширина и яркость теплового следа несут информацию, как о температуре продуктопровода, так и о его глубине залегания и зависят от диаметра трубы и типа почвы (ее теплопроводности или теплового сопротивления и теплоемкости).

Зарегистрированные радиационные потоки в тепловом канале 7,5–13 мкм пересчитывались в температуры с учетом параметров тепловизора и атмосферы. Для изображений температуры строились пространственные профили температурных полей для наземного теплового следа трубопровода (отдельно для каждой нитки трубопровода), а также для прилегающего грунта (вдоль трубы). Отдельные профили показаны на рисунке 3.



а)



б)

Рис. 3. ИК-изображение и график температур для наземного теплового следа трубопровода:
 а) ИК-изображение теплового следа подземного трубопровода со шкалой расстояния в метрах;
 б) температурные профили вдоль направления трубы: 1 – нижняя труба, 2 – верхняя, 3 – межтрубный грунт

При известной глубине залегания трубы в отдельных точках трубопровода такие температурные профили позволяют рассчитывать глубину залегания трубопровода. С другой стороны, анализ температурных профилей при наличии некоторой дополнительной информации позволяет выявлять места обводнения, подтопления грунтовыми водами, а также существующие небольшие постоянные утечки, которые не регистрируются по параметрическим данным работы трубопровода.

Тепловая ИК-съемка отдельных промышленных объектов, жилых домов в холодное время года позволяет эффективно обнаруживать нежелательные утечки тепла и принимать меры к их ликвидации. Высокое разрешение современных тепловизоров по температуре и по пространству в сочетании с данными спектральной и видео съемки позволяют эффективно решать задачи мониторинга сложных технических систем и объектов. Картограммы тепловых изображений природно-техногенных объектов и построенные на их основе профили тепловых полей являются незаменимыми инструментами при экспрессной дистанционной диагностике таких объектов, выявлении по температуре скрытых дефектов и отклонений от нормального их функционирования.

Литература

1. *Беляев Б.И., Беляев Ю.В., Веллер В.В., Катковский Л.В., Казак А.А., Курикина Т.М., Сосенко В.А., Роговец А.В., Хвалей С.В.* Аппаратно-программный комплекс АСК-ЧС для авиационного мониторинга зон чрезвычайных ситуаций // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сб. научн. статей.* М.: ООО «Азбука-2000», 2008. Вып. 5. Т. I. С. 235–242.
2. *Беляев Б.И., Катковский Л.В.* Оптическое дистанционное зондирование. Минск: Белорусский государственный университет, 2006. 455 с.
3. *Аксенов О.Ю.* Совмещение изображений // *Цифровая обработка сигналов*, 2005. № 3. С. 51-55.
4. *Кашкин В.Б., Сухинин А.И.* Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие. М.: Логос, 2001. 275 с.

Emergency situations surveying technique and large scale image map construction according to the data from AMS-ES

A.A. Kazak, L.V. Katkovsky, N.A. Keido, T.M. Kurikina, A.V. Rogovets, S.V. Khvaley

Research Institute of Applied Physical Problems named after A.N. Sevchenko of Belarusian State University

E-mail: remsens@niks.by

Describes airborne surveying technique using Aviation Monitoring System of Emergency Situations (AMS-ES). Considers multispectral image stitching methods and thematic processing algorithms. Suggests large scale image map construction technique. Presents the examples of AMS-ES IR-survey data usage.

Keywords: airborne survey, emergency situations monitoring, image stitching, image classification, image map.