

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОУ ВПО «СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

## **ГЕО-СИБИРЬ-2008**

### **Т. 3**

**ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ  
И ФОТОГРАММЕТРИЯ, МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ, ГЕОЭКОЛОГИЯ**

### **Ч. 1**

Сборник материалов  
IV Международного научного конгресса

Новосибирск  
СГГА  
2008

УДК 502:528.7  
С 26

Ответственные за выпуск:  
координаторы направления  
«Дистанционные методы зондирования Земли  
и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»  
Доктор технических наук, профессор, проректор  
по научной работе СГГА, г. Новосибирск

*А.П. Гук*

Доктор технических наук, профессор, проректор по учебно-методической  
работе Московского государственного университета геодезии и картографии  
(МИИГАиК), г. Москва

*И.Г. Журкин*

Доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН,  
директор Института вычислительной математики и математической  
геофизики СО РАН, г. Новосибирск

*Б.Г. Михайленко*

С 26 ГЕО-Сибирь-2008. Т. 3. Дистанционные методы зондирования Земли  
и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. Ч. 1 : сб.  
матер. IV Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2008», 22–24 апреля 2008  
г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 132 с.

ISBN 978-5-87693-277-8 (т. 3, ч. 1)  
ISBN 978-5-87693-271-6

В сборнике опубликованы материалы IV Международного научного  
конгресса «ГЕО-Сибирь-2008» направления «Дистанционные методы  
зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды,  
геоэкология».

Печатается по решению Редакционно-издательского совета СГГА

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 502:528.7

ISBN 978-5-87693-277-8 (т. 3, ч. 1)  
ISBN 978-5-87693-271-6

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная  
геодезическая академия», 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

Куценогий К.П., Молородов Ю.И. Исследование динамики изменения концентрации атмосферных аэрозолей с помощью метода Wavelet-функций.....	7
Байков К.С. Мониторинг почвенных ресурсов Новосибирской области: новые подходы.....	15
Бучнев А.А., Пяткин В.П. Программная технология определения пространственных перемещений объектов по данным дистанционного зондирования Земли.....	20
Алябьев А.А., Кобзева Е.А., Серебряков С.В. Особенности мониторинга городских территорий по космическим снимкам сверхвысокого разрешения.....	30
Любимцева С.В. Перспективные направления развития космических систем дистанционного зондирования Земли из космоса .....	41
Евстратова Л.Г. «СГГА-СОВЗОНД» – инновационный научно-образовательный центр.....	44
Гук А.П. Кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования – 65 лет .....	48
Коркин В.С. Экспериментальные исследования стереоплоттера SDS с использованием цифровых макетных снимков.....	55
Гиенко Г.А., Левин Е.Л. Количественный анализ визуального восприятия геопространственной информации .....	58
Громько О.Б., Димитрюк В.С. Обработка современных данных дистанционного зондирования с помощью программного обеспечения Geomatica 10 (PCI Geomatics, Канада) .....	65
Кобзева Е.А. Информационные свойства космических снимков сверхвысокого разрешения в свете градостроительных задач.....	73
Колесникова О.Н. Программные решения компании «Совзонд» для обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли... ..	77
Антипов И.Т. Замечания к способу калибровки камер по разномасштабным снимкам плоского полигона.....	80
Гук А.П., Йехиа Хассан Мики Хассан. Особенности выполнения лётно-съёмочных работ для мониторинга крупных технических сооружений .....	87
Хлебникова Т.А. Технологические проблемы построения измерительных трехмерных видеосцен по данным ЦММ.....	92
Кузнецов Ю.И., Мазуров Б.Т., Никитина Ю.В. Математическая модель волноводов в Земной коре .....	98
Борзых М.В. Анализ результатов использования разностного изображения для регионального мониторинга территорий.....	103
Медведев Е.М. Современные тенденции развития цифровой аэрофототопографии в России.....	109

Ессин С.С. Постановка задачи обработки фотограмметрических сетей из аэрофотоснимков, полученных с беспилотного летательного аппарата, на основе метода связок.....	113
Гук А.П., Евстратова Л.Г. Планирование экспериментальных работ по исследованию автоматизированных технологий дешифрирования многозональных космических снимков .....	116
Хлебникова Е.П. Автоматизированное определение типовых участков местности на примере курганов Алтая.....	125
Попов Р.А. Возможность классификации изображений с использованием сферического базиса .....	130
Лисицкий Д.В., Колоткин М.Н., Комиссарова Е.В., Ракунов В.А., Колесников А.А., Фишер А.В. Эволюция историко-картографического метода исследования исторических процессов в связи с применением мультимедийных методов.....	134
Лазерко М.М. Анализ современных средств для создания трехмерных моделей по различным данным .....	138
Алферова А.С. Анализ методов формирования 3D ландшафтных карт с использованием материалов аэрокосмических съемок.....	142

## CONTENTS

Koutsenogii K., Molorodov Yu. The moving forces and trends of the change to concentrations of the atmospheric aerosols with the wavelet-function method.....	7
Baykov K.S. Soil resources monitoring in Novosibirsk region: new approaches .....	15
Buchnev A.A., Pyatkin V.P. Software determination of objects spatial motion by the Earth remote sensing data .....	20
Alyabiev A.A., Serebriakov S.V., Kobzeva E.A. Some characteristics of monitoring urban areas on the basis of very high resolution satellite imagery.....	30
John Trinder. Recent developments in international remote sensing and GIS markets .....	37
Lyubimtseva S.V. Promising trends in development of space systems for remote sensing of the Earth.....	41
Yevstratova L.G. «SSGA-SOVZOND» – innovation scientific-and-educational centre .....	44
Guk A.P. Photogrammetry and remote sensing department is 65 years old .....	48
Korkin V.S. Experimental investigations of SDS plotter using digital model shots.....	55
Gienko G.A., Levin E.L. Numerical assessment of visual perception of geospatial data.....	58
Gromyko O.B., Dimitryuk V.S. Processing of satellite data with Geomatica 10 software (PCI Geomatics, Canada).....	65
Kobzeva E.A. Information characteristics of very high resolution satellite images in view of urban planning applications.....	73
Kolesnikova O.N. «SOVZOND» company program solutions for processing and analysis of the Earth remote sensing data .....	77
Antipov I.T. Comments on the methods of camera calibration against different-scales pictures of a plane polygon.....	80
Guk A.P., Yehia Khassan Mikky Khassan. Peculiarities of aerial surveys for monitoring large engineering structures .....	87
Khlebnikova T.A. Technological problems of measuring 3d video scenes development by DTM .....	92
Kuznetsov Yu.I., Mazurov B.T., Nikitina Yu.V. Mathematical simulation of waveguides in Earth's crust.....	98
Borzikh M.V. The results of using subtractive images and their analysis for regional territorial monitoring.....	103
Medvedev E.M. Development tendencies of digital aerial survey technologies .....	109
Essin S.S. Statement of the problem the processing fotogrammetry networks from airphoto, got with unmanned flying machine, on base of the method of the ligaments .....	113

Guk A.P., Yevstratova L.G. Planning of experimental works on investigation of automated technologies for multi-zone space images interpretation.....	116
Khlebnikova Ye.P. Automated determination of standard grounds, the Altai hills taken as an example .....	125
Popov R.A. Capabilities of image classification using spherical basis .....	130
Lisitsky D.V., Kolotkin M.N., Komissarova Ye.V., Rakunov V.A., Kolesnikov A.A., Fisher A.V. Evolution of historical-and- cartographical method for investigation of historical processes in the context of multimedia application .....	134
Lazerko M.M. Analysis of modern techniques for 3D models development from different data .....	138
Alfyorova A.S. Analysis of 3D landscape map-making techniques on the basis of aerial-and-satellite surveys data.....	142

УДК 551.510.3

*К.П. Куценогий, Ю.И. Молородов*

СГГА, Новосибирск

ИВТ СО РАН, Новосибирск

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА WAVELET- ФУНКЦИЙ

*K. Koutsenogii, Yu. Molorodov*

SSGA, Novosibirsk

Institute of Computational Technologies SB RAS, Novosibirsk

## THE MOVING FORCES AND TRENDS OF THE CHANGE TO CONCENTRATIONS OF THE ATMOSPHERIC AEROSOLS WITH THE WAVELET-FUNCTION METHOD

For remote processing array experimental regular measurements data of the atmospheric aerosol (AA) submicron fractions got by computerized nephelometer FAN, designed algorithms and service were developed.

Such data processing the measurements is caused systematization dug empirical rows and undertaking the statistical processing with the other component AA, for instance, organic and element carbon, element and etc.

The Proposed service will allow to reveal the round-robin regularities of the signal, as follows day allowance, month, seasonal fluctuations. He will allow also to define the local maximums of the change to concentrations of the atmospheric aerosol. Besides, the service will allow to provide the connection to removed server of keeping data, primary analysis and preparation given on server-handler and granting result analysis on base wavelet-function Naara, Dobeshi and Morle in suitable for the further use to form.

The Specified service is an important component of atlas "Atmospheric aerosols Siberia (<http://web.ict.nsc.ru/aerosol/>).

В пригородной зоне г. Новосибирска п. Ключи проводится непрерывный мониторинг пространственно-временной изменчивости массовой концентрации субмикронной фракции атмосферного аэрозоля с использованием компьютеризированного варианта нефелометра ФАН-А. Это позволяет оценивать уровень загрязнения пограничного слоя атмосферы в пригородной зоне промышленного центра юга Западной Сибири.

Измерения проводятся в течение суток с частотой одно измерение в минуту, всего 1 440 замеров в сутки. Они вносятся в массив размерности  $2 \times N$ , где  $N$  – количество произведённых измерений. Первый столбец – время произведения замера, второй – значения массовой концентрации. Данные

записываются в файл и хранятся на сервере Института химической кинетики и горения (ИХКГ) СО РАН.

Для выявления особенностей поведения значения концентрации атмосферного аэрозоля мы решили применить анализ, в основе которого лежит аппарат Вейвлет-функций [1–3]. Целью Вейвлет-анализа является выявление циклических закономерностей сигнала, таких как, например, суточные, месячные, сезонные локальные максимумы. Это позволяет оценивать уровень загрязнения пограничного слоя атмосферы в пригородной зоне промышленного центра юга Западной Сибири. Для выявления особенностей поведения состояния аэрозоля измерения проводились в течение четырех месячных серий в весенний, летний, осенний и зимний сезоны. В каждой месячной (тридцатидневной) серии пробы отбирались ежедневно.

### **Используемые Вейвлет-функции**

Вейвлет-анализ – это разложение сигнала по специальному базису. Базисные функции (вейвлеты) получаются сдвигом и масштабированием (сжатием или растяжением) одной функции – порождающего вейвлета. Как правило, вейвлетом является функция с компактным носителем, или функция, быстро убывающая на бесконечности, среднее значение которой равно нулю. В переводе с английского языка слово *wavelet* означает «маленькая волна». Такое название объясняется формой функций, используемых в вейвлет-анализе. Термин «вейвлет-анализ» по смыслу аналогичен термину «Фурье-анализ». И там и там речь идет о представлении исследуемого процесса в виде линейной комбинации различных функций, именуемых базисом соответствующего преобразования [4–9].

Для вейвлет-анализа характерно понятие масштаб (*scale*). Под масштабом следует понимать колебательные процессы различной периодичности. Низкочастотные колебания имеют более крупный масштаб, а высокочастотные – более мелкий.

Масштаб в вейвлет-анализе является в определенном смысле аналогом частоты в анализе Фурье. Однако в отличие от анализа Фурье каждому значению масштаба вейвлет-анализа соответствует, вообще говоря, бесконечное количество сдвинутых друг относительно друга локализованных в пространстве функций. Таким образом, вейвлет-анализ является частотно-пространственным, что принципиально отличает его от строго частотного анализа Фурье.

Еще одним отличием является то, что в случае вейвлет-анализа в наиболее общей постановке не конкретизируется не только сам порождающий вейвлет, но и то, какие именно его копии участвуют в разложении. Отсюда очевидно, что термин «вейвлет-преобразование» обозначает целый класс разложений, а анализ Фурье является разложением по фиксированной системе функций.

В отличие от традиционно применяемого при анализе данных преобразования Фурье, результаты, полученные с помощью вейвлет-анализа, зачастую обладают большей информативностью и способны непосредственно обрабатывать такие особенности данных, которые при традиционном подходе анализировать затруднительно.



При анализе сигнала зачастую полезно представить сигнал в виде совокупности его последовательных приближений. Так, при передаче изображения по сети можно сначала передать его грубую версию, а затем, исходя из пропускной способности канала, последовательно ее уточнять.

Многомасштабный анализ обладает целым рядом полезных свойств, главным из которых является возможность выделения из исходного сигнала его деталей различных масштабов. Вейвлет-преобразование обладает самонастраивающимся подвижным частотно-временным окном, одинаково хорошо выявляющим как низкочастотные, так и высокочастотные характеристики сигнала на разных временных масштабах.

Указанная универсальность обеспечила вейвлет-анализу широкое использование в самых различных областях знаний. Семейства анализирующих функций, называемых вейвлетами. Они применяются для изучения структуры турбулентных полей, для сжатия больших объемов информации, в задачах распознавания образов, при обработке и синтезе сигналов, например, речевых, для определения характеристик фрактальных объектов, при обработке и анализе структуры временных рядов данных.

#### **Методика анализа временных рядов**

Следуя [1] опишем основные принципы анализа временных рядов. Вейвлет-преобразование  $Wf(x, a)$  одномерного сигнала  $f(t)$  заключается в его разложении по базису, сконструированному из некоторой специальной функции (вейвлета) –  $\Psi(t)$  посредством масштабных изменений  $a$  и переносов  $x$ :

$$Wf(x, a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi\left(\frac{t-x}{a}\right) f(t) dt. \quad (1)$$

Каждая из функций этого базиса характеризует определенный временной масштаб  $a$  и его локализацию в физическом пространстве (времени)  $x$ .

Таким образом, в отличие от преобразования Фурье вейвлет-преобразование обеспечивает двухмерную развертку исследуемого одномерного сигнала, при этом масштаб и координата рассматриваются как независимые переменные. В результате этого появляется возможность анализировать свойства сигнала одновременно во временном и в частотном пространствах [2]. Для анализа вариаций будет использован вейвлет Морле:

$$\Psi(t) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(i\omega_0 t - \frac{t^2}{2}\right). \quad (2)$$

В общем случае выбор анализирующего вейвлета является неоднозначным и зависит от конкретной задачи. Вейвлет Морле был выбран потому, что он хорошо приспособлен для анализа квазипериодических процессов (атмосферные вариации, являющиеся собственными колебаниями атмосферы [3], принято считать квазипериодическими), также он позволяет наглядно представить результаты анализа и легко интерпретировать их в терминах анализа Фурье.

Связь масштаба вейвлет-преобразования  $a$  с использованием вейвлета Морле и соответствующей длины волны Фурье  $\lambda$ , согласно [2], задается формулой:

$$\lambda = \frac{4\pi a}{\omega_0 + \sqrt{2 + \omega_0^2}}, \quad (3)$$

где  $\omega_0$  – параметр материнской функции из (2). Модуль вейвлет-преобразования характеризует изменение во времени относительного вклада составляющих разного масштаба в исследуемый сигнал, т. е. в каждый момент времени мы можем оценить интенсивность вариаций всех исследуемых временных масштабов  $a$ .

В [3] вейвлет-анализ длинных рядов измерений аэрозоля и химических примесей по данным станций атмосферного мониторинга показал большие возможности исследования временных вариаций атмосферных примесей. Вейвлет-анализ дает возможность оценить изменение модового состава вариаций в исследуемых временных рядах.

### Структура сервиса обработки данных

Сервис обработки, реализующий возможности Вейвлет-анализа, состоит из пяти функциональных модулей (рис. 1).

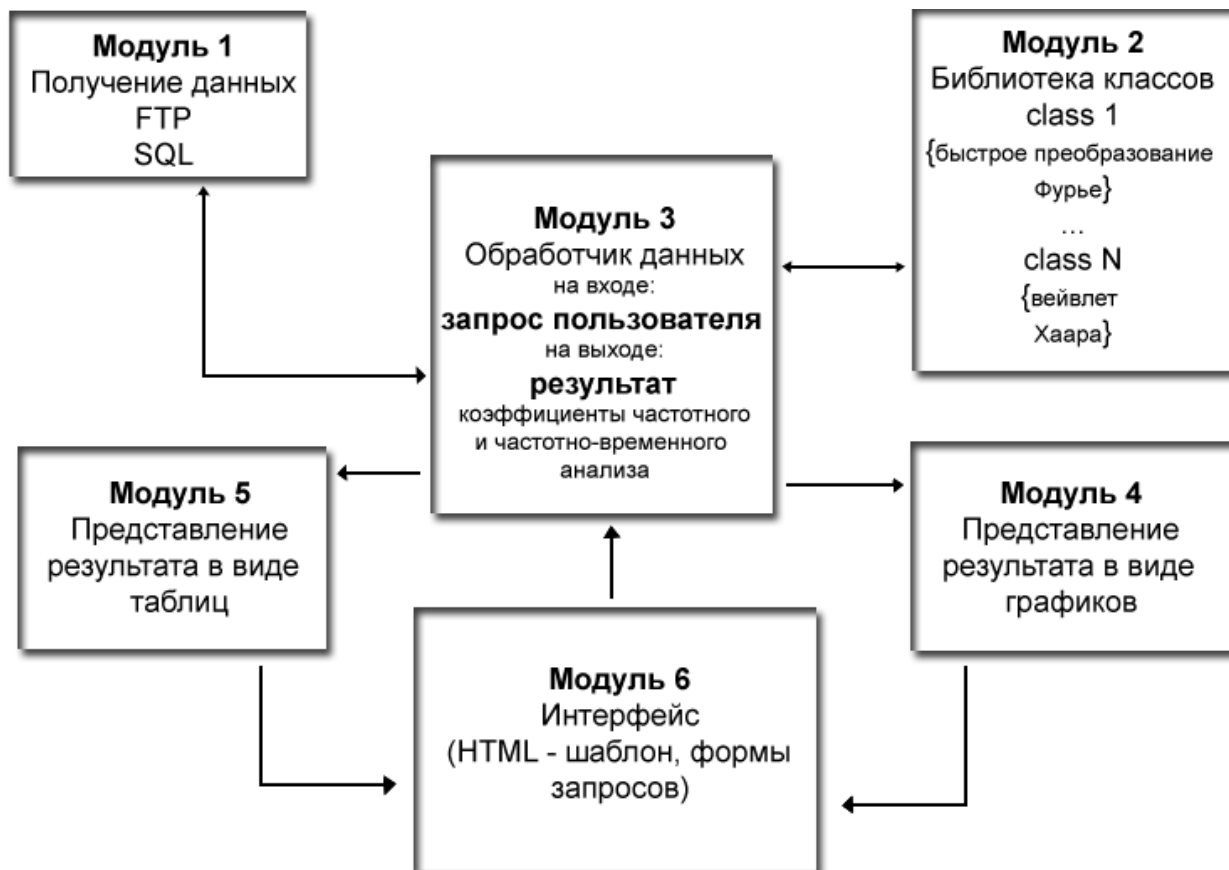


Рис. 1. Структурная схема сервиса обработки данных

По запросу клиента *Модуль 1* выполняет подключение к удалённому серверу по протоколу FTP, просматривает категории, содержимое категорий, выбирает интересующие клиента файлы и копирует их на сервер-обработчик (сервер Атласа). *Файл менеджер* просматривает имена содержащихся на сервере-

обработчике файлов, удаляет ненужные файлы, а нужные отправляет модулю подготовки данных к анализу. *Модуль подготовки данных к анализу* последовательно извлекает информацию из файлов, имена которых переданы модулем 2, проводя её подготовку к анализу. Это включает в себя следующие действия: удаление служебных строк, выделение из строк информации о времени и значении сигнала в каждый момент времени, исследование информации о времени на предмет отсутствия замеров в какой-то момент, заполнение значения сигнала, соответствующего «выпавшему» времени величиной «-1». После выполнения этих этапов, значения сигнала построчно записываются в файл *temporary.txt*.

Дальнейшее обращение обрабатывающих классов *модуля 4* происходит к содержимому этого файла. Математические алгоритмы: быстрое преобразование Фурье, вейвлет Хаара, вейвлеты Добеши и вейвлеты Морле, составляют библиотеку обрабатывающих классов.

Результатом работы сервиса является графическое или табличное представление суточных колебаний массовой концентрации субмикронной фракции атмосферного аэрозоля, которое получается после работы *модуля 5* или *модуля 6*.

### **Результаты и обсуждение**

При проведении вейвлет-анализа данные по сезонам года были объединены в один массив длиной 1 400 *мин*. Если какие-либо данные были неполными из-за сбоя регистрирующей аппаратуры, то недостающие значения дополнялись значениями, полученными путем линейной интерполяции средних по сериям значений. Эта процедура необходима для исключения ложных результатов из-за краевых эффектов (конечности рядов). Вследствие этого найденные вейвлет-спектры являются чисто качественными и позволяют провести только оценку присутствия или отсутствия квазипериодических процессов того или иного временного масштаба.

Для отладки алгоритма обработки и проверки качества его работы, мы обработали тестовый сигнал. Он представляет собой сумму двух гармонических функций вида:

$$y(x) = \sin\left(\frac{2\pi x}{H}\right) + \sin\left(\frac{2\pi x}{D}\right).$$

Это так называемые биения. Его высокочастотная часть промодулирована сигналом более низкой частоты. Обе эти компоненты мы и надеемся увидеть на его вейвлет-образе (рис. 2).

Если посмотреть на полученный образ на уровне координаты  $y = 1\ 000$ , то можно заметить периодичность сигнала низкой частоты.

Для обработки временных рядов использовались временные ряды данных полученных в п. Ключи 05 ноября 2006 г.

На рис. 7 представлен результат обработки данных наблюдений за период с 20 апреля 2006 г. по 20 мая 2006 г. По оси  $Y$  отложен масштаб в пределах от 0 до 13000, а по оси  $X$  время 0 до 44640 *мин*.

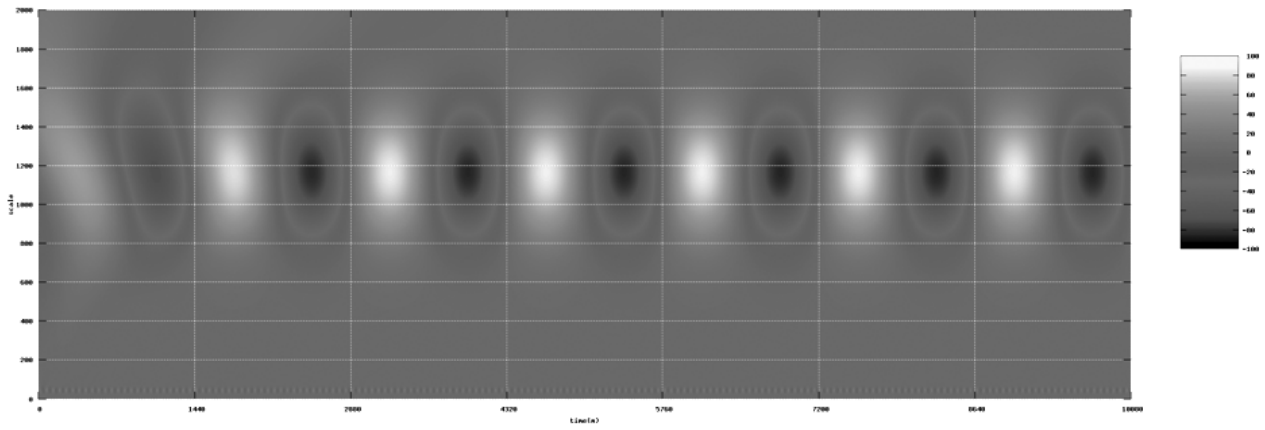


Рис. 2. Тестовый сигнал

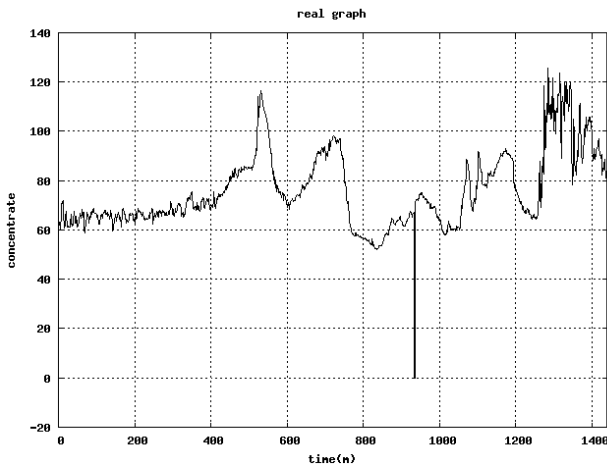


Рис. 3. Исходный сигнал

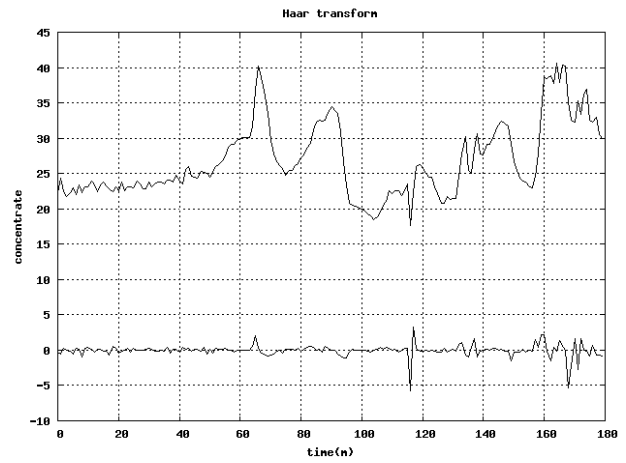


Рис. 4. Обработка Вейвлетом Хаара

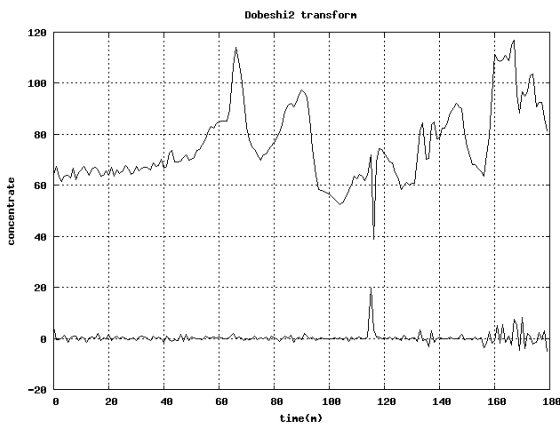


Рис. 5. Обработка Вейвлетом Добеши

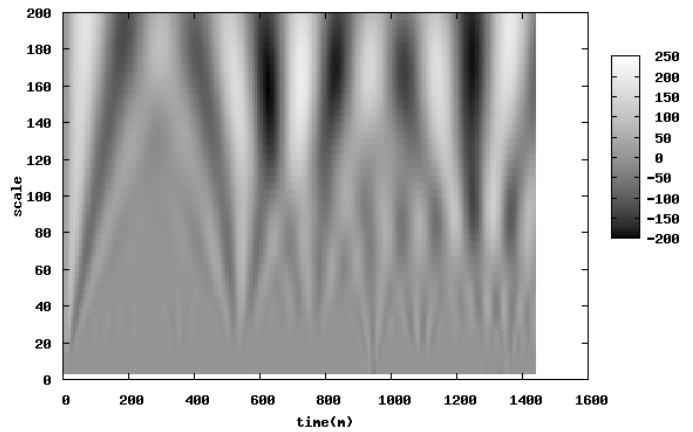


Рис. 6. Обработка Вейвлетом Морле

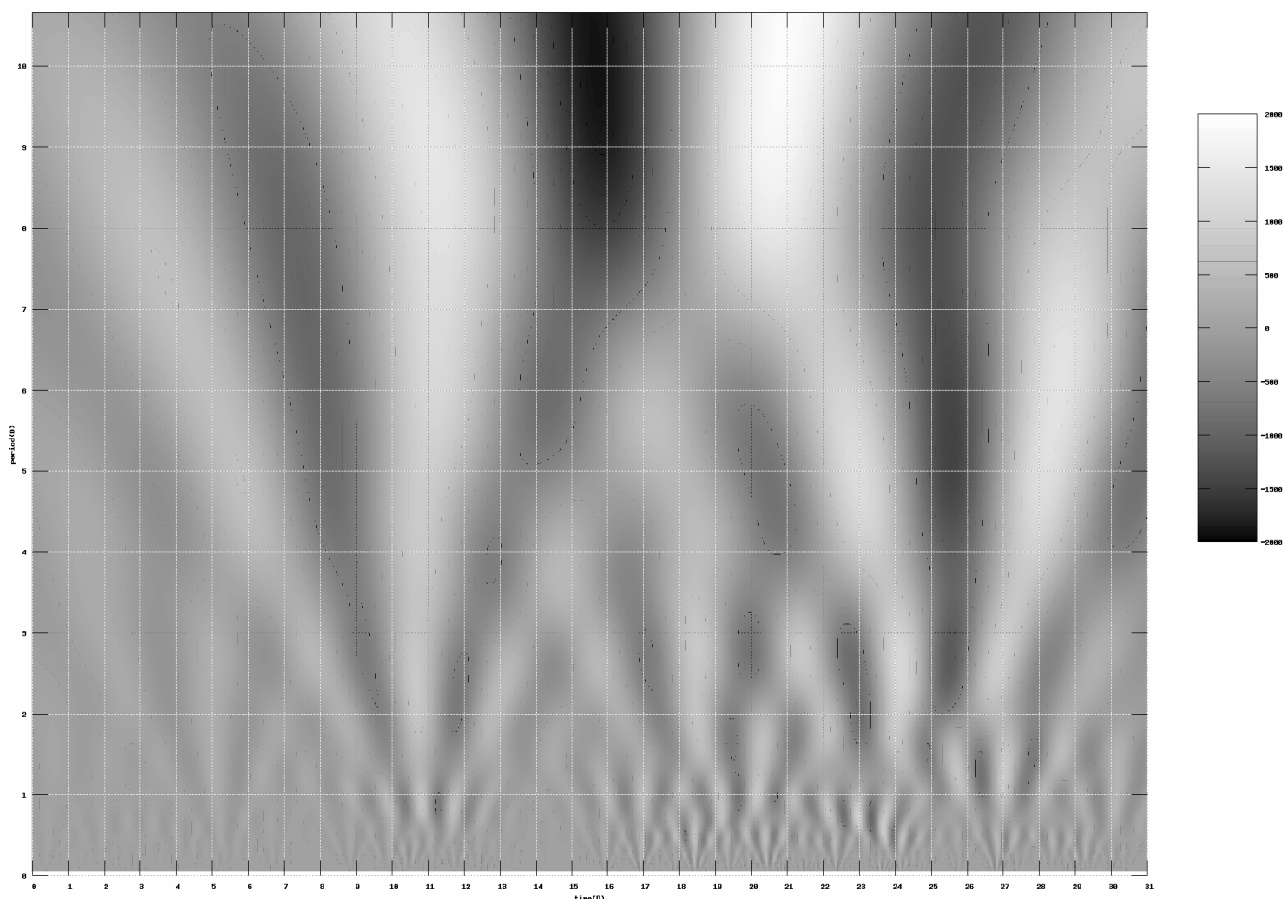


Рис. 7. Обработка Вейвлетом Морле данных полученных за 1 месяц

### Заключение

Ортогональное вейвлет преобразование Добеши используется для подавления шумов в сигнале. Как видно из полученных результатов быстрое вейвлет преобразование (БВП) Добеши с  $M = 1$ , не совсем подходит для подавления шумов в сигнале, что видно из рис. 4 и рис. 5. Данное преобразование снизило среднее значение концентрации, хотя закономерности в поведении сигнала все же сохранились. Вейвлет преобразование с  $M = 2$  (3.3), сохраняет среднее значение концентрации в сигнале в отличие от вейвлета Хаара.

Непрерывное вейвлет преобразование Морле может быть использовано для локализации и классификации особых точек, частотно-временного анализа нестационарных сигналов. Преобразование Морле мы также использовали для диапазона измерений полученных за месяц.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бородулин А.И., Сафатов С.А., Хуторова О.Г. Куценогий К.П., Макаров В.И. Вейвлетная структура полей концентрации суммарного атмосферного белка в приземном слое атмосферы в окрестностях Новосибирска // Метеорология и гидрология, 2004. № 2. – С. 72.

2. Torrence G. and Compo G.P. A practical guide to wavelet analysis.– Bull. Amer. Meteorol. Soc., 1998, vol. 79, № 1, pp.61–78.
3. Хуторова О.Г., Тептин Г.М. Исследование мезомасштабных вариаций в тропосфере по наблюдениям концентрации примесей. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2001. Т. 37, № 6, С. 853–856.
4. Н. Астафьева. Вейвлет анализ: основы теории и примеры применения. – Успехи Физических Наук, 166 (1996), № 11, С. 1145.
5. В. Воробьев, В. Грибунин. Теория и практика вейвлет-преобразования. – С.-Пб.: Издательство ВУС, 1999.
6. Д. Галягин, П. Фрик. Адаптивные вейвлеты (алгоритм спектрального анализа сигналов с пробелами в данных). – Математическое моделирование систем и процессов, 1996. № 6. С. 10.
7. И. Дремин, О. Иванов, В. Нечитайло. Вейвлеты и их использование. – Успехи физических наук, 2001. Т. 171, № 5. С. 465–561.
8. К. Чуи. Введение в вэйвлеты. – М.: Мир, 2001.
9. Шитов А. Б. Разработка численных методов и программ, связанных с применением вейвлет-анализа для моделирования и обработки экспериментальных данных. // Дисс. на соискание ученой степени к.ф.-м.н. – ИвГУ – 2001. С. 125.

© К.П. Куценогий, Ю.И. Молородов, 2008

УДК 631.48

*К.С. Байков*

ИПА СО РАН, Новосибирск

## МОНИТОРИНГ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ

*K.S. Baykov*

Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk

## SOIL RESOURCES MONITORING IN NOVOSIBIRSK REGION: NEW APPROACHES

Monitoring of soil resources of Novosibirsk Oblast is the necessary factor for the effective development of agro-industrial complex. To solve this task all the specialists and financial funds, fundamental and special sciences, farms, business must be involved. Innovative development of agro-industrial complex is possible now, using flexible models, detailed scientific prognosis and high technologies. Important component for this activity is the map “Soils of Novosibirsk Oblast” was prepared in Institute of soil sciences and agrochemistry of Russian Academy of Sciences, and published in 2007. Main possibilities for the different monitoring of soil resources are provided by technology of estimation of vegetation index in seasonal dynamics and phytoindication of soils. Creating of local and regional models, based on vegetation index dynamics is an effective way to plan plants productivity and crop.

Мониторинг почвенных ресурсов Новосибирской области – необходимое условие эффективного развития агропромышленного комплекса (АПК) региона. В решении этой комплексной задачи должны объединить свои усилия, кадровые и финансовые ресурсы органы власти, все звенья фундаментальной и отраслевой науки, хозяйства АПК области, представители крупного бизнеса.

Наличие в Новосибирской области всех необходимых компонентов для такого взаимодействия позволяет формулировать задачу инновационного развития АПК на основе гибких моделей развития, глубокого научного прогноза и высоких технологий. Для этого имеются все необходимые условия. Институтом почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук издана новая карта «Почвы Новосибирской области» масштаба 1: 1000000. Научно-исследовательский институт земледелия и химизации Сибирского отделения Российской академии сельскохозяйственных наук разработал систему ландшафтно-адаптированного земледелия в Новосибирской области. В Сибирской государственной геодезической

академии созданы новые технологии для прямого мониторинга состояния природных ресурсов (включая почвенный компонент экосистем) по данным дистанционного зондирования, аналитические и прогнозные модели изменения природно-ресурсного потенциала при различных климатических и социально-экономических сценариях развития региона. Администрация Новосибирской области уделяет большое внимание реализации уникального научно-образовательного потенциала в новых инновационных формах эффективного использования природно-ресурсного потенциала региона.

Большие возможности для масштабной мониторинговой оценки почвенных ресурсов, особенно для земель сельскохозяйственного использования, прежде всего пропашных, открывает технология расчета вегетационного индекса и нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) в сезонной динамике. Построение локальных и региональных моделей (кривых) изменения этого показателя в последние годы эффективно применяется службами прогноза урожая различных культур, например, в Западно-Сибирском территориальном управлении по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Методика расчета индекса вегетации основана на различной энергии отражения хлорофилла в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах, это первый и второй каналы радиометра. Энергия отражения хлорофилла в ближнем ИК диапазоне выше, чем в видимом ИК. Индекс вегетации рассчитывается путем вычитания коэффициента отражения в видимом ИК диапазоне из коэффициента отражения в ближнем ИК диапазоне. Развитие молодых побегов (всходов сельскохозяйственных культур), сопровождающееся увеличением площади содержащей хлорофилл поверхности и интенсивности энергии отражения хлорофилла в пересчете на единицу площади, фиксируется возрастанием значений индекса вегетации. Динамика роста значений индекса вегетации прямо пропорциональна динамике увеличения хлорофилла в листьях и стеблях, в пересчете на единицу земной поверхности.

Принципиально важным становится ежедневный сбор данных по сезонной динамике индекса вегетации для каждого относительно однородного контура растительности, с проведением натурной оценки особенностей этого контура. Получение многолетних данных позволит учитывать особенности осадконакопления и снеготаяния, хода среднесуточных и среднемесячных температур в прогнозировании урожая сельскохозяйственных культур, оценки потенциальной кормовой базы, выявления очагов весеннего поражения растений, вызванного массовым развитием насекомых и др.

Особое место в мониторинге почвенных ресурсов занимают показатели плодородия почв. Плодородие – фундаментальное системное свойство почвы, определяющее ее практическое использование и хозяйственный интерес. Оно может быть охарактеризовано многими свойствами почвенных горизонтов, преимущественно в границах корнеобитаемого слоя. Главными параметрами потенциального плодородия почвы принято считать содержание гумуса (подвижной его части), баланс минеральных макрокомпонентов (азот, фосфор, калий и др.), необходимый набор микрокомпонентов. Характеристики почвенного климата (гидротермический режим в годовой и сезонной динамике, аэрация и



газообмен) обычно не связываются с понятием плодородия почвы, но неизбежно и определенно влияют на продуктивность и образующуюся фитомассу.

Фитоиндикация почв как частный случай индикации почв – это способ диагностики почв по составу и особенностям развития растений, произрастающих на данной почве. Каждый самостоятельный элемент классификации почв характеризуется уникальным сочетанием диагностических признаков, особым генезисом, определенным ареалом, следовательно для него характерны специфический набор видов растений, особенности их развития, способы их размножения (вегетативное, семенное, смешанное, отсутствие размножения). В географическом аспекте ареалы конкретных типов, подтипов почв совпадают или в значительной степени перекрываются с ареалами отдельных видов, входящих в диагностическое ядро фитоценотивов, реже – флороценотивов. Естественная зональность и секторальность растительного и почвенного покровов определяют системный характер фитоиндикации почв. Он проявляется на широтном градиенте внутриконтинентальных территорий, где ослаблено нивелирующее влияние океанического климата. Интегральная оценка фитоиндикационных показателей может быть отражена в почвенно-ботаническом районировании территории, при условии длительного естественного процесса коэволюции почвенного и растительного компонентов наземных экосистем.

Фитоиндикация плодородия почв – это способ оценки плодородия почв по составу и особенностям развития растений на данной почве. Плодородие почвы можно представить в виде параметрической функции, итоговое значение которой зависит от многих параметров. Собственно плодородие почвы можно определить как способность почвы обеспечить устойчивое воспроизводство растений (сельскохозяйственных культур в агроценозах, растительных сообществ в природных фитоценозах) без ухудшения основных свойств данной почвы. Устойчивое воспроизводство растений в аргоценозах можно обеспечить только на основе многолетнего опыта и научного эксперимента, обеспечивающего обратимое восстановление основных изменяемых параметров плодородия почв.

Сохранение системных функций почвы – главное условие сохранения ее плодородия. Под системными функциями почвы понимаются естественным путем сбалансированные почвенно-генетические процессы, определяющие ее целостность и специфичность как характерного звена в пространственно-временной структуре почвенного покрова. Обратимость системной функции почвы (возвращение к исходному состоянию) возможна в определенном интервале. За его пределами восстановление системной функции естественным путем невозможно, для этого требуются специальные мероприятия. Их эффективность зависит от степени необратимого изменения системной функции. Нарушение одной системной функции сокращает интервал обратимого изменения другой системной функции. Следовательно, происходит постепенное сокращение пределов обратимого восстановления основных изменяемых параметров плодородия почв при последовательном нарушении их системных функций.

Фитоиндикация как способ оценки плодородия почв по составу и особенностям развития растений позволяет гибко реагировать на его изменения. При этом требуется накопление и систематизация большого объема данных по реакции конкретных видов растений на изменения параметров плодородия почв и создание тематических экспертных систем для каждой природной зоны, характерных для нее типов почв. Частной задачей фитоиндикации выступает создание и уточнение почвенно-экологических шкал для основных диагностических видов (доминантов и содоминантов растительных сообществ). Перестройка видового состава растительных сообществ может быть вызвана иными причинами, поэтому важно их правильно установить. Создание единой шкалы потенциального плодородия почв по видовому составу растительных сообществ позволит сравнивать почвы между собой по данному интегральному показателю, но не гарантирует реализации этого плодородия в условиях агроценоза. Видимо, более эффективным способом оценки будет создание региональных шкал потенциального плодородия почв по видовому составу растений, их активности в конкретном фитоценозе, и др.

С научной точки зрения наиболее обоснованной будет оценка изменения системных функций почв естественного фитоценоза при переводе его в состояние агроценоза и поиск возможностей для установления новых системных функций, обеспечивающих устойчивое воспроизводство этого агроценоза.

Продуктивность почв зависит от состава и особенностей корнеобитаемого слоя, почвенного климата (гидротермический внутрипочвенный режим, аэрация и др.), продолжительности вегетационного периода (безморозный период в условиях сезонного климата), годовой суммы положительных температур, других параметров, определяющих рост и развитие растений. При оценке плодородия почв особое значение имеет степень развития корневой системы растений, динамика микробной биомассы (она определяет скорость минерализации органического вещества в почве).

Новым направлением фитоиндикации плодородия почв должна стать ризологическая индикация, то есть создание особых шкал плодородия почв по строению и степени развития корневой системы растений. При этом важно учесть типологические особенности развития корневых систем в разных группах растений, что четко проявляется уже при разделении цветковых растений на два класса – двудольные (с преобладанием стержневой корневой системы) и однодольные (с мочковатой корневой системой). Типологические особенности корневых систем растений, ритмы развития, глубина проникновения в почвенные горизонты, сезонная динамика нарастания и последующего отмирания периферической ризосферы (т. е. тонких корней) – требуют специального изучения в условиях различных типов почв и в естественных интервалах варьирования гидротермического режима, внутрипочвенного газообмена и др.

Отдельным аспектом фитоиндикации может стать почвенная энзимология. Выявление процессов выделения растениями различных метоболитов, включая ферменты, может быть формой межвидовой конкуренции, подавлять рост и

развитие других видов растений, произрастающих в непосредственном контакте. Эти процессы могут регулировать внутривидовые механизмы в пределах одного вида, ограничивая максимальную плотность растений данного вида на единице площади. Эти показатели имеют особое значение при разработке практических рекомендаций для совершенствования ресурсосберегающих технологий агро-промышленного комплекса при выращивании сельскохозяйственных культур.

Глубина проникновения корневой системы определяет устойчивость и степень взаимодействия почвенного и растительного компонентов наземных экосистем. Увеличение глубины проникновения корней в почвенные горизонты положительно коррелирует со спектром жизненных форм конкретных фитоценозов и более крупных флороценозов. Вертикальное распределение органического вещества по почвенным горизонтам происходит более равномерно, что обусловлено активным влиянием корней на этот показатель.

Фитоиндикация плодородия почв по таксономическому составу растений методически должна быть корректно описана. Присутствие или отсутствие данного вида растений на данном типе почвы должно быть поставлено в строгую зависимость именно от свойств этой почвы. Аборигенное ядро каждой крупной флористической провинции характеризуется уникальным таксономическим составом и родовидовым спектром, при этом территориально оно соотносится с определенным спектром почвенных таксонов. Флороценозические связи и закономерности пространственного размещения почвенных хорионов будут тем определеннее, чем точнее будут совпадать их основные контуры. Такой анализ позволит приступить к решению важной задачи соотнесения размерности почвенных и фитохорионов для целей почвенно-ботанического районирования, решения вопросов типологии и классификации почв с помощью дополнительных признаков из классификации фитоценозов. Изменение таксономического состава растений, обусловленное закономерным изменением таксономического состава почв должно стать одной из методических задач фитоиндикации почв и их плодородия.

Бассейновый принцип исследования структурно-функциональной организации наземных экосистем будет необходим для системного описания этих закономерностей и построения комплиментарных моделей трансформации почвенного и растительного компонентов экосистем.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 07-04-00877 и интергационного проекта СО РАН 5.15.

© К.С. Байков, 2008

УДК 528.852

*А.А. Бучнев, В.П. Пяткин*

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

## ПРОГРАММНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*A.A. Buchnev, V.P. Pyatkin*

ICM&MG SB RAS

prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

## SOFTWARE DETERMINATION OF OBJECTS SPATIAL MOTION BY THE EARTH REMOTE SENSING DATA

The method based on coefficient maximums discovering of cross correlation is one of the ways of object spatial motion detection on satellite images occurring at different time. Here, the correlation is used as the means of equivalents discovering of object target which is the part of the current image, on the next image of images series.

In the work presented, to increase the results authenticity of discovering new positions, the targets are transformed, i.e. adjusted to scale, rotation and translation.

The problem solution consists of the following steps: 1) square objects-targets searching on the current image based on the results of contrast maximum or entropy maximum; 2) the searching of the positions of obtained targets on the next image, based on the achievement of maximal value of cross correlation coefficient; 3) building of vector fields of spatial objects motions in accordance with obtained positions.

While scanning of the field of search the target is transformed, i.e. scaled and rotated. Then the transformed target is successively carried to each admissible position of the searching field on the next image.

For multispectral images, the procedure of searching of targets and their equivalents is applied to data of each spectral range.

Определение пространственных перемещений объектов (ледовых полей, водных поверхностей, облачных образований в атмосфере) по разновременным многоспектральным спутниковым изображениям является необходимым условием корректного решения многих задач космического мониторинга.

Согласно [1] одним из способов определения пространственных перемещений объектов по разновременным спутниковым изображениям является метод, основанный на нахождении максимумов коэффициента взаимной корреляции. В [2] аналогичный подход рассматривается в качестве метода распознавания образов, известного как *корреляционное сопоставление*.

В обоих случаях корреляция используется как средство поиска эквивалентов объекта-эталона, представленного в виде изображения  $w(x, y)$  размерами  $J \times K$ , на изображении  $f(x, y)$  размерами  $M \times N$ ; предполагается, что  $J \leq M$  и  $K \leq N$ . Коэффициент взаимной корреляции

$$\gamma(x, y) = \frac{\sum_s \sum_t [f(x+s, y+t) - f_m(x, y)][w(s, t) - w_m]}{\sigma_w \sigma_f}. \quad (1)$$

Здесь  $w_m$  – среднее значение пикселей в эталоне  $w$ ,  $f_m$  – среднее значение элементов изображения  $f$  в области, покрываемой эталоном. Знаменатель в (1) является произведением стандартного отклонения  $\sigma_w$  пикселей эталона  $w$  на стандартное отклонение  $\sigma_f$  пикселей изображения  $f$  в области, покрываемой эталоном.

В общем случае размеры и ориентация объекта-эталона, найденного на очередном изображении серии изображений, на последующем изображении могут иметь другие значения. Нормированное относительно изменений амплитуд выражение (1) не является таковым относительно поворота или изменений размеров (масштабирования) эталона. В [2] отмечается, что «Нормировка относительно размеров связана с пространственным масштабированием, что само по себе связано с весьма трудоемкими вычислениями. Нормировка относительно поворота является еще более трудной задачей...». Иногда для решения задачи сопоставления (совмещения) изображений с учетом масштабирования и поворота эталона используются менее точные по сравнению с (1), но более простые с вычислительной точки зрения критерии (например, в работе [3] и ряде других работ используется сумма абсолютных значений разностей соответствующих компонент изображений).

Согласно [4] поиск позиций найденных эталонов (определение смещений) на следующем изображении серии может быть реализован одним из трех методов: определением максимума коэффициента взаимной корреляции в пространственной области, определением максимума коэффициента взаимной корреляции в частотной области на основе быстрого преобразования Фурье и нахождением минимума суммы квадратов расстояний. Упомянутый источник также не предполагает при поиске смещений каких-либо преобразований эталона за исключением преобразования переноса.

В представляемой работе определение смещений эталонов производится на основе определения максимума коэффициента взаимной корреляции в пространственной области в соответствии с формулой (1). При этом эталон может подвергаться преобразованию, состоящему из масштабирования, поворота и переноса. Ниже приведен соответствующий алгоритм и представлены результаты вычислительных экспериментов на изображениях, полученных с КА «METEOSAT-8». Эти результаты свидетельствуют как о необходимости учета масштабирования и поворота эталона, так и о приемлемом времени соответствующих вычислений.

Решение задачи состоит из следующих основных шагов:

поиск на текущем изображении  $W$  квадратных объектов-эталонов, основанный на достижении максимума контраста либо максимума энтропии; центр эталона совпадает с центром квадрата;

поиск позиций найденных эталонов на последующем изображении  $F$ , основанный на достижении максимального значения коэффициента взаимной корреляции;

построение векторных полей пространственных перемещений объектов в соответствии с найденными позициями.

Поиск эталонов основан на методике, предложенной EUMETSAT [4]. Согласно этой методике предусматриваются эталоны двух типов: главные и вторичные. Позиции главных эталонов совпадают с концами векторов перемещений эталонов из предыдущего изображения (для первого изображения серии главных эталонов нет).

Поиск вторичных эталонов размера  $Targ\_Size$  производится в узлах сетки с размером  $Grid\_Size$ . Размер квадратной области с центром в узлах сетки для поиска эталонов задается параметром  $Targ\_Search$ . Допустимое минимальное расстояние между эталонами управляется параметром  $Targ\_Dist$ . Оптимальной позицией для эталона внутри области поиска считается та, в которой достигается максимум значения управляющего параметра  $Par$  – контраста либо энтропии. При поиске эталонов внутри области размера  $Targ\_Search$  используются локальные средние и стандартные отклонения, вычисленные по окрестности  $3*3$ . Контраст определяется как разность между максимальным и минимальным значениями локальных средних. Кроме перечисленных параметров, определяющих «физические» характеристики, при поиске эталонов используются параметры, характеризующие «изменчивость» изображения внутри области, покрываемой эталоном:  $Min\_St\_Dev$  – минимальное значение локального стандартного отклонения,  $Num\_Gr\_SD$  – минимальное количество пикселей со стандартным отклонением большим  $Min\_St\_Dev$ .

Для многоспектральных изображений процедура поиска эталонов применяется к данным каждого спектрального диапазона.

Смещение определяется для каждого из  $K\_Targs$  найденных эталонов. Поиск новой позиции эталона производится внутри квадратной области размера  $Search\_Size$ . Центр области поиска совпадает с исходной позицией эталона. Новой позицией эталона считается позиция, в которой достигается максимальное значение коэффициента взаимной корреляции  $Corr$ . В процессе сканирования области поиска эталон подвергается преобразованиям масштабирования и поворота. Масштаб и угол поворота эталона определяются следующими параметрами:  $Scale\_Min$  – минимальное значение масштаба эталона;  $Scale\_Max$  – максимальное значение масштаба эталона;  $Scale\_Delta$  – приращение масштаба эталона;  $Angle\_Beg$  – начальный угол поворота эталона в градусах;  $Angle\_End$  – конечный угол поворота эталона в градусах;  $Angle\_Delta$  – приращение угла поворота эталона в градусах.

Если  $s, Scale\_Min \leq s \leq Scale\_Max$  – текущий масштаб эталона,  $\varphi, Angle\_Beg \leq \varphi \leq Angle\_End$  – текущий угол поворота эталона, то при применении преобразований масштабирования и поворота координаты  $(x, y)$  пикселей эталона переходят в координаты  $(x', y')$  выходного образа, равные  $(x', y') = (x, y)T$ , где  $T$  – матрица преобразования:

$$T = s \cdot \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Известно (см., например, [1]), что применение прямого преобразования с матрицей (2) к объектам с дискретными координатами приводит к тому, что пиксел с координатами  $(x', y')$  может лежать между пикселями выходного образа. Использование техники назначения результату преобразования ближайшего соседа пикселя с координатами  $(x', y')$  не является решением вопроса из-за возможного появления пустот в выходном образе. Простейшим (в идейном смысле) методом является распределение значения входного пикселя между несколькими выходными пикселями. В этом методе пиксели рассматриваются как квадраты, и часть площади входного пикселя, которая покрывает выходной пиксел, рассматривается в качестве весового коэффициента. Ясно, что в реализации техника подобного рода является достаточно громоздкой. Более простой альтернативой является использование обратного преобразования: если из каких-то дополнительных соображений известны координаты  $(x', y')$  пикселей выходного образа, то соответствующие им координаты  $(x, y)$  пикселей эталона равны  $(x, y) = (x', y')T^{-1}$ .

Такая схема позволяет избежать появления пустот в выходном образе. Но здесь, также как и в прямом преобразовании, пиксел эталона, координаты которого получены с использованием матрицы  $T^{-1}$ , может лежать между других пикселей. Следовательно, возникает проблема интерполяции пикселей эталона. Вопросы использования интерполяции будут описаны ниже.

Приведем более подробное изложение реализованной вычислительной схемы. Применяя к координатам вершин квадратного эталона с центром в начале координат прямое преобразование (2) для текущих значений  $s$  и  $\varphi$ , получим координаты (округленные до ближайшего соседа) преобразованного квадрата. Далее к полученному квадрату применяется процедура, аналогичная методу сканирующих строк в заполнении многоугольников [5]. Первым шагом является сортировка вершин квадрата по возрастанию координаты  $y$ . Результатом ее является набор координат  $(x_1, y_{\min}), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_{\max})$ , где  $y_{\min} \leq y_2 \leq y_3 \leq y_{\max}$ . Таким образом, преобразованный квадрат занимает  $r = y_{\max} - y_{\min} + 1$  строк. Для каждой сканирующей строки  $y_s, 1 \leq s \leq r$ , определяются (округленные до ближайших целых) координаты точек ее пересечения с ребрами квадрата  $(x_s^b, y_s), (x_s^e, y_s)$ . В строке  $y_s$  преобразованный квадрат занимает  $k_s = x_s^e - x_s^b + 1$  пикселей. Для каждого из  $k_s$  пикселей с координатами  $(x_s^i, y_s), x_s^b \leq x_s^i \leq x_s^e$ , с использованием матрицы  $T^{-1}$  определяются (округленные до ближайших целых)

соответствующие координаты исходного квадрата. Таким образом, преобразованный квадрат полностью определяется количеством строк  $r$ , начальными координатами  $(x_s^b, y_s)$  каждой строки, количеством пикселей  $k_s$  в строке и координатами соответствующих пикселей исходного квадрата. Напомним, что все координаты определяются относительно нуля. Одновременно здесь же определяется площадь  $S$  (количество пикселей) преобразованного квадрата.

Дальнейшие действия поочередно применяются к каждому из найденных эталонов. Пусть  $(x_n, y_n)$  – координаты (центр) текущего эталона. Преобразованный ранее квадрат прибавлением к координатам пикселей значений  $(x_n, y_n)$  переносится в центр эталона на текущем изображении  $W$ , определяя тем самым преобразованный эталон. В массив  $pix\_1$  заносятся соответствующие пиксели  $w$  изображения  $W$ , подсчитывается их сумма и в конце определяется среднее значение  $w_m$ . Затем элементы массива  $pix\_1$  меняются на  $w' = w - w_m$ , суммируются квадраты величин  $w'$  и определяется стандартное отклонение  $\sigma_w$ .

Далее на последующем изображении  $F$  для каждой допустимой позиции  $(x^f, y^f)$  внутри области размера  $Search\_Size$  с центром в  $(x_n, y_n)$  выполняются следующие действия. Преобразованный ранее квадрат прибавлением к координатам  $(x_s^b, y_s)$  значений  $(x^f, y^f)$  переносится на изображение  $F$ . В массив  $pix\_2$  заносятся соответствующие пиксели  $f$  изображения  $F$ , подсчитывается их сумма и в конце определяется среднее значение  $f_m$ . Затем элементы массива  $pix\_2$  меняются на  $f' = f - f_m$ , суммируются квадраты величин  $f'$  и определяется стандартное отклонение  $\sigma_f$ . Производится свертка массивов  $pix\_1$  и  $pix\_2$ , которая делится на произведение  $\sigma_w \sigma_f$ . Тем самым определяется значение коэффициента корреляции  $\gamma(x^f, y^f)$  в позиции  $(x^f, y^f)$ . Если значение  $\gamma(x^f, y^f)$  больше текущего значения коэффициента корреляции  $\gamma_t$ , то производится присвоение  $\gamma_t = \gamma(x^f, y^f)$  и запоминаются координаты  $(x^f, y^f)$  позиции нового максимума коэффициента корреляции. Для многоспектральных изображений процедура применяется к данным каждого спектрального диапазона.

По окончании обработки всех  $K\_Targs$  эталонов производится переход к новой паре значений масштаба  $s$  и угла поворота  $\varphi$ , определяющих новую пару матриц преобразований  $T$  и  $T^{-1}$ .

В дальнейшем из найденных  $Npos$  позиций могут быть выделены  $Npos\_C$  позиций, для которых значения коэффициентов  $Corr$  не меньше порогового значения  $Thres\_Corr$ , а длина векторов смещений больше значения параметра  $Min\_Length$ . Именно эти  $Npos\_C$  позиций (по умолчанию  $Npos\_C = Npos$ ) участвуют в последующих операциях: отображение векторов смещений и определение новых эталонов.

В табл. 1 приведены результаты вычислительных экспериментов, выполненных на персональном компьютере с процессором AMD Athlon(tm) XP 3200+. В качестве исходного изображения  $W$  взято изображение с



геостационарного КА «МЕТЕОСАТ-8» в оптическом диапазоне (длина волны 620 нм), полученное 15.03.2006 г. в 11 часов 30 мин. В качестве следующего изображения  $F$  взято изображение того же канала через 15 минут. Поиск эталонов производился со следующими параметрами:  $Targ\_Size = 15$ ,  $Grid\_Size = 32$ ,  $Targ\_Search = 40$ ,  $Targ\_Dist = 30$ ,  $Min\_St\_Dev = 30$ ,  $Num\_Gr\_SD = 110$ . Выделено  $K\_Targs=3461$  эталонов. При определении коэффициентов корреляции значение  $Scale\_Delta=0.1$ . Значение параметра  $Angle\_Delta = 3$  градуса. В таблице собраны данные о количестве позиций  $Npos$  с ненулевыми векторами смещений, минимальном и максимальном значениях коэффициента корреляции, времени выполнения программы, а также значений  $Npos\_C$  для  $Thres\_Corr 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$  при длине векторов смещений  $Min\_Length>3$ .

Таблица 1

Scale_ Min	Scale_ Max	Angle_ Min	Angle_ Max	Npos	Min_ Corr	Max_ Corr	Time, sec	Thres_Corr				
								0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1	1	0	0	2878	0.292	0.995	2	1173	1149	1105	966	616
0.8	1.2	-45	45	2903	0.413	0.995	62	1221	1201	1163	1037	668
0.8	1.2	-90	90	2904	0.466	0.995	124	1227	1208	1166	1038	668
0.8	1.2	0	357	2904	0.466	0.995	240	1232	1214	1171	1044	672

Анализ данных таблицы показывает, что наиболее существенные изменения по сравнению с первой строкой, относящейся к тождественному преобразованию, содержатся во второй строке (диапазон изменения угла поворота эталона [-45,45] градусов). Последующие строки, связанные с более широкими диапазонами изменения угла поворота, содержат лишь незначительные уточнения. Вероятно, это связано с малым интервалом времени между изображениями.

Рассмотрим теперь вопросы интерполяции пикселей эталонов. Согласно [1] интерполяция необходима, т. к. преобразованная дискретная сетка точек входного изображения, вообще говоря, не совпадает больше с дискретной сеткой выходного изображения и наоборот.

Основой интерполяции является теорема об отсчетах. Эта теорема утверждает, что цифровое изображение полностью представляет непрерывное изображение при условии, что выполнены требования об отсчетах. Коротко говоря, это означает, что каждая периодическая структура в изображении должна быть опрошена по меньшей мере дважды в течение длины волны. Из этого основного результата в принципе легко вывести общую схему для интерполяции: сначала восстановить непрерывное изображение и затем выполнить дискретизацию на новой дискретной сетке.

Известно [1, 2], что восстановление непрерывной функции из дискретных отсчетов может рассматриваться как операция свертки

$$p_r(x) = \sum_{m,n} p(x_{m,n})h(x - x_{m,n}), \quad (3)$$

где непрерывная интерполирующая маска  $h$  является двумерной *sinc* функцией

$$h(\mathbf{x}) = \frac{\sin(\pi x_1 / \Delta x_1)}{\pi x_1 / \Delta x_1} \frac{\sin(\pi x_2 / \Delta x_2)}{\pi x_2 / \Delta x_2}. \quad (4)$$

Передаточной функцией для функции рассеяния точки (4) является прямоугольная функция шириной  $2k_w = 1/\Delta x_w$ :

$$h_w(\mathbf{k}) = \Pi(k_1/2, k_2/2), \text{ где } k_w = 2k_w \Delta x_w, \quad w=1,2. \quad (5)$$

Заключение об интерполирующей природе ядра свертки (4) может быть получено из следующих соображений. Интерполированные значения в уравнении (3) в точках дискретной сетки  $\mathbf{x}_{m,n}$  должны воспроизводить значения в этих точках и не зависеть от значений в любых других точках. Из этого можно вывести *интерполирующее условие*:

$$h(\mathbf{x}_{m,n}) = \begin{cases} 1, & m=0, n=0 \\ \text{иначе } 0 \end{cases}. \quad (6)$$

Интерполирующая маска (4) удовлетворяет этому условию. Тот факт, что интерполяция является операцией свертки и вследствие этого может быть описана передаточной функцией в пространстве Фурье, дает удобный инструмент для оценки ошибок интерполяции. Прямоугольная форма передаточной функции для идеальной интерполирующей маски просто означает, что все частоты внутри интервала возможных частот  $|k_w| \leq 1/(2\Delta x_w)$  не подвержены ни фазовому сдвигу, ни амплитудному затуханию. Таким образом, частоты, не принадлежащие допустимому интервалу, не присутствуют в интерполированном сигнале, т. к. передаточная функция здесь равна нулю.

Идеальная интерполирующая функция в (3) разделима. Следовательно, необходимо решить только одномерную задачу интерполяции. Как только она решена, мы можем решить и двумерную задачу (и даже задачу интерполяции большей размерности).

Классическим подходом к интерполяции является *линейная интерполяция* [1]. Интерполируемая точка лежит на прямой, соединяющей соседние точки дискретной сетки. Для целей симметрии примем координаты двух соседних точек равными  $-1/2$  и  $1/2$ . Это дает уравнение интерполяции

$$p(x) = \frac{p_{1/2} + p_{-1/2}}{2} + (p_{1/2} - p_{-1/2})x \quad \text{для } |x| \leq 1/2. \quad (7)$$

Сравнивая уравнение (7) с (3), можно увидеть, что непрерывная интерполирующая маска для линейной интерполяции имеет вид

$$h_1(x) = \begin{cases} 1 - |x|, & |x| \leq 1 \\ \text{иначе } 0 \end{cases}. \quad (8)$$

Это треугольная функция. Соответствующая передаточная функция является квадратом функции *sinc*:

$$h_1^{\sim}(k) = \frac{\sin^2(\pi k / 2)}{(\pi k / 2)^2}. \quad (9)$$

Сравнение (9) с передаточной функцией (5) для идеальной интерполяции показывает, что линейная интерполяция вводит два искажения:

1. В то время, как низкие частоты (и особенно значение  $k = 0$ ) интерполируются правильно, высокие частоты слабо уменьшаются по амплитуде, приводя к некоторому сглаживанию. При  $k = 1$  передаточная функция уменьшается примерно на 40 %:  $h_1^{\sim}(1) = (2/\pi)^2 \approx 0.4$ . Так как  $h_1^{\sim}(k)$  не равно нулю при частотах  $k > 1$ , появляются ложные высокие частоты.

2. Возвращаясь в уравнении (7) к исходным координатам 0 и 1 соседних точек, получим уравнение линейной интерполяции в виде

$$p(x) = (1-x)p_0 + xp_1. \quad (10)$$

Пусть теперь  $x, y$  – некоторые координаты внутри единичного квадрата с вершинами (0,0) и (1,1) (фактически  $0 \leq x, y < 1$  – дробные части координат  $X, Y$ , полученных при выполнении геометрических преобразований эталона:  $X = \text{int}(X) + x$ ,  $Y = \text{int}(Y) + y$ ).

Пусть  $P = \{p_{00}, p_{10}, p_{01}, p_{11}\}$  – набор пикселей эталона в вершинах единичного квадрата (верхний левый, верхний правый, нижний левый, нижний правый пиксели соответственно). Тогда значение  $p(x, y)$  пикселя, которое будет участвовать в вычислении коэффициента корреляции, при линейной интерполяции по двум координатам (*билинейной интерполяции*) определяется двумерной сверткой

$$p(x, y) = (1, x) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ y \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Развернув это матричное уравнение, получим классическую формулу билинейной интерполяции [2]:

$$p(x, y) = (1-x)(1-y)p_{00} + (1-x)yp_{01} + x(1-y)p_{10} + xyp_{11}. \quad (12)$$

Обобщая линейную интерполяцию, мы можем использовать полином степени  $N$  с  $N + 1$  неизвестными коэффициентами  $a_n$ , который должен проходить через  $N + 1$  точек:

$$p(x) = \sum_{n=0}^N a_n x^n. \quad (13)$$

Из условия интерполяции в точках дискретной сетки  $p(x_n) = p_n$  получается система из  $N + 1$  линейных уравнений относительно  $N+1$  неизвестных коэффициентов  $a_n$ . В частности, при  $N = 2$  (квадратичная интерполяция) получается следующая система уравнений для получения коэффициентов полинома:

$$\begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \text{ с решением } \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Соответствующая биквадратная интерполяция (интерполяция по 9 пикселям):

$$p(x, y) = \frac{1}{4} (1, x, x^2) M P M^T (1, y, y^2)^T, \quad (15)$$

где  $M$  – матрица коэффициентов, равная  $M = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$ ,  $P$  – матрица

пикселей, равная  $P = \begin{pmatrix} P_{-1,-1} & P_{-1,0} & P_{-1,1} \\ P_{0,-1} & P_{0,0} & P_{0,1} \\ P_{1,-1} & P_{1,0} & P_{1,1} \end{pmatrix}$ ,  $T$  – символ транспонирования.

Аналогичные соображения применимы для  $N = 3$  – бикубической интерполяции – интерполяции по 16 пикселям. В [1] построен соответствующий интерполяционный многочлен, равный

$$p(x, y) = \frac{1}{2304} (1, x_c, x_c^2, x_c^3) M P M^T (1, y_c, y_c^2, y_c^3)^T, \quad (16)$$

где  $x_c = x - 0.5$ ,  $y_c = y - 0.5$ ,

$M$  – матрица коэффициентов, равная  $M = \begin{pmatrix} -3 & 27 & 27 & -3 \\ 2 & -54 & 54 & -2 \\ 12 & -12 & -12 & 12 \\ -8 & 24 & -24 & 8 \end{pmatrix}$ ,

$P$  – матрица пикселей, равная  $P = \begin{pmatrix} P_{-2,-2} & P_{-2,-1} & P_{-2,0} & P_{-2,1} \\ P_{-1,-2} & P_{-1,-1} & P_{-1,0} & P_{-1,1} \\ P_{0,-2} & P_{0,-1} & P_{0,0} & P_{0,1} \\ P_{1,-2} & P_{1,-1} & P_{1,0} & P_{1,1} \end{pmatrix}$ ,

$T$  – символ транспонирования.

Заметим, что для целей симметрии в этом случае координаты дискретной сетки были сдвинуты на  $-1/2$  (начало координат находится в центре сетки  $4*4$  пикселя), что позволяет более корректно учитывать влияние соседних пикселей.

С увеличением степени интерполяционного многочлена передаточная функция лучше приближается к прямоугольной функции (см. [1]). Сходимость, однако, является слабой.

Анализ данных вычислительных экспериментов позволяет сделать следующие выводы. Прежде всего, при слишком маленьких значениях масштаба эталона (например, 0.5 – уменьшение в два раза) получаются слишком большие значения минимальных коэффициентов корреляции. Объясняется это тем, что уменьшение масштаба соответствует уменьшению пространственного разрешения, что, согласно свойствам преобразования Фурье, приводит к уменьшению ширины спектра изображения эталона, т. е. высокочастотные составляющие эталона подавляются. Но алгоритм поиска эталонов, основанный на поиске областей с большой дисперсией, как раз предполагает наличие в изображении эталона высокочастотных элементов. С другой стороны, слишком большие значения масштаба, кроме существенных затрат времени вычислений, не приводят к каким-либо положительным результатам. Для масштабов эталона представляются оптимальными значения в диапазоне 0.9 – 1.1. Результаты являются гораздо более устойчивыми к изменению значений угла поворота

эталонов. Здесь диапазон значений определяется только допустимым временем вычислений.

В табл. 2 приведены данные, полученные с использованием геометрических преобразований эталонов с параметрами  $Scale\_Min=0.9$ ,  $Scale\_Max=1.1$ ,  $Scale\_Delta=0.1$ ,  $Angle\_Min=-45$ ,  $Angle\_Max=45$ ,  $Angle\_Delta=3$  и различными типами интерполяций: 0 – тождественное преобразование, 1 – округление до ближайшего целого, 2 – билинейная, 3 – биквадратная и 4 – бикубическая интерполяция соответственно.

Результаты с использованием билинейной интерполяции, на первый взгляд, являются более лучшими, чем, например, для бикубической интерполяции. Вероятно, это объясняется отмеченными ранее недостатками билинейной интерполяции (появление в спектре ложных высоких частот). Учитывая небольшую разницу в затратах времени вычислений, более предпочтительной является бикубическая интерполяция.

Таблица 2

Interpol	Npos	Min_Corr	Max_Corr	Time, s	Thres_Corr			
					0.5	0.7	0.8	0.9
0	3479	0.353	0.998	3	3351	1939	1675	1139
1	3507	0.450	0.999	301	3438	2045	1790	1210
2	3515	0.491	0.998	307	3467	2044	1828	1282
3	3524	0.490	0.998	309	3468	2037	1813	1263
4	3505	0.500	0.998	310	3453	2047	1816	1248

Авторы считают, что в данной работе новыми являются предложенные для повышения достоверности результатов поиска новых позиций объектов при перемещении методы преобразования эталонов, состоящие из масштабирования, поворота и переноса вместе с процедурами интерполяции пикселей эталонов.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-07-00085).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bernd Jähne. Digital Image Processing. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005. – 607 pp.
2. Гонсалес Р., Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. / Пер. с англ. под ред. П.А. Чочиа. Москва: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Забелин В.А. Идентификация контрольных точек в аэрокосмических изображениях. / В.А. Забелин, В.П. Пяткин / В сб. “Математические и технические проблемы обработки изображений”. ВЦ СО АН СССР, Новосибирск, 1980, с. 50 – 59.
4. MSG Meteorological Products Extraction Facility. Algorithm Specification Document. – Doc. No. EUM/MSG/SPE/022. Issue 2.6. 1 June 2004.
5. Фоли Дж. Основы интерактивной машинной графики. Т. 2. / Дж. Фоли, А. вэн Дэм./ Москва, Мир, 1985. 368 с.

УДК 528.7

*А.А. Алябьев, Е.А. Кобзева, С.В. Серебряков*

ФГУП «Уралгеоинформ», Екатеринбург

## ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*A.A. Alyabiev, S.V. Serebriakov, E.A. Kobzeva*

FGUP «Uralgeoinform», Yekaterinburg

## SOME CHARACTERISTICS OF MONITORING URBAN AREAS ON THE BASIS OF VERY HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGERY

The new version of the RF Urban Planning Code requires more frequent monitoring of built-up areas. As the practice shows, better on-line monitoring can be provided using satellite imagery data. The article describes the city satellite monitoring process and gives characteristics of its parts. It also defines requirements for satellite imagery parameters: spatial and radiometric resolutions, a spectral range, a revisit period, a season of acquisition, etc. Image photogrammetric processing is conducted using base objects. Change detection and mapping involves two steps: automated recognition of areas, where changes took place, and further detailed visual interpretation of detected zones. A list of materials, intended for constant storage, is made.

Исполнение Градостроительного кодекса РФ нуждается в проведении мониторинга территорий поселений. Под мониторингом здесь понимается комплексная система взаимосвязанных работ по регулярному наблюдению за городской территорией, оценке и прогнозу её изменений под влиянием естественных и антропогенных факторов. На основе данных мониторинга производится выработка рекомендаций и вариантов управленческих решений, направленных на обеспечение устойчивого развития города [3].

Как показывает практика, наиболее оперативный мониторинг возможен по материалам космических съемок. Какие же задачи городского хозяйства могут потенциально решаться с использованием космических снимков? Прежде всего, это топографический мониторинг для разработки генерального плана и контроля его исполнения; экологический мониторинг – выявление несанкционированных свалок, незаконного строительства в рекреационных, водоохраных зонах и др.; благоустройство города – учет тротуаров, газонов, цветников, паспортизация древесных насаждений; отображение улично-дорожной сети; подготовка графических материалов для торгов и аукционов, выдачи разрешений на строительство, ввод объектов в эксплуатацию и т. д. Отдельные успешные примеры использования спутниковой информации в интересах градостроительства наблюдаются и в России, и за рубежом [1, 7]. Необходимо

обобщить разрозненный опыт и развить существующие методы фотограмметрической и тематической обработки космических снимков. Целью данной работы являлась разработка технологии спутникового мониторинга городских территорий и оптимизация отдельных технологических этапов.

Город является чрезвычайно сложным объектом, управление которым осуществляется множеством служб: градостроительной, дорожной, жилищно-коммунальной, здравоохранения и другими. В настоящее время в связи с внедрением информационных систем обеспечения градостроительной деятельности (ИСОГД) [5] в муниципальных образованиях создается картографическая основа поселения, единая для всех городских служб и, следовательно, адаптированная по точности и объектовому составу для решения большинства ведомственных задач. По сравнению с классической топографической картой расширен объектовый состав. Например, для транспортных нужд на графическом материале должны быть дополнительно отображены светофоры и остановки, для целей благоустройства – рекламные щиты и каждое отдельно стоящее дерево. Столь подробный объектовый состав, в свою очередь, вынуждает использовать для мониторинга космические снимки сверхвысокого разрешения (1 м и лучше), которые обладают наибольшей детальностью.

Принципиальная схема работ содержит следующие этапы: сбор исходных материалов, включая космическую съемку и ведомственные документы; фотограмметрическая обработка спутниковых снимков; дешифрирование и фиксация изменений (см. рис. 1). Далее рассмотрены особенности каждого этапа.



Рис. 1. Организационно-технологическая схема мониторинга (пунктиром выделены процессы, выполняемые только один раз в начале мониторинговых работ)

### *Космическая съемка*

Космическая съемка должна выполняться с соблюдением следующих условий:

1. Технические характеристики аппаратуры. *Количество и диапазон спектральных каналов* зависит от решаемых задач и применяемых технологий. Так, для визуального распознавания большинства антропогенных объектов было бы достаточно панхроматического канала (pan). Однако мультиспектральная съемка (ms) позволяет частично автоматизировать дешифрирование снимков. Совместная обработка pan и ms изображений удачно сочетает детальность pan-снимка и спектральную информацию ms-снимка [4]. Таким образом, наилучшим вариантом будет съемка одновременно в pan и четырех ms диапазонах (голубая, зеленая, красная и ближняя инфракрасная зона спектра). *Режим съемки (моно, стерео)*: часть задач, таких как разработка и контроль исполнения генерального плана, успешно решаются с использованием одиночных снимков. Но для нужд, например, благоустройства необходимы более точные измерения, которые могут быть проведены только в стереорежиме. Таким образом, для более полного мониторинга предпочтительно выполнять стереосъемку.



2. Параметры съемки. *Сезон съемки* существенно влияет на качество дешифрирования. Для распознавания зданий и сооружений наилучшим является безлиственный период, но в это время сложно дешифрировать зеленые насаждения, для которых оптимальным является лето-начало осени. *Периодичность съемки*: для решения большинства градостроительных задач периодичность съемки составляет 1 раз в год. В отдельных случаях, например, для выявления территорий с новым строительством или благоустраиваемых земель, требуется проведение съемки 2 раза в год [2]. Поэтому, учитывая также сезонное влияние, можно рекомендовать съемку дважды в год: в безлиственный период и при полной вегетации растений. *Облачность*: как правило, стандартный заказ космической съемки подразумевает облачность не более 20 %. В этом случае на снимках Ikonos, QuickBird под облаками может быть скрыто 25–50 кв. км земной поверхности, что является совершенно недопустимым для многоконтурной городской территории. Максимальное значение разреженной облачности не должно превышать 5 %. *Углы наклона*: космические сенсоры сверхвысокого разрешения могут отклоняться до 30–45 градусов от надира. Это повышает вероятность проведения безоблачной съемки и сокращает время получения снимков. Но с другой стороны, на снимках возникают перспективные искажения зданий и сооружений, которые могут достигать 30–50 м в районах многоэтажной застройки. Перспективными изображениями будут закрыты значительные площади: придомовая территория, проезды и даже основания домов, расположенных на другой стороне проездов. Поэтому необходимо ограничить угол наклона снимков. Предельный угол наклона, рассчитанный согласно [5], составляет 30 градусов для стереоснимков и 10 градусов для одиночных изображений.

3. Поставка данных. *Предварительная обработка* снимков должна включать минимум операций, желательна только радиометрическая коррекция без геометрических преобразований. *Размер снимков*: космическая съемка ведется в виде полос стандартной для каждого КА ширины и различной длины, зависящей от размера участка съемки, ресурса спутника и других причин. Например, изображения QuickBird могут иметь ширину 16,5 км, а длину от 5 до 150–200 км. Конечно, чем больше размер снимков, тем меньшее их количество потребуется для той или иной территории, меньше времени на фотограмметрическую обработку и соединение (сводку) смежных снимков при изготовлении фотопланов. Но надо иметь в виду, что точность RPC-коэффициентов, а следовательно, и точность фотограмметрической обработки, понижается с увеличением размера снимков. Поэтому при проведении высокоточных работ длину снимков необходимо ограничивать до 2-3 значений ширины (т. е. для примера со снимками QuickBird – не более 50 км). Детальная космическая съемка, как правило, ведется с *радиометрическим разрешением* 10–11 бит на пиксель, что позволяет фиксировать даже небольшие различия яркости на местности. Пользователю такие снимки доставляются с динамическим диапазоном 16 либо 8 бит/пкс. Обычно 8 бит/пкс достаточно, чтобы отразить все нюансы местности. Если же съемка велась в условиях недостаточной освещенности или при сильных контрастах, например, поздней осенью или

зимой, целесообразно использовать изображения с максимальным динамическим диапазоном, т. е. 16 бит/пкс.

#### *Фотограмметрическая обработка снимков*

Так как речь идет об обработке разновременных снимков одной и той же территории, целесообразно разбить на местности планово-высотную съемочную сеть и использовать одни и те же опорные точки при обработке последующих снимков. Для этого в городе выбираются базовые объекты – четкие, однозначно опознающиеся на снимках элементы местности, которые послужат точками планово-высотной сети.

Возникает вопрос о плотности и схеме размещения базовых объектов. На эти параметры в первую очередь влияют тип съемочной системы, уровень предварительной коррекции данных, качество предоставляемой дополнительной информации (например, уточненное значение фокусного расстояния, точность RPC) и метод уравнивания снимков (строгий, на основе RPC, универсальный). Проведенные нами экспериментальные работы показали, что, используя девять равномерно расположенных опорных точек, можно получить качественные результаты независимо от типа съемочной системы и выбранного метода уравнивания. Поэтому при проектировании планово-высотной сети целесообразно придерживаться именно этой схемы.

Учитывая, что мониторинг территории будет вестись многие годы, в качестве базовых объектов необходимо выбирать четкие долговременные контуры, не меняющиеся во времени – углы современных многоэтажных жилых и офисных строений, объекты историко-культурного наследия, железнодорожной инфраструктуры и т. д.

Однако часть базовых объектов с течением времени может все-таки исчезнуть с лица земли вследствие плановой реконструкции района или в результате чрезвычайного происшествия. В этом случае фотограмметрическую обработку нового снимка предлагается выполнять следующим образом.

Из опорных и новых снимков посредством связующих точек создается псевдоблок (в качестве опорных выступают космические снимки, полученные в первом цикле мониторинга). На опорных снимках опознаются базовые объекты, и их координаты аналитически передаются на новые снимки. В результате мы получаем ориентированные новые снимки для построения стереомодели или ортотрансформирования.

Уравнивание каждого нового снимка посредством псевдоблока преследует две цели. Первая – качественное ориентирование даже при малом количестве опорных точек. Вторая – минимизация расхождений в координатной привязке всех последующих снимков, обусловленная лишь ошибкой взаимного ориентирования. Второе условие приобретает особое значение при автоматизации выявления изменений, где необходима субпиксельная привязка старого и нового снимка друг к другу.

Рельеф местности остается постоянным на протяжении длительного времени, поэтому цифровая модель рельефа (ЦМР) для ортотрансформирования снимков строится только один раз в начале мониторинговых работ. В дальнейшем может потребоваться лишь локальная корректировка ЦМР в

местах кардинального изменения рельефа в результате активного антропогенного вмешательства.

### *Дешифрирование*

Визуальное дешифрирование всей городской территории, чрезвычайно насыщенной, потребует длительного времени. В то же время автоматическая классификация детальных спутниковых изображений мало эффективна в городских условиях вследствие слишком большого разнообразия спектральных, текстурных и пространственных характеристик [6]. Компромисс видится в следующей схеме. Методами автоматизированного выявления изменений, т. н. *change detection*, определяются зоны произошедших на местности изменений. Эта процедура проводится по двум разновременным ортофотопланам – текущему и предыдущему. В выявленных зонах выполняется визуальное дешифрирование по текущим ортофотопланам и стереомоделям и фиксация изменений на цифровом картматериале.

Дешифрирование выполняется более успешно с использованием ведомственных материалов – дежурных планов, выданных разрешений на строительство, планов реконструкции дорожных развязок и т. п. Поэтому на этапе подготовительных работ необходимо обратить внимание на межведомственный обмен информацией.

### *Хранение материалов*

Предложенная схема фотограмметрической обработки и дешифрирования снимков определяет перечень материалов, подлежащих хранению. В частности, для фотограмметрической обработки:

- Опорные необработанные космические снимки,
- Каталог и описание базовых объектов,
- Проект ориентирования опорных снимков, в который будут подключаться последующие снимки для создания псевдоблока;
- Цифровая модель рельефа.

Для процедуры *change detection* и дешифрирования:

- Ортофотопланы,
- Цифровой картографический материал.

### *Выводы*

Оперативный мониторинг городских территорий возможен на основе спутниковых снимков сверхвысокого разрешения. Для эффективного проведения работ стандартная технология обработки космических снимков должна быть усовершенствована. В статье рассмотрены пути реализации отдельных технологических этапов. В частности, сформулированы требования к параметрам космических снимков – пространственному и радиометрическому разрешению, спектральному диапазону, периодичности и сезону съемки и др. Фотограмметрическая обработка снимков проводится посредством совместного уравнивания старых и новых снимков с опорой на базовые объекты. Выявление и фиксация произошедших на местности изменений проводится в два этапа:

автоматизированное выявление зон, в которых произошли изменения, и затем детальное визуальное дешифрирование в выявленных зонах. Определен перечень материалов, подлежащих постоянному хранению.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонов А.А. Мониторинг градостроительной деятельности на территории Московской области в рамках работ по Генеральному плану развития территории Московской области / А.А. Антонов, Б.С. Фельдман, Р.С. Фельдман // Сборник тезисов Третьей Международной конференции «Земля из космоса – наиболее эффективные решения», Москва, Россия, 2007 г.
2. Атаманов С.А. Особенности аэрокосмического мониторинга состояния земель московского мегаполиса / С.А. Атаманов // Геодезия и аэрофотосъемка, 2005, № 6.
3. Большаков В.Н., Качак В.В., Коберниченко В.Г. и др. Экология: Учебник. М., Логос, 2005, 504 с.
4. Коберниченко В.Г. Методы синтеза изображений на основе данных дистанционного зондирования Земли различного разрешения / В.Г. Коберниченко, В.А. Тренихин // Успехи радиоэлектроники, 2007, № 3.
5. Морозова Т.Г., Информационная система обеспечения градостроительной деятельности / Геодезия и картография, 2006, № 12.
6. Соколова Н.А. Технология крупномасштабных аэрофотографических съемок. М., Недра, 1973, 184 с.
7. Safia A., He D.C., Belbachir M.F., Bounoua L. A precise texture-color based Forest detection in urban environment in Proc. ISPRS Hannover Workshop 2007: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, Hannover, Germany, May 29 to June 1, 2007.
8. Volpe F., Rossi L. Mapping Towns from QuickBird Imagery. GIM international, May 2005, Volume 19, Issue 5.

© А.А. Алябьев, Е.А. Кобзева, С.В. Серебряков, 2008

УДК 528.7

*John Trinder*

Emeritus Professor

School of Surveying and SIS

UNSW

Sydney, Australia

1st Vice President and former President, ISPRS

## RECENT DEVELOPMENTS IN INTERNATIONAL REMOTE SENSING AND GIS MARKETS

### Sensors

- High resolution optical sensors
  - a. <10m pixel size, panchromatic and multispectral
  - b. ‘Agile’ sensors with flexible pointing
  - c. Stereo capability providing Digital Elevation Models
- Small optical sensors
  - a. Emphasis on multispectral
  - b. Serving national requirements
  - c. Use of constellations provides frequent revisit
- Microwave (Radar) sensors
  - a. All weather capability
  - b. Improving resolution
  - c. Interferometry - measuring small height displacements

### Plans for New Satellite Systems (ASPRS 2005)

- Civil land imaging satellites with resolutions  $\leq 36\text{m}$  in orbit or currently planned by 2010
  - a. Optical, 26 in orbit, 25 planned
  - b. Radar, 3 in orbit, 9 planned
- Two major resolution groups
  - a. 18 high resolution systems (0.4m to 1.8m)
  - b. 44 mid resolution systems (2.0m to 36m)
- Have greatly different coverage capabilities.
  - a. Hi-res swaths are in the 8km to 28km range
  - b. Mid-res swaths are generally between 70 km to 185 km except for the DMC’s 600 km swaths
- c. Privately funded systems now in orbit with resolutions down to 0.4m
- d. Serves hi-res military market and civilian market – “Dual Purpose”
- e. Radar will have significant applications for multi-polarization, multi-frequency and fusion with other data sources
- f. Radar interferometry

## Small satellites

- Small satellites are characterised by:
  - a. Rapid development scales for experimental missions.
  - b. Start to launch schedules ranging from just 6 to 36 months.
  - c. Leading-edge COTS technology.
  - d. Innovative solutions and cheaper alternatives to the established systems.
  - e. Lighter satellite systems designed inside smaller volumes.
- Overall costs and ambitions to be space nations are driving developments of small satellites.

## Market Trends in Remote Sensing

- Multitude of data
- Cost/benefit of space applications rarely undertaken.
- Many countries entering the space industry for Earth Observation (EO).
- Viability of space programs of limited concern to many governments.
- Most commercial satellite have not been financially independent of government.
- RapidEye an interesting development.

## Group on Earth Observation (GEO)

Group on Earth Observations (GEO) established by the first Earth Observation Summit in July 2003 which declared the need for:

“...timely, quality, long-term, global information as a basis for sound decision making”.

### Aims of GEOSS (Global Earth Observation Systems of Systems)

- Sustainable operations - Will capture the success of Earth observation research programs.
- Activities over full range of processing cycle - primary observation to information production.
- Co-ordinated development to reduce the multiplicity of satellites.
- Shared observations and products.
- Products are accessible, comparable, and understandable, by supporting common standards.
- Encompass all areas of the world - *in situ*, airborne, and space-based observations.
- Primarily focused on issues of regional and global scale.

## Trends in GIS

- Web-based GIS services and applications have been substantially increased and enhanced in:
  - a. Access and dissemination,
  - b. Exploration and visualization,
  - c. Processing, analysis and modelling,
  - d. Collaborative spatial decision support

- Integration of web-based GIServices in mainstream/enterprise computing
- Moved into mainstream computing arena
- GIS users can be anywhere, location of data invisible to user
- Growth said to be approaching 10 % pa
- More applications, flexibility, incorporating image and non-image sensors
- Matching of Location Intelligence with Business intelligence - MapInfo
- Software continuing to grow but marked to 2 major players – MapInfo and

## ESRI

- GEO-sensors – for habitat monitoring and EO systems
- Wireline and wireless technologies have bound the virtual and physical worlds closer than ever

## Web 2.0

- Web 2.0 is a set of principles and practices that tie together sites all over the world.
- Not a platform or a set of tools
- It is a set of links with a specialized database behind it – examples are Google and Wikipedia
- The software never needs to be distributed – only to perform
- Links and software provide access to the information anywhere in the world

## Web 2.0 and GIS

- Allows access and searching of spatial data over the Web –
  - a. Individuals can participate
  - b. ‘crowd-sourcing’ of data
- KML – (XML based language) – developed for Google Earth – ‘pdf of Earth browsing’
  - a. Describes 3D geospatial data and its display in application programs.
  - b. Microsoft Virtual Earth aims at similar functionality.
- Google Mapplets – Mini application that runs in Google Maps.
- ‘Mashup’ – a web application that combines data from more than one source into a single integrated tool.

## Open Source

- OS Foundation – [www.OSGeo.org](http://www.OSGeo.org)
- Created to support and build the highest-quality open source geospatial software.
  - MapServer OS is 2nd biggest map server with 50k seats.
    - a. Developed originally by University of Minnesota.
    - b. Permits creation of "geographic image maps" – maps that can direct users to content.
    - c. Supported by developers around the world.

d. Advanced cartographic output, scripting, across platforms, multiple formats and projections.

#### Standards - OGC

- Open Geospatial Consortium
- OGC working on its Web Services Specifications for an interoperable, multi-source decision support environment
- The Open Geospatial Consortium's Web Map Service (WMS) Implementation Specification approved as ISO Standard.

#### Conclusions

- Growing number of sensors
- GEO AND GEOSS are planned to coordinate satellite developments for EO for the next 10 years
- New technologies such as Web 2.0 are rapidly changing the way GIS is available to users
- Such developments will continue to advance the applications of GIS.

© *John Trinder, 2008*



УДК 528.7

*С.В. Любимцева*

Компания «Совзонд», Москва

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

*S.V. Lyubimtseva*

"Sovzond" company, Moscow

### PROMISING TRENDS IN DEVELOPMENT OF SPACE SYSTEMS FOR REMOTE SENSING OF THE EARTH

The article deals with some promising trends in the development of space systems for remote sensing of the Earth, namely WorldView-1, WorldView-2, TerraSAR-X and ALOS. Their technological features and opportunities are analyzed.

Мы являемся свидетелями непрерывного роста количества новых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) на орбите. Только за последние три года запущено 13 коммерчески доступных спутников ДЗЗ и, причем темпы явно нарастают: 2004 год – Formosat-2 (Тайвань); 2005 год – IRS P5 (Индия), Монитор-Э (Россия); 2006 год – Ресурс-ДК1 (Россия), Kompsat-2 (Южная Корея), EROS-B (Израиль), ALOS (Япония). В 2007 году осуществлен успешный запуск аппаратов – Cartosat-2 (Индия), TerraSAR-X (Германия), CosmoSkyMed-1,2 (Италия), WorldView-1 (США), Radarsat-2 (Канада), в текущем 2008 году планируется запуск КА ДЗЗ – WorldView-2 (США), GeoEye-1 (США), CosmoSkyMed-3,4 (Италия). Спутники и установленные на них сенсоры серьезно отличаются друг от друга своими технологическими особенностями, функциональными возможностями, целевой направленностью.

Большим шагом в сторону более широкого применения космических снимков высокого разрешения в России стал аппарат нового поколения: WorldView-1, который был запущен 18 сентября 2007 года. Спутник обладает высоким пространственным (около 50 см), радиометрическим (11 бит/пиксел) разрешением. Высокое качество снимков обеспечивается совершенной конструкцией телескопа и применением многошаговой ПЗС-матрицы с временной задержкой накопления от 8 до 64 крат, что позволяет улучшить контрастность изображений и снимать в условиях низкой освещенности. Большим преимуществом WorldView-1 является высокая точность координатной привязки изображений, которая достигается путем обеспечения высокой стабильности космической платформы и повышенной точностью навигационно-угловых определений. Тестирование изображений со спутника WorldView-1 показало, что полученные снимки обладают высокой точностью

геопозиционирования, соответствующей 6.5 м СЕ 90 (~3 м RMS, не включая перспективные искажения и искажения, вызванные рельефом местности). При использовании наземных контрольных точек точность составит уже 1 м. Планируемая координатная точность позволит без использования наземных контрольных точек создавать геопорталы, эквивалентные продуктам предыдущего поколения – картам и ГИС – масштаба 1 : 10 000.

В конце 2008 года планируется запуск КА WorldView 2 . Спутник должен быть выведен на солнечно-синхронную орбиту высотой 770 км, обеспечивающую его прохождение над любым районом Земли каждые 1-2 дня (в зависимости от широты). WorldView-2 позволит получать цифровые изображения земной поверхности с пространственным разрешением 50 см в панхроматическом режиме и 1,8 м в мультиспектральном режиме при съемке в надир.

В 2007 году реализовалась перспективная тенденция – на орбите появился спутник, оборудованный радиолокаторами бокового обзора нового поколения. Так, немецкий спутник TerraSAR-X несет радарную аппаратуру, позволяющую осуществлять всепогодную съемку земной поверхности с пространственным разрешением до 1 метра, что дает возможность решать задачи без ограничений по погоде и времени суток. Кроме того, возможности интерферометрической обработки радиолокационных данных позволят строить высокоточные цифровые модели рельефа и выявлять миллиметровые подвижки на земной поверхности.

Наибольший интерес для решения задач картографирования представляют снимки КА ДЗЗ ALOS. Спутник ALOS оснащен радаром L-диапазона (PALSAR), предназначенным для круглосуточного и всепогодного наблюдения Земли, и, позволяющим получать изображения с разрешением 10-100 м; картографической стереокамерой (PRISM), позволяющей получать снимки с разрешением до 2,5 м, основным предназначением которой является создание ЦМР местности для картографирования в масштабе 1:25 000; а также мультиспектральной камерой (AVNIR-2) для получения цветных снимков с разрешением 10 м.

Космические данные ДДЗ уже являются реальной геопространственной основой для построения сложнейших ГИС, решения задач управления, администрирования, учета и хозяйствования, создания кадастра и обновления топоосновы. Очевидно, что дальнейшее развитие экономики страны напрямую связано с наличием точной и достоверной информации о территории России, что с ней происходит, как распоряжаются ее природными, людскими и прочими ресурсами. Очевидна необходимость создания системы использования современных технологий в интересах развития целых отраслей народного хозяйства.

Компания «Совзонд» является официальным дистрибьютором ведущих компаний-операторов спутников ДЗЗ НЦ ОМЗ, компаний DigitalGlobe, GeoEye, SPOTImage, Eurimage, Infoterra GmbH, Геологической службы США, предлагает российским заказчикам цифровые данные дистанционного зондирования, полученные со спутников Ресурс-ДК, Монитор-Э, WorldView-1, QuickBird,

IKONOS, OrbView, Formosat-2, SPOT, ALOS, TERRA (ASTER), TerraSAR-X, Landsat и др.

Компания «Совзонд» имеет эксклюзивные права на распространение продукции и услуг компании DigitalGlobe на территории Казахстана, Узбекистана, Туркменистана, Таджикистана, Киргизии, Армении, Азербайджана, Грузии.

© С.В. Любимцева, 2008

УДК 528.7

*Л.Г. Евстратова*

СГГА, Новосибирск

## «СГГА-СОВЗОНД» – ИННОВАЦИОННЫЙ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

*L.G. Yevstratova*

SSGA, Novosibirsk

10 Plakhotnogo U1, Novosibirsk, 630108, Russian Federation

## «SSGA-SOVZOND» – INNOVATION SCIENTIFIC-AND-EDUCATIONAL CENTRE

The focus of the innovation scientific-and-educational centre “SSGA-Sovzond” activity is investigation is multi-zone space images properties; development of methods and technologies for space images application in different fields of territories and objects monitoring; topographic- and special maps making; training and retraining engineers in digital methods and technologies for aerial-and satellite data processing.

The author presents methodological teaching principles in the context of retraining course for photogrammetry - and remote sensing engineers as well as specific goals and programs of different training courses.

В 2007 году в СГГА создан Инновационный научно-образовательный центр «СГГА-СОВЗОНД», основная задача которого научное исследование свойств многозональных космических снимков, разработка методик и технологий применения космических снимков для решения различных задач по мониторингу территории и объектов, создание топографических и специальных карт, а также подготовка и переподготовка инженеров по цифровым методам и технологиям обработки аэрокосмической информации.

В настоящее время в Центре выполняются исследования по следующим направлениям:

- Исследование космических снимков для мониторинга мегаполисов;
- Исследование аэрокосмических снимков для высокоточного земледелия (precision farming);
- Экологический мониторинг районов нефтегазодобычи;
- Космический мониторинг горных районов и оценка природных рисков.

Центр обучения «СГГА-СОВЗОНД» предлагает ряд учебных программ, рассчитанный на различный контингент слушателей, имеющих различную подготовку в области фотограмметрии и дистанционного зондирования.

Учитывая многолетний опыт кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования в области обучения студентов различных специальностей: фотограмметрии, дистанционного зондирования, аэрофотосъемки, дешифрирования снимков, цифровой обработки изображений и цифровой фотограмметрии, были разработаны учебные курсы, рассчитанные на различные уровни знания обучаемых и различные конечные цели обучения.

Предлагаемые курсы обеспечивают:

- Общее знакомство с методами дистанционного зондирования и космическими съемками с основными операциями программных комплексов ENVI, ERDAS, SDS;

- Основы методов дистанционного зондирования, современные космические съемочные системы, технологии создания топографических, специальных фотопланов и ортофотопланов по космическим снимкам с использованием комплекса ENVI;

- Основы теории автоматизированного дешифрирования многозональных снимков и реализация технологии дешифрирования с использованием комплекса ENVI;

- Автоматизирование технологии мониторинга природных объектов с использованием космических и аэрофотоснимков и программных комплексов ENVI, Photomod, SDS;

- Основы аэрокосмического мониторинга объектов нефтегазодобывающей отрасли;

- Калибровка цифровых съемочных камер и аэросъемка с использованием малоформатных камер;

- Цифровая фотограмметрия и основные процессы фотограмметрической обработки снимков для создания топографических карт и планов;

- Фотограмметрическая обработка снимков, полученных цифровыми камерами для создания 3D моделей;

- Основы цифровой фотограмметрии и фотограмметрической обработки снимков с использованием комплекса Photomod;

- Оперативная обработка аэрофотоснимков для создания фотопланов и ортофотопланов с использованием программного комплекса MonoSDS;

- Фототриангуляция с использованием комплекса SDS-Фотоком.

Для работы в центре привлекаются высококвалифицированные специалисты кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА, а также специалисты из институтов СО РАН и ведущих производственных предприятий в области фотограмметрии, дистанционного зондирования и мониторинга.

В инновационном центре «СГГА-СОВЗОНД» используются новые принципы обучения, заключающиеся в следующем.

1. Для успешной обработки аэрокосмических снимков необходимо иметь не только практические навыки работы с конкретным программным обеспечением, но и теоретические знания определенного уровня, позволяющие

правильно применять процедуры обработки и правильно оценивать результат. Недостаток теоретических знаний может привести к неправильному выбору процедур для обработки изображений, некорректной оценке полученных результатов и производству бракованной продукции.

Особенно это имеет место в современный период, когда на многие виды обработки снимков отсутствуют государственные (отраслевые) инструкции и стандарты, существенно имеет место многовариантность выбора и неоднозначность принятия решения. Возможности программного обеспечения быстро меняются, и соответственно изменяется технологический порядок применения процедур. Поэтому оператор должен знать не только минимальный набор действий, но и понимать (в определенной степени) последствия тех или иных действий, влияние ошибок на конечный результат.

2. Программное обеспечение, как для фотограмметрической обработки снимков, так и для автоматизирования дешифрирования снимков реализуют множество подходов, основанных на различных математических моделях и их непродуманное применение может привести к ошибочным результатам и выводам.

3. Неправильное применение основных процедур при изменившихся условиях может привести к созданию «брака», который может быть выявлен только на протяжении длительного использования продукта.

В центре обучения разработаны специальные технологии краткосрочного обучения, основанные на оптимальном сочетании теории и практики. При этом следует отметить, что краткосрочные курсы являются наиболее сложными для преподавания в области теории, так как необходимо за короткое время изложить систему непротиворечивых идей обработки данных, которые приводят к решению задачи.

Инновационная программа центра «СГГА-СОВЗОНД» основана на включении в систему работы центра аспирантов и студентов старших курсов, которые получают усиленную подготовку по обработке снимков с использованием программных комплексов ENVI, ERDAS, Photomod, SDS, MonoSDS, а также практически работают в области применения космических и аэрофотоснимков для решения задач различных типов. В настоящее время по направлению работы центра защищено 3 кандидатские диссертации и работают 4 аспиранта.

Следует отметить, что космические съемочные системы развиваются чрезвычайно быстрыми темпами, особенно это относится к улучшению разрешающей способности и развитию многоспектральных и гиперспектральных съемочных систем, что требует быстрого изучения новых свойств, чтобы обеспечить возможность их скорейшего использования.

Инновационный путь – это совместная работа производственных организаций и вузов, выполняющих как научные исследования, так и обучение молодежи. Основные проблемы в реализации инновационного пути развития состоит в осуществлении, казалось бы, простой идеи совместной деятельности производственных организаций, научного подразделения вуза и выпускающих

кафедр, в деятельности которых участвуют студенты и аспиранты, разрабатывающие и реализующие новые технологии.

Специалисты должны направляться в производственные организации совместно с новой технологией. Однако проблема состоит в том, что такое взаимодействие должно быть принято и организовано как с технической, так и с финансовой точки зрения. Производственные предприятия должны понять, что вложения денег в стадию разработки и направленной целевой подготовки специалистов принесут выгоду и прибыль не только в долгосрочной перспективе, но и принесет очень быструю окупаемость вложенных средств.

В настоящее время осознание этой проблемы в первую очередь производственными предприятиями и фирмами как раз и обеспечит инновационное развитие страны, о котором говорят на самых высоких уровнях управления государством.

© Л.Г. Евстратова, 2008

УДК 528.7

*А.П. Гук*

СГГА, Новосибирск

## КАФЕДРЕ ФОТОГРАММЕТРИИ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ – 65 ЛЕТ

*A.P. Guk*

SSGA, Novosibirsk

10 Plakhotnogo U1, Novosibirsk, 630108, Russian Federation

## PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING DEPARTMENT IS 65 YEARS OLD

The article describes the history and development of one of the leading departments of the Siberian State Academy of Geodesy - the photogrammetry department. The three main stages of the department development are singled out, as concerns transition to the new photogrammetric technologies, opening new specialities and training courses. Main achievements of the department in science and education are considered. The prospects and scientific goals are put forward.

Кафедра фотограмметрии была организована в 1943 году и была одной из первых кафедр, созданных в НИИГАиКе в переломный период Великой Отечественной войны, что было продиктовано неотложной необходимостью подготовки инженеров нового профиля – по специальности «Аэрофотогеодезия». Быстрое развитие аэрофотосъемки и фотограмметрии привело к появлению новой технологии – аэрофототопографии, которая позволяла резко увеличить производительность и качество работ по созданию карт.

Картографирование в тот период было одной из важнейших в масштабе государства задач – развивались производительные силы Сибири, Севера и Дальнего Востока.

Первыми преподавателями кафедры были высококвалифицированные производственники А.С. Нуварьев, А.А. Горин и эвакуированные из Москвы доценты К.Н. Герценова, А.И. Шершень и Е.А. Бугаец, выпускница НИИГАиК В.И. Усольцева. К 1945 г. состав кафедры увеличился до восьми человек (из них четыре доцента), вернулся с фронта А.И. Гридчин.

В последующие годы кафедра пополнялась опытными производственниками (В.Я. Финковский, Н.И. Шатько, В.С. Ляпунов) и наиболее способными выпускниками кафедры (А.П. Фатеев – 1949 г., И.М. Павлов, И.Т. Антипов, С.И. Родионов – 1951–1952 гг., Л.П. Тыгина, Н.Г. Минаева).



В 1960 г. в составе кафедры было 10 человек: доценты, кандидаты технических наук В.Я. Финковский, А.П. Фатеев, И.Т. Антипов, С.И. Родионов, доцент, кандидат химических наук Л.П. Кадыкова, старшие преподаватели В.И. Усольцева, И.М. Павлов, ассистенты Л.П. Тыгина, Н.Г. Минаева, А.П. Стрельникова.

К 1970 г. штат кафедры уже состоял из 19 преподавателей. Сочетание производственного опыта преподавателей и их научного уровня считалось главным для обеспечения полноценной подготовки квалифицированных инженеров. Для реализации этого принципа с 1960 по 1970 г. были приглашены на должности доцентов высококвалифицированные специалисты: О.А. Майер, П.Д. Гук, Ф.И. Черноштан, П.Д. Амромин, В.Н. Белых, а также имеющие производственный опыт специалисты: Б.В. Селезнев, А.П. Гончаров, А.Л. Кузьмина, Е.И. Добрынина.

С начала образования кафедры в 1943 г. кафедрой руководили: А.А. Горин (1943–1945 гг.); А.С. Нуварьев (1945–1952 гг.); Е.А. Бугаец (1952–1954 гг.); В. Ляпунов (1954–1956 гг.); А.С. Нуварьев (1956–1957 гг.); В.И. Финковский (1957–1966 гг.); И.Т. Антипов (1966–1967 гг.); П.Д. Гук (1967–1973 гг.); И.М. Павлов (1973–1984 гг.); П.Д. Гук (1984–1990 гг.); Б.В. Селезнев (1990–1991 гг.); А.П. Гук (1991 г. – по настоящее время).

До 1960 г. прием на специальность «Аэрофотогеодезия» составлял одну группу. В 1960 г. прием увеличен до двух групп, а в 1970 г. – до трех групп, кроме того, две группы набирали на заочный факультет.

В 1986 году была открыта новая специальность «Исследование природных ресурсов аэрокосмическими средствами». С 1988 года прием на специальность «ИПР» был увеличен до двух групп. Таким образом, с 1988 года кафедра фотограмметрии выпускала пять групп инженеров по двум специальностям. К сожалению, в связи с экономическими трудностями, связанными с переходным периодом в России, прием был постепенно сокращен до одной группы по каждой специальности.

Всего за 65 лет кафедрой было подготовлено около 4 000 инженеров. В настоящее время на кафедре работает 35 человек.

Кафедра фотограмметрии участвует в научно-исследовательских работах СГГА. Наиболее значительные темы исследований первого периода существования кафедры: В.Я. Финковский совместно с НИИ ВТС разработал способ «неискаженной модели» (1945–1950 гг.); А.С. Нуварьевым разработана теория текущей коррекции фокусного расстояния, которая положена в основу универсальных приборов профессора Дробышева Ф.В. (1945–1950 гг.).

За 1950–1955 гг. В.Я. Финковским, И.Т. Антиповым и И.М. Павловым разработана технология привязки снимков методом фототеодолитной съемки. В результате для производственных организаций было издано руководство по этой технологии. В период с 1955 по 1965 г. профессором В.Я. Финковским создан прибор стереоуниверсал; И.М. Павлов по заданию НИИВТС создал прибор для точной фиксации времени срабатывания АФА.

В 1960–1970 гг. В.Я. Финковским и П.Д. Гуком выполнена разработка и проведены исследования радиофотограмметрического способа определения

координат точек. Активно начинают вестись работы по аналитическим методам фототриангуляции (В.Я. Финковский, С.И. Родионов, И.Т. Антипов, П.Д. Гук). Наиболее значительные работы в области аналитической фототриангуляции с применением ЭВМ выполнены И.Т. Антиповым, Н.Ф. Добрыниным, В.Н. Белых. Программа маршрутной фототриангуляции способом зависимых моделей была внедрена во многие аэрогеодезические предприятия Сибири и Средней Азии.

Существенная разработка выполнена по договору с САО Гидропроект по использованию ЭВМ в наземной стереофотограмметрической съемке, которая была использована при строительстве Нурекской и Токтогульской ГЭС (П.Д. Гук, Г.А. Лысков, А.И. Слуцкий).

В 1970–1980 гг. кафедрой разрабатываются и заключаются долгосрочные договоры на фундаментальные исследования с большим объемом теоретических и экспериментальных работ. Договоры заключены с Институтом вулканологии ДВНЦ Академии наук СССР и с филиалом Института космических исследований.

Для выполнения этих работ при кафедре был создан научно-исследовательский сектор. Основными его сотрудниками были В.И. Демидов, Т.С. Зимина, А.Ф. Рябцев, И.И. Гузь, В.П. Боровикова, В.И. Шкред, Л.Н. Шилова, В.Н. Двигало, С.А. Толчин.

Изучением определения количественных характеристик вулканов фотограмметрическими способами были П.Д. Гук, Н.Ф. Добрынин, Б.В. Селезнев.

Исследованиями деформации фрагментов космических аппаратов руководили П.Д. Амромин и И.М. Павлов. Разработаны моно- и стереоскопические способы определения динамических характеристик космических летательных аппаратов.

Работы по вулканологической теме были представлены на ВДНХ и удостоены диплома II степени. Участники разработки: Б.В. Селезнев, Л.Н. Шилова, В.Н. Двигало, В.И. Шкред награждены медалями ВДНХ.

В этот же период разработан эталонный полигон для калибровки АФА (А.П. Гончаров); способ определения количественных характеристик динамических процессов для Института кинетики и горения СО АН СССР (И.М. Павлов).

В следующее десятилетие (1980–1990 гг.) продолжают работы для Института вулканологии и института космических исследований, выполняются научные исследования совместно с МИИГАиК и Институтом теплотехники по исследованию сканерных съемочных систем. Для этого создан специальный полигон в Средней Азии (район Карши-Камаша), где в течении ряда лет преподаватели и студенты кафедры выполняли полевые работы по обеспечению летно-съемочных экспериментов (А.П. Гук, В.С. Коркин, Н.Е. Смердов, Т.А. Широкова, Г.Б. Мчедлишвили).

В 1980-е годы появились, так называемые мини-ЭВМ типа Электроника 100, Электроника ДЗ-28 и др., которые были доступны по стоимости (в сравнении с СМ4 или СМ1420) и на кафедре разрабатываются программы для этих ЭВМ,

выполняющие построение модели местности и фототриангуляцию (А.П. Гук, Т.А. Широкова), создаются автоматизированные комплексы стереокомпаратор-миниЭВМ, УП-миниЭВМ. Разрабатывается система для фототриангулирования в режиме «On-line» для геолого-геофизической экспедиции Министерства геологии Казахской ССР (А.П. Гук, Т.А. Широкова, О. Хаймбюргер, Е.Ю. Цветкова, В.С. Коркин).

С начала 1980-х годов на кафедре выполняется работа в области цифровой фотограмметрии (А.П. Гук, Н.Е. Смердов, В.С. Коркин). Активное сотрудничество с учеными ВЦ СО РАН позволяет осуществлять уникальные эксперименты по калибровке устройств ввода-вывода изображения, цифрового трансформирования снимков. В 1981 году организован филиал кафедры фотограмметрии в ВЦ СО РАН СССР, что дало возможность проведения учебных занятий и научных исследований в области цифровой обработки изображений.

Существенно изменился учебный план специальностей «Аэрофотогеодезия» и «Исследование природных ресурсов аэрокосмическими средствами». Были введены новые дисциплины: цифровая фотограмметрия, технология создания цифровых карт, автоматизированная обработка аэрокосмической информации, геоинформационные системы. Все это потребовало создания принципиально новых лабораторий. Первоначально использовалось оборудование Вычислительного центра СО АН СССР (филиал кафедры). Затем, хотя и с большими трудностями, были созданы свои лаборатории: вначале лаборатория цифровой обработки изображений, оснащенная системами «Гамма», и компьютерный класс. Приобретаются и создаются автоматизированные приборы и системы: СКА-30, аскорекод, авиограф Вильда, аналитическая система (СК + ЭВМ).

В связи с бурным развитием космических многозональных съемок, радиолокационных съемок и других средств дистанционного зондирования в 1993 году кафедра фотограмметрии, которая обеспечивает учебный процесс, переименовывается и становится кафедрой фотограмметрии и дистанционного зондирования.

В 1995 году на кафедре фотограмметрии и ДЗ под руководством процессора, доктора технических наук А.П. Гука разрабатывается один из первых в России и мире цифровой стереоплоттер SDS (Siberian Digital Stereoplotter). В 1996 году он был представлен на Международной выставке в Вене (Австрия), проходившей во время XVIII международного фотограмметрического конгресса, где привлек внимание специалистов. С 1996 года обучение студентов в области цифровой фотограмметрии выполняется с использованием цифрового стереоплоттера SDS. Программный комплекс SDS включает все виды фотограмметрической обработки от цифрового трансформирования до стереообработки снимков. Последующая версия включает возможность сетевой обработки снимков, а также разработана версия MonoSDS для оперативной обработки снимков различного типа, включая выполнение полуавтоматической фототриангуляции и ортотрансформирования снимков. С использованием SDS выполнен ряд научно-исследовательских и производственных проектов.

В 1999 г. кафедрой фотограмметрии и дистанционного зондирования совместно с ООО АФТ (директор – выпускник аэрофотогеодезического факультета НИИГАиК 1975 г. А.М. Янчук) была организована производственная лаборатория, занимающаяся отработкой новых технологий и выполнением производственных работ. Лаборатория оснащена новейшими компьютерами, обеспечивающими стереосоставление карт по цифровым снимкам, ортотрансформирование и редактирование карт. Сотрудничество с ООО АФТ обеспечивает выполнение всего цикла работ по созданию цифровых карт – от аэрофотосъемки и полевых работ до стереосоставления карт. За 1999–2003 гг. были выполнены производственные работы по созданию цифровых кадастровых карт (масштаба 1 : 2 000) и созданию цифровых карт мест нефтезагрязнений (масштабов 1 : 10 000, 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 500); изготовлены цифровые ортофотопланы на городскую территорию и поселки городского типа (масштаба 1 : 2 000); созданы цифровые ортофотопланы на места нефтеразработок (масштаба 1 : 5 000).

Кафедрой также разработаны методики и технологии калибровки аэрофотосъемочных и цифровых камер. Получен сертификат на право калибровки съемочных камер. Калибровка аэрофотосъемочных камер выполняется в лабораторных условиях. Для калибровки используется специальный пространственный тест-объект, размещенный в одной из лабораторий кафедры. В год калибруется до 20 аэрофотоаппаратов для различных организаций, выполняющих аэрофотосъемку.

В настоящее время на кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования 17 штатных преподавателей из них 14 со степенями и званиями (82,3 %), в том числе три профессора, два доктора технических наук. Базовое образование преподавателей и направленность научных исследований соответствует преподаваемым дисциплинам.

На кафедре работает 4 внешних совместителя, из них четыре со степенями и званиями, три доктора наук, один кандидат наук, который является лауреатом государственной премии. В инженерный состав кафедры входят заведующий лабораториями, 8 инженеров, техник. Так же на кафедре фотограмметрии работают 8 аспирантов.

Перспективы развития кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования.

В соответствии с основными направлениями развития науки и образования в России задачей кафедры является реализация инновационного подхода в образовании, который заключается в смещении акцентов в образовании на индивидуальное обучение студентов, обучения в процессе непосредственного участия студентов в совершенствовании новых методик и технологий. Для этого нужно формировать мобильные научно-исследовательские и производственные группы, включающие студентов, аспирантов и преподавателей, для решения конкретных задач на основе использования новых технологий.

В связи с переходом вузов на новую двухуровневую систему образования необходимо в плане кафедры фотограмметрии и ДЗ выполнить следующие совершенствования системы образования:

- Разработать новые учебные планы и рабочие программы;
- Обеспечить усиление фундаментальной подготовки студентов и базовые дисциплины по: математике, включая специализированные курсы по линейной алгебре, спектральному анализу, физике, геодезии (как базовой дисциплины), иностранному языку, информатике;
- Создание новых учебных программ по фотограмметрии, основанные на методах аналитической и цифровой фотограмметрии с обязательным детальным геометрическим анализом снимков, построения модели местности и геометрических аспектов фототриангуляции;
- Переработать курсы по аэросъемке, аэрофотографии и дистанционному зондированию, с учетом развития методов цифровой съемки;
- Разработать новые программы по автоматическому и интерактивному дешифрированию и анализу многозональных аэрокосмических снимков;
- Включить специальные учебные курсы по геоинформационным системам, разработке геоинформационных проектов на основе использования космических и аэроснимков различных типов;
- Обеспечить практическое изучение технологии создания топографических и кадастровых карт;
- Разработать методики обучения мониторингу территорий, на основе многозональных и гиперзональных аэрокосмических съемок;
- Дать практические навыки в разработке специальных технологий цифровой съемки инженерных объектов и технологии обработки полученных снимков.

В научных исследованиях, которые планируется выполнить на кафедре в ближайшее время можно выделить несколько направлений.

1. Развитие количественного подхода в обработке данных дистанционного зондирования и дешифрирования многозональных космических снимков:
  - Разработка теоретических основ и алгоритмов дешифрирования многозональных снимков;
  - Разработка автоматического дешифрирования многозональных снимков для изучения лесных ресурсов;
  - Разработка технологий мониторинга территории по многозональным космическим снимкам;
2. Разработка новых и совершенствование существующих фотограмметрических технологий:
  - Разработка цифровых фотограмметрических технологий оперативной обработки аэрокосмических снимков;
  - Развитие фотограмметрических методов комплексной обработки разномасштабных и разновременных аэрокосмических снимков, создание карт и ортофотоснимков переменных масштабов;
  - Совершенствование методов калибровки цифровых камер;

- Разработка технологии аэро и наземной съемки цифровыми камерами и создание по этим снимкам измерительных 3D моделей;
- Совершенствование технологии создания топографических и специальных карт по аэрокосмическим снимкам.

В ближайшее время есть реальные перспективы создания систем измерительных как в геометрическом, так и в фотометрическом плане, что позволит по снимкам получать не только геометрическую модель местности объекта, но и определять качественные характеристики объектов, то есть выполнять распознавание объектов и его деталей, и в результате восстанавливать реалистические 3D модели местности. Создание таких систем является основным направлением в работе кафедры.

© А.П. Гук, 2008

УДК 528.722.8

*В.С. Коркин*

СГГА, Новосибирск

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕРЕОПЛОТТЕРА SDS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ МАКЕТНЫХ СНИМКОВ

*V.S. Korkin*

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo U1, Novosibirsk, 630108, Russian Federation

## EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF SDS PLOTTER USING DIGITAL MODEL SHOTS

The produced model shots are used for digital photogrammetric complexes investigation. The results of the investigations are offered.

Цифровые макетные снимки являются тест-объектами для исследования правильности работы алгоритмов цифровых фотограмметрических станций, а также точности определения элементов ориентирования снимков и координат точек. Эти исследования могут выполняться на всех этапах обработки снимков и получения конечной продукции.

Для исследования стереоплоттера SDS были созданы различные цифровые макетные снимки формата Bitmap с различными параметрами внутреннего и внешнего ориентирования и разрешающей способностью.

Данная работа ведется на кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА с 1996 г. Здесь автор приводит результаты исследования на одном примере.

Данные цифровые макетные снимки Bitmap, образующих стереопару, создавались в масштабе 1: 10 000 со следующими параметрами внутреннего и внешнего ориентирования, указанными в табл. 1.

Таблица 1. Элементы ориентирования снимков

Снимок	Элементы внутреннего ориентирования			Элементы внешнего ориентирования					
	$f$ , мм	$x_0$ , мм	$y_0$ , мм	$X_s$ , м	$Y_s$ , м	$Z_s$ , м	$\alpha$ , °	$\omega$ , °	$\chi$ , °
Левый	200	0	0	2200	3800	2430	6,0	-8,0	5,0
Правый	200	0	0	2630	3810	2450	7,0	-9,0	6,0

Параметры растровых изображений: разрешение – 2450 пикселей на дюйм, число пикселей по оси  $x$  и  $y$  – 16327, размер файла одного снимка – 133 Мб, цвет фона – белый, глубина цвета – 4 бит. Углы разворота цифровых снимков относительно координатных осей фотографических снимков составили: для

левого – минус  $0.4^0$ , для правого – минус  $0.5^0$ . Масштабные коэффициенты при переходе от фотографического изображения к цифровому – 100, при размере пикселя 10 мкм. Создание данных тест-объектов использовалась технология приведенная в [1].

При маркировке точек на снимках в программе PhotoShop координаты точек округлялись до целых пикселей, что вносит естественные погрешности в точки. За счет округления средняя квадратическая погрешность формирования макетных снимков составила 3 мкм. Согласно «Инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов» средние погрешности координат точек стереопары макетных снимков не должны превышать более 0.5 элемента сканирования при его величине от 10 до 20 мкм [2]. Замаркировано на снимках 464 точки.

Для формирования макетных снимков использовалась цифровая модель рельефа на основе ортонормированных полиномах Чебышева. Перепад высот рельефа составил 515 м.

При исследовании программы SDS были выполнены все процессы построения геометрической модели местности, состоящие из трех этапов: внутреннее ориентирование и взаимное ориентирование цифровых снимков, внешнее ориентирование модели. А также оценка точности построения модели по контрольным точкам. Исследовались два модуля программы: стереоплоттер SDS и OrtoPhoto SDS.

Внутреннее ориентирование снимков выполнялось по четырем координатным меткам, и средняя квадратическая погрешность ориентирования составила 6 мкм.

Взаимное ориентирование макетных снимков выполнялось по 18 точкам, расположенных в шести стандартных зонах. Остаточный поперечный параллакс составил не более 3 мкм.

Результаты внешнего ориентирования (средние квадратические погрешности) на опорных и контрольных точках для двух модулей SDS приведены в табл. 2.

Таблица 2. Оценка точности построения геометрической модели местности

Опорные точки (число точек – 18)			Контрольные точки (число точек – 20)		
$m_X$ , м	$m_Y$ , м	$m_Z$ , м	$m_X$ , м	$m_Y$ , м	$m_Z$ , м
Стереоплоттер SDS					
0.054	0.046	0.130	0.072	0.080	0.201
OrtoPhoto SDS					
0.043	0.039	0.136	-	-	-

В модуле OrtoPhoto SDS было произведено построение цифровой модели рельефа по измерениям координат замаркированных точек и выполнено ортотрансформирование снимков. Точность ортотрансформирования составила по X – 0.279 м, по Y – 0.357 м.



Также, производилась оценка точности фотограмметрической обработки в двух модулях SDS по полученным элементам внешнего ориентирования снимков. Результаты такой оценки приведены в таблице 3.

Таблица 3. Расхождения эталонных и полученных элементов внешнего ориентирования макетных снимков

Снимок	$\Delta X_S, \text{ м}$	$\Delta Y_S, \text{ м}$	$\Delta Z_S, \text{ м}$	$\Delta \alpha^\circ ' ''$	$\Delta \omega^\circ ' ''$	$\Delta \chi^\circ ' ''$
Стереоплоттер SDS						
Левый	0.801	-0.048	0.389	- 0 01 26	0 00 04	0 00 12
Правый	0.535	-0.640	0.271	- 0 00 50	0 01 08	- 0 00 08
OrtoPhoto SDS						
Левый	0.698	0.272	0.244	- 0 01 18	- 0 00 33	- 0 00 01
Правый	0.804	0.269	0.011	- 0 01 31	-0 00 29	0 00 01

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Данные тест-объекты позволяют оперативно проверять правильность работы алгоритмов программы и точность фотограмметрической обработки снимков на цифровых фотограмметрических станциях.
2. Исследуемые модули SDS можно использовать для создания крупномасштабных карт и планов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коркин В.С. Разработка макетных снимков для тестирования цифровых фотограмметрических систем / В.С. Коркин / Современные проблемы геодезии и оптики: Материалы междунар. научн.-техн. конф., посвящ. 65-летию СГГА – НИИГАиК, 23-24 нояб. 1998 г. – Новосибирск: СГГА. С. 62–69.
2. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. / Федеральная служба геодезии и картографии России. – М., 2001. – 62 с.

© В.С. Коркин, 2008

УДК 528.7

*Г.А. Гиенко, Е.Л. Левин*

Мичиганский Технологический Университет, США

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ВИЗУАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

*G.A. Gienko, E.L. Levin*

Michigan Technological University

1400 Townsend Drive, Houghton, MI 49931, USA

## NUMERICAL ASSESSMENT OF VISUAL PERCEPTION OF GEOSPATIAL DATA

With all advances in automatic feature extraction and visual data fusion, matching of visual geospatial data with different origins in terms of spatial, spectral and temporal resolution is still a very challenging task, which quite often requires visual inspection of the source data. Oversimplifying the whole physiological process of visual inspection, the process visual matching can be divided into two general phases: perception and reaction. Scene perception comprises several steps such as visual search, feature selection and identification. Human analysts perceive visual data through intensive movements of eyes which subconsciously select the most distinctive features in an image in order to reduce our overall ambiguity about observed scene. Whether or not all informative points are detected depends on both the observer's experience, knowledge of the current stimulus and the particular task. Dynamics of this information accrual process can be documented and quantified using analysis of eye movements. In this paper we investigate applicability of eye-tracking technology for numerical assessment of efficiency of an operator in real-time visual data matching to find correspondence in multi-sensor and multi-geometry geospatial imagery.

Визуальные геопространственные данные, ежедневно получаемые современными космическими и аэросъемочными системами, активно используется во многих комплексах мониторинга за состоянием окружающей среды, а так же в различных системах общего и оперативного слежения и реагирования. Установленные на дистанционно управляемых платформах-роботах телеметрические системы непрерывно передают видеoinформацию, подлежащую оперативной обработке в реальном режиме времени. В зависимости от поставленной задачи получаемый поток видеoinформации сравнивается с базовым изображением (или набором изображений), в результате чего оператором принимается то или иное решение.

Широко применяемые алгоритмы корреляции и сопоставления видеoinформации в современных системах автоматизированного анализа

изображений высокоэффективны и достаточно робастны при анализе относительно однородных видеоданных, полученных в соразмерном пространственном разрешении, однородной геометрии поля изображения, соизмеримом масштабе и близком спектральном диапазоне. Однако во многих задачах требуется пространственное сопоставление изображений, различающихся настолько существенно, что автоматические алгоритмы не дают принципиально приемлемых результатов. В этом случае анализ информации выполняется профессиональными операторами путем визуального сравнения и интерпретации исходного и оперативного изображений.

Отслеживание изменений в состоянии объектов, отображенных на космических или аэроизображениях, требует активной работы всех компонент зрительной системы человека – зрительное восприятие сцены (общего поля изображения) сетчаткой глаза, селективные саккадические движения в поиске определенной зоны интереса, исследование этой зоны с использованием фoveального зрения вплоть до задействования био-механизма субпиксельной интерполяции путем специфических движений микрофиксаций глаза. Терабиты информации, генерируемые сетчаткой глаза, поступают в человеческий мозг и параллельно обрабатываются различными зонами, генерирующими сигналы обратной связи для управления движениями глаз. Вся эта высоко-функциональная и сверхпроизводительная система функционирует как некий центр, воспринимающий и анализирующий гигантский объем непрерывно поступающей визуальной информации. Однако, как и любая высокоорганизованная форма функционирования, визуальная система человека имеет определенные ограничения, в первую очередь связанные как с физической утомляемостью глаз, так и самого мозга. Продолжительность времени удержания внимания и уровень интенсивности работа мозга при восприятии непрерывно поступающей видеoinформации определяется многими факторами, в том числе интенсивностью поступления и сложностью исходных данных, подлежащих анализу.

С одной стороны, объем визуальной гео-пространственной информации, ежесекундно воспринимаемой и анализируемой оператором систем оперативного слежения, заставляет работать зрительную систему человека на грани физиологических возможностей. С другой стороны, интенсивность поступления видеоданных, вкупе со сложностью и частичной или полной неадекватностью базового и оперативного изображений предъявляют очень жесткие требования к производительности и качеству работы оператора. Одним из методов количественной оценки производительности зрительной системы человека при решении таких неординарных задач является анализ движений глаз в задачах восприятия визуальной информации.

Настоящие исследования посвящены изучению принципов и механизмов восприятия визуальной геоинформации – в первую очередь аэро- и космических изображений. Для выполнения экспериментальных исследований сконструирована и изготовлена система слежения за движениями глаз, позволяющая выделять зоны внимания в кинематических протоколах движения глаз и устанавливать соответствия между этими зонами и объектами на

изображении, рассматриваемом на экране монитора. Статистический анализ записанных данных позволяет выявить пространственно-временные зависимости между траекторией взгляда, последовательностью просмотра, длительностью зон внимания и типом и расположением наблюдаемого объекта, а также количеством однотипных объектов на изображении. Полученные результаты сохраняются в базе данных визуального поведения (Visual Behavior Database) в структурированном виде, пригодном для обработки алгоритмами извлечения и формализации знаний (data mining).

Для проведения экспериментальных исследований были использованы четыре набора изображений. Во всех наборах качестве базового изображения использован черно-белый аэроснимок, и в качестве оперативного – цветной перспективный снимок. Изображения первого набора были расположены таким образом, чтобы объекты на обоих снимках изображались взаимно ориентированными, что позволяет достаточно легко и однозначно установить их взаимное соответствие. Базовое изображение во втором, третьем и четвертом наборах было соответственно развернуто на 180 градусов, отображено зеркально, и геометрически деформировано (диагональный скос). Оперативное изображение во всех наборах оставалось неизменным. Задача оператора заключалась в поиске соответствующих точек на обоих изображениях, одновременно отображенных на мониторе. Рисунок 1 иллюстрирует типичный пример протоколирования траектории движения глаз и соответствующих фиксаций в процессе идентификации объектов и установления их соответствия на изображениях.

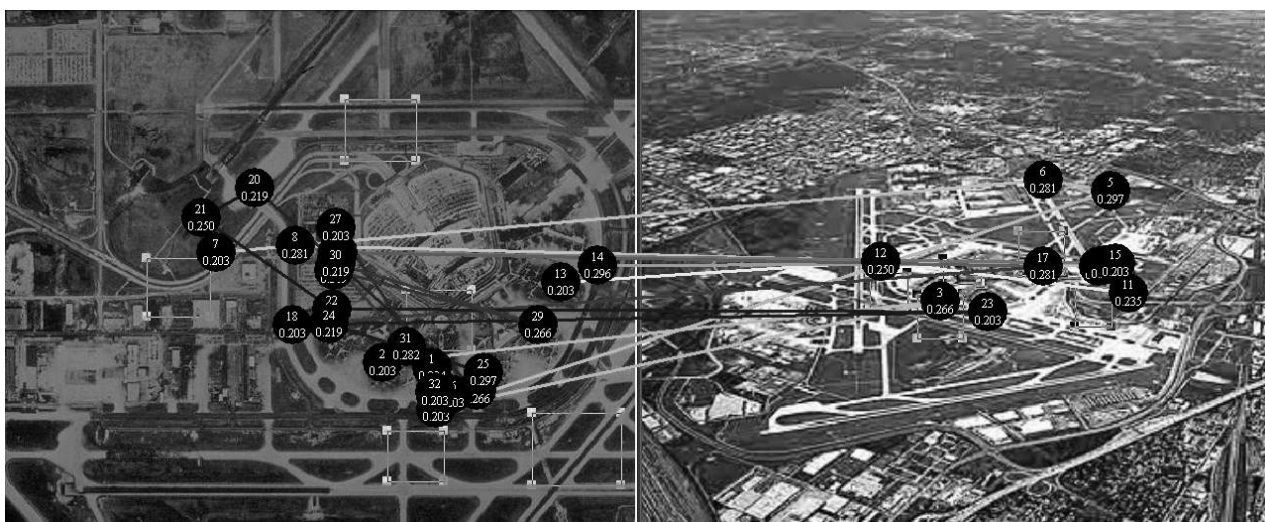


Рис. 1. Траектории движения глаз и фиксации при идентификации соответственных объектов на базовом (черно-белый аэроснимок) и оперативном изображении (цветной перспективный снимок)

Геометрическая точность и достоверность взаимной идентификации объектов при визуальном сопоставлении тестовых изображений в реальном времени проверялись путем сравнения положения фиксаций с зонами соответствия, обозначенными независимым экспертом классическим способом

(путем выделения зон соответствия курсором на обоих изображениях). Табл. 1 содержит результаты одного из экспериментов – расхождения координат фиксаций (то есть зон внимания, соответствующих объектам на изображении) и координат соответственных точек, выделенных независимым экспертом (контрольных зон).

Предварительный анализ экспериментальных данных показал, что в случае визуально-комфортного восприятия базового и оперативного изображений (экспериментальный набор №1) средняя квадратическая ошибка определения координат соответственных точек по протоколам движения глаз составляет 23.7 пиксела на экране монитора, что соответствует физиологическим параметрам зрения (стабильность удержания направления глаза составляет 0.022678 рад). Нарушение взаимной пространственной ориентации базового и оперативного изображений резко снижает точность и достоверность идентификации объектов.

Таблица 1

Фиксация	Коорд. х	Коорд. у	Начало фикс., сек	Конец фикс., сек	Длит. фикс., сек	Контр. зона	LZ x	LZ y	dX	dY
1	431	618	15.578	15.782	0.204	LZ 5	411.5	619.5	-19.5	1.5
2	381	613	20.641	20.844	0.203	LZ 5	411.5	619.5	30.5	6.5
3	944	551	22.844	23.110	0.266	LZ 2				
4	435	659	24.313	24.516	0.203	LZ 5	411.5	619.5	-23.5	-39.5
5	1116	440	27.078	27.375	0.297					
6	1048	429	27.641	27.922	0.281					
7	213	502	33.219	33.422	0.203	LZ 7	228.5	469	15.5	-33
8	293	495	41.407	41.688	0.281					
9	1104	516	42.282	42.516	0.234	LZ 8	1122	531.5	18	15.5
10	1110	515	42.532	42.782	0.250	LZ 8	1122	531.5	12	16.5
11	1134	543	42.875	43.110	0.235	LZ 8	1122	531.5	-12	-11.5
12	884	511	95.844	96.094	0.250					
13	561	532	97.016	97.219	0.203	LZ 9	568.5	532	7.5	0
14	598	515	97.782	98.078	0.296	LZ 9	568.5	532	-29.5	17
15	1121	513	126.375	126.578	0.203	LZ 8	1122	531.5	1	18.5
16	336	502	141.875	142.094	0.219					
17	1048	516	149.797	150.078	0.281					
18	290	575	162.110	162.313	0.203					
19	476	641	164.391	164.657	0.266					
20	252	437	170.922	171.141	0.219	LZ 7	228.5	469	-23.5	32
21	198	467	178.438	178.688	0.250	LZ 7	228.5	469	30.5	2
22	330	559	187.860	188.125	0.265					
23	992	562	190.032	190.235	0.203					
24	327	574	191.703	191.922	0.219					
25	483	623	194.641	194.938	0.297					
26	450	645	200.969	201.172	0.203	LZ 5	411.5	619.5	-38.5	-25.5
27	334	477	217.750	217.953	0.203					
28	332	520	224.891	225.110	0.219					
29	538	575	242.422	242.688	0.266	LZ 9	568.5	532	30.5	-43
30	334	513	249.625	249.844	0.219					
31	405	597	250.375	250.657	0.289	LZ 5	411.5	619.5	6.5	22.5
32	434	643	257.688	257.891	0.203	LZ 5	411.5	619.5	-22.5	-23.5

Целью второй серии экспериментов было изучение динамических параметров восприятия геопространственных изображений в задачах установления их взаимного соответствия. Четыре набора данных представляли разные уровни визуальной однородности изображений (и соответственно визуального комфорта восприятия). Рис. 2 и 3 иллюстрируют наиболее комфортный и дискомфортный случаи для визуального сравнения двух изображений.



Рис. 2. Визуально комфортный набор изображений: изоморфные данные (стереопара аэроснимков одного маршрута). Набор RIB-1

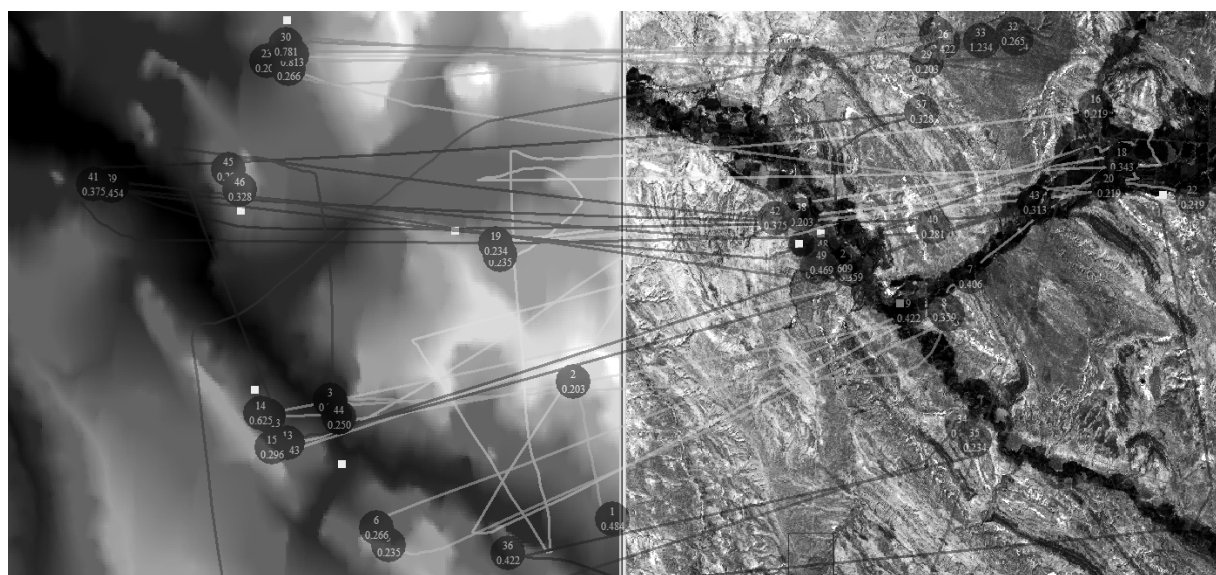


Рис. 3. Визуально дискомфортный набор изображений: функционально разнотипные данные (синтезированный в псевдоцветах снимок Ландсат и цифровая модель рельефа на соответствующую территорию). Набор RIB-4

Статистический анализ результатов эксперимента приведен в табл. 2. Увеличение числа фиксаций на точку изображения служит индикатором повышенной работы зрительной системы при поиске визуального соответствия точек и позволяет количественно оценить сложность выполняемой задачи в зависимости от разнотипности исходных данных.

Таблица 2

Набор данных	Задержка клик-фиксация, сек	Общее время фиксаций, сек	% времени фиксаций	Колич. фиксаций	Колич. соответств. точек	Колич. фиксаций на пару соответств. точек
RIB-1	0.753	22.700	69.9	47	8	5.9
RIB-2	0.889	15.498	26.6	41	8	5.1
RIB-3	0.634	40.308	65.9	99	11	9.0
RIB-4	0.393	21.376	59.3	56	5	11.2

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Duchowski, A., (2007). Eye Tracking Methodology: Theory & Practice, 2nd ed., Springer-Verlag, London, UK.
2. Gienko, G., Chekalin, V., (2004). Neurophysiological features of human visual system in augmented photogrammetric technologies, Proc. of XXth ISPRS Congress, Istanbul, 2004.
3. Gienko, G., Levin, E., (2007) A “sight-speed” human-computer interaction for augmented geospatial data acquisition and processing systems. In: Stilla U. et al (Eds) PIA07. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36 (3/W49B), 2007, p. 41-46.
4. Salvucci, D.D., and Goldberg, J.H., (2000). Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. Proc. of ETRA Symposium (pp. 71-78). New York: ACM Press.

© Г.А. Гиенко, Е.Л. Левин 2008



УДК 528.7

*О.Б. Громько, В.С. Димитрюк*

«Гео-Альянс», Москва

## ОБРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ GEOMATICA 10 (PCI GEOMATICS, КАНАДА)

*O.B. Gromyko, V.S. Dimitryuk*

“Geo-alliance”

Volokolamskoe shosse 4, Moscow, 125993, Russian Federation

## PROCESSING OF SATELLITE DATA WITH GEOMATICA 10 SOFTWARE (PCI GEOMATICS, CANADA)

With Geomatica, PCI Geomatics offers the most complete geospatial software solution to date. No other geomatics software solution has the built-in capabilities to support your organization's geospatial data processing needs and increase productivity like Geomatica. Geomatica breaks down the conventional divisions in traditional remote sensing, GIS, photogrammetry, cartography, web and development tools. All of these are offered in a single integrated environment, meaning fewer errors, less wasted time, and greater productivity.

With full raster and vector integration and support for over 100 geospatial data formats, Geomatica offers solutions for all of your geomatics processing needs while maintaining complete interoperability with outside software packages.

As a geospatial software professional, your job is to get the most out of your data, extracting information to help make better decisions about your world. At PCI Geomatics, our job is to provide you with the best tools available to help turn spatial data into information. Geomatica 10 represents the culmination of these efforts to date. This landmark release improves and adds to the capabilities for which Geomatica is known, helping you turn your images into answers.

Компания «Гео-Альянс» является представителем и официальным авторизированным дистрибьютором программного обеспечения компании PCI Geomatica (Канада). Наши дистрибьюторские полномочия распространяются на Россию и 10 стран СНГ.

Программное обеспечение Geomatica 10 предлагает наиболее полное современное решение по обработке геопространственных данных: <http://www.geo-alliance.ru/products/soft/> Система имеет множество уникальных встроенных возможностей для обеспечения обработки данных в вашей организации и увеличения продуктивности. В Geomatica нет традиционного разделения на дистанционное зондирование, ГИС, фотограмметрию, картографию, Интернет публикации и инструменты разработки. Все это

предлагается в единой интегрированной среде, что ведет к меньшему количеству ошибок, сокращению потраченного времени и увеличению эффективности.

При полной растрово-векторной интеграции и поддержке более чем 100 форматов пространственных данных Geomatica предлагает решение для любого процесса обработки данных ДЗЗ, одновременно сохраняя работоспособность внешних программных пакетов.

*Доступ и обмен данными.*

Программное обеспечение PCI Geomatics использует технологию Обобщенной Базы Данных (Generic Database (GDB)) для прямого чтения и записи растров, векторов и другой информации из пространного списка поддерживаемых форматов, что дает быстрый прямой доступ к данным.

Технология Generic Database (GDB) – эксклюзивная разработка PCI Geomatics делает возможным, перемещать и обрабатывать геоданные в более чем 100 различных форматах, используемых в современных ГИС-технологиях.

Список поддерживаемых форматов постоянно расширяется. Как только появляется новый формат геопространственных данных команда разработчиков PCI Geomatics добавляет его в GDB. Множество таких популярных форматов как Arc/INFO, ArcView, AutoCAD and MicroStation полностью поддерживаются.

### **Генерация Ортоизображений (рис. 1)**

Geomatica 10 содержит полный набор инструментов, необходимых для генерации ортоизображения из множества спутниковых и самолетных сенсоров, включая новое поколение спутников высокого разрешения:

CARTOSAT-1 (IRS-P5), сертифицированный ANTRIX,  
ALOS PRISM Level 1A, 1B1 and 1BR2, □

IKONOS GEO – наиболее дешевая GEO продукция в Geotiff or HDF формате. Достигается 1-2 метровая точность RMS в плане с десятью опорными наземными точками (GCP)

QuickBird Standard Ortho-Ready продукция и IKONOS GEO Ortho Kit продукция в NITF формате с RPC (Rational Polynomial Camera) файлами или GeoTiff с TXT файлом IGM или RPC. Достигается 10-25 метровая точность без опорных GCP точек и 1-2 метровая точность с одной или двумя GCP точками.



Рис. 1. Изображение Quickbird до и после ортотрансформирования

Спутниковая Орбитальная Математическая модель может применяться без функции Коэффициентов Рациональной Функции:

QUICKBIRD (Базовая продукция) GeoTiff или NITF с поддержкой файлов - ATT, EPH, GEO, IMD, RPB, TIL;

ORBVIEW-3 Basic Enhanced 1A, FORMOSAT 1A, SPOT5 1A and 1B, EROS 1A уровней.

Ортотрансформирование доступно для всех сенсоров среднего разрешения: JERS-1, IRS P-6 (Resourcsat-1), Spot 1,2,3,4, Radarsat, ASAR, MERIS, ASTER, IRS, EO-1, ERS, Landsat 5 и 7.

Модуль ортотрансформирования для данных, полученных с аэрофотокамер – Airphoto Model – поддерживает все основные математические модели камер: Standard Arial, Digital/Vidio, UltraCam.

Для не представленных спутниковых сенсоров и камер доступна панель определения характеристик.

### Пространственный Анализ

Geomatica 10 позволяет визуализировать, анализировать и моделировать географическую информацию из различных источников, обнаруживая пространственные взаимосвязи, тенденции и структуры (рис. 2).

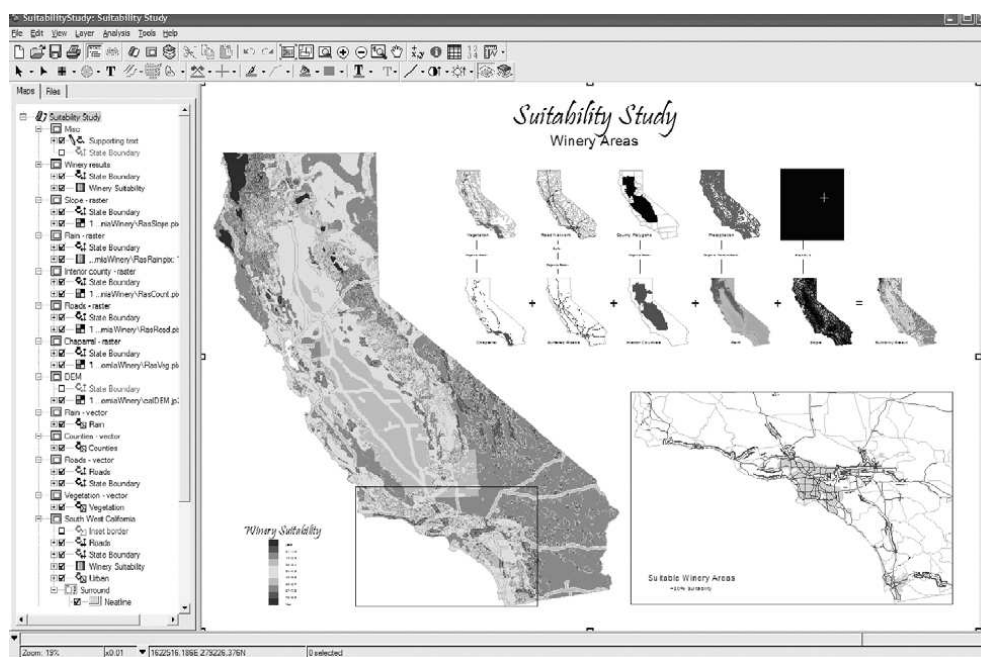


Рис. 2. Пространственный анализ

Полностью функциональный интерактивный интерфейс позволяет группировать буферные слои. Пространственный, статистический и анализ соответствия доступны с помощью функции наложения слоев.

Топографический, водораздельный, сходственные анализы, пространственная интерполяция и анализ неоднородности делают возможным выявление, интерполяцию и распознавание различных типов данных на основе применения специальных алгоритмов.

*Поддержка баз данных.*

Geomatica предоставляет все необходимые инструменты для хранения, доступа, визуализации и обработки данных, хранящихся в базах данных, включая Oracle 10g.

*Производство карт.*

Geomatica 10 содержит большой набор инструментов для создания качественных и высокоточных карт (рис. 3). При этом технология построения карт напрямую встроена в рабочее окружение Geomatica, поэтому картографическая информация может быть без усилий импортирована, экспортирована, сохранена как слой и отредактирована.

*Генерация ЦМР.*

Модуль OrthoEngine предлагает ряд технологий по извлечению цифровой модели рельефа (ЦМР, рис. 4) и полный набор инструментов для ее редактирования.

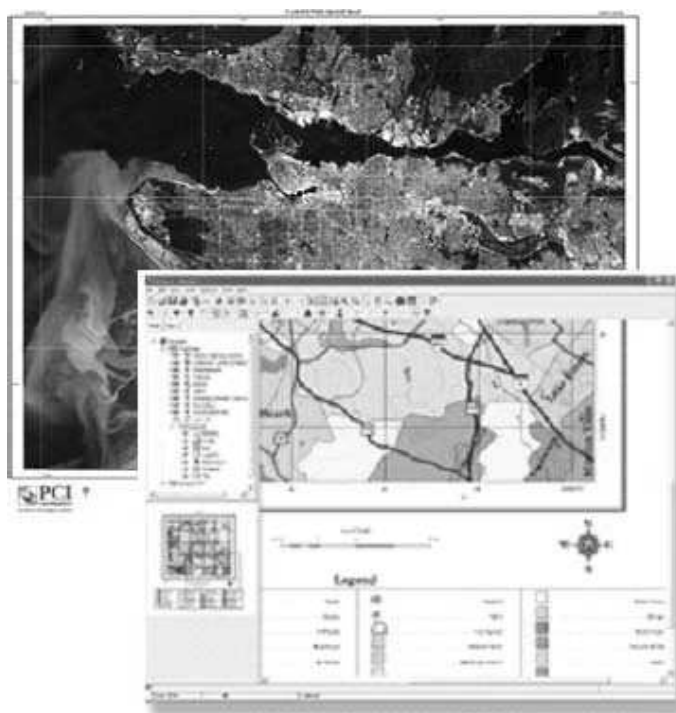


Рис. 3. Создание карт

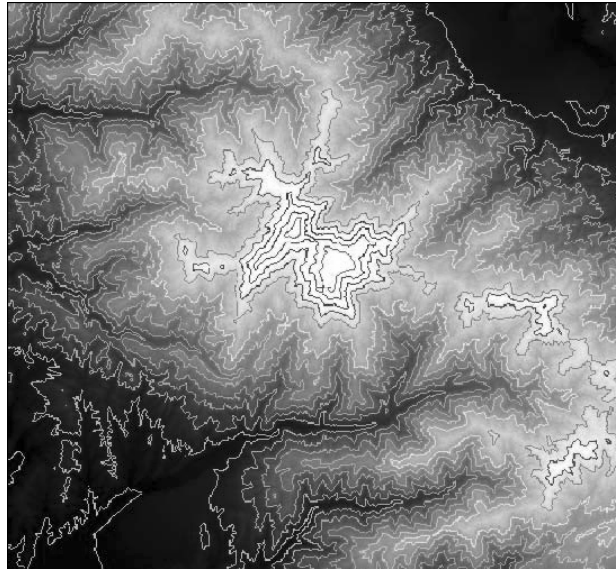


Рис. 4. Получение цифровой модели рельефа

Современные корреляционные алгоритмы, реализованные в OrthoEngine, быстро и точно выполняют автоматическое извлечение ЦМР из стереоизображений. Инструментарий OrthoEngine позволяет импортировать, сливать и интерполировать ЦМР с множеством типов данных, включая точки высот, контуры, растровые и TIN-данные и др.

*Дешифрирование изображений.*

Geomatica содержит инструменты, необходимые для квалифицированного и точного дешифрирования изображений: от революционного полуавтоматического дешифрирования до полного растрово-векторного слияния, получения и визуализации 3D данных.

*Атмосферная коррекция изображений.*

Модуль атмосферной коррекции PCI Geomatics позволяет легко скорректировать атмосферное влияние на изображения, полученные любым из множества спутниковых сенсоров, включая: QuickBird, IKONOS, ASTER, SPOT и Landsat (рис. 5).

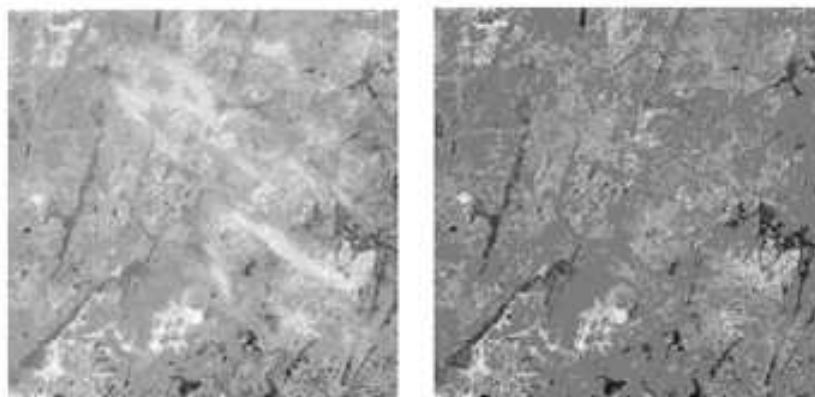


Рис. 5. Изображение до и после атмосферной коррекции

Коррекция и обработка AVHRR – это генерация геоисправленных AVHRR изображений, проведение радиометрической коррекции и калибровки, и получение такой информации как Нормализованного дифференцированного индекса растительности и Температуры поверхности воды из видимого и теплового диапазонов.

Геометрическая коррекция – выполняется панорамная геометрическая коррекция, которая в дальнейшем может быть подкорректирована с использованием стандартных полиномиальных вычислений.

Радиометрическая коррекция и калибровка – вычисляется зенит спутника и солнца, взаимная коррекция угла азимута, и калибровка видимого и теплового диапазона сырых AVHRR изображений.

Улучшенная классификация изображений содержит следующие классификаторы и функции трансформации:

- Контекстный / неявный (классификация мультиспектральных изображений, основанная на частоте образцов с тестовых полигонов);
- Инфраструктуры;
- Спектрального разделения;
- Сегментации;
- Волновая трансформация.

В комплект входят: ATCOR2 для исправления изображений равнинных территорий и ATCOR3 – для исправления изображений горных областей.

### **Генерация мозаики изображений**

Мозаика изображений – это цифровой монтаж смежных изображений соединенных (или сшитых) в одно изображение (рис. 6). Технология Geomatica нивелирует влияние рельефа и дисторсии изображения, что обеспечивает создание бесшовной мозаики.

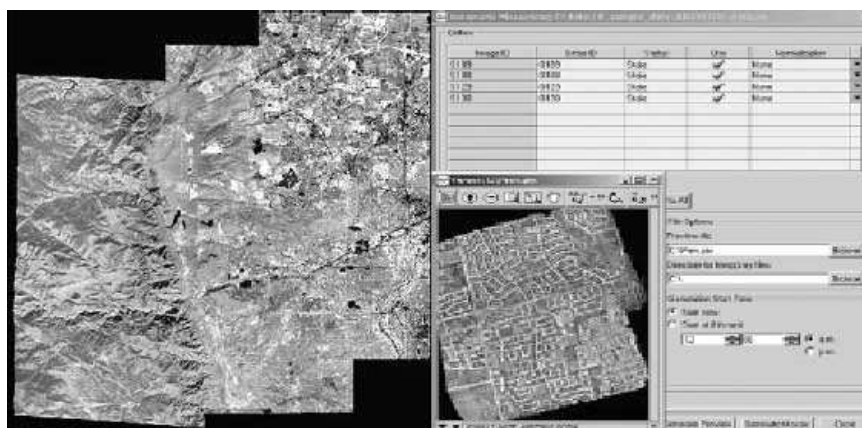


Рис. 6. Создание мозаики

Используются мощная автоматическая (обнаружение/удаление) горячих точек, балансирование радиометрических цветов между перекрывающимися изображениями и общая оптимизация мозаики, выбор линий разрезов для

минимизации видимости швов) и ручная (основа и баланс цветов от изображения к изображению определяется пользователем) технологии.

Слияние изображений – pansharpening – слияние мультиспектральных (цветных) изображений низкого разрешения с панхроматическим (черно-белым) изображением высокого разрешения (рис. 7). Модуль Geomatica Pansharpening, разработанный на основе всестороннего анализа существующих технологий слияния, поддерживает работу с изображениями со всех высокодетальных спутников нового поколения и сохраняет целостность как пространственных, так и спектральных данных. Автоматическое слияние увеличивает разрешение мультиспектрального (цветного) изображения с помощью данных высокого разрешения панхроматического канала. Данные могут быть получены как одновременно и одним и тем же сенсором, так и альтернативно с разных сенсоров. Поддерживается работа с данными 8, 16 и 32 бит.

Модуль обработки специализированных данных: гиперспектральные изображения.

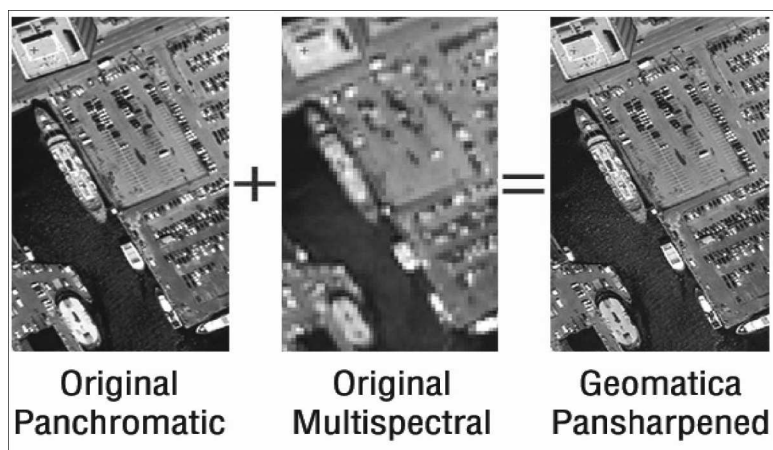


Рис. 7. Алгоритм PanSharpening

Гиперспектральный модуль состоит из набора специальных гиперспектральных программных приложений, программ визуализации и спектральных библиотек (splib04a и splib04b) Геологической службы США (USGS). Основные элементы включают: исчерпывающую поддержку метаданных, управление визуализацией, улучшенную атмосферную коррекцию, компрессию данных, спектральное смещение и разбор по спектрам, картографирование спектрального угла, диаграммы спектра и разброса. Доступны возможности гиперспектрального сжатия снимков и атмосферная коррекция, основанная на MODTRAN4.

*Радарные данные.*

Функции модуля RADAR позволяют использовать возможности радарных данных в широком спектре приложений. Geomatica RADAR содержит современные инструменты анализа, ортоисправления, генерации ЦМР и мощный набор обработки и анализа SAR Polarimetry. В модуле поддерживаются все имеющиеся или планируемые к запуску в ближайшее время радарные

сенсоры: RADARSAT-1: SGX,SLC,SCN,SCW режимы, RADARSAT-2, ALOS: PALSAR ERS: Georeferenced и PRI уровни, JERS: Georeferenced и OrthoEngine уровни, TerraSAR-X - Spotlight, StripMap, ScanSAR уровни.

#### *Пакеты*

Geomatica 10 предлагает нужные вам инструменты отдельными лицензионными программными пакетами, давая вам возможность выбрать только те модули, что реально будут использованы.

#### *Курсы обучения*

Компания «Гео-Альянс» предоставляет услуги по обучению пониманию программного обеспечения PCI Geomatics. Получив на курсах обучения навыки и профессиональный опыт работы, домой вы привезете не только основы. Опытные специалисты и инструктора прислушиваются к вашим нуждам, подстраивая обучение к вашему предыдущему опыту, вашим данным и сложности обработки. В свободном профессиональном окружении появится понимание процессов обработки. А делаясь идеями с коллегами и получите подсказки по более эффективной работе. Наша, как задача как представителя и официального авторизованного поставщика PCI Geomatics – оказывать всю необходимую помощь и поддержку. Специалисты “Гео-Альянс” - прошли специализированное обучение у компании-разработчика и готовы предоставлять оптимальные и экономически-эффективные решения на основе использования передовых ГИС технологий.

По всем вопросам, связанным с покупкой программного обеспечения PCI Geomatics, курсами обучения и технической и информационной поддержкой пожалуйста обращайтесь в компанию «Гео-Альянс» по e-mail: [info@geo-alliance.ru](mailto:info@geo-alliance.ru) и тел. (495) 221-5879. Сайт: <http://www.geo-alliance.ru>

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Техническая документация и руководства пользователя по программному обеспечению PCI Geomatica [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.pcigeomatics.com>.

© О.Б. Громыко, В.С. Димитрюк, 2008



УДК 528.7

*Е.А. Кобзева*

ФГУП «Уралгеоинформ», Екатеринбург

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ В СВЕТЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ

*Е.А. Kobzeva*

FGUP «Uralgeoinform», Yekaterinburg

## INFORMATION CHARACTERISTICS OF VERY HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES IN VIEW OF URBAN PLANNING APPLICATIONS

The article gives the results of the experiment, which was performed in FGUP «Uralgeoinform» and concerns determination of IKONOS satellite imagery interpretation possibilities in view of urban planning applications. It shows, that very high resolution (1m and better) satellite images can be successfully and widely used by municipal services. Images in true or false color are useful for detecting buildings and vegetation. Stereo images are essential to take elevation measurements, eliminate perspective distortions and provide better discrimination of objects, such as footpaths in parks or fences. When using single images, it is recommended to avoid high off-nadir angles.

Два фактора объясняют внимание специалистов к применению космических снимков (КС) в интересах градостроительства: 1 – улучшение пространственного разрешения изображений, что позволяет решать новые, прежде нетрадиционные для КС задачи; 2 – увеличение числа спутников сверхвысокого разрешения (1 м и лучше) и, как следствие, повышение суммарной производительности съемочных систем и снижение стоимости данных. Для разработки технологии использования КС в градостроительстве необходимо оценить дешифровочные возможности спутниковых изображений. В докладе освещаются результаты исследования, проведенного в ФГУП «Уралгеоинформ», по изучению информационных свойств снимков с космического аппарата (КА) Ikonos на примере г. Екатеринбурга.

Екатеринбург расположен на восточном склоне Уральский гор на берегах реки Исеть и озера Шарташ. Население составляет 1,3 млн. человек, площадь 470 кв. км. В городе преобладает многоэтажная квартальная застройка, на окраинах сохраняется приусадебное хозяйство с мелкими одноэтажными строениями и развивается коттеджное строительство. Промышленная зона охватывает значительную территорию. Парки и скверы составляют зеленую зону. В настоящее время идет активное строительство жилых и офисных зданий, торговых центров, дорожных развязок.

Съемка проводилась в июле 2006 года в стереорежиме с одной орбиты при отношении базиса к высоте  $V/H = 0,7$ . Исходные материалы были представлены в виде комплектов панхроматических и мультиспектральных изображений с пространственным разрешением 1 м и 4 м соответственно.

Для решения градостроительных задач требуется детальное отображение местности (см. статью Алябьева А.А., Кобзевой Е.А., Серебрякова С.В. «Особенности мониторинга городских территорий по космическим снимкам сверхвысокого разрешения» в этом же сборнике), поэтому к исходным мультиспектральным снимкам была применена процедура слияния изображений (pan-sharpening) для получения цветных снимков с пространственным разрешением 1 м. В процессе дешифрирования снимки неоднократно подстраивались по яркости и контрасту, чтобы лучше выделить исследуемый объект и ослабить влияние теней. Необходимо отметить и наличие незначительного количества яркостных дефектов, характерных для цифровых сканерных снимков и возникающих в случае слишком ярких объектов местности.

*Жилые районы.* Высотная застройка определяется без труда. Видны конфигурация зданий и крупные архитектурные детали. Однако нанести балконы или мелкие уступы невозможно. Перспективные искажения, значительные для высоких строений, учитываются путем использования стереорежима либо смещением контура зданий с изображения крыши на изображение основания.

Нанесение невысоких строений (1-2 этажа) может быть затруднено наличием деревьев, скрывающих углы зданий. Дешифрирование застройки, особенно среди растительности, существенно облегчается при использовании цветных изображений в натуральных или ложных цветах.

Если необходимо определить высоту зданий, предпочтительно использовать стереорежим. Известный метод расчета высоты объекта на одиночном снимке по теням в городской среде осложнен тем, что тени падают на другие объекты и трудно вычислить длину тени. Расчет высот зданий по их перспективным искажениям (т.н. «завалам») не дает надежного результата для снимков с малыми углами наклона, а на надирных и вовсе невозможен.

*Общественная и промышленная инфраструктура.* Выделение социальных и общественно-культурных зданий выполняется по тем же признакам, что и на традиционных аэрофотоснимках: по форме, размеру, конфигурации, наличию стадионов возле школ, игровых площадок в детских садах, парковок, расположенных рядом с торговыми центрами.

Промышленные территории дешифрировать несложно по выраженной структуре, для которой характерны большие прямоугольные здания, наличие башен и труб, цистерн, кранов, наземных трубопроводов. Территория огорожена капитальным забором, а во внутренней части мало растительности. Объекты, как правило, крупные и имеют правильную геометрическую форму, что облегчает их распознавание и нанесение.

*Дорожные сети.* И широкие проспекты, и узкие улицы с двухполосным движением четко видны. Можно проследить даже свежую разметку на дорогах,

однако нанести по снимкам дорожные знаки и светофоры, необходимые для транспортных служб, невозможно. Легко читаются дорожные развязки и мосты. Автопарковки распознаются по асфальтированным площадкам, чаще правильной формы и наличию автомобилей. С привлечением косвенных признаков наносятся въезды во дворы. На открытых территориях можно определить длину и площадь дорожного покрытия и придорожных газонов. Тротуары распознаются не всегда уверенно. Затруднения также случаются из-за перспективных искажений высотных зданий, скрывающих часть объектов.

Железнодорожные пути прослеживаются по темному фототону, плавным поворотам, прилегающим станциям и вокзалам. Вдоль железных дорог можно распознать небольшие сооружения, переходные мостики, опоры ЛЭП и связи. Но шлагбаумы или карликовые светофоры не отображаются на снимках.

*Озелененные территории.* Парки и скверы без труда видны на снимках. Легко определить их общую площадь и площадь древесных насаждений. Для целей благоустройства важным является дешифрирование внутренней структуры парка: тропиной сети, построек, водоемов. Из-за раскидистых крон эти объекты распознаются уверенно только в стереорежиме.

*Другие объекты.* По КС сверхвысокого разрешения удобно отслеживать территории нового строительства и даже определять фазу строительства: котлован, первые этажи, подведение под крышу. Интегрировав в ГИС информацию, полученную по снимкам и по разрешительным документам, легко выявлять зоны незаконного строительства и контролировать соответствие фактического освоения земель выданным лицензиям.

Мониторинг гаражей необходим ежегодно. На снимках легко идентифицируются скопления бетонных и металлических гаражей, бывших популярными 5-15 лет назад. Одиночные металлические гаражи могут быть перепутаны с другими легкими постройками или совсем пропущены среди деревьев. Также и современные гаражи, представляющие собой капитальные многоэтажные здания, не могут быть опознаны дистанционно как гаражи.

Ограждения и заборы, как правило, распознаются по космическим снимкам. Исключения составляют заборы из проволоки или сетки. В отдельных случаях, на открытой местности этот вид ограждений распознается по падающей тени. По результатам нашего эксперимента, нанесение ограждений в стереорежиме выполняется с точностью в 1,5 раза более высокой, чем по одиночным снимкам.

Опоры ЛЭП и связи, с фонарями и без них читаются по падающей тени. В насыщенной контурами городской местности столбы могут быть легко пропущены. Применение стереорежима не улучшило существенно надежность распознавания опор.

*Выводы.* Таким образом, по космическим снимкам сверхвысокого разрешения (1 м и лучше) успешно распознается большинство объектов городской инфраструктуры. Для дешифрирования застройки и растительности предпочтительны цветные изображения в натуральном или ложном цвете. Стереорежим необходим для измерения высотных характеристик, устранения перспективных искажений, а также для более уверенного распознавания таких

объектов, как пешеходные дорожки в парках или ограждения. При применении одиночных снимков рекомендуется избегать больших углов наклона.

© *Е.А. Кобзева, 2008*

УДК 528.7

*О.Н. Колесникова*

Компания «Совзонд», Москва

## ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ КОМПАНИИ «СОВЗОНД» ДЛЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*O.N. Kolesnikova*

«Sovzond» Company, Moscow

### «SOVZOND» COMPANY PROGRAM SOLUTIONS FOR PROCESSING AND ANALYSIS OF THE EARTH REMOTE SENSING DATA

The article describes main program products of “Sovzond” company to be used for processing and analysis of the Earth remote sensing data, such as ENVI, MicroStation and a new application Bentley Geospatial Desktop, which expands MicroStation to make it a complete GIS. The main features and opportunities of the products are analyzed.

С появлением на рынке спутниковых изображений высокого и сверхвысокого пространственного разрешения задачи обработки данных, анализа, автоматизации процесса подготовки графических материалов, сбор, хранение, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных становятся наиболее актуальным. За последние несколько лет возможности программных продуктов существенно изменились.

Программный комплекс (ПК) ENVI является одним из наиболее удачных и доступных программных продуктов для визуализации и обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), с помощью которого можно извлекать геопропространственную информацию из данных ДЗЗ.

На сегодняшний день ENVI (ITT VIS) включает наиболее полный набор функций для обработки данных ДЗЗ и их интеграции с данными ГИС, поскольку использование ДДЗ становится всё более доступно. В отличие от других пакетов по обработке снимков в программный комплекс (ПК) ENVI встроен удобный язык программирования IDL, позволяющий создавать собственные алгоритмы обработки данных, а также предоставляет пользователю возможность индивидуальной настройки ENVI и модификацию пользовательского интерфейса. ПК содержит модуль DEM для создания высокоточных цифровых моделей рельефа на основе стереоизображений, полученных со спутников QuickBird, IKONOS, OrbView-3, ASTER, SPOT 1-5 для ортотрансформирования, топографического анализа, трёхмерной визуализации и создания векторных карт. Открытая архитектура ENVI обеспечивает удобство обработки и предоставляет пользователю возможность получить необходимую информацию быстро и просто.

Программный комплекс ENVI соответствует всем основным требованиям, необходимым при обработке изображений: визуализация и обработка данных ДЗЗ; глубокая спектральная обработка; топографический анализ; обработка и анализ данных радарной и лидарной съёмки; трёхмерная визуализация; геометрическая коррекция; поддержка объёмных растровых и векторных ГИС-форматов; обеспечение поддержки данных ДЗЗ, полученных со спутников WorldView, QuickBird, Ikonos, Orbview, Alos, SPOT, Formosat-2, IRS, Landsat, Radarsat и др.

Наряду с поставкой программного обеспечения корпорации ИТТ Visual Information Solutions компания «Совзонд» поставляет на Российский рынок программные решения компании Bentley Systems: MicroStation V8 XM Edition, включая приложения Geospatial Extension, Bentley Descartes, Bentley Map, Bentley Geospatial Server. По оценке независимых экспертов Bentley Systems входит в тройку лидеров по поставке ГИС-решений на мировой рынок.

В 2007 году появилось новое приложение Bentley Geospatial Desktop, которое дополняет MicroStation до полноценной ГИС. Bentley Geospatial Desktop состоит из 2 основных частей: Geospatial Extension и Bentley Map. Geospatial Extension – обновленная версия Bentley Geographics, сохранившая удобство и функциональность этого продукта. Bentley Map – полнофункциональная ГИС система, служащая для создания, управления и анализа пространственных данных. Приложение Bentley Map создано с использованием технологии XFM. В основе технологии XFM (XML-based Feature Modeling) заложено объектно-ориентированное моделирование. В рабочем проекте пользователь с помощью Bentley Geospatial Administrator задаёт и выбирает нужные ему объекты, атрибутивную информацию, стандарты оформления, распределяет полномочия между пользователями. Проект сохраняется в XML файле. Такой подход позволяет хранить объекты не просто в виде графических элементов с присоединенными к ним атрибутами, а виде логически связанных между собою элементов, обладающим определенными свойствами и характеристиками. Такое представление графической информации позволяет импортировать и экспортировать данные между различными системами без потери пространственно-логических связей между объектами.

На основе программных продуктов компаний ИТТ VIS и Bentley Systems компания «Совзонд» разработала технологическую схему по созданию трехмерной модели города с использованием космических снимков. Созданные по такой технологии модели могут быть использованы для наиболее эффективного визуального представления городского комплекса, включая его природную и градостроительную составляющую для решения задач городского планирования и управления развитием территорий, предупреждения и ликвидации последствий природных и техногенных чрезвычайных ситуаций, геометрического проектирования различных коммуникаций, воссоздания наглядного образа города с целью повышения его туристической и инвестиционной привлекательности.

Компания «Совзонд» является эксклюзивным дистрибьютором корпорации ИТТ Visual Information Solutions на территории Росси и стран СНГ.

Компания «Совзонд» является дистрибьютором компании Bentley Systems на территории России.

© *О.Н. Колесникова, 2008*

УДК 528.4Т

*И.Т. Антипов*

СГГА, Новосибирск

## ЗАМЕЧАНИЯ К СПОСОБУ КАЛИБРОВКИ КАМЕР ПО РАЗНОМАСШТАБНЫМ СНИМКАМ ПЛОСКОГО ПОЛИГОНА

*I.T. Antipov*

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

## COMMENTS ON THE METHODS OF CAMERA CALIBRATION AGAINST DIFFERENT-SCALES PICTURES OF A PLANE POLYGON

The paper analyzes a method of camera calibration that recently proposed by professor B. Maljavsky and others. The method is based on images of a flat test-object. These images must have different scales, and an increment of flight altitudes must be taken into account in a procedure of adjustment. The paper exposes an imperfection of the method that does not allow to find out the whole set of camera parameters. It is possible to improve the method with using not only a flight altitudes difference, but also locations of perspective centers or at least the differences of their plane locations. The tables are calculated. They show a ratio of accuracy from which it is possible to determine elements of camera interior orientation at different variants of use of the camera spatial positioning data.

На международном научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2006» группой специалистов во главе с профессором Б.К. Малявским был представлен доклад [1], в котором обосновывался вариант калибровки съемочных камер по снимкам плоского полигона, полученным с двух высот фотографирования, разность которых учитывается при вычислительной обработке. В 2007 году появилась журнальная статья на эту же тему [2], подготовленная В.Л. Быковым. Им также выполнены детальные исследования названного способа калибровки, и результаты их обобщены в кандидатской диссертации [3], успешно защищенной в СГГА в ноябре 2007 года.

Автору настоящей статьи довелось выступить в роли официального оппонента по диссертации В.Л. Быкова. Поддержав в целом последнего, автор, тем не менее, хотел бы довести до фотограмметрического сообщества пару замечаний по названному способу калибровки. Необходимость в этом вызвана тем, что в Западно-Сибирском филиале ФГУП «Госземкадастрсъемка» – ВИСХАГИ созданы лабораторная установка и испытательный полигон для практической реализации способа. Лабораторная установка предназначена для калибровки малоформатных, любительских цифровых камер, снимки которых находят применение в различных прикладных задачах, не требующих высокой



точности. Следовательно, здесь вполне допустимы небольшие методические отклонения от принципиально строгих решений, если вызываемые этим погрешности лежат в пределах точности, в принципе достижимой с помощью малоформатных камер. Но по снимкам испытательного полигона планируется калибровать полноформатные съемочные камеры, на использовании которых в серьезных производственных организациях базируются основные технологические процессы, связанные с получением цифровой информации о местности. Ясно, что при работе с полноформатными снимками желательно избегать отхода от строгой теории и каких-либо методических упрощений.

Работы [1] и [2] утверждают, что предлагаемый вариант обеспечивает «...полную калибровку фотокамер...» и дает «...параметры, характеризующие суммарное влияние факторов, отличающих реальный фотоснимок от идеальной центральной проекции сфотографированного объекта...». Эти формулировки не объясняют, что понимается под «суммарным влиянием факторов», а упоминания о «полной калибровке» и «идеальной центральной проекции» могут ввести в заблуждение.

Лишь автореферат диссертации [3] признает, что в условиях равнинного полигона съемка с двух ярусов при фиксации разности высот фотографирования не устраняет пропорциональность в коэффициентах уравнений поправок для плановых координат центров проектирования и соответственных координат главной точки снимка. Поэтому фактически «...приходится переходить к нестрогому решению, которое заключается в исключении координат главной точки из состава неизвестных..., а влияние этих элементов придется учитывать совместно с дисторсией...».

Таким образом, Л.В. Быков констатирует, что предлагаемая «полная калибровка фотокамер» не является строгой и что на снимке искусственно выбирается фиктивная главная точка, которой всегда присваиваются нулевые значения координат. Этот факт не повлиял бы на дальнейшую обработку снимков, если бы при калибровке для реальной главной точки были получены значения дисторсии, равные фактическим координатам ее  $x_o, y_o$ . Кроме того,  $x_o, y_o$  должны были бы войти в величины дисторсии всех прочих точек снимков. Однако сделать это невозможно, так как при решении обратной фотограмметрической засечки по снимку плоской местности погрешность положения реальной главной точки автоматически компенсируется смещением центра проектирования.

На практике отмеченная выше констатация означает, что по полученным при калибровке данным невозможно восстановить связку проектирующих лучей, существовавшую в момент фотографирования. Главный луч связки, который был перпендикулярен к плоскости снимка при фотосъемке, в восстановленной связке отклонится от перпендикуляра на углы  $\sigma_x = x_o / f_k$  и  $\sigma_y = y_o / f_k$ , где  $f_k$  – фокусное расстояние. На такие же углы отклонится от вертикали надирный луч связки. Если известны координаты центров проектирования, то в сети пространственной фототриангуляции возникнут систематические расхождения в плановом положении общих точек в зонах

поперечного перекрытия смежных маршрутов. Полностью исключается возможность ориентирования снимков по данным инерциальной и спутниковой навигационной систем. Параметры такой калибровки практически пригодны только при работе со снимками равнинных территорий. При значительном рельефе контуры на ортофотоизображении получают смещения, являющиеся функциями превышений на местности.

Можно, конечно, доказывать, что перечисленные ошибки будут малы, но нельзя говорить о всеобъемлющей достоверности и универсальности такого доказательства.

Знакомство с публикациями [1, 2, 3] наводит на мысль, что способ калибровки по разномасштабным снимкам вначале разрабатывался применительно к лабораторной установке, на которой разность высот фотографирования элементарно отсчитывалась по шкале, закрепленной на вертикальной направляющей, несущей каретку с фотокамерой. В то же время доступные пути определения координат центров проектирования для лабораторной установки не просматривались. Затем решения, проверенные на лабораторной установке, адаптированы к калибровке по снимкам полевого полигона, причем для определения разностей высот фотографирования задействованы спутниковые навигационные системы. И хотя последние могут дать все три координаты центров проектирования, при полевой калибровке, как и на лабораторной установке, принимается во внимание только разность высот фотографирования. Никаких объяснений факту игнорирования координат центров, полученных из спутниковых измерений, в работах [1, 2, 3] нет. Но ясно, что причина кроется в сложностях точного определения взаимного положения объектива камеры и приемной антенны.

В этой связи интересно проследить, какие в принципе возможности для калибровки открывают известные координаты центров проектирования или, хотя бы, известные разности не только высот, но и плановых координат.

Коль скоро учет разностей высот обеспечивает определение фокусного расстояния, то естественно предположить, что включение в уравнивание также и известных разностей плановых координат центров позволит найти положение главной точки. Действительно, если калибровка осуществляется по двум плановым снимкам с высотами фотографирования относительно плоской местности соответственно  $Z_B$  и  $Z_H$ , то на основании математических зависимостей, приведенных в [4], можно представить часть матрицы коэффициентов нормальных уравнений, относящуюся к плановым координатам центров проектирования и положению главной точки, как

$$N = \begin{vmatrix} \frac{nf_k^2}{Z_B^2} + 1 & 0 & -1 & 0 & -\frac{nf_k}{Z_B} & 0 \\ 0 & \frac{nf_k^2}{Z_B^2} + 1 & 0 & -1 & 0 & -\frac{nf_k}{Z_B} \\ -1 & 0 & \frac{mf_k^2}{Z_H^2} + 1 & 0 & -\frac{mf_k}{Z_H} & 0 \\ 0 & -1 & 0 & \frac{mf_k^2}{Z_H^2} + 1 & 0 & -\frac{mf_k}{Z_H} \\ -\frac{nf_k}{Z_B} & 0 & -\frac{mf_k}{Z_H} & 0 & n + m & 0 \\ 0 & -\frac{nf_k}{Z_B} & 0 & -\frac{mf_k}{Z_H} & 0 & n + m \end{vmatrix}. \quad (1)$$

В матрице  $N$  первые два столбца относятся к координатам  $X_{SB}, Y_{SB}$  центра проектирования снимка верхнего яруса. Следующие две столбца – то же для нижнего снимка нижнего яруса  $X_{SH}, Y_{SH}$ . Пара последних столбцов (строк) содержат коэффициенты для неизвестного положения главной точки  $x_o, y_o$ . Выражение (1) справедливо, когда изображения точек калибровочного полигона размещены на снимках равномерно по всей площади, причем количество точек, попадающих на верхний и нижний снимок равно  $n$  и  $m$  соответственно.

Нетрудно видеть, что если  $Z_B = Z_H$ , то сумма первого и третьего столбцов пропорциональна пятому столбцу. Аналогичное заключение справедливо для второго, четвертого и шестого столбцов. Стало быть, матрица (1) вырождена. Поэтому обязательным условием является фотографирование полигона с разных высот, когда  $Z_B \neq Z_H$ . При этом величины разностей плановых координат центров не имеют значения. В частном случае они могут быть нулевыми.

Последнее обстоятельство можно обыграть в лабораторной установке, если обеспечить перемещение каретки со съемочной камерой по прямолинейной направляющей, строго перпендикулярной плоскости тест-объекта.

При  $Z_B = Z_H$  задача разрешима, если учитывать не разности плановых координат центров, а непосредственно сами координаты. Тогда в матрице (1) на месте величин «-1» окажутся нули, и отмеченная здесь пропорциональность столбцов (и строк) исчезает. Естественно, что учет координат возможен и при  $Z_B \neq Z_H$ . В этой связи интересно сопоставить точность определения элементов внутреннего ориентирования при включении в уравнение либо координат центров, либо их разностей, а также проследить, как будет изменяться точность по мере увеличения разности высот фотографирования.

Численный анализ осуществлен с помощью небольшой программы, имитировавшей составление нормальных уравнений для калибровки по паре снимков и подсчет весовых коэффициентов определяемых неизвестных. Полученные весовые коэффициенты позволили объективно отобразить

закономерность, которой подчиняется точность определения элементов внутреннего ориентирования камеры.

Результаты расчетов представлены в табл. 1 и 2. Они составлены применительно к камере с размером кадра 230×230 мм и фокусными расстояниями от 100 до 300 мм. Высота фотографирования для верхнего яруса выбиралась так, чтобы при любом фокусном расстоянии масштаб снимка был равен 1 : 10 000. Принято также, что точки на снимке размещались по схеме 15×15.

В левой колонке каждой таблицы указано отношение высот фотографирования. Прочие колонки содержат коэффициенты относительной точности.

Для табл. 1 такие коэффициенты равны

$$C_1 = \sqrt{\frac{Q_{\Delta Z}}{Q_{ZZ}}}, \quad C_2 = \sqrt{\frac{Q_{ZZ}}{Q_{Z=Z}}}, \quad C_3 = C_1 \times C_2. \quad (2)$$

В последних выражениях:

$Q_{\Delta Z}$  – весовой коэффициент элемента внутреннего ориентирования  $f_k$  при уравнивании с учетом разностей фотографирования;

$Q_{ZZ}$  – то же при уравнивании с учетом самих высот фотографирования;

$Q_{Z=Z}$  – весовой коэффициент  $Q_{ZZ}$ , для случая, когда оба снимка получены из одного яруса.

Таким образом, коэффициент  $C_1$  показывает, во сколько раз снижается точность определения фокусного расстояния при учете в уравнивании разности высот фотографирования, а не самих высот. Как видим, даже при больших разностях высот потеря точности существенна.

Если при уравнивании использовать высоты фотографирования, а не их разности, то наиболее точное решение дает случай, когда оба снимка получены из одного яруса. В противном случае по мере возрастания превышения между ярусами наблюдается хотя и незначительное, но все же снижение точности определения фокусного расстояния. Коэффициент  $C_2$  отражает эту закономерность.

Наконец, коэффициент  $C_3$  характеризует общее ухудшение результата при уравнивании с разностями высот по сравнению с оптимальным вариантом, при котором  $Z_B = Z_H$  и именно эти величины участвуют в уравнивании.

Таблица 1. Относительная точность определения фокусного расстояния

$Z_B/Z_H$	$f_k = 100 \text{ мм}$			$f_k = 150 \text{ мм}$			$f_k = 300 \text{ мм}$		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
1.0	∞	1.00	∞	∞	1.00	∞	∞	1.00	∞
1.1	17.24	1.03	17.77	18.46	1.02	18.86	20.08	1.01	20.25
1.2	8.98	1.06	9.51	9.61	1.04	10.02	10.50	1.02	10.68
1.3	6.23	1.09	6.76	6.66	1.06	7.08	7.31	1.03	7.50
1.4	4.86	1.11	5.40	5.19	1.08	5.62	5.72	1.04	5.92
1.5	4.04	1.13	4.58	4.31	1.10	4.75	4.76	1.04	4.97
1.6	3.50	1.15	4.03	3.72	1.12	4.17	4.12	1.05	4.35
1.8	2.82	1.19	3.36	2.99	1.15	3.45	3.33	1.07	3.57
2.0	2.42	1.22	2.96	2.56	1.18	3.02	2.85	1.09	3.11
2.2	2.16	1.24	2.69	2.27	1.21	2.74	2.53	1.11	2.89
2.4	1.98	1.26	2.50	2.07	1.23	2.54	2.30	1.13	2.60
2.6	1.84	1.29	2.36	1.92	1.25	2.39	2.12	1.15	2.44
2.8	1.74	1.30	2.25	1.80	1.26	2.28	1.99	1.16	2.32
3.0	1.65	1.31	2.16	1.71	1.28	2.19	1.88	1.18	2.22

Таблица 2. Относительная точность определения главной точки

$Z_B/Z_H$	$f_k = 100 \text{ мм}, 150 \text{ мм}, 300 \text{ мм}$		
	$C_1$	$C_2$	$C_3$
1	2	3	4
1.0	∞	1.00	∞
1.1	16.86	1.04	17.42
1.2	8.78	1.06	9.35
1.3	6.10	1.09	6.66
1.4	4.76	1.12	5.32
1.5	3.96	1.14	4.52
1.6	3.43	1.16	3.99
1.8	2.78	1.20	3.33
2.0	2.39	1.23	2.94
2.2	2.13	1.25	2.67
2.4	1.95	1.27	2.49
2.6	1.82	1.29	2.35
2.8	1.72	1.30	2.24
3.0	1.64	1.32	2.16

Данные этой табл. 2 относятся как к  $x_o$ , так и к  $y_o$ . Коэффициенты  $C_i$  подсчитаны по формулам

$$C_1 = \sqrt{\frac{Q_{\Delta X}}{Q_{XX}}}, \quad C_2 = \sqrt{\frac{Q_{XX(Z \neq Z)}}{Q_{XX(Z=Z)}}}, \quad C_3 = C_1 \times C_2. \quad (3)$$

Здесь  $Q_{\Delta X}$  – весовой коэффициент главной точки при уравнивании с учетом разностей плановых координат центров проектирования, а  $Q_{XX}$  – такой же коэффициент для случая, когда в вычислительные операции входят сами

плановые координаты, а не их разности. Наконец,  $Q_{XX(Z \neq Z)}$  и  $Q_{XX(Z=Z)}$  – коэффициенты  $Q_{XX}$ , относящиеся к случаям, когда  $Z_B \neq Z_H$  и  $Z_B = Z_H$  соответственно.

Из табл. 2 следует, что точность определения положения главной точки не зависит от фокусного расстояния (при прочих одинаковых параметрах съемки, оговоренных выше). Таблица подтверждает, что общие тенденции, отражающие изменение точности определения положения главной точки, остаются такими же, что и для фокусного расстояния.

При других параметрах фотографирования значения, приведенные в табл. 1 и 2, слегка изменятся, но характерные особенности таблиц в целом сохранятся. Можно утверждать, что численный анализ выявил общую картину, отображающую изменение точности определения элементов внутреннего ориентирования при калибровке по снимкам плоского полигона.

Все изложенное выше можно обобщить в следующем образом.

1. Способ калибровки съемочных камер, предложенный в работах [1, 2, 3], не оптимален. Определения «полная калибровка» и «идеальная центральная проекция» для этого способа неуместны.

2. Применительно к полевому полигону совершенствование способа связано с более полным использованием данных позиционирования снимков, получаемых средствами спутниковых навигационных систем.

3. Применительно к лабораторной установке совершенствование возможно за счет более тщательного изготовления и юстировки всего комплекта оборудования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малявский Б.К., Быков Л.В., Быков В.Л., Макаров А.П. Калибровка снимков по плоскому испытательному полигону / ГЕО-Сибирь-2006. Т. 3, ч. 1. Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционное зондирование Земли и фотограмметрия. Сб. материалов научного конгресса «Гео-Сибирь-2006». – Новосибирск: СГГА, 2006. С. 68–73.

2. Быков В.Л. Полевая калибровка снимков с использованием средств спутникового позиционирования / Геодезия и картография. – 2007. № 8. – С. 39–43.

3. Быков В.Л. Разработка и исследование способов калибровки снимков с использованием средств спутникового позиционирования. Автореферат кандидатской диссертации / Новосибирск: СГГА, 2007, – 22 с.

4. Антипов, И.Т. Математические основы пространственной аналитической фототриангуляции / И.Т. Антипов. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 296 с.

УДК 528

*А.П. Гук, Йехиа Хассан Мики Хассан*

СГГА, Новосибирск

## ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛЁТНО-СЪЁМОЧНЫХ РАБОТ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КРУПНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*A.P. Guk, Yehia Khassan Mikky Khassan*

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo U1, Novosibirsk, 630108, Russian Federation

## PECULIARITIES OF AERIAL SURVEYS FOR MONITORING LARGE ENGINEERING STRUCTURES

Работы над мониторингом крупных сооружений, которые систематически измеряют основные структурные параметры, предоставляют ценную информацию о текущей оценке целостности, надежности и прочности сооружения. Точность определения позиций фотограмметрических точек значительно улучшилась в последнее десятилетие в связи с новыми разработками в твердом состоянии камеры с ПЗС (прибор с зарядовой связью), которые оправдывают переоценку фотограмметрических методов для измерения деформации на крупных сооружениях. Если обоснованные решения могут быть найдены для сигнализирующих сооружений, фотограмметрический сбор данных может быть завершён в течение нескольких минут с вертолета; в то же самое время возможная точность, в сочетании с экономным использованием аппаратных компонентов и быстрой обработки данных, делает аэрофотограмметрию интересным способом для измерения трехмерных деформаций на больших сооружениях. Одним из крупных инженерных сооружений, которые служат людям в Египте, является Высотная плотина. В данной статье приводятся особенности выполнения воздушной съемки для мониторинга Высотной плотины.

### *Introduction*

It is important that the movements of an engineering structure, which serves the human life of today's modern world, are exhibiting safe behaviors. So, a lot of deformation monitoring studies for determining and analyzing different kinds of engineering structures such as high-rise buildings, dams, bridges, viaducts, industrial complexes etc., are implemented. During these studies, the used measurement techniques and systems, which could be geodetic or non-geodetic, are determined considering the type of the structure of which deformations will be monitored, its environmental conditions and expected accuracy from the measurements. According to the used monitoring techniques, the deformation measurement equipments are varied. Also according to professions who use the deformation monitoring

techniques, these techniques and instrumentation have traditionally been categorized into two groups: geodetic surveys, which include conventional (terrestrial such as precise levelling measurements, angle and distance measurements etc.), and photogrammetric (terrestrial, aerial and digital photogrammetry), satellite (such as Global Positioning System-GPS, InSAR).

Each main measurement technique has its own advantages and drawbacks. Geodetic techniques, through a network of points interconnected by angle and/or distance measurements, usually supply a sufficient redundancy of observations for the statistical evaluation of their quality and for a detection of errors. They give global information on the behavior of the deformable structure while the non-geodetic techniques give localized and locally disturbed information without any check unless compared with some other independent measurements. On the other hand, the instruments, which are used in non-geodetic measurements, are easier to adapt for automatic and continuous monitoring than conventional instruments of geodetic measurements. Geodetic techniques have traditionally been used mainly for determining the absolute displacements of selected points on the surface of the object with respect to some reference points that are assumed to be stable. Non-geodetic techniques have mainly been used for relative deformation measurements within the deformable object and its surroundings.

#### *Aswan High Dam*

The Aswan High Dam is considered a unique structure among all the large irrigation and electric power projects in the world. The dam was chosen to be a rock fill dam provided with an impervious core in its main part. The construction of the dam was completed in 1971 with the financial and technological assistance of the Soviet Union. The aim of this project was to prevent the river's flooding, generate electricity and regulate water for agriculture. The Aswan High Dam is 3830 m in length, 980 m wide at the base, 40 m wide at the crest and 111 m high. It contains 43 million m<sup>3</sup> of material. The dam powers twelve generators each rated at 175 megawatts, producing a hydroelectric output of 2100 megawatts (Fig. 1).



Fig. 1. Location of the High Dam and the High Dam Lake (NASA satellite photo)



Aswan High Dam is subject to external loads that cause deformation and permeation of the structure itself, as well as its foundations. Any indication of abnormal behavior may threaten the safety of the dam. Careful monitoring of the loads on a structure and its response to them can aid in determining abnormal behavior of that structure. To help ensuring the safe monitoring of a structure, it should be permanently equipped with proper instrumentation according to the goals of the observation, structure type and size, and site conditions.

In earthen or embankment dams (like Aswan High Dam) obviously will deform altogether differently than concrete ones. With earthen dams, the deformation is largely characterized as more permanent. The self weight of the embankment and the hydrostatic pressure of the reservoir water largely force the fill material to settle, resulting in a vertical deflection of the structure. The reservoir water pressure also causes permanent horizontal deformation perpendicular to the embankment centerline, while in the earthen dams elastic behavior is slight.

#### *Location of Monitoring Points*

Measurements of horizontal and vertical displacements are required at the dam crest, and upstream and downstream toe locations. Surface displacement monuments should be located to provide coverage across the length of the dam extending to the adjacent stable areas. Provisions should be made to detect relative and absolute movement of armor on the dam face. Typically, the spacing of points near abutments and appurtenant structures are closer by about 50 percent than for the points at the midsection of the crest to provide denser movement data with respect to the surrounding sides, spillways, and foundation areas. New or temporary monitoring points may be concentrated in areas where significant movement is detected or repairs are underway. The location of monitoring points with the different monitoring conditions may be as following:

a. Normal conditions. Monitoring schemes include survey stations at the points where maximum deformations have been predicted plus a few observables at the points which, depending on previous experience, could signal any potential unpredictable behavior, particularly at the interface between the monitored structure and the surrounding material.

b. Unusual conditions. Once any abnormal deformations are noticed, then additional observables are added at the locations indicated by the preliminary analysis of the monitoring surveys as being the most sensitive to identification of causative factors.

c. Long-term monitoring. The spatial distribution of survey monuments should provide complete coverage of the structure, extending to stable areas of the project if possible. A minimum of four monitoring points are recommended to model behavior in a plane section (tilts, subsidence, etc.). For linear structures, monuments are placed at intervals that provide coverage along the structure's total length.

#### *Methodology*

Depending on the type and condition of the Aswan High Dam, Long-term measurements are far more common and somewhat more complex given their external nature. Long-term monitoring of a structure's movement typically requires observations for monitoring points on the structure from external reference points. These external

reference points are established on stable ground well removed from the structure or its construction influence. They inter-connected and are termed the «Reference Network». The reference network must also be monitored at less-frequent intervals to ensure these reference points have not themselves moved. Traditional geodetic survey instruments and techniques may be employed to establish and monitor the reference network points. After choosing monitoring points on the dam as discussed, photogrammetric data capture can be achieved within minutes from a helicopter, and data processing must be done to calculate accurate 3D deformation measurements on this High Dam.

#### *Photogrammetric Techniques*

If an object is photographed from two or more survey points of known relative positions (known coordinates) with a known relative orientation of the camera(s), relative positions of any identifiable object points can be determined from the geometrical relationship between the intersecting optical rays which connect the image and object points. If the relative positions and orientation of the camera are unknown, some control points on the object must be first positioned using other surveying techniques. The main advantages of using photogrammetry are the reduced time of field work; simultaneous three dimensional coordinates; and in principle an unlimited number of points can be monitored. The accuracy of photogrammetric point position determination has been much improved in the past decade with the new developments in solid state cameras with CCD sensors, which justifies a re-evaluation of photogrammetric techniques for deformation measurements on large structures. Solid state cameras with CCD sensors have become available in static as well as in dynamic applications. Continuous monitoring with real time photogrammetry becomes possible with the new developments and digital image processing techniques.

#### *Photogrammetry operations*

When performing photogrammetric based deformation surveys and using an airplane or helicopter for the platform, a camera with an image motion compensator must be used. Typically, 5 to 20 exposure stations are necessary to insure sufficient precision for the object point coordinates are determined. To ensure the whole photo taking portion of the survey is performed correctly, it is highly recommended that only experienced personnel be used for this phase of the survey.

The photogrammetric reduction process also should be done by experienced personnel trained in image coordinate measurement with the appropriate equipment. If practicable, it is recommended that this process be automated in order to eliminate potential gross errors possible with self-calibration.

#### *Pre-processing photo control survey data*

Pre-processing of conventional survey data consists of applying statistical tests at the time the observations are made in order to reject probable outliers, and applying atmospheric, instrument calibration, standardization, and geometric corrections so data can be imported to subsequent network adjustment software. Pre-processing of conventional survey observations can either be done manually or by appropriate verified and validated PC based programs.

#### *Pre-processing photogrammetric survey data*

Pre-processing of photogrammetric based survey data will include the screening of measured image coordinates in order to reject observation which are outliers and determination of 3D object coordinates and associated variance-covariance matrix in the local coordinate system. Determination of the 3D object coordinates should be accomplished by a computer based bundle adjustment program with self-calibration. Also, in the bundle adjustment, the focal length, position of the principal point, coefficients of radial and asymmetric lens distortion must be treated as weighted unknowns. Atmospheric refraction can be neglected if the exposure distance is kept to what is recommended.

© *А.П. Гук, Йехиа Хассан Мики Хасан, 2008*

УДК 528.7

*Т.А. Хлебникова*

СГГА, Новосибирск

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ВИДЕОСЦЕН ПО ДАННЫМ ЦММ

*T.A. Khlebnikova*

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo U1, Novosibirsk, 630108, Russian Federation

## TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF MEASURING 3D VIDEO SCENES DEVELOPMENT BY DTM

Current technologies for 3D video scenes development are considered. Digital terrain models (DTM) serve as initial data for 3D video scenes development by means of GIS. Technologies of DTM development by different initial data are offered.

For special- purpose 3D video scenes development, meant for interpretation of the objects and determination of coordinates and elevations of the points with prescribed accuracy (measuring purposes), digital relief- and terrain- objects models are used. The latter are acquired by photogrammetric technologies from aerial photography and satellite survey.

Efficiency of photogrammetric technologies is secured by high comprehensiveness and accuracy of positions data and elevations acquired from aerial-, photographic and satellite surveys as well as by high automation of modern photogrammetric devices – digital photogrammetric stations.

The conditions have been laid down for DTM development, which are to meet the requirements for further development of measuring 3D video scenes.

The main problems are discussed which one faces while developing the given technology. Some methods of solution are offered.

В конце прошлого века, т.е. несколько лет назад, информационные системы, обеспечивающие трехмерное представление данных практически были ориентированы на решение задач разработки нефтяных и газовых месторождений [1]. Это объяснялось как высокой ценой зарубежного программного обеспечения, так и средств сбора исходных данных. В настоящее время в Российской Федерации трехмерные цифровые модели начинают использоваться в различных сферах деятельности: на транспорте (наземном, морском, воздушном), для решения навигационных задач, для решения задач экологии и природопользования, в геологии и геофизике, в системе МВД и МЧС, при проектировании и прокладке подземных коммуникаций,

трубопроводов различного назначения, в проектно-изыскательских и архитектурно-планировочных работах [2].

Трехмерные модели упрощают ориентирование человека на местности, позволяют решать многие задачи для социальных структур, представлять информацию о характеристиках объекта недвижимости, обстановке и инфраструктуре окружающей местности, планировке домов как на неосвоенной, так и на застроенной территории.

Трехмерные цифровые модели представляют собой в общем случае трехмерные пространственные аналоги реальных объектов местности. Под трехмерной видеосценой будем понимать трехмерную пространственную цифровую модель местности.

В научной и технической литературе приводятся различные определения и обозначения, например: 3D-ЦММ, 3D-модели, 3D-сцены, виртуальные модели местности [3, 4, 5]. В [3, 4] «виртуальная модель местности (ВММ) – это математическая модель местности (содержащая информацию о рельефе земной поверхности, ее спектральных яркостях и объектах, расположенных на данной территории), предназначенная для интерактивной визуализации и обладающая эффектом присутствия на местности».

Исходными данными для построения трехмерных видеосцен средствами ГИС служат цифровые модели местности (ЦММ), включающие в себя цифровую модель рельефа (ЦМР) и трехмерную цифровую модель объектов местности (ЦМО). Под ЦМО здесь понимается цифровая модель местности, содержащая информацию о плановом (координаты  $X$ ,  $Y$ ) и высотном (по оси  $Z$ ) положении объектов местности, имеющих искусственное происхождение, кроме рельефа [6].

В настоящее время существуют различные технологии создания ЦММ, основанные на использовании в качестве исходных данных следующих материалов:

1. Архивных картографических материалов в аналоговом виде или цифровых топографических карт и планов;
2. Аэрофотосъемки и космической съемки;
3. Лазерной локации и цифровой аэрофотосъемки;
4. Радиолокационной интерферометрии;
5. Материалов геодезии.

Первый вид технологии основан на сканировании диапозитивов постоянного хранения или тиражных оттисков топографических карт, планов и их последующей оцифровке, т. е. подготовке цифровых топографических карт, планов (ЦТК, ЦТП) – двухмерного изображения. Для создания ЦТК или ЦТП используются технологии, основанные на цифровании исходных материалов, представленных в виде файлов растров средствами специального программного обеспечения. Примером отечественных технологий могут служить технологии, реализованные в ГИС Панорама, ГИС Нева [7].

При наличии ЦТК или ЦТП информация дополняется кадастровыми данными (в первую очередь – высотами объектов), материалами фотосъемки

(для создания текстуры фасадов строений) и другой дополнительной информацией об объектах местности. Для создания трехмерных видеосцен используется программное обеспечение специализированных ГИС или САПР – 3D ГИС. При этом возникают проблемы конвертирования, так как в технологии используется несколько программных продуктов, информационное обеспечение которых чаще всего не согласовано.

При геодезическом методе получения пространственных характеристик объектов местности наибольшее применение на сегодняшний день находят электронные тахеометры и спутниковые системы GPS. Данные поступают в виде набора координат точек местности, которые передаются списком координат X, Y и Z в специализированные программные продукты постобработки геодезических измерений. Одновременно формируется семантическая информация.

Основным недостатком GPS-технологий является отсутствие возможности проведения измерений в густо населенных, залесенных и городских территориях. Недостатком геодезического метода сбора информации является большая трудоемкость полевых работ.

Перспективным является использование технологий наземной лазерной локации, в которых с комплектом оборудования для проведения сканирования также предоставляется специализированное программное обеспечение для автоматизации процессов обработки данных. Основным недостатком данного метода является избыточная детальность получаемой информации для решения большинства практических задач, высокие требования к вычислительной мощности компьютера, большие затраты труда, и соответственно высокая стоимость.

Также перспективным является метод создания трехмерных видеосцен по наземным снимкам, полученным цифровыми камерами.

Следует отметить, что метод трехмерной реконструкции инженерных сооружений по наземным снимкам, полученным цифровыми камерами, позволяет формировать участки небольших территорий и отдельных объектов.

Для специальных целей создания трехмерных видеосцен, предназначенных для дешифрирования объектов и определения координат и высот точек с заданной точностью т.е. измерительных целей, будут служить цифровые модели рельефа и объектов местности, полученные по материалам аэрофото- и космосъемки средствами фотограмметрических технологий.

Эффективность использования фотограмметрических технологий обеспечивается высокой информативностью и точностью определения координат и высот точек местности по материалам аэрофо- и космосъемки, а также высокой степенью автоматизации современных фотограмметрических приборов – цифровых фотограмметрических станций (ЦФС).

Для разработки технологии создания трехмерных видеосцен необходимо определить требования к исходным данным и требования к составу и точности итоговой продукции, т. е. к трехмерной видеосцене.

Определим необходимые условия при которых будут получены ЦММ, удовлетворяющие требованиям для дальнейшего создания измерительных трехмерных видеосцен:

1. ЦММ должна быть комбинированной, т.е. включать цифровую модель рельефа (ЦМР) и цифровую модель объектов местности (ЦМО), имеющих в т. ч. искусственное происхождение.

2. Масштаб залета исходных материалов аэрофото- и космосъемки должен обеспечивать создание ЦММ в диапазоне крупных масштабов.

3. Текстура трехмерных видеосцен должна быть получена по материалам аэрофото- и космосъемки.

Требования к программному обеспечению, средствами которого создаются трехмерные видеосцены:

1. Используемое ПО должно обеспечивать как визуализацию трехмерной видеосцены, так и измерения точек на поверхности рельефа и на объектах местности с необходимой точностью.

2. ПО должно позволять «натягивать» растровое изображение на трехмерную видеосцену.

Рассмотрим основные проблемы, возникающие при разработке данной технологии:

1. Для получения ЦММ на современных средствах – цифровых фотограмметрических станциях предусматривается обработка материалов аэрофото- и космоснимков посредством измерения стереоскопических моделей, созданных по стереопарам цифровых снимков. Особенности такой обработки являются:

– Выполнение измерений на дисплее, а не на фотограмметрическом изображении, как это было в оптико-механических или аналитических приборах;

– Измерительный процесс – стереоскопическое визирование является дискретным, измерительная марка перемещается по экрану дисплея с шагом равным пикселу экрана.

Исследование особенностей стереоскопических измерений на цифровых фотограмметрических приборах выполнялись и результаты наиболее полно освещены в работах [8, 9].

Вопросы точности измерений трехмерных видеосцен практически не отражены в литературе. Причина этого, очевидно, в том, что массового, широкого использования измерительные трехмерные видеосцены пока не нашли [4].

Анализ программных средств показал, что ряд программных средств не имеет функций для измерения координат точек видеосцены (нет шкалы координат или измерительной марки). В некоторых программных пакетах измерительная марка перемещается с фиксированным (заданным) шагом, что затрудняет фиксацию с необходимой точностью.

Очевидно предположить, что точность трехмерных видеосцен будет характеризоваться совместным влиянием погрешностей исходных ЦМР, ЦМО, погрешностей, привносимых выбранным алгоритмом создания цифровой модели рельефа, погрешностей выбранного алгоритма построения трехмерной видеосцены, а также параметров используемого персонального компьютера.

2. Точное в геометрическом отношении изображение местности достигается только при одинаковых горизонтальном и вертикальном масштабах изображения. Для более наглядного изображения местности допускается увеличение вертикального масштаба по отношению к горизонтальному. Выбор этого соотношения будет зависеть от назначения модели местности, горизонтального масштаба, размеров изображения и характера рельефа местности. В [10] даны значения ограниченного ряда коэффициентов для выбора вертикального масштаба при построении моделей местности с горизонтальным масштабом 1 : 50 000 и крупнее для трех типов рельефа местности. При этом возникает проблема учета ошибок, привносимых этой разномасштабностью.

3. В зависимости от назначения трехмерной видеосцены нагрузка элементов содержания и объектов будет различной. Возникает проблема определения и обоснования необходимого и достаточного уровня детализации объектового состава. Должны быть разработаны критерии отбора и обобщения для показа объектов, обязательных на трехмерной видеосцене.

Обозначенные выше проблемы не претендуют на полный их перечень. Однако, разработка технологии построения измерительных трехмерных видеосцен по данным ЦММ, полученным в соответствии с принятыми условиями, требует исследований по вышеперечисленным проблемам в первую очередь.

В СГГА начаты работы по теоретическим исследованиям и практическим экспериментам обозначенных выше проблем.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коротаев М.В., Ершов А.В. Принципы создания цифровой трехмерной геологической карты нового поколения. Инф. Бюллетень ГИС № 5 (22) 1999. – С. 28-29, 30.

2. Побединский Г.Г., Еруков С.В. Использование цифровых карт для информационных систем различного назначения // Геодезия и картография. – 2006. – № 4. – С. 17–26.

3. Сборник задач и упражнений по геоинформатике: учеб. пособие для вузов/ под ред. В.С. Тикунова. – М.: Академия, 2005. – 560 с.

4. Основы геоинформатики: в 2 кн. Кн1: учеб. пособие для вузов -75 студ. Вузов / под ред. В.С. Тикунова. – М.: Академия, 2004. – 352 с.

5. Журкин И.Г., Баклыков М.А., Еруков С.В. Технология трехмерного моделирования городских территорий на основе ГИС. – Международная научно-техническая конференция, посвященная 225-летию МИИГАиК. Геоинформатика. – М., 2004. – С. 6–13.



6. Хлебникова Т.А., Шушлебина Н.И. Создание трехмерной цифровой модели местности по материалам аэрофотосъемки на ЦФС для использования в 3D- ГИС // Геодезия и картография. – 2006. – № 5. – С. 13–18.
7. Воробьев Ю.Д., Лапина Е.Н., Бабанова Д.И. Построение трехмерной модели на основе кадастровой информации // Геодезия и картография. – 2004. – № 3. – С. 43–51.
8. Книжников Ю.Ф. Особенности стереоскопических измерений на цифровых фотограмметрических приборах // Геодезия и картография. – 2005. – № 12. – С. 17–24.
9. Гельман Р. Н. Влияние размера пиксела на точность измерений цифрового снимка и построение модели // Геодезия и картография. – 2004. – № 9. – С. 30, 35–37.
10. ГОСТ Р 52055 – 2003. ГОССТАНДАРТ РОССИИ. Геоинформационное картографирование. Пространственные модели местности. Общие требования. – М.: 2003. – 4 с.

© Т.А. Хлебникова, 2008

УДК 550.31

*Ю.И. Кузнецов*

ИВМиМГ, Новосибирск

*Б.Т. Мазуров, Ю.В. Никитина*

СГГА, Новосибирск

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЛНОВОДОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

*Yu.I. Kuznetsov*

The Institute of Calculus Mathematics and Mathematical Geophysics

*B.T. Mazurov, Yu.V. Nikitina*

Siberian State Academy of Geodesy

## MATHEMATICAL SIMULATION OF WAVEGUIDES IN EARTH'S CRUST

Mathematical simulation is offered which explains the nature of sudden global, regional and some local geodynamic phenomena. It is based on the division of time- and space variables. As a result numerical calculations become more economical and vivid. The conducted experiments proved the existence of a group of harmonics which is determined by the region of the original pulse localization where all the initial concentrated energy oscillates. The authors reveal the role of divisibility of Fourier harmonics numbers. The scenario of non-linear movements is shown.

В настоящее время возникли условия для новых постановок. Такой вывод основывается на следующих благоприятных предпосылках.

Академик А.А. Логунов [1], развивая идеи Пуанкаре, Лоренца и Минковского, отошел от общей теории относительности Эйнштейна – Гильберта. В цитируемой работе говорится: «...Эйнштейн сознательно отошел от концепции гравитационного поля как физического поля Фарадея – Максвелла (т. е. Хевисайда)...». «Приняв общую теорию относительности, мы должны отказаться как от фундаментального принципа – закона сохранения энергии-импульса вещества и гравитационного поля, так и от концепции классического поля. Но это очень большая потеря, и мы были бы очень легкомысленны, если бы без должных экспериментальных оснований согласились на нее. Отсюда один выход – отказаться от нее». И далее: «В основе нашей теории лежат представления о гравитационном поле как физическом поле в духе Фарадея – Максвелла, обладающем энергией-импульсом. Таким образом, гравитационное поле аналогично всем другим полям...» А.А. Логунов положил в основу своей релятивистской теории гравитации пространство Минковского.

Об этом говорит и академик В.Е. Панин [2], который пришел к выводу, что подобно электромагнитному полю, в котором взаимодействуют переменные электрические поля, в деформированном твердом теле возникает единое механическое поле, содержащее органически взаимосвязанные

трансляционную и поворотную моды. Выписанная им система уравнений, описывающих механическое поле в деформируемом твердом теле, подобна уравнениям Максвелла для переменных электромагнитных полей.

Поэтому, кажется уже неоспоримым, продолжая аналогию электромагнитного и гравитационного полей, появление аналога уравнений Максвелла [3]:

$$\nabla \cdot \vec{E}_g = \rho_g,$$

$$\nabla \times \vec{E}_g = -\mu_g \frac{\partial \vec{H}_g}{\partial t},$$

$$\nabla \cdot \vec{H}_g = 0,$$

$$\nabla \times \vec{H}_g = \varepsilon_g \frac{\partial \vec{E}_g}{\partial t} + \nabla \times (\rho_g \vec{V}_g),$$

причем  $\vec{E}_g$  – гравитационное поле,  $\vec{H}_g$  – поле плавучести (аналог магнитного поля),  $\rho_g$  – плотность пород,  $\vec{V}_g$  – вектор скорости кручения. Здесь полная аналогия уравнениям Максвелла, причем  $\mu_g$  и  $\varepsilon_g$  – соответствующие параметры гравитационного поля.

Таким образом, возвращение парадигмы конца XIX века [4], т. е. аналогии гравитационного и электромагнитного полей, создает новые возможности. Так, например, в электротехнике рассматривается отнюдь не сплошная среда, а электрические цепи с их сопротивлениями и емкостями электрической (емкость) и магнитной (индуктивность) энергий. Не случайно в работах А.В. Викулина [5] отмечается, что тектоническая волна распространяется по системе волноводов – аналогу электрической цепи.

*Волноводы.* В середине прошлого века известный физик Э. Ферми [6] исследовал систему уравнений в конечных разностях

$$\ddot{z}_k = (z_{k+1} - 2z_k + z_{k-1})(1 + \alpha(z_{k+1} - z_{k-1})),$$

$$z_0 = z_{N+1} = 0, \quad k = 1(1)N,$$

описывающую колебания укрепленных на нити  $N$  одинаковых масс на одинаковых расстояниях. Здесь  $z_k = z_k(t)$  есть отклонение  $k$ -й массы от положения равновесия. Колебательная система, описываемая этими уравнениями, энергию начального импульса не рассеивает с течением времени по фазовому пространству, а сосредотачивает в некоторой группе гармоник, перекачивая её из одних в другие.

Для вектора  $Z(t) = (z_1(t), \dots, z_N(t))^T$  в произвольный момент времени  $t$  используется преобразование Фурье

$$Z(t) = \sum_{i=1}^N c_i(t) Y^{(i)}, \quad (1)$$

где вектор  $Y^{(i)} = (y_1^{(i)}, \dots, y_N^{(i)})^T$ ,  $y_0^{(i)} = y_{N+1}^{(i)} = 0$ , есть решение однородного уравнения

$$y_{k+1}^{(i)} - 2y_k^{(i)} + y_{k-1}^{(i)} = -\lambda_i y_k^{(i)}, i = I(1)N.$$

Здесь  $\lambda_i$  – квадрат частоты, а  $Y^{(i)}$  – амплитудный вектор линейного осциллятора, описываемого исходной системой при  $\alpha = 0$ .

В работе [7] был получен следующий важный результат.

*Теорема.* Вектор коэффициентов Фурье  $C = C(t) = (c_1(t), \dots, c_N(t))^T$  связан соотношением

$$\ddot{C} = -(I + \alpha B)AC,$$

где  $I$  – единичная матрица,  $A = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_N)$ , с симметричной матрицей

$$B = B(t) = B_T - B_H,$$

причем  $B_T$  есть симметричная теплицева, а  $B_H$  – персимметричная ганкелева матрицы.

*Численный эксперимент.* Перейдем теперь к численным расчетам для нелинейной одномерной колебательной системы. Система ОДУ решается методом Рунге-Кутты с трехстадийной схемой Радо (узлы схемы Радо: 0,00155; 0,00645; 1.0).

Во всех задачах масса каждой точки считается равной единице; через  $N$  обозначено число степеней свободы и, следовательно, число фигурирующих в расчете мод, через  $\alpha$  – коэффициент при квадратичном члене силы, действующей между соседними точечными массами.

Во всех задачах расчет начинался с момента  $t = 0$ , когда система покоится. Конечные точки фиксированы.

При  $\alpha = 0$  энергия сохраняется в тех собственных направлениях  $Y^{(i)}$ , которые присутствовали в начальном импульсе, что было использовано при тестировании алгоритма. Для  $N=31$  на 100000 шагов ( $\tau=0,001$ ) относительная погрешность полной энергии  $N$  составила  $\approx 0,0004$ .

Следующий эксперимент показывает, что определенная локализация имеет место и для  $\alpha \neq 0$ . Задаем начальные коэффициенты  $c_i(t)$  разложения (1) следующим образом:

$$C^{(j)}(0) = e_j, j = I(1)31, \text{ где } C = (c_1(t), \dots, c_N(t))^T,$$

$\alpha = 1$ ,  $N = 31$  на 20000 итераций ( $\tau = 0,001$ ) и представляем норму всех коэффициентов Фурье в виде:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i^{(j)}(t))^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{[N/j]} (c_{ij}^{(j)}(t))^2} + \varepsilon_j(t),$$

где  $\sqrt{\sum_{i=1}^{[N/j]} (c_{ij}^{(j)}(t))^2}$  содержит только коэффициенты, номера которых

делятся на  $j$ .

Нетривиальный результат получился при  $j = 2^k$ ,  $k = I(1)4$ :

$$\varepsilon_j(t) \approx 0,$$

то есть энергия локализуется только в тех гармониках, которые делятся на  $j$ .

Далее, получены следующие погрешности:

$$j = 3, \quad \varepsilon_j(t) = 10^{-6}$$

$$j = 5, \quad \varepsilon_j(t) = 3 \cdot 10^{-3}$$

$$j = 6, \quad \varepsilon_j(t) = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$j = 7, \quad \varepsilon_j(t) = 4 \cdot 10^2.$$

На остальных компонентах, сильно осцилляционных, идет нарастание и расползание энергии.

При задании начального вектора  $c$  (для  $N=31$  на 30000 итераций ( $\tau=0,001$ )), у которого  $c_2(0) = c_3(0) = \frac{1}{\sqrt{2}}$ , а остальные компоненты равны нулю, энергия была сосредоточена в гармониках, номера которых делятся на 2 и на 3. При этом  $\max |\varepsilon_j| = 10^{-3}$ .

*Анализ результатов.* В работе [6] отмечалось, что решение исходного уравнения ведет себя неожиданным образом. Действительно, из соображений эргодичности авторы ожидали, что начальный импульс, даже если он был локализован в одной гармонике линейного оператора (в линейном случае начальный импульс не выходит со временем из области своей локализации), со временем будет «диффундировать» по всем гармоникам. Оказалось, что это не так: существует группа гармоник, определяемая областью локализации начального импульса, в которой сосредоточена и осциллирует вся начальная энергия.

Наши эксперименты, в которых выделена временная составляющая, подтверждает этот результат, и, кроме того, выявляет еще один неожиданный результат, а именно, роль делимости номеров гармоник Фурье. Алгебраические результаты этой работы были опубликованы в [7].

*Сценарии.* Одни и те же алгебраические уравнения с позиции механики можно интерпретировать по-разному. И в связи с этим в работе [8] было начато формирование банка сценариев природных колебательных процессов. В данной работе мы рассматриваем еще один сценарий – сценарий нелинейных движений.

Для построения одиночной модели большой территории желательно иметь космические снимки максимально высокого разрешения на территорию с максимальными гравитационно-крутильными полями, полученные с большим временным диапазоном. В настоящее время производится накопление изображений на данные территории для дальнейших измерений и сравнении по времени [9]. Высокую точность имеют GPS-наблюдения. В работе [10] приводится визуализация полей горизонтальных движений Горного Алтая перед землетрясением 2003 года, данные о которых были получены по многолетним GPS-наблюдениям. Движения имеют вихревой характер.

Накопление сценариев является важным фактором изучения подкорковых явлений. Так, например, динамика землетрясения, зафиксированного в Гарме в 1979 г. при проведении светодальномерных съемок достаточно хорошо

описываются сценарием «система бусинок». Существует ряд принципиальных вопросов [11], [12], которые можно разрешить с помощью сценариев. Но для этого необходима адекватная интерпретация результатов геодезических и фотограмметрических наблюдений за динамикой земной поверхности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логунов, А.А. Лекции по теории относительности и гравитации / А.А. Логунов. – М.: Наука, 1987.
2. Панин, В.Е. Спектр возбужденных состояний и вихревое механическое поле в деформируемом кристалле / В.Е. Панин, Ю.В. Гриняев, В.Е. Егорушкин и др. // Изв. Вузов. Физика. – 1987. – № 1.
3. Кузнецов, Ю.И. Алгебраические основы моделирования природных процессов / Ю.И. Кузнецов. – Новосибирск: изд. СГГА, 2006.
4. Heaviside O. A gravitational and electromagnetic analogy. – Part I, The Electrician, 31, 281–282 (1893).
5. Викулин, А.В. Физика волнового сейсмического процесса / А.В. Викулин. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГПУ, 2003. – 150 с.
6. Ферми, Э. Научные труды / Э. Ферми. – М.: Наука, 1972. – С. 647–656.
7. Кузнецов Ю.И. Модель нелинейных колебаний с разделением переменных. Сибирский журнал вычислительной математики. РАН Сиб. Отделение – Новосибирск, 2007 – Т. 10, № 4 – С. 349–360.
8. Кузнецов, Ю.И. Математическое моделирование и рекуррентная идентификация геодинамических систем на основе механики Гамильтона – Лагранжа / Ю.И. Кузнецов, В.К. Панкрушин // ГЕО-Сибирь-2005. Т. 2.: сб. материалов научн. конгр. «ГЕО-Сибирь-2005», 25 – 29 апр. 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 3–14.
9. Кузнецов, Ю.И. Аэрокосмический мониторинг в анализе движения блока земной коры / Ю.И. Кузнецов, В.И. Тихонов. – Новосибирск: Вестник СГГА, вып.11. – 2006. – С. 94–97.
10. Мазуров, Б.Т. Поля деформаций Горного Алтая перед Чуйским землетрясением / Б.Т. Мазуров // Геодезия и картография. – 2007. – № 3. – С. 48–50.
11. Стажевский, С.Б. Геодинамика и кольцевые структуры / С.Б. Стажевский / Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Международная конференция СО РАН. – Новосибирск, 2005.
12. Кэри, У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной / У. Кэри. – М.: МИР, 1991.

УДК 528.7

*М.В. Борзых*

СГГА, Новосибирск

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНОСТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИЙ

*M.V. Borzikh*

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo U1, Novosibirsk, 630108, Russian Federation

## THE RESULTS OF USING SUBTRACTIVE IMAGES AND THEIR ANALYSIS FOR REGIONAL TERRITORIAL MONITORING

To solve the problems of planning, prediction, analysis and modeling of different environmental processes and phenomena, modern methods and means are used for data accessing, storage, processing and representation as well as for information interchange. One of the problems to be solved is making and updating digital maps of environmental dynamics. This kind of mapping is based on difference image, made of two pictures taken at different times.

The article presents the examples of difference- image application for regional territories monitoring. The conducted investigations resulted in the conclusion: difference image application is a very simple and convenient method to be used for regional territories monitoring.

В современном мире информационных технологий космические снимки являются наиболее перспективными материалами для получения карт различных масштабов и различного назначения. Уже сегодня разрешение снимков, полученных со спутника QuickBird в панхроматическом режиме, составляет 0,61 м, а в ближайшие несколько лет планируется запустить на орбиту спутник, который позволит получать снимки разрешением 0,41 м. Это позволит расширить возможности использования снимков для многочисленных целей экологического и других видов мониторинга.

Для решения задач, связанных с планированием, прогнозом, анализом и моделированием различных процессов и явлений окружающей среды, используются современные методы и средства получения, хранения, обработки и представления разнообразной информации, а также средства обмена информацией. Такими средствами являются геоинформационные системы, позволяющие объединить пространственные географические данные, аэро- и космические изображения, а также тематические данные по множеству параметров, представленных в картографической и табличной формах.

Схема наиболее распространённой методики мониторинга показана на рис. 1. Суть её заключается в следующем. Цифровое изображение аэро- или

космического снимка ортотрансформируют, исключая погрешности за влияние рельефа и угла наклона. Топографическую карту переводят в цифровой вид, либо используют уже готовую цифровую карту. Затем, в зависимости от цели мониторинга, либо совмещают изображения карты и снимка и путём визуального сравнения делают определённые выводы, либо сравнивают «on-line» получаемые изображения, используя полуавтоматические методы дешифрирования, и достигают поставленных целей, и при всём этом используют полученные и собранные данные для обновления предыдущей цифровой информации, в результате чего можно получать вторичный производный картографический материал для анализа ситуации.

Одной из задач дистанционного зондирования является создание и обновление цифровых карт динамики природной среды. Это карты, на которых отражаются изменения, произошедшие на особо охраняемых природных территориях, и территориях подверженных антропогенному воздействию.

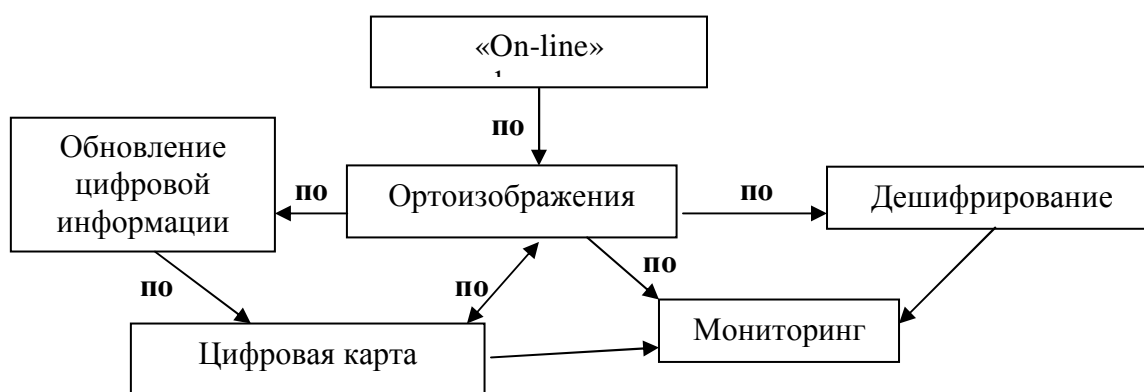


Рис. 1. Схема распространённой методики мониторинга

Карты динамики природной среды относятся к тематическим картографическим материалам. По масштабу они подразделяются на три категории: крупномасштабные (1 : 25 000 и крупнее – пространственное разрешение снимка 5 м), среднемасштабные (1 : 50 000 – 1 : 200 000 – пространственное разрешение снимка от 5 до 40 м) и мелкомасштабные (1 : 500 000 и мельче – пространственное разрешение снимка менее 40 м), в зависимости от таксономического ранга отображаемых ландшафтов.

Создание таких карт основывается на использовании разностного изображения, сформированного из 2-х разновременных снимков. Разностное изображение – это изображение, «на котором контрастно представлены участки территории, коэффициент отражения которых претерпел изменения с течением времени» [1].

Однако исследования показывают, что «при сравнении разновременных снимков невозможно учесть изменение различных факторов, сопутствующих съёмке» [2]. Для решения данной проблемы разработана методика предварительной обработки многозональных космических снимков, которая позволяет исключить влияние факторов, не связанных непосредственно с



объектом съёмки. Применяя данную методику, рассмотрим возможность использования разностного изображения для решения задач регионального мониторинга особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Исходными материалами для выполнения исследований являлись разновременные спектрозональные снимки на территорию Алтайского края, полученные со спутника «Метеор-3М» системой МСУ-Э 17.05.2004 (снимок 1) и 9.05.2005 (снимок 2). Пространственное разрешение снимков – 40 м. Эксперименты осуществлялись с использованием программного продукта ENVI.

Исходным снимкам (см. рис. 2) была задана проекция UTM, Zone 43 North, WGS-84, в соответствии с которой они получили координатную привязку (координаты определялись по топографической карте Алтайского края). Далее была выполнена привязка снимка 2 к снимку 1, т. е. приведение их в единую систему координат первого снимка.

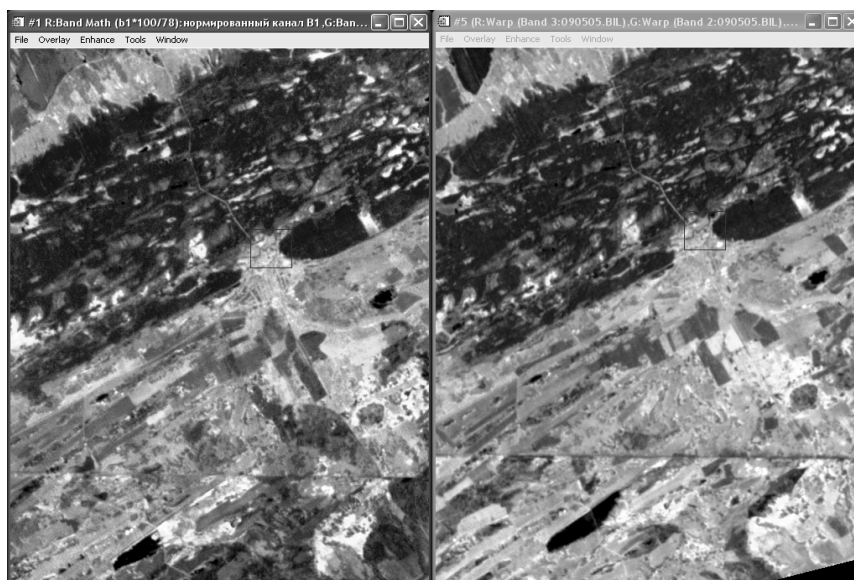


Рис. 2. Исходные изображения снимка 1 и привязанного к нему снимка 2 (слева на право)

К привязке уделялось особое внимание, так как пространственное разрешение составляет всего 28 м и добиться точного совмещения пикселей весьма затруднительно. Если совмещение снимков будет не точным, то интерпретация разностного изображения будет ошибочна в связи с сильным размытием изображения. В программном комплексе ENVI предлагается рассчитать точность совмещения пикселей по формуле:

$$RMS_{error} = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2}, \quad (1)$$

где  $RMS_{error}$  – корень из среднеквадратической ошибки;

$x'$  и  $y'$  – расчётные координаты строки и столбца;

$x$  и  $y$  – исходные координаты строки и столбца.

В нашем эксперименте точность совмещения пикселей составила  $RMS_{error} = 0,2$  элемента.

Следующим этапом для формирования разностного изображения будет процесс нормирования, разработанный в методике предварительной обработки изображений, согласно которому нормируются значения яркостей каждого спектрального канала снимков 1 и 2 отдельно, а затем нормированные каналы синтезируются в нормированный снимок 1 и нормированный снимок 2. Расчёт нормированных изображений проходил с использованием формулы (1):

$$b_N = (b_i * 100) / k, \quad (2)$$

где  $b_N$  – нормированные значения яркостей в спектральных каналах снимков 1 и 2;

$b_i$  – исходные значения яркостей;

$k$  – значение яркости выбранного объекта, согласно спектральному каналу снимков 1 и 2.

Далее для каждого соответственного спектрального канала создаётся своё разностное изображение. В данном случае разностное изображение создаётся для спектрального канала R (см. рис. 3):



Рис. 3. Разностное изображение в спектральном канале R

Формирование разностного изображения происходит путём применения формулы (2):

$$d' = b_1 - b_2, \quad (3)$$

где  $b_1$  и  $b_2$  – исходные значения яркостей соответствующих спектральных каналов снимков 1 и 2.

Величина  $d'$  может принимать значения как больше, так и меньше нуля. В данном эксперименте снимок 1 получен раньше снимка 2, поэтому « $d' < 0$ » будет обозначать, что коэффициент спектрального отражения участка территории с течением времени уменьшился (т. е. участок потемнел), а « $d' > 0$ » показывает, что коэффициент отражения увеличился, т. е. участок территории стал

боле светлым» [1]. В соответствии с дешифровочными признаками мы визуально можем оценивать произошедшие изменения. Также для повышения информативности изображений программный комплекс ENVI позволяет рассматривать их в различных цветовых решениях, библиотека которых прилагается.

Для визуализации полученного изображения была проведена неуправляемая классификация (K-Means) по 5 классам. Результат представлен на рис. 4, а:

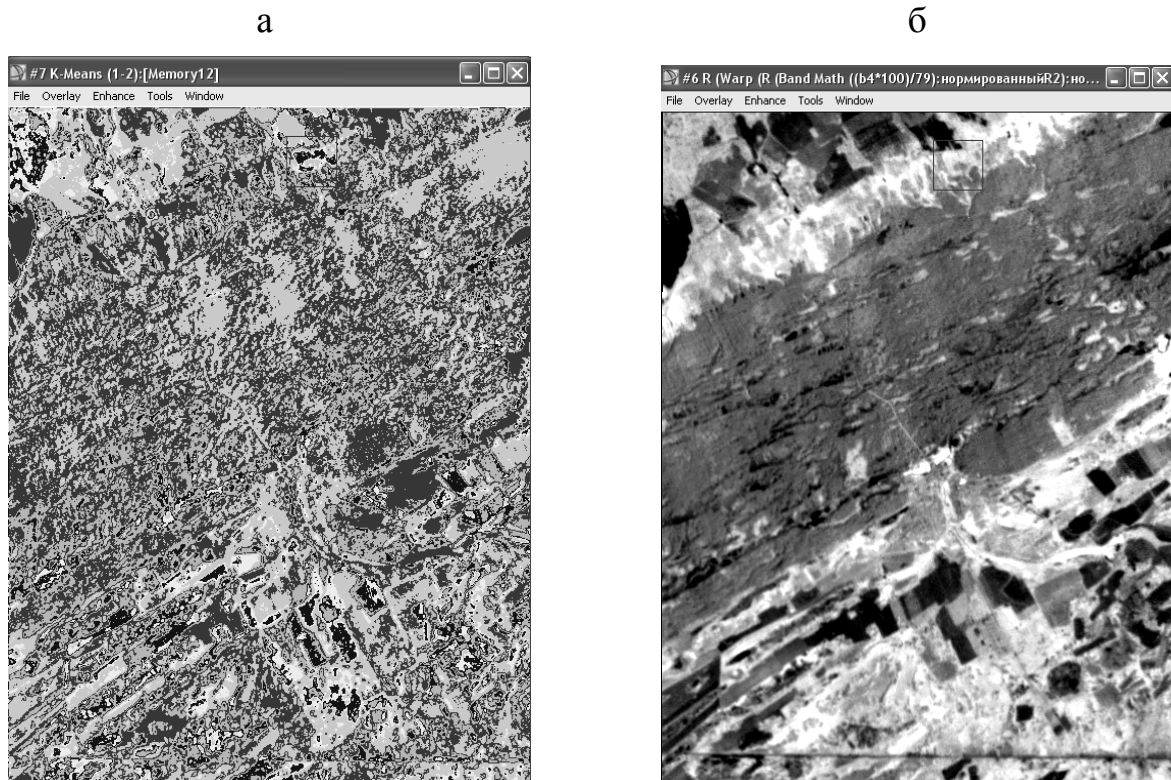


Рис. 4. а) визуализированное разностное изображение; б) исходное изображение спектрального канала R снимка 2

Визуальная интерпретация полученного изображения свидетельствует о значительных изменениях исследуемых объектов, так как если изменения коэффициента отражения незначительны, то цвет участка будет близок к серому. В нашем случае разница заметна как в области, занятой, территориями сельскохозяйственного назначения, так и лесными территориями.

Таким образом, можно утверждать, что использование разностных изображений для регионального мониторинга территорий достаточно удобный и простой вариант.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Толмачёва, Н.И. Практикум по космическим методам экологического мониторинга [Текст]: Учеб. пособие: монография / Н.И. Толмачёва, Л.С. Шкляева. – Пермь: Пермский университет, 2006. – 132 с.

2. Хлебникова, Е.П. Определение динамики изменения природных объектов по многозональным космическим снимкам [Текст] / Е.П. Хлебникова / Гео-Сибирь 2006. Т. 3. Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия. Ч. 1.: сб. материалов международного научного конгресса «Гео-Сибирь 2006», 24–28 апреля 2006 г. – Новосибирск: СГГА, 2006. – 248 с.

© М.В. Борзых, 2008

УДК 528.7  
*Е.М. Медведев*  
Геолитар, Москва

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ АЭРОФОТОТОПОГРАФИИ В РОССИИ

*Е.М. Medvedev*  
Geolidar, Moscow

## DEVELOPMENT TENDENCIES OF DIGITAL AERIAL SURVEY TECHNOLOGIES

Using of aerial survey methods for creating of topographical maps and plans prevailed during the 20<sup>th</sup> century. Specificity of this fact consists in appearance of two new technologies of geospatial data collecting. These are laser locators or lidars and digital aerial survey cameras using of which for topographical purposes can provide considerable advantages both in technical and economic aspects.

Combined using of laser location and digital aerial survey data can be considered as the main technological tendency in this field. Many people agree that such a combination provides maximum accuracy of the final data.

It is significant that combined using of airborne laser locators (scanners) and digital aerial survey cameras, and combined data processing have been carrying out for the last 8-10 years. So this technology can be considered as “classical”, time-proved.

Использование аэросъемочных методов для создания и обновления топографических карт и планов превалировало в течение всего 20-го века. В структуре топографо-геодезических наук в середине века выделилась отдельная дисциплина – аэрофототопография, занятая исключительно изучением методов создания топографических продуктов по результатам аэрофотосъемки. Преимущества и ограничения классических аэросъемочных методов в топографии и смежных отраслях – инженерно-изыскательских, землеустроительных, геологических и специальных приложениях хорошо известны. Специфика последних 10 лет состоит в появлении, практическом освоении и внедрении новых методов сбора геопространственных данных и, прежде всего, лазерно-локационного метода крупномасштабного картирования, применение которого может обеспечить получение значительных преимуществ как в чисто технологическом, так и в экономическом аспекте.

На сегодня, термин «лазерно-локационный метод съемки» подразумевает использование цифрового АФА и лазерного сканера (лидара). Следует отметить, что:

1. Название метода не означает доминирование лидара как источника данных.

2. Лазерно-локационный метод является не альтернативой, а дальнейшим развитием традиционного аэрофототопографического метода.

Принципы функционирования современных аэросъемочных лидаров, появившихся, как известно, в середине 90-х годов прошлого века, подробные технические характеристики основных коммерчески доступных моделей, а также общее содержание лазерно-локационного метода съемки подробно изложено в статьях и монографиях автора.

Технологическая база лазерно-локационного метода съемки состоит из:

- Авиационных лидаров (рис. 1);
- Цифровых аэрофотоаппаратов (рис. 2);
- Систем прямого геопозиционирования (рис. 3).



Рис. 1. Авиационный лазерный локаатор Gemini компании Optech Inc



Рис. 2. Крупноформатный цифровой АФА UltraCam-X компании Microsoft Vexcel

В табл. 1 приведено функциональное назначение составляющих технологической базы лазерно – локационного метода аэросъемки.

Такое сочетание аппаратного обеспечения позволяет достигать максимальной точности и полноты результирующих данных при существенной, по сравнению с традиционным подходом, экономией временных и материальных затрат.

Другой заметной тенденцией в этой области является использование космических данных ДЗЗ для решения различных прикладных задач, в том числе для обновления топографических карт, что особенно, в силу разных причин, очень активно используется в России. Следует отметить, что у каждого из методов существуют свои естественные плюсы и минусы и каждый из них имеет свою «технологическую нишу». Тем не менее, следует отметить, что фотографическое качество аэрофотоснимков и соответственно возможность их дешифрирования несравненно выше, чем у спутниковых снимков, а данные указанной выше лазерно-локационной аэросъемки позволяют на их основе создавать крупномасштабные карты и топопланы вплоть до М 1 : 500.

Таблица 1. Функциональное назначение основных элементов технологической базы лазерно-локационного метода аэросъемки

Элемент	Функциональное назначение (источник)
Лазерный сканер (лидар)	Лазерно-локационных данных
Цифровой аэрофотоаппарат	Цифровых аэрофотоснимков
Система прямого геопозиционирования	Элементов внешнего ориентирования аэрофотоснимков и ЛЛ данных



Рис. 3. Система прямого геопозиционирования AEROcontrol компании IGI mbH

Очень интересной и заметной тенденцией последних лет является использование аэрофотосъемочных данных высокого и сверхвысокого разрешения, причем как в форме плановых, так и в форме наклонных снимков – в сочетании с данными фотографической наземной съемки. Эти данные используются для со-здания принципиально новых геоинформационных

продуктов, не являющимися картами и планами в традиционном понимании. Речь идет о трехмерных текстурированных моделях реалистического вида, навигационных визуальных системах, «пиктометрических» моделях, данных формата Cyber-City, Microsoft Virtual Earth и т. п.

© *Е.М. Медведев, 2008*



УДК 528.73  
С.С. Ессин  
ОмГАУ, Омск

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБРАБОТКИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ИЗ АЭРОФОТОСНИМКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА, НА ОСНОВЕ МЕТОДА СВЯЗОК

*S.S. Essin*  
Omsk state agrarian university (OmSAU)  
2 Institutskia pl., Omsk, 644008, Russian Federation

## STATEMENT OF THE PROBLEM THE PROCESSING FOTOGRAMMETRY NETWORKS FROM AIRPHOTO, GOT WITH UNMANNED FLYING MACHINE, ON BASE OF THE METHOD OF THE LIGAMENTS

The description unmanned air photography complex happens to in article, particularities got airphoto and applicable ways of the processing. The Put problem of the processing fotogrammetry networks from airphoto, got with unmanned flying machine, on base of the method of the ligaments.

В настоящее время активно развивается и уже получило достаточно широкое применение направление использования цифровых малоформатных фотокамер для решения фотограмметрических задач. По материалам аэросъемок такими камерами оперативно обновляются и создаются планы на небольшие участки местности.

В Западно-Сибирском филиале ФГУП «Госземкадастрсъемка»-ВИСХАГИ разработан беспилотный аэрофотосъемочный комплекс. Составными частями комплекса являются:

- Радиоуправляемая авиамодель «Эльф» ПП-40. Авиамодель развивает скорость горизонтального полета 50-80 км/ч. Рабочая высота полета колеблется в пределах от 100 до 400 метров;
- Цифровая фотокамера Sony DSC-P200. ПЗС-матрица фотокамеры содержит около 7,2 млн. пикселей. Диапазон фокусных расстояний: 7,9-23,7 мм;
- Комплект телевизионно-телеметрического оборудования.

Беспилотный аэрофотосъемочный комплекс позволяет оперативно выполнять цифровую аэрофотосъемку локальных участков местности.

Материалы аэрофотосъемки, выполняемой с беспилотной авиамодели, имеют следующие особенности:

- Аэрофотосъемочные маршруты не прямолинейны;
- Аэрофотоснимки могут иметь существенные взаимные углы наклона, разворота и значительную разномасштабность;

– Три последовательно полученных снимка могут не иметь зоны тройного перекрытия или эта зона имеет «не правильную» форму.

Обработка такой съемки с использованием цифровых фотограмметрических станций, ориентированных на обработку материалов классической аэрофотосъемки, малоэффективна.

В Западно-Сибирском филиале ФГУП «Госземкадастрсъемка»–ВИСХАГИ разработаны алгоритмы и программное обеспечение для обработки материалов аэрофотосъемки, выполняемой с беспилотной авиамодели. Ключевым звеном в технологии фотограмметрической обработки является метод блочного трансформирования, который реализует задачу плановой фототриангуляции. Учет влияния рельефа осуществляется с использованием цифровой модели плановых радиальных смещений точек [3, 5, 6]. По данной технологии созданы ортофотопланы масштаба 1 : 2 000 на общую площадь более 50 кв. км.

С использованием указанной технологии обработки можно определять только плановые координаты точек местности, ее применение в горных районах недопустимо. Поэтому важным этапом совершенствования технологии фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки, выполняемой с беспилотной авиамодели, является переход к пространственному фототриангулированию. Построение фототриангуляционной сети должно осуществляться с учетом особенностей съемки с беспилотной авиамодели.

Ранее было проведено исследование, в результате которого были сделаны выводы о возможности построения пространственной фототриангуляционной сети из снимков имеющих только двойные продольные перекрытия [2].

Следующим шагом необходимо определить эффективность построения пространственной фотограмметрической сети созданной по материалам цифровой аэрофотосъемки, полученной с беспилотного летательного аппарата.

Для этого планируется создание макетных блоков, на основе реальной аэрофотосъемки с беспилотной авиамодели. Такой способ создания макетных блоков предложен профессором Антиповым И.Т. [1].

Макетные блоки планируется создавать в следующей последовательности:

– Обработка материалов реальной аэрофотосъемки с беспилотной авиамодели по технологии основанной на методе «блочного трансформирования», который реализует задачу построения плановой фотограмметрической сети [3, 6];

– Определение приближенных элементов внешнего ориентирования снимков;

– Полученные элементы внешнего ориентирования и координаты точек местности принимаются за истинные;

– По истинным элементам внешнего ориентирования и координатам точек местности вычисляются координаты этих точек на снимках.

Таким образом будут получены макетные блоки.

Вторым этапом проведения исследований является многократная обработка блоков.

В элементы внешнего ориентирования снимков следует вводить случайные ошибки. В координаты точек на снимках так же следует ввести случайные ошибки в соответствии с нормальным законом распределения ошибок. Фотограмметрическую сеть нужно строить и уравнивать одновременно по всем снимкам блока методом связей [4].

По результатам обработки сети следует выполнить оценку точности. При этом нужно вычислить средние отклонения урavnенных координат определяемых точек и урavnенных элементов внешнего ориентирования снимков от их истинных значений. А так же вычислить среднее квадратическое отклонение урavnенного положения точек от их «измеренного» положения на снимках.

В результате проведения таких исследований будет достаточно полно отображена эффективность обработки пространственной фотограмметрической сети, из снимков, полученных с беспилотной авиамодели, на основе метода связей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипов, И.Т. Математические основы пространственной аналитической фототриангуляции / И.Т. Антипов. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 2003. – 296 с.
2. Ессин, А.С. Разработка методики пространственной фотограмметрической обработки материалов цифровой аэрофотосъемки, полученной с беспелотного летательного аппарата. / А.С. Ессин, С.С. Ессин / Сб. материалов науч. Конгр. «ГЕО – Сибирь 2007», Т. 3. – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 48-52.
3. Ессин, А.С. Фотограмметрическая обработка материалов аэровидеосъемки для создания ортофотопланов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.С. Ессин. – Омск, 2006. – 23 с.
4. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия / А. Н. Лобанов. – М. : Недра, 1984. – 552 с.
5. Пат. № 2177603 Российская Федерация, G01 C11/30. Способ ориентирования пары снимков / Л. В. Быков, А. П. Макаров, Б. К. Малявский. – 2001101975/28 ; заявл. 22.01.01 ; опубл. 27.12.01, Бюл. №36. – С. 205.
6. Пат. № 2235292 Российская Федерация, G01 C11 / 30. Способ создания ортофотопланов по материалам аэровидеосъемки / Л. В. Быков, А. П. Макаров, Б. К. Малявский, А. С. Ессин, М. А. Шумилов. – № 2002128971 ; заявл. 29.10.02 ; опубл. 27.08.04, Бюл. №24. – С. 536.

УДК 528.7

*А.П. Гук, Л.Г. Евстратова*

СГГА, Новосибирск

## ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЕШИФРИРОВАНИЯ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

*A.P. Guk, L.G. Yevstratova*

SSGA, Novosibirsk

10 Plakhotnogo U1, Novosibirsk, 630108, Russian Federation

## PLANNING OF EXPERIMENTAL WORKS ON INVESTIGATION OF AUTOMATED TECHNOLOGIES FOR MULTI-ZONE SPACE IMAGES INTERPRETATION

The main problems of multi-zone space images automated processing are analyzed. It is shown that the multi-zone photography system may be considered as a measuring system and a qualitative approach may be applied for multi-zone images analysis. The article discusses the questions of planning experiments for the development of automated image- interpretation techniques and the features of objects identification in monitoring systems development.

В последнее время существенно расширились возможности получения информации о поверхности Земли средствами дистанционного зондирования. Возросло количество космических аппаратов, предназначенных для съемки поверхности Земли в различных зонах электромагнитного спектра, с различным разрешением на местности, полосой обзора, периодом съемки заданных участков. Это открывает принципиально новые возможности для изучения состояния поверхности Земли, различных искусственных и природных объектов, выполнения мониторинга заданного класса объектов.

Можно отметить следующие новые возможности средств дистанционного зондирования Земли, появившиеся в последние 5 лет:

- Получение космических снимков сверхвысокого разрешения (свыше 1 метра);
- Повышение разрешающей способности космических многозональных съемочных систем среднего разрешения (от 30 до 10 метров на местности);
- Появление целого ряда космических аппаратов имеющие многозональные съемочные системы высокого разрешения (от 5 до 2 метров) – возможность получения изображения с высокой периодичностью (за счет отклонения оптической оси от надира);
- Возможность получения стереопар снимков;

- Существенное повышение разрешающей способности и качества радиолокационных космических снимков (до 1 метра);
- Появление эффективных интерферометрических радиолокационных систем, обеспечивающих построение цифровых моделей рельефа;
- Развитие гиперспектральных космических съемочных систем.

Одним из важных факторов, обеспечивающий широкое использование космических снимков для практических задач, является их относительная доступность, как в экономическом, так и в организационно-техническом плане. Так в России более десятка фирм, которые занимаются распространением космических снимков, а цены вполне приемлемы для выполнения разнообразных проектов.

В настоящее время активно ведутся работы по созданию систем мониторинга на основе космических съемок и других данных дистанционного зондирования, однако внедрение таких систем сдерживается рядом технических и методологических проблем.

Количественный подход в дистанционном зондировании появился в 80-е годы XX века, и связан в первую очередь с развитием многозональных съемочных систем, а визуальный анализ многозональных снимков малоэффективен. И в связи с этим стали активно развиваться алгоритмы численного анализа изображений, автоматического дешифрирования снимков.

Однако, несмотря на существенные достижения в этой области автоматическое дешифрирование реализовано только для узкого класса объектов и до сих пор представляет сложную и неоднозначно решаемую задачу. Это объясняется большим количеством разнообразных факторов, влияющих на отражающие свойства объекта, процесс получения изображения объекта. Кроме того, для ряда задач, несмотря на то, что изменяются свойства объекта, требуется отнести объект к заданному классу, несмотря на произошедшие изменения.

На рис. 1 показана схема получения многозонального изображения, отражающая лишь часть факторов влияющих на численные характеристики получаемого изображения.

В количественном подходе в дистанционном зондировании многоспектральное и гиперспектральное изображение рассматриваются как совокупность выполненных измерений электромагнитной энергии (отраженной объектом электромагнитной энергии), записанной в виде цифрового изображения – матрицы, элементы которой имеют значения измерений в соответствующей зоне спектра. Таким образом, изображения – это совокупность измерений выполненных в одно и то же время и в одних и тех же условиях (высота полета, наклон съемочной системы, геометрия построения, состояния атмосферы и т. д.).

Таким образом, многозональные изображения можно рассматривать как некоторую измерительную систему и соответственно нужно, как для любой измерительной системы разделить полезные и «меняющие» факторы.

Однако для съемки природных объектов весьма сложно построить измерительную систему, то есть учесть разные факторы. Тем не менее, развитие

этого направления имеет определенные успехи: расширяется банк спектральных данных, применяются более полные модели атмосферы, калибровка съемочных систем и т. д.

Для этого создается математическая модель процесса измерения с описанием факторов влияющих на построение изображения и часть факторов, не являющихся полезными для решения задачи, устраняют (например, путем калибровки системы), часть фиксируют, чтобы затем учесть при обработке.

Таким образом, создание измерительной системы полной обработки изображений, основанной только на измерениях, весьма сложно.



Рис. 1. Схема исследования объекта с использованием систем, формирующих многозональные изображения

Другой подход выявить структурные свойства объектов участков местности и т.д., которые определяются комплексными измерениями, и является устойчивыми признаками объектов.

Задача мониторинга территории с точки зрения дешифрирования снимков существенно отличается от собственно задачи дешифрирования, так как основная цель мониторинга выявление изменений состояния объектов, появления новых объектов, причем набор основных объектов или структура участка является, в основном, не измененной. Это позволяет «конструировать» различные схемы дешифрирования, используя структурных алгоритмы, специальные индексы и т.д.

Для этого требуется проведение детальных исследований дешифровочных свойств космических снимков различного типа, выявление устойчивых дешифровочных признаков типовых участков местности по многозональным изображениям, разработка эффективных методик оценки изменений состояния поверхности и объектов, что непосредственно связано с функционированием системы мониторинга.

В настоящей работе рассматриваются некоторые аспекты планирования экспериментальных работ для исследования различных методик автоматизированного дешифрирования.

Планирование экспериментальных работ включает:

- Постановку задачи, то есть описание объектов, которые подлежат изучению их основных характеристик и факторов, характеризующих объекты, которые должны быть оценены в ходе мониторинга;
- Разделение объектов на классы и участки;
- Оценку временной изменчивости объектов (например, сезонной) и оценку возможности исключения фактора сезонных изменений;
- Выбор необходимой разрешающей способности изображения для исследования объекта и отдельных его частей;
- Выбор типовых участков для заданного класса объектов;
- Оценку эффективной спектральной области для изучения объектов и выбор количества спектральных каналов;
- Оценку периода изменений свойств объектов и выбор необходимой периодичности съемки;
- Выбор объектов – эталонов на местности и эталонов на снимках;
- Выбор системы базовых эталонов;
- Исследования структурных свойств типовых участков местности и выделить ключевые объекты участка;
- Разработка определенных методик дешифрирования для каждого типа участков.

Кроме того, требуется разработать критерии оценки эффективности алгоритмов, методик и технологий мониторинга. Причем требуется оценка, как выполнения отдельных этапов процессов, так и комплексная оценка результатов мониторинга с учетом значимости факторов мониторинга.



На рис. 2 представлена общая схема проведения экспериментальных работ.



Рис. 2

Для проведения экспериментов необходимо иметь соответствующий набор исходных данных, который обычно включает:

- Картографические материалы (топографические и тематические карты);
- Результаты полевого дешифрирования снимков;
- Банки спектральных данных об объектах;
- Снимки-эталон (космические и аэроснимки);
- «Архивные» аэрофотоснимки участка в различные периоды времени.

Дешифрирование многозональных изображений выполняется с использованием специализированных программных комплексов, таких как

ERDAS, ENVI и др., которые позволяют выполнять дешифрирования снимков, как в интерактивном, так и в автоматическом режиме.

В этих комплексах имеется набор процедур, реализующих основные алгоритмы распознавания образов по многоспектральным изображениям, как на основе кластерного анализа, так и с использованием обучающих процедур и различных разделяющих функций, базирующихся на статистическом подходе. Таким образом, существующие программные комплексы представляет собой набор «инструментов», из которых нужно сконструировать технологическую цепочку для дешифрирования конкретных объектов.

При разработке методики дешифрирования определенного типа объектов требуется:

- Выбрать дешифровочные признаки, характеризующие объект;
- Выполнить нормализацию изображений (учет атмосферы, условий съемки – время съемки, сезон съемки и т.д.);
- Выбрать методику распознавания;
- Выбрать критерии принадлежности объекта к заданному классу;
- Выбрать средства и варианты визуализации результатов дешифрирования;
- Отработать последовательность выполнения операции дешифрирования;
- Выполнить оценку точности распознавания объектов;
- Создать математическую модель изменения состояния территории или объектов.

При мониторинге объектов задача распознавания объектов видоизменяется, так как слежение за состоянием объекта выполняется постоянно и имеется информация о предыстории исследуемого участка.

На основе анализа методик выполнения мониторинга зарубежных и отечественных авторов, а также на основе собственного опыта в результате работ выполняемых на кафедре определена общая схема для решения задачи мониторинга.

Этап 1. Классификация типов ландшафтов для участка мониторинга различных масштабных уровней.

Этап 2. Выделение структурных признаков каждого типа ландшафта и формирования базы данных структурных признаков.

Этап 3. Исследования возможности применений специальных индексов для выявления определенного класса объектов (конструирование новых признаков).

Этап 4. Нормирование изображений. Исследование различных вариантов нормирования. Выбор базовых объектов для нормирования.

Этап 5. Построение серий разновременных снимков и анализ результатов их классификации; введение условий сезонного состояния объектов.

Этап 6. Исследование полной схемы комплексного многоуровневого анализа. Выделения уровней классификации. Технология «переклассификации» элементов изображений.

Этап 7. Интерактивное уточнение базы образов объектов и улучшения статистических признаков объектов и структурных признаков.

Этап 8. Оценка точности классификации.

Этап 9. Формирование математической модели развития процесса. Прогноз и оценка точности прогноза.

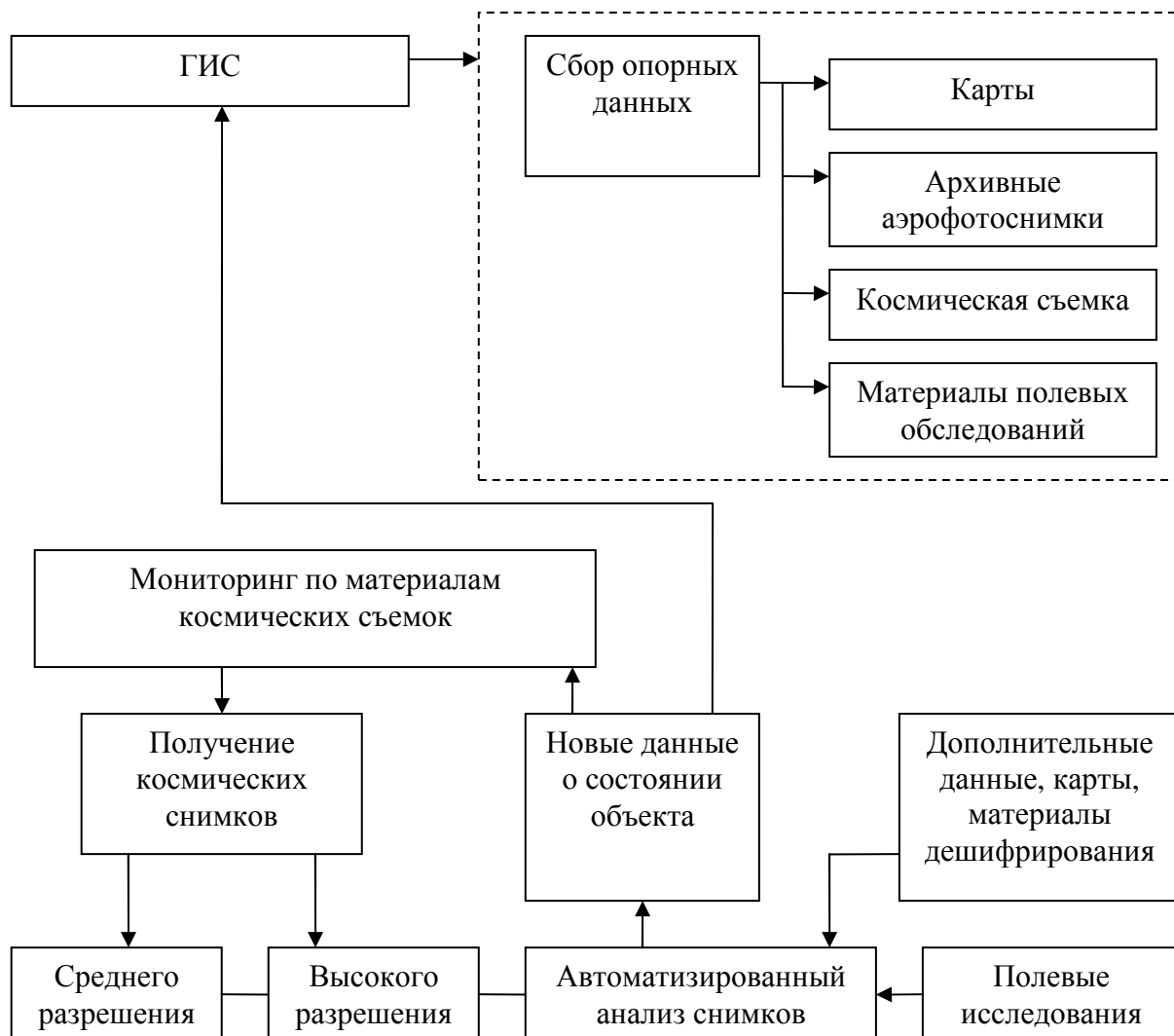


Рис. 3. Технологическая схема мониторинга

В последнее время на кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования было выполнено несколько научных проектов связанных с дешифрированием космических снимков. При этом выполнены исследования структурных свойств местности на основе использования:

- Метода главных компонент и получаемых при этом характеристик как дешифровочных признаков;
- Выбора эффективных базисных векторов для представления изображений, wavelet анализ снимков;
- Исследование методов нормирования изображений и оценки устойчивости признаков различных типовых участков территории;
- Изучение метрических свойств совмещенных изображений различного разрешения.

УДК 528.854

*Е.П. Хлебникова*

СГГА, Новосибирск

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВЫХ УЧАСТКОВ МЕСТНОСТИ НА ПРИМЕРЕ КУРГАНОВ АЛТАЯ

*Ye.P. Khlebnikova*

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

## AUTOMATED DETERMINATION OF STANDARD GROUNDS, THE ALTAI HILLS TAKEN AS AN EXAMPLE

Taking the barrows in the Altai region as an example, the methods have been developed for determination of the standard land units on the territory on the basis of the numerical query. It is shown that to identify the object under consideration, it is necessary to use the following parameters: spectral radiance of the objects, their dimensions (area and perimeter) and geometry (circularity) as distinguishing features.

Основной задачей данной работы было исследование возможностей автоматизированного определения типовых участков местности.

Различные территории обладают отличными наборами характерных форм природных и антропогенных объектов, свойственных именно этому типу ландшафта. Например, для тундровых, лесных или таежных зон они будут значительно отличаться друг от друга [1].

На исследуемой территории также существует определенный набор типовых объектов, однако в данной работе приоритетное внимание было уделено изучению такого интересного в историко-культурном отношении явления, как курганы.

Кургáн (barrow, kurgan) – разновидность погребальных памятников, распространенная в степной зоне Евразии. Характеризуется сооружением земляной насыпи над погребальной камерой.

Целенаправленное исследование курганов на Алтае началось примерно с середины 19 века, но в разные периоды времени интерес к ним то появлялся, то исчезал. В настоящее время эти задачи снова находятся на пике актуальности, связанным с сенсационной находкой в 90-х годах прошлого века так называемой «Скифской принцессы» плато Укок [2].

Выделяются многочисленные типы курганов, характеризующиеся особенностями конструкции погребальной камеры и насыпи.

Надмогильные сооружения можно классифицировать по:

- Размерам;
- Форме;

- Структуре;
- Используемому строительному материалу.

По размерам насыпи курганы представляется возможным разделить на средние и малые. Диаметр средних курганов определяется в пределах от 8 до 13 м (чаще всего их диаметр составляет от 9 до 10 м) при высоте насыпи от 10 см до 1 м. Малые курганы имеют насыпи диаметром от 2,5 до 7 м, высотой от 10 до 50 см.

По форме насыпи делятся на округлые, овально-вытянутые и полукруглые (разорванное кольцо).

По структуре дифференциацию можно провести по количеству каменных слоев (от 1 до 6) и категориям использованных камней (валуны, скальные обломки, галечник, каменные плиты, щебень) [3].

Автоматизация дешифрирования многозональных космических снимков в целях распознавания курганов проблема крайне сложная. До появления съемочных систем высокого разрешения она вообще была не решаема, так как их размеры, как было сказано выше, достаточно малы. Однако современные космические снимки по своему разрешению на местности теоретически позволяют решить поставленную задачу. В работе использовался снимок высокого разрешения – 2,4 м на местности, полученный съемочной системой Quick Bird. На рис. 1 представлен фрагмент снимка, на котором отображена одна из групп курганов.



Рис. 1. Группа курганов

Ранее проведенные эксперименты [1] показали, что использование таких методов автоматизированного дешифрирования, как контролируемая и неконтролируемая классификации, а так же применение метода главных компонент не дают удовлетворительных результатов. Это объясняется тем, что все эти способы в качестве исходных данных используют только сведения о спектральных яркостях объектов и, соответственно, значения яркостей изображений в каждом канале. Однако выше говорилось, что при создании курганов использовались такие материалы, как валуны, скальные обломки и т.д., это

приводит к тому, что спектральные характеристики исследуемых объектов и окружающих объектов территории идентичны. Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо учесть не только яркость изображений, но и специфическую геометрическую форму курганов.

С целью предварительного разделения изображения на отдельные классы сначала была проведена его неконтролируемая классификация, позволяющая разбить всю шкалу исходных яркостей на заданное количество интервалов. После ряда экспериментов количество таких интервалов было задано равным 15.

На рис. 2 представлен результат неконтролируемой классификации всего изображения, а так же его фрагмента, что соответствует запросу по критерию:

$\$ "Original Value" = 9$ .

Анализ полученных результатов показывает, что итог неконтролируемой классификации, как и ожидалось, удовлетворительным признать нельзя.

В процессе распознавания выяснилось, что 3 из 15 классов практически полностью описывают яркостные характеристики курганов. Вместе с этим указанные классы захватывали большую часть других природных объектов, таких как дороги, скальные выходы и некоторые другие.

После перекодировки, клампирования имеющегося растра и расчета площадей образовавшихся полигонов, а так же сопоставления полученных данных с реальными размерами курганов, был сделан запрос

$\$ "Original Value" = 9$  and  $\$ "Area" \geq .035$  and  $\$ "Area" \leq .22$ .

На рис. 3 показано получившееся изображение.

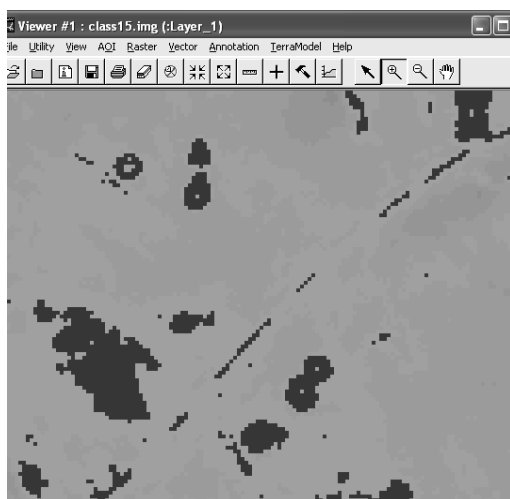


Рис. 2. Результат запроса «Яркость»

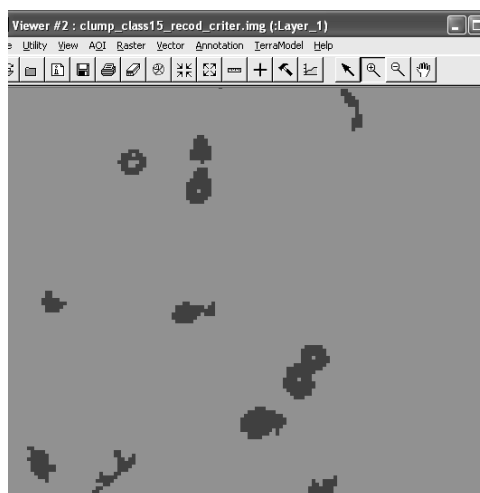


Рис. 3. Результат запроса «Яркость +Площадь»

Анализ полученных результатов показывает, что введение параметра «площадь» значительно повышает достоверность классификации, однако удовлетворительной ее признать на данном этапе все-таки нельзя, так как в класс «Курганы» попадает достаточно большое количество объектов, к курганам не относящихся.

Отличительным геометрическим признаком курганов является их форма, представляющая собой практически правильную окружность. Поэтому следующим этапом работы явилось выявление параметра, позволяющего выделить интересующие объекты по данному признаку. Для этого была рассчитана так называемая «Округлость» (Circularity). Запрос для расчета округлости выглядит следующим образом:

$(4 * \pi * \$ "Area" * 10000) / (\$ "Perimeter, exterior" * \$ "Perimeter, exterior")$ .

Значением этого выражения будет число от 0 до 1. Ноль соответствует линии (предельно узкий полигон), единица - кругу (максимально округлый

полигон). Для автоматизированного дешифрирования курганов экспериментальным путем было выведено значение, равное 0,85.

Таким образом, в процессе исследований в качестве отличительных характеристик курганов были выявлены следующие параметры – спектральная яркость объектов, размеры объектов (площадь и периметр), геометрическая форма объектов (округлость).

В результате запрос по всем выявленным критериям стал таким:

```
"Original Value" == 9 and "Area" >= .035 and "Area" <= .22  
and "Circularity" >= .85.
```

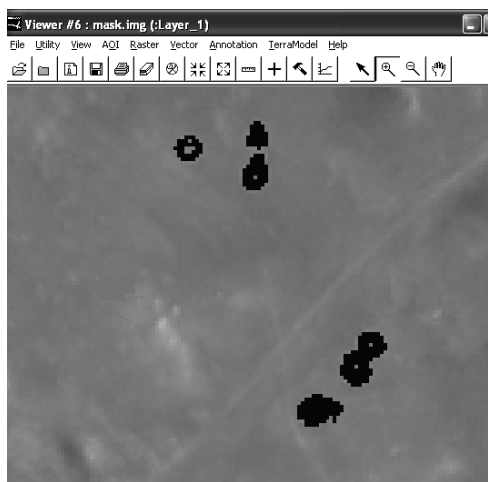


Рис. 4. Маска, созданная по результатам запроса «Яркость + Площадь + Округлость»

После по полученному растру была создана маска (Mask), показывающая все объекты, удовлетворяющие данному запросу (рис. 4).

В результате проведенных исследований была сформирована методика автоматизированного дешифрирования курганов, являющихся типовыми объектами территории Алтая, по многозональным космическим снимкам Quick Bird, основными этапами которой являются:

- Неуправляемая классификация с целью предварительного разделения изображения на отдельные классы;
- Соотнесение полученных классов и объектов исследуемой территории;
- Перекодировка и, возможно, генерализация тематического раstra;
- Проведение процедуры «Клампы», позволяющей задать уникальные значения полученным полигонам;
- Расчет периметра и площадей полигонов;
- Определение геометрической характеристики исследуемых объектов;
- Составление запроса для автоматизированного дешифрирования интересующих объектов по выявленным критериям;
- Анализ и визуализация результатов.

В заключение можно отметить, что данная методика может быть использована и для решения каких либо других задач, но в этом случае выбор критериев должен осуществляться согласно поставленным целям и, соответственно, особенностям исследуемых объектов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хлебникова, Е.П. Повышение эффективности регионального мониторинга по многозональным космическим снимкам / Хлебникова Е.П. // ГЕО-Сибирь-2007. Т. 3. Дист. методы зонд. Земли и фотограмметрия, мониторинг окр. среды, геоэкология: сб. материалов III междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», 25–27 апреля 2007 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 171–174.
2. Кубарев, В.Д. История изучения археологических памятников средней Катунь [Текст] / В.Д. Кубарев // Археологические исследования на Катунь. Новосибирск, 1990. – С. 7–22.
3. Миронов, В.С. Культура населения долины средней Катунь в скифское время [Электронный ресурс] / В.С. Миронов. – Режим доступа: <http://www.zaimka.ru/archaeology/vlad.shtml>.

© Е.П. Хлебникова, 2008



УДК 528.7  
Р.А. Попов  
СГГА, Новосибирск

## ВОЗМОЖНОСТЬ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СФЕРИЧЕСКОГО БАЗИСА

*R.A. Popov*  
SSGA, Novosibirsk

### CAPABILITIES OF IMAGE CLASSIFICATION USING SPHERICAL BASIS

Image classification is an important trend in remote sensing devices development.

A lot of classification methods have been developed lately. The method of classification using the spherical basis allows to classify the images and at the same time to compress them.

The method is based on the spherical classification of image areas.

Сферическая классификация полутоновых площадок

Классификация изображений весьма важное направление в развитии средств дистанционного зондирования.

В настоящее время разработано большое количество методов классификации. Метод классификации изображений с использованием сферического базиса позволяет не только классифицировать, но и одновременно с этим сжимать изображение.

Метод основан [1] на использовании сферической классификации площадок изображения.

Рассмотрим площадку  $R = \{r(i, j)\}_{i, j=1}^{N, N}$ , где  $N = 2t, t \geq 2$ , интенсивности пикселей, которая удовлетворяет условию нормировки, то есть перед обработкой площадку  $R$  необходимо отнормировать.

Разобьём  $R$  на четыре квадранта размерности  $t \times t$ . Пусть  $f_1, f_2, f_3, f_4$  – значения средних интенсивностей пикселей в соответствующих квадрантах, см. рис. 1, то есть:

$$f_i = t^{-2} \cdot \sum_{A_i} r(k, l), i = 1(1)4, \quad (1)$$

$$A_1 = \{k = 1(1)t; l = 1(1)t\},$$

$$A_2 = \{k = 1(1)t; l = t + 1(1)N = 2t\},$$

$$A_3 = \{k = t + 1(1)N = 2t; l = t + 1(1)N = 2t\},$$

$$A_4 = \{k = t + 1(1)N = 2t; l = 1(1)t\}. \quad (2)$$

Из условия центрирования вытекает что:

$$f_1 + f_2 + f_3 + f_4 = 0. \quad (3)$$

Дополнительно отнормируем  $\vec{f}$ :  $\vec{f} = \frac{(f_1, f_2, f_3, f_4)}{\sqrt{f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2}}$ , то есть:

$$f_1^2 + f_2^2 + f_3^2 + f_4^2 = 1. \quad (4)$$

Множество, удовлетворяющее равенствам (3), (4), представляет собой пересечение четырехмерной единичной сферы  $S_4$  с гиперплоскостью, проходящей через начало координат, то есть трехмерную единичную сферу  $S_3$  см. рис. 1.

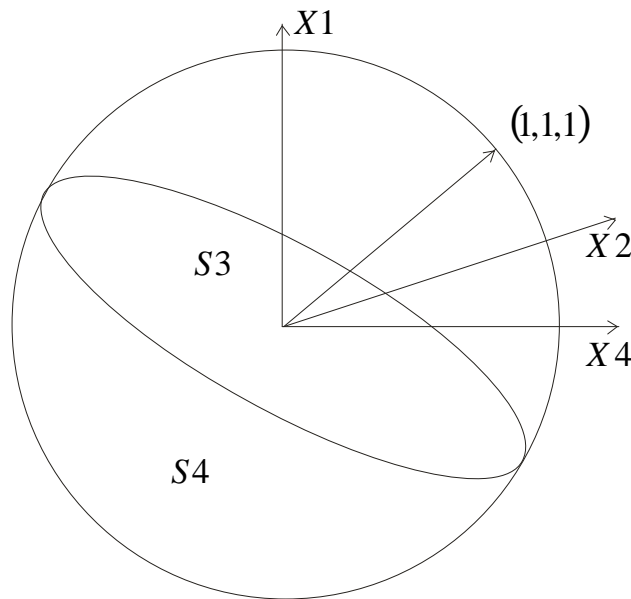


Рис. 1. Множество  $S_3$

Сделаем следующую замену переменной (матрица преобразования – ортогональная):

$$\begin{aligned} \xi_1 &= 0.5 \cdot (f_1 - f_2 + f_3 - f_4), \\ \xi_2 &= 0.5 \cdot (f_1 - f_2 - f_3 + f_4), \\ \xi_3 &= 0.5 \cdot (f_1 + f_2 - f_3 - f_4), \\ \xi_4 &= 0.5 \cdot (f_1 + f_2 + f_3 + f_4) = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Ясно, что величины  $\xi_1, \xi_2, \xi_3$  определяют направляющие косинусы сферы  $S_3$ :  $\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2 = 1$ . Таким образом, мы получили, что каждой площадке, взятой с изображения, соответствует точка на единичной сфере  $S_3$ . Эта точка инвариантна по отношению:

- К операции контрастирования (так как  $f_i$  нормируется);
- К операции подсветки блока (так как вектор  $\vec{f}$  удовлетворяет условию (3));

– К размеру самого блока (лишь бы вектор средних интенсивностей пикселей не менял своего направления);

Теперь введем в рассмотрение следующие геометрические преобразования блока:

– Повороты (четыре) на угол кратный углу  $90^0$ , в результате чего получим одну из перестановок компонент с изменением их знаков в векторе  $\vec{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ :  $\vec{\xi} = (-\xi_1, \xi_3, -\xi_2)$ ,  $\vec{\xi} = (\xi_1, -\xi_2, \xi_3)$ ,  $\vec{\xi} = (-\xi_1, -\xi_3, \xi_2)$ ;

– Зеркальные отражения относительно центральных (четырех) осей симметрии квадратного блока, в результате чего получим одну из перестановок компонент с изменением их знаков в векторе  $\vec{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ :  $\vec{\xi} = (-\xi_1, \xi_2, -\xi_3)$ ,  $\vec{\xi} = (-\xi_1, -\xi_2, \xi_3)$ ,  $\vec{\xi} = (\xi_1, \xi_3, \xi_2)$ ,  $\vec{\xi} = (\xi_1, -\xi_3)$ ,  $\vec{\xi} = (\xi_1, -\xi_3, -\xi_2)$ .

Легко показать, что, применяя одно из этих восьми преобразований, можно получить либо:

$$\xi_1 \geq 0, \xi_2 \geq 0, \xi_3 \geq 0, \xi_2 \geq \xi_3, \quad (6)$$

либо:

$$\xi_1 \leq 0, \xi_2 \leq 0, \xi_3 \leq 0, \xi_2 \leq \xi_3. \quad (7)$$

Под канонической позицией блока будем понимать такое его расположение, которое соответствует ситуации (6). Блок, для которого реализуется (7), легко свести к канонической позиции, заменив в нем все интенсивности яркости на противоположные по знаку.

На данном этапе предположим, что наш  $R$  уже стоит в канонической позиции, в противном случае путем применения одного из восьми преобразований и, возможно, замены знаков у всех компонент интенсивности блока на противоположные, приведем его к таковой.

Учитывая дополнительно, что сферические характеристики  $\xi_1 \in [0, 1], \xi_2 \in [0, 1]$ , теперь легко организовать быструю и эффективную классификацию полутоновых площадок.

Введем равномерную сетку  $0 \leq \xi_1^{(0)} \leq \xi_1^{(1)} \leq \dots \leq \xi_1^{(S)} \leq 1$  по переменной  $\xi_1$ .

Будем говорить, что площадка  $\bar{R}$  принадлежит к классу  $K_i$ , если:

$$\xi_1^{(i-1)} \leq \xi_1 \leq \xi_1^{(i)}. \quad (8)$$

Каждый класс  $K_i$  соответствует “широтной полосе” на сфере  $S_3$ . Аналогично каждый класс  $K_i$  может быть разбит на подклассы  $K_{i,j}$ ,  $j = 1(1)m_i$ .

$$\xi_2^{(j-1)} \leq \xi_2 \leq \xi_2^{(j)}. \quad (9)$$

Для того чтобы обеспечить приблизительно равные площади, появляющихся сферических многоугольников, мы будем регулировать количество сеточных узлов  $m_i$  по “долготе”  $\xi_2$  в каждой широтной полосе. Кроме того, количество сеточных узлов по переменным  $\xi_1, \xi_2$  также будет зависеть от желаемого количества фракталов в базе.

Таблица 1

Коэффициенты	$\varepsilon = 0,001$		$\varepsilon = 0,01$		$\varepsilon = 0,1$	
	№ широт полосы	№ меридиона льной полосы	№ широтной полосы	№ меридиональ ной полосы	№ широтной полосы	№ меридиона льной полосы
0.62 0.73 0.28	282	156	29	16	3	2
0.12 0.81 0.58	715	44	72	5	8	1
0.54 0.71 0.45	356	215	36	22	4	3
0.23 0.92 0.32	660	42	67	4	7	1
0.45 0.77 0.45	476	154	48	16	5	2
0.44 0.65 0.61	414	255	42	26	5	3
0.19 0.96 0.19	686	20	69	2	7	1
0.28 0.75 0.59	598	123	61	12	7	1
0.28 0.84 0.45	616	83	62	9	7	1

В таблице один выведены результаты числового эксперимента с использованием вышеописанного метода. В первой колонке приведены примеры коэффициентов, с помощью которых кодируется площадка изображения. Далее в таблице выведена зависимость числа разбиений сферы на сегменты (количества фракталов в базе) от погрешности внутри сегмента ( $\varepsilon$ ). Из таблицы видно, что коэффициенты кодирующие близкие по значению площадки изображения стремятся попасть в один и тот же фрактал, учитывая это можно говорить о возможной классификации площадок изображения. При увеличении погрешности внутри сегмента происходит уменьшения количества фракталов в базе, а так же объединение меньших классов в более крупные.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ваганова Н.А. Построение и оптимизация фрактальных баз для сжатия изображений [Текст]: Диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Н.А. Ваганова / РАН сибирское отделение институт вычислительной математики и математической геофизики, Новосибирск, 2002.

© Р.А. Попов, 2008

УДК 528.926:004

*Д.В. Лисицкий, М.Н. Колоткин, Е.В. Комиссарова,  
В.А. Ракунов, А.А. Колесников, А.В. Фишер*  
СГГА, Новосибирск

## ЭВОЛЮЦИЯ ИСТОРИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ МЕТОДОВ

*D.V. Lisitsky, M.N. Kolotkin, Ye.V. Komissarova,  
V.A. Rakunov, A.A. Kolesnikov, A.V. Fisher*  
SSGA, Novosibirsk

## EVOLUTION OF HISTORICAL-AND- CARTOGRAPHICAL METHOD FOR INVESTIGATION OF HISTORICAL PROCESSES IN THE CONTEXT OF MULTIMEDIA APPLICATION

Nowadays multimedia is one of the most popular and promising trends of cartography. Historical-and-cartographical investigation of historical processes is one of the trends which acquired a new meaning due to multimedia techniques. It is multimedia that widened the volume of the perceived cartographic information, including the new forms like video, photo, sound, animation and internet resources references as hyperfiles.

Историко-картографический метод исследования исторических процессов хорошо известен в отечественной историографии. В 60-70 годы прошлого столетия историки проявляли повышенный интерес к разработке проблем картографического историковедения и карте как инструменту познания исторических явлений. В традиционной картографии существуют направления использования картографических произведений, применимые к историческому исследованию:

- Изучение местности по карте с выявлением ее свойств и особенностей по принципу от общего к частному;
- Использование картографической информации для определения исторического поиска;
- Объединение картографической и традиционной методик в историческом исследовании;
- Оформление результатов исторических исследований в виде карты, как наиболее компактной и емкой формы записи;
- Создание исторических карт специального назначения (учебных, научных и т.д.).

Однако позднее интерес ученых к картографическому методу в исторических исследованиях значительно снизился. Вызвано это было тем, что разработанная методика во многом исчерпала себя. Карты использовались в основном для нанесения на них тех или иных исторических данных или отдельных результатов исторических исследований.

Для историка главная проблема в работе заключалась в сложности и трудоемкости согласованности показа динамики исторических процессов, например, связь между явлениями и процессами необходимо проанализировать как в течение времени, так и в пределах конкретного временного отрезка. Новая волна интереса историков вызвана появлением компьютерных технологий и методов, в том числе и мультимедийных, которые дополняют геоинформационную и картографическую информацию информацией в других формах (видео, звук, анимация, ссылки к Интернет-ресурсам). Они позволили радикально изменить работу историков с картой.

Следует отметить, что использование мультимедийных методов в сочетании с картографическими революционизируют исторические исследования, позволяют подчеркнуть многомерность и образность исторических процессов, расширить круг исследуемых историком источников в части текста, фотографий, видео, звуковых эффектов среды обитания или речи диктора, анимации и т.п. Важнейшим достоинством мультимедийной картографии является разрешение «вечного» противоречия в картографии между объемом информации и читаемостью картографического изображения. Привлечение мультимедийного картографирования для решения задач исторического исследования позволяет расширить возможности использования исторических карт. Возможность визуализации результатов исторического исследования позволяет обеспечивать публикации высокоинформационных картографических произведений с помощью гиперфайловых ссылок, которые дают возможность историку осуществить важнейший системный принцип – движение от общего к частному, гибкий и оперативный поиск, визуализацию картографической информации с использованием этих ссылок, при активации которых быстро выводить необходимую информацию на экран монитора.

Современной историографией накоплен достаточный материал для того, чтобы можно было выделить некоторые аспекты применения мультимедийного картографирования в историческом исследовании:

- Использование карт для наглядного представления на них данных исторического источника и результатов исследования;
- Карты позволяют не только проиллюстрировать научно-исследовательские полученные выводы, но и, что более важно, точнее и глубже поставить исследовательскую задачу;
- Карты позволяет «раскрыть» невидимую при чтении информацию с помощью гиперфайловых ссылок;
- Новый подход позволяет ставить вопрос о создании не только отдельных карт, но целых исторических картографических произведений, посвященных той или иной исторической проблеме;

– Возникает необходимость нового теоретического осмысления картографического метода в исторических исследованиях.

Таким образом, применение мультимедийного картографирования в историческо-картографическом методе исследования дает возможность подчеркнуть многомерность исторических процессов и значительно расширяет круг исследуемых историком источников, при этом дает возможность в достаточной степени реализовать главную тенденцию современной картографии – предоставление пользователю все больших (но не избыточных!) объемов информации при максимально наглядном её отображении на основе индивидуального поиска и/или выбора информации самим пользователем в рамках картографического произведения или ссылок к Интернет - ресурсам.

Средства мультимедиа позволяют усиливать информационную ценность условных знаков как средства передачи информации и особенности их восприятия пользователями карты, при этом расширяя объем информации об объектах или явлениях с помощью гиперфайловых ссылок на такие источники информации как видеосюжет, звуковое сопровождение и анимация. Например, на исторической карте направление военных походов, миграции населения могут быть показаны движением стрелок разного типа (быстрые, медленные, скачкообразные, эпизодические и периодические). Эффект мигания знака удобно использовать для пунсонов населенных пунктов с указанием дат, где происходили важные исторические события (места сражения, революции, принятие важных постановлений и документов, выступление партийных политиков и т.д.). При подведении курсора к изучаемому месту и указании временного периода, когда происходили события, на экране монитора воспроизводятся видеоклипы, фотографии и исторические справки с озвучиванием диктором и др.

Опираясь на опыт отечественной географо-картографической школы по созданию традиционных картографических произведений и современные достижения в области мультимедиа, в Сибирской государственной геодезической академии на кафедре картографии и геоинформатики в сотрудничестве с кафедрой гуманитарных наук под руководством профессоров, доктора технических наук Лисицкого Д.В. и доктора исторических наук Колоткина М.Н. ведутся научно-исследовательские работы по теме: «Создание серии исторических карт на территорию Новосибирской области с применением мультимедийных методов» для электронного атласа «Люби и знай свой край родной» (рис. 1).





УДК 528.7  
М.М. Лазерко  
СГГА, Новосибирск

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПО РАЗЛИЧНЫМ ДАННЫМ

*M.M. Lazerko*  
SSGA, Novosibirsk

## ANALYSIS OF MODERN TECHNIQUES FOR 3D MODELS DEVELOPMENT FROM DIFFERENT DATA

Current software market offers various products to be used for acquisition and development of 3D models from different data. The approved program products for photogrammetry and remote sensing are considered. Brief review of their opportunities is given.

Быстрое развитие вычислительной техники и программных средств обеспечивает возможность представлять картографическую информацию в трехмерном виде.

Существует множество методов создания трехмерных моделей с помощью современных средств, а также различных данных. Таких как аэро- и космическая, наземная и лазерная съемка. У каждого вида данных имеется свои преимущества относительно друг друга, как по способам получения, так и их обработки.

Трехмерную информацию о местности с успехом получали в прошлом и, вероятнее всего, будут получать и в будущем путем измерения стереоскопической модели, формируемой по паре перекрывающихся аэро- или космических снимков [1]. Стереотопографический метод до настоящего времени является главным технологическим звеном производства и обновления топографических данных.

Стереомодель местности строится по паре перекрывающихся снимков, полученных аэрофотоаппаратами или космическими съемочными системами. В зависимости от того, какие используются снимки, аналоговые или цифровые, выбирают способ построения модели, с помощью аналитических универсальных приборов, либо с помощью цифровых фотограмметрических станций. В настоящее время широкое распространение получил цифровой способ построения моделей. Современный уровень развития программного обеспечения позволяет снизить трудозатраты в значительной степени, автоматизируя многие процессы производства.

На рынке программного обеспечения (ПО) по обработке данных аэро- и космических съемок появились мощные фотограмметрические станции,

которые включают в себя целый ряд модулей, предназначенных для обработки и визуализации данных дистанционного зондирования, обработки и анализа гиперспектральных снимков, исправления геометрических и радиометрических искажений, интерактивного улучшения изображений, пространственной привязки изображения, ортотрансформирования, создания ЦМР, трехмерной визуализации, интерактивного дешифрирования и классификации, анализа снимков в радиодиапазоне, векторизации, поддержки объемных растровых и векторных форматов, калибровки и многого другого. Такими ПО на сегодняшний день являются Erdas Imagine компании Research Systems, Inc. (США) и ENVI (The Environment for Visualizing Images) компании Leica Geosystems GIS & Mapping, LLC [2, 3, 4].

Однако с помощью классического стереофотограмметрического метода в его аналитической или цифровой реализациях не представляется возможным воспроизвести форму сложных инженерных сооружений. Недостатками этого метода являются его трудоемкость и долгий путь от исходной информации до создания трехмерных моделей, а также высокая стоимость работ и оборудования.

Одним из способов создания цифровых моделей стереофотограмметрическим методом стало использование цифровых фотоаппаратов и видеокамер. В штате Калифорния в Сан-Диего, был осуществлен проект RealityFlythrough, который предусматривает использование цифровых и статических видеокамер для создания полноценной динамической 3D-модели пространства в режиме реального времени [5].

Алгоритмы, используемые многими популярными программами, сегодня дают возможность автоматически найти линию соприкосновения при объединении нескольких фотографий в единый панорамный снимок. Подобные технологии применяются и в этом проекте для моментального объединения нескольких видеорядов и дополнительных цифровых фотографий в единую трехмерную модель окружающего пространства. Камеры, поддерживающие GPS, дают серверу информацию о принадлежности изображения к определенной зоне.

Получая мгновенные видео с нескольких точек в городском квартале, специальное ПО создает его трехмерную модель, позволяя, таким образом, пользователю совершить виртуальную прогулку.

Сбор пространственной информации о положении точек местности может выполняться по материалам наземной стереофотограмметрической съемки (НСС). Для НСС применяются фототеодолиты и другие съемочные камеры, в том числе и цифровые [6, 7].

Также существует тахеометрический метод сбора информации для построения ЦММ. Тахеометрическая съемка является весьма трудоемким способом сбора информации, также трудно учесть все особенности снимаемой местности при сложном ландшафте. Но на сегодняшний день она остается практически единственным способом построения топографических карт и планов крупных масштабов загруженных (застроенных) городских территорий.

Воздушная лазерная съемка является одним из наиболее перспективных методов построения трехмерных моделей местности больших по площади территорий за сравнительно небольшой промежуток времени (ALTEXIS).

Полученные различными способами топографо-геодезические данные могут быть использованы для представления ситуационных особенностей в трехмерном виде. Цифровые трехмерные модели местности можно получить с помощью специализированных программных продуктов (ПП), так называемых, систем автоматизированного проектирования (САПР), которые позволяют работать с исходными данными различного формата и назначения для представления геодезической информации в цифровом виде как двумерном, так и в трехмерном. Использование таких систем значительно повышает производительность и качество выполнения проектных работ. Существует определенная классификация САПР по классам: тяжелый, средний и легкий.

Первые САД-системы появились еще на заре вычислительной техники — в 60-х годах [2]. Усиление конкуренции стимулировало совершенствование систем САПР: значительно расширились их функциональные возможности, появились удобные графические интерфейсы, благодаря чему значительно упростилось их использование.

Почти каждый год происходит обновление программных пакетов, совершенствуются существующие возможности и вносятся дополнительные.

В настоящее время практически любую программу трехмерного моделирования можно отнести к САД – программам.

Функциональные возможности различных программных пакетов, используемых для моделирования и визуализации, могут отличаться в значительной степени, так одни программы направлены на качественную, фотореалистичную визуализацию, у других лучше реализованы алгоритмы анимации, у третьих имеются расширенные возможности проектирования и дизайна.

В последнее время появилась тенденция к преобразованию программных пакетов, изначально направленных на решение задач качественной визуализации, создания спецэффектов и анимации в полноценные САПР системы. К основным программным продуктам трехмерного моделирования и визуализации, относятся следующие ПП Maya от Autodesk, ПП Rhinoceros, ПП TrueSpace от Caligari, ПП Lightwave 3D фирмы NewTek, ПП 3DS MAX компании Autodesk [8].

ПО для построения и обработки трехмерной модели местности по данным наземного лазерного сканирования: *Cyclone* фирмы *Cyrax*, *Rapid Form* фирмы *Inus Technology*

Возможности современных программных средств для создания трехмерных моделей по различным данным представлены в табл. 1.

Таблица 1. Возможности современных программных средств для создания трехмерных моделей по различным данным

ПП	Исходные данные	Формат выходных данных
MicroStation	цифровые модели рельефа, космические и аэрофотоснимки	“design file” и имеют расширение .dgn., а т.ж. Форматы DXF и DWG
Цифровая фотограмметрическая система Z_Space версия 2.0	высокого разрешения, трехмерные модели различных объектов (Arc/Info Binary Coverage, ESRI Shapefile, FMEObjects Gateway,	горизонталы и другие векторные объекты - в векторном формате Z_Space и DXF
Панорама	Mapinfo Tab, Microstation DGN, OGD I Vectors, SDTS,	Обработка трехмерных координат (DXF и DWG)
TerrainView (TerrainView-Globe)	UK .NTF, U.S. Census TIGER/Line), данные аэрокосмической съемки (векторные, растровые или матричные карты, предусмотрено построение изображения объектов	Multigen (flt), ViewTec (ivc), Openscenegraph (ivc), Carbon Graphics (geo), CyberCity (flt/ivc), Autodesk (3ds), Discreet 3D (max), VRML 2 (wrl), Design Workshop (dw), Alias/Wavefront (obj), NewTek LightWave 3D (lwo)
ENVI	электронной карты)	DXF и DWG
ERDAS		
PhotoModeler	цифровые фотографии	DXF и DWG
ALTEXIS	данные воздушной лазерно-локационной съемки	DXF и DWG
Cyclone, Rapid Form	данные наземной лазерной съемки	DXF и DWG

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Книжников, Ю.Ф. Особенности стереоскопических измерений на цифровых фотограмметрических приборах [Текст] / Ю.Ф. Книжников // Геодезия и Картография. – 2005. – № 12.
2. Программный комплекс ENVI [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/3430.html>.
3. Компания Leica Geosystems GIS & Mapping объявила о выпуске ERDAS IMAGINE V8.7 Service Pack 2 и Leica Photogrammetry Suite V8.7 Feature Update [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.dataplus.ru/News/2005/March/ERDASsp2.htm>.
4. Программный комплекс ERDAS IMAGINE [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/1489.html>.
5. Кондратенко, Ю. RealityFlythrough – 3D-модели из 2D-данных / Ю. Кондратенко // Компьютерное Обозрение – 1 июля 2005.
6. Буров, М.И. Практикум по фотограмметрии [Текст]: учеб. пособие для вузов / М.И. Буров, Б.В. Красноперцев, А.П. Михайлов. – М.: Недра, 1987. – 302 с., ил.
7. Гук, П.Д. Технология создания карт фототопографическими методами [Текст]: учебное пособие / П.Д. Гук – Новосибирск: НИИГАиК, 1990. – 70 с.
8. Обзор программного обеспечения для трехмерного моделирования и анимации [электронный ресурс]: Режим доступа: [http://www.ci.ru/inform15\\_03/p\\_08.htm](http://www.ci.ru/inform15_03/p_08.htm).

УДК 528.9:528.7

*А.С. Алферова*

СГГА, Новосибирск

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ 3D ЛАНДШАФТНЫХ КАРТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

*A.S. Alfyorova*

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo U1, Novosibirsk, 630108, Russian Federation

## ANALYSIS OF 3D LANDSCAPE MAP-MAKING TECHNIQUES ON THE BASIS OF AERIAL-AND-SATELLITE SURVEYS DATA

The article analyses the techniques of 3D landscape map-making in the context of the terrain measuring models development. Application fields of 3D maps are considered, with high- and medium- resolution satellite images draped over them. Experimental work is under way.

Наиболее наглядный способ представления рельефа на сегодняшний день – 3D модели и 3D карты. Такой способ визуализации позволяет человеку далекому от картографии получить представление о рельефе местности. При создании таких карт существует две тенденции: первая имеет своей целью достижение максимальной наглядности, вторая – получение высоких измерительных свойств. Достижение баланса между этими направлениями является важной задачей [1]. В данной статье речь пойдет о методах формирования 3D ландшафтных карт с использованием космических снимков, которыми драпируются модели. При этом выполняется автоматическое и интерактивное дешифрирование снимков.

Основа любой измерительной 3D ландшафтной карты – цифровая модель рельефа (ЦМР). При создании ЦМР за основу можно брать карты, аэрокосмические снимки, результаты лазерного сканирования.

Наиболее распространенные технологии создания 3D ландшафтных карт основаны на обработке аэрокосмической информации. Суть данных методов заключается в следующем: по снимкам выполняется стерео рисовка контуров, в процессе которой вносится атрибутивная информация необходимая для последующего построения 3D карт, и информация о рельефе. Структура которой может быть представлена в виде регулярной, нерегулярной и частично регулярной сеточной модели. Далее полученную информацию в виде цифровой модели местности (ЦММ) и цифровой модели рельефа объединяют в трехмерную модель. Для лучшей визуализации можно использовать трансформированные аэрокосмические и наземные снимки, которыми драпируются 3D карты. Для моделирования 3D ландшафтов широко

используются космические снимки высокого и среднего разрешения такие как, например, QuickBird, IKONOS, OrbView, Landsat.

Применение таких снимков имеет два основных направления – городское планирование и сельское хозяйство. Снимки полученные, например, со спутника QuickBird имеют в панхроматическом канале разрешение 61 см, а в мультиспектральных – 2,44 м. Такое разрешение позволяет обнаруживать мелкие объекты и различать предметы расположенные близко друг к другу. Это важно при создании планов городов. Также это дает возможность следить за динамикой застройки городов, выявлять неразработанные площадки для точечной застройки. Снимки высокого разрешения могут использоваться страховыми компаниями для определения ущерба после наводнения или другого стихийного бедствия, а во время самой катастрофы могут помогать диспетчеру в координации спасательных операций [2].

Активно используются снимки полученные добавлением деталей панхроматического изображения к мультиспектральному. Это позволяет использовать детальность панхроматического изображения и информативность мультиспектрального.

Среди других методов создания 3D ландшафтных карт отметим лазерное сканирование. В этом случае, сначала создают съемочное обоснование, затем выполняют сканирование и далее полученная информация обрабатывается в САПР. Однако для драпировки моделей и придания им реалистичного вида требуется выполнить наземную цифровую съемку. Методы создания 3D-моделей на основе печатных карт, материалах наземной съемки цифровыми камерами, объединение аэро- и космоснимков с данными лазерного сканирования менее распространены из-за своих недостатков: большая трудоемкость, при использовании наземных снимков охватывается небольшая территория, высокая стоимость работ. Таким образом, если говорить о методе который бы обеспечивал выгодное соотношение цены и качества работы, наиболее оптимальными для создания 3D ландшафтных карт являются технологии, основанные на обработке аэрокосмической информации.

На кафедре фотограмметрии выполняется экспериментальная работа по созданию реалистичных 3D моделей по материалам аэрокосмических съемок. В работе используются снимки, полученные со спутника Landsat-5, Landsat-7 (2004 г.), QuickBird (2006 г.) и аэроснимки (2005 г.) на одну и ту же территорию. По аэро- материалам создается ЦМР, на основе которой строится 3D-модель. Космические многозональные снимки дешифрируются с использованием различных типов алгоритмов. Используются как алгоритмы кластерного анализа, так и алгоритм с «обучением», а так же нейронные сети. При этом основная цель – получить ландшафтную 3D карту с реалистичным отображением поверхности и с нанесенными на неё результатами классификации. Таким образом, получаем 3D ландшафтную карту. Результаты экспериментальных работ будут представлены в докладе на конгрессе «ГЕО-Сибирь-2008».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянт, А.М. Свойства визуализации как способа моделирования геоизображений // Геодезия и картография. – 2005. – № 12. – С. 43–52.
2. Kevin P. Corbley Details, Distinctive and Descriptive: Applications of High-Resolution Imagery // GEO INFO SYSTEMS. – 1997. – May. – Pages 36–40.

© А.С. Алферова, 2008