

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОУ ВПО «СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

ГЕО-СИБИРЬ-2009

Т. 4

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

ч.1

Сборник материалов
V Международного научного конгресса

Новосибирск
СГГА
2009

УДК 502:528.7
С 26

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, профессор,
Проректор по научной работе СГГА, Новосибирск

А.П. Гук

Доктор технических наук, профессор,
Проректор по учебно-методической работе МИИГАИК, Москва

И.Г. Журкин

Доктор физико-математических наук, профессор,
Академик РАН, директор института вычислительной математики и математической
геофизики СО РАН, Новосибирск

Б.Г. Михайленко

С 26 ГЕО-Сибирь-2009. Т. 4. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. Ч.1: сб. матер. V Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2009», 20–24 апреля 2009 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 204 с.

ISBN 978-5-87693-323-2 (т. 4, ч. 1)

ISBN 978-5-87693-320-1

В сборнике опубликованы материалы V Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2009» 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 978-5-87693-323-2 (т. 4, ч. 1)
ISBN 978-5-87693-320-1

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная
геодезическая академия», 2009

СОДЕРЖАНИЕ

Готтфрид Конечный. Экономические аспекты картографирования с использованием фотограмметрии	8
Райзман Ю.Г. АФК Visionmap АЗ – от идеи до реализации	23
Антипов И.Т. Анализ способа уравнивания фототриангуляции без составления системы нормальных уравнений на блок	28
Адмаев О.В., Ковтун С.В. Создание цифровых моделей местности при моделировании выбросов транспортных потоков	39
Чиков К.Н., Шлишевский В.Б. Малогабаритный гиперспектральный датчик	41
Хлебникова Е.П., Крупочкин Е.П. Методы дешифрирования археологических памятников.....	42
Хлебникова Е.П. Применение метода главных компонент для мониторинга городских территорий.....	48
Серебряков С.В., Пестов И.Д., Баженова Ю.Д. Реализация узла региональной инфраструктуры пространственных данных для УрФО в рамках формирования РИПД.....	53
Серебряков С.В., Ткач А.В. Нормативное обеспечение работ по созданию инфраструктуры пространственных данных	59
Новикова И.О. Современные программные комплексы и технологии для обработки данных ДЗЗ и создания тематических геопорталов	65
Макаров А.П., Быков Л.В., Быков В.Л., Быков А.Л. Калибровка снимков на равнинном испытательном полигоне с определением координат центров фотографирования.....	68
Хлебникова Т.А., Кулик Е.Н. Исследование технологии получения измерительной трехмерной видеосцены по материалам аэрокосмических съемок	71
Ковтун С.В. Построение цифровой модели местности для улично-дорожной сети г. Красноярска	76
Кобзева Е.А. Проблемы использования космических снимков при мониторинге территорий.....	78
Ессин А.С., Ессин С.С. Технология фотограмметрической обработки аэрофотоснимков, полученных с БПЛА, в целях создания ортофотопланов.....	83
Гук А.П., Йехиа Хассан Мики Хассан. Сравнительный анализ методов дистанционного зондирования обнаружения изменений	87
Гук А.П., Йехиа Хассан Мики Хассан Многомасштабное вейвлет преобразование изображений для обнаружения изменений целей.....	93
Горбунов Г.Г., Шлишевский В.Б. Статический Фурье-спектрометр как основной элемент построения современного гиперспектрального видеоспектрометра.....	98
Голицын А.В., Шлишевский В.Б. Функциональная оптимизация перспективных ручных и мобильных многоканальных оптико-электронных приборов наблюдения и зондирования.....	100

Беспалов И.А., Быков Л.В. Использование метода ориентирования космических снимков по квазиопорным точкам при создании ортофотопланов для целей земельного кадастра на межселенных территориях.....	104
Алферова А.С. Использование вейвлет-анализа для выявления изменений при мониторинге территорий по космическим снимкам.....	110
Асмус В.В., Кровотынцев В.А., Пяткин В.П. Космический мониторинг ледяного покрова арктики	115
Абибулаева Т.А. Новейшие спутниковые системы дзз высокого пространственного разрешения для мониторинговых задач.....	123
Бучнев А.А., Пяткин В.П. Кластерный анализ данных дистанционного зондирования Земли.....	126
Калантаев П.А., Пяткин В.П. WEB-семантическая обработка данных космического мониторинга	132
Сидорова В.С. Модель текстуры SAR.....	137
Сидорова В.С. Иерархический кластерный алгоритм для данных дистанционного зондирования	142
Рапута В.Ф. Анализ аэрозольных выпадений бенз(а)пирена в окрестностях Новосибирского электродного завода	147
Пяткин В.П., Салов Г.И. Задача обнаружения появления объекта в последовательности зашумленных изображений.....	152
Ким П.А. Математический конструктив мыльной пленки в масштабируемом рельефе	158
Арнаутов Г.П., Калиш Е.Н., Стусь Ю.Ф., Смирнов М.Г., Бунин И.А., Носов Д.А. Измерение вариаций силы тяжести во время солнечных затмений 31 июля 1981 г. И 1 августа 2008 г. По результатам гравиметрических наблюдений в Новосибирской области.....	163
Бабаханов И.Ю., Белинская А.Ю., Бизин М.А., Грехов О.М., Кузнецов В.В., Павлов А.Ф., Хомутов С.Ю. Геофизические возмущения во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 года в Новосибирске (предварительные результаты).....	168
Бородавко П.С. Климатообусловленные изменения термокарстовых ландшафтов в горах Русского Алтая	174
Белинская А.Ю., Хомутов С.Ю. Возмущения ионосферы над Новосибирском, вызванные пусками ракет-носителей с космодрома Байконур.....	179
Шокин Ю.И., Пестунов И.А., Смирнов В.В., Синявский Ю.Н., Скачкова А.П., Дубров И.С. Система сбора, хранения и обработки данных дистанционного зондирования для исследования территорий Западной и Восточной Сибири	185
Лямина В.А., Дольников З.И., Королюк А.Ю., Добрецов Н.Н., Смоленцев Б.А., Глушкова Н.В. Использование методов ГИС и ДЗ для картографирования и мониторинга гетерогенных ландшафтов.....	191
Малахова В.В., Голубева Е.Н. Растворенный метан в водах Арктического бассейна: данные наблюдений и результаты моделирования.....	196

Токарева О.С., Полищук Ю.М. Мониторинг состояния темнохвойных лесов в зоне загрязнения атмосферы на территории нефтедобывающих месторождений	197
Фоменко А.А. Численный прогноз погоды для Сибирского региона	203
Гопп Н.В., Смирнов В.В. Использование вегетационного индекса (NDVI) для оценки запасов надземной фитомассы тундровых сообществ растений	209
Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Мониторинг процессов в ядре Земли по импульсным электромагнитным полям	215
Павлова А.И. Изучение неоднородности почвенного покрова на основе материалов дистанционного зондирования.....	221

CONTENTS

Gottfried Konecny. Economic considerations for photogrammetric mapping	8
John C. Trinder Competency standards - a measure of the quality of a workforce summary	17
Raizman Y. Visionmap a3 digital mapping system: from idea to its realization	23
Antipov I.T. The analysis of an adjustment method without compilation of the normal equations system for a phototriangulation block.....	28
Admaev O.V., Kovtun S.V. Creation of digital models of district at modelling of emissions of transport streams	39
Chikov K.N., Shlishevsky V.B. Compact hyperspectral sensor	41
Khlebnikova Ye. P., Krupochkin Ye.P. Archaeological finds interpretation techniques.....	42
Khlebnikova Ye. P. Use of main components for urban areas monitoring	48
Serebryakov S.V., Pestov I.D., Bazhenova J.D. Implementation of the regional spatial data infrastructure for UrFD within the framework of the RSDI forming	53
Serebryakov S.V., Tkach A.V. Normative provision for development of a spatial data infrastructure.....	59
Novikova I. Modern software solutions and technologies for remote sensing data processing and thematic geoprals creation	65
Makarov A.P., Bykov L.V., Bykov V.L., Bykov A.L. The calibration of images on the flat testing area with coordinates determination of principal points	68
Khlebnikova T.A., Kulik Ye.N. Research of the technology for making measuring 3D videoscene by the aerospace surveys materials.....	71
Kovtun S.V. Construction of f digital model of district for the street-high system of Krasnoyarsk	76
Kobzeva E.A. Problems of satellite imagery application in area monitoring.....	78
Essin A.S., Essin S.S. Technology of fotogrammetrical processing of aerofotoimages, got with UFM, in purpose of the creation ortofotoplans..	83
Guk A.P., Yehia Hassan Miky Hassan. Comparative study of methods of remote sensing image change detection	87
Guk A.P., Yehia Hassan Miky Hassan Multi-scale wavelet transformation of images for change detection purposes	93
Gorbunov G.G., Shlishevsky V.B. Static Fourier-spectrometer as the main element of modern hyperspectral videospectrometer construction	98
Golitsyn A.V., Shlishevsky V.B. Functional optimization of promising manual and mobile multispectral optoelectronic devices for observation and probing	100
Bespalov I.A., Bikov L.V. Using a method of space imaging data orientation with kvazi-support points in creation of orthophotomaps for purposes of land registry on the territories behind town boundaries	104
Alfyorova A.S. Application of wavelet-analysis for detecting transformations in territory monitoring by satellite images	110
Asmus V.V., Krovotyntsev V.A., Pyatkin V.P. Space monitoring of the arctic ice	

surface	115
Abibulaeva T. Application of modern remote sensing systems of high spatial resolution for monitoring tasks	123
Buchnev A.A., Pyatkin V.P. Cluster analysis of the earth remote sensing data	126
Kalantaev P.A., Pyatkin V.P. WEB-semantic data processing of space monitoring	132
Sidorova V.S. Model of texture SAR	137
Sidorova V.S. Hierarchical cluster algorithm for remote sensing data	142
Raputa V.F. Analysis for evaluation of benzo(a)pyrene aerosol pollution in Novosibirsk electrode plant surroundings	147
Pyatkin V.P., Salov G.I. Problem of object appearance detection in the sequence of noisy images	152
Kim P.A. The mathematical abstract of soap films in the scalable model of the relief	158
Arnautov G.P., Kalish E.N., Stus Yu.F., Smirnov M.G., Bunin I.A., Nosov D.A. The measurement of gravity variations during solar eclipses 31 July 1981 and 1 August 2008 on result of the gravimetric observations in Novosibirsk area	163
Babakhanov I.Yu., Belinskaya A.Yu., Bizin M.A., Grekhov O.M., Khomutov S.Yu., Kuznetsov V.V., Pavlov A.F. The geophysical disturbances during total solar eclipse at August 1, 2008 in Novosibirsk (the preliminary results)	168
Borodavko P.S. Climate-related changes in thermokarst terrain in Russian Altay mountains	174
Belinskaya A.Yu., Khomutov S.Yu. The disturbances of the ionosphere above Novosibirsk during launches of the rockets from Baikonur	179
Shokin Yu.I., Pestunov I.A., Smirnov V.V., Sinyavskiy Yu.N., Skachkova A.P., Dubrov I.S. System of remote sensing data collecting, storage and processing for Western and the Eastern Siberia territories research	185
Lyamina V.A., Zolnikov I.D., Korolyuk A.Yu., Dobretsov N.N., Smolentsev B.A., Glushkova N.V. Using of methods of GIS and RS for mapping and monitoring of heterogeneous landscapes	191
Malakhova V.V., Golubeva E.N. The dissolved methane transport in the Arctic water: observed data and result of modelling	196
Tokareva O.S., Polishchuk Yu.M. Monitoring of dark-coniferous forests state in air pollution zone in oil deposits territory	197
Fomenko A.A. Numerical weather prediction for the Siberian region	203
Gopp N.V., Smirnov V.V. Use of the vegetation index (NDVI) for estimation the above-ground biomass in tundra plant communities	209
Malyshkov Y.P., Malyshkov S.Y. Monitoring of processes in Earth core by pulse electromagnetic fields	215
Pavlova A.I. Study to spottiness of topsoil on base remote sensing data	221

УДК 528.7

Gottfried Konecny

Emeritus Professor

Leibniz University Hannover

Institute for Photogrammetry and Geoinformation, Germany

Office/Fax: 0049-511-762-2483

E-mail: konecny@ipi.uni-hannover.de

ECONOMIC CONSIDERATIONS FOR PHOTOGRAMMETRIC MAPPING

Готтфрид Конечный

Ганноверский университет им. Лейбница, Германия

Тел/факс: 0049-511-762-2483

E-mail: konecny@ipi.uni-hannover.de

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОГРАММЕТРИИ

Abstract

Currently classical photogrammetric mapping operations are challenged by new effective technologies, such as GPS, satellite imaging and mobile mapping. It is important to compare the cost of producing photogrammetric products, such as digital orthophotos and line maps with those of alternate technologies for mapping and map updating.

The paper will outline the basic pricing structures for different mapping tools.

This is particularly of relevance for developing countries where the resources for mapping are scarce.

1. Introduction – the phases of photogrammetric mapping technology

In its more than 150 years history photogrammetry went through different phases in practical applications and commercial uses.

From its **first application** by Laussedat in 1851, mapping Paris from rooftops by terrestrial photographs to stereo photogrammetric mapping by Von Orel by the Austrian Military Photogrammetric Unit in the Pre Worldwar I period, photogrammetry was an experimental tool, which could be applied in special situations, where conventional terrestrial survey techniques had difficulties (e.g. in architecture by Meydenbauer, in glacier surveys by Sebastian Finsterwalder or in mountain areas by Deville in Canada or Von Orel in Austria). It was scientific interest, military necessity or governmental activity, not commercial drive, which supported the development.

In the **second phase** after World War I photogrammetry became a competitor to terrestrial ground surveys usually done by plane table or tacheometry for topographic surveys. In Europe photogrammetry always had the handicap that it could not reach

the sometimes irrational accuracy requirements mandated by classical surveyors. In the 1930's when the American Society for Photogrammetry was founded, it became clear, that photogrammetry was the tool to map the vast non-European parts of the globe. This was reinforced by the military efforts in the USA, in the USSR, in Germany and in Japan to map each other's territories of interest. Entrance of this technology to the developing world became possible, when the Netherlands, under former Prime Minister Willem Schermerhorn established the ITC in 1951, and the gained in momentum developing countries obtained access to photogrammetric mapping technology. This was still mainly a governmental activity, but a private mapping industry gained in momentum or was beginning to form.

The **third phase** was marked by the efforts of analytical photogrammetry (Duane Brown and Friedrich Ackermann) who proved, that photogrammetry was capable of producing unprecedented accuracies, compatible to past ground surveys in the 1970's. This went hand in hand with the rapid evolution of computer technology, which permitted partial automation of photogrammetric restitution tasks.

In the **fourth phase**, starting in the 1980's photogrammetrists began to automate Part of the restitution tasks. We know now, that line mapping, which is difficult to automate, is about 5 times more expensive and takes about 5 times longer than the automated process of orthophoto mapping. This has resulted in the tendency for international outsourcing of mapping activities, particularly of those mapping tasks, where a differential difference in labour cost was involved.

This has resulted in the tendency to create or to update base topographic mapping every 5 to 10 years, but to renew the information content of critical areas by orthophotos every 1 to 2 years.

This tendency has even been improved by the newly available high resolution satellite systems after 1999 (e.g. Ikonos, Quickbird and WorldView).

Google Earth has spread the worldwide interest in such images as a geolocation search tool.

The **fifth phase** is about to begin, in which further automation of further automation of feature extraction becomes possible using knowledge based image processing technology.

2. Cost Structure

The present cost structure for different types of photogrammetric operations in phase four is well established. Costs are of course image scale dependent, and the image scale determines the interpretability of features.

The following workflows have been characteristic of the process:

- 1) Aerial photography
- 2) Digital scanning of aerial photos (as digital stereo workstations are now considered state of the art)
- 3) Aerial triangulation to determine position and orientation of the aerial photos
- 4) Digital elevation model generation (digital image matching of overlapping images is now considered state of the art)
- 5) Digital ortho rectification based on aerial triangulation and digital elevation model

6) Radiometric matching of adjacent orthophotos from map file to map file or better within a seamless geodatabase

7) Vector digitization of topographic map features in 2D (on screen from the orthophotos) or in 2.5 to 3D (in stereo workstations).

Accuracy of Aerial Photography Restitution

The parameters representing the accuracy of the restitution can be derived from the relation

$$x = \frac{z}{f} x'$$

$$y = \frac{z}{f} y'$$

$$z = \frac{b \cdot f}{x' - x''}$$

in which x' and y' represent the image coordinates in the first photo, x'' the image coordinate in the second overlapping photo, b the air base, x and y the ground coordinates and z the flying height.

Differentiating these equations with respect to the image coordinates one obtains relations for the assessment of accuracy:

$$\sigma_x = \pm \frac{z}{f} \sigma_{x'}$$

$$\sigma_y = \pm \frac{z}{f} \sigma_{y'}$$

$$\sigma_z = \pm \frac{b \cdot f}{(x' - x'')^2} \sigma_{(x' - x'')} = \pm \frac{z^2}{bf} \sigma_{(x' - x'')}$$

σ being the standard deviations of image coordinates, $\sigma_{x'}$, $\sigma_{y'}$ and $\sigma_{(x' - x'')}$, and σ_x , σ_y , σ_z the resultant accuracies on the ground.

f is the focal length. For a camera of the image size 23 x 23 cm a wide angle camera has an f of 15 cm. A normal angle camera has an f of 30 cm.

The images overlap along the flight line by about 60 % to assure stereo coverage of the terrain. Thus the base

$$b = (23\text{cm} - 0,6 \times 23\text{cm}) \cdot \frac{z}{f}$$

The measurement accuracy $\sigma_{x'}$, $\sigma_{y'}$ or $\sigma_{(x' - x'')}$, is based on operational experiences in restitution from aerial photos.

$\sigma_{x'}$ and $\sigma_{y'}$ is usually assumed as $\pm 5 \mu\text{m}$ for symmetrically signalized points, $\pm 10 \mu\text{m}$ for natural points. $\sigma_{(x' - x'')}$ depends on the stereo measuring capability which is usually assumed as $\pm 7 \mu\text{m}$.

Using the above relations table 1 for different image scales and flying heights can be derived:

Table 1. Accuracy for different types of cameras and image scales

Wide angle camera f = 15 cm, format 23 x 23 cm			
flying height z	image scale f : z	$\sigma_x = \sigma_y$	σ_y
500 m	1:3333	± 3,3 cm	± 3,8 cm
1000 m	1:6666	± 6,6 cm	± 7,6 cm
5000 m	1:33 333	± 33 cm	± 38 cm
10 000 m	1:66 666	± 66 cm	± 76 cm
normal angle camera f = 30 cm, format 23 x 23 cm			
flying height z	image scale f : z	$\sigma_x = \sigma_y$	σ_y
500 m	1:6666	± 1,6 cm	± 3,6 cm
1000 m	1:3333	± 3,3 cm	± 7,1 cm
5000 m	1:16 666	± 16 cm	± 36 cm
10 000 m	1:33 333	± 33 cm	± 71 cm

Resolution of Aerial Images

The ability to map from a certain scale of aerial photography depends upon the sample distance of the digitization of the film. Considering the existing film grain of the photographic imaging and development process a film is optimally scanned at 15 µm pixels.

At a flight height of z the ground sample distance

$$GSD = 15\mu m \cdot \frac{z}{f}$$

This has resulted in the practical recommendations that feature recognition of the relevant features for 1:1000 scale mapping can be done from 1:6000 scale photography. For 1:10 000 scale mapping 1:45 000 photography is usually chosen.

Cost of Aerial Photography Restitution

The cost of restitution is scale dependent. It depends on the model by model stereo restitution, which is nearly proportional to the number of photographs needed to cover a certain area.

The cost for the 7 mentioned characteristic processes according to international experiences, which can locally vary greatly, is about as follows:

- 1) Aerial photography: mobilization 5000 € plus 10 € per image
- 2) Scanning of film 15 € per image
- 3) Aerial triangulation 25 € per image
- 4) Digital elevation model depending on the need to include manually observed break lines 10 to 100 € per image
- 5) Digital orthophoto production 15 € per image
- 6) Radiometric adaptation of orthophotos 10 € per image
- 7) Vector digitization of features. This is the highest cost factor. As steps 1) to 6) are mostly automatic operations the processing of DEM's and orthophotos has a raster homogeneous cost factor over the globe.

In vector digitization there are, however, huge regional price differences depending on the local labour cost and depending on the desired feature content at a certain scale, which depends on the terrain type and the mapping specification. There

is furthermore a difference, whether the features are digitized in 2,5 or 3D in stereo workstations or only in 2D on a simple screen, resulting in different accuracies.

A rural stereo model or image may be digitized in about 10 hours, while a complex urban landscape may require 100 hours in 3D or 20 hours in 2D. The hours required are to be multiplied by the hourly labour rate (with overhead) which in Europe is at 40 €/hour, while the task may be done in China on subcontract at 20 €/hour.

In table 2 a calculation is made, at which costs orthophotos or line maps may be produced for an area of 250 km² using a photoscale of 1:6000 and 1:45 000. In case of wide angle photography the stated accuracies for position and height can be reached at the 67 % confidence level (standard deviation).

Table 2: Cost of orthophotos and line maps from aerial photography; area covered 250 km²

image scale	1:6000	1:45 000
photo dimension	1380 m	10 350 m
air base	552 m	4 140 m
strip width	966 m	7 245 m
neat area covered	0,533 km ²	29,99 km ²
number of photos for area	469	8,34
cost of orthophotos with automatic DEM	44 865 €	5 709 €
cost of orthophotos with semi-automatic DEM	87 075 €	6 460 €
additional cost of line maps (European prices)	rural 375 200 € urban 1 876 000 €	6 672 € 33 360 €
additional cost of line maps (Asian prices)	rural 187 600 € urban 938 000 €	3 336 € 16 680 €

It is obvious that standard orthophotography is by a factor of 6 cheaper than line mapping.

For cadastral purposes standard orthophotos, which have been differentially rectified based on a DEM at ground level will suffice. There is the option of producing “true orthophotos”, in which elevated portions of the images (bridges, building) are separately rectified and posted into the orthophoto. This is an interactive procedure and raises the cost of the true orthophoto by at least a factor of 2.

Standard orthophotos are an excellent means to verify eventual digitized vector maps of parcel boundaries by superimposition.

Digital Aerial Photography

During the past four years digital aerial mapping cameras have come on the market. While photographic images can at best be radiometrically digitized to 8 bit grey levels for each colour, of which maybe 6 can be identified, digital cameras offer digitization capabilities to 12 bit. They are thus radiometrically superior. While there may exist additional calibration difficulties for the digital cameras, these have now been generally overcome for the more expensive type of cameras in the 1 M € cost range.

Even though these cameras are of the normal angle type, the added resolution does not make the geometric result less accurate.

Digital mapping cameras are of two different types:

- Digital frame cameras consisting of area arrays exposed by separate objectives (Intergraph DMC, Vexcel Ultracam D or X, Applanix)
- Scanning systems as they have been originally designed for operation from satellites (Leica ADS 40).

In particular the scanners rely on obtaining the orientation of each imaged pixel in real time. This is why scanners, especially when used from aircraft, must be combined with airborne inflight GPS positioning of the exposure stations and with the camera attitude orientation determined by an inertial monitoring unit IMU. As GPS signals can only be measured at rates of 1 Hz (1 second/measurement) and IMU data at rates of 10 MHz (1/10 second/measurement) there is a dependency on air turbulence during the flight, as the positions and altitudes of the exposures need to be interpolated between the received signals.

Restitution from High Resolution Satellite Images

Since satellites became operational for imaging with the US-NOAA meteorological satellites and the US Landsat program of 1972 the images obtained have been used for various mapping tasks. The usability of these images very much depended on the GSD achieved by a particular satellite system, shown in table 3 for the most significant satellite mapping systems.

Table 3. Satellite Imagery

Program	Country	GSD	year	use
NOAA satellites	USA	1 km		meteorology, global vegetation studies
Landsat MSS	USA	80 m	1972	
Landsat	USA	30 m	1982	
Spot 1-4	France	10 m	1986	land use studies
Spot 5	France	2,5 m	2002	
Alos	Japan	2,5 m	2006	
Ikonos 2	USA	1 m	1999	stereo option
Quickbird 2	USA	0,6 m	2001	
Orbview 3	USA	1 m	2003	
Topsat	UK	0,5 m	2005	
IRS-P5 Cartosat	India	2,9 m	2005	
Formosat 2	Taiwan	2,5 m	2004	
Eros A 1	Israel	2 m	2000	
Eros B	Israel	1,9 m	2006	
Resurs DK 1	Russia	1 m	2006	
World View 1	USA	0,5 m	2007	

What has been said about resolution of aerial images is equally valid for satellite images.

The GSD determines the capability of resolution for mapping and of geometric accuracy: For example, a 0,6 m GSD of the Quickbird satellite can give nearly equivalent mapping results to those from image scale 1:45 000 aerial photography.

In the meantime the geometric restitution accuracy with help of appropriately modelled software can be achieved in planimetry at about 2 GSD.

When it comes to elevations these must be determined from stereo images. But only few satellite systems, such as Ikonos, Spot and Alos permit to take stereo images from the same orbit. The stereo images must be restituted into digital elevation models to permit orthorectification of the satellite images.

There are alternate ways to obtain digital elevation models:

- Existing topographic maps with contours; the digitization of contours permits to generate DEM's in raster form to be utilized in orthorectification;
- Radar interferometry from aircraft (Interra) or from satellites (SRTM) is another possibility to derive a DEM;
- A third possibility is to generate DEM's by laser scanning.

The accuracy of the DEM varies greatly with the method used. Ikonos stereo images (with only a small stereo-base) or Spot and Alos (with a wider stereo-base) are capable of deriving a DEM with 5 m accuracy. This also compares to the digitization of existing topographic maps from 10 or 20 m contours. Airborne radar interferometry has demonstrated country wide 1 m (or 0,5 m priority area) accuracy in Nextmap Britain.

The Shuttle Radar Topographic mission has been able to generate 5 m accurate DEM's for the flat areas of the globe at 90 m grid posting. Only over the USA 30 m posting has been processed.

Airborne Laser Scanning can generally provide the most accurate DEM data. Depending on the height of the flights (500 to 3000 m) DEM accuracies of $\pm 0,15$ to 0,5 m can be obtained.

The cost of the DEM data obtained from digitization of existing maps is usually the lowest (e.g. 2 €/km²).

Nextmap Britain prices were at 4 €/km² when sold to several customers. SRTM data at 30 m posting in the US or at 90 m posting worldwide were essentially free of charge. Laser scanner data are the most expensive and amount to at least 80 €/km². In addition to that come the costs for the satellite images required, which for 1 m to 0,6 m GSD data amount to at least 4000 € per image plus the processing of the orthophotos, as stated per image for aerial photography. Spot 5 and Alos images can be obtained at about 2 € per km². Stereo processing cost has to be added.

This means that the restitution via satellite images is limited in performance and accuracy, and it is not necessarily less costly, if aerial images can be obtained without complications and exaggerated costs.

3. Threats to Photogrammetric Mapping

Airborne or satellite based photogrammetric mapping operations have the disadvantage that they depend on intervals at which aerial or space imaging becomes possible and affordable. The USGS topographic mapping system did not succeed at shorter mapping intervals than 5 to 10 years at the scale 1:24 000. In Germany the topographic ATKIS system at the scale 1:5000 (or 1:10 000) cannot be updated faster than every 5 years.

On the other hand the Ordnance Survey of Great Britain maintains its topographic mapping series 1:1250 or 1:2500 with a 6 month update commitment. This is only possible, because DGPF technology is being used. The terrestrial surveys are conducted on change reports by government departments or citizens.

Germany finds alternate means to cope with changes regarding a limited number of features. The ALKIS system is a Germany wide cadastral mapping system including.

Parcel boundaries and buildings, which is transaction and almost real time based, while other topographic features await updates by photogrammetry.

CORS systems have made it possible to conduct local DGPS surveys to cm accuracy, while photogrammetric survey methods usually restrict themselves to dm accuracy.

4. Current Reorganization of Photogrammetric Production and Photogrammetric Instrument Industry

In making comments to this topic I am aware, that I may be subject to legitimate criticism from the commercial sector, which has other aims than those of a professional photogrammetrist. But as a senior member of the photogrammetric community, who has no other interest than to preserve our photogrammetric heritage,

I may nevertheless describe my observations:

In the described fourth development period of photogrammetric mapping there were recognized national photogrammetric enterprises, who were the pillars of worldwide photogrammetric activity:

e.g. PASCO, Kokusai Kogyo and Asia Air surveys in Japan, Hansa Luftbild in Germany, Maps in the UAE, Kampsax in Denmark, BKS in Northern Ireland and many more in various countries and regions.

Nowadays such companies are in part being bought up by international consortia, e.g. BLOOM Info in Norway or Fugro. These consortia have partners in low labour cost countries, such as China, India, Indonesia and Georgia.

There is no more a professionally based local approach, but a market oriented product approach at the disadvantage of the traditional local and professional photogrammetric industry.

Furthermore, the traditional photogrammetric equipment industry is no more. It formerly concentrated in Germany since the 1920's with Zeiss; in Switzerland since 1925 with Wild and later with Kern; in Italy with Galileo and OMI; in France with Poivilliers; in Britain with Watts; and in the USA with Bausch and Lomb.

Hardware has become less significant, and software dominates. Software documentation does not reveal its real content, as it is produced like a blackbox. The European core software enterprises at Zeiss and Inpho, Wild and Leica, Vexcel have all been sold to US enterprises (Intergraph, Trimble, Leica Geospatial merged with ERDAS in Atlanta, Microsoft). Photogrammetric software enterprises now belong to global decision makers. It appears to be a sign of excellence to create a high tech company in Europe and to offer it globally for sale.

Would we not have a motivation to generate open source software instead for the photogrammetric community?

I still remember the words of a Zeiss managing board member who said:

“photogrammetric hard and software is a business of only 100M\$ per year. We at Zeiss have 60%. This is too small to keep it”. It is strange that the only major European hardware and software producer, where developments take place inhouse, is RACURS in the Russian Federation.

It is even worse. Some enterprises have patented slight modifications or applications of photogrammetric technology and try to protect its use from competition. Often the patents have been issued haphazardly and could be fought in court. But this is a lengthy procedure and the competitors are not strong enough to sustain a yearlong legal struggle, so that they restrict themselves not to fight the patent, but try to prove, that their methodology is different from that, which the patent states.

In Germany a patent has been issued to apply orthophotography for cadastral purposes. In the USA a patent has been granted to apply oblique imagery. In Germany and Japan a patent has been issued to apply stereo sensor technology by aircraft, which has been successfully operated on satellites. The legal profession usually does not understand the technical issues.

5. What to do now?

It is probably true, that the photogrammetric market is too small to make an economic impact. But in 1980 the International Society of Photogrammetry became the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. This gives ISPRS the mandate for global monitoring. We need additional tools such as GNSS for geocoding our data and GIS tools for their use. We need to supplement our data by additional sensors such as laser scanning and radar imaging. Our potential has grown. We must find new structures to carry on, and the comments raised in the paper can perhaps help as a retrospective.

In 2010 we will celebrate 100 years of ISPRS. Our discipline has contributed to phenomenal achievements: the landing on the moon, the exploration of planets, and most of all the monitoring of our own natural and socio-economic earth environment.

In this broad context we will be able to prepare for a continuation of ISPRS beyond 2010.

© *Gottfried Konecny, 2009*

УДК 528.7

Prof. Dr. John C. TRINDER

First Vice President ISPRS

School of Surveying and SIS, The University of NSW, Sydney, Australia

E-mail: j.trinder@unsw.edu.au

COMPETENCY STANDARDS - A MEASURE OF THE QUALITY OF A WORKFORCE SUMMARY

Джон С. Триндер

Первый вице-президент МОФДЗ

Университет штата Новый Южный Уэльс, Австралия

E-mail: j.trinder@unsw.edu.au

ABSTRACT

Competency Standards are increasingly being used by professions and governments to define the qualifications required for professionals to practise in a discipline. They define a range of levels of competency and the capabilities that must be achieved at these levels. These standards are defined independently of the education standards, the assumption being that a combination of education and experience will enable professional to progress through the various levels of competency.

Competency standards provide recognition that a person has demonstrated professional excellence and maintain the high standards of competency of his/her profession. They assist employers to satisfy themselves that a candidate for employment is suitably qualified. As well as gaining the qualification, professionals are usually required to continue to maintain or improve their level of competency by undertaking approved continuing profession development.

Competency is the ability to apply knowledge and skills to produce a required outcome. It is the ability to perform activities within an occupation; to function as expected for employment; and the ability to do a job under a variety of conditions, including the ability to cope with contingencies. Competency cannot be directly observed and hence it has to be inferred from indirect evidence and is performance based. The benefits of competency standards are that they can test the effectiveness of training, improve recruitment, identify training gaps, lead to improved efficiency, productivity, worker safety and employee retention.

The paper will discuss, with reference to experiences in several countries for the fields of surveying/geomatics and spatial information systems experts, the rationale for developing competency standards, the procedures for their development, and their applications in practice, routes to competency and procedures for stepping to higher levels.

1. INTRODUCTION

Competency Standards are used by professions and governments to define the qualifications required for professionals to practise in a profession or discipline. They are usually listed at different levels according to the capabilities of the individual and are defined independently of the education standards, the assumption being that a combination of education and experience will enable professional to progress through the various levels of competency. Competency standards provide recognition that a person has demonstrated professional excellence and continue to maintain the high standards of his/her profession. They assist employers to satisfy themselves that a candidate for employment is suitably qualified. As well as gaining the qualification, professionals are usually required to continue to maintain or improve their level of competency by undertaking approved continuing profession development.

Competency is the ability to apply knowledge and skills to produce a required outcome. It is the ability to perform activities within an occupation; to function as expected for employment; and the ability to do a job under a variety of conditions, including the ability to cope with contingencies. Competency cannot be directly observed and hence it has to be inferred from indirect evidence and hence is performance based. Competency is defined by a set of standards, which define the level of attainment at various levels. The benefits of competency standards are that they can test the effectiveness of training, improve recruitment, identify training gaps, lead to improved efficiency, productivity, worker safety and employee retention.

The paper will give the rationale and processes for development of competency standards and give some examples of these standards, the routes to competency, in several English speaking countries for the fields of surveying/geomatics, photogrammetry and remote sensing, and spatial information systems experts.

2. EDUCATION AND TRAINING

It is well established that universities are responsible for education, which is the development of knowledge. Education has long term aims, by providing essential background knowledge in such topics as the sciences, engineering, fundamentals of adjustments of observations, and computing, and in some cases, the humanities. Universities also provide some level of skills training, but in most cases, these skills will become out-of-date within a relatively short time period. Examples of such skills are instrument use and software operations which must be taught to students to enable them to function in their profession when their education has been completed, but due to the development of technologies, will become obsolete in a short time. Vocational training institutions will devote more time to skills training or skills formation and less time on the provision of background knowledge. Skills development has shorter term aims than education. The proof of the adequacy and effectiveness of education and training systems are the competency of the graduates when they enter the profession. However, since education has long term aims, the proof of the efficiency of education will be whether the graduate can adapt to new technologies over several decades while he/she is employed in the workforce.

3. COMPETENCY

Competency is expected to develop from the three components over an employee's lifetime, comprising education, training and experience. Certifying a certain level of competency is separate from what is described variously in different countries as legal registration of licensure, which is legally enforceable registration of an individual by a regional jurisdiction, aimed at protecting the community against incompetent or fraudulent operations by individuals without adequate qualifications. There are many examples of legal registration of licensure throughout the world. Certification of competency is undertaken by an individual for official recognition by one's colleagues and peers that he/she has demonstrated professional integrity and competence in their field. Employees will bring to their employment, their basic education and skills, but their 'competency' will be based on their education and the experiences that they gain from working within the profession. Competency is developed from on-the-job training, based on an exposure to a range of activities that test the employees' ability to cope with a variety of different situations. Such experience improves an employee's ability to handle new problems and situations. As employees gain experiences, their ability to cope with unusual circumstances improves and therefore they reach a higher level of competency. Developing competency is typically based on a prescribed level of training.

Competency based training is designed to help people achieve the required outcomes, whatever the particular task the individual is requested to undertake. Such training is intended to avoid theoretical training and concentrate on skills formation, so that once the training is completed the graduates have the necessary skills to do the work required of them. The training must therefore be based on a set of competency standards.

4. COMPETENCY STANDARDS

The measurement of competency comprises individual units of competency, which is a broad area of work that can logically stand-alone. They are detailed documents that specify the functions performed by an enterprise or industry at certain levels or 'units', and are written in a special format that can be used to assess/determine outcomes.

4.1 A Unit of Competency

A unit of competency can be described by its function or purpose. The steps that have to be performed to achieve an outcome and the means of demonstrating that it has been performed satisfactorily should be described, as well as the conditions under which the function will be performed. The description will also include knowledge and skills that a person needs to perform the task and the means of assessing whether a person can perform the task.

4.2 Benefits of Competency Standards

Competency standards can test the effectiveness of training, improve recruitment, identify training gaps which should lead to improved efficiency, productivity, worker safety and employee retention. As well they can be used to

develop enterprise practices and procedures, for performance management, and quality management system for licensing purposes. Training packages may replace formal education and training systems in certain circumstances.

5. EXAMPLES OF COMPETENCY STANDARDS

Competency standards have been established in a number of English speaking countries, including United Kingdom, USA, Canada and Australia. The requirements of these standards vary according to the conditions set by the relevant organization within each country. Competency may be compulsory or voluntary, while the continuation of an individual's recognition of competency may require regular attendance at conferences, courses or training programs, referred to as continuing professional development.

5.1 The Royal Institute of Chartered Surveyors

The Royal Institute of Chartered Surveyors in UK has extensive documentation on competency for professional and technician levels of competency, covering many pathways within the general area of geomatics, including remote sensing and photogrammetry, mapping and spatial data capture and presentation. Competencies are defined at three levels of attainment:

Level 1 – knowledge and understanding

Level 2 – application of knowledge and understanding

Level 3 – reasoned advice and depth of technical knowledge.

As well, they are three categories of competencies:

Mandatory competencies – the personal, interpersonal, professional practice and business competencies common to all pathways and compulsory for all candidates.

Core competencies – the primary competencies of the chosen pathway of the professional.

Optional competencies – a set of competencies selected by the candidate from a list defined for the particular pathway.

The documents also describe the knowledge and skills required of each level. For example, in remote sensing and photogrammetry, the following are listed:

Level 1

Demonstrate knowledge and understanding of the principles of remote sensing and photogrammetry (both aerial and terrestrial).

Level 2

Apply your knowledge and be aware of scales, camera and satellite principles and different data capture techniques. Understand and undertake procedures for routine data capture, and analyse and/or adjust/transform data. Use standard industry software.

Level 3

Provide evidence of fit-for-purpose advice on client requirements. Identify and assess client specifications. Use advanced industry software and advise on data transfer and/or format.

Each of these levels is described in further detail. All candidates, on all routes and all pathways, must achieve the defined level of the mandatory competencies. These competencies are a mix of the professional practice, interpersonal, business and management skills that are considered common to, and necessary for, all chartered and technical surveyors. The processes are defined in the documentation. Progression between levels is also define.

Each professional is expected to plan and achieve professional development, comprising a minimum of 48 hours' professional development for each 12 months' structured training.

5.2 USA - The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing

The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) provides certification for three areas, namely Certified Photogrammetrist (ASPRS), Certified Mapping Scientist, Remote Sensing (ASPRS) and Certified Mapping Scientist, GIS/LIS (ASPRS). The certification is based on a number of years experience, credit for some of which can be obtained from formal university courses. As well, the ASPRS requires recertification every 5 years, based on evidence of activities that demonstrate the individual's continued involvement in the industry and has attended conferences, courses etc to maintain his/her level of competence.

5.3 Canada – Canadian Remote Sensing Society

The Canadian Remote Sensing Society has developed a program for certification of Remote Sensing Scientists and Mapping Scientists in photogrammetry or GIS. This certification is similar to the process described previously for ASPRS, including recertification.

5.4 Australia – Spatial Sciences Institute

Competency standards are defined for a large number of occupations throughout Australia and can be searched through the National Training Information Service. As well, in Australia many professions have developed procedures for assessing competence, such as The Institution of Engineers Australia (IEAust) and the Institution of Surveyors (ISA). The recent formation of the Spatial Sciences Institute (SSI) covering the spatial sciences in Australia including remote sensing and photogrammetry, has led to the establishment of a certification process within SSI. There is a requirement for 10 years equivalent work experience', credit for a large part of this requirement can be reduced by prior formal education. To remain certified, a professional must undertake regular continuing professional development, comprising an average of 20 points per annum over a 4 year period. This is equivalent to an average of approximately 6-7 days in professional development activities each year.

6. CONCLUSIONS

In many English speaking countries, professionals in the spatial information industry are encouraged to gain certification to demonstrate their competency in their chosen profession. While this process is not compulsory, organisations believe that it

increasingly important for their members to gain certification and to advance through the levels of competencies. As well, continuing professional development is seen as an essential aspect of ensuring that professionals maintain their currency in their knowledge and skills to undertake tasks in an increasingly complex society. It is certainly advisable for all young professionals to undertake certification and to maintain their competency through continuing professional development throughout their careers.

Bibliography and References

ASPRS Certification, www.ASPRS.org accessed 29 February 2008.

‘Your pathway to qualifying in Geomatics’, www.RICS.org access 29 February 2008.

‘Assessment of Professional Competence RICS Education and Training’, www.RICS.org, accessed 6 February 2008.

‘Australian Engineering Competency Standards’ Institution of Engineers Australia, www.ieaust.org, accessed 29 February 2008.

‘Accreditation and Competencies’, www.isaust.org.au, accessed 6 March 2008.

The National Training Information Service, www.ntis.gov.au, accessed 6 March 2008.

© Джон С. Триндер, 2009

УДК 528.71

Ю.Г. Райзман

Visionmap, Тель-Авив

АФК VISIONMAP A3 – ОТ ИДЕИ ДО РЕАЛИЗАЦИИ

Y. Raizman

Visionmap Ltd,

13 Mozes St., Tel-Aviv 67442, Israel

VISIONMAP A3 DIGITAL MAPPING SYSTEM: FROM IDEA TO ITS REALIZATION

Visionmap A³ is a fully automatic Aerial survey Photogrammetric System intended for various kinds of photogrammetric works – from aerial survey to automatic orthophoto generation. A³, developed by Visionmap Ltd., has passed successfully multiple tests and practical examinations. It is currently fielded by several mapping companies.

The system is comprised of a digital aerial camera, on-board GPS and computer, ground computer and program system. Main differentiating features of the Visionmap A³ are: a total technological workflow – from aerial survey to automatic orthophoto production, greatest aerial survey productivity between other aerial survey systems, high productivity of all calculation processes, vertical and oblique images are acquired in one flight by one camera, ability to high altitude aerial survey with high GSD maintenance, super-large frames (480 Mpix) for stereo compilation, full automation of all processes, ability to execute most calculation processes in an autonomous mode. The paper presents main results of several projects that were executed by Visionmap company and by users of the system during last year.

The results of the projects confirm, that the Visionmap A³ use in photogrammetric production increases its effectiveness:

- Special aerial camera construction and automatic aerial survey methods significantly increase the aerial survey productivity;
- An ability to fly at high altitudes with high resolution decreases limitations on flights in urban area;
- High aerial survey productivity ensures a maximal use of good weather;
- A³ provides vertical and oblique images in one flight by one camera;
- A³ provides an automatic execution of the production process - from measurements to orthophoto production, and provide quasi-panoramic super large frames for stereo compilation;
- Modern algorithms and aerial survey methods enable to decrease significantly or to exclude totally an expensive field works for control points measurements;

- Special aerial camera design and aerial survey methods, and modern processing algorithms ensure a high accuracy of photogrammetric products;
- Fully automatic and high effective data processing significantly increases the productivity of the photogrammetric production.

АФК Visionmap А³ – это полностью автоматизированный аэросъёмочный фотограмметрический комплекс для производства основных видов фотограмметрических работ – от аэросъёмки до автоматического производства ортофотопланов. АФК А³ разработан компанией Visionmap Ltd., успешно прошел многократные тестовые и практические испытания и в настоящее время находится в использовании ряда компаний для производства аэросъёмочных и фотограмметрических работ.

Комплекс состоит из цифровой аэрокамеры, бортовых GPS и компьютера, наземной компьютерной системы и программного обеспечения. Теория и история развития комплекса описаны в [1], конструктивные особенности комплекса описаны в [2], способы и преимущества аэросъёмки – в [3], данные по производительности комплекса по результатам выполнения нескольких производственных проектов приведены в [4].

Основными отличительными свойствами АФК VisionMap А³ являются: полный технологический процесс – от аэросъёмки до автоматического производства ортофотопланов, наибольшая между аэросъёмочными системами производительность аэросъёмки, высокая производительность камерального производства, получение горизонтальных и перспективных снимков в одном полёте одной камерой, возможность выполнения аэросъёмки с больших высот фотографирования при сохранении высокого разрешения на местности, квази-снимки большого формата (480 Мпиксела) для стереорисовки (КСС), полная автоматизация всех процессов, способность выполнения большинства вычислительных процессов в автономном режиме.

В статье представлены основные результаты нескольких проектов выполненных компанией Visionmap в последнее время. Два первых проекта выполнены на территории тестового полигона компании в декабре 2008 года. Аэросъёмка проведена с двух высот – 3 600 и 8 500 м. Площадь полигона 264 кв. км (22*12 км). Для проверки влияния поперечного перекрытия на точность, полёты выполнены вдоль короткой стороны полигона. В районе полигона находятся 27 опорных точек, равномерно покрывающих всю площадь полигона и измеренных с точностью ± 5 см. Район полигона представляет равнинную частично застроенную местность с превышениями от 0 до 70 м.

В феврале 2009 года компания Офек, приобретшая АФК А³, выполнила аэросъёмку на высоте 4 400 м для нескольких проектов общей площадью 11 000 кв. км. Конечная задача всех проектов – создание ортофотопланов. В проектах компании Офек все ортофотопланы создаются без использования опорных точек.

Аэросъёмка выполнена камерой VisionMap А³: вес – 15 кг; размер - 50*50*40 см; бортовой компьютер: вес – 10 кг; размер – 25*40*40 см; Напряжение на борту – 28V номинальное; Стабильность – 22-32V;

Потребляемая мощность – 200W; Аэросъёмочный самолёт – Piper Cheyenne PA-31T.

Для наземной обработки использована стандартная компьютерная система следующей конфигурации: 1 x HP DL380G5 server, 1 x HP MSA 2000 Storage Array, 4 x HP Dual Quad-Core Intel Xeon Server. Для обработки задействовано 7 процессоров из 8-ми каждого сервера. Обработка данных GPS выполнена методом PPP без использования наземных станций GPS.

В следующей таблице приведены основные данные и расчёт производительности аэросъёмки.

Проект	V1	V2	V2	OA	OB	OC	OM
Высота полёта, (м)	3600	8500	8500	4400	4400	4400	4400
Площадь аэросъёмки, (кв. км)	195	247	247	700	900	2100	3100
Разрешение на местности, (см)	11	26	26	14	14	14	14
Объем всех цифровых снимков, (ГБ)	31	23	13	80	96	235	361
Количество маршрутов	8	7	4	8	6	15	22
Поперечное перекрытие, (%)	57	84	66	70	70	70	70
Скорость самолёта, (км/час)	340	410	410	351	334	335	319
Время полёта брутто, (час)	0,67	0,50	0,28	1,02	0,95	2,68	4.35
Время полёта нетто, (час)	0,27	0,20	0,11	0,72	0,82	2,15	3.28
Производительность аэросъёмки брутто, (кв. км/час)	291	494	882	686	947	783	712
Производительность аэросъёмки нетто, (кв. км/час)	722	1235	2245	972	1097	977	945
Расчётная производительность нетто, (кв. км/час)	701	1228	2552	970	939	944	887

При выполнении проектов проведён хронометраж вычислений. Вычисления включают следующие процессы: GPS обработка, корреляция, уравнивание, построение ортофотоплана, мозаика и радиометрическая коррекция. Все процессы выполняются полностью автоматически без вмешательства оператора. Дополнительно, для проверки производительности и точности системы в зависимости от поперечного перекрытия между маршрутами, для полёта на высоте 8 500 м, снятого семью маршрутами со средним поперечным перекрытием 82 %, проведено построение блока, состоящего из 1, 3, 5, 7 маршрутов с перекрытием 6 % и покрывающих ту же территорию.

Проект	V1	V2	V2	OA	OC
Высота полёта, (м)	3600	8500	8500	4400	4400
Площадь ортофотоплана (кв.км)	195	247	247	700	2100
Разрешение ортофотоплана на местности, (см)	12	30	30	15	15
Количество маршрутов	8	7	4	8	15
Среднее поперечное перекрытие (%)	57	84	66	70	70
Максимально допустимый угол для ортофото	35°	22°	44°	39°	39°
Время отдельной обработки каждого проекта, (час)	9h 15m	7h 55m	4h 01m	31h 15m	133h
Время совместной обработки двух проектов, (час)	11h 31m		-	-	-

Производительность вычислений при раздельной обработке, (кв.км/час)	21.08	31.19	61.75	22.40	15.79
Производительность вычислений при раздельной обработке, (кв.км/сутки)	506	749	1482	538	379
Производительность вычислений при совместной обработке, (кв.км/час)	47.22		-	-	-
Производительность вычислений при совместной обработке, (кв.км/сутки)	1133		-	-	-
Объем цифрового ортофотоплана при экспорте в TIF формат (Гб)	67.52	19.92	19.92		

Оценка точности фотограмметрических построений выполнена по контрольным точкам. Проверено множество вариантов, из них здесь представлены два – оценка точности при построение блоков без опорных точек и при построении с 11 опорными точками. Всего измерено 27 контрольных/опорных точек.

Высота полёта, (м)	3600	8500 (7 маршрутов)	8500 (4 маршрута)
СКО x/y/z на 27 контрольных точках при построении блока без опорных точек, (м)	0.26/0.19/0.63	0.52/0.45/0.58	0.57/0.58/0.83
СКО x/y/z на 16 контрольных точках при построении блока с 11 опорными точками, (м)	0.19/0.11/0.22	0.21/0.35/0.44	0.29/0.30/0.56

Результаты выполнения проектов свидетельствуют, что использование АФК АЗ в фотограмметрическом производстве значительно повышает его эффективность.

- Особенная конструкция аэрокамеры и автоматические методы аэросъёмки значительно повышают производительность аэросъёмочных работ.
- Возможность летать на больших высотах с высоким разрешением и точностью снижают ограничения на аэросъёмку в городской местности.
- Высокая производительность аэросъёмки обеспечивает максимальное использование хорошей погоды.
- АФК А³ обеспечивает получение горизонтальных и перспективных снимков в одном полёте одной камерой.
- АФК А³ обеспечивает автоматическое выполнение всего производственного процесса – от измерений до ортофотоплана, и предоставляет квази-снимки (КСС) большого формата для стереорисовки.
- Современные алгоритмы и методы съёмки позволяют значительно сократить или совсем исключить дорогостоящие полевые геодезические работы по привязке аэроснимков.
- Особый дизайн аэрокамеры, специальные методы аэросъёмки и современные методы обработки данных обеспечивают высокую точность фотограмметрических продуктов.

– Полностью автоматические и высокоэффективные процессы обработки данных значительно повышают производительность фотограмметрического производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pechatnikov, M., Shor, E., Raizman, Y., «Visionmap A³ - Super Wide Angle Mapping System. Basic principles and workflow», 21th ISPRS Congress, Beijing, Oral Technical Session SS-8(2), 2008 (English).
2. Печатников, М., Райзман, Ю. «Общее назначение и технические характеристики АФК Visionmap A³», Геопрофи, №3, 2008, Москва.
3. Печатников, М., Райзман, Ю. «Аэросъёмка с АФК Visionmap A³», Геопрофи, № 1, 2009, Москва.
4. Райзман, Ю. «Опыт использования АФК Visionmap A³», сборник материалов конференции GeoForm+ 2009. Издательство Геопрофи, 2009, Москва.

© Ю.Г. Райзман, 2009

УКД 528.4Г

И.Т. Антипов

СГГА, Новосибирск

АНАЛИЗ СПОСОБА УРАВНИВАНИЯ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ БЕЗ СОСТАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ НОРМАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ НА БЛОК

I.T. Antipov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

THE ANALYSIS OF AN ADJUSTMENT METHOD WITHOUT COMPILATION OF THE NORMAL EQUATIONS SYSTEM FOR A PHOTOTRIANGULATION BLOCK

The paper demonstrates a basic difference of mathematical principles chosen for adjustment of phototriangulation in the digital photogrammetric workstation (DPW) Delta from corresponding principles used till recently in DPW Photomod. The alterations brought for a process of phototriangulation in DPW Photomod in 2007 are shortly described. These changes allow of refusing to create the common and bulky system of normal equations for a block and reducing the problem to a number of more simple computing iterations. The version of adjustment with separate determination at first elements of absolute orientation of images, and then – coordinates of terrain points is analyzed. The results of numerical experiment characterizing an iterative way of separate adjustment are described, conclusions are formulated.

Пространственная аналитическая фототриангуляция, зародившаяся с появлением электронных вычислительных машин, сравнительно быстро прошла путь развития от упрощенных вариантов к сложным, полноценным решениям, базирующимся на математически строгих принципах уравнивания исходных данных. Оглядываясь назад, можно проследить два главных направления, по которым велась разработка программ фототриангуляции. За этими направлениями закрепились определения «уравнивание связок проектирующих лучей» и «уравнивание моделей».

В первом случае конечный этап построения фототриангуляционного блока предусматривает составление параметрических уравнений поправок для условий коллинеарности всех точек снимков, переход от них к системе нормальных уравнений, решение такой системы и подсчет поправок к неизвестным. Последними являются элементы внешнего ориентирования снимков и координаты точек местности. В группу неизвестных могут входить также параметры, характеризующие деформацию снимков и систематические искажения элементов ориентирования, независимо определенных в полете

техническими средствами, установленными на носителе съемочной камеры. В зависимости от размеров блока количество неизвестных может выражаться многими сотнями и тысячами, система нормальных уравнений оказывается громоздкой, что выдвигает повышенные требования и к компьютеру, и к используемой программе. Конечно, сегодняшние компьютеры с лихвой покрывают эти требования, но 50–40 лет назад ситуация на компьютерном рынке была иной.

Во втором случае с целью сокращения числа неизвестных вначале создаются модели на отдельные части сети, которые затем внешне ориентируются по опорным данным с учетом имеющихся связей между моделями. Размеры моделей и порядок их совместного уравнивания в разных программах существенно различаются. Но в этой группе особо можно выделить способы, в которых каждая первичная, элементарная модель образуется по стереопаре снимков маршрута, а искомыми неизвестными являются элементы внешнего ориентирования элементарных моделей. Как и в первом случае, состав неизвестных может расширяться за счет параметров систематических искажений моделей и бортовых данных. Но суммарное число неизвестных всегда в разы меньше, чем при уравнивании связок проектирующих лучей. Первоначально предполагалось, что сами модели воссоздаются на первоклассных аналоговых стереофотограмметрических приборах, но затем этот способ был перенесен и на независимые модели, построенные аналитически в результате взаимного ориентирования стереопар.

В иностранной фотограмметрической литературе теоретическое обоснование способа уравнивания связок проектирующих лучей обычно ассоциируется с именем Н. Schmid, а варианта с уравниванием независимых моделей – с именем G. Schut. В отечественной литературе первые основные публикации по аналитической фототриангуляции принадлежат проф. А.Н. Лобанову.

Для производственных нужд предприятий и организаций государственной топографо-геодезической службы нашей страны вариант уравнивания фототриангуляции по условиям коллинеарности был сначала реализован автором в «Комплексе программ для технологической обработки фотограмметрических измерений на ЕС ЭВМ», а затем – в различных модификациях комплекса Photocom для персональных компьютеров. Вариант уравнивания независимых моделей, созданных на стереопары, был реализован в ЦНИИГиК под руководством В.А. Поляковой в программе Ц-Блок для вычислительных машин второго поколения.

В настоящее время основными средствами для камеральной обработки изображений являются цифровые фотограмметрические станции (ЦФС). Они позволяют осуществлять всю последовательность технологических операций, связанных с получением, интерпретацией и представлением геопространственных данных о местности.

Из отечественных станций наиболее известны два типа полнофункциональных ЦФС. Первый тип – это станция Delta, созданная совместными усилиями ЦНИИГАиК и ГНПП «Геосистема» (Украина). Второй

тип – станция Photomod, являющаяся продуктом коммерческой компании «Ракурс». Обе станции нашли всеобщее признание и успешно применяются как в России, так и в зарубежье (ближнем и дальнем).

Хотя эти станции имеют одинаковую общую направленность технологических процессов, отдельные операции выполняются на каждой станции по-своему. Такое своеобразие характерно и для фототриангуляции.

При разработке ЦФС Delta (ЦНИИГАиК) сразу же была поставлена цель подготовки программного компонента для уравнивания связок проектирующих лучей, т.е. по методу, полностью отвечающему основным положениям метода наименьших квадратов. Для ЦФС Photomod первоначально был выбран вариант уравнивания независимых моделей.

Как отмечено выше, при работе со связками проектирующих лучей уравнения поправок составляются для условий коллинеарности, свободными членами которых служат разности координат точек снимков, непосредственно измеренных и вычисленных по приближенным значениям неизвестных. Таким образом, в процессе уравнивания здесь минимизируется сумма $[pvv]$, где v – вероятнейшие поправки к измеренным величинам, а p – веса некоррелированных измерений.

При работе с независимыми моделями свободные члены уравнений поправок выражают разности координат общих точек соседних моделей. Но сами координаты этих точек предварительно должны быть подсчитаны из прямых фотограмметрических засечек через приближенные элементы внешнего ориентирования снимков и измеренные координаты точек их. Таким образом, здесь уравниванию подлежат не сами измеренные величины, а функции их.

В принципе, метод наименьших квадратов допускает возможность уравнивания функций, но только при условии учета зависимости между вероятнейшими поправками функций V и измеренных величин v . Уравнения поправок в этом случае должны иметь вид

$$aX + l = Tv, \quad (1)$$

где T – матрица связей, причем

$$V = Tv. \quad (2)$$

В фотограмметрической литературе нет формул, раскрывающих значения коэффициентов матрицы T для рассматриваемой задачи. Во всех известных решениях, в том числе в ЦФС Photomod, связью (2) пренебрегают, и вычислительная обработка ведется на основе уравнений

$$aX + l = V, \quad (3)$$

в результате чего минимизируется сумма $[PVV]$.

Очевидно, что условия $[pvv] = \min$ и $[PVV] = \min$ приводят к разным результатам. Различия между ними зависят от конкретных характеристик блока, его геометрии и точности исходных данных. Хотя, как правило, эти различия малы, все же метод уравнивания фототриангуляции, изначально принятый в ЦФС Photomod, оставлял возможности для критических высказываний.

Сознавая имеющий место формальный отход от требований метода наименьших квадратов, компания «Ракурс» в конце 2007 года выпустила версию

4.3 системы Photomod [1]. Среди других изменений и дополнений, в этой версии осуществлен переход от уравнивания независимых моделей к уравниванию связок проектирующих лучей. К сожалению, доступные сведения о таком переходе скупы, информация о новом алгоритме не опубликована. Известно только, что в нем не предусмотрены какие-либо операции с единой системой нормальных уравнений на блок. Вместо этого используется решение градиентного типа. На каждой итерации происходит смещение по всем неизвестным. Направление и величина шага определяются по некоторой совокупности оценок.

Естественно, для первой итерации нужны начальные значения всех неизвестных. Сейчас не ясно, как они находятся в новой программе компании «Ракурс». Но для этой цели достаточно воспользоваться упрощенным решением. Логично предположить, что уравниванию связок предшествуют вычисления по методу независимых моделей посредством прежней программы.

По этим сведениям нельзя представить достоверную картину всех осуществленных изменений. Но абсолютно точно, что имел место отказ от составления и решения нормальных уравнений на блок.

В принципе, такой отказ не нов. Так, в 1970 году, исходя из ограниченных возможностей ЭВМ среднего быстродействия с малым объемом памяти, Ф.Ф. Лысенко и В.М. Макеев предложили способ построения фототриангуляционной сети путем раздельного уравнивания элементов внешнего ориентирования и координат точек местности [2]. В этом способе на первом этапе считается, что координаты всех точек местности известны, по ним решаются обратные фотограмметрические засечки и находятся элементы внешнего ориентирования для каждого снимка. На втором этапе с учетом только что полученных элементов внешнего ориентирования подсчитываются координаты точек местности, причем вычисления для каждой точки ведутся по всем идущим к ней проектирующим лучам. Два названных этапа образуют одну итерацию, за ней следует аналогичная вторая итерация и т. д. до достижения установленного допуска.

Предложенный Ф.Ф. Лысенко и В.М. Макеевым вариант обладал такими неоспоримыми для своего времени достоинствами, как удобство организации счета и программирования, а также небольшие требования к ЭВМ. Однако эти достоинства сводились к нулю существенными недостатками, основные из которых – сложность оценки для прекращения цикла итераций и неоднозначность решения при изменении начальных значений неизвестных. По этим причинам способ не нашел практического применения в реальных производственных программах пространственной аналитической фототриангуляции.

Разумеется, нет никаких оснований отождествлять вариант Ф.Ф. Лысенко и В.М. Макеевым с решением, принятым в системе Photomod. Но можно подчеркнуть два общих момента.

Во-первых, в обоих случаях из-за отсутствия единой системы нормальных уравнений связи между отдельными снимками блока влияют на результаты не

напрямую, а как-то опосредованно. При этом взаимное влияние удаленных участков блока неизбежно оказывается ослабленным.

Во-вторых, в обоих случаях имеет место итеративный процесс. Каждая итерация сопровождается уточнением неизвестных. Правда, в системе Photomod предусмотрено сопоставление векторов поправок, полученных в соседних итерациях. В итоге выявляются тенденции изменения векторов и исправление неизвестных идет с учетом выявленных тенденций. Этот прием сокращает необходимое количество итераций. Но независимо от числа их совершенно ясно, что конечные результаты всех итерации не совпадут с теми, к которым приводит строгое уравнивание по методу наименьших квадратов.

В методе наименьших квадратов минимизация общей суммы $[pvv]$ достигается за счет вытекающего из функции Лагранжа равенства $A^T pL = 0$, где A^T – транспонированная матрица коэффициентов параметрических уравнений поправок, а L – вектор свободных членов этих уравнений. Соблюдение этого равенства как раз и приводит к нормальным уравнениям. Других путей к минимизации $[pvv]$ математика не знает. Но раз нет нормальных уравнений, то нет и возможности обеспечить $[pvv] = \min$.

Надо полагать, что компания «Ракурс» провела тщательную проверку своей новой программы, убедилась в работоспособности ее и близости достигаемых результатов к тому, что дают другие методы и программы уравнивания. Остается надеяться, что рано или поздно в печати появятся соответствующие данные. Тогда можно будет осуществить независимую, полную и объективную проверку нового решения. А сейчас можно поставить лишь общий анализ применительно к итерационному уравниванию без составления системы нормальных уравнений на блок, положив в основу эксперимента вариант Ф.Ф. Лысенко и В.М. Макеева.

Для этой цели в программу фототриангуляции Photocom.exe, являющуюся составной частью программного обеспечения ЦФС Delta (ЦНИИГАиК), включены дополнения, с помощью которых осуществляется заданное число итераций, включающих поочередное решение обратных и прямых засечек с исправлением элементов внешнего ориентирования и координат определяемых точек сети. За начальные значения неизвестных для цикла итераций принимаются результаты строгого уравнивания блока, которые предварительно искажаются случайным образом, если это нужно. Эксперименты выполнены по нескольким макетным блокам, ниже приведены данные для двух из них.

Первый макетный блок, которому ниже присвоено имя А, является полным аналогом реальной сети. Блок включает 17 маршрутов, проложенных вдоль объекта местности, вытянутого с севера на юг. При этом выделяются четыре участка, причем в двух случаях между парами соседних участков имеются углы поворота. Количество снимков в блоке – 267, протяженность отдельных маршрутов – от 4 до 23 стереопар. Ширина отдельных участков – от 2 до 7 маршрутов. Общее число точек местности – 1 291, опознаков – 57. По оси объекта опознаков вполне достаточно, чего нельзя сказать о краях. Суммарное количество всех точек на снимках – 4 789. В среднем на каждом снимке

выбрано 18 точек, расположенных группами по 6 в зонах тройного продольного перекрытия. Связь между маршрутами обеспечивают общие точки, число которых в зонах поперечного перекрытия колеблется от 2 до 50.

Второй макетный блок (Б) подготовлен в компании «Ракурс». Он состоит из 15 маршрутов, протяженных на 64–70 снимков, так что общее количество снимков равно 1 000. Характерной особенностью блока является сравнительно большое количество измеренных точек. В каждой стереопаре смоделировано от 50 до 80 точек, из них в зонах трехкратного перекрытия – в среднем 20. При 40-процентном поперечном перекрытии в каждую общую для смежных маршрутов зону попадает порядка 900 точек местности. Общее число всех местности в блоке достигает почти 30 тысяч, а количество точек на всех снимках блока – чуть больше 107 тысяч. Геодезическое обоснование представлено 40 опознаками. Наконец, высота фотографирования – 2 000 м.

В обоих блоках фокусное расстояние съемочной камеры – порядка 150 мм, а размер стороны кадра – 240 мм.

Для каждого из этих блоков поставлено по 2 эксперимента.

В первом из них погрешности измерений снимков и геодезических координат опознаков приняты нулевыми, поэтому строгое уравнивание обеих сетей завершено с нулевыми остаточными расхождениями по всем показателям. Это подтверждено как внутренними оценками, предусмотренными в программе Photocom.exe, так и сопоставлением уравненных сетей с точными исходными моделями. Затем координаты точек местности подверглись случайным искажениям, среднеквадратические значения которых составили в масштабе фотографирования 0.1 мм в плане, а по высоте – 0.1 мм в параллактическом выражении. Далее сеть подвергалась новому уравниванию посредством итерации, по достижению заданного числа которых определялась истинная достигнутая точность.

Таким образом, первый эксперимент должен был подтвердить принципиальную сходимост ь итерационного процесса при безупречных результатах измерений снимков и правильных опорных данных. Результаты эксперимента для блока-аналога А приведены в табл. 1, а для блока Б – в табл. 2.

В левой колонке каждой таблицы указан номер итерации, для которой приведены сведения в прочих колонках. Максимальные поправки по осям координат характеризуют наибольшие изменения координат точек местности, подсчитанные в данной итерации, включающей решение обратных и прямых засечек. Как правило, максимальные поправки соответствуют опорным точкам.

По сути, они равны остаточным расхождениям фотограмметрических и геодезических координат опорных точек на соответствующей итерации. Для определяемых точек поправки были, по крайней мере, на порядок меньше. В правой части таблиц приведены ошибки точек уравненного блока, которые выявлены из сравнения построенного блока с истинным макетом.

Строки для первой итерации фактически отражают точность начальных значений координат точек местности. Прочие строки свидетельствуют, что и поправки в координаты точек местности, и ошибки координат медленно

сокращаются по мере наращивания итераций. Но даже очень большое число их не позволило достичь результата, полностью эквивалентного строгому уравниванию.

Таблица 1. Данные уравнивания блока А при нулевых ошибках измерений

Номер итерации	Максимальные поправки по осям координат, м			Ошибки точек уравненного блока, м					
				Среднеквадратические			Максимальные		
	$\delta X_{\max}$	$\delta Y_{\max}$	$\delta Z_{\max}$	m_x	m_y	m_z	$ \Delta_{\max}^x $	$ \Delta_{\max}^y $	$ \Delta_{\max}^z $
1	-0.059	-0.726	-1.499	0.123	0.112	0.282	0.456	0.459	1.190
10	0.149	-0.093	-0.266	0.046	0.050	0.163	0.204	0.389	0.721
20	0.081	-0.047	0.226	0.031	0.035	0.153	0.153	0.259	0.507
40	0.087	0.040	0.192	0.022	0.023	0.108	0.112	0.170	0.436
60	0.069	0.035	0.167	0.017	0.018	0.093	0.081	0.137	0.418
80	0.052	0.027	0.147	0.014	0.015	0.083	0.063	0.118	0.416
100	0.055	0.021	0.130	0.012	0.013	0.076	0.068	0.104	0.408
200	0.033	0.011	0.076	0.007	0.009	0.053	0.066	0.064	0.343
400	-0.018	0.006	0.032	0.006	0.007	0.032	0.059	0.056	0.236
600	-0.014	0.003	0.018	0.006	0.006	0.022	0.056	0.052	0.162
800	-0.010	0.002	-0.010	0.005	0.006	0.015	0.053	0.048	0.112
1000	-0.007	0.002	-0.007	0.005	0.005	0.011	0.051	0.046	0.080
1500	-0.003	0.001	-0.003	0.005	0.004	0.007	0.047	0.040	0.048
2000	-0.001	0.001	-0.003	0.004	0.004	0.006	0.042	0.034	0.044
3000	-0.002	0.001	-0.002	0.004	0.003	0.005	0.034	0.026	0.036
4000	-0.002	0.001	-0.002	0.003	0.002	0.004	0.028	0.019	0.030
5000	-0.002	0.001	-0.002	0.002	0.002	0.003	0.022	0.015	0.025
При строгом уравнивании				0	0	0	0	0	0

Таблица 2. Данные уравнивания блока Б при нулевых ошибках измерений

Номер итерации	Максимальные поправки по осям координат, м			Ошибки точек уравненного блока, м					
				Среднеквадратические			Максимальные		
	$\delta X_{\max}$	$\delta Y_{\max}$	$\delta Z_{\max}$	m_x	m_y	m_z	$ \Delta_{\max}^x $	$ \Delta_{\max}^y $	$ \Delta_{\max}^z $
1	2.072	-1.672	-2.765	0.101	0.098	0.203	0.738	0.503	0.991
10	-0.069	-0.136	0.231	0.043	0.041	0.112	0.334	0.306	0.693
20	-0.057	-0.097	0.149	0.034	0.033	0.092	0.318	0.298	0.634
40	-0.039	0.082	-0.116	0.026	0.026	0.075	0.277	0.232	0.546
60	-0.022	0.068	-0.097	0.022	0.023	0.067	0.239	0.207	0.477
80	-0.009	0.056	-0.083	0.020	0.021	0.061	0.206	0.186	0.427
100	0.000	0.046	-0.079	0.018	0.020	0.057	0.178	0.165	0.389
200	0.017	-0.033	-0.053	0.014	0.015	0.045	0.097	0.096	0.283
400	0.009	-0.021	0.033	0.010	0.011	0.036	0.065	0.070	0.204
600	0.006	-0.014	0.026	0.008	0.009	0.031	0.050	0.052	0.170
800	0.004	-0.009	-0.024	0.006	0.008	0.028	0.042	0.048	0.153
1000	-0.018	0.007	-0.024	0.006	0.007	0.026	0.036	0.046	0.140
1500	-0.018	0.008	-0.021	0.004	0.005	0.021	0.027	0.039	0.113
2000	0.012	0.007	-0.019	0.003	0.004	0.018	0.023	0.032	0.091
3000	0.008	0.006	-0.015	0.002	0.002	0.014	0.016	0.021	0.071
4000	0.006	0.004	-0.012	0.001	0.001	0.011	0.010	0.013	0.065
5000	0.004	0.003	-0.009	0.001	0.001	0.010	0.007	0.008	0.061
При строгом уравнивании				0	0	0	0	0	0

Не приводя здесь деталей, отметим, что этот эксперимент несколько раз продублирован не только при ошибках исходных значениях координат точек местности, равных 0.1 мм, но и при другой величине их. При этом выявлена тенденция изменения содержимого табл. 1 и 2 примерно пропорционально вводимым ошибкам.

Результаты второго эксперимента приведены в табл. 3 и 4. Он поставлен применительно к случаю, когда измерения снимков выполнены со случайными ошибками, среднеквадратические значения которых для координат и параллаксов приняты равными 0.007 мм. В геодезические координаты опорных точек вводились случайные ошибки, среднеквадратические значения которых в блоке А составили 0.1 м по каждой оси, а в блоке Б – вдвое больше. За начальные значения координат точек местности для итераций приняты непосредственно данные строгого уравнивания без каких либо изменений.

Таблица 3. Данные уравнивания блока А при наличии ошибок измерений

Номер итерации	Максимальные поправки по осям координат, м			Ошибки точек уравненного блока, м					
				Среднеквадратические			Максимальные		
	$\delta X_{\max}$	$\delta Y_{\max}$	$\delta Z_{\max}$	m_x	m_y	m_z	$ \Delta^x_{\max} $	$ \Delta^y_{\max} $	$ \Delta^z_{\max} $
1	-0.007	-0.004	-0.007	0.098	0.094	0.087	0.834	0.646	0.530
10	-0.001	0.004	-0.004	0.097	0.092	0.086	0.845	0.644	0.504
20	-0.002	0.002	-0.003	0.097	0.092	0.086	0.847	0.642	0.477
40	-0.001	0.001	-0.002	0.097	0.092	0.087	0.847	0.641	0.427
60	-0.001	0.001	-0.002	0.097	0.092	0.089	0.846	0.639	0.411
80	0	0.001	-0.002	0.098	0.092	0.092	0.844	0.637	0.419
100	0	0	-0.002	0.098	0.092	0.094	0.834	0.635	0.425
200	-0.001	0	-0.001	0.100	0.092	0.107	0.848	0.628	0.461
400	-0.001	0	-0.001	0.102	0.091	0.126	0.871	0.614	0.599
600	-0.001	0	-0.001	0.105	0.090	0.139	0.892	0.605	0.677
800	-0.001	0	-0.001	0.107	0.088	0.147	0.908	0.600	0.720
1000	-0.001	0	-0.001	0.109	0.087	0.154	0.922	0.590	0.744
1500	0	0	0	0.113	0.086	0.170	0.951	0.568	0.791
2000	0	0	0	0.116	0.084	0.186	0.976	0.548	1.015
3000	0	0	0	0.122	0.081	0.220	1.018	0.524	1.383
4000	0	0	0	0.127	0.078	0.252	1.052	0.516	1.689
5000	0	0	0	0.131	0.076	0.284	1.079	0.508	1.926
При строгом уравнивании				0.098	0.093	0.087	0.834	0.646	0.530

Табл. 3 и 4, в отличие от двух первых, содержат в левых колонках максимальные поправки по осям координат только для определяемых точек местности, т. е. без учета опознаков. Поскольку начальные значения координат точек местности взяты из строгого уравнивания, то уже в самом начале цикла итераций максимальные поправки лежат в пределах нескольких миллиметров. В дальнейшем поправки быстро снижаются. Символом нуля в таблицах выражены, не превосходящие 0.5 мм.

Таблица 4. Данные уравнивания блока Б при наличии ошибок измерений

Номер итерации	Максимальные поправки по осям координат, м			Ошибки точек уравненного блока, м					
				Среднеквадратические			Максимальные		
	$\delta X_{\max}$	$\delta Y_{\max}$	$\delta Z_{\max}$	m_x	m_y	m_z	$ \Delta_{\max}^x $	$ \Delta_{\max}^y $	$ \Delta_{\max}^z $
1	-0.225	-0.192	0.283	0.103	0.099	0.147	0.969	0.645	0.921
10	-0.238	-0.214	0.273	0.102	0.099	0.148	0.971	0.631	0.981
20	-0.237	-0.211	0.274	0.103	0.099	0.147	0.970	0.646	0.977
40	-0.236	-0.208	0.273	0.103	0.100	0.147	0.967	0.650	0.968
60	-0.235	-0.205	0.272	0.103	0.101	0.147	0.964	0.654	0.960
80	-0.235	-0.203	0.271	0.104	0.102	0.147	0.962	0.658	0.952
100	0.003	-0.201	0.271	0.104	0.103	0.147	0.960	0.662	0.944
200	0.001	-0.193	0.269	0.107	0.111	0.147	0.949	0.680	0.910
400	-0.002	-0.182	0.265	0.112	0.130	0.148	0.930	0.712	0.856
600	-0.005	-0.174	0.260	0.118	0.146	0.148	0.917	0.735	0.817
800	-0.007	0.172	0.253	0.124	0.166	0.150	0.906	0.765	0.773
1000	-0.008	0.181	0.245	0.129	0.182	0.152	0.897	0.787	0.757
1500	0.012	0.197	0.225	0.140	0.211	0.156	0.882	0.828	0.826
2000	0.016	0.208	-0.210	0.148	0.231	0.160	0.874	0.857	0.884
3000	0.024	0.220	-0.236	0.159	0.255	0.170	0.862	0.960	0.975
4000	0.031	0.225	-0.252	0.166	0.267	0.179	0.853	1.034	1.041
5000	0.036	0.288	-0.261	0.171	0.274	0.187	0.889	1.088	1.089
При строгом уравнивании				0.103	0.099	0.147	0.970	0.645	0.922

Этот эксперимент был призван показать, как протекают итерации при обработке реальных данных, содержащих какие-то ошибки. Была надежда, что итерации не разрушат построенную при строгом уравнивании модель блока, что последняя сохранится. Но содержимое таблиц не однозначно, изменения показателей точности уравнивания по разным осям в правых частях таблиц противоречивы.

Для блока А среднеквадратические и максимальные ошибки по оси ординат слегка сокращаются, причем к наиболее длинному циклу итераций повышение точности достигает примерно 20 %. В то же время для оси абсцисс картина прямо противоположна. По оси аппликат максимальные ошибки сначала уменьшаются, но затем начинается движение в обратную сторону.

Для блока Б среднеквадратические ошибки по всем осям, а также максимальные ошибки по оси Y возрастают. Одновременно наблюдается некоторое снижение максимальных ошибок по оси X. По оси Z максимальные ошибки, как и в блоке А, сначала сокращаются, но примерно после тысячной итерации начинается обратное движение.

Особо подчеркнем, что в обоих блоках не удастся долго удерживать точность по всем осям на уровне, достигнутом при строгом уравнивании. Это можно объяснить тем, что при анализируемом варианте итерационного уравнивания элементы внешнего ориентирования каждого снимка вычисляются, как отмечено выше, без учета связей с соседними снимками. Другими словами, минимизация вероятнейших поправок к измеренным

координатам точек снимков блока по частям совсем не гарантирует, что одновременно достигается минимум и для всего блока.

Выявленные тенденции подтверждаются аналогичными экспериментами, выполненными по макетным сетям иной конфигурации. При этом оказалось, что наиболее существенная потеря точности при уравнивании без составления единой системы нормальных уравнений наблюдается, когда фототриангуляционная сеть состоит из одного маршрута.

Как указано выше, сейчас нет оснований полагать, что вариант уравнивания блока, используемый ныне в ЦФС Photomod, приведет к таким же потерям точности, которые выявлены для способа раздельного решения обратных и прямых засечек. Но все же какие-то сомнения остаются, особенно если учесть многообразие геометрии и других особенностей реальных блоков.

Нельзя обойти молчанием еще один аспект. Задача уравнивания преследует две цели. Первая – определить значения неизвестных, отвечающих требованию $[p_{vv}] = \min$. Вторая – дать объективную оценку полученного решения через вероятнейшие погрешности самих неизвестных или их функций. Но точность выражается через весовые коэффициенты, которые находятся путем обращения матрицы коэффициентов нормальных уравнений. Если составление последних искусственно обходится, то продукт вычислений оказывается неполноценным.

Еще на первом «Всесоюзном совещании по применению ЭВМ в топографо-геодезическом производстве», проходившем в 1971 году в Новосибирске, профессор Проворов К.Л. в своем выступлении подчеркивал, что в уравнительных вычислениях не столь важна абсолютная строгость формулировки задачи, сколь одновременность использования всех измеренных величин. В этой связи решение компании «Ракурс» о переходе к новому способу построения фототриангуляции без составления единой системы нормальных уравнений не совсем понятно. Исключительно высокий авторитет компании и широчайшая область применения ее ЦФС безусловно требуют, чтобы все программные продукты компании всегда соответствовали общепринятым, устоявшимся нормам и правилам. Истории известны попытки упростить решение задачи уравнивания по методу наименьших квадратов, но ни одна из них не получила всеобщего признания. В наше время нет особой необходимости повторять такие попытки. Переходя к новому варианту уравнивания, компания «Ракурс» в какой-то мере руководствовалась соображениями быстродействия и экономии машинной памяти. Однако, едва ли эти проблемы сейчас настолько актуальны для фототриангуляции, чтобы ставить их во главу дела.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <http://www.racurs.ru> (Новости::Архив новостей, 06.11.2007).
2. Лысенко Ф.Ф., Макеев В.М. Построение блочных сетей путем раздельного уравнивания элементов внешнего ориентирования снимков и координат точек местности // Геодезия и картография. – 1970. – № 8.

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

© *И.Т. Антипов, 2009*

УДК 502.55:621.4:625.7

О.В. Адмаев, С.В. Ковтун

Сибирский федеральный университет, ИВМ СО РАН, Красноярск

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЫБРОСОВ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

O.V. Admaev, S.V. Kovtun

Siberian federal university, Krasnoyarsk

Institute of Computational Modeling SB RAS, Krasnoyarsk

CREATION OF DIGITAL MODELS OF DISTRICT AT MODELLING OF EMISSIONS OF TRANSPORT STREAMS

In work perspective estimations of values of motor transportation emissions on an example of the regional centre of Krasnoyarsk are made. Numerical experiments have been made at various combinations of geometrical characteristics of road, a relief and intensity of transport streams on an street-high system of the regional centre.

В работе сделаны перспективные оценки значений автотранспортных выбросов на примере краевого центра г. Красноярска. Выработаны рекомендации по размещению транспортных магистралей в условиях городской застройки, сделаны оценки материальных затрат владельцев транспортных предприятий, дорожно-строительных организаций в рамках существующего законодательства Российской Федерации.

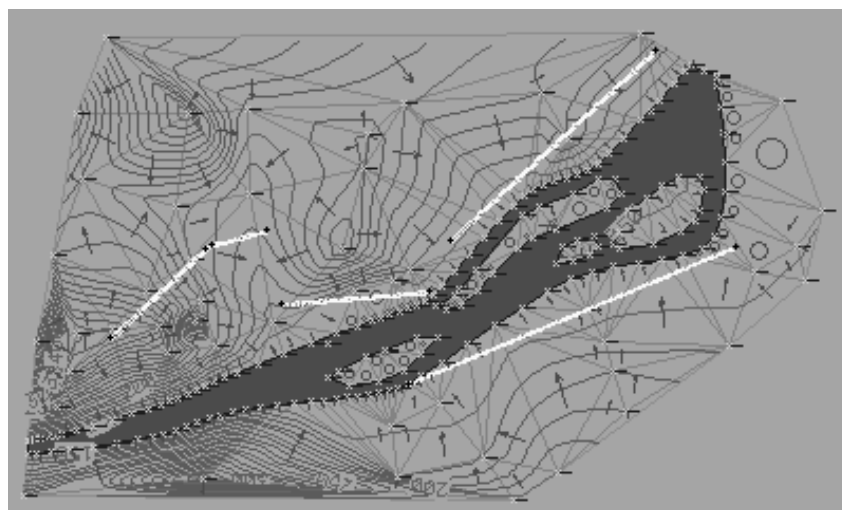


Рис. 1. На цифровой модели местности г. Красноярска показаны основные транспортные магистрали

Были проведены численные эксперименты при различных сочетаниях геометрических характеристик дороги, рельефа и интенсивности транспортных потоков на улично-дорожной сети краевого центра.

© *О.В. Адмаев, С.В. Ковтун, 2009*

УДК 621.383

К.Н. Чиков

СПбГУИТМО, Санкт-Петербург

В.Б. Шлишевский

СГГА, Новосибирск

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЙ ДАТЧИК

K.N. Chikov

St. Petersburg State University of Information Technologies,

Mechanics and Optics

V.B. Shlishevsky

SSGA, Novosibirsk

COMPACT HYPERSPECTRAL SENSOR

In the context of import substitution problem the small-scale hyperspectral sensor is suggested to be developed. It may be of interest for organizations dealing with mineral resources regulation, monitoring of dangerous technogeneous objects, detection of water pollution processes and early stages of growth stress under anthropogenic load, etc.

На основе ранее проведенных исследований [1–3] подготовлено техническое предложение по разработке малогабаритного гиперспектрального датчика видимого и ближнего инфракрасного диапазонов (0,45–1,1 мкм) с отечественными ПЗС-матрицами. Ожидаемые характеристики датчика следующие: поле зрения 21°; относительное отверстие 1:2; размеры абберационного пятна рассеяния не более 18 мкм; линейная дисперсия 11 мм/мкм; спектральное разрешение 1,5 нм; габариты не более 350 × 350 × 150 мм; масса не более 3,5 кг.

Потенциальными потребителями такой аппаратуры могут быть, в первую очередь, различные геологические и экологические организации, а также Минобороны, ТЭК и МЧС России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красавцев В.М., Семенов А.Н., Чиков К.Н., Шлишевский В.Б. Видеоспектрометры – новая перспективная аппаратура для дистанционных исследований // Сборник материалов Международного конгресса «ГЕО–СИБИРЬ–2007». Т. 4, ч. 1. – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 89–94.

2. Красавцев В.М., Семенов А.Н., Чиков К.Н., Шлишевский В.Б. Некоторые особенности расчета и проектирования перспективных видеоспектральных систем для дистанционного зондирования // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21, № 2. – С. 164–169.

© К.Н. Чиков, В.Б. Шлишевский, 2009

УДК 528.7

Е.П. Хлебникова

СГГА, Новосибирск

Е.П. Крупочкин

АлтГУ, Барнаул

МЕТОДЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ

Ye. P. Khlebnikova

SSGA, Novosibirsk

Ye.P. Krupochkin

Altai State University, Barnaul

ARCHAEOLOGICAL FINDS INTERPRETATION TECHNIQUES

Modern remote information techniques and state-of-the art software can be used in a non-traditional way, i.e. for archeological investigation by multizone satellite images. Some archeological objects of the river Yustyt valley are considered here as suitable for the research.

Территориальным объектом данных исследований является Юго-Восточный Алтай – участок долины реки Юстыт. Предметом – методические подходы дешифрирования космических снимков для обеспечения задач археологии – поиска и сплошной фиксации объектов на карте (снимке), изучения индикационных характеристик археологических памятников по состоянию растительности и грунтов, исследования термического эффекта склонов наиболее репрезентативных участков местности, анализ и моделирование особенностей рельефа (на основе ЦМР и ЦММ) и др.

Как отмечает ведущий научный сотрудник головного института археологии нашей страны (ИА РАН) – Д.С. Коробов, в последние годы в нашей стране и, в особенности, за рубежом всё большее распространение получают археологические исследования, проводящиеся с помощью ГИС и методов дистанционного зондирования [1]. К сожалению, в России подобные проекты все еще недостаточно распространены и являются для многих профильных организаций большой редкостью. Тем не менее, аналогичные работы организовано ведутся в ИА РАН, где специально создана лаборатория «Археолого-геоинформационных систем». Во всех остальных случаях аналогичные исследования выполняются индивидуально небольшими коллективами.

Дистанционные методы обычно рассматриваются в неразрывной связи с геоинформационным [2], которые, по мнению авторов, должны стать в XXI в. традиционным методом исследований в руках археологов и специалистов, занимающихся проблемами на стыке археологии, экономической и физической

географии, индикационной географии, геоэкологии, геофизики и др. [3]. В связи с широким внедрением в практическую деятельность современной сканерной съемки, стали возможными массовые исследования любых наземных объектов в разных спектральных диапазонах. Мультиспектральные снимки позволяют осуществлять поиск и идентификацию археологических объектов по их индикационным характеристикам. Дистанционные методы обеспечивают: возможность получения новых картографических данных на исследуемую территорию с разреженной (по сравнению с топографическими картами сопоставимого масштаба) нагрузкой; картографирование с помощью специальных компьютерных методов дешифрирования археологических памятников, которые обычно не показаны на топографических или других специальных картах и планах либо показаны с недостаточной точностью и детальностью; объективизацию на основе математико-картографических моделей (поля плотности древнего населения, карты динамики и «ретроспективного прогноза») реконструкции хода исторических процессов; изучение этапности и форм расселения древнего человека, а также возможность датирования захоронений с помощью астрономо-геодезической информации и фитоиндикационных методов; составление и верификацию цифровых археологических планов и тематических карт; поиск и идентификацию новых, ранее не изученных археологических объектов с помощью алгоритмов автоматизированного дешифрирования; пространственное трехмерное и анимационное моделирование археологических комплексов в их взаимосвязи с природной и антропогенной средой [4].

Однако главным инструментом исследователя является не столько сам космический или аэроснимок, а скорее - правильное использование и совершенствование известных, а также разработка новых методов и технологий компьютерного дешифрирования. Под дешифрированием понимается выделение смысловой части изображения при решении конкретной задачи.

Общая схема дешифрирования подразумевает выделение, узнавание объектов, измерение их характеристик и получение новых знаний. Отмеченные основные стадии дешифрирования могут быть реализованы с помощью разных методов. Так, например, известны – визуальное (традиционное), полевое и камеральное, тематическое, морфометрическое и др. методы. По степени автоматизации можно выделить ручное, полуавтоматизированное, автоматизированное и автоматическое дешифрирование. Из перечисленных видов, по мнению авторов, наиболее перспективными являются технологии компьютерного дешифрирования, сочетающие в себе возможности как традиционных, так и новых технических способов и приемов. Как правило, они включают классификацию изображений, основанную на теории распознавания образов, методах расслоения и т. п.

Исходный материал для дешифрирования представлен мультиспектральным ПЗС-снимком участка долины р. Юстыт, полученным в мае 2004 г. со спутника QuickBird в спектральном диапазоне от 0,48 до 0,83 мкм. Для получения искомых морфометрических характеристик археологических объектов на снимке, выраженных характерной геометрической

формой, размерами и структурными особенностями, были использованы данные полевых наблюдений, результаты теодолитной и GPS-съемки ключевых участков.

Для распознавания археологических объектов (оградки, херексуры, курганы, насыпи и т. п.) на снимке были апробированы методы управляемой и автономной классификации, методики запросов по критерию, применение метода главных компонент, определение индексов растительности NDVI и т. д.

В результате сравнительного анализа результатов дешифрирования можно отметить несколько алгоритмов, позволивших выделить на фоне общей картины характерные локальные участки, показывающие расположение, как отдельных курганов, так и их совокупностей в виде цепочек по преобладающим осям направлений (север-юг, юго-запад-северо-восток).

Относительно неплохой результат был получен с помощью алгоритмов «Гаусса-Лапласа» и «Фильтра различия» (Variance Filter). Так, например, на снимке, обработанном с помощью алгоритма «Variance Filter» (рис. 1) четко видны ряд объектов правильной геометрической формы. Можно предположить, что, скорее всего, это объекты антропогенного происхождения – например, курганы либо херексуры. В ходе сопоставления с эталоном установлено, что объект № 16 представляет собой херексур. Объект имеет внешний пояс, сложенный из крупных валунов, образующих четкий контур. В сравнении с исходным снимком определить на нем значительную часть археологических объектов весьма затруднительно, или практически невозможно в силу плохо выраженных дешифровочных признаков. Другие алгоритмы и методы классификации, удаляющие «шумы» и улучшающие качество изображения, положительных результатов не дали.

Для исследований, имеющих аналогичные задачи (поиск, идентификация и картографирование археологических объектов) целесообразно использовать методику автоматического дешифрирования по многозональным космическим снимкам, основанную на системе запросов (рис. 2) [5]. Согласно предлагаемому подходу, основными этапами дешифрирования являются: автономная классификация для предварительного разделения изображения на отдельные классы; соотнесение полученных классов и объектов исследуемой территории; перекодировка тематического раstra; определение геометрических характеристик исследуемых объектов; составление запроса для автоматизированного дешифрирования интересующих объектов по выявленным критериям; анализ и визуализация результатов. Однако для применения данной методики необходимо усовершенствовать как саму систему запросов, так и более тщательно изучить все физические и геометрические факторы (например, возможность анализа ЦМР и существующих тематических археологических карт), использующихся в дальнейшем, как критерии.

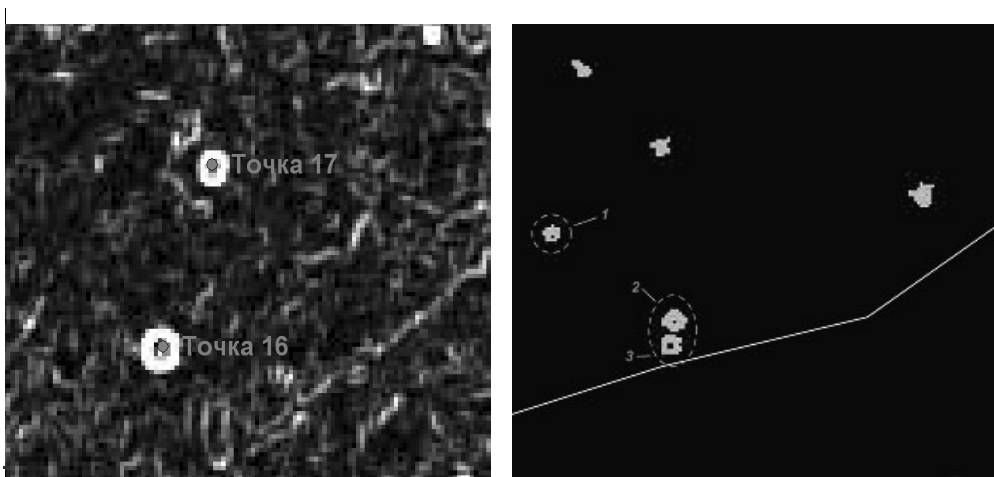


Рис. 1 Рис. 2

На NDVI (рис. 3) и псевдогиперспектральном снимках (рис. 4) без особых затруднений можно распознать херексуры, расположенные на открытых участках местности вдоль полевых дорог. На них определяемы не только размеры насыпей, но и морфометрия (форма объекта, характер расположения относительно других объектов, частично – внешняя структура поверхности). Так, например, на одних объектах видно, что центр херексура имеет значительное превышение, выраженное в рельефе, на других – существенные понижения (западины), что может означать провал внутренней конструкции погребения, либо перенос материала. На объектах 16 и 17 четко видны западины в центрах. На периферии объекта 17 также выделяется внешний пояс, сложенный, предположительно из крупных камней, образующих различаемый контур.

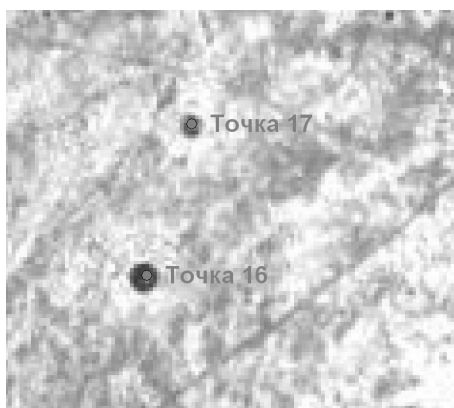


Рис. 3

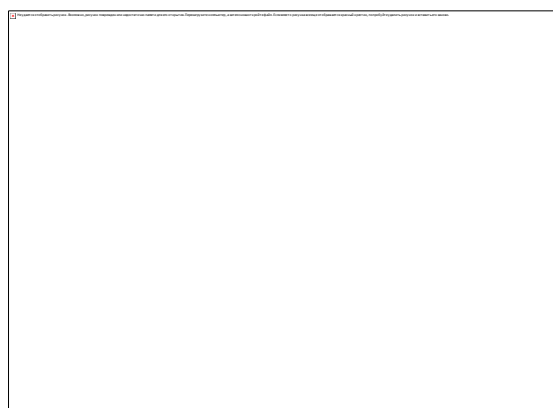


Рис. 4

Основными выводами и результатами исследований можно считать следующее. Применение топопланов и результатов высокоточной GPS-съемки позволяет решать задачу эталонирования, т. е. распознавания объектов на основе ранее установленных свойств, форм и размеров. Дополнительная информация, например полевые наблюдения репрезентативных площадок (включая описания из полевых дневников, фотографии и т. д.), служит для получения содержательных характеристик археологических объектов.

Опробованные методы и технологии визуального и компьютерного дешифрирования помогут в дальнейшем экстраполировать результаты локальных исследований на обширные территории с аналогичным ландшафтом, широтной зональностью и высотной поясностью. Методы автоматизированного дешифрирования при адекватно заданных параметрах могут позволить получить достоверные результаты и значительно сократить объем как полевых, так и камеральных работ.

Таким образом, для развития методики автоматизированного компьютерного дешифрирования археологических памятников, особенно в сложных горных условиях, необходим более широкий инфракрасный диапазон спектра (средний и дальний). Наличие такой важной информации позволит использовать для распознавания объектов на снимках различные индикационные признаки – растительность, температура и т. д. С другой стороны, выбор способа дешифрирования по IR-каналу объясняется отсутствием в настоящий момент времени панхроматических снимков с высоким (не хуже 2,01 м) разрешением, а также отсутствием данных стереосъемки, которые позволили бы значительно усилить поиск и выявить возможности типологизации археологических памятников на основе трехмерного математико-картографического моделирования рельефа.

Разработка алгоритмов классификации снимков для автоматизированного распознавания объектов с характерными морфометрическими свойствами, выраженными правильной геометрической формой, отличающихся компактностью (минимальными искажениями от круга – идеальной фигуры) и др., является одним из ключевых направлений исследований.

Дальнейшее совершенствование методического аппарата предполагает разработку способов автоматизированного дешифрирования, основанных на принципах и подходах управляемой классификации. Для правильного использования инструментария ROI-классификации, планируется проведение экспедиционных исследований, которые позволят собрать по ключевым точкам данные для электронной библиотеки о состоянии земной поверхности (литология, механический состав, геоморфологические характеристики и т. д.), а также подробную информацию о состоянии растительного покрова по ключевым точкам.

Полученные результаты будут использованы для изучения структуры, функционирования и развития систем расселения скифского населения на Алтае. Разработанные методы и алгоритмы позволят исследовать индикаторы, факторы и пространственную структуру расселения древних кочевников, осуществить классификацию и типизацию элементов системы расселения, сделать хронологические оценки изменения как системы расселения в целом, так и отдельных её элементов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 09-06-00301-а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коробов, Д.С. Географо-информационная система «Археологические памятники Кисловодской котловины» [Электронный ресурс] //Коробов Д.С.– Режим доступа. – http://www.archaeology.ru/sci_methods/sc_gis_00.html.
2. Берлянт, А.М. Геоинформационное картографирование. – М.: Изд-во «Астрей», 1997. – 64 с.
3. Крупочкин, Е.П. Некоторые методические вопросы цифрового картографирования археологических памятников //Археология, этнография и антропология Евразии. – 2009 (в печати).
4. Крупочкин, Е.П., Быков, Н.И. Дистанционные методы как инструмент комплексных исследований археологических памятников [Электронный ресурс]: Мат-лы II Международной Центрально-Азиатской конференции «Дистанционное зондирование Земли и геоинформационные системы». – Алматы: «Совзонд» (Россия), «DigitalOrb» (Казахстан), 2008. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – eng.
5. Хлебникова, Е.П. Автоматизированное определение типовых участков местности на примере курганов Алтая / Хлебникова Е.П. // ГЕО-Сибирь-2008. Т. 3. Ч. 1. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограм-метрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология: сб. материалов IV междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2008», 22–24 апреля 2008 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2008. – С. 109–113.

© *Е.П. Хлебникова, Е.П. Крупочкин, 2009*

УДК 528.854

Е.П. Хлебникова

СГГА, Новосибирск

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Ye. P. Khlebnikova

SSGA, Novosibirsk

USE OF MAIN COMPONENTS FOR URBAN AREAS MONITORING

Computer-based interpretation of urban areas by multizone satellite images is an urgent and promising problem. But presently the interpreters face the problems of modern camera devices high resolution, high housing density, complex geometry of architectural structures, diversity of wavelength characteristics of objects under study, etc. The authors prove that using the method of main components as well as base vectors help to solve the problem.

В настоящее время массовой застройки, которая особенно ярко проявляется в городах-мегаполисах, все более актуальными становятся задачи проведения мониторинга городских территорий. Под мониторингом 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 [1].

Основными градоустроительными задачами являются топографический мониторинг для разработки генерального плана и контроль его исполнения; экологический мониторинг, т. е. 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. [2, 3].

Данные для проведения такого рода мероприятий могут быть получены из различных источников, однако наиболее оперативной и достоверной на настоящее время является информация, полученная при помощи многозональных космических съемочных систем высокого разрешения.

Однако объективные достоинства данных материалов на практике зачастую вызывают ряд серьезных проблем, особенно остро проявляющихся при попытках автоматизированного дешифрирования объектов городской застройки. Например, высокая разрешающая способность современных

съемочных систем затрудняет попиксельную привязку разновременных снимков, что влечет контурные ошибки при создании разностных изображений, при помощи которых можно обнаружить произошедшие изменения по методу, предложенному в [4]. Наличие многозональной съемки, с одной стороны, позволяет использовать большое количество возможностей спектрального анализа данных, предлагаемых современным программным обеспечением, однако многообразие спектральных характеристик исследуемых объектов вызывает сложности при создании яркостных их эталонов, а так же в дальнейшей интерпретации полученного классифицированного растра. Кроме того, плотность высотной застройки территории, геометрическая сложность архитектурных сооружений, наличие затененных мест, автотранспорт на дорогах и т. д. ведут ко многим другим сложностям в вопросах автоматизированного дешифрирования городских территорий.

Для нахождения путей решения стоящих проблем были проведены эксперименты по использованию метода главных компонент, исходными материалами являлись космические снимки Ikonos (4 спектральных канала плюс панхроматический) на городскую территорию, полученных из Google.

На рис. 1 представлен исходный снимок и его фрагмент.

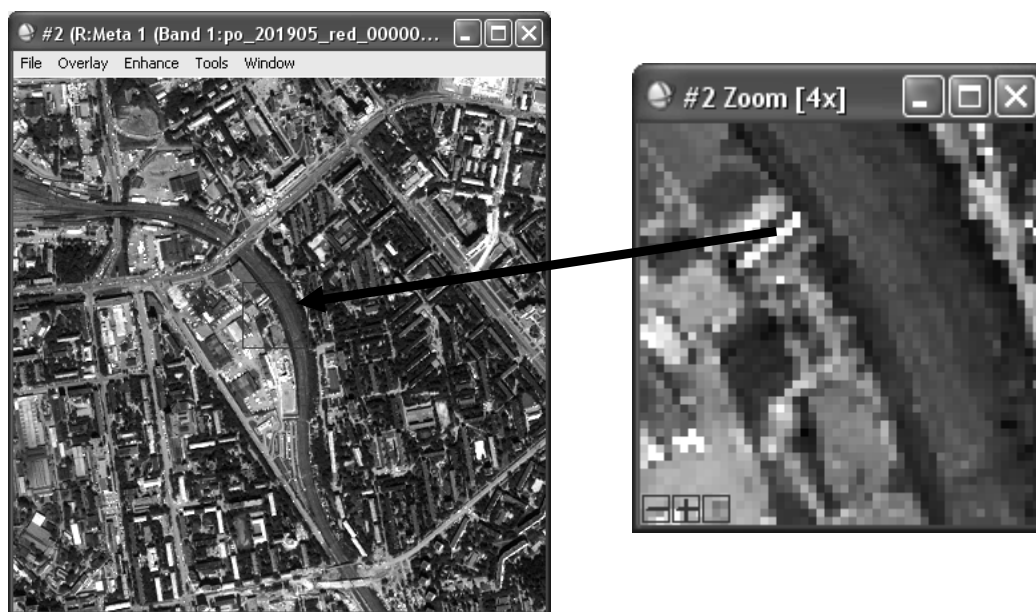


Рис. 1

Метод главных компонент – сложное преобразование многозональных снимков, основанное на многомерном статистическом анализе, позволяющее построить более информативные линейные комбинации исходных изображений, полученных в разных зонах спектра, и сократить количество анализируемых данных [5].

Метод основан на том, что многозональные изображения обладают значительной степенью корреляции между зонами. Причинами ее возникновения может быть реальная физическая зависимость между измеряемыми свойствами объектов, а также частичное перекрытие зональных диапазонов съемки, влияние пространственных вариаций атмосферы и другие.

Сущность метода главных компонент состоит в формировании по исходным многоспектральным изображениям преобразованных некоррелированных изображений (или псевдоизображений). Каждая компонента (новое преобразованное изображение) будет соответствовать разложению спектральных яркостей по базису, состоящему из собственных векторов корреляционной матрицы спектральных измерений (значениям яркостей в каждом спектральном канале). Таким образом, выделение главных компонент соответствует разложению исходного многоспектрального изображения по ортогональному базису, который строится для каждого многоспектрального изображения.

Пусть P – многозональное изображение, содержащее K (по числу каналов) матриц цифровых изображений размера $N \times N$:

$$P = \{P^I, P^{II}, P^{III}, P^{IV}, \dots, P^K\}. \quad (2)$$

Элементы $p_{ij}^{(K)}$ исходных цифровых изображений $P^{(K)}$, составляющих многоспектральное изображение P , – это значения яркостей, измеренных в соответствующих каналах (K) съемочной системы. Значения яркостей для элементов $p_{ij}^{(m)}$ и $p_{ij}^{(l)}$, полученных из разных каналов, для большинства таковых сильно коррелированы.

Метод главных компонент позволяет от многозонального цифрового изображения P перейти к новому представлению $P_G = \{P_G^I, P_G^{II}, P_G^{III}, \dots, P_G^K\}$, где изображения P_G^j являются некоррелированными. Первые изображения $P_{Gij}^I, P_{Gij}^{II}, P_{Gij}^{III}$ называются главными компонентами многоспектрального изображения P , так как эти компоненты представляют основную информацию, содержащуюся в исходных изображениях.

Значения элементов матрицы новых преобразованных изображений получаются из известного соотношения:

$$\bar{p}_{Gij}^{(K)} = U \cdot \bar{p}_{ij}^{(K)}, \quad (3)$$

где U – матрица, составленная из собственных векторов ковариационной

$$\text{матрицы } \bar{G}_{PP_{ij}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{P}_{ij} \bar{P}_{ij}^T}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{P}_{ij}^2 \bar{P}_{ij}^T}.$$

Как известно, проблема разложения матрицы G_{PP} сведется к нахождению собственных чисел λ_i и собственных векторов U_i матрицы G_{PP} , таких, что

$$U^T G_{PP} U = \lambda. \quad (4)$$

На рис. 2 представлены результаты обработки исходного изображения указанным методом в программном комплексе ENVI 4.5. Файл обработки содержит исходные статистические данные, а также численные значения ковариационной и корреляционной матриц, собственных чисел и векторов.

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev	Num	Eigenvalue
Band 1	0	2047	240.232180	138.082117	1	2.939390
Band 2	0	2047	483.860682	246.356468	2	0.987414
Band 3	0	2047	337.407492	134.646233	3	0.053775
Band 4	0	2047	307.444612	97.050839	4	0.019421
Covariance						
	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4		
Band 1	19066.671156	3666.940413	18008.431339	12675.106080		
Band 2	3666.940413	60691.509520	3389.133875	1670.734415		
Band 3	18008.431339	3389.133875	18129.607956	12732.674154		
Band 4	12675.106080	1670.734415	12732.674154	9418.865406		
Correlation	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4		
Band 1	1.000000	0.107796	0.968599	0.945834		
Band 2	0.107796	1.000000	0.102172	0.069879		
Band 3	0.968599	0.102172	1.000000	0.974375		
Band 4	0.945834	0.069879	0.974375	1.000000		
Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4		
Band 1	0.573505	0.083045	0.578974	0.573572		
Band 2	-0.031703	0.996078	-0.039725	-0.072419		
Band 3	-0.747697	0.027426	0.084808	0.658031		
Band 4	0.333222	0.013380	-0.809950	0.482457		

Рис. 2

Учитывая, что ковариационная матрица зависит от типа объектов и от структуры поверхности территории, то есть от набора объектов, которые содержатся на данном участке, и именно это вызывает устойчивые корреляционные связи между яркостями в спектральных зонах, уместно предположить, что собственные векторы будут являться достаточно устойчивыми признаками для совокупности набора объектов одного типа [5].

На рис. 3 представлен графический результат указанной обработки.

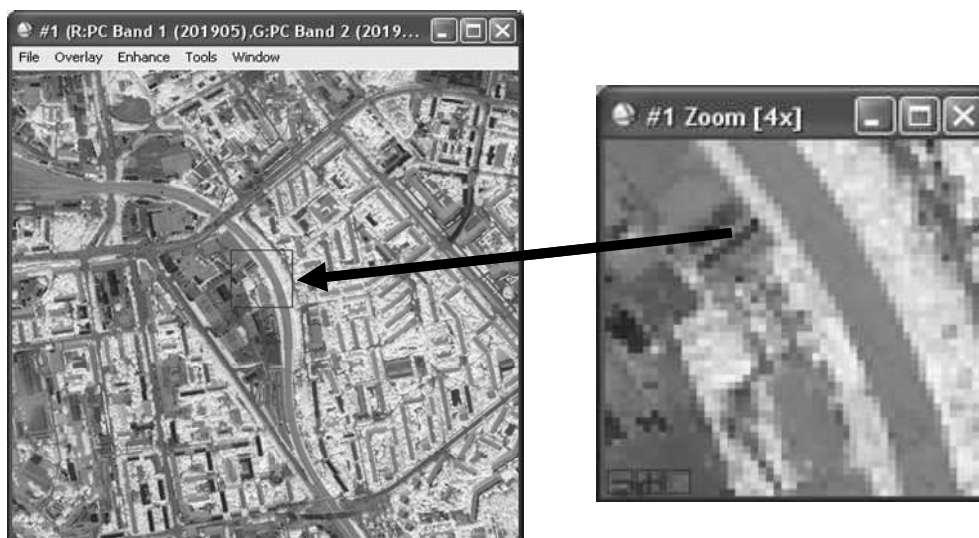


Рис. 3

Визуальный анализ рис. 1 и 3 показывает, что дешифрируемость полученных изображений гораздо выше, чем исходных, что подтверждается результатами неконтролируемой классификации.

На настоящем этапе исследований ведется экспериментальное определение наиболее стабильного опорного объекта в городских условиях, необходимого

для проведения процедуры нормирования [6], что в последствии позволит получить базисный вектор, рассчитываемый по значениям собственных векторов.

Проведенные ранее эксперименты [5] показали, что наличие такого вектора позволяет проводить интерактивное дешифрирование получаемой информации, что значительно повысит оперативность проведения мониторинга городских территорий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большаков В.Н., Качак В.В., Коберниченко В.Г. и др. Экология: Учебник.– М.: Логос. – 2005. – 504 с.
2. 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 // Сб. тезисов третьей Междунар. конф. «Земля из космоса – наиболее эффективные решения», Москва, Россия, 2007 г.
3. Алябьев А.А. Особенности мониторинга городских территорий по космическим снимкам сверхвысокого разрешения / А.А. Алябьев, Е.А. Кобзева, С.В.Серебряков // ГЕО-Сибирь-2008. Т. 3. Ч. 1. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология: сб. материалов IV междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2008», 22–24 апреля 2008 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2008. – С. 26–31.
4. Хлебникова, Е.П. Определение динамики изменения природных объектов по многозональным космическим снимкам / Хлебникова Е.П. // ГЕО-Сибирь-2006. Т. 3. Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия. Ч. 1: сб. материалов междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2006», 24–28 апреля 2006 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 227–232.
5. Хлебникова, Е.П. Повышение эффективности регионального мониторинга по многозональным космическим снимкам / Хлебникова Е.П. // ГЕО-Сибирь-2006. Т. 3. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология: сб. материалов III междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», 25–27 апреля 2007 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 171–174.
6. Хлебникова, Е.П. Влияние нормирования яркости на достоверность дешифрирования многозональных космических снимков [Текст] / Хлебникова Е.П. // Геодезия и картография. – 2005. – № 12. – С. 24–28.

УДК 528

С.В. Серебряков, И.Д. Пестов, Ю.Д. Баженова

ФГУП «Уралгеоинформ», Екатеринбург

РЕАЛИЗАЦИЯ УЗЛА РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ УРФО В РАМКАХ ФОРМИРОВАНИЯ РИПД

S.V. Serebryakov, I.D. Pestov, J.D. Bazhenova

Federal State Unitary Enterprise «Uralgeoinform» (UGI)

51 Studencheskaya., Ekaterinburg, 620078, Russian Federation

IMPLEMENTATION OF THE REGIONAL SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE FOR URFD WITHIN THE FRAMEWORK OF THE RSDI FORMING

The concept of spatial data infrastructure as a new level of the geographic information technologies is presented. SDI is interpreted as an open, extremely distributed and internet-based GIS. The activity of the «Uralgeoinform» enterprise to develop the basic site of a regional segment for RSDI is overviewed. The main components that are at the implementation stage up to now, are: spatial data bank and geoportal.

1. НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

Карта долгое время играла роль основного геоинформационного ресурса. При этом она служила как средством хранения пространственной информации, так и эффективным средством удобного графического отображения пространственных данных. Со временем выявились определенные недостатки этого вида информационных ресурсов. К основным следует отнести очень ограниченную информационную емкость и невозможность обновления содержания. Переход к цифровым формам карт не привел к существенному улучшению ситуации, поскольку информация по-прежнему жестко привязана к картографическому изделию.

По-настоящему крупным шагом в технологиях работы с пространственными данными явился переход от цифровых карт к географическим информационным системам. Если обратиться к современным ГИС, которые реализуются на уровне отдельных корпораций как крупные информационные (сетевые) системы, то мы обнаружим ряд принципиальных преимуществ:

1. Данные отделяются от картинки и занимают свое законное место в БД. Становится возможным применение эффективного инструментария промышленных СУБД для анализа данных;

2. Преодолена традиционная для карт ограниченность информационного наполнения. Появилась возможность подключения некартографических баз данных;

3. Реализован корпоративный (распределенный) оперативный доступ к пространственным данным и к разным продуктам их графического отображения. Данные доступны на любом рабочем месте;

4. Реализованы разнообразные инструменты компьютерного анализа данных из БД – на основе мощного современного аналитического программного обеспечения.

Однако обнаруживаются и серьезные проблемы современных корпоративных ГИС:

1. Данные «защиты» в формат конкретной ГИС. Возможности переноса в другие форматы и соответственно в другие ГИС – весьма ограничены;

2. Актуализация пространственных данных – технически возможна, однако требует высокой квалификации персонала корпорации и серьезных трудозатрат (в том числе – на полный цикл производства всех ПД);

3. Вследствие отсутствия жесткого регулирования в области создания и сопровождения ПД каждая организация для выпуска картографической продукции использует собственные классификаторы объектов, правила ввода, условные знаки, протоколы обмена данными в корпоративной сети, координатные системы и т.п.;

4. ГИС реализуется со своей «тяжелой» (т. е. весьма требовательной к аппаратным ресурсам) программной оболочкой (которая обыкновенно должна устанавливаться на всех узлах корпоративной сети). Обычно имеется жесткая зависимость от типа ОС, от аппаратуры и от специфики сети;

5. Построение корпоративной ГИС предъявляет повышенные требования к ресурсам корпорации и к квалификации персонала, которому предстоит сопровождать пространственные данные.

Следствиями этих (технических) ограничений корпоративных ГИС оказываются:

– Невозможность совместного использования данных с другими ГИС (трудности совмещения данных, произведенных разными организациями, разные принципы хранения данных, классификации, представления метрики, назначения идентификаторов, разное ПО);

– Высокая стоимость ГИС для отдельной корпорации. Не всякая фирма может себе позволить роскошь владения собственной ГИС;

– Одновременное существование массы огромных разно структурированных хранилищ геоинформации (зачастую – информации одной и той же);

– Нескоординированные усилия по добыче информации, уже где-то благополучно добытой;

– Корпоративная ГИС – закрытая система, «только для своих», не позволяющая осуществлять свободное подключение всех желающих к информационным ресурсам КГИС (как по техническим, коммерческим, так и по организационным соображениям).

Однако выход за пределы корпоративной ГИС рождает трудноразрешимые проблемы обмена информацией. В итоге существуют тысячи изолированных КГИС, данные в которых, в той или иной степени дублируются.

2. ИПД КАК ИДЕАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

Решением выше обозначенных проблем может стать организация инфраструктуры пространственных данных (ИПД). Главный мотив создания ИПД – свобода и легкость доступа к информации со стороны государственных и коммерческих организаций и простых граждан, удобство информационного взаимодействия держателей и потребителей данных, устранение ведомственных информационных барьеров, снятие дублирования сбора пространственных данных, их эффективное использование. Типовая ИПД включает в себя: информационные ресурсы в виде базовых пространственных данных и метаданных, механизмы доступа и обмена данными, стандартизацию пространственных данных.

Инфраструктура пространственных данных представляет идеальную модель информационного обеспечения и обеспечивает:

- Оперативный доступ к разнообразным геоинформационным ресурсам, постоянное поддержание распределенной базы геоданных в актуальном состоянии;
- Оперативное картографическое отображение всей необходимой информации в интерактивном режиме;
- Возможность получения геопропространственной информации (и ее интерактивного отображения) в любое время, с разных рабочих мест, из разных учреждений разной ведомственной принадлежности;
- Возможности графического отображения последствий обсуждаемого решения, анализ решения;
- Наличие развитых инструментов селективного и оперативного отбора необходимых данных.

В итоге мы получаем потенциально безгранично масштабируемую ГИС. В ней распределенными и масштабируемыми являются: поставщики данных, центры хранения – Банки геоинформации, программы переработки и анализа данных – сервисы, потребители пространственной информации.

Подчеркнем – ИПД является не просто способом пересылки карт, ИПД – это сетевая открытая геоинформационная система (может охватывать все стороны работы с информацией, начиная с фиксации данных, включая их анализ, выдачу прогнозов, выявление закономерностей, решение иных задач с ПД и т. д.). Поэтому подключение новых программ (сервисов) безгранично расширяет инструментальные возможности новой ГИС. А подключение новых

информационных ресурсов различных поставщиков геоданных (не только крупных банков данных, но и простых пользователей или небольших фирм) увеличивает информационную обеспеченность открытой ГИС и повышает устойчивость по отношению к сбоям отдельных ресурсов.

3. ОСНОВАНИЕ

В 2006 году в России была принята концепция создания Российской инфраструктуры пространственных данных (РИПД). Концепция предлагает решение этих задач за счет создания единой среды накопления, обновления, обращения и эффективного использования геоинформации – на основе открытых сетевых технологий.

Создание распределенной системы с множеством участников (РИПД) невозможно без серьезной нормативной базы. А именно, должны быть выработаны общие подходы к классификации и к описанию пространственных объектов, к структуре данных, к представлению метаинформации.

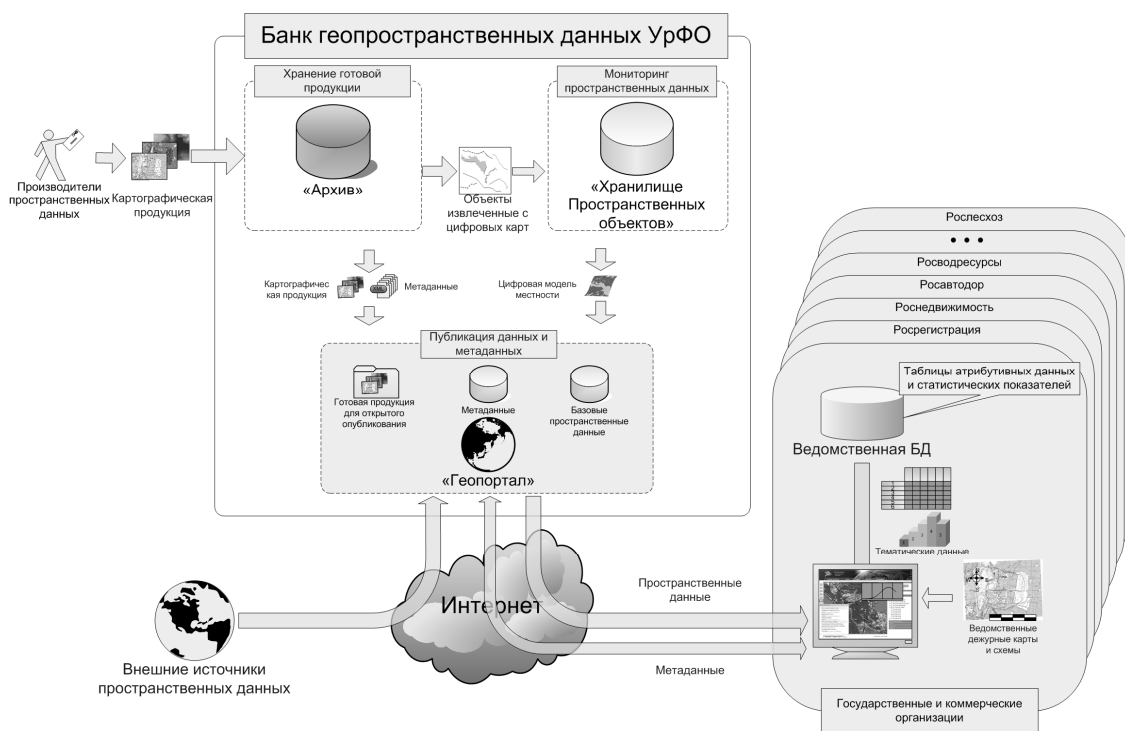
Концепция кардинально меняет традиционный картографический подход к геоинформатике. Основной единицей хранения становится пространственный объект. В частности, это исключит трудоемкое многократное дублирование одной и той же информации в разных картографических продуктах (ЦТК) и в разных учреждениях. Бессмысленное тиражирование информации заменяется ее оперативной обработкой и немедленной доставкой результатов пользователю – в нужном ему формате.

Подготовленные к настоящему времени в Минэкономразвития предложения по внесению изменений в Федеральный закон «О геодезии и картографии» конкретизируют положения Концепции, предусматривая систему федеральных геоинформационных ресурсов – государственных банков пространственных данных, образующих информационное ядро РИПД. Успех Концепции будет зависеть, в первую очередь, от возможности четко структурированного и документированного хранения данных об отдельных пространственных объектах, а также надежностью и скоростью доступа к ним.

Создание такого рода геобанков с активным сетевым взаимодействием – задача государственной важности.

4. БАНК ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ УрФО

Для реализации идеологии РИПД на территории Уральского Федерального округа был создан Уральский информационно-аналитический центр как основной координирующий и исполнительный рабочий орган.



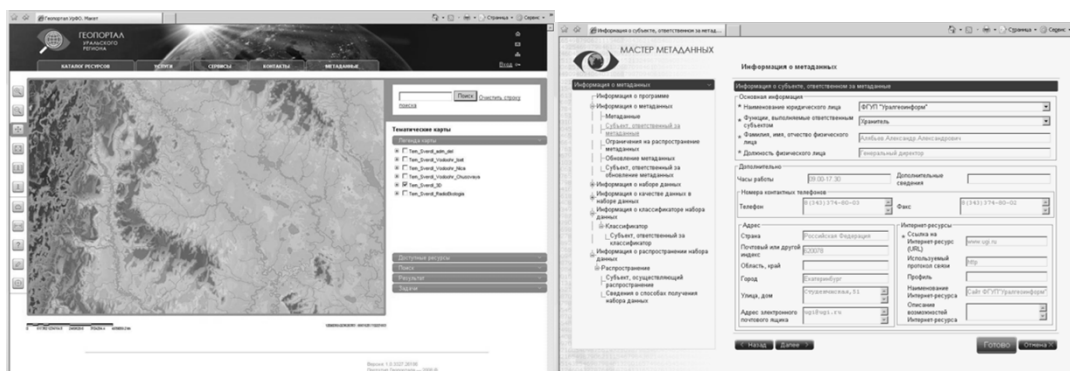
В информационно – аналитическом центре «Уралгеоинформ» запущен проект создания современного Банка геопропространственной информации и веб-портала для представления пространственной информации пользователям.

Банк создается в составе базового узла регионального сегмента РИПД.

Основные этапы построения Банка:

- Формирование электронного архива готовой цифровой картографической продукции предприятия в закрытом сегменте Банка.
- Формирование базы метаданных для готовой цифровой картографической продукции. Помещааемые на хранение в «Архив» цифровые данные документируются подробными метаданными в соответствии с ГОСТ 52573-2006 «Географическая информация. Метаданные».
- Формирование базы пространственных объектов и модели объектных метаданных.
- Создание геопортала, как «единой точки доступа» к пространственным данным и метаданным.

5. СЕРВИСЫ ГЕОПОРТАЛА



В настоящий момент создан макет регионального геопортала УрФО (<http://www.geourfo.ru>), который обеспечивает публикацию готовой продукции в сети Интернет. Геопортал предоставляет пользователю возможности просматривать продукцию, совмещать различные слои геоданных, включать или отключать отображение ресурсов, осуществлять поиск по названию объекта, а так же проводить идентификацию (точечную и полигональную) объектов на карте. На Геопортале обеспечена работа ряда сервисов, позволяющих:

- Накладывать тематические данные на карту;
- Подключать внешние источники пространственных данных по протоколам WxS;
- Заносить метаданные на готовую картографическую продукцию посредством сервиса «Сервер метаданных»;
- Осуществлять сбор метаинформации сторонними сервисами на основе стандарта AOI – Dublin Core.

Публикуемые данные представлены готовой цифровой картографической продукцией, произведенной ФГУП «Уралгеоинформ» (цифровые топографические, тематические карты и ортофотопланы). Публикация метаданных на готовую продукцию осуществляется путём процедуры экспорта из «Архива» в виде XML файлов.

6. НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В результате внедрения и полного развертывания региональной ИПД потребители получают:

- Постоянное обновление ведомственных пространственных данных путем подключения внутренних ГИС-систем к сервису Геопортала по мониторингу;
- Доступ к тематическим данным других поставщиков;
- Возможность предложить на продажу другим потребителям свои тематические данные через сервисы Геопортала.

Что позволит снять с потребителей необходимость содержать собственные пространственные данные (топографическую основу), а также покупать и внедрять дорогостоящие ГИС-системы.

УДК 528

С.В. Серебряков, А.В. Ткач

ФГУП «Уралгеоинформ», Екатеринбург

НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

S.V. Serebryakov, A.V. Tkach

Federal State Unitary Enterprise «Uralgeoinform» (UGI)

51 Studencheskaya., Ekaterinburg, 620078, Russian Federation

NORMATIVE PROVISION FOR DEVELOPMENT OF A SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE

Some aspects of the normative document development and implementation have been analyzed, that form the basis for the regional spatial data infrastructure. Contemporary state of the national SDI-standards in Russia brings us to the idea of using the ISO and OGC standards and specifications as the main normative documents. Basic principles for the technical regulations for the regional SDI have been outlined. We present also some project documents.

В настоящее время на государственном уровне поставлена задача построения Российской инфраструктуры пространственных данных – РИПД [1]. По сути дела, речь идет о новых подходах к работе с пространственной информацией на всех этапах: от получения первичных данных до их анализа и оперативного представления результатов пользователю в удобных для него форматах.

ИПД может быть определена как открытая (т.е., принципиально безграничная и свободно масштабируемая) ГИС в сети интернет, в которой распределенными являются подсистемы: а) поставщиков пространственных данных (ПД), б) банков ПД и метаданных, в) программ обработки данных (сервисы) и г) потребителей.

Для пересылки данных применяются стандартные графические форматы, и XML-базированные языки (XML Schema, GML, KML). Технологическую основу для создания механизмов поиска в сети ресурсов (данных и сервисов) и для их оценки должны составить метаданные, а также поддерживаемая в инфраструктуре система уникальных идентификаторов пространственных объектов и других единиц хранения геоинформации.

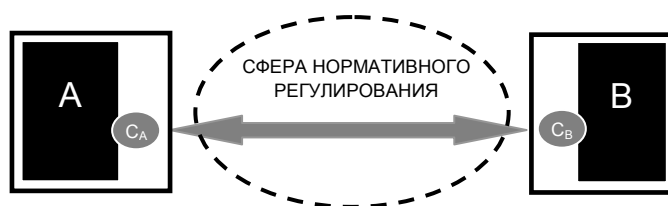
В свободно масштабируемой системе невозможно обойтись без грамотного выбора и четкого соблюдения правил взаимодействия частей. Этим определяется центральная роль нормативов в построении ИПД. При этом необходимо четко сознавать, что чем меньше требований предъявляется к участникам, тем выше для них привлекательность участия в новой системе, тем

больше шансов на безболезненное подключение всех ранее созданных ресурсов.

Поэтому базовые принципы нормативного регулирования в ИПД могут быть сформулированы следующим образом:

- Минимизация нормативного вторжения в собственные ресурсы участников (сохранение структур данных, принципов классификации, кодирования, координатных систем, технологий хранения данных, систем идентификации пространственных объектов и т. п.);
- Предметом регулирования является только то, что относится к обмену данными и сообщениями.

Эти принципы иллюстрируются рисунком, где условно показаны два ресурса (А и В), принадлежащие разным организациям. Толстая линия обозначает зону компетенции данной организации, в которую не должно вторгаться нормативное регулирование инфраструктурного уровня. Серая стрела обозначает потоки информации (данные, сообщения и т. п.). Если необходимо наладить взаимодействие систем А и В (например банка данных и сервиса), то нормативами ИПД определяются все параметры обмена сигналами, сообщениями и данными.



Все, что останется сделать хозяевам ресурсов для включения их в ИПД – это разработать (установить) несложные программные модули – «коннекторы» (С_А и С_В, соответственно) для согласования своих внутренних структур данных и элементов их кодирования со стандартами и нормами ИПД. Сами ресурсы (А и В) могут остаться неизменными.

Основными элементами нормативного регулирования ИПД являются:

- Стандарты (для уровня обмена данными, командами, сообщениями);
- Регламенты работы участников ИПД;
- Классификаторы пространственных объектов, правила описания.

Предприятием «Уралгеоинформ» ведется работа по всем трем указанным направлениям (в рамках деятельности по созданию ИПД регионального уровня с охватом территории Уральского федерального округа). Далее в этой публикации рассматриваются вопросы, касающиеся работы со стандартами и подготовки проектов регламентов инфраструктурного уровня.

Что касается стандартизации, то следует отметить, что РФ входит во Всемирную организацию стандартизации (ISO). В рамках ISO в настоящее время создан практически полный комплект стандартов, касающихся ИПД (серия 191XX, Географическая информация). Общая схема взаимодействия стандарта ISO и национальных стандартов может быть описана следующим образом: ISO вырабатывает стандарты общего характера, после чего каждое

государство-участник вправе выбрать некое *подмножество* общего стандарта (именуемое профилем) и принять его в качестве своего национального стандарта. Как минимум, основные понятия (термины) должны быть общими у ISO и у профиля.

Изучение отечественной базы стандартизации в области ИПД выявило серьезные недостатки.

- Далеко не все аналоги международных стандартов уже реализованы в ГОСТах. А то, что сделано, не свободно от ошибок и нуждается в постепенной доработке (например – стандарт на метаданные [2–4]).

- В наших стандартах профилирование выполняется слишком вольно и жестко. Например, из отечественных классификаторов [4] исключается учет ассоциаций (связей) между объектами. В результате блокируется реализация ГИС-функций. Например, невозможно выстроить эффективную модель транспортных сетей для вычисления оптимальных маршрутов транспорта.

- Терминология произвольно подменяется. Российские нормотворцы спешат удивить мир своими «изобретениями». Приведем лишь два примера.

- Понятие *Базовых пространственных данных* (БПД) нашими стандартами сведено к наборам базовых пространственных объектов, БПО. В результате покрытия не попадают в число БПД, это относится, в том числе, и к ЦМР. Это значит, что в РИПД информация о рельефе циркулировать не может, как не должно быть в ней и фотоматериалов.

- *Базовый пространственный объект*, как требует стандарт, должен служить основой для позиционирования других пространственных объектов. Результат: абстрактные пространственные объекты (например, административные границы, идущие по болотистому водоразделу) не являются базовыми и не подлежат поддержке в РИПД (их не видно на местности, по ним невозможно выполнить привязку).

С учетом всех этих обстоятельств на предприятии «Уралгеоинформ» было принято принципиальное решение: если поставлена задача создать полноценную ИПД, необходимо опираться на *международные стандарты ISO и/или спецификации OGC* (Консорциума открытых геоинформационных систем).

Для обеспечения работ по созданию региональной ИПД нами организован перевод документов ISO на русский язык. На данный момент полностью завершён перевод следующих стандартов:

- 19110 Методология каталогизации;
- 19112 Позиционирование по геоидентификаторам;
- 19118 Кодирование;
- 19119 Сервисы;
- 19128 Интерфейс WMS;
- 19139 Метаданные – реализация на языке XML Schema.

Одним из важных компонентов серии ISO 191XX должен стать Международный словарь терминов. Россия обязана представить в этот словарь русскоязычные аналоги всех терминов и определений к терминам (до 450 терминов и их определения).

Проект русскоязычной версии Международного словаря терминов подготовлен в ИГАН. Мы подключились к этой работе на этапе обсуждения. Первичное знакомство с проектом выявило значительное число недостатков. По нашим оценкам, не менее трети всех позиций проекта словаря содержат грубые искажения смысла терминов и/или определений. Обнаружено, что некоторые грубые ошибки попали даже в уже принятые ГОСТы. Практически вся работа переделывалась специалистами ФГУП «Уралгеоинформ» заново.

О работе над регламентами. Ряд операций в инфраструктуре не может выполняться автоматически, требуется участие персонала. Это означает, что элементом нормативного регулирования ИПД должен быть общепринятый порядок выполнения указанных операций. В ИПД необходимо иметь набор регламентов.

Первоначально было необходимо определить основные роли, которые могут исполнять разные участники геоинформационного процесса на уровне инфраструктуры. Мы установили наличие пяти разных ролей:

- Пользователи;
- *Поставщики* пространственных данных;
- *Служба сопровождения Банка данных* (осуществляет все операции по хранению данных и метаданных, выполняет входной технический контроль поступивших материалов);
- *Организация-интегратор* пространственных данных и метаданных определенного типа (контролируют гармонизацию вновь поступивших данных с уже имеющимися, поддерживают собственную систему идентификации объектов для своего слоя данных, участвуют в разрешении конфликтов);
- *Организация-координатор* региональной ИПД (общая координация деятельности в инфраструктуре, назначение интеграторов, регистрация поставщиков данных, публикация необходимых информационных материалов на официальном геопортале, разрешение конфликтов).

Наиболее важная роль в обеспечении качества и в согласовании данных отводится интеграторам слоев пространственной информации. Важно подчеркнуть, что допускается объединение всех или некоторых ролей в одной организации. Ситуация с полным разделением ролей представляет собой наиболее общий случай.

Что касается пользователей, то они получают данные по стандартным протоколам сети интернет, их деятельность регламентации не подлежит.

Нами сформулированы *основные принципы* разработки регламентов:

- Максимальная гибкость всех решений (охват всех мыслимых вариантов обращения к ИПД);

- Учет разнообразия условий участников, разнообразия мотивации участников;
- Минимизация жестких требований к участникам ИПД;
- Вновь поступающие данные немедленно документируются метаданными;
- Интеграторам отводится центральная роль в обеспечении непротиворечивости данных;
- Все изменения в электронном банке – *только по предписанию интегратора.*

Важно также помнить, что нормы ИПД не должны вторгаться в сферу управления конкретным предприятием. Отсюда следует, что должна существовать иерархия регламентов. А именно:

- Регламент уровня ИПД определяет порядок взаимодействия разных ролей информационного процесса;
- Порядок действия работников на данном конкретном предприятии определяется его внутренними регламентами, которые должны разрабатываться на базе регламентов ИПД – с учетом специфики предприятия, а также тех ролей, которые данным предприятием-участником инфраструктуры исполняются.

На нашем предприятии подготовлены проекты регламентов уровня ИПД.

- Регламент актуализации баз данных и метаданных.
- Регламент ведения пространственных данных и метаданных.
- Порядок обеспечения органов государственной власти информацией по территориальному планированию (может быть отнесен к регламентам ИПД лишь с некоторыми оговорками).

В заключение – несколько слов о потенциальных возможностях подхода, лежащего за пределами нормативного регулирования. Все вышеизложенное относится к профессиональной работе с ПД и направлено на поддержание высокого качества информации. Однако опыт сайтов типа GoogleMaps свидетельствует об огромных перспективах использования активности публики, чье творчество не сковано ни стандартами, ни регламентами. Было бы разумным поддерживать в ИПД особые «любительские» слои ПД. Такие «несерьезные» слои безусловно будут проигрывать в качестве данных, но могут выигрывать в актуальности информации (которую можно будет проверить и на профессиональном уровне).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации, одобрена распоряжением Правительства РФ от 21 августа 2006 г. № 1157-р.
2. ГОСТ Р 52573–2006. Географическая информация. Метаданные.

3. Баженова Ю.Д., Система «Архив » – инструмент учета готовой продукции и ведения метаданных. Пространственные данные, № 1, 57 (2009).
4. Бездушный А.Н., Динь Ле Дат и др. Пространственные метаданные в портале «ГеоМЕТА», Пространственные данные, № 2., 15 (2008).
5. ГОСТ Р 52439–2005. Модели местности цифровые. Каталог объектов местности. Состав и содержание.

© С.В. Серебряков, А.В. Ткач, 2009

УДК 528

И.О. Новикова

Компания «Совзонд», Москва

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ И СОЗДАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ ГЕОПОРТАЛОВ

I. Novikova

Sovzond Company, Russia

28a, Shipilovskaya St., Moscow 115446

MODERN SOFTWARE SOLUTIONS AND TECHNOLOGIES FOR REMOTE SENSING DATA PROCESSING AND THEMATIC GEOPORTALS CREATION

After high and very high resolution imagery entered the market of Earth Remote Sensing (ERS) data such tasks as data processing and analysis, automatization of map document preparation process, creation of thematic geoportals became of high priority tasks. To meet these challenges software products were reasonably updated and widened during the last few years.

Sovzond Company is pleased to offer a wide range of latest technologies for ERS data processing, analyzing as well as for integration of acquired information data into GIS and creation of geoportals:

- INPHO – full photogrammetric system;
- ENVI – RS data visualization and image analysis solutions, GIS integration;
- MicroStation – professional CAD-system with fully functional geoinformation opportunities.

Up to the present moment MicroStation was known among Russian users only as a CAD based system, but situation changed after new MicroStation additional applications appeared and completed full-fledged GIS.

The central core of this GIS architecture is a Bentley Geospatial Server application, which brings together information in spatial databases, drawings, business documents and other forms through a unique federated information management approach. Along with tabletop applications Bentley Map, Bentley Descartes, Bentley PowerMap, etc. should be mentioned Bentley Geo Web Publisher – a full scale Bentley solution, enabling a wide range of applications such as municipal information systems, image or drawing archives, map-based navigational sites, project sites, and public information portals.

С появлением на рынке данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса высокого и сверхвысокого пространственного разрешения задачи обработки и анализа спутниковых изображений, автоматизации процесса

подготовки картографических материалов, создания геопорталов становятся наиболее актуальным. За последние несколько лет возможности программных продуктов для решения этих задач существенно улучшились.

Компания «Совзонд» предлагает высокотехнологические решения как по обработке и анализу данных ДЗЗ, так и по интеграции полученной информации в геоинформационные системы (ГИС) и для создания тематических геопорталов.

Для этих целей используется следующее программное обеспечение:

- INPHO (компания INPHO, Германия) – полнофункциональная фотограмметрическая система;
- ENVI (корпорация ITT Visual Information Solutions, США) – программный комплекс для обработки данных ДЗЗ и их интеграции с данными ГИС;
- MicroStation (компания Bentley Systems, США) – профессиональная CAD-система с полнофункциональными геоинформационными возможностями.

Программный комплекс *INPHO* – полнофункциональная фотограмметрическая система для всех стандартных задач, решаемых в цифровом фотограмметрическом проекте, включая геокодирование, создание цифровых моделей рельефа (ЦМР), ортотрансформирование и стереоскопическую оцифровку. *INPHO* поддерживает широкий спектр цифровых данных, включая сканированные аэрофотоснимки, данные, получаемые с цифровых авиационных камер и с различных космических аппаратов ДЗЗ.

Программный комплекс *ENVI* включает набор инструментов для проведения полного цикла обработки данных от ортотрансформирования и пространственной привязки изображения до получения необходимой информации и ее интеграции с данными ГИС, включая создания мозаик и интерпретацию изображений. В текущей версии *ENVI* включена поддержка пяти дополнительных модулей: *ENVI Feature Extraction Module (Fx)*, позволяющего выделять объекты, как на панхроматических, так и мультиспектральных изображениях, используя при этом спектральную информацию, текстурный рисунок и особенности пространственного положения, с их последующим сохранением в векторные файлы; модуля *DEM* для создания ЦМР, модуля атмосферной коррекции *FLAASH*, модуля *SARscape*, предназначенного для обработки материалов радиолокационных съемок, выполненных радаром с синтезированной апертурой (SAR).

В основе линейки продуктов компании Bentley Systems лежит профессиональная CAD-система *MicroStation*, которая является одним из наиболее мощных инструментов для проектирования, позволяющим пользователю реализовывать инженерные проекты любой степени сложности, создавать топографические карты различного масштаба, проводить инженерные расчеты, а также накладывать фотореалистичные текстуры на весь проект и отображать их в реальном времени.

До настоящего времени MicroStation был известен среди российских пользователей только в качестве CAD-системы. Ситуация изменилась с появлением новых приложений, дополняющих MicroStation до полноценной ГИС.

Центральным звеном ГИС-архитектуры Bentley является приложение Bentley Geospatial Server, которое позволяет объединять пространственные и иные данные, различные документы и изображения. Оно предназначено для создания в организации централизованной защищенной информационной среды, обеспечивающей управление, индексирование, редактирование и графическое отображение больших объемов структурированных и неструктурированных данных. Bentley Geospatial Server использует базирующийся на индексировании федеративный подход к управлению информацией, что позволяет хранить ее в структурированном виде, осуществлять поиск, просмотр и редактирование данных с использованием инструментов, запускаемых непосредственно через интерфейс настольных приложений. Поиск данных может осуществляться с использованием как пространственных, так и непространственных критериев.

Среди настольных ГИС-приложений Bentley Sistem можно выделить также Bentley Map (ГИС-среда для создания, управления и анализа пространственных данных), Bentley Descartes (приложение для работы с растровыми изображениями), Bentley PowerMap (программа для полномасштабной работы со всеми видами карт) и др.

Программное ГИС-обеспечение Bentley Systems является также наиболее подходящим решением для создания тематических геопорталов. Особенно для этой задачи подходит Bentley Geo Web Publisher – полномасштабное решение для предоставления геопространственной информации широкому кругу пользователей через веб-интерфейс в открытой или закрытой среде Интернет/Инtranет с возможностью внесения необходимых поправок и комментариев с использованием базового ГИС-инструментария.

Компания «Совзонд» является поставщиком данных дистанционного зондирования Земли со спутников Ресурс-ДК1, WorldView-1, GeoEye-1, QuickBird, IKONOS, OrbView, FORMOSAT, SPOT, ALOS, RapidEye, RADARSAT, TerraSAR и др. и программных решений для обработки космических данных — ENVI, INPHO, MicroStation.

© И.О. Новикова, 2009

УДК 528.711.089.6

А.П. Макаров, Л.В. Быков, В.Л. Быков, А.Л. Быков

Западно-Сибирский филиал «Госземкадастрсъемка» – ВИСХАГИ

КАЛИБРОВКА СНИМКОВ НА РАВНИННОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ КООРДИНАТ ЦЕНТРОВ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ

A.P. Makarov, L.V. Bykov, V.L. Bykov, A.L. Bykov

The West-Siberian branch of the federal state unitary enterprise

«Goszemkadastrs`emka» – VISHAGI

Mira 4, Omsk, 644080, Russian Federation

THE CALIBRATION OF IMAGES ON THE FLAT TESTING AREA WITH COORDINATES DETERMINATION OF PRINCIPAL POINTS

A GNSS are used to determine coordinates of principal points. Calibration of images gets simpler, if coordinates of these points are known. This article describes properties of one of images calibration methods on the flat testing area.

Современные средства спутниковой навигации, широко применяемые при АФС, могут эффективно использоваться при калибровке снимков в качестве независимых измерений. Существует, по крайней мере, два способа калибровки снимков на равнинном полигоне, которые обеспечивают решение задачи при наличие координат центров фотографирования. Первый способ основан на двухъярусном фотографировании полигона с определением разности высот фотографирования. Во втором способе могут использоваться снимки одноярусной съемки с координатами центров фотографирования. В Западно-Сибирском филиале «Госземкадастрсъемка» – ВИСХАГИ продолжаются исследования представленных способов калибровки снимков на основе построенного испытательного полигона.

Опытная эксплуатация способа, основанного на двухъярусном фотографировании, вскрыла ряд технологических недостатков, затрудняющих его широкое использование в практике аэросъемочных работ. Необходимость изменения высоты фотографирования существенно увеличивает съемочное время и усложняет организацию работ. Отсутствие разработанных алгоритмов совместного решения задачи для всех используемых пар снимков не позволяет оперативно обрабатывать материалы АФС. Алгоритм обработки не является строгим. Это не позволяет получать данные калибровки в стандартном виде.

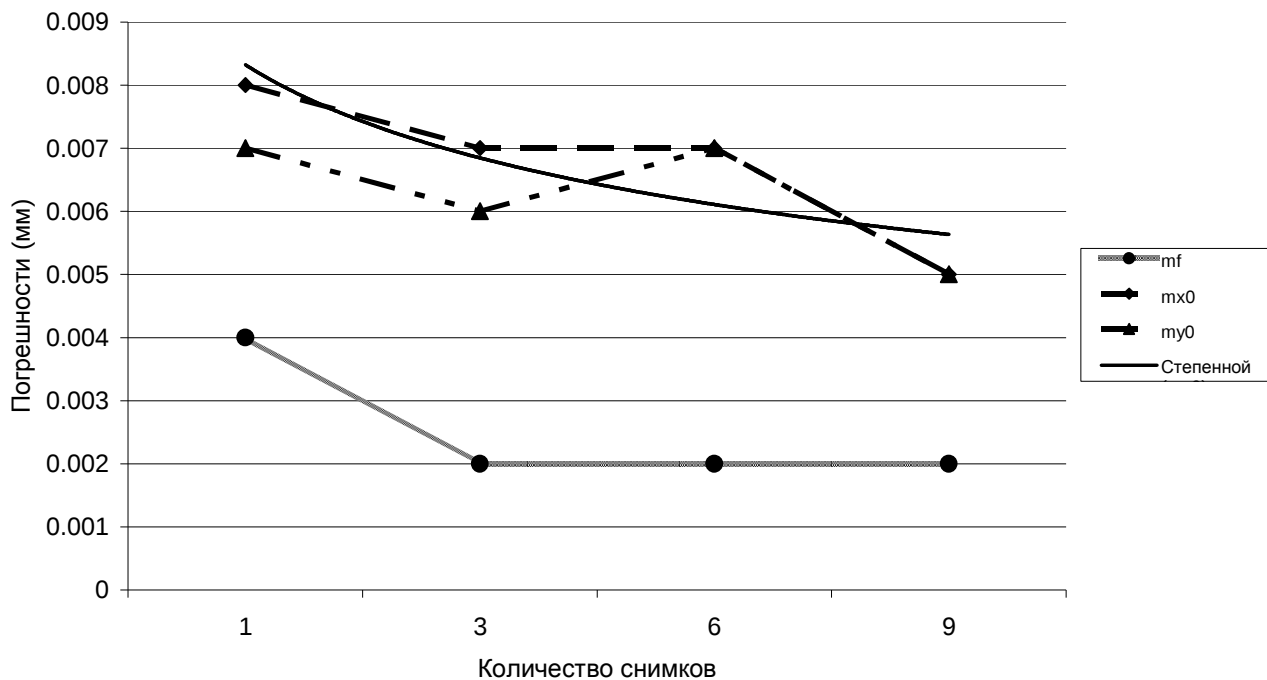
От перечисленных недостатков свободен способ, основанный на одноярусной съемке с известными координатами центров фотографирования. Алгоритм математической обработки результатов фотограмметрических измерений допускает одновременное использование произвольного количества

снимков, не требует изменения высоты фотографирования, позволяет получать результаты калибровки в общепринятом виде.

Фотографирование полигона выполняется в масштабе, обеспечивающем распознавание маркированных точек на местности. Обычно масштаб составляет 1:5 000–1:10 000. Снимки сканируются с разрешающей способностью не менее 14 мкм. Цифровые изображения обрабатываются по специально разработанной программе. Измерению подлежат координатные метки и опорные точки на снимках. База данных содержит информацию об эталонных координатах меток и о геодезических координатах опорных точек полигона. Алгоритм математической обработки основан на способе связок. Координаты центров фотографирования принимаются в качестве опорных точек. Неизвестными являются угловые элементы внешнего ориентирования снимков, элементы внутреннего ориентирования, параметры полиномов, описывающих влияние остаточной дисторсии изображения. Отдельно рассчитываются значения остаточной дисторсии по полю изображения в виде сетки с шагом, соответствующим расстоянию между опорными точками на снимке. В зависимости от формата кадра шаг меняется от 500 до 1 000 пикселей, что соответствует 5–10 мм на аналоговом снимке. Полученные средние значения дисторсии приводятся к стандартным таблицам радиальной дисторсии по восьми направлениям.

Исследование алгоритмов выполнено по макетным снимкам. В качестве опорных точек использовались точки калибровочного полигона с их геодезическими координатами. Элементы внешнего ориентирования задавались с максимальным приближением к условиям реального фотографирования. В координаты точек на снимках вводились случайные и систематические ошибки. Обработка измерений выполнялась многократно для блоков, составленных из различного количества снимков. Количество снимков в блоке изменялось от 3 до 9. Погрешность элементов внутреннего ориентирования определялась по отклонениям от средних значений, полученных в реализациях решения каждого блока. На рисунке представлены графики изменения погрешностей элементов внутреннего ориентирования в зависимости от количества одновременно обрабатываемых снимков.

Погрешности определения элементов внутреннего ориентирования



Из анализа графиков следует, что ошибки фокусного расстояния стабилизируются уже при одновременной обработке трех снимков. Добавление снимков практически не влияет на точность решения. Погрешности координат главной точки имеют тенденцию к повышению точности с увеличением количества одновременно обрабатываемых снимков, о чем свидетельствует линия тренда на графике.

В целом, совместная обработка снимков по строгим алгоритмам не только повышает точность калибровки, но и позволяет улучшить технологические свойства процесса. Окончательные выводы относительно преимуществ представленного способа можно будет сделать после завершения обработки материалов аэрофотосъемки 2008 года.

УДК 528.7

Т.А. Хлебникова, Е.Н. Кулик

СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТРЕХМЕРНОЙ ВИДЕОСЦЕНЫ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

T.A. Khlebnikova, Ye.N. Kulik

SSGA, Novosibirsk

RESEARCH OF THE TECHNOLOGY FOR MAKING MEASURING 3D VIDEOSCENE BY THE AEROSPACE SURVEYS MATERIALS

The paper deals with the problems of the new types of digital geospatial products, called 3D-models of videoscenes.

The raw data for models components acquisition are considered, i.e. digital model of the terrain (DTM) and that of the object (DOM). The authors present the scheme of the technology for making measuring 3D videoscene on the basis of aerospace surveys by means of photogrammetry and 3D-GIS. Efficiency of photogrammetric technologies application is proved.

Experimental works have been made on: collection and development of DTM and DOM on the basis of aerospace survey with the following characteristics: flight scale 1: 8000, focal distance АФА – 153 mm, picture size 23x23 cm; establishment of 3D videoscenes in two 3D-GIS media: GIS MAP 2005, (version 9.15.3); ERDAS IMAGINE VirtualGIS (version 9.0).

В настоящее время трехмерное представление территории средствами современных ГИС-технологий является одним из быстро развивающихся направлений в геоинформатике. Это обусловлено тем, что во многих областях народного хозяйства потребность в информации о местности уже не удовлетворяется использованием только топографических карт в аналоговом и цифровом видах. Недостаточная информативность карты, необходимость умения читать карту затрудняет ее использование, а в ряде специальных приложений существенно ограничивает ее применение [1, 2, 3].

Для решения ряда инженерных задач, включающих автоматизированный анализ состояния территории, особенно, в районах интенсивного строительства требуется детальная информация о взаимном пространственном положении объектов территории, их относительных высотах в цифровой форме.

Появились новые цифровые геопространственные продукты, получившие название 3D-моделей [1, 2, 3]. Получению таких новых видов цифровой продукции способствовало использование достижений трехмерной машинной

графики при пространственном моделировании местности [1] в геоинформационных технологиях.

В общем случае трехмерные цифровые модели представляют собой трехмерные пространственные аналоги реальных объектов местности. В научной и технической литературе приводятся различные определения и обозначения, например: трехмерные виртуальные модели местности или 3D-(3-Dimensional) визуализации, виртуальные модели местности, цифровые пространственные модели местности, пространственные модели местности, трехмерные цифровые модели, 3D-модели, 3D-ЦММ, 3D-сцены, трехмерные текстурированные модели реалистического вида.

Перечень актуальных 3D-продуктов постепенно расширяется. В настоящее время наиболее востребованы визуальные цифровые модели городов. В крупных европейских городах трехмерная географическая информация используется при решении таких задач, как городское планирование, управление подземным транспортом, защита от шума и др.[4].

На основе базовых понятий, приведенных в известных словарях по геоинформатике и картографии: данные, пространственные данные, геопространственные данные, местность, территория уточнено сформулированное в [5, 6] определение цифрового геопространственного вида продукции, который рассматривается в докладе.

Трехмерная измерительная видеосцена – трехмерная цифровая электронная модель территории (3D ЦМТ), включающая в себя (или содержащая) цифровую модель рельефа и модель (модели) других объектов, расположенных в границах рассматриваемой территории, предназначенная для визуализации в статическом или динамическом режимах и расчетно-измерительных операций с использованием специальных программных средств ГИС.

Как следует из данного определения трехмерные видеосцены включают модели земной поверхности – цифровые модели рельефа (ЦМР) и модели наземных (подземных) искусственных объектов – цифровых моделей объектов (ЦМО), как правило, созданных человеком.

Источниками информации для получения ЦМР, ЦМО могут служить различные данные. При создании видеосцены решаются две задачи: конструирование геометрии границ объектов и текстурирование модели.

По мере практического применения трехмерных цифровых моделей территории, пользователи выявили недостатки приводящие к ограничению их пользования. Поэтому совместное использование цифровых топографических карт, планов (ЦТК, ЦТП) и трехмерных измерительных видеосцен позволит по наиболее надежно опознаваемым объектам на трехмерной видеосцене определять значения координат и высот точек интересующего объекта территории на цифровой карте, плане с точностью, регламентированной для масштаба данной карты.

В связи с вышеизложенным в технологию получения измерительных трехмерных видеосцен предполагается целесообразным включать следующие этапы.

1. Создание цифровых моделей рельефа и объектов, цифровых карт (планов), ортофотокарт по материалам аэрофотосъемки, космической съемки высокого разрешения средствами цифровых фотограмметрических систем по известным технологическим схемам [7].

2. Создание модели поверхности территории и объектов на ней расположенных, их согласование средствами 3D ГИС.

3. Создание трехмерных видеосцены средствами 3D ГИС.

Схемы перечисленных этапов представляются на трех слайдах.

Для формирования ЦМР, ЦМО наиболее часто используются аэрокосмические материалы, обработка которых выполняется средствами фотограмметрических технологий.

На современном топографо-геодезическом производстве фотограмметрические работы являются основной частью технологий создания и обновления ЦТК, ЦТП, цифровых ортофотопланов, специализированных планов, ЦММ [7].

Достоинства фотограмметрических технологий – высокая информативность и точность определения плановых координат и высот точек местности по материалам аэрофо- и космосъемки, а также высокая степень автоматизации современных фотограмметрических приборов – цифровых фотограмметрических станций (ЦФС). Кроме того, материалы аэрокосмических съемок можно использовать для текстурирования участков земной поверхности, что позволяет повысить на качественном уровне реалистичность визуализации территории [5, 8].

Определены необходимые условия, при которых будут получены ЦМР, ЦМО, удовлетворяющие требованиям дальнейшего создания измерительных трехмерных видеосцен.

Рассмотрены особенности создания ЦМО, ЦМР по аэрокосмическим материалам для использования их при построении трехмерных видеосцен.

Экспериментальные работы выполнялись на производственных материалах аэрофотосъемки с характеристиками: масштаб залета – 1 : 8 000, фокусное расстояние АФА – 153 мм, формат кадра 23 × 23 см. Территория объекта (с условным названием Северный-2) представляла собой слабо всхолмленную местность с застройкой сельского типа, с луговыми массивами, небольшими лесными участками.

Сбор трехмерной пространственной информации осуществлялся средствами ЦФС (ЦНИИГАК, г. Москва, ГНПП «Геосистема», г. Винница) в объеме 0.6 НЛ плана масштаба 1 : 2 000.

По объекту населенного пункта Северный-2 выполнено:

- По имеющимся результатам сгущения сети построены стереоскопические модели по каждой стереопаре аэрофотоснимков;

- Выполнен сбор ЦМО средствами ПО Digital's по слоям в соответствии с классификатором, сформированным в среде Digital's на основе существующего классификатора-шаблона для указанного масштаба, исходя из состава объектов на рассматриваемой территории; число слоев – 44; объектов (линейных, площадных, точечных) – 3307;
- Выполнен сбор ЦМР в виде горизонталей с сечением 1 м; число горизонталей – 68;
- Конвертирование результатов сбора цифровой информации для ЦМО, ЦМР в форматы экспорта – MID/MIF;
- Импорт результатов сбора цифровой информации для ЦМО, ЦМР в ГИС КАРТА 2005 (версия 9.15.3).
- Импорт результатов сбора цифровой информации для ЦМО, ЦМР в ERDAS IMAGINE VirtualGIS (версия 9.0);

Создание трехмерной видеосцены выполнялось в средах двух 3D-ГИС: ГИС КАРТА 2005 (версия 9.15.3) и ERDAS IMAGINE VirtualGIS (версия 9.0).

Приведены результаты экспериментальных исследований предложенной технологии.

В результате исследований:

- Разработаны дополнительные требования к подготовке информационного обеспечения (подготовка классификатора, правила сбора цифровой информации о рельефе и объектах);
- Проверена степень идентичности модели рельефа, полученной на ЦФС, и модели рельефа, полученной в ГИС КАРТА 2005 (версия 9.15.3) и ERDAS IMAGINE VirtualGIS (версия 9.0). Результаты представляются в табличном виде на слайдах;
- По результатам экспериментальных исследований предложенной технологии сделаны выводы: создаваемые на ЦФС по материалам аэросъемки ЦМР, ЦМО, с учетом выполнения дополнительных требований к подготовке информационного обеспечения могут использоваться для последующего получения трехмерных видеосцен в ГИС;
- Намечены пути решения следующего этапа работ, связанного с проблемами повышения реалистичности создаваемых моделей объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуда, Р.О. Распознавание образов и анализ сцен / Р.О. Дуда, П.Е. Харт; пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 511 с.
2. Важнейшие фундаментальные и прикладные проблемы геоинформатики/ И.А. Соколов, В.Н. Филатов, А.И. Мартыненко и др. // Геодезия и картография. – 2006. – № 11. – С. 47–56.
3. Основные проблемы пространственного представления местности в цифровых картографических изделиях / В.Н. Филатов, В.А. Авдеев, Р.С. Мухудинов, В.А. Радионов // Геодезия и картография. – 2007. – № 4. – С. 35–38.

4. Городскому управлению Вены дано еще одно измерение / По материалам ESRI // ArcREView. – 2008. – № 4 [47]. – С. 22–23.
5. Журкин, И.Г. Технология трехмерного моделирования городских территорий на основе ГИС / И.Г. Журкин, М.А. Баклыков, С.В. Еруков // Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 225-летию МИИГАиК. Геоинформатика. – М., 2004. – С. 6–13.
6. Технология построения измерительных трехмерных видеосцен по данным ЦММ: проблемы и пути решения / Т.А. Хлебникова // Геодезия и картография. – 2008. – № 2. – С. 44–46.
7. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.
8. Журкин, И.Г. Анализ структуры данных для представления в ГИС / И.Г. Журкин, А.А. Никишин // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 44–49.

© Т.А. Хлебникова, Е.Н. Кулик, 2009

УДК 502.55:621.4:625.7

С.В. Ковтун

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ ДЛЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ Г. КРАСНОЯРСКА

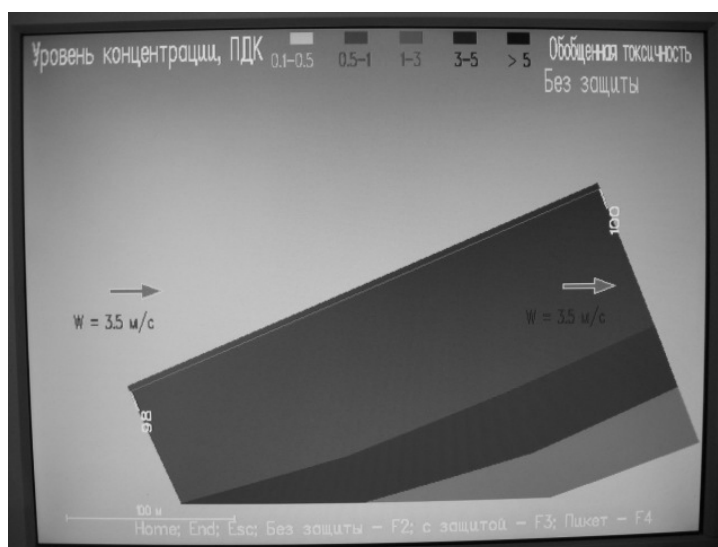
S.V. Kovtun

Institute of Computational Modeling SB RAS, Krasnoyarsk

CONSTRUCTION OF A DIGITAL MODEL OF DISTRICT FOR THE STREET-HIGHWAY SYSTEM OF KRASNOYARSK

In work is under construction digital model of district of Krasnoyarsk, on which projects axes of the basic transport highways. The problem is put to construct isolines of emissions of transport streams taking into account geographical and meteorological features of the regional centre.

В работе строится цифровая модель местности г. Красноярска, на которой запроектированы оси основных транспортных магистралей. Ставится задача построить изолинии выбросов транспортных потоков с учетом географических и метеорологических особенностей краевого центра.



Уровень концентрации показателя обобщенной токсичности в районе КрасТЭЦ

- С помощью программного комплекса CREDO получены данные по обобщенной токсичности для магистральных улиц;
- Построены изолинии распределения СО при различных направлениях и скоростях ветра на пр. имени газеты «Красноярский рабочий»;

– Построены изолинии фоновой концентрации для выбросов, контролируемых территориальным Центром по мониторингу загрязнения окружающей среды.

© С.В. Ковтун, 2009

УДК 528

Е.А. Кобзева

ФГУП «Уралгеоинформ», Екатеринбург

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ТЕРРИТОРИЙ

E.A. Kobzeva

FGUP «Uralgeoinform»

51, Studencheskaya str., Ekaterinburg, 620078, Russia

PROBLEMS OF SATELLITE IMAGERY APPLICATION IN AREA MONITORING

For the past few years satellite imagery data have become a common source of geoinformation and are widely used by geologists, foresters, cartographers and other specialists. FGUP «Uralgeoinform» has been working with satellite images since 2004 and mainly uses them to extract spatial data for the purpose of monitoring urban areas and oil- and gas fields in the Ural Federal Okrug, as well as for making and updating digital topographic maps within the scale range of 1:5 000–1:200 000. Our experience allowed to reveal a number of problems, associated with satellite imagery processing.

The paper examines a standard procedure for satellite imagery processing, which includes collection and analysis of data from satellite images and other sources, GCPs collection, generation of digital elevation models (DEMs), orientation and orthotransformation of satellite images, their visual and automated interpretation. «Complicated» aspects of some stages are discussed, such as:

- Selection of an optimal sensor in terms of efficiency, performance specification and price,
- Integration of data from different satellites for vast areas
- Loss of GCPs in case of repeated surveys
- Software renewal, required by new satellite imagery formats
- Etc.

Timely consideration of these problems allows to organize a production process in a more effective way and reduce the corresponding time and labour costs.

В последние несколько лет данные дистанционного зондирования Земли из космоса стали распространенным источником геоинформации и прочно вошли в арсенал геологов, лесников, картографов и других специалистов. В ФГУП «Уралгеоинформ» космические снимки используются с 2004 года, в основном, для получения пространственных данных при мониторинге территорий муниципальных образований и нефтегазовых промыслов, а также для создания

и обновления цифровых топографических карт масштаба от 1:5 000 до 1:200 000. Накопленный опыт выявил ряд проблем обработки спутниковых изображений, некоторые из которых приводятся в данном докладе.

Стандартная технологическая схема обработки космических снимков (рис. 1) включает три основных блока: подготовительные работы, геометрическую коррекцию космических снимков, извлечение необходимой информации.

На подготовительном этапе определяется подходящий космический сенсор и устанавливаются требования к материалам космической съемки. Чаще всего выбор космического сенсора осуществляется исходя из пространственного разрешения и стоимости съемки. В расчет не принимаются такие параметры, как емкость записывающего устройства на борту или загруженность космического аппарата, что приводит к несвоевременному поступлению материалов съемки.



Рис. 1

На рис. 2 приведена иллюстрация съемки одного из производственных объектов в Западной Сибири со спутника QuickBird. Как видно из рисунка, лишь 81 % территории было отснято в первый съемочный сезон (с июня по октябрь). Во второй год не было получено ни одного (!) кадра, в третий год отснято 13 % территории. Таким образом, за три съемочных сезона участок площадью 17,6 тыс. кв. км так и не был полностью обеспечен космической съемкой. Следовательно, при съемке обширных территорий целесообразна интеграция ресурсов нескольких спутников, имеющих аналогичные характеристики, например, QuickBird плюс Ikonos или QuickBird плюс WorldView-1.

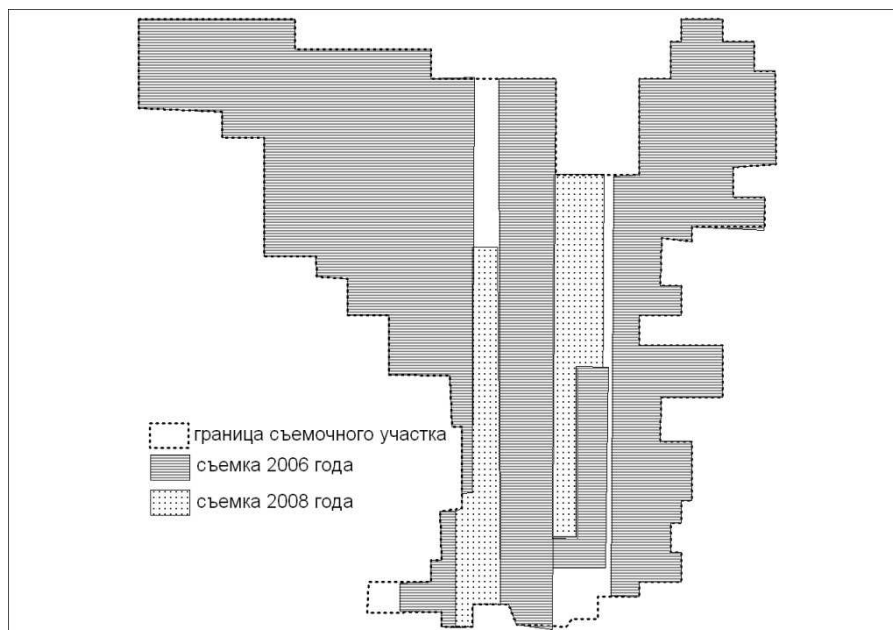


Рис. 2

Граница космической съемки должна выступать за границу картографируемого участка местности (см. «Инструкцию по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов». М, 2002 г.). При заказе материалов космических съемок среднего и высокого разрешения (от 2 до 30 м) это требование выполняется автоматически, так как данные среднего и высокого разрешения поставляются целыми снимками (рис. 3). Однако для космической съемки сверхвысокого разрешения (1 м и лучше) поставка материалов осуществляется в границах полигона произвольной формы (рис. 4), поэтому заказывать такие материалы следует с «запасом» по периметру района работ.

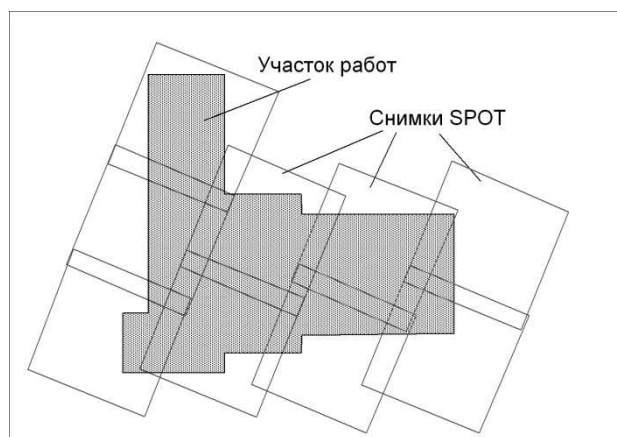


Рис. 3

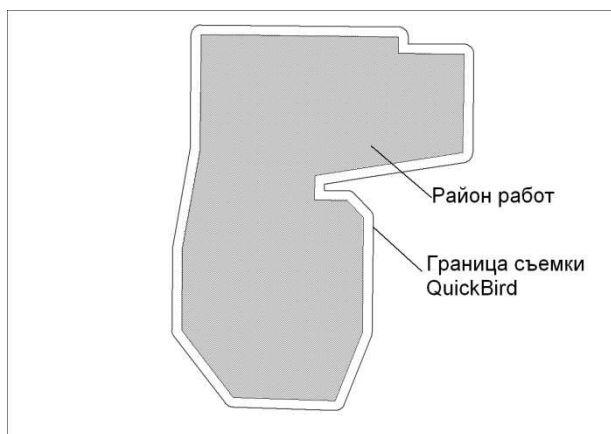


Рис. 4

Широкое распространение при фотограмметрической обработке космических снимков нашел так называемый RPC-метод, основанный на аппроксимации строгой модели съемки рациональными многочленами третьей степени. Пользователю предоставляются коэффициенты многочленов, с

помощью которых легко устанавливается связь между точками снимка и точками земной поверхности. При использовании этого метода необходимо учитывать, что RPC-коэффициенты рассчитываются для всей площади снимка, и точность аппроксимации будет понижаться с увеличением размера снимка. Поэтому при проведении высокоточных картографических работ желательно ограничивать размер снимков таким образом, чтобы длина снимка вдоль маршрута не превышала двух значений его ширины.

При мониторинге территорий выполняются повторные съемки участка местности. В этом случае ориентирование разновременных космических снимков целесообразно выполнять по одним и тем же опорным точкам. Однако с течением времени объекты, служащие опорными точками, могут быть утрачены на местности и не изобразятся на снимке вследствие реконструкции квартала, нового строительства и т. д. Выполнение же новой планово-высотной подготовки космических снимков требует временных и финансовых затрат. В этом случае нами применяется аналитическая вставка утраченных опорных точек из предыдущих циклов мониторинга. Методика основана на полиномиальных уравнениях и подходит для снимков с любыми параметрами съемки: с различным пространственным разрешением, различной геометрией съемки и т.д. Проведенные экспериментальные работы показали точность аналитической вставки опорных точек на космических снимках Ikonos и QuickBird равную 0,4–0,6 м.

В настоящее время существует большой выбор программного обеспечения для обработки космических снимков. Наиболее распространенными в России являются ERDAS (США), PHOTOMOD (Россия), GEOMATICA (Канада), ENVI (США). Как показывает их анализ, функциональные характеристики различных программных комплексов схожи, и выбор между ними определяется кругом поставленных задач и личными пристрастиями пользователей. Однако, какой бы продукт не был выбран, приобретенная версия с течением времени устаревает. Как правило, стоимость техподдержки за пять лет равнозначна стоимости приобретения полной версии программного обеспечения. Новые версии обогащаются новыми функциями, появляется возможность обработки снимков, полученных новым космическим аппаратом и пр. Но не только эти факторы вынуждают обновить программное обеспечение. Многие операторы систем ДЗЗ хотя бы раз на протяжении времени функционирования космического аппарата изменяют формат поставляемых космических снимков. В качестве примера можно назвать снимки QuickBird, Ikonos, Spot. В соответствии с новым форматом снимков вносятся изменения в программный продукт. Таким образом, в старых версиях программного обеспечения не всегда возможна обработка современных материалов съемок, а в новых версиях – обработка архивных данных.

Развитие цифровой фотограмметрии значительно упростило обработку аэрокосмических снимков. Отказ от сложного оборудования, громоздких технологических цепочек позволил оперативнее и дешевле изготавливать продукцию на основе материалов дистанционного зондирования, и в то же

время позволил выполнять фотограмметрическую обработку снимков специалистам из других отраслей знаний. Однако при цифровых технологиях гораздо легче внести ошибку и не заметить ее – компьютер более гибкий инструмент, чем стереопроектор или фототрасформатор. Тем более необходимо глубокое понимание процессов ориентирования, ортотрансформирования, мозаикирования космических снимков и строгое соблюдение технологии выполнения этих работ. В этой связи важную роль играет обучение и переподготовка фотограмметристов, в том числе в Сибирской государственной геодезической академии, а также преемственность практического опыта и профессиональных традиций на производстве.

© *Е.А. Кобзева, 2009*

УДК 528.73

А.С. Ессин, С.С. Ессин

ОмГАУ, Омск

ТЕХНОЛОГИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ АЭРОФОТОСНИМКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С БПЛА, В ЦЕЛЯХ СОЗДАНИЯ ОРТОФОТОПЛАНОВ

A.S. Essin, S.S. Essin

West-Siberian Branch of FSUE «Goszemkadastrsjemka»–VISHAGI

4, Mira Avenue, Omsk, 644080, Russian Federation

TECHNOLOGY OF FOTOGRAMMETRICAL PROCESSING OF AEROFOTOIMAGES, GOT WITH UFM, IN PURPOSE OF THE CREATION ORTOFOTOPLANS

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.

Цифровые малоформатные фотокамеры получили широкое применение в фотограмметрии. 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 200 до 600 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, площадью до 10 кв. км.

Материалы аэрофотосъемки, выполняемой с беспилотной авиамодели, имеют следующие особенности (рис. 1):

- 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, не эффективна.

В Западно-Сибирском филиале ФГУП «Госземкадастрсъемка»–ВИСХАГИ разработаны алгоритмы и программное обеспечение для обработки материалов аэровидеосъемки, выполняемой с беспилотной авиамодели [2, 3, 5]. 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. По данной технологии созданы ортофотопланы масштаба 1 : 2 000 на общую площадь более 200 кв. км.



Рис. 1. Схема блока из аэрофотоснимков, полученных с беспилотной авиамодели

С использованием указанной технологии обработки можно определять только плановые координаты точек местности, ее применение в горных районах недопустимо. Поэтому следующим этапом совершенствования технологии фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки, выполняемой с беспилотной авиамодели, был выполнен переход к пространственному фототриангулированию.

Материалы аэрофотосъемки полученные с беспилотной авиамодели обрабатываются в следующей последовательности.

На первом этапе выполняется отбор снимков. Критерии отбора снимков: высота фотографирования, углы наклона и качество изображения.

Затем выполняется калибровка снимков, в результате которой устраняются нелинейные искажения на снимке и определяется его фокусное расстояние.

Далее выполняется создание электронного накидного монтажа и формирование фотограмметрического блока. Электронный накидной монтаж создается путем последовательного подориентирования снимков к электронному накидному монтажу. При этом выполняется их трансформирование с использованием проективных преобразований.

На электронном накидном монтаже указывается положение опорных точек. Блок фототриангуляции формируется с учетом расположения опорных точек на электронном накидном монтаже, при этом из электронного накидного монтажа удаляются избыточные снимки.

Затем на электронном накидном монтаже задается проектное положение связующих точек и выполняется измерение координат каждой точки на всех снимках где она изобразилась с применением коррелятора.

Приближенные значения элементов внешнего ориентирования, необходимые для уравнивания сети, определяются в два этапа:

1. Грубое определение элементов внешнего ориентирования на основе данных электронного накидного монтажа.

- Плановые координаты центра фотографирования приравниваются координатам центра снимка на монтаже;
- Высота центра фотографирования приравнивается к высоте полета;
- Значение продольного и поперечного углов наклона устанавливается равным нулю;
- Значение угла разворота берется с электронного накидного монтажа.

2. Вычисляются приближенные значения элементов внешнего ориентирования на основе обратной фотограмметрической засечки. При этом в качестве координат точек местности используются координаты связующих точек определенных с электронного накидного монтажа на средней высоте.

Уравнивание блока фототриангуляции выполняется по методу связок [1, 4].

Цифровая модель рельефа, необходимая для ортотрансформирования, создается с использованием точек фототриангуляции, расположенных на поверхности земли, или используется цифровая модель рельефа, полученная от внешнего источника.

С использованием урвненных элементов внешнего ориентирования и цифровой модели рельефа выполняется ортотрансформирование снимков. По ортотрансформированным снимкам проводятся линии порезов, выполняется выравнивание яркости и формируется ортофотоплан.

По данной технологии выполнялись производственные работы по созданию ортофотопланов масштаба 1:2 000 на территорию пяти населенных пунктов Омской области.

Оценка точности ортофотопланов показана в табл. 1.

Таблица 1. Контроль точности создания ортофотопланов

Название населенного пункта	Кол-во оп. и контр. точек	Остаточные отклонения на опорных и контрольных точках, м		Допустимые отклонения, м	
		Средние	Предельные	Средние	Предельные
п. Орехово	19	0,47	0,97	1,0	2,0
п. Желанное	25	0,68	1,25	1,0	2,0
п. Новоильиновка	16	0,32	1,20	1,0	2,0
п. Калинино	40	0,39	0,76	1,0	2,0
п. Хлебодаровка	25	0,37	0,95	1,0	2,0

Таким образом, точность изготовленных ортофотопланов удовлетворяет требованиям, предъявляемым при создании ортофотопланов масштаба : 2 000.

Перспективным направлением при обработке материалов аэрофотосъемки с беспилотной авиамодели являются, построение пространственной фототриангуляционной сети с самокалибровкой снимков.

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. гонгр. «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. № 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

A.P. Guk, Yehia Hassan Miky Hassan

SSGA, Novosibirsk

COMPARATIVE STUDY OF METHODS OF REMOTE SENSING IMAGE CHANGE DETECTION

А.П. Гук, Йехиа Хассан Мики Хассан

СГГА, Новосибирск

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ

В этой работе рассматриваются три главных метода обнаружения изменений: 1) метод вычитания изображений; 2) метод соотношения изображений; 3) метод обнаружения изменений после классификации. Вначале исследуются факторы, воздействующие на обнаружение изменений. После определения основного принципа трех главных методов проверка методов была продолжена с помощью программного обеспечения ENVI. В итоге мы пришли к следующим выводам. Метод вычитания изображения прост и удобен. Главный его недостаток – невозможность отразить уровень изменений. Метод соотношения изображений применим при обнаружении изменений. Его недостаток заключается в том, что также невозможно определить уровень изменений. Этот метод дает лишь информацию о характере изменений. Его недостаток – в том, что точность метода зависит от точности классификации, а это не может использоваться для обнаружения изменений детали.

Introduction

Change detection is generally considered to mean the identification of changes in images scenes taken at different points in time. Changes in the earth's surface can be identified by remote sensing. Due to the nature of the existing satellite scanners, in past decades large-scale features, such as forest cover or land use, have mainly been studied. With increasing resolution of the satellite sensors, smaller scale phenomena can now be discovered and investigated.

In the 1980s, some people started to study change detection. In the change detection, multi-band remote sensing image is usually used due to it provides enough information. The change detection methods of multi-band remote sensing image can be divided into image subtraction method and the method of change detection after classification. Principal component analysis method and multivariate alteration detection (MAD), changing vector analysis method and spectral features variance method are usually used in the former change detection method. Classifying firstly and then comparing the classified information is the latter change detection method.

There is change detection based on elevation change information of digital surface model apart from the change detection of the multi-band remote sensing images.

Image preprocessing

The objects of remote sensing change detection are images in the same region in different periods. The background environment reflected through the remote sensing image obtained in different instant is different because of the influence of various factors in the acquisition process. These factors can be divided into two categories: remote sensing system factors and environmental factors. The remote sensing system factors are: the impact of temporal resolution, spatial resolution, spectral resolution and radiation resolution. The environmental factors are: the impact of atmospheric conditions and soil. The impact at different times and the influence of these factors on the images must be fully taken into account in the change detection. The influence may be eliminated as much as possible by the geometric registration and radiometric correction on the remote sensing images. It makes that this test is built on a unified basis and more objective result can be obtained.

All image processing was performed within the ENVI remote sensing image analysis environment using subsets of Landsat-4 (TM) and Landsat-7 (ETM+) covering a small area over the center of Novosibirsk, Russia. The data consist of six spectral bands with 400x400x28.5 meter pixels. The acquisition dates are 5 August 1989 and 18 September 1999.

The main change detection methods

There are many types of change detection methods of multi-spectral image data.

They can be classified as three categories: characteristic analysis of spectral type, vector analysis of spectral changes and time series analysis. The aim of characteristic analysis of spectral type method is to make sure the distribution and characteristic of changes based on spectral classification and calculation of different phases remote sensing images. The methods are multi-temporal images stacking, algebraic change detection algorithm of image, and change detection of the main components of the image and change detection after classification. The aim of the method of vector analysis of spectral changes is to make sure the strength and direction characteristics of changes based on radicalization changes of images of different time especially analyzing the differences of each band. The aim of the method of time series analysis is to analyze the process and trend of changes of monitoring ground objects based on remote sensing continual observation data.

Image subtraction method, image ratio method and the method of change detection after classification are mainly introduced in the next.

Image subtraction method

Image subtraction method is a change detection method of the most extensive application. It can be applied to a wide variety of types of images. It is generally conducted on the basis of gray. A subtraction image is gained from the subtracting of the gray value of corresponding pixels of images after image registration. The gray

value of the subtraction image is to show the extent of changes of two images. The changed region and unchanged region is determined by selecting the appropriate threshold values of gray of subtraction image. The formula is:

$$Dx^k_{(i,j)} = x^k_{(i,j)}(t_2) - x^k_{(i,j)}(t_1) + C$$

Where i, j as pixel coordinates, k for the band, $x^k_{(i,j)}(t_1)$ for the pixel (i, j) value of k -band image, t_1, t_2 for the time of the first and the second image, C is constant.

For most change detection methods, the choice of the threshold value decides the capability of change detection. Choosing a suitable threshold value can maximum separate the areas of real change and the areas of the impact of random factors. The selection of a high threshold value will cause a lot of missed inspecting, while the selection of a low threshold value will cause void inspecting. In the new gained image, positive or negative value of the image denotes the region whose radiation value is changed, and there is no change in the region when the image value is 0. In the 8-bit image, pixel value is ranging from 0 to 255, and its image subtraction value is ranging from -255 to 255. As the subtraction value is often negative, it can add a constant C . The brightness values of subtraction image are often approximating Gaussian distribution, the unchanged pixels are centralizing around average value and the changed pixels are in the distribution of the tail



Figure 1. The result of image subtraction method

Image ratio method

In this method, the ratio of corresponding pixels in each band from two images of different periods after image registration will be calculated. The formula is:

$$Rx^k_{(i,j)} = x^k_{(i,j)}(t_1) / x^k_{(i,j)}(t_2)$$

If the corresponding pixels of each image have the same gray value, namely $Rx^k_{(i,j)} = 1$, showing that there has been no change occurred.

In the changed region, the ratio will be much greater than 1 or far less than 1 according to the different direction of changes. As in many cases, $x^k_{(i,j)}(t_2)$ may be equal to zero. In order to overcome this situation, the denominator would be added a very small value (e.g. 0.01) when the denominator is equal to zero on the computer. Because the real ratio is ranging from $1 / 255$ to 255, the range of the ratio is usually normalized to $0 \sim 255$ for display and processing. 1 of the ratio is usually assigned to 128 of brightness. $1 / 255$ to 1 of the ratio would be transformed to $1 \sim 128$ by the following linear transformation:

$$NRx^k_{(i,j)} = \text{Int}[Rx^k_{(i,j)} \times 127 + 1]$$

1 to 255 of the ratio would be transformed to $128 \sim 255$ by the following linear transformation

$$NRx^k_{(i,j)} = \text{Int}[128 + Rx^k_{(i,j)} / 2]$$

A threshold value is needed to select to outlining significant changes region in the ratio image. The ratio image will be converted to a simple change / no change image or positive change / negative change image to reflect distribution and size of the changes. The choice of threshold value must be based on the characteristics of the regional research targets and the surrounding environment. A threshold value will vary in different regions, different times and different images. The threshold value border of «change» and «no change» pixels is often chosen from the histogram of the ratio image

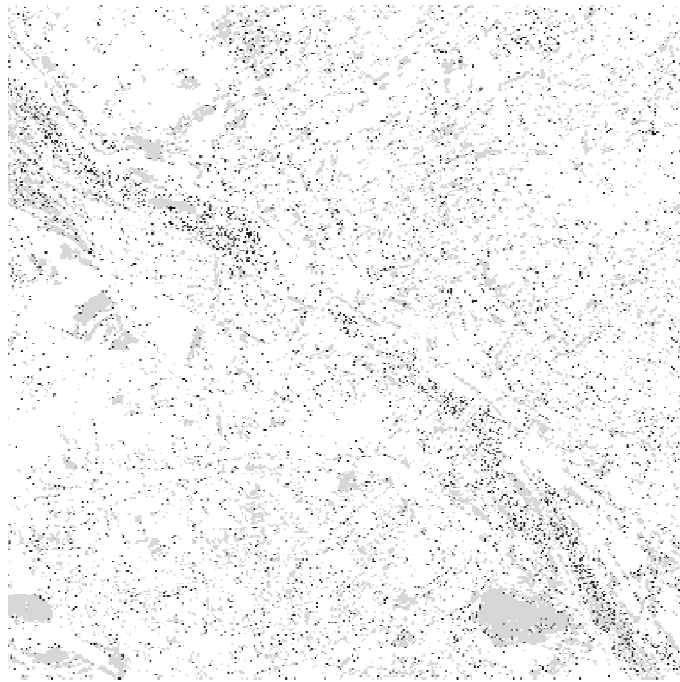


Figure 2. The result of image ratio method

The method of change detection after classification

The method of change detection after classification is the most simple change detection analysis techniques based on the classification. After classification compare method can be used to two or more images after registration, including a classification step and a comparing step. Each image of multi-temporal images is classified separately and then the classification result images are compared. If the

corresponding pixels have the same category label, the pixel has not been changed, or else the pixel has been changed. There are supervised classification methods and non-supervised classification methods. Non-supervised classification is used in this experiment. Non-supervised classification is also known as cluster analysis or point cluster analysis. That is the process of searching and defining the natural spectrum cluster group in the multi-spectral image. Non-supervised classification does not need artificial selection training. Only a little artificial initial input is needed, the computer automatically composes cluster group according to pixel spectral or space. And then each group and the reference data will be compared and divided into a certain category. Two remote sensing images of different time after registration are classified separately and two classification images are gained. The change image is made by comparing each pixel. The type of change of each changed pixel is determined by the change detection matrix.

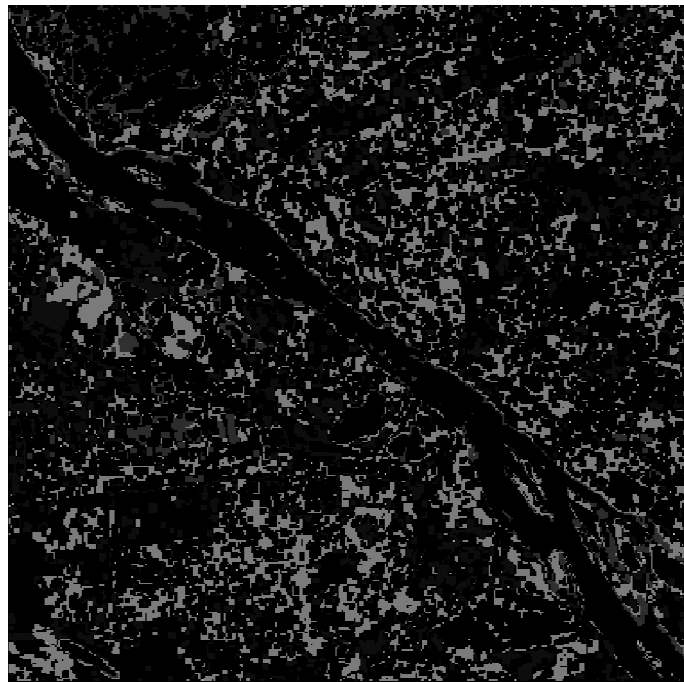


Figure 3. The result of the method of change detection after classification

Analysis of three change detection methods

From the precision of view, the change region of the image ratio method is more accurate, followed by the image subtraction method, the last is the method of change detection after classification.

On an operational perspective, image subtraction method and image ratio method have relatively simple operation and cost less time. The method of change detection after classification is more complicated and time-consuming.

From the application perspective, image subtraction method and the method of change detection after classification do not apply to the change detection of details of urban. And image ratio method can be used for change detection.

Looking at the results from the image, image subtraction method and image ratio method can only detect the scope and degree of changes and can not give the

nature and causes of changes, namely the transformed information of the types. The method of change detection after classification can provide this information.

REFERENCES

1. Wang Fangju., A Knowledge-Based Vision System For Detecting Land Changes at Urban Fringers[J].IEEE Trans Geoscience and Remote Sensing, 31(1):136–145.
2. Dwivedi, T., Sreenivas, K. and Ramana, K. V., Comparison of classifiers of remote sensing data for land use/land-cover mapping. Curr. Sci., 2004, 86, 328–335.
3. Zhang Shaoqing , Xu lu , the comparative study of three methods of remote sensing image change detection, the international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 2008, vol. xxxvii. part b7 1595–1598.

© *A.P. Guk, Yehia Hassan Miky Hassan, 2009*

УДК 528.7

A.P. Guk, Yehia Hassan Miky Hassan

SSGA, Novosibirsk

MULTI-SCALE WAVELET TRANSFORMATION OF IMAGES FOR CHANGE DETECTION PURPOSES

А.П. Гук, Йехиа Хассан Мики Хассан

СГГА, Новосибирск

МНОГОМАСШТАБНОЕ ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЦЕЛЕЙ

Обнаружение изменений в данных, полученных в разное время, является важной задачей анализа данных с приложением в различных научных областях. В этой статье мы предлагаем подход к изучению проблемы обнаружения изменений в этих данных, которые могут обнаружить место расположения изменений. Этот подход основан на вейвлет преобразовании, которое делает коэффициенты отличными от нуля только в точках изменения. Изображения, полученные тем же самым сенсором множество раз в разные периоды времени, обычно используются для обнаружения изменений, однако использовать аэрофотоснимки слишком дорого. Изображения со средним пространственным разрешением обычно имеют более широкий масштаб и более низкую цену, чем аэрофотоснимки. Таким образом, это мог бы быть хороший способ обнаружения изменений. На данном этапе исследования предлагается рентабельный и практический метод обнаружения изменений. Он включает в себя вейвлет преобразование для сравнения двух различных типов изображений.

Wavelet Transforms

Wavelets basically intended to address shortcomings of the short time Fourier transform (STFT). Instead of using the fixed time and frequency resolution in the STFT, wavelet transforms are able to provide the time and frequency representation of the signal. In order to use the idea of multi resolution, wavelet transforms can be defined as a scaling function and a wavelet function. These functions composed of translations and scaling of a scaling function and a wavelet function are:

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \varphi(2^j t - k) \quad (1)$$

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad (2)$$

Where $\varphi_{j,k}(t)$ and $\psi_{j,k}(t)$ are the scaling function and the wavelet function respectively (Burrus et al, 1998).

According to the basic requirement of multi resolution analysis (MRA), the scaling function space, V_j can be formulated:

$$\nu_j \subset \nu_{j+1} \text{ For all } j \in Z \quad (3)$$

$$\nu_{-\infty} = \{0\}, \nu_{\infty} = \{L^2(R)\} \quad (4)$$

where Z is the set of integers and $L^2(R)$ is the space of all functions $f(t)$ with a well defined integral of the square of the modulus of the function. Then, $\varphi(t)$ can be simply expressed:

$$\varphi(t) = \sum_n h_{\varphi}(n) \sqrt{2} \varphi(2t - n) \quad (5)$$

Where $h_{\varphi}(n)$ is the scaling function coefficients.

There are some advantages that a scaling function and a wavelet function are orthogonal. Therefore, the related wavelet function space, w_j is the orthogonal complement of ν_j in ν_{j+1} .

Then, the wavelet function space can be defined:

$$\nu_{j+1} = \nu_j \oplus w_j \quad (6)$$

In general

$$\{L^2(R)\} = \nu_j \oplus w_j \oplus w_{j+1} \quad (7)$$

Where $\oplus$ is the direct sum.

Then, $\psi(t)$ can be expressed:

$$\psi(t) = \sum_n h_{\psi}(n) \sqrt{2} \varphi(2t - n) \quad (8)$$

Where $h_{\psi}(n)$ is the scaling function coefficients.

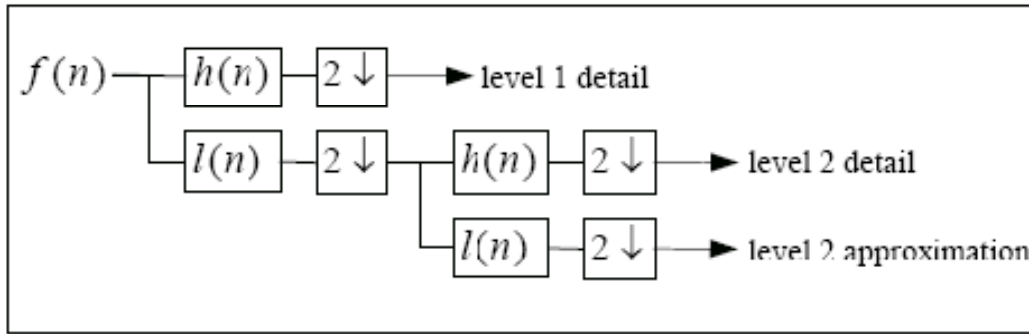


Fig. 1 Two-level one-dimensional DWT filter bank

While our interest is in discrete images, discrete wavelet transforms (DWT) is commonly used to implement wavelet transforms. It is easy to apply and reduce a computational burden. The process of DWT can be represented as two operations; filtering and down-sampling. The filtering implements a low-pass filter extracting the approximate coefficients, and a high-pass filter extracting the detail coefficients. Then, the down-sampling reduces the resolution by a factor of two at each level. These processes are called the filter bank illustrated in Fig. 1.

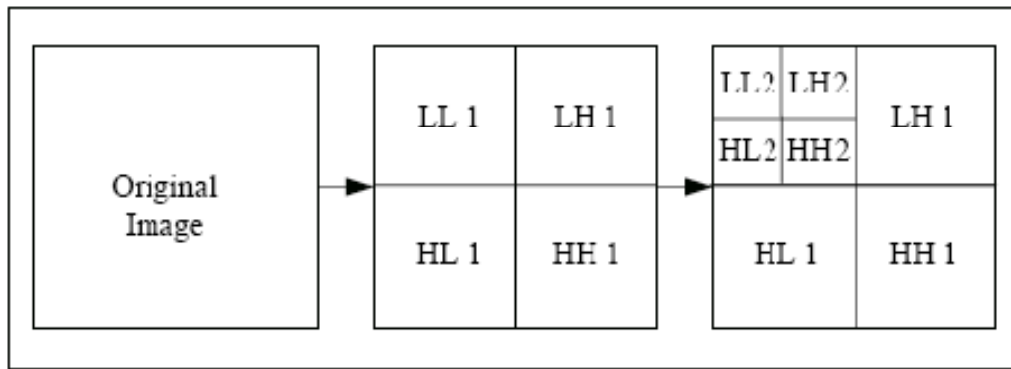


Fig. 2 Two-level two-dimensional image decomposition

By applying the DWT filter bank to two-dimensional images, an image is actually decomposed into four images at each decomposed level. It first applies to the columns and then to the rows. Consequently, it produces one approximation coefficient (LL) and three detail coefficients (LH: horizontal, HL: vertical, HH: diagonal). To obtain the next level of detail coefficients, the DWT filter bank applies the LL alone, and it results in two level decompositions as shown in Fig. 2.

The rule of scale is critical for the analysis of change. Since there is no way of defining a priori the appropriate scales associated to specific patterns. Because there is a need to derive adequate rules for transferring information through multiple scales, it is imperative to develop a multi-scale approach that allows dominant patterns to emerge at their characteristic scales of expression.

In this paper we used band 3 of an Image over Novosibirsk, Russia, Landsat ETM+ September 18, 1999 band 3 Fig.3 and the wavelet toolbox in MATLAB to produce wavelet transformation of this image.

Three levels wavelet transform decompose image into one approximation and three detail coefficients Fig.4 and Fig.5.

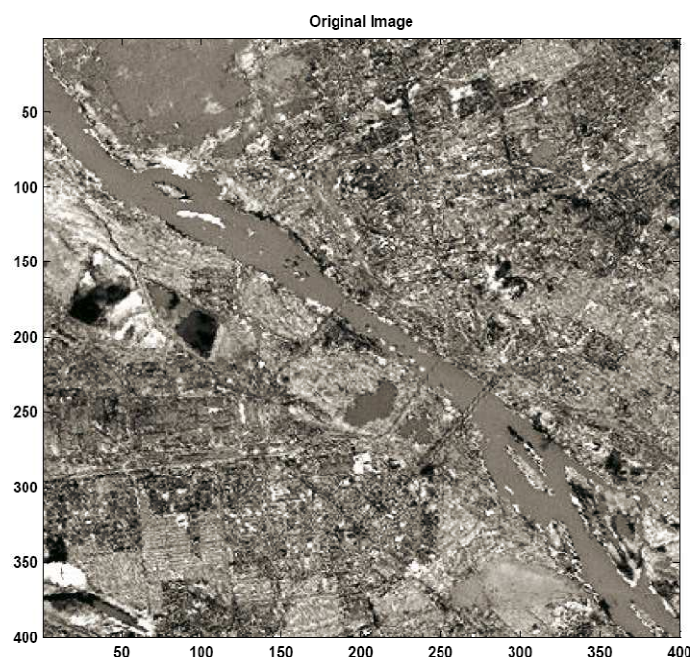


Fig. 3. Image over Novosibirsk, Russia, Landsat ETM+ September 18, 1999 band 3

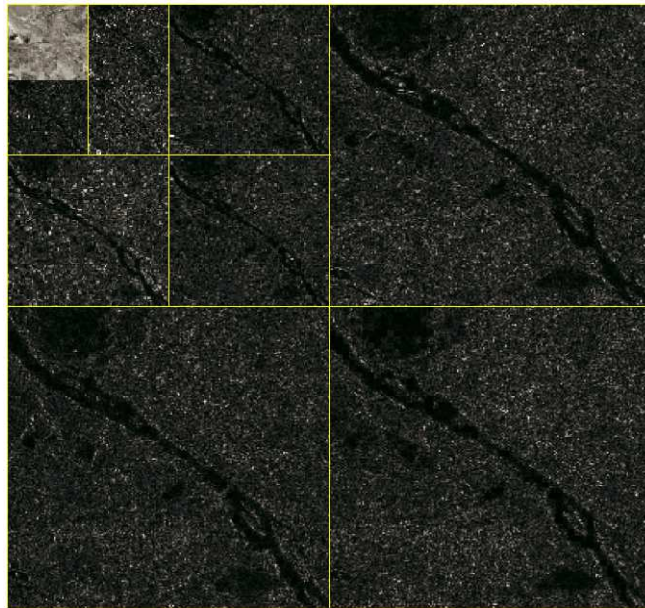


Fig. 4 three-level two-dimensional image decomposition

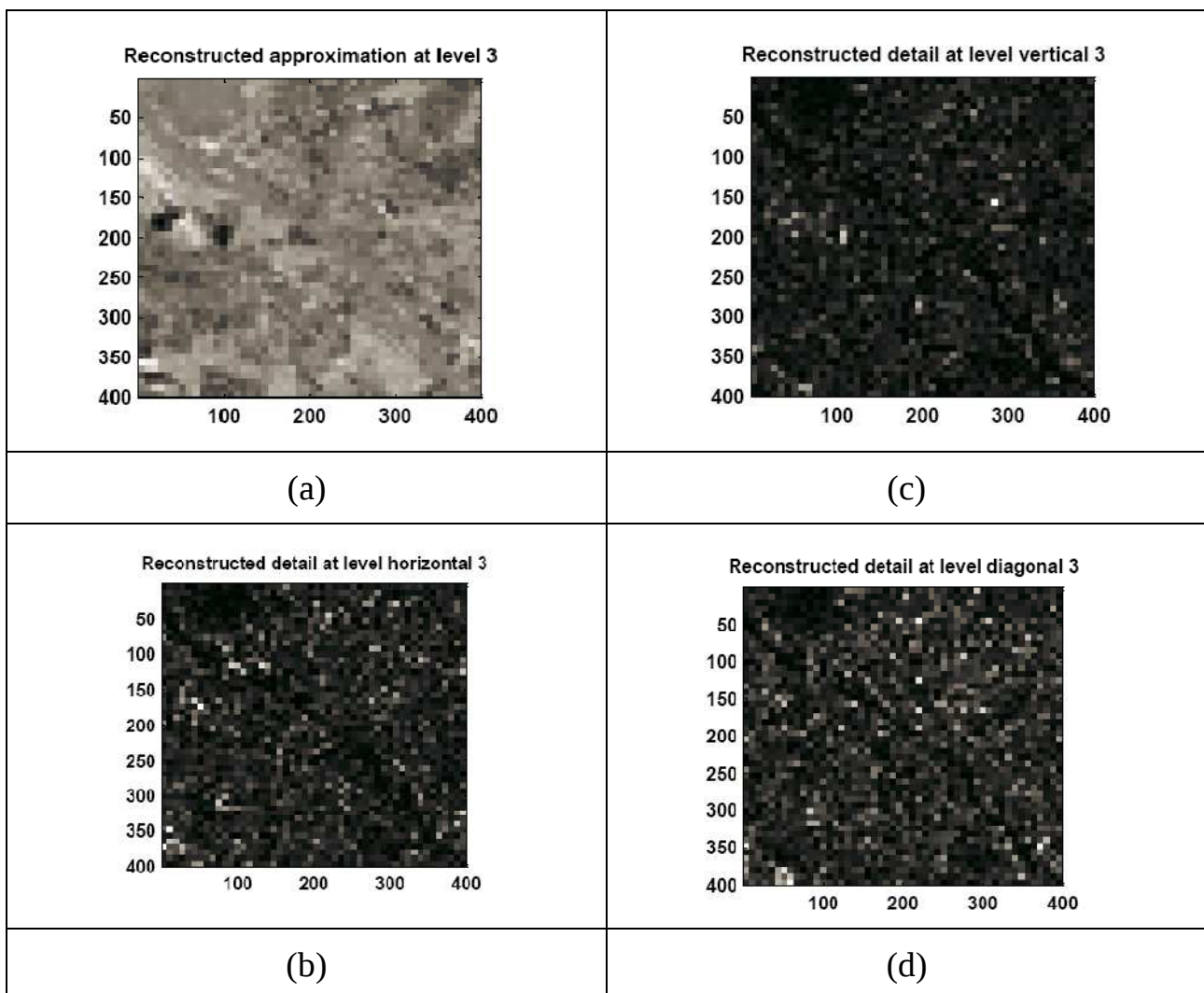


Fig. 5 Wavelet transform: 3th level coefficients of 3th band of Landsat ETM+ (a) approximation, (b) horizontal detail, (c) vertical detail, (d) diagonal detail

REFERENCES

1. P. L. Dragotti and M. Vetterli. Wavelet transform footprints: Catching singularities for compression and denoising. In ICIP, 2000.
2. J. Daryaei, Digital Change Detection Using Multi-Scale Wavelet and Neural Network, Master thesis Geoinformatics dep. Enschede, the netherlands, 2003.
3. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. and Moran, E., 2004. Change detection techniques. International Journal of Remote Sensing, 25(12), pp. 2365-2407.

© *A.P. Guk, Yehia Hassan Miky Hassan, 2009*

УДК 621.383

Г.Г. Горбунов

ФГУП «НПК «ТОИ им. С.И. Вавилова»», Санкт-Петербург

В.Б. Шлишевский

СГГА, Новосибирск

СТАТИЧЕСКИЙ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТР КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРА

G.G. Gorbunov

Federal State Unitary Enterprise

«Scientific and production complex S.I. Vavilov State Institute of Optics»

St. Petersburg

V.B. Shlishevsky

SSGA, Novosibirsk

STATIC FOURIER-SPECTROMETER AS THE MAIN ELEMENT OF MODERN HYPERSPECTRAL VIDEOSPECTROMETER CONSTRUCTION

In order to increase efficiency of remote sensing techniques hyperspectral videospectrometers on the basis of fourier-spectrometers are used now. Here it is advisable to use the schemes based on static fourier-spectrometer, providing the necessary comparatively small spectral resolution and high external action stability. Different schemes for constructing static fourier-spectrometers are considered. They ensure fast and successful detection and recognition of the object in search-and-reconnaissance systems.

Наиболее развитым методом дистанционного зондирования Земли в настоящее время, безусловно, являются гиперспектральные видеоспектрометры. Совместное использование пространственного и спектрального разрешения исследуемых сцен значительно облегчает задачу обнаружения и распознавание различных закамуфлированных объектов. Как уже отмечалось ранее [1, 2], применение метода фурье-спектрометрии дает возможность создать видеоспектрометры, значительно превосходящие все разработки видеоаппаратуры, использующие классические (дисперсионные и дифракционные) полихроматоры. Отсутствие необходимости установки входной щели позволяет применять только один выходной объектив вместо необходимых трех объективов в традиционном полихроматоре. Кроме того, при такой компоновке прибора возможно применение совершенно другого типа сбора информации по сравнению с классическими видеоспектрометрами. Если последние производят сбор информации с помощью щели, сдвигающейся по исследуемой сцене за счет движения носителя (режим pushbroom), то в фурье-

видеоспектрометрах возможно применение «кадрового» режима (режим windowing), который, во-первых, значительно повысит отношение сигнал/шум в получаемом спектре и, кроме того, позволит значительно уменьшить влияние «смаза» исследуемой сцены. Следовательно, использование метода фурье-спектрометрии в видеоспектрометре позволяет сделать действительный прорыв в область новых технологий.

Динамические и статические фурье-спектрометры обладают различными преимуществами. Но в большинстве видеоспектрометров не требуется высокого спектрального разрешения и поэтому там могут применяться статические фурье-спектрометры. Отсутствие подвижных деталей делает такие приборы очень устойчивыми к внешним воздействиям, что особенно важно при разработке полетных комплексов.

Однако статические фурье-спектрометры, являющиеся основным элементом гиперспектрального видеоспектрометра, предъявляет целый ряд совершенно новых и специфических требований при разработке и расчете оптических схем, при выборе приемника и применяемых методах снятия информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунов Г.Г., Шлишевский В.Б. О возможности построения гиперспектральной аппаратуры на основе метода фурье-спектрометрии для обнаружения скрытых объектов в полевых условиях // Сборник материалов Международного конгресса «ГЕО-СИБИРЬ-2007». Т. 4, ч. 1. – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 74–79.

2. Афонин А.В., Горбунов Г.Г., Шлишевский В.Б. Видеоспектрометрическая аппаратура на основе метода фурье-спектрометрии для обнаружения малых газовых примесей в атмосфере // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21. – № 9. – С. 823–826.

© Г.Г. Горбунов, В.Б. Шлишевский, 2009

УДК 681.783.25

А.В. Голицын

НФ ИФП СО РАН «КТИПМ», Новосибирск

В.Б. Шлишевский

СГГА, Новосибирск

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РУЧНЫХ И МОБИЛЬНЫХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ НАБЛЮДЕНИЯ И ЗОНДИРОВАНИЯ

A.V. Golitsyn

Novosibirsk branch of the Institute of Semiconductor Physics,

Siberian Division of Russian Academy of Sciences

«Designing and technological Institute of Applied Microelectronics»

Novosibirsk

V.B. Shlishevsky

SSGA, Novosibirsk

FUNCTIONAL OPTIMIZATION OF PROMISING MANUAL AND MOBILE MULTISPECTRAL OPTOELECTRONIC DEVICES FOR OBSERVATION AND PROBING

The paper presents analysis and summarizes the principles of constructing promising manual and mobile multi-channel optoelectronic devices for observation and probing. The draft proposal for promising apparatus samples production has been prepared.

Анализ современного уровня техники показывает, что оптико-электронные приборы наблюдения по информационному потоку (ИП) пока существенно проигрывают классическим дневным приборам. Например, ИП от телевизионной камеры с разрешением $1\,000 \times 1\,000$ элементов, частотой кадров 25 Гц и числом градаций серого 256, составляет 400 Мбит/с (10^6 пкс $\times$ 16 бит $\times$ 25 Гц). В то же время, стандартный монокуляр с увеличением $10^\times$, при поле зрения $6,5^\circ$ и разрешении $4,5''$ дает поток, оцениваемый в 64 Гбит/с ($(3\,600 \times 6,5/4,5)^2 \times 16$ бит $\times$ 50 Гц $\times$ 3 цвета). Даже со скидками на круглое поле зрения и меньшее разрешение по полю видно, что ИП отличается на 2 порядка. Если дополнительно сопоставить возможность восприятия глазом одновременно всей сцены с диапазоном яркостей, отличающихся на 4 порядка, с динамическим диапазоном телевизионной камеры, разница будет еще более впечатляющая (там, где глаз видит затемненные участки с хорошо различаемыми деталями, на экране видны только черные пятна).

Учитывая, что поиск и зондирование наиболее информативны в дневное время суток, можно сделать вывод, что наиболее перспективной будет являться

разработка многоспектрального оптико-электронного прибора (МОЭП) наблюдения на базе оптического бинокля.

Обзор открытых источников информации показывает, что в современных приборах наблюдения и зондирования используются следующие каналы:

- Тепловизионный;
- Дневной оптический;
- Телевизионный;
- Ночной окулярный;
- Ночной телевизионный;
- Лазерный дальномерный;
- Лазерный целеуказательный,

а также связанное с задачами разведки измерительное оборудование:

- Магнитный компас (как классический, так и цифровой);
- Система топопривязки GPS/Глонасс;
- Угломерный лимб.

Кроме того, в перспективных системах специального применения прорабатывается возможность встраивания каналов локации оптико-электронных средств противника, каналов распознавания принадлежности «свой – чужой» и оборудования подготовки и передачи разведанных. Сведения об использовании активно-импульсных систем, кроме как для обнаружения оптико-электронных средств противника, отсутствуют.

Требования к носимому и мобильному вариантам накладывают весовые ограничения, явно и однозначно не позволяющие использовать все применяемые каналы независимо от дальности действия МОЭП, а также неявно сокращающие номенклатуру допустимых каналов с учетом обеспечения заданной дальности действия ключевых каналов.

В силу необходимости удовлетворения целому ряду противоречивых требований, среди которых полярными являются массогабаритные параметры и дальность обнаружения, опознавания и идентификации целей, в отдельном канале МОЭП часто не достигаются предельные параметры, которые реализуются в самостоятельно существующих приборах, соответствующих отдельным каналам МОЭП. Это относится, в первую очередь, к ручным МОЭП. Так, любая комбинация двух каналов в одном МОЭП приводит к увеличению массогабаритных характеристик прибора по сравнению с обычным одноканальным вариантом. С другой стороны, при создании МОЭП в рамках массогабаритных характеристик одного канала включение второго канала неизбежно приводит к уменьшению либо апертур каналов, либо фокусных расстояний приемных объективов, что влечет за собой снижение дальности наблюдения в отдельном канале. Этот эффект, естественно, усиливается при увеличении количества каналов. Поэтому основная нагрузка по повышению качества изображения МОЭП ложится на систему объединения и интегрирования изображений всех каналов.

Стремление объединить в одном МОЭП как можно больше каналов всегда имеет ограничения, но особенно жесткие – в ручных и носимых приборах. Каждый канал, не привносящий уникальных не дублируемых характеристик, будет работать на снижение эффективности МОЭП в целом за счет необоснованного расхода массы и принимаемого излучения. Наличие большого числа различных моделей МОЭП, о которых имеются сообщения в литературе, свидетельствует о том, что поиск оптимума при разработке нового МОЭП неоднозначен. Поэтому выбор оптимальной комбинации каналов в МОЭП определяется, прежде всего, приоритетными задачами, которые призван решать МОЭП.

Таким образом, состав многоканального комплекса должен определяться исходя из назначения, дальности действия и возможности интеграции каналов по функциональным компонентам. Очевидно, что разные приоритеты по применению влекут различный облик МОЭП. Отдельную сложность представляет вопрос о блочном исполнении отдельных каналов, поскольку реализация канала в виде отдельного блока влечет за собой дополнительное увеличение массы, расходуемой на герметичное корпусирование блока, обеспечение его соосности, разъемы и посадочные поверхности, а также их защиту от климатических и иных внешних воздействий. Блочный принцип также препятствует использованию общих компонентов в различных каналах.

В таблице обобщены задачи, решаемые различными каналами без учета дальности действия и особенностей восприятия изображений различных спектральных диапазонов.

Таблица. Задачи, решаемые различными каналами

Решаемые задачи	Каналы				
	ВК	ЛЛТВК	НВК	ТпВК	ЛДК
Обнаружение целей днем	+			+	
Опознавание целей днем		+		+	
Ориентация в фоновой обстановке днем	+	+		+	
Обнаружение целей ночью				+	
Опознавание целей ночью		до 0,01 лк	+		
Ориентация в фоновой обстановке ночью		до 0,01 лк	+	+	
Измерение дальности до целей		только по оптике			+
Обнаружение оптики		+			
Требуемая дополнительная масса для ручного варианта, кг	1	0,7	2	2	0,35
Примечание: ВК – визуальный канал, ЛЛТВК – лазерный локационный телевизионный канал, НВК – ночной визуальный канал, ТпВК – тепловизионный канал, ЛДК – лазерный дальномерный канал					

Анализ, показывает, что минимальным всесуточным комплектом, обеспечивающим полное решение всех задач, является комплект из визуального, тепловизионного, лазерного дальномерного и лазерного локационного телевизионного каналов. Каждый из этих каналов обеспечивает

уникальные, не дублируемые другими каналами характеристики, обоснованно расходуящие массу и энергопотребление. В целом, такой состав МОЭП обеспечивает:

- Ведение разведки при помощи наиболее информативного в дневное время прибора, т. е. бинокля;
- Обнаружение и опознавание активных (теплых) целей, не видимых в бинокль;
- Обнаружение замаскированных и неразличимых в другие каналы целей по работе пассивных оптико-электронных приборов;
- Точное измерение дальности до цели.

© *А.В. Голицын, В.Б. Шлишевский, 2009*

УДК 528.711

И.А. Беспалов, Л.В. Быков

СиБАДИ, Омск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ОРИЕНТИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ПО КВАЗИОПОРНЫМ ТОЧКАМ ПРИ СОЗДАНИИ ОРТОФОТОПЛАНОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРА НА МЕЖСЕЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

I.A. Bepalov, L.V. Bikov

West-Siberian Branch of FSUE «Goszemkadastrsjemka»-VISHAGI

4, Mira Avenue, Omsk, 644080, Russian Federation

USING A METHOD OF SPACE IMAGING DATA ORIENTATION WITH KVAZI-SUPPORT POINTS IN CREATION OF ORTHOPHOTOMAPS FOR PURPOSES OF LAND REGISTRY ON THE TERRITORIES BEHIND TOWN BOUNDARIES

The description: actuality of cartography materials renewal using a space images. Increasing precision of bridging space images using an orientation with kvazi-support points. Using the same scale line maps for orientation as a scale of renewal maps.

Мониторингу кадастровых данных уделяется большое внимание. Точная и достоверная информация об объектах недвижимости позволяет эффективно использовать земельные ресурсы, получать сведения о налогоплательщиках, обновлять сведения об оценке земель, уточнять границы и фактическое использование земельных участков, отслеживать ситуацию на рынке недвижимости, проводить государственный земельный контроль. Наиболее эффективным средством мониторинга являются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Космические снимки позволяют обновлять существующий картографический материал различных масштабов достаточно быстро и дешево. Экономическая эффективность технологии обновления карт по космическим изображениям определяется методикой привязки снимков. Наиболее дорогостоящей является полевая привязка. Камеральная привязка существенно дешевле, но возникают проблемы с обеспечением территории картами нужного масштаба. Согласно нормативным документам масштаб карт, используемых для привязки снимков должен быть на один ряд крупнее масштаба обновляемой карты. Например, для обновления карт масштаба 1 : 25 000 в качестве опорных необходимо использовать карты масштаба 1 : 10 000. В настоящее время картами этого масштаба обеспечены лишь места поселений, промышленно развитые районы и незначительные территории

сельскохозяйственных земель. Повышение точности камеральной привязки позволит использовать в качестве опорных данных карты того же масштаба, что подлежат обновлению. Таким образом, совершенствование способов привязки космических снимков остается актуальной задачей.

Повысить точность привязки космических снимков можно разными способами:

- Выбором оптимальной геометрической модели ориентирования и трансформирования снимка;
- Проверкой и тщательной отбраковкой опорных точек;
- Созданием виртуальных квазиопорных точек;
- Использование корреляционных алгоритмов идентификации опорных точек.

Особый интерес представляет способ создания квазиопорных точек, разработанного проф. Зотовым Р.В. С его помощью можно в 2–3 раза повысить точность ориентирования снимков по сравнению с точностью традиционного способа [1].

Сущность данного способа сводится к получению из группы опорных точек собранных в определенной зоне одной «квазиопорной» точки в виде центра тяжести координат точек всей группы, который, как известно, выше по точности, примерно, в $\sqrt{n}$ раз по отношению к ошибке отдельной точки при условии независимости и примерного равенства ошибок.

Первые исследования по применению способа ориентирования данных ДЗЗ по квазиопорным точкам начались в Западно-Сибирском филиале «Госземкадастрсъёмка» еще в 2005 г. Эксперимент проходил с одиночным сканерным снимком. Результаты исследования показали что компенсация ошибок координат квазиопорных точек позволяет использовать для привязки космических снимков карты того же масштаба, что и обновляемые карты. Экономическая эффективность камеральной привязки по квазиопорным точкам ощутима при изготовлении ортофотопланов на большие площади, при использовании нескольких космических снимков.

Такие исследования проводились нами на территории Кемеровской, Тюменской и Ленинградской областей со снимками и картографическими материалами различных масштабов и разрешающих способностей, с полевым контролем привязки.

При создании ортофотопланов на междуреченский район Кемеровской области масштаба 1:25 000 использовались космические снимки Spot 5. Для создания ортофотопланов потребовалось 5 сканерных снимков с разрешением 2,5 м, которые были объединены в один моноблок. Для повышения точности построения фотограмметрической сети использовалась методика ориентирования снимков по квазиопорным точкам. Из 113 опорных точек, полученных по материалам полевых и камеральных измерений, было сформировано 12 квазиопорных и 14 квазиконтрольных точек (рис. 1). Окончательное ориентирование блока в геодезической системе координат

выполнялось по квазиопорным точкам. Качество фотограмметрических сетей оценивалось по остаточным расхождениям фотограмметрических и геодезических координат на опорных точках и по расхождениям координат на контрольных точках, не использованных при уравнивании.

Оценка точности построения сети показана в табл. 1.

Таблица 1. Оценка точности построения фотограмметрической сети

Средние расхождения координат	ΔS , м	Δ допуск, м
Опорные точки	3,28	5
Контрольные точки	5,93	7,5

Точность построения фотограмметрической сети удовлетворяет требованиям нормативных документов.

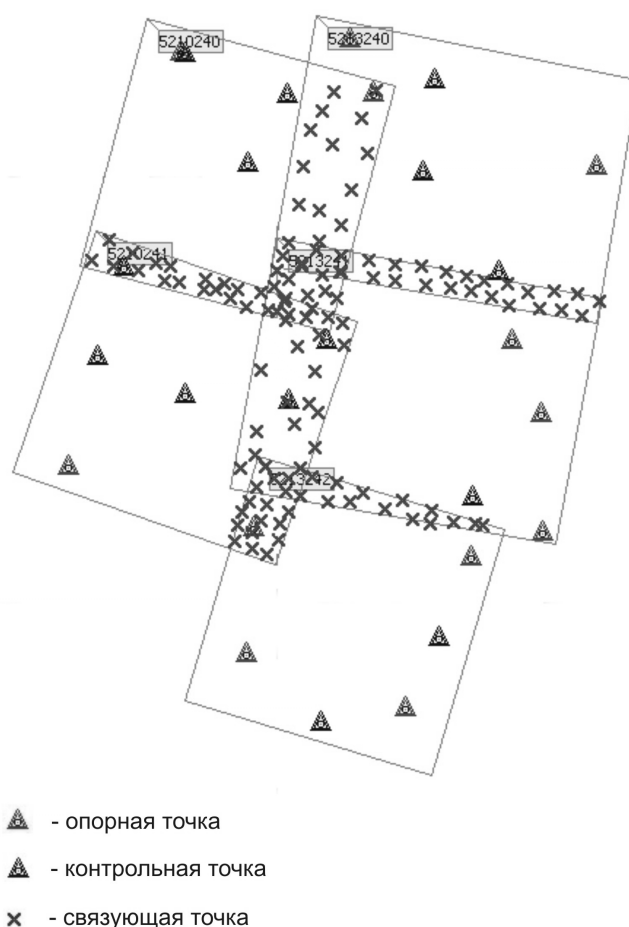


Рис. 1. Схема блока Междуреченского района

На основании этих данных изготовлены 133 цифровых ортофотоплана масштаба 1:25 000 на межселенную территорию Междуреченского района Кемеровской области.

Для создания ортофотопланов на Пуровский район ЯНАО масштаба 1:25 000 использовались сканерные снимки, полученные со спутника Spot 5, с разрешающей способностью 2.5 м. В качестве опорных данные использовались карты масштаба 1 : 25 000.

На территорию Пуровского района было получено 48 снимков Spot 5 из которых были созданы четыре моноблока. В каждом снимке создано по 4–6 квазиопорных точек. Каждая квазиопорная точка создавалась из 10 опорных точек.

Для ориентирования снимков использовалось около 3 200 опорных и 322 квазиопорные точки. Результаты ориентирования показали что средняя ошибка положения контрольных точек после ориентирования не превышает 5 метров, а максимальные ошибки не превысили 9.5 метров, что соответствует требованиям нормативных документов.

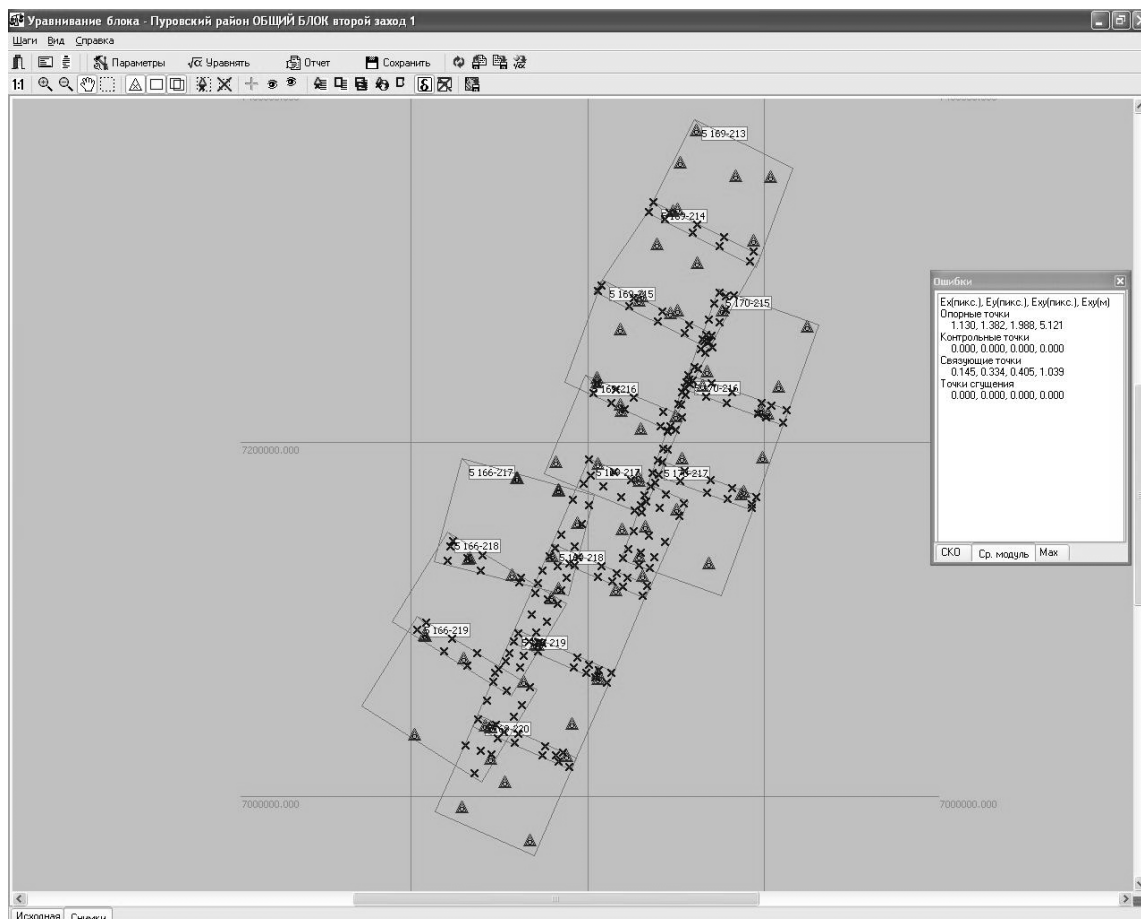


Рис. 2. Схема 1-го блока по Пуровскому району

На территорию Выборгского района Ленинградской области создавались ортофотопланы масштаба 1:10 000 на основе материалов космической съемки, полученной с космических аппаратов серии QuickBird. Снимки имеют разрешающую способность на местности около 0,6 метра. В обработке использовалась дополнительная информация, поставляемая вместе со снимками QuickBird, позволяющая по RPC-коэффициентам восстановить геометрическую модель сенсора. Для повышения точности построения фотограмметрической сети использовалась методика ориентирования по квазиопорным точкам. Из 339 опорных точек, полученных по материалам полевых измерений, было сформировано 52 квазиопорные точки. Окончательное ориентирование блоков в

геодезической системе координат выполнялось по квазиопорным точкам. Оценка точности построения сетей показана в табл. 2.

Таблица 2. Оценка точности построения фотограмметрических сетей

Средние расхождения координат	ΔS , м	$\Delta S_{\text{доп}}$, м
Блок «Архивные снимки 701-706»		
Опорные точки	0,37	2,0
Контрольные точки	0,39	3,0
Блок «Архивные снимки 304-308»		
Опорные точки	0,38	2,0
Контрольные точки	0,53	3,0

Качество фотограмметрических сетей оценивалось по остаточным расхождениям фотограмметрических и геодезических координат на опорных точках и по расхождениям координат на контрольных точках, не использованных при уравнивании. Ортофотопланы создавались с размером пикселя на местности 0,7 метра. Был произведен контроль качества изготовленной продукции. Точность созданных ортофотопланов удовлетворяет требованиям нормативных документов.

В порядке эксперимента была исследована возможности создания ортофотопланов масштаба 1:2 000 на населенные пункты по тем же космическим снимкам и с теми же опорными точками. В результате сделан следующий вывод: точность построения фотограмметрической сети соответствует требованиям, предъявляемым для создания ортофотопланов масштаба 1 : 2 000. Разрешающая способность снимка не позволяет определять положение характерных точек объектов на местности с необходимой точностью. Из-за этого данные ортофотопланы рекомендуется использовать в качестве схем масштаба 1:2 000 для целей мониторинга и разработки архитектурных и градостроительных документов. В качестве фотопланов данную продукцию можно использовать в масштабе 1:5 000.

Этот эксперимент показал возможность выполнения работ по созданию ортофотопланов нескольких масштабных рядов по одним и тем же космическим снимкам с одной и той же привязкой, что позволяет существенно удешевить и ускорить процесс обновления картографических материалов прошлых лет.

Необходимость своевременного и быстрого обновления картографических материалов для целей кадастра очевидна. Использование данных космических съемок существенно упрощает решение этой задачи. Способы привязки и уравнивания применяемые в Западно-Сибирском филиале «Госземкадастрсъемка» позволяет с достаточной точностью и необходимым качеством выполнять работы по обновлению кадастровых карт и созданию ортофотопланов на межселенные и селитебные территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования земли. – М.: АиБ, 1997.

2. Зотов Р.В. Особенности использования квазиопорных точек для фототриангулирования и современный подход к расчету точности изготовления карт и планов. Совершенствование геодезических работ по сельскохозяйственному картографированию земельных ресурсов Западной Сибири. – Омск, Изд. Омского СЧИ, 1983. – С. 9–15.

3. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов, ГКИНП (ГНТА) – 02-036-02, Москва, ЦНИИГАиК, 2002.

4. Инструкции о проведении контроля и приемки геодезических, топографических и картографических работ (ГКИНП (ГНТА)-17-004-99). –М.: 1999.

© И.А. Беспалов, Л.В. Быков, 2009

УДК 528.71:629.78

А.С. Алферова

СГГА, Новосибирск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ТЕРРИТОРИЙ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

A.S. Alfeyorova

SSGA, Novosibirsk

APPLICATION OF WAVELET-ANALYSIS FOR DETECTING TRANSFORMATIONS IN TERRITORY MONITORING BY SATELLITE IMAGES

Wavelet- transform permits to preserve objects structure excluding small-scale minor details. On this basis we are to find out if wavelet-analysis can be applied for detecting transformations in territories monitoring by satellite images.

Вейвлет-преобразование является достаточно распространенным способом обработки данных. Об этом говорит большое количество литературы, посвященной данному методу.

В основном вейвлет-анализ используют при сжатии данных, так как он позволяет восстанавливать информацию с потерей только незначительных мелкомасштабных деталей [1]. В целом, вейвлет-анализ можно использовать там, где необходимо исследовать данные как в крупном масштабе (при большом увеличении) для выявления локальных особенностей, так и в мелком, для прослеживания глобальных закономерностей.

Термин «вейвлет» (wavelet) в переводе с английского означает «маленькая (короткая) волна». Изображение представляет собой двумерный дискретный сигнал и для его обработки соответственно используют двумерное дискретное вейвлет преобразование, которое выражается следующими формулами [1]:

$$W_{\varphi}(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \varphi_{j_0, m, n}(x, y), \quad (1)$$

$$W_{\psi}^i(j, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi_{j, m, n}^i(x, y), \quad i = \{H, V, D\}, \quad (2)$$

где j_0 – произвольный начальный масштаб;

$W_{\varphi}(j_0, m, n)$ – коэффициенты, определяющие приближение функции $f(x, y)$ в масштабе j_0 ;

$W_{\psi}^i(j, m, n)$ – коэффициенты, определяющие горизонтальные, вертикальные и диагональные детали для масштабов $j \geq j_0$;

$\varphi_{j_0,m,n}(x,y)$ – масштабирующая функция;

$\psi_{j,m,n}^i(x,y)$ – вейвлет-функция $i = \{H, V, D\}$.

Обычно $N = M = 2^J$, так что $j = 0, 1, 2, \dots, J-1$ и $m, n = 0, 1, 2, \dots, 2^J - 1$.

Выявление изменений на основе спектральных признаков не является универсальным методом, так как спектральные характеристики зависят от таких факторов как сезон, состояние атмосферы и др. Структурные признаки являются более устойчивыми, под ними понимаются как яркостные, так и геометрические характеристики объектов. В связи с этим необходимо разработать метод, который бы с высокой точностью выявлял структурные признаки объектов, на основе которых можно было бы определять изменения произошедшие на участке мониторинга. Использование для этой цели вейвлет-преобразования уже было освещено в литературе [1] и доказано, что данное преобразование выделяет контура и убирает мелкие незначительные детали.

В данной статье речь пойдет о возможности использования вейвлет-анализа для выявления изменений при мониторинге территорий по космическим снимкам.

Для исследования были выбраны фрагменты изображения приведенные на рис. 1.

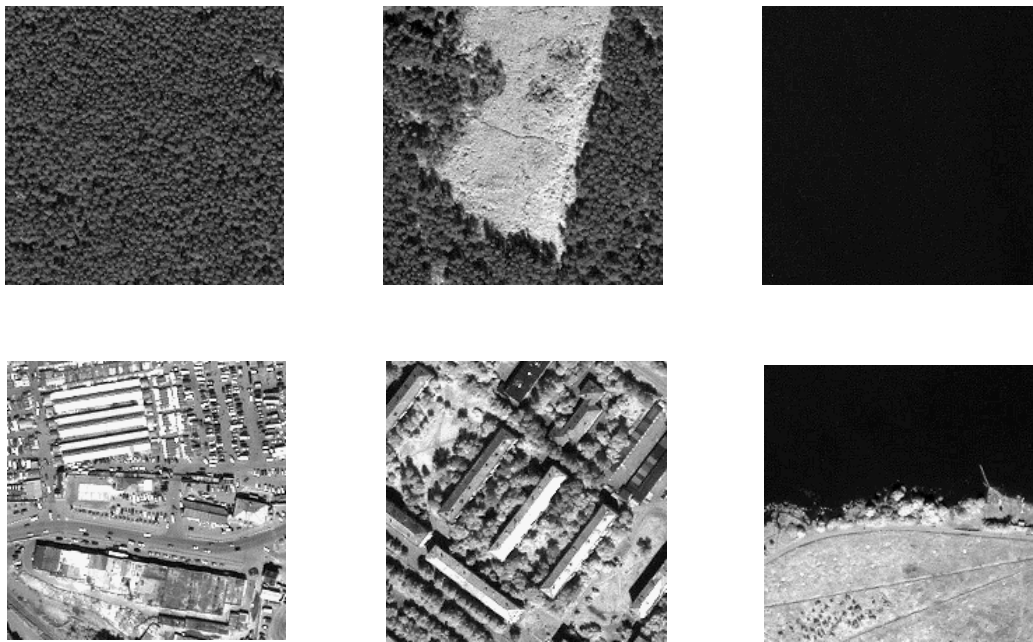


Рис. 1. Изображения выбранных фрагментов в панхроматическом канале

Как видно из рис. 1, были выбраны фрагменты с изображением водной поверхности, водной поверхности с берегом, лесного массива, вырубки, городской застройки без растительности и с растительностью.

Для определения изменений в исходные изображения были искусственно внесены изменения (рис. 2).

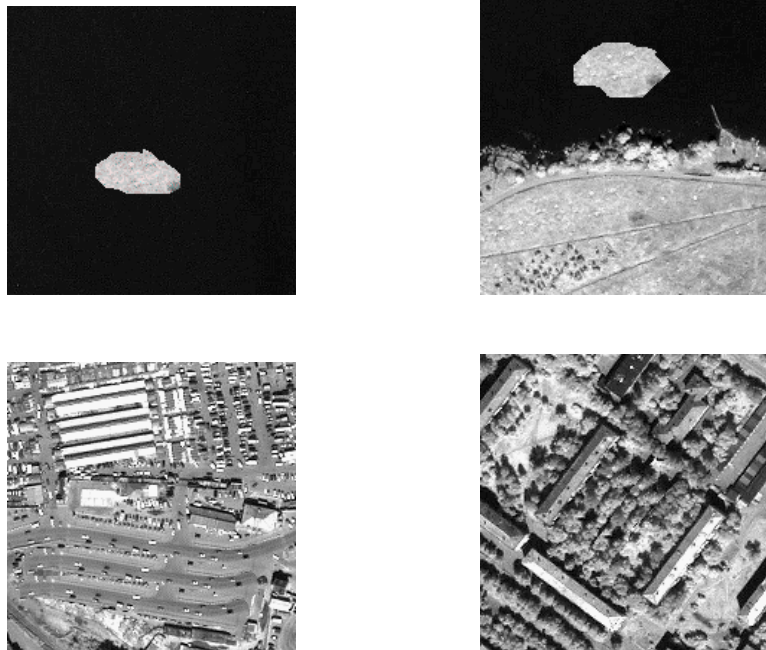


Рис. 2. Типовые участки с искусственно внесенными изменениями

Изображения лесного массива и вырубки будем считать как исходное и с изменениями, так как эти участки находятся рядом на снимке.

Вейвлет-преобразование выполнялось в программе MatLab с использованием пакета Wavelet Toolbox.

Изображения всех выбранных объектов с изменениями и без изменений в разных каналах по очереди загружались в Wavelet Toolbox. Далее для каждого изображения выполнялось трех уровневое вейвлет – преобразование с использованием функций Хаара. Программа позволяет выполнять преобразование до 5 уровня, но для данных изображений после третьего уровня теряется информативность (рис. 3).

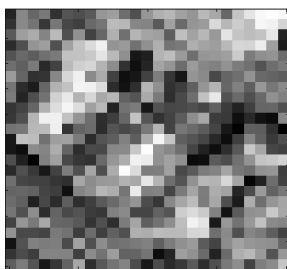


Рис. 3. Изображение, полученное вейвлет-преобразованием на 3 уровне

Кроме визуального анализа, который показал, что выполнять вейвлет-разложение далее чем до 3 уровня – бессмысленно, было рассчитано значение корреляции между исходными изображениями и изображениями с внесенными изменениями. Эксперимент показал, что с увеличением уровня разложения, увеличивается и значение коэффициента корреляции. Это означает, что выявить произошедшие изменения будет труднее.

На рис. 4 изображены примеры вейвлет-разложений в виде блочной матрицы. В верхнем левом углу изображены коэффициенты приближения, в трех смежных блоках – детализирующие коэффициенты: горизонтальные, вертикальные и диагональные [2].

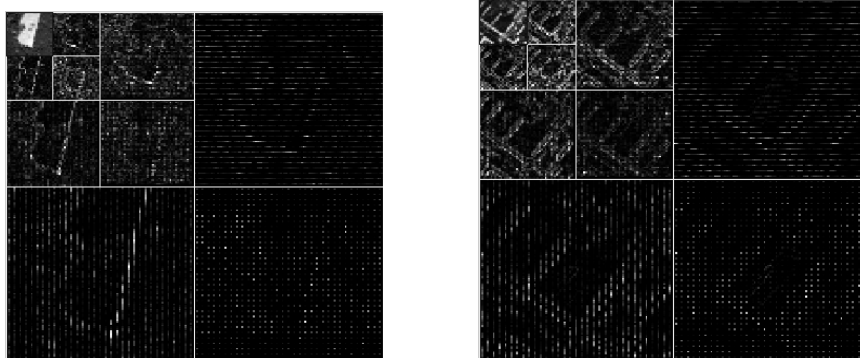


Рис. 4. Трехуровневое вейвлет-разложение изображений

Рис. 4 подтверждает то, что при вейвлет-преобразовании изображений структурные признаки, такие как контура, сохраняются, а мелкие детали отбрасываются. Для достижения лучшего результата необходимо учитывать, что изображения объектов местности в отдельных спектральных каналах различаются. Так как исследования выполнялись с использованием изображений разных объектов в 5 каналах, можно сделать следующие выводы: такие поверхности как вода, берег, вырубка лучше обрабатывать в ближнем инфракрасном канале, а изображения застройки с растительностью – в голубом, зеленом или красном каналах.

Теперь сравним 2 вейвлет-разложения изображений – исходного и с изменениями (рис. 5).

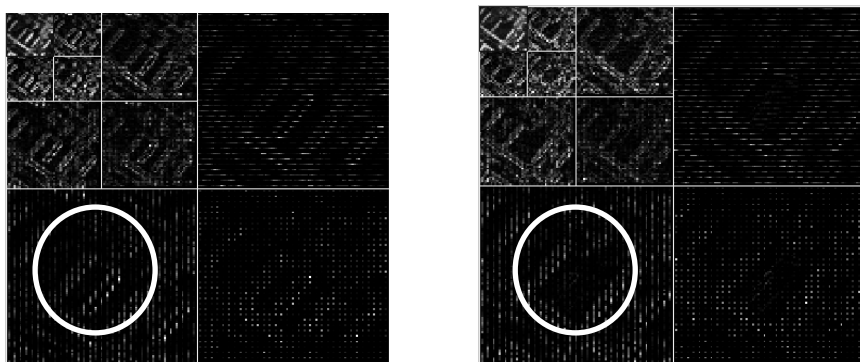


Рис. 5. Вейвлет-разложения исходного изображения и с изменениями

Таким образом, из рис. 5 можно сделать вывод, что вейвлет-анализ возможно использовать для выявления изменений. Но мониторинг территорий по космическим снимкам подразумевает автоматизацию выполняемых операций. Значит следующий шаг в исследовании вейвлетов – поиск программных инструментов для автоматического определения произошедших изменений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гонсалес, Р., Вудс, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

2. Смоленцев, Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB [Текст] / Н.К. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.

© А.С. Алферова, 2009

УДК 528.852

В.В. Асмус, В.А. Кровотынцев, В.П. Пяткин

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

НИЦ «ПЛАНЕТА», Москва

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА АРКТИКИ

V.V. Asmus, V.A. Krovotyntsev, V.P. Pyatkin

ICM and MG SB RAS, Novosibirsk

SRC «Planeta», Moscow

SPACE MONITORING OF THE ARCTIC ICE SURFACE

Abstract. Russian and foreign polar-orbital satellite data of the Earth remote sensing (ERS) have been used for the monitoring of ice surface of the Earth polar regions in SRC «Planeta» for more than 25 years. Within this problem solution SRC «Planeta» and ICM and IMG SB RAS have been cooperating for a long time in the field of development and use of satellite data processing methods and technologies. In the report there are the data of operating and prospective flying vehicle from our country and abroad, including space system «Arctic», the description of developed methods and operative technologies of ice surface monitoring, the examples of satellite information products of the Arctic.

Космический мониторинг ледяного покрова Земли проводится в ГУ НИЦ «Планета» более 25 лет, с момента запуска в 1983 г. первого отечественного океанографического спутника серии «Океан» с радиолокационной станцией бокового обзора X-диапазона (длина волны 3,2 см). В последующие годы ледовые наблюдения были дополнены данными видимого и инфракрасного диапазонов с отечественных и зарубежных космических систем Метеор, Ресурс, NOAA, EOS (TERRA, AQUA) [1]. В настоящее время в связи с отсутствием на орбитах российских спутников наблюдения Земли, мониторинг ледяного покрова осуществляется по данным с зарубежных спутников. В соответствии с Федеральной космической программой России до 2015 г. (ФКП - 2015) запланировано развитие отечественной космической системы наблюдения Земли, в том числе, создание постоянно действующей группировки оперативных метеорологических спутников в составе 2-х геостационарных космических аппаратов серии «Электро» и 3-х полярно-орбитальных КА серии «Метеор» (включая специализированный спутник океанографического назначения).

В настоящее время осуществляется также разработка уникальной (не имеющей мировых аналогов) системы спутников на высокоэллиптических орбитах – МКС «Арктика», предназначенной для мониторинга северного полярного региона. Арктический регион физически недоступен для

наблюдений спутниками международной базовой метеорологической группировки на геостационарных орбитах. Зона качественного мониторинга с геостационарных орбит ограничивается зенитным углом наблюдения 70 градусов, что соответствует широте 60 градусов. Каналы связи, размещенные на геостационарных спутниках, не могут обеспечить качественный прием данных с арктических дрейфующих буёв и автоматических гидрометеостанций.

Основные задачи МКС «Арктика» – оперативное получение гидрометеорологической информации (скорости и направления ветра, параметров облачности, осадков, ледовой обстановки и др.) по арктическому региону для информационного обеспечения анализа и прогноза погоды, безопасности полетов авиации, навигации по Севморпути, контроля чрезвычайных ситуаций и др. Кроме того, данная система предназначена для сбора и ретрансляции информации с наблюдательных платформ наземного, морского и воздушного базирования, а также для обмена и распространения обработанных гидрометеорологических данных по арктическому региону Земли.

Контроль состояния ледяного покрова Арктики осуществлялся на основе данных, принимаемых наземным комплексом приема и обработки спутниковой информации (НКПОР), включающим в себя три региональных центра: ГУ НИЦ «Планета» (Москва, Обнинск, Долгопрудный); ЗС РЦПОД (Новосибирск); ДВ РЦПОД (Хабаровск), что обеспечивало полное покрытие космической съемкой всей территории Северного морского пути и всех замерзающих морей России [2]. В декабре 2007 г. на НКПОР Росгидромета были завершены работы по налаживанию оперативного приема информации еще с 3-х зарубежных космических систем: METOP, SeaStar и FY-1.

За эти годы в ГУ НИЦ «Планета» создавались, развивались и совершенствовались методы и технологии обработки спутниковых данных. В частности, были разработаны методы относительной и абсолютной калибровки данных РЛС БО ИСЗ серии «Океан», позволяющие осуществить переход от значений яркости радиолокационных изображений к физической характеристике ледяного покрова – удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР). С использованием данных методов была проведена оценка пространственно-временных изменений и угловых зависимостей значений УЭПР многолетнего и однолетнего льда в двух (отличающихся по своим климатическим особенностям) районах Арктики [3]. Изучались:

- Временные вариации УЭПР многолетнего и однолетнего льда при постоянном угле падения зондирующего сигнала (26°);
- Угловые зависимости величин УЭПР многолетних и однолетних морских льдов в диапазоне углов падения зондирующего сигнала от 24° до 52°.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о возможности уверенного разделения полей многолетнего и однолетнего льдов в течение всего годового цикла по радиолокационным изображениям ИСЗ ОКЕАН (за исключением короткого периода июнь-июль в районе Баренцева моря). Разница значений УЭПР многолетнего и однолетнего льдов составляет 4–8 дБ.

Сравнение временных зависимостей УЭПР с данными SAR ERS (длина волны 5,66 см) позволяет сделать вывод, что в целом радиолокационный контраст (разница значений УЭПР многолетнего и однолетнего льда) изображений ИСЗ ОКЕАН на 2–3 дБ превышает соответствующие значения по данным ERS, что может быть объяснено разницей в длинах волн зондирующих сигналов.

Результаты исследований характеристик радиолокационного обратного рассеяния морского льда использовались при создании технологии бесшовного соединения спутниковых радиолокационных изображений при построении обзорных монтажей (мозаик) Арктики или ее отдельных территорий. Обзорные радиолокационные мозаики могут использоваться на практике как самостоятельная информационная продукция, либо служить в качестве исходных данных для построения карт ледовой обстановки.

Следующим важным направлением в обеспечении космического мониторинга является создание технологии построения карт ледовой обстановки по спутниковым данным видимого, инфракрасного или микроволнового диапазонов. В технологии воплощено сочетание автоматизированных и интерактивных процессов. В автоматизированном режиме осуществляется предварительная обработка спутниковых изображений (географическая привязка, трансформирование космических изображений в, сформированные заранее, картографические основы, составление обзорных монтажей). В интерактивном режиме осуществляется дешифрирование на космических снимках ледовых параметров (возраст, сплоченность, формы льда, обобщенные характеристики и др.) и их представление на карте в соответствии с требованиями ВМО. По данной технологии в ГУ НИЦ «Планета» ежегодно выпускается около 600 карт и обзорных мозаик ледовой обстановки, из которых большее количество приходится на арктический регион. Данная информационная продукция передается для использования руководству Росгидромета, в Гидрометцентр РФ, в организации Минтранса, МО, РАН и др.

В рамках решения задач мониторинга ледяного покрова Арктики ГУ НИЦ «Планета» осуществляет долговременное сотрудничество с ИВМиМГ СО РАН в области разработки алгоритмов и программного обеспечения обработки спутниковых данных [4]. В частности, одним из результатов такого сотрудничества является создание технологии автоматизированного распознавания и классификации ледовых объектов по многозональным спутниковым изображениям. В программной системе, поддерживающей эту технологию, реализованы методы распознавания и классификации без обучения (кластерный анализ) и классификации с обучением [5, 6]. Неконтролируемая классификация (кластерный анализ) в программном комплексе представлена двумя алгоритмами – методом K -средних и методом анализа мод многомерной гистограммы. Первый подход основан на итеративной процедуре отнесения векторов признаков классам по критерию минимума расстояния от вектора до центра класса. Оптимальным считается такое разбиение входных векторов на кластеры, при котором внутриклассовый разброс не может быть уменьшен при переносе какого-либо вектора из одного кластера в другой. В основе второго

подхода лежит предположение, что исходные данные являются выборкой из многомодового закона распределения, причем векторы, отвечающие отдельной моде, образуют кластер. Таким образом, задача сводится к анализу мод многомерных гистограмм. Кластерный анализ позволяет группировать элементы изображения на основе близости их в многомерном спектральном пространстве. Результаты кластерной обработки применяются для выбора тестовых участков, используемых в распознавании с обучением. Система классификации с обучением (контролируемая классификация) в программном комплексе состоит из семи классификаторов (один поэлементный классификатор и шесть объектных), основанных на использовании байесовской стратегии максимального правдоподобия, и двух объектных классификаторов, основанных на минимуме расстояния. Под элементом здесь понимается N -мерный вектор признаков $x = (x_1, \dots, x_N)^T$, где N – число спектральных диапазонов, а под объектом блок смежных векторов квадратной или крестообразной формы. Предполагается, что векторы x имеют в классе ω_i нормальное распределение $N(m_i, B_i)$ со средним m_i и ковариационной матрицей B_i . Решение о принадлежности центрального элемента объекта тому или иному классу принимается на основе результата классификации всего объекта. Классификаторы могут работать как с блоком в форме перекрестия, так и с квадратным блоком. Первые два классификатора объединяют пространственные характеристики объекта на основе модели каузального Марковского случайного поля первого и третьего порядка соответственно. Вторые два классификатора основаны на предположении, что векторы внутри блока независимы. Следующие классифицируют среднее блока в предположении, что векторы внутри блока независимы. Следующие классифицируют средний вектор блока в предположении, что векторы внутри блока независимы и ковариационные матрицы равны единичной. Когда размер объекта равен 1, все объектные классификаторы становятся поэлементными классификаторами, основанными на стратегии максимального правдоподобия, за исключением двух классификаторов, которые становятся поэлементными классификаторами, основанными на минимуме расстояния.

Как пример, рассмотрим алгоритм работы объектного классификатора, классифицирующего среднее блока в предположении, что векторы внутри блока независимы. Пусть $\Omega = (\omega_1, \dots, \omega_m)$ – конечное множество классов, $X = (x^1, \dots, x^k)$ – объект, состоящий из k N -мерных векторов $x^l = (x_1^l, \dots, x_N^l)$. Средний вектор x объекта X вычисляется по формуле:

$$x = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k x^l.$$

Дискриминантная функция класса ω_i имеет вид:

$$g_i(x) = \ln(p(\omega_i)) - 0.5 \ln(|B_i|) - 0.5k(x - m_i)^T B_i^{-1}(x - m_i),$$

где $p(\omega_i)$ – априорная вероятность класса ω_i . Обозначим через T_i основанное на распределении χ^2 пороговое значение для отклоненных векторов класса ω_i :

$$T_i = \ln(p(\omega_i)) - 0.5A(N, Q) - 0.5\ln(|B_i|),$$

где $A(N, Q)$ – критическое значение уровня Q распределения χ^2 . Пусть t_i – переменная, значение которой зависит от параметра классификатора thr : $t_i = -\infty$, $thr = 1$; $t_i = T_i$, $thr = 2$; $t_i = \min_{l=1}^m T_l$, $thr = 3$; $t_i = \max_{l=1}^m T_l$, $thr = 4$; $t_i = (\sum_{l=1}^m T_l) / m$, $thr = 5$.

Тогда решающее правило для классификатора принимает следующий вид: центральный элемент объекта X заносится в класс ω_i , если $g_i(x) > g_j(x)$ для всех $j \neq i$ и $g_i(x) > t_i$. В противном случае центральный элемент объекта заносится в класс отклоненных векторов. Необходимые для построения дискриминантных функций классов статистические характеристики – средние векторы, ковариационные матрицы, коэффициенты пространственной корреляции между значениями координат соседних векторов в горизонтальном и вертикальном направлениях – определяются на основе векторов из обучающих выборок. Все классификаторы могут использоваться в двух режимах – тестовом и рабочем. По результатам работы классификаторов в тестовом режиме над векторами контрольных полей рассчитываются матрица ошибок и оценки вероятностей правильной классификации. Анализируя эти данные, можно оценить качество обучения. Результатом работы классификаторов в рабочем режиме является одноканальное (байтовое) изображение, значениями пикселей которого являются номера классов. Это изображение окрашивается в predetermined цвета, которые в интерактивном режиме могут быть заменены на цвета, определяемые пользователем. Кроме того, к этому изображению можно применить одну из двух функций постклассификации для удаления изолированных пикселей. Система контролируемой классификации имеет следующие характеристики: число обучающих образов – до 9, число классов – до 15, число обучающих и контрольных полей в классе – до 10, размер каждого поля – до 50×50 , размер объекта – от 1×1 до 11×11 , при этом размерность векторов данных не ограничивается. Технология распознавания нашла широкое применение при проведении классификации материкового и морского льда Арктики, исходя из различия их спектральных свойств, а также для привязки выделенных классов к реальным объектам.

Еще одним примером сотрудничества ГУ НИЦ «Планета» с ИВМиМГ СО РАН является экспериментальная технология построения полей дрейфа морского льда. В технологии использовался метод восстановления полей дрейфа морского льда по опознанным изменениям положения некоторых ледовых объектов (трассеров) на разновременных и картографически совмещенных спутниковых изображениях. Определение координат перемещения ледовых полей с заданным шагом достигалось в результате использования аппроксимаций по методу триангуляции Делоне. При этом на

спутниковых изображениях предварительно производилось закрепление контуров береговой черты с помощью опорных точек для того, чтобы на картах дрейфа льда произвести разделение неподвижной суши и перемещающегося плавучего льда.

Совместными усилиями ГУ НИЦ «Планета» и ИВМиМГ СО РАН произведена адаптация методов линеаментного анализа (ранее использовавшегося для изучения структур суши [7]) для изучения структуры морского льда в Арктике. Было установлено, что по распределению линеаментов, выделенных на разновременных спутниковых изображениях, можно оценивать упорядоченность и перемещение трещеноватых структур плавучего морского льда, а зоны повышенной плотности линеаментов, выделенные на космических снимках морского льда, в большей степени подвержены деформации. Именно в этих зонах происходит наибольшее количество сжатий и разряжений ледяного покрова.

Созданные в ГУ НИЦ «Планета» технологии обработки спутниковых данных используются не только в оперативной практике, но и для изучения долговременных изменений характеристик ледяного покрова по архивным данным. Так, например, в 2002–2008 гг. была проведена оценка сезонных изменений границ распространения и площадей покрытия многолетнего льда в Арктике по данным скаттерометра K_U – диапазона (длина волны 2,2 см) SeaWinds ИСЗ QuikSCAT. Именно эти характеристики многолетнего льда наиболее чувствительны к изменениям климата и могут служить индикаторами региональных и глобальных климатических изменений. Оценка сезонных изменений площади многолетнего льда проводилась в российском секторе Арктики, ограниченном 10° в.д. и 160° з.д. В результате анализа сезонных изменений за шестилетний период были выявлены некоторые закономерности. Наибольшая площадь многолетнего льда в российской Арктике приходится на сентябрь месяц. В последующие месяцы площадь многолетнего льда неравномерно уменьшается. С сентября по декабрь ежемесячная скорость изменения площади многолетнего льда в российской Арктике составляет примерно 20–70 тыс. км²/мес, с января по май примерно 110–140 тыс. км²/мес. В отдельные месяцы наблюдается небольшой прирост площади многолетнего льда (как, например, в декабре 2002 г.) за счет его поступления из канадского сектора Арктики. Обращает на себя внимание существенное сокращение протяженности многолетнего льда в российском секторе Арктики в зимний период 2007–2008 гг. В июне – августе оценки изменений площадей многолетнего льда не проводились из-за плохой разделяемости многолетнего и однолетнего льда в это время года.

Продолжены работы по оценке межгодовых изменений площади многолетнего льда в западном секторе Арктики. Ранее такие оценки проводились на основе многолетних рядов радиолокационных данных ИСЗ серии «Океан» за период 1983–1999 гг. В 2002–2007 гг. эти ряды были дополнены данными микроволнового скаттерометра SeaWinds ИСЗ QuikSCAT. Выделение границы многолетнего льда осуществлялось с использованием технологий автоматизированного распознавания и интерактивного

дешифрирования. Валидация карт-схем границ распространения многолетнего льда, полученных по данным ИСЗ серии «Океан», проводилась с использованием данных авиационных наблюдений. Среднеквадратическая погрешность определения границ распространения многолетнего льда составила 8–12 км. Оценка межгодовых изменений площади многолетнего льда проводилась в западном секторе Арктики, ограниченном 40° в.д. и 105° в.д. Установлено, что в исследуемом районе имеют место значительные межгодовые вариации площадей от 180 тыс. км² до 540 тыс. км². Наибольшая площадь многолетнего льда была отмечена за этот период в декабре 1988 и 2003 гг., наименьшая – в 1985, 1999, 2005, 2006 и 2007 гг. За период наблюдения с 1983 по 2007 гг. в западном секторе Арктики с учетом пропусков информации отмечается небольшой отрицательный тренд (уменьшение площади многолетнего льда примерно на 5 %).

Все виды информационной продукции, получаемые при проведении космического мониторинга Арктики по мере их поступления заносятся в специализированный цифровой архив. К настоящему времени в архиве накоплены ряды спутниковых данных по различным районам Арктики за более чем 20-летний период.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник потребителя спутниковой информации // Под редакцией В.В. Асмуса, О.Е. Милехина. – С-Петербург: Гидрометеиздат, 2005. – 114 с.
2. Асмус В.В., Дядюченко В.Н., Загребав В.А. и др. Наземный комплекс приема, обработки, архивации и распространения спутниковой информации / Труды НИЦ «Планета». – Вып. 1(46). – 2005. – С. 3–21.
3. Кровотынцев В.А., Милехин О.Е. Характеристики радиолокационного обратного рассеяния морских льдов Арктики по данным ИСЗ «Океан-О1» // Исследование Земли из космоса. – № 2. – 1998. – С. 68–80.
4. Бучнев А.А., Пяткин В.П. Программное обеспечение для решения некоторых задач аэрокосмического мониторинга // Труды Международной конференции «Математические методы в геофизике», 8–12 октября, 2003, Новосибирск. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2003. – Ч. 2. – С. 585–588.
5. Асмус В.В., Кровотынцев В.А., Милехин О.Е., Тренина И.С. Технологии обработки и архивации спутниковых данных при проведении мониторинга ледяного покрова Антарктики / Тезисы докладов на научной конференции «Россия в Антарктике», Санкт-Петербург, ГУ ААНИИ, 12–14 апреля 2006 г., с. 34–35.
6. Асмус В.В., Бучнев А.А., Пяткин В.П. Контролируемая классификация данных дистанционного зондирования Земли // Автометрия. – 2008. – Т. 44. – № 4. – С. 60–67.
7. Пяткин В.П., Салов Г.И. Статистический подход к задаче обнаружения некоторых структур на аэрокосмических изображениях // Наукоемкие технологии. – 2002. – № 3. – Т. 3. – С. 52–58.
8. Асмус В.В., Милехин О.Е., Кровотынцев В.А., Селиванов А.С. Использование радиолокационных данных ИСЗ серии «Океан» для решения

задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды // Исслед. Земли из космоса. – 2002. – № 3. – С. 63–70.

© *В.В. Асмус, В.А. Кровотынцев, В.П. Пяткин, 2009*

УДК 528.7

Т.А. Абибулаева

Компания «Совзонд», Москва

НОВЕЙШИЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЗЗ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГОВЫХ ЗАДАЧ

T. Abibulaeva

Sovzond Company, Russia

28a, Shipilovskaya St., Moscow 115446

APPLICATION OF MODERN REMOTE SENSING SYSTMS OF HIGH SPATIAL RESOLUTION FOR MONITORING TASKS

In present-day world remote sensing imagery became one of major tools for monitoring purposes in environmental protection, agriculture, architecture and building, emergence management, etc.

To perform monitoring mission new generation Earth Remote Sensing (ERS) satellite imagery give the best fit due to its unique capabilities – capability of collecting many hundred thousand square kilometers per day of at-least half-meter spatial resolution, in other words high-capacity and high spatial resolution. American ERS satellites WorldView-1 and GeoEye-1 as well as perspective WorldView-2 (is going to be launched in 2009) fall into the category of next generation satellites. Also constellation of five identical earth observation satellites called RapidEye and launched in 2008 (Germany) represents highly effective monitoring system. The RapidEye satellite system can provide everyday coverage of 4 million square kilometers with 6.5m (or 5m. after imagery processing) resolution.

Speaking of high technologies there is no escape from mentioning integrated approach to the monitoring of objects and phenomena from space. For this purpose, the best is establishment of industry or regional Space Monitoring Centers (SMC).

В современном мире данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) стали важным инструментом для мониторинга природных ресурсов, сельскохозяйственных культур, зданий и сооружений, чрезвычайных ситуаций и т. д.

Уникальными возможностями, позволяющими использовать космические снимки для целей мониторинга, обладают спутники нового поколения сверхвысокого разрешения. Основными их отличительными особенностями является беспрецедентная производительность, а также возможность получения данных с пространственным разрешением не хуже 50 см. К таким аппаратам относятся американские спутники WorldView-1 и GeoEye-1, а также планируемый к запуску в 2009 г. – WorldView-2. Все эти спутники, несмотря на

конкуренцию, занимают каждый свою нишу. У WorldView-1 ставка сделана на достижение наивысшей производительности и возможности выполнения съемки больших территорий, в том числе и в режиме «стерео». Данные, получаемые с КА GeoEye-1, обладают самыми высокими точностными характеристиками без наземных точек привязки, хотя по производительности он уступает WorldView-1 и WorldView-2. В свою очередь, спутник WorldView-2 будет самым высокопроизводительным, с возможностью съемки в большом числе спектральных каналов, что значительно расширяет возможность использования данных для решения различных задач.

Хорошие перспективы в плане мониторинга объектов и явлений у группировки из пяти мини-спутников RapidEye (Германия), запущенных в 2008 г., которые способны обеспечивать ежедневное покрытие съемками с разрешением 6,5 м (после обработки – 5 м) площадь в 4 млн кв. км. Периодичность съемки одного и того же района Земли – 24 ч. Съемка земной поверхности ведется в пяти каналах. Уникальным для спутников высокого разрешения является канал «длинноволновый красный», который оптимально подходит для наблюдения и измерения изменений состояния растительного покрова.

Перспективен комплексный подход к мониторингу объектов и явлений из космоса. Для этой цели оптимальным выглядит создание отраслевых или территориальных Центров космического мониторинга (ЦКМ).

В рамках ЦКМ решаются следующие главные задачи:

- Оперативное получение данных ДЗЗ наиболее полно обеспечивающих мониторинг тех или иных видов природных ресурсов, экологических проблем, чрезвычайных ситуаций;
- Первичная обработка данных ДЗЗ, подготовка их к последующему автоматизированному и интерактивному дешифрированию, а также визуальному представлению для всех управленческих и контрольных органов, производственных (в том числе исследовательских, геологоразведочных и т. д.) структур;
- Глубокий автоматизированный анализ данных ДЗЗ для подготовки широкого спектра аналитических картографических материалов по различной тематике, определения разнообразных статистических параметров;
- Подготовка аналитических отчетов, презентационных материалов на базе данных космической съемки территории, формирование предложений и рекомендаций по решению тех или иных проблем, привлечению инвестиций, перераспределению сил и средств, вкладываемых в те или иные направления.

Архитектура ЦКМ определяется взаимосвязью ее структурных и функциональных компонентов. Роль основы центра выполняет система сбора данных, которая включает космический и наземный сегменты. Космический сегмент призван обеспечить регулярное покрытие территории региона космическими снимками различного пространственного разрешения в максимально широком диапазоне электромагнитного спектра. Наземный сегмент необходим для сбора, хранения, тестирования и калибровки данных

ДЗЗ. Информация, полученная путем наземных контактных исследований, дополняет дистанционные измерения, и вместе позволяет получить объективную и полную информацию об исследуемых территориях, объектах и процессах.

Комплексная обработка космической информации и результатов наземных измерений является основой для получения целевых данных, предназначенных для дешифрирования и тематических исследований, проводимых с целью получения объективной информации о текущем состоянии региона. Результаты обработки интегрируются в тематические ГИС для проведения всестороннего анализа и получения информации о динамике развития позитивных и негативных территориальных и объектовых процессов.

В настоящее время компания «Совзонд» предоставляет заказчику наиболее эффективные решения его задач, в том числе решения, связанные с созданием ЦКМ. Компания «Совзонд» является поставщиком данных дистанционного зондирования Земли со спутников Ресурс-ДК1, WorldView-1, GeoEye-1, QuickBird, IKONOS, OrbView, FORMOSAT, SPOT, ALOS, RapidEye, RADARSAT, TerraSAR и др. и программных решений для обработки космических данных — ENVI, INPHO, MicroStation.

© Т.А. Абибулаева, 2009

УДК 528.852

А.А. Бучнев, В.П. Пяткин

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

СГГА, Новосибирск

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

A.A. Buchnev, V.P. Pyatkin

ICM&MG SB RAS, Novosibirsk

CLUSTER ANALYSIS OF THE EARTH REMOTE SENSING DATA

Abstract. The description of the extended version of the cluster analysis (unsupervised classification) system of the Earth multispectral remote sensing data is presented in this article. The choice of the some parameters, which are affect to K -means cluster results, was included in the corresponding software. These parameters are: the K -means algoriphm (Lloyd or MacQueen), type of metric (Euclidian, City-block, Chebychev), algorithm initialization methods and others. The complex procedure, consists of two steps, was realized. The first step is the preliminary clustering, based on the multidimensional histogram modes analysis, and the second is the merging hierarchical clustering, which used the results of the first step as input data.

В настоящей работе представлено описание дальнейшего развития системы кластерного анализа (неконтролируемой классификации) многоспектральных данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) в программном комплексе обработки ДДЗЗ, разработанного в ИВМиМГ СО РАН совместно с НИЦ «Планета» Роскомгидромета РФ [1]. Напомним, что кластерный анализ в программном комплексе был представлен двумя алгоритмами – методом K -средних и методом анализа мод многомерной гистограммы [2].

1.1.Метод K -средних. Первый подход основан на итеративной процедуре отнесения векторов признаков классам по критерию минимума расстояния от вектора до центра класса. Оптимальным считается такое разбиение входных векторов на кластеры, при котором внутриклассовый разброс не может быть уменьшен при переносе какого-либо вектора из одного кластера в другой.

Алгоритм K -средних, согласно [3], является одним из способов, называемых «Методы центра тяжести», которые используются в задачах автоматической классификации данных, и представляет собой вариант метода динамических сгущений.

В свою очередь для алгоритма K -средних существуют два способа пересчета центров кластеров при выполнении итерационных операций. В

соответствии с первым методом (метод Ллойда [4]) выполнение каждой итерации алгоритма состоит в распределении всех векторов данных по кластерам по минимуму расстояния до центров кластеров и последующем пересчете центров кластеров в соответствии с полученным распределением. В варианте, предложенном Мак-Квином [5], во время выполнения итерации алгоритма каждый раз, когда выясняется, что вектор, находящийся в j -ом кластере, на самом деле ближе к центру k -го кластера, то этот вектор переводится из кластера j в кластер k с пересчетом центров и объемов этих кластеров.

В обоих вариантах количество выполняемых алгоритмами итераций ограничивается значением параметра *Iterations*. Дополнительным параметром управления временем работы алгоритма является значение *Delta* – точность вычислений. В первом варианте алгоритм заканчивает работу на итерации с номером k , если $|E_{k-1} - E_k| \leq Delta$, где E_k – сумма квадратов расстояний (ошибок) всех векторов до центров соответствующих кластеров на k -ой итерации. В варианте Мак-Квина алгоритм заканчивает работу на очередной итерации, если число векторов, переведенных из одного кластера в другой, не превосходит заданной величины V_Transp .

Описанная в [2] процедура кластеризации является реализацией алгоритма Мак-Квина для векторов, являющихся векторами средних связных компонент, получаемых разбиением исходной выборки на чистые и смешанные векторы. Это разбиение реализуется с помощью нахождения связных компонент на градиентном изображении на основе заданного соотношения чистых и смешанных векторов.

Такой подход позволяет существенно уменьшить время кластеризации за счет снижения объема данных. В то же время процесс разбиения векторов на чистые и смешанные является в большой степени эвристическим механизмом: небольшие изменения параметра, задающего соотношение чистых и смешанных векторов, могут приводить к большим изменениям в получаемых результатах.

В настоящее время алгоритмы Ллойда и Мак-Квина могут быть использованы для кластеризации как связных компонент, так и всей исходной выборки векторов данных.

1.2.Выбор метрики. В процессе работы алгоритмов расстояние между векторами x и y определяется на основе одной из трех метрик (норм):

- Евклидова метрика (L_2 – норма) $\rho(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{can} (x_i - y_i)^2}$,
- City-block метрика (L_1 – норма) $\rho(x, y) = \sum_{i=1}^{can} |x_i - y_i|$,
- Чебышева метрика (L_∞ – норма) $\rho(x, y) = \max |x_i - y_i|, i=1, \dots, can$.

Здесь *can* – размерность векторов (число спектральных диапазонов).

Выбор метрики определяет форму получаемых кластеров. Для метрики Евклида эквидистантными поверхностями являются гиперсферы, центры которых совпадают с центрами кластеров.

Для L_1 – нормы эквидистантными поверхностями являются поверхности выпуклых гипермногогранников, которые можно определить как гипероктаэдры; в случае $can=3$ для кластера с центром $x^c = (x_1^c, x_2^c, x_3^c)$ точки $x = (x_1, x_2, x_3)$ эквидистантной поверхности должны удовлетворять уравнению

$$\rho(x, x^c) = |x_1 - x_1^c| + |x_2 - x_2^c| + |x_3 - x_3^c| = K, \quad K - const;$$

это уравнение определяет октаэдр с центром в точке x^c и координатами вершин $(x_1^c - K, x_2^c, x_3^c)$, $(x_1^c + K, x_2^c, x_3^c)$, $(x_1^c, x_2^c - K, x_3^c)$, $(x_1^c, x_2^c + K, x_3^c)$, $(x_1^c, x_2^c, x_3^c - K)$, $(x_1^c, x_2^c, x_3^c + K)$.

Для метрики Чебышева эквидистантными поверхностями являются поверхности гиперкубов, центры которых находятся в центрах кластеров.

1.3.Выбор начальных центров кластеров. Известно (см., например, [6]), что результаты кластеризации методом K -средних зависят от выбора начальных центров кластеров, а в некоторых случаях даже от порядка, в котором расположены входные данные. Нами реализованы следующие варианты выбора начальных центров кластеров.

1.3.1. Пусть m – вектор средних исходной выборки. Вычисляется значение квадратного корня из суммы дисперсий в каналах:

$$Dispers_S = \left(\sum_i \sigma_i^2 \right)^{1/2}, \quad \text{где } \sigma_i^2 - \text{дисперсия в } i\text{-ом канале.}$$

Вычисляется значение переменной $Ak = C_Sdisp * Dispers_S$, где C_Sdisp – входной параметр программы, $C_Sdisp > 0.05$. В качестве первого начального центра кластера берется первый вектор. Затем, если расстояние от очередного вектора до ближайшего центра кластера больше Ak , этот вектор образует центр нового кластера; в противном случае, если выбран алгоритм Мак-Квина, вектор присоединяется к ближайшему кластеру. Как только получится нужное число центров кластеров, остальные векторы относятся к ближайшим кластерам. Заметим, что при таком выборе начальных центров количество кластеров может оказаться меньше требуемого (если не найдется нужного количества векторов, отстоящих друг от друга на расстояние, большее Ak). Кроме того, именно при таком выборе начальных центров результат кластеризации зависит от порядка векторов в исходной выборке.

1.3.2. По полученным значениям компонент среднего вектора m и стандартным отклонениям формируются векторы v_b и v_e с компонентами

$$v_b = (m_1 - \sigma_1, m_2 - \sigma_2, \dots, m_n - \sigma_n), \quad v_e = (m_1 + \sigma_1, m_2 + \sigma_2, \dots, m_n + \sigma_n) \quad (n - \text{количество каналов}).$$

Центры кластеров распределяются равномерно вдоль вектора, соединяющего векторы v_b и v_e , т. е. для i -го кластера центр находится в позиции с координатами $v_i = v_b + i * dv$, $i = 0, 1, \dots, Kk - 1$, где dv – вектор с координатами $dv = \frac{2}{(Kk - 1)}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$. Затем все векторы распределяются по кластерам в соответствии с критерием близости к центрам (здесь Kk – требуемое количество кластеров). По такой схеме определяются начальные центры кластеров в программном комплексе *Erdas Imagine*. При таком выборе начальных центров количество кластеров может оказаться меньше требуемого (для некоторых центров может не оказаться векторов, наиболее близких к ним).

1.4.Отбор векторов для кластеризации. Как известно (см., например, [7]), результаты кластеризации методом K -средних в большой степени зависят от дисперсии входных данных: большая дисперсия стремится нарушить форму получаемых кластеров. В связи с этим предусмотрена возможность ограничения набора векторов для кластеризации: обрабатываются только те векторы, которые не выходят за границу эквидистантной поверхности (в случае евклидовой метрики это гипершар) $\rho(x, y) = Distance_M * Dispers_S$ с центром в векторе средних m (векторы, не удовлетворяющие этому условию, назовем «далёкими»). $Distance_M$ – параметр программы. По окончании процесса кластеризации «далёкие» векторы, в зависимости от значений некоторых параметров, могут быть полностью либо частично распределены по кластерам на основе минимума расстояния до центра кластеров.

Кроме того, на исходном изображении могут присутствовать объекты, которые фактически являются шумом по отношению к интересующей эксперта части изображения (например, таким объектом при анализе прибрежных водных акваторий является суша). В связи с этим для исключения из процесса обработки ненужных объектов предусмотрен механизм маскирования векторов изображения: с обрабатываемым изображением связывается одноканальное изображение, в котором пикселы со значением 255 разрешают обработку



Рис. 1

соответствующих векторов исходного изображения (физические размеры обоих изображений должны быть одинаковыми). Рис. 1–3 демонстрируют влияние маски на результат кластеризации. На рис. 1 приведено исходное изображение части прибрежной акватории Черного моря. На рис. 2 и 3 приведены результаты кластеризации этого изображения алгоритмом Ллойда (выделялось 10 кластеров). На рис. 2 результат кластеризации всего изображения. Рис. 3 демонстрирует эффект маскирования суши и облачности.

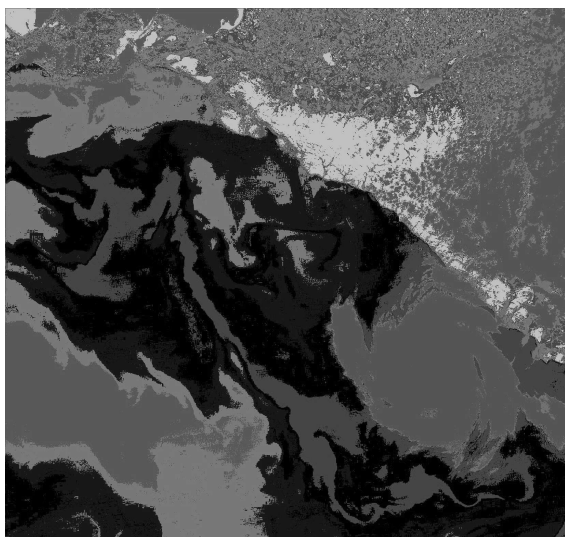


Рис. 2

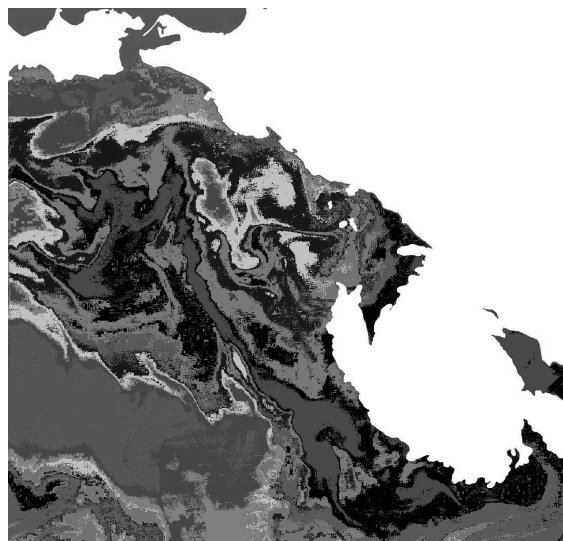


Рис. 3

2. Комплексный метод: анализ мод многомерной гистограммы с последующей иерархической группировкой. Второй метод, включенный в систему кластерного анализа, основан на анализе мод многомерной гистограммы [2, 8]. Практическое использование этого метода показывает, что зачастую получение приемлемого результата является весьма трудоемким процессом и требует высокой квалификации эксперта-исследователя. Причиной этого является, вероятно, то, что алгоритм является многопараметрическим (в частности, на решение оказывает большое влияние способ сглаживания гистограммы). В связи с этим, система кластеризации дополнена двухэтапной процедурой (с сохранением всех ранее существовавших функций): на первом этапе выполняется предварительное разбиение исходной выборки на кластеры с помощью модального анализа, а затем для получения окончательного результата используется иерархическая группировка [9].

Заметим, что применение иерархической группировки для кластеризации исходного набора векторов нереально из-за того, что используемая в алгоритме матрица расстояний состоит (в начале работы алгоритма) из $N(N-1)/2$ элементов, где N – количество векторов. Предварительное использование модального анализа позволяет сократить объем данных до разумных пределов. В качестве входных данных для иерархической группировки используются векторы средних группы векторов, связанных с каждой модой многомерной гистограммы. Напомним, что на каждом шаге восходящей иерархической классификации объединяются два кластера, расстояние между которыми минимально. Среди всех возможных расстояний между кластерами (см. [7, 9]) для ускорения вычислений используется простейшее – расстояние между векторами средних кластеров.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асмус В.В., Бучнев А.А., Пяткин В.П. Программный комплекс для обработки данных дистанционного зондирования Земли // Труды XXXII Международной конференции «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе IT+SE'2005», 20–30 мая 2005 г., Украина, Крым, Ялта – Гурзуф, с. 229–232.
2. Бучнев А.А., Пяткин В.П. Контролируемая и неконтролируемая классификация в обработке данных дистанционного зондирования Земли. Труды Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», 23–27 апреля 2007, Новосибирск, Россия, т. 3, ч. 1. «Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия».
3. Дидэ Э. Методы анализа данных. Пер. с фр. – М.: Финансы и статистика, 1985.
4. Lloyd S.P. Least Squares Quantization in PCM. IEEE Trans. Information Theory, vol. 28, 129-137, 1982.
5. MacQueen J.B. Some Methods for Classification and analysis of multivariate observations. Proc. of the 5-th Berkley Symposium on Mathematical Statistical and Probability, 1967, vol. 1, p. 281–297.
6. Pena J.M., Lozano J.A., Larranaga P. An empirical comparison of four initialization methods for the K-Means algorithm. Pattern Recognit. Lett., vol. 20, pp. 1027–1040, 1999.
7. J.P. Marques de Sa. Pattern Recognition: concepts, methods and applications. Springer-Verlag, 2001.
8. Асмус В.В. Программно-аппаратный комплекс обработки спутниковых данных и его применение для задач гидрометеорологии и мониторинга природной среды // Диссертация (научный доклад) на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. На правах рукописи. Москва. – 2002. – 75 с.
9. Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия. Пер. с фр. – М.: Финансы и статистика, 1988.

© А.А. Бучнев, В.П. Пяткин, 2009

УДК 528.854.4

П.А. Калантаев, В.П. Пяткин

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

WEB-СЕМАНТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

P.A. Kalantaev, V.P. Pyatkin

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Science, prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

WEB-SEMANTIC DATA PROCESSING OF SPACE MONITORING

Abstract. Ideas, concepts and services of global WWW-informatics which is the basis of the technology of semantic interpretation of geodata in WEB, are presented here. The software core of the technology – the original compiler of text attributive geodata.

1. Введение

Парадигма современной информатики предполагает WWW-интеграцию глобальных ДДЗ и локальных отраслевых данных в целостный объект данных - планета Земля, со всем ее природным и антропогенным содержанием. В первой части работы рассматриваются новейшие понятия и направления глобальной геоинформатики, обуславливающие тему исследования, это: **семантическое моделирование в БД; NeoGeo – неогеография; Web-2; Wiki проекты; GeoWeb – Geospatial Web; картографические web-сервисы OGC.** Новый подход в разработке локальных ГИС – это вписывание ГИС в глобальный сетевой массив ДДЗ посредством Web –семантики. Обновление глобальных-локальных данных сверху-донизу, и это важно, производится посредством коллективной технологии Wiki, успешно себя зарекомендовавшей в самых разных приложениях WWW. Первая часть работы дает представление об идеях, концепциях и парадигмах глобальной информатики, на основе которых во второй части работы предлагается технология семантической интерпретации геоданных в WEB. Программное ядро технологии – оригинальный транслятор текстовых атрибутивных геоданных, разработанный на языке Java.

1. Семантическое моделирование в БД

В реальном проектировании баз данных преобладает естественный метод **семантического моделирования** структуры данных, опирающийся на смысл этих данных. В качестве инструмента семантического моделирования используются различные варианты **диаграмм сущность-связь**. По сути, все варианты диаграмм сущность-связь исходят из одной идеи – рисунок всегда

нагляднее текстового описания. Все такие диаграммы используют графическое изображение сущностей предметной области, их свойств (атрибутов), и взаимосвязей между сущностями [1]. Неогеография, рассмотренная ниже, также базируется на методе семантического моделирования атрибутивных геоданных представленных в формате гипертекста WWW.

2. NeoGeo – Неогеография

Неогеография – новое поколение средств и методов работы с геопространственной информацией, отличающееся от предыдущих (карт и ГИС) тремя основными признаками.

1. Использованием географических (широта, долгота, высота), а не картографической (x, y) систем координат. Это позволило решить ключевую проблему обычных карт – сведение высокоточных геоданных воедино.

2. Применением растрового, а не векторного представления географической информации в качестве основного. Это позволяет комплексно отображать местность.

3. Использованием открытых гипертекстовых форматов представления геоданных.

Термин Неогеография (NeoGeo) получил широкое распространение после выхода в свет в декабре 2006 года книги Эндрю Тёрнера «Введение в Неогеографию». NeoGeo представляет собой набор методик и средств, выходящих за рамки «классических» ГИС. NeoGeo объединяет воедино сложные технологии картографии и ГИС и делает их доступными для пользователей и разработчиков. NeoGeo эпохи Web 2.0 предполагает, что картографические данные создаются самими пользователями, которые как правило, не географы-профессионалы. Классический пример решений, выполненных в идеологии NeoGeo – это геопорталы Google Earth и Google Maps.

3. Web 2.0

Появление термина **Web 2.0** принято связывать со статьёй «Tim O'Reilly – What Is Web 2.0» от 30 сентября 2005 года. В этой статье Тим О'Рейли выявил некоторые новые принципы создания сайтов в соответствии с общей тенденцией развития интернет-сообщества, и назвал это явление Web 2.0, в противовес «старому» Web 1.0. Исследователи Web 2.0 выделяют несколько основных аспектов этого явления: Web-службы; AJAX (Асинхронные JavaScript и XML); Web-синдикация; Mash-up (Web приложение комбинирующее данные и функции нескольких источников: текстовых, графических, аудио, видео и др.); Метки (теги); Социализация.

4. Wiki проекты

Wiki – web-сайт, структуру и содержимое которого пользователи могут сообща изменять с помощью простых инструментов, предоставляемых самим сайтом. **Wiki** часто используются для коллективного создания объемных и сложных web-сайтов различной тематики. **Семантическая wiki** – wiki, модель знаний которой описана на ее страницах. Обычные wiki заполняются структурированным текстом и нетипизированными гиперссылками.

Семантические wiki позволяют указывать тип ссылок между статьями, тип данных внутри статей, а также информацию о страницах (метаданные). Цель семантической wiki: обеспечить машинную обработку Web данных с минимальными усилиями для пользователей. По wiki-принципам строят картографические сервисы, пример <http://wikimapia.org>.

5. GeoWeb - Geospatial Web

Geospatial Web или **Geoweb** подразумевает объединение географической (локально-ориентированной) информации с текущей абстрактной информацией Интернет. Это позволяет создать среду, в которой можно искать вещи на основе местоположения, вместо поиска по ключевым словам. Среда **Geoweb** – это кибер-инфраструктура, объединяющая Интернет адресацию и иерархическую пространственную адресацию. Таким образом Geoweb характеризуется самосинхронизацией сетевой адресации, времени и места.

6. Картографические web-сервисы OGC

Становятся популярными различные картографические интернет-сервисы, например, Google Earth / Google Maps. Общие принципы и стандарты программного обеспечения такого рода сервисов, разрабатываются и декларируются международной некоммерческой организацией **OGC – Open Geospatial Consortium**. Одной из первых разработок OGC были стандарты по созданию **GML – Geography Markup Language** – языка группы XML, предназначенного для описания географически привязанных объектов. GML может быть использован и как язык моделирования, и как язык передачи пространственной информации в сети. Важная спецификация OGC – **KML – Keyhole Markup Language**: XML-ориентированный язык схем для экспресс-аннотаций и визуализации текущей и будущей Web-основы, двухмерных карт и трехмерных обзоров Земли.

7. Технология семантической интерпретации геоданных

Технология семантической интерпретации геоданных базируется на трансляторе пользовательского мета языка семантической разметки атрибутивных геоданных WEB. Назначение транслятора – автоматизация семантической разметки и преобразования в формат HTML/XML, уже накопленных разнородных атрибутивных геоданных для задач исследования природных ресурсов [3]. Транслятор (рис.1), на основе входного текстового файла разметки геоданных, формирует выходной файл в формате HTML/XML, в том числе онтологии конкретных предметных областей. Технология допускает итеративный процесс семантической разметки и редактирования пользователем промежуточных результатов трансляции, остановленной после интерпретации встроенных функций обработки размеченного текста, если таковые обнаружены транслятором.

Промежуточный результат трансляции – суть добавление к исходному тексту (макроподстановка) результатов его интерпретации в формате входного мета языка, после редакции может быть вновь интерпретирован или окончательно транслирован в формат HTML/XML. Транслятор может быть настроен на различные мета языки пользователей, варьируемые в рамках «правил описания языка». Согласно «правилам» синтаксис языка задается в

НФБ (нормальная форма Бэкуса-Наура). Конструкции пользовательского мета языка семантической разметки геоданных:

- Объявления типов данных, переменных и констант – символьных, текстовых и числовых целых;
- Служебные слова и символы семантической разметки;
- Встроенные функции обработки размеченного текста:
- Статистика повторяемости ключевых слов в блоке текста,
- Проверка грамматики слов на основе машинного словаря русского языка,
- Контекстный поиск и замена по образцу,
- Замена почтовых адресов, указанных в блоке текста, в реальные географические координаты,
- Определение принадлежности имени собственного заданным категориям имен, (фамилия, имя, отчество, название населенного пункта),
- И т. д.

Планируется расширение мета языка управляющими операторами обработки объектов текста.

Генератор гипертекста HTML-XML представляет собой алгоритм обхода дерева и выполнения над ним трех операций. Во-первых, получение типов всех функций и объектов, определение области их видимости. Это позволит автоматически генерировать код для корректной записи аргументов функций и иных объектов. Во-вторых, происходит раскрытие конструкций метаязыка в новые ветви дерева. И последнее – запись обработанных ветвей кода метаязыка обратно во входной файл

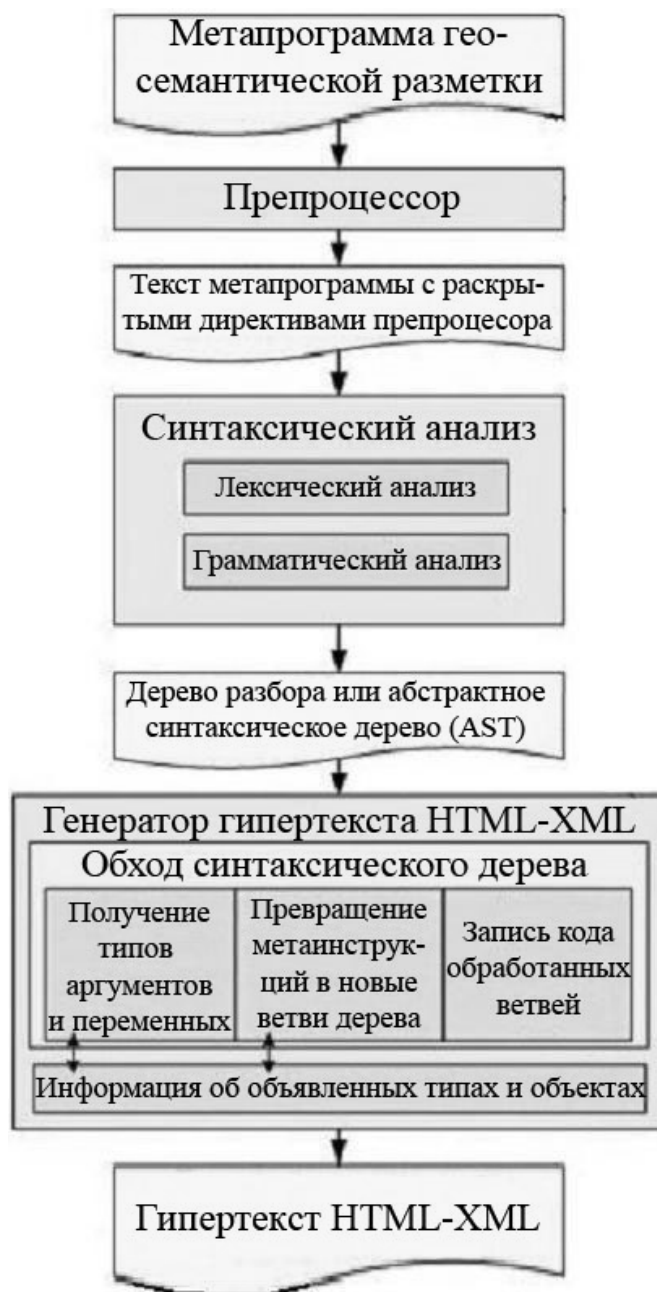


Рис. 1. Принципиальная схема транслятора мета языка для генерации гипертекста HTML-XML

(макрорасширение и макроподстановка результатов интерпретации функций обработки текста).

Заключение

В заключение следует отметить факт разрастающейся, как снежный ком, сферы применения инструментов и стандартов глобальной WWW в локальных областях науки, техники и народного хозяйства. Универсализация локальной информатики в терминах глобальной информатики – процесс добровольный, ибо дает пользователям как правило бесплатный (FreeWare) инструмент, разработанный коллективно и наилучшим образом проверенный большим числом пользователей. Приспособление локальных задач к инструментам решения глобальных задач – объективный процесс развития информационных технологий отраслей промышленности, востребованных на мировом рынке. Вхождение России в процесс глобальной информатизации происходит по мере возвращения отечественной промышленности на передовые позиции в мире.

Обоснованная в работе, находящаяся в стадии реализации и отладки, технология семантической интерпретации геоданных в WEB дает функциональное наполнение базы данных природных явлений, созданной на предыдущем этапе разработки [3]. Планируемое развитие настоящей работы – разработка системы построения трансляторов метаязыков описания, семантической разметки и агрегирования атрибутивных геоданных.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. П.А. Калантаев. Семантическая организация пространственных данных. // В сборнике трудов Международной Конференции «ИНТЕРКАРТО – ИНТЕРГИС 11 Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт» 25 сент. – 3 окт. 2005 г., Ставрополь-Домбай-Будапешт, изд-во СГУ, 2005 г., с. 92–96.
2. А.А. Бучнев, П.А. Калантаев, В.П. Пяткин. Интернет технологии в обработке данных дистанционного зондирования Земли // Труды Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2006», 24–28 апреля 2006, Новосибирск, Россия, т. 3, ч. 1. «Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия», с. 43–51.
3. Калантаев П.А. Функции семантической обработки данных космического мониторинга // Труды Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», 25–27 апреля 2007, Новосибирск, Россия, т.3 «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология», с. 162–165.

© П.А. Калантаев, В.П. Пяткин, 2009

УДК 528.852

В.С. Сидорова

ИВМиМГ, Новосибирск

МОДЕЛЬ ТЕКСТУРЫ SAR*

V.S. Sidorova

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics

ИВМиМГ(ICMandMG)

6 Lavrentjev avenue, Novosibirsk, 630009, Russian Federation

MODEL OF TEXTURE SAR

Autoregressive model of stochastic field is described and its using for clustering natural textures.

На дискретном изображении $M \times M$ задан двумерный массив уровней серого тона $\{g(x, y); x, y = 0, 1, \dots, M - 1\}$. Верхний левый угол ($x = 0, y = 0$) и нижний правый ($x = M - 1, y = M - 1$). Предполагая, что среднее выборки равно нулю, $g(x, y)$ определяется на тороидальной решетке $M \times M$ как

$$g(x, y) = \sum_{(i, j) \in N}^{B^j(N)} \theta_{(i, j)} g(x \oplus i, y \oplus j) + \sqrt{\rho_N} \omega(x, y), \quad (1)$$
$$x, y = 0, 1, \dots, M - 1$$

где N – множество соседей пикселя (x, y) в пространственной области;

$\theta_{(i, j)}$ – коэффициенты модели, характеризующие зависимость уровня серого этого пикселя от уровней серого для соседей;

$\oplus$ – сложение по модулю M подобно обычному сложению для всех точек (x, y) , кроме тех, которые расположены на краях изображения $M \times M$ или около них. В этом случае оператор создает тороидальную решетку и производит полное множество соседей;

$\omega(x, y)$ – независимые одинаково распределенные гаусовские случайные величины с нулевым средним и единичной дисперсией, характеризующие флуктуации и шум в модели;

ρ_N – общая дисперсия шума.

Множество N состоит из пар целых чисел, соответствующих координатам соседей по отношению к пикселю (x, y) , исключая $(0, 0)$. Общепринятое множество $N_1 = \{(1, 0), (0, 1), (-1, 0), (0, -1)\}$ показано на рис. 1. При выборе

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

симметричного множества соседей $\theta_{(i,j)} = \theta_{(-i,-j)}$ [2]. Вообще может быть задано другое множество соседей, их большее число и расстояний между ними. По полученным параметрам может быть построено модельное изображение текстуры. Для хорошего визуального сходства модельного изображения с исходным требуется много соседей.

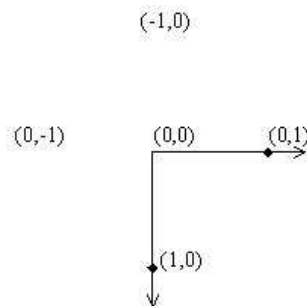


Рис. 1. Относительное расположение симметричного множества соседей $N_1 = \{(1,0), (0,1), (-1,0), (0,-1)\}$

Однако для задачи классификации может быть достаточно их небольшого числа. Для приближенного вычисления параметров модели был предложен метод максимального правдоподобия (ML) [1]. Обозначим их значения $f_N = \{\hat{\theta}_{(i,j)}; (i,j) \in N, \hat{\rho}_N\}$. Параметры SAR могут интерпретироваться с точки зрения некоторых визуальных свойств текстуры. Величины $\hat{\theta}_{(i,j)}$ могут характеризовать направленность. Если выбор множества соседей таков, что направленность текстуры совпадает с направлением от пикселя к одному из соседей, то соответствующие элементы $\hat{\theta}_{(i,j)}$ будут больше остальных. Параметр $\hat{\rho}_N$ имеет прямую связь со степенью зернистости текстуры. Чем больше значение $\hat{\rho}_N$ образца, тем тоньше текстура.

Итеративная схема для вычисления параметров модели [1]:

$$\theta(k+1) = \left(R - \frac{1}{\rho_N(k)} S \right)^{-1} \left(v - \frac{1}{\rho_N(k)} u \right), \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$\rho_N(k) = \frac{1}{M^2} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{M-1} [g(x,y) - \theta^T(k) z(x,y)]^2, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

где $\rho_N(k)$ – ρ_N на k -ой итерации.

Для симметричного множества N :

$\theta(k)$ – вектор из $col[\theta_{i,j}; (i,j) \in N_h]$ на k -ой итерации, где col – столбец

$$z(x,y) = col[g(x \oplus i, y \oplus j) + g(x \oplus i-1, y \oplus j-1)],$$

$$i, j \in N_h, N_h = \{(i,j) \in N \mid (i,j) \text{ is a neighbor of } (0,0)\}.$$

$$R = \sum_{x=0}^{M=1} \sum_{y=0}^{M-1} s_{(x,y)} s_{(x,y)}^T - c_{(x,y)} c_{(x,y)}^T, \quad S = \sum_{x=0}^{M=1} \sum_{y=0}^{M-1} z_{(x,y)} z_{(x,y)}^T,$$

$$u = \sum_{x=0}^{M=1} \sum_{y=0}^{M-1} z_{(x,y)} g_{(x,y)}, \quad v = \sum_{x=0}^{M=1} \sum_{y=0}^{M-1} c_{(x,y)},$$

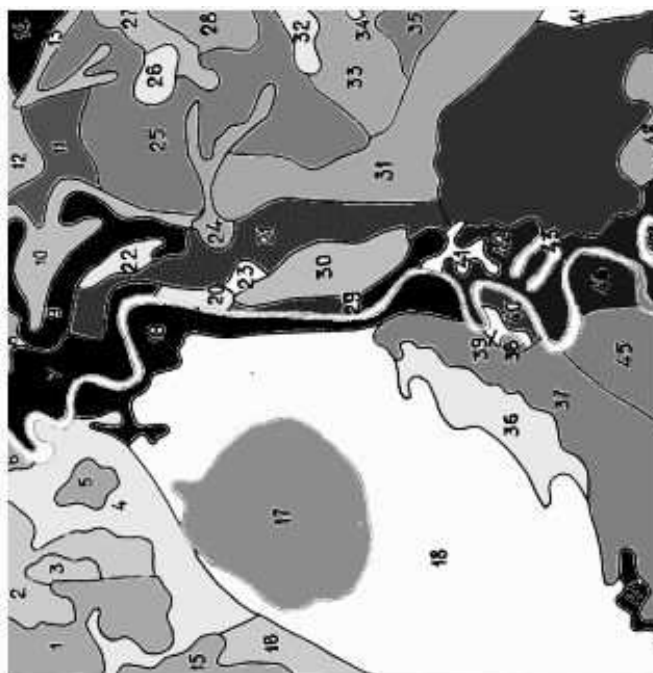
$$c(x, y) = \cos \left[\frac{2\pi}{M} (x \oplus i + y \oplus j); i, j \in N_h \right],$$

$$s(x, y) = \sin \left[\frac{2\pi}{M} (x \oplus i + y \oplus j); i, j \in N_h \right].$$

Начальное значение $\theta(0) = S^{-1}U$. Итерации прекращаются, если $|\theta(k+1) - \theta(k)| < \varepsilon$. В этом исследовании установлено $\varepsilon = 0,001$.

Параметры модели изображения SAR использовались в качестве текстурных признаков для неконтролируемой классификации изображения лесных ландшафтов. Для модели было выбрано симметричное множество соседей N_1 , и вычислялись три ее параметра. Однако для классификации был использован только один модельный признак ρ_N , так как априори известно для данных насаждений, что текстура леса изотропная. Вторым признаком был взят средний тон. Распознавание различных типов леса на аэроснимках проводилось с помощью автоматической неконтролируемой классификации изображения по текстурным признакам [2]. Для анализа было выбрано изображение, содержащее очень близкие по визуальному восприятию текстуры различных типов леса. В результате были получены: размер окна, лучшие классификации (и соответствующее число кластеров) в смысле меры качества для различных диапазонов значений числа уровней квантования.

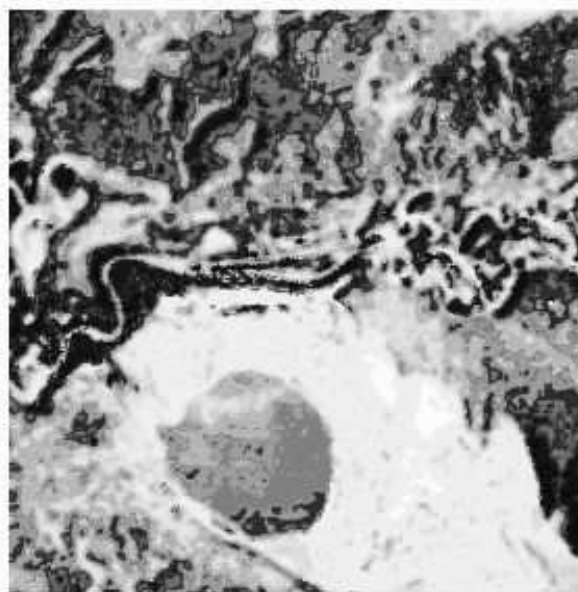
На рис.2.b представлено изображение лесного ландшафта Западной Сибири на черно-белом аэроснимке ($1\,178 \times 1\,157$), разрешение: 5×5 кв. м/пиксель. На черно-белых аэроснимках масштаба 1 : 50 000 осенней съемки текстура лесных сообществ формируется чередованием темных и светлых пятен, соответствующих группам деревьев хвойных и лиственных пород. Визуальный анализ аэроснимков (дешифрирование) является составной частью инвентаризации и мониторинга в лесоводстве. Статистическая текстура леса на снимке настолько хорошо отражает его внутреннее строение, что позволяет лесоводам визуально по изображению определять тип леса и его возраст [3]. На рис. 2.a картосхема выделов наземной таксации. Выдел соответствует насаждениям определенного типа и возраста, но может включать определенный процент других элементов. Представлены сосняки в трех фазах развития и кедровники.



(a)



(b)



(c)

Рис. 2. б) Изображение лесного ландшафта, по горизонтали в средней части – река. а) Картосхема наземной таксации, указаны номера выделов, их описание: 17, 38 – озера; 18, 23, 41, 49 – болота; 2, 3, 16 – осиновые леса; 4, 36, 26, 32, 20 – березовые леса; 7, 9, 19, 14, 44 – кедровые леса старших фаз (самые темные оттенки на карте); 40, 42, 46 – кедровые леса IV фазы; 21 – чередование кедровых лесов различных фаз; сосновые леса: 1, 5, 15, 25 – VI фазы, 28, 31, 33, 48 – XIII фазы, 30, 24, 10, 12, 13, 27 – IV фазы; 11 – чередование кедровых и сосновых насаждений. с) Кластерная карта, кедровым лесам соответствуют самые темные кластеры, лиственным – самые светлые.

Текстуры этих типов леса близки для определенных фаз развития, но специалисты различают их при визуальном дешифрировании. На изображении также есть лиственные: березовые и осиновые. В нижней части снимка большое болото и круглое озеро. Положение кластеров на кластерной карте соответствует картосхеме наземной таксации. Сосновым и кедровым насаждениям средних фаз соответствует по два-пять кластеров на каждый из указанных возрастных фаз.

Сравнение двух систем признаков: основанных на модели случайного поля (SAR) и статистике Харалика [4] показало, что признаки модели обладают большей различительной мощностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kashyap R.L., Chellapa R. Estimation and Choice of Neighbors in Spatial Interaction Models of Images. IEEE Trans. Inform. Theory. 1983. Vol. 1. P. 60–72.
2. V.S. Sidorova. Unsupervised Classification of Image Texture. Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications (/Interperiodica Publishing). 2008. Vol.18. No. 4. P. 694–700.
3. Седых В.Н. Формирование кедровых лесов Приобья. – Новосибирск: Наука, 1979.
4. R.M. Haralick, K. Shanmugam, I. Dinstein. Textural Features for Image Classification. IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. 1973. Vol. SMS-3. P. 610–621.

© В.С. Сидорова, 2009

УДК 528.852

В.С. Сидорова

ИВМиМГ, Новосибирск

ИЕРАРХИЧЕСКИЙ КЛАСТЕРНЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ*

V.S. Sidorova

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics

ИВМиМГ(ICMandMG)

6 Lavrentjev avenue, Novosibirsk, 630009, Russian Federation

HIERARCHICAL CLUSTER ALGORITHM FOR REMOTE SENSING DATE

Histogram cluster algorithm, creating hierarchy of distributions of most isolated clusters is offered.

В [1] был представлен гистограммный алгоритм, позволяющий получить лучшие по заданной мере распределения векторов по кластерам. Экспериментально было показано, что хорошо изолированные кластеры именно этих распределений соответствовали представительным информационным классам зондируемой поверхности Земли. Этот алгоритм неконтролируемой классификации может служить автоматическому распознаванию объектов по данным дистанционного зондирования.

Однако данные могут быть разнородны и кластерная структура различна для разных объектов. Поэтому здесь предлагается новый алгоритм, выстраивающий иерархическую последовательность лучших распределений. Смысл алгоритма в том, что он находит сначала кластеры (и размер ячейки векторного пространства, связанный с числом уровней квантования), наилучшим образом изолированные в пространстве признаков согласно минимуму меры качества распределения векторов. Границы кластеров проходят по областям наиболее низкой плотности векторов. Затем алгоритм внутри каждого полученного кластера увеличивает число уровней квантования векторного пространства и находит новое лучшее кластерное распределение и свой новый размер ячейки и так далее. На каждом этапе поиск лучшего распределения по унимодальным кластерам осуществляется методом [1], кратко описанным ниже.

В основе классификации быстрый непараметрический гистограммный кластерный алгоритм [2]. Большое число векторов данных дистанционного зондирования позволяет рассматривать многомерную гистограмму дискретного

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

векторного пространства как приближение функции распределения векторов. Алгоритм разделяет векторное пространство по унимодальным кластерам, которые соответствуют локальным максимумам гистограммы. Границы кластеров проходят по долинам гистограммы, то есть по областям низкой плотности векторов. Многомерные векторы хранятся в виде упорядоченного по возрастанию списка, поэтому гистограмма не занимает лишней памяти. Алгоритм [1] позволяет выбрать детальность классификации и оценить ее качество в смысле меры изолированности кластеров. Параметром детальности является число уровней квантования n векторного пространства. Пусть их начальное число $n < n_0, n_0 = 256$. Размер ячейки для произвольного уровня квантования $kf = (n_0 - 1)/(n - 1)$. Пусть L – число признаков, $f = [f(1), f(2), \dots, f(L)]$ – вектор признаков, $g = [g(1), g(2), \dots, g(L)]$ – вектор, в который преобразуется f :

$$g(k) = \left[\frac{f(k)}{kf} \right], k = 1, \dots, L,$$

где $[.]$ целая часть числа.

Мера изолированности для унимодального кластера $m^j(n)$ (1), и мера качества распределения в целом $m(n)$ по $K(n)$ кластерам(2):

$$m^j(n) = \frac{1}{B^j(n) * H^j(n)} \sum_{i=1}^{B^j(n)} h_i^j(n), \quad (1)$$

$$m(n) = \frac{1}{K(n)} \sum_{j=1}^{K(n)} m^j(n), \quad (2)$$

где $h_i^j(n)$ значение гистограммы в i -той точке границы кластера j , $B^j(n)$ число точек границы кластера, $H^j(n)$ максимальное значение гистограммы.

Всегда $m^j(n) \leq 1$ и $m(n) \leq 1$. Границы кластера легко вычислить, используя список соседей всех векторов. Минимумы (3) соответствуют лучшим классификациям для различных диапазонов значений n .

Каждый полученный кластер на данном этапе иерархии рассматривается как область для дальнейшей классификации независимо от остальных кластеров. Построение иерархической последовательности можно продолжать до тех пор, пока кластеры разделяются хотя бы на два новых. Общее качество кластерного распределения можно оценить как среднее по всем кластерам и выбрать уровни иерархии, соответствующие минимумам $m(n)$ (2). Можно также ограничиться внутри каждой ветви достижением такого распределения, когда значение $m(n)$ становится выше заданного порога. Нужно, однако, иметь в виду, что дальнейшее увеличение числа уровней квантования может улучшить ситуацию, т. е. один кластер распадется на несколько или качество распределения повысится. Поэтому дальнейшее построение иерархии продолжается, но параметры достигнутого состояния запоминаются как ориентир. Если на одном из последующих этапов найдется лучшее распределение по всем кластерам, произведенным от ориентировочного, то ориентир отменяется, иначе ориентир-кластер целиком войдет в окончательное

распределение. В результате получается распределение данных по кластерам, представленных с дифференцированной детальностью в соответствии со степенью их изолированности. Технически классификация осуществляется последовательностью этапов. Этап включает в себя обработку кластеров, полученных на предыдущем этапе. Обработка каждого кластера состоит в поиске лучшего распределения для его векторов при дальнейшем увеличении детальности, т. е. уменьшении ячейки квантования. Нумерация кластеров сквозная для каждого этапа.

Для примера рассмотрим фрагмент изображения земной поверхности, полученного со спутника NOAA 24 апреля 2003г. на рис. 1а. Верхнюю часть изображения занимают тающие снега, внизу – оттаявшая поверхность Земли. Очевидна разнородность половинок. Вверху несколько уровней тающего снега, плавно переходящих друг в друга. Внизу большее разнообразие объектов. Для наглядности проведем классификацию по двум спектральным каналам. На рис.1б представлена диаграмма распределения векторов. По осям указаны выбранные спектральные каналы: R соответствует ближнему инфракрасному диапазону, В – голубой части видимого спектра. $m(n) = 0.18$ для лучшего распределения по трем кластерам – трем облакам, число уровней квантования $n = 8$. Число векторов $K(n) = 75$. На рис. 2 кластерная карта. Кластеры соответствуют: 1 – заснеженной и 2 – оттаявшей поверхности, третий очень маленький кластер – черные точки – лед озер, оставим его, так как есть. На следующем этапе проведем классификацию векторов последовательно двух кластеров, увеличивая число уровней квантования, начиная с 9. И получим для них лучшие распределения при разном числе уровней квантования, для первого кластера это 28, для второго 42. Число внутренних кластеров соответственно 17 и 28. Значение меры качества 0.256 и 0.219. Кластерные карты на рис. 3а и 3б. Среднее значение меры для совместного распределения этого второго этапа иерархии по 45 кластерам составляет 0.22.

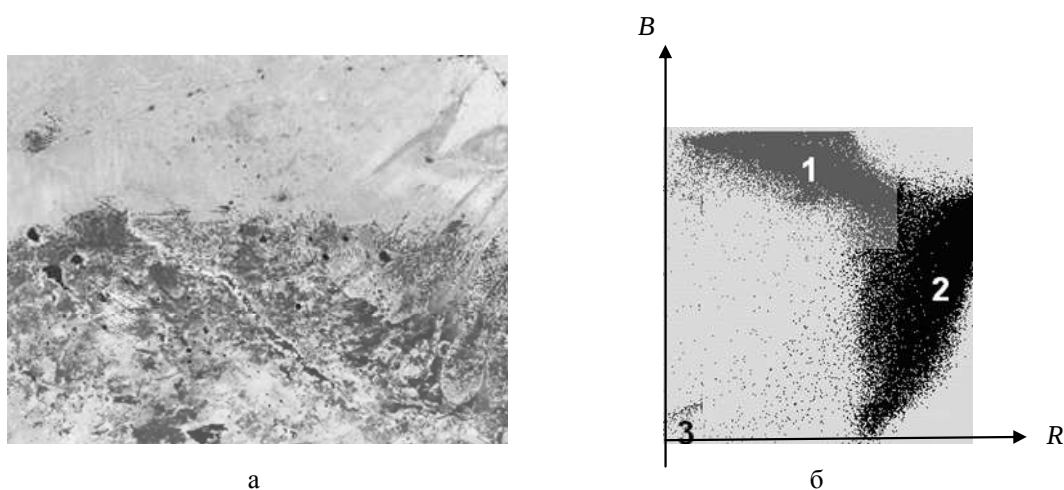


Рис. 1: а) фрагмент спутникового снимка. Слева сверху г. Омск, Иртыш по диагонали от Омска, вверху посередине – озеро Чаны под снегом, в правой части Сузунские ленточные боры; б) векторная диаграмма

Для обычного алгоритма при увеличении n , следующее по возрастанию значение $m(n) = 0.242$ при $n = 28$. Число кластеров 72. Кластерные карты для иерархического и обычного алгоритма представлены на рис. 3а и 3б.

Иерархическим алгоритмом уже на втором этапе получено распределение с более изолированными кластерами, с большей детальностью, и при этом общее число кластеров существенно меньше, благодаря автоматическому дифференцированному выбору ячейки квантования для объектов различной природы. Дальнейший иерархический поиск может еще улучшить качество общего распределения.

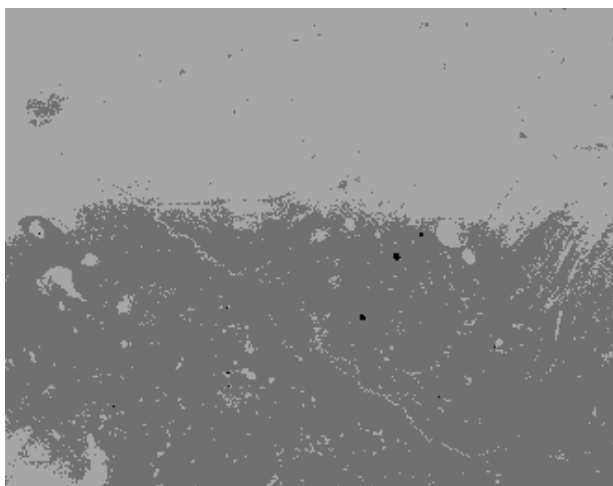
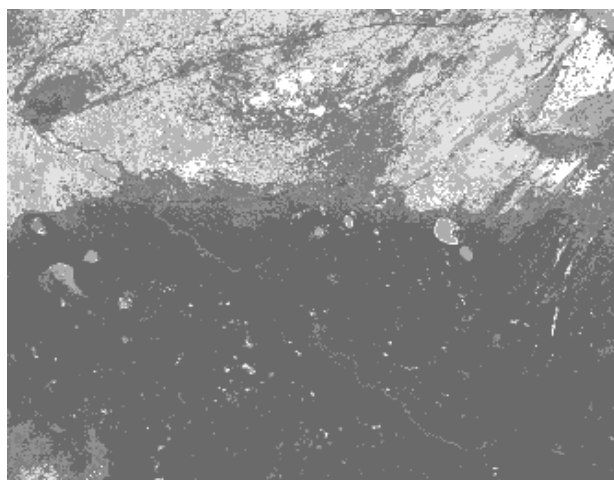
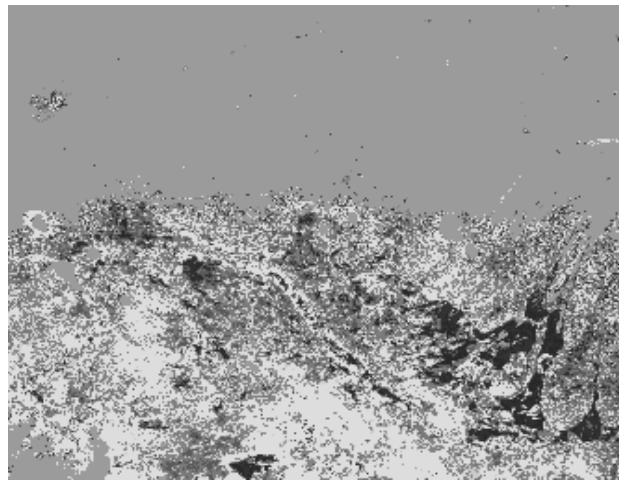


Рис. 2. Кластерная карта распределения с лучшей изолированностью кластеров для полного векторного пространства

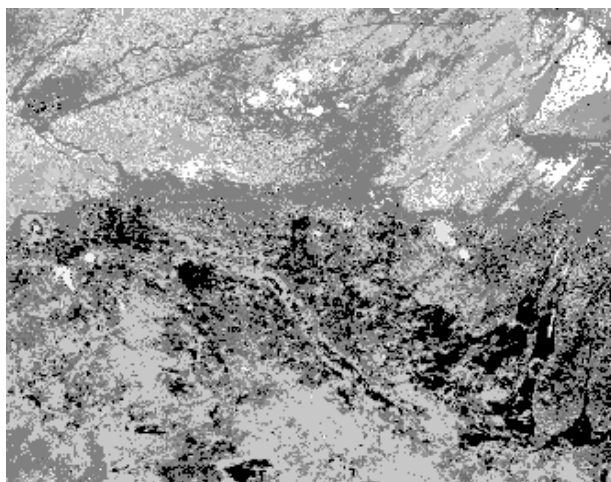


а

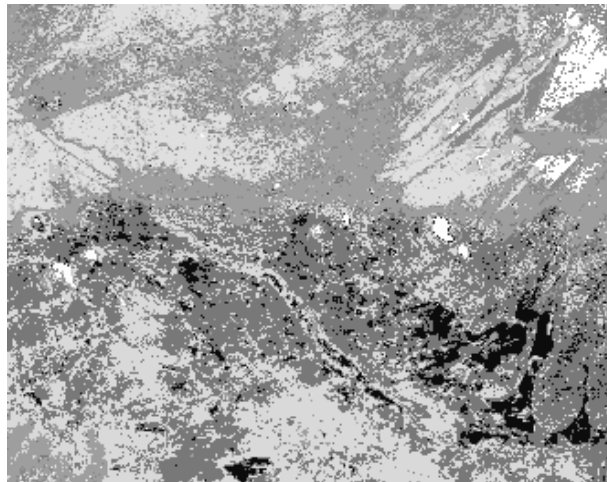


б

Рис. 3: а) классификация кластера 1; б) классификация кластера 2



а)



б)

Рис. 4: а) иерархическая классификация; б) обычная классификация

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.С. Сидорова. Оценка качества классификации многоспектральных изображений гистограммным методом // Автометрия. – 2007. – № 1. – С. 37–43.
2. Narendra P.M. and Goldberg M. A non-parametric clustering scheme for LANDSAT. // Pattern Recognition. 1977. 9. P. 207.

© В.С. Сидорова, 2009

УДК 551.511.42.001

В.Ф. Рапута

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

АНАЛИЗ АЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ОКРЕСТНОСТЯХ НОВОСИБИРСКОГО ЭЛЕКТРОДНОГО ЗАВОДА

V.F. Raputa

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences

Prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

ANALIS FOR EVALUATION OF BENZO(A)PYRENE AEROSOLE POLUTIONS IN NOVOSIBIRSK ELECTRODE PLANT SURROUNDINGS

A model for quantitative interpretation of route observations of fallout areas in surroundings of one-point source is proposed in frames of kinematic scheme of description of heavy polydisperse impurity spreading in atmosphere. Numerical analysis of experimental data of benzo(a)pyrene pollution of snowpack obtained on the end of winter, 2008, in Novosibirsk electrode plant surroundings, has been performed based on this model.

Введение. Закономерности распространения в атмосфере и выпадения на земную поверхность тяжёлых примесей представляют значительный интерес для решения многих практических задач и изучения турбулентных свойств атмосферы. Движение в атмосфере облака тяжёлых частиц определяется в основном двумя факторами: действием силы тяжести в сочетании с силами сопротивления со стороны воздуха и полем ветра. Под влиянием первого из этих факторов происходит опускание частиц, под влиянием второго – перенос облака в горизонтальном направлении. Следует также отметить, что по мере увеличения скорости осаждения частиц происходит убывание коэффициентов турбулентного обмена. При скоростях оседания порядка 1 м/с вполне пригодна для использования кинематическая схема выпадения частиц на поверхность земли [1]. При описании распространения более мелких фракций аэрозольных примесей следует учитывать эффекты турбулентного перемешивания в атмосфере [2].

При проведении численного моделирования и интерпретации данных экспериментальных исследований распространения тяжёлых примесей требуется также информация о функции распределения спектра размеров частиц, которая, как правило, отсутствует. В этом случае возникает необходимость учёта дополнительных априорных сведений о возможных описаниях функции распределения спектра размеров и постановках

соответствующих обратных задач переноса примеси в приземном и пограничном слоях атмосферы.

1. *Экспериментальные исследования загрязнения снегового покрова.* Новосибирский электродный завод (НЭЗ) расположен в равнинной местности в 50 км южнее Новосибирска. Основное производство основано на технологии пиролиза графита, изготовленного из антрацита Горловского разреза, кокса, каменноугольного пека, кубовых остатков нефтехимии. Полиароматические углеводороды (ПАУ) составляют основную часть выбросов завода в атмосферу. Выброс смолистых веществ, включающих бенз(а)пирен (БП) и другие ПАУ, формируется в основном в цехе обжига и в настоящее время осуществляется через одну 180 метровую трубу в связи с проводимой в настоящее время реконструкцией очистного оборудования.

Отбор проб снега в окрестностях НЭЗ проводился в конце февраля 2008 г. по двум радиальным относительно трубы маршрутам, направленным на север и северо-восток. Основной снос примесей в зимнее время происходит по этим направлениям [3]. Точки пробоотбора на маршрутах размещались с учётом предварительной информации об источниках выброса ПАУ, условий местности, системе дорог, размещения застройки и лесных насаждений, состояния снежного покрова, климатических характеристик повторяемости и скорости ветра в зимнее время и т.д. Наличие двух маршрутов позволяет повысить контроль точности оценивания полей загрязнения снежного покрова.

В табл. приведены результаты химико-аналитических исследований снеговых проб.

Таблица. Загрязнение снега бенз(а)пиреном в окрестностях высотной трубы обжигового цеха НЭЗ

Северо-восточное направление			Северное направление		
Номер точки	Расстояние, км	Концентрация, мкг/л	Номер точки	Расстояние, км	Концентрация, мкг/л
1	0,8	10,43	7	0,78	29,01
2	1,05	5,06	8	1,08	14,8
3	1,35	3,12	9	1,4	7,05
4	1,8	0,68	10	3,16	0,64
5	2,24	0,49			
6	3,21	0,2			

Анализ данных представленных в табл., показывает, что концентрация БП в снеге, несмотря на значительную высоту трубы, с удалением от источника быстро уменьшается. Характер изменения концентрации БП с удалением от завода позволяет предположить, что в данном случае доля мелких частиц, содержащих БП, относительно не велика. Основные поступления БП в атмосферу связаны с крупными композитными частицами и обусловлены спецификой протекающих технологических процессов. К северу, в непосредственной близости от завода в соответствии с направлениями преобладающих в течение зимы ветров сформировалась область очень высоких концентраций.

2. Постановка обратной задачи переноса полидисперсной примеси.

Результаты проведённых экспедиционных и химико-аналитических исследований позволяют предположить, что выпадение БП в исследуемой зоне происходит в составе аэрозольных фракций, обладающих весьма значительными скоростями оседания в атмосфере. В данном случае для описания процесса выпадения БП на снеговой покров ограничимся кинематическим приближением, которое можно выразить следующим соотношением

$$\frac{H}{w} = \frac{x}{U}. \quad (1)$$

Здесь H – высота источника, w – скорость оседания определённой фракции частиц, x – расстояние от трубы, на котором происходит выпадение рассматриваемой фракции на подстилающую поверхность, U – средняя скорость ветра в слое оседания.

Распределение аэрозольной примеси в источнике по скоростям оседания w удобно задавать в виде следующей двухпараметрической функции [2]

$$N(w) = \frac{a^{n+1}}{\Gamma(n+1)} w^n e^{-aw}, \quad n \geq -1, \quad a = \frac{n}{w_m}, \quad (2)$$

где параметр w_m характеризует скорость преобладающей по количеству частиц фракции примеси, n – степень однородности распределения частиц примеси по скоростям w , $\Gamma(n)$ – гамма-функция.

С учётом (1), (2) количество полидисперсной примеси, выпадающей на расстоянии x для заданного направления и скорости ветра за время T , можно оценить с помощью соотношения

$$P(x) = Q \cdot T \cdot N\left(\frac{UH}{x}\right), \quad (3)$$

где Q – производительность источника.

Тогда концентрация примеси в снеге опишется следующей регрессионной зависимостью

$$q(x, \vec{\theta}) = \theta_1 x^{\theta_2} \exp\left(-\frac{\theta_3}{x}\right), \quad (4)$$

где

$$\theta_1 = \frac{cQT a^{n+1} (UH)^n}{\Gamma(n+1)}, \quad \theta_2 = -n, \quad \theta_3 = aUH, \quad (5)$$

c – коэффициент разбавления примеси в снеге.

Оценка неизвестного вектора параметров $\vec{\theta}$ проводится с использованием метода наименьших квадратов [4]. Минимизируется следующий функционал

$$J(\vec{\theta}) = \sum_{j=1}^M \sigma_j^{-2} \left[r_j - q(x_j, \vec{\theta}) \right]^2 \rightarrow \min_{\vec{\theta} \in \Omega}. \quad (6)$$

Здесь r_j измеренный уровень загрязнения в точке x_j , σ_j – дисперсия ошибки измерения, Ω – область допустимых значений вектора $\vec{\theta}$.

Замечание. Решение задачи минимизации функционала (6) с учётом соотношений (2), (5) по сути даёт реальную возможность оценить характеристики дисперсного состава примеси. При известной высоте источника для этого необходимо определить среднюю скорость ветра U в слое оседания, используя данные метеонаблюдений рассматриваемого зимнего сезона, либо зимние климатические характеристики скорости ветра данной местности. Оценки параметров регрессии (4), полученные для одного радиально выбранного относительно источника маршрута наблюдения, могут быть использованы и для других маршрутов, что позволяет существенно снизить для них количество опорных точек наблюдений. В этом случае нет необходимости проводить оценку параметра θ_2 . Для направлений переноса примеси, имеющих близкие климатические характеристики по скорости ветра, можно использовать оценку параметра θ_3 , полученную для одного из направлений.

3. *Численный анализ данных натурных наблюдений.* Для оценки параметров регрессии (4) необходимо использовать наблюдения не менее, чем в трёх точках по маршруту отбора снеговых проб. Их выбор проводился с использованием методов и алгоритмов построения локально оптимальных планов наблюдения [4]. На рис. а приведены результаты восстановления поля концентрации БП по трём опорным точкам измерений в северо-восточном направлении от источника. Из анализа рис. а вытекает удовлетворительное согласие измеренных и вычисленных концентраций в контрольных точках с номерами 2, 4, 5. Максимум приземной концентрации достигается на расстоянии менее 0,5 км от трубы, что указывает на весьма высокие скорости оседания выбрасываемых частиц. Оценки показывают, что в рассматриваемом диапазоне расстояний скорости их оседания достигают нескольких метров в секунду.

На рис. 1, б приведены результаты численного восстановления поля концентрации БП в северном направлении от источника. Оценивание параметра θ_1 проводилось с использованием одной опорной точки измерений. Значения же параметров – θ_2 , θ_3 соответствовали значениям, полученным для северо-восточного направления. Уровень согласия численно восстановленных и измеренных значений концентраций БП в контрольных точках с номерами 8–10 является вполне удовлетворительным. Анализ рис. 1, б даёт также дополнительное подтверждение адекватности описания процесса выпадения полидисперсной примеси в окрестности электродного завода на основе предложенной модели оценивания (4)–(6).

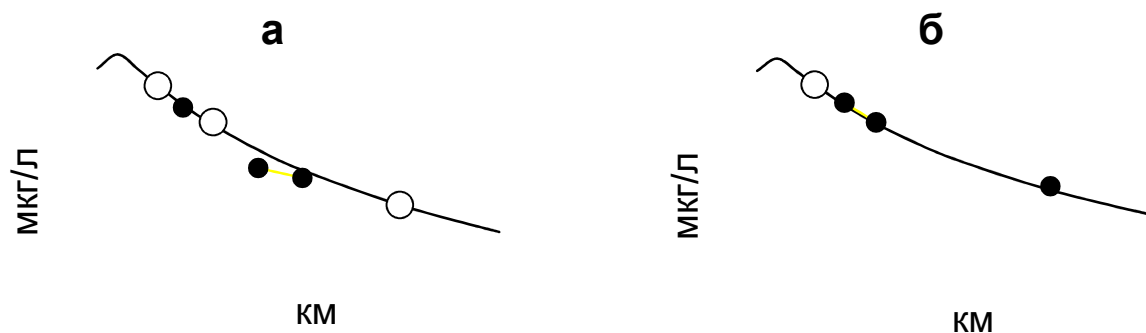


Рис. 1. Восстановленные по данным наблюдений поля концентраций БП (мкг/л) в снеге вдоль маршрутов отбора проб:

а) – северо-восточное направление; б) – северное направление; ——— — результат численного моделирования; ○, ● – опорные и контрольные точки измерений

Заключение. В рамках кинематической схемы оседания крупных частиц примеси в атмосфере разработана малопараметрическая модель реконструкции поля выпадений в полидисперсном приближении, что позволяет проводить численный анализ данных наблюдений в значительном диапазоне расстояний от источника. Апробация модели показала вполне удовлетворительное согласие с данными экспериментальных исследований загрязнения снегового покрова в зоне влияния высотного источника выброса крупнодисперсных фракций примеси. Следует отметить, что при построении модели оценивания полей выпадений аэрозолей весьма существенную роль играют предварительные априорные сведения о параметрах источника и характеристиках дисперсного состава примеси. Значительные выпадения бенз(а)пирена в ближних окрестностях электродного завода происходят в составе крупных фракций частиц, что указывает на практическое отсутствие очистки выбрасываемых в атмосферу примесей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16, интеграционного проекта СО РАН № 84.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдин М.И. К теории рассеяния тел конечных размеров в турбулентной атмосфере // Докл. АН СССР. – 1945. – Т. 49. – № 8. – С. 584–587.
2. Прессман А.Я. О распространении в атмосфере тяжёлой неоднородной примеси из мгновенного точечного источника // Инженерно-физич. журн. – 1959. – Т. 2. – № 3. – С. 78–87.
3. Климат Новосибирска. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 221 с.
4. Фёдоров В.В. Теория оптимального эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 312 с.

УДК 528.852

В.П. Пяткин, Г.И. Салов

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

СГГА, Новосибирск

ЗАДАЧА ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЯВЛЕНИЯ ОБЪЕКТА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЗАШУМЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

V.P. Pyatkin, G.I. Salov

ICM&MG SB RAS, Novosibirsk

SSGA, Novosibirsk

PROBLEM OF OBJECT APPEARANCE DETECTION IN THE SEQUENCE OF NOISY IMAGES

Abstract. In some important applied remote sensing problems the task of the detection of object appearance in the sequence of noisy images arises. In this work one of the approaches to the solution of this task is proposed. Stochastic approximation in Hilbert space is the base of this approach.

Проблема скорейшего обнаружения появления объекта в последовательности изображений состоит в следующем. Наблюдателю предстоит анализировать последовательно поступающие к нему зашумленные изображения. На первых изображениях интересующий его объект отсутствует, а затем, начиная с изображения с неизвестным заранее номером, появляется. Наблюдатель должен обнаружить важный для него объект как можно скорее – по минимальному числу изображений после момента появления объекта. Она является обобщением другой известной трудной задачи - задачи обнаружения важного объекта на одном изображении (непоследовательный случай). Присутствие объекта на изображении проявляется в изменениях вероятностных характеристик изображения. Эти изменения часто весьма малы и носят лишь случайный характер. Поэтому для обнаружения таких изменений, а вместе с ними и объекта, необходимо применять статистические правила (критерии), позволяющие как можно лучше учитывать имеющуюся и наблюдаемую информацию.

1. Непоследовательный случай. Обозначим через $D \in R^2$ (прямоугольную) область, на которой определены все наблюдаемые изображения. Можно рассматривать пространство $L(D)$ всевозможных реализаций изображений, в частности, пространство всех действительных функций, определенных на D . Вероятностные закономерности наблюдаемого изображения обуславливаются распределением вероятностей P на пространстве $L(D)$. Задача обнаружения объекта на одном наблюдаемом изображении $X = X(u)$, $u \in D$, может рассматриваться как задача с двумя

предположениями (гипотезами) $H_0 : P = P_0$ и $H_1 : P = P_1$ относительно распределения P . Нулевая гипотеза H_0 соответствует случаю, когда важного объекта нет. При альтернативной гипотезе H_1 изображение X содержит важный объект. Для обнаружения объекта требуется найти критерий для различения этих двух гипотез. Как известно, оптимальный критерий, отклоняющий гипотезу H_0 , когда она ложна, с наибольшей вероятностью, строится с помощью отношения правдоподобия. Если при небольшом конечном числе точек из области D вопрос о существовании и виде отношения правдоподобия теоретически не возникает, то в случае (бесконечно) большого числа точек, в частности при учете целой реализации изображения $X(u)$, $u \in D$, этот вопрос встает во всей полноте. В последнем случае отношение (функционал) правдоподобия совпадает с производной Радона-Никодима $\rho = dP_1 / dP_0$ на $L(D)$. На практике, однако, вероятностные меры P_0 и P_1 редко бывают известными наблюдателю. Даже когда они известны и функционал правдоподобия существует, отыскание ρ , если меры P_0 и P_1 не являются гауссовскими или каким-либо образом связанными с ними, представляет собой весьма трудную задачу. Поэтому, следуя [1], обратимся к другому подходу. Обозначим через $\mathbf{E}$ математическое ожидание. Будем обозначать через $Y = Y(u)$, $u \in D$, случайное изображение X , не содержащее важный объект, а через $Z = Z(u)$, $u \in D$, – содержащее такой объект. Пусть F – функционал на $L(D)$ такой, что $\mathbf{E}[F(Y)]^2 < \infty$. Если функционал правдоподобия ρ существует и $\mathbf{E}[\rho(Y)]^2 < \infty$, то выражение

$$\frac{\mathbf{E}[F(Z) - F(Y)]}{\sqrt{\mathbf{D}F(Y)}} \quad (1.1)$$

где $\mathbf{D}$ – означает дисперсию, достигает максимума при $F = k_1 \rho + k_2$. Интуитивно ясно, что и в противном случае, когда $\mathbf{E}[\rho(Y)]^2 = \infty$ или функционал правдоподобия не существует вовсе, функционал F , полученный в результате максимизации (1.1), также будет подходящим для обнаружения объекта. Таким образом, отыскание нужного функционала сводится к вариационной задаче, которую можно решать в удобном с точки зрения вычислений классе функционалов. Ограничимся здесь рассмотрением возможности получения линейного функционала

$$F(X) = \int_D X(u) h(u) du. \quad (1.2)$$

Предположим дополнительно, что

$$\mathbf{E}\left(\int_D Z^2(u) du\right) < \infty, \quad \mathbf{E}\left(\int_D Y^2(u) du\right) < \infty.$$

Практически всегда можно считать, что все реализации случайного изображения X принадлежат гильбертову пространству $L^2(D)$ функций, интегрируемых с квадратом на D .

Обозначим $(f, g) = \int_D f(u)g(u)du$, $\|f\| = \left(\int_D f^2(u)du \right)^{\frac{1}{2}}$

скалярное произведение элементов $f, g \in L^2(D)$ и норму элемента f .
Результат подстановки (1.2) в (1.1) можно представить в виде

$$\frac{(m_Z - m_Y, h)}{\sqrt{(Bh, h)}}, \quad (1.3)$$

где $m_Z = m(Z; u) = \mathbf{E} Z(u)$, $m_Y = m(Y; u) = \mathbf{E} Y(u)$ – средние значения в точке $u \in D$, B – интегральный оператор, ядром которого является $\mu(u, v) = \mathbf{E} Y(u)Y(v) - m(Y; u)m(Y; v)$. Оператор B является вполне непрерывным, самосопряженным и положительным, отсюда и из (1.3) вытекает следующий факт. Для того, чтобы функционал (1.2) обеспечивал максимум выражению (1.1), необходимо и достаточно, чтобы элемент $h \in L^2(D)$ был решением интегрального уравнения Фредгольма первого рода

$$\int_D \mu(u, v)h(v)dv = m(Z; u) - m(Y; u). \quad (1.4)$$

Предположим, что ядро $\mu(u, v)$ а также средние значения $m(Z; u)$ и $m(Y; u)$ неизвестны наблюдателю (типичный на практике случай), но в распоряжении наблюдателя имеются (или он может получить) две независимые друг от друга последовательности независимых «точных» реализаций (наблюдений) изображений, не содержащих и содержащих важный объект. Если мы обозначим через $\{Y_n\}$ и $\{Z_n\}$ возможные значения этих последовательностей, то они будут представлять собой две статистически независимые друг от друга последовательности независимых случайных изображений с распределениями P_0 и P_1 соответственно. Предположим, что существует решение $h \in L^2(D)$ интегрального уравнения (1.4). Предлагаемый ниже специальный алгоритм стохастической аппроксимации дает наблюдателю возможность получить по последовательностям $\{Y_n\}$ и $\{Z_n\}$ сразу последовательность приближенных решений уравнения (1.4), сходящуюся к $h \in L^2(D)$, минуя предварительное оценивание неизвестных ему $m(Z; u)$, $m(Y; u)$, $\mu(u, v)$ и последующее за ним отыскание приближенного решения некорректной задачи с приближенными (с неизвестной точностью) данными, которое весьма сложное.

Предположим: что оператор B строго положительный: $(Bf, f) > 0$ для любого $f \in L^2(D) \setminus \{0\}$ и $\{a_n, n \geq 1\}$ – последовательность положительных чисел такая, что

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n = \infty, \quad \sum_{n=1}^{\infty} a_n^2 < \infty. \quad (1.5)$$

Теорема. Пусть существует решение $h \in L^2(D)$ интегрального уравнения (1.4), W_1 – произвольный случайный элемент со значениями в $L^2(D)$ с $\mathbf{E} \|W_1\|^2 < \infty$, статистически независимый от $\{Y_n\}$ и $\{Z_n\}$, а последовательность случайных элементов $\{W_n, n \geq 2\}$ определяется рекуррентной формулой

$$W_{n+1}(u) = W_n(u) + a_n \{Z_n(u) - Y_{2n}(u)[1 + \int_D (Y_{2n}(v) - Y_{2n-1}(v))W_n(v)dv]\}. \quad (1.6)$$

Тогда

$$\mathbf{P}\{\|W_n - h\| \rightarrow 0, n \rightarrow \infty\} = 1, \quad \mathbf{E}\|W_n - h\|^2 \rightarrow 0, n \rightarrow \infty.$$

Это утверждение вытекает из результатов работы [2]. Подставив построенную с помощью (1.6) оценку W_n для h в (1.2), наблюдатель получит оценку $F^* = F_n^*$ для функционала F

$$F^*(X) = \int_D X(u)W_n(u)du. \quad (1.7)$$

Используя (1.7), решение о наличии объекта принимается в случае, когда

$$\int_D X(u)W_n(u)du > c_0,$$

где c_0 – «пороговый» уровень, выбранный надлежащим образом, например, с помощью последовательностей $\{Y_n\}$ и $\{Z_n\}$.

2. Последовательный случай. Обратимся теперь к более сложной задаче обнаружения, когда к наблюдателю поступает последовательность зашумленных (случайных) изображений, а важный объект появляется на изображениях, начиная с изображения с неизвестным заранее номером θ . Требуется обнаружить этот важный объект как можно скорее при естественном ограничении на величину вероятности «ложной» (преждевременной) «тревоги». На каждом шаге наблюдений (при каждом n) решение наблюдателя о том, следует остановить наблюдения, объявив «тревогу» о происшедшем появлении объекта, или же продолжать наблюдения (перейти к следующему изображению), определяется на основании анализа всех изображений $X_1, \dots, X_n$. Работы ряда авторов наводят на мысль о том, что хорошо отвечает существу задачи метод кумулятивных сумм (CUSUM), развитый в [3]. Пусть $\gamma_n = F^*(X_n)$, $S_0 = 0$, $S_n = S_{n-1} + \gamma_n$. В соответствии с методом кумулятивных сумм подходящим здесь будет момент (правило) остановки

$$\tau = \inf \{n: \max_{0 \leq k \leq n} (S_n - S_k) \geq C + b_n\},$$

где $\{b_n\}$ – не слишком быстро возрастающая последовательность. Эта стратегия допускает и удобное с точки зрения вычислений рекуррентное представление. Пусть $\zeta_0 = 0$, $\zeta_n = \max \{0, \zeta_{n-1} + \gamma_n\}$. Тогда

$$\tau = \inf \{n: \zeta_n \geq C + b_n\}. \quad (2.1)$$

Отыскание оптимального соотношения между константой C и последовательностью $\{b_n\}$ в методе кумулятивных сумм представляет собой известную трудную задачу.

3. Результаты, полученные при моделировании. В качестве примера, иллюстрирующего применение алгоритма стохастической аппроксимации и метода кумулятивных сумм, приведем пример специально с почти предсказуемым решением $h(u)$, $u = (x, y)$, уравнения (1.4). В этом примере изображения X, Y, Z , а также изображения последовательностей $\{Y_n\}$ и $\{Z_n\}$ и другие встречающиеся далее изображения для простоты определены на

единичном квадрате $D=[0,1] \times [0,1]$. Изображение Y представляет собой гауссовский случайный пространственный шум (случайное поле) со средним значением «яркости», равным 127, и с ковариационной функцией

$$EY(x,y)Y(s,t) - EY(x,y)EY(s,t) = 40e^{-|x-s|}e^{-|y-t|},$$

к которому добавлен не интересующий наблюдателя объект – символ числа 4 с уровнем «яркости», равным 15.

В некоторый неизвестный для наблюдателя, но важный, момент θ символ числа 4 заменяется на символ числа 5 также с уровнем «яркости», равным 15. Отметим, что в этом гауссовском случае логарифм отношения правдоподобия можно записать в виде

$$\ln \rho(f) = \int_D f(u)h(u)du - \frac{1}{2} \left| \int_D [m(Z;u) - m(Y;u)]h(u)du \right|,$$

где второй интеграл в правой части есть константа.

Каждое изображение представлялось в компьютере в виде двумерного массива, содержащего 64×64 значений изображения. В таком же формате (масштабе) изображения выводились. При выводе значения каждого изображения приводились в интервал $[0,255]$ (вычитанием минимального значения элементов изображения и умножением на $255/\max$, где $\max$ – максимальное значение элементов изображения).

Случайный пространственный шум генерировался по схеме работы [4]. При этом необходимые случайные числа получались с помощью известного метода полярных координат, для которого требуются пары независимых случайных чисел с равномерным распределением. Последние генерировались с помощью двух датчиков (генераторов), одним из них был конгруэнтный (мультипликативный) генератор с простым модулем, действующий по известной формуле

$$\xi_{n+1} = 630360016\xi_n \bmod (2^{31}-1)$$

с $\xi_0 = 13$. При выборе последовательности (1.5) нужно соблюдать некоторую осторожность. Предпочтительнее начинать с медленно убывающих последовательностей умеренных значений. В примере была взята последовательность $\{a_n\}$, у которой

$$a_n = \frac{0.0003}{n^{0.51}}.$$

Интеграл в правой части (1.6) вычислялся по правилу трапеций (учитывая известное мнение, что «для весьма хаотичных подынтегральных функций следует избегать усложненных квадратурных методов» [5, с. 73]. Результаты моделирования представлены на рис. 1.

В рассматриваемом примере функции (оценки) W_n принимают значения разных знаков. На рис. 1. в самой левой колонке снизу вверх следуют (чередуются) положительные и отрицательные части оценок W_n , полученные согласно (1.6) при $n = 100, 500, 1\,000, 5\,000$.

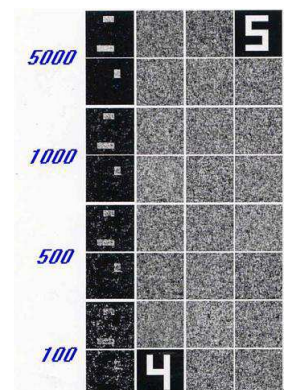


Рис. 1

Для исследования была взята оценка W_{500} , полученная при $n = 500$, на глаз эта оценка уже в большой степени отражает вид решения $h(u)$, и соответственно функционал

$$F^*(X) = \int_D X(u)W_{500}(u)du. \quad (3.1)$$

В результате при применении правила (2.1) с функционалом (3.1) и $C = 1.08$, $b_n = \frac{1}{4}n$ к 100 наблюдаемым последовательностям изображений вида $X_1, \dots, X_{22}$, содержащим только символ числа 4, лишь при пяти из них была объявлена «ложная тревога». На рис. 1. внизу второй колонки представлен без шума символ числа 4. Выше во 2-й – 4-й колонках приведена в виде змейки наблюдаемая последовательность зашумленных изображений $X_1, \dots, X_{22}$, у которой, начиная с номера $\theta = 16$ символ числа 4 заменен на символ числа 5. С помощью указанного правила появление символа 5 было обнаружено лишь с небольшой задержкой, а именно при $\theta = 18$. Полученные в примере результаты свидетельствуют об эффективности рассматриваемого подхода. Уже относительно небольшое число реализаций изображений, не содержащих и содержащих важный объект, позволяет построить вполне подходящее правило обнаружения (появления) важного объекта. Наконец, рассматриваемый подход имеет решительное преимущество с точки зрения необходимых вычислений по сравнению с упомянутым альтернативным. Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-07-00085).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаткин Н.Г., Далецкий Ю.Л. К вопросу об оптимальном выделении сигнала на фоне произвольного шума // Теория вероятностей и ее применения. – 1971. – Т. 16. – Вып. 4. – С 749–753.
2. Салов Г.И. Об одной теореме стохастической аппроксимации в гильбертовом пространстве и ее приложениях // Теория вероятностей и ее применения. – 1979. – Т. 24. – Вып. 2. – С. 407–413.
3. Боровков А.А. Математическая статистика. – Новосибирск: Наука, 1997.
4. Stuller J. A., Kurz B. Two-Dimensional Markov Representations of Sampled Images // IEEE Transactions on Communications Technology. 1976. Vol. 24, October. P. 1148–1152.
5. Гренандер У., Фрайбергер В. Краткий курс вычислительной вероятности и статистики. – М.: Наука, 1978.

УДК 519.652

П.А. Ким

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ КОНСТРУКТИВ МЫЛЬНОЙ ПЛЕНКИ В МАСШТАБИРУЕМОМ РЕЛЬЕФЕ

P.A. Kim

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
6, prospect Akademika Lavrentjeva, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

THE MATHEMATICAL ABSTRACT OF SOAP FILMS IN THE SCALABLE MODEL OF THE RELIEF

The established relation between the scaled model of the relief developing in laboratory of Processing of images of Institute of Computational Mathematics and mathematical geophysics, allows to use for surface construction of a relief some mathematical ideas, about shapes of soap films and soap bubbles. So they forms constructive elements, and after modification would made generation process more effective.

Классическая минимаксная задача в трехмерном пространстве утверждает, что минимальной поверхностью, заключающей в себе данный объем является сфера. Также было показано[1,2], что поверхностью охватывающей два равных объема является двойной пузырь, полученный сближением сфер таким образом, что плоская поверхность диска, разделяющая объемы и поверхности сфер пересекаются по окружности, под углом 120 градусов (принцип Плато).

Сложность этой задачи иллюстрируется рис. 1, где представлены два варианта возможного топологического строения двойного мыльного пузыря. При этом энергетически минимальной оказывается левая конфигурация. Аналогичная задача для кластеров из большего числа пузырей (рис. 2) до настоящего момента не решена. Установленная связь масштабируемой модели рельефа, разрабатываемой в лаборатории Обработки изображений института Вычислительной математики и математической геофизики [3–8], позволяет использовать для построения поверхности рельефа математические идеи, расчета поверхностей мыльных пленок и мыльных пузырей, формируя из них конструктивные элементы, модификацией которых возможно эффективизировать процесс генерации поверхности рельефа.

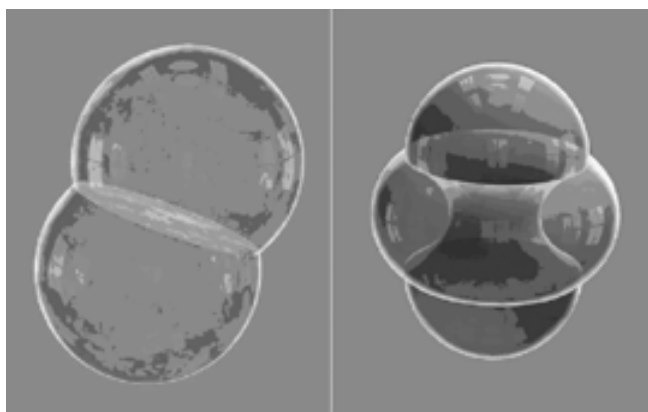


Рис. 1. Варианты строения двойных мыльных пузырей, заключающих в себе два равных объема

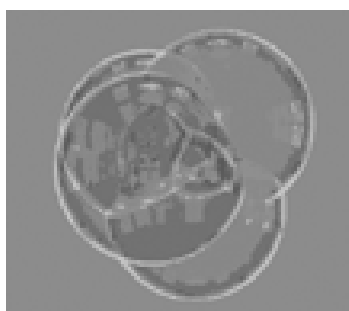


Рис. 2. Сложный кластер мыльных пузырей, заключающих в себе два равных объема

Представим математические подходы к построению модели мыльной пленки в соответствии с изложением [9]. ведём в пространстве систему координат $Oxyz$. На рис. 3 изображён контур с натянутой на него плёнкой (т. е. поверхностью) Ω . Пусть проекция Ω на плоскость xOy есть некоторая область на плоскости; обозначим её через G . Проекцию контура, т. е. границу области G , обозначим через Γ . Рассмотрим точку (x, y, z) на поверхности Ω и её проекцию, точку (x, y) в области G . Тогда *высота* точки на поверхности представляет собой функцию двух переменных: $z = u(x, y)$ или $z = u(A)$, где A – точка с координатами (x, y) .

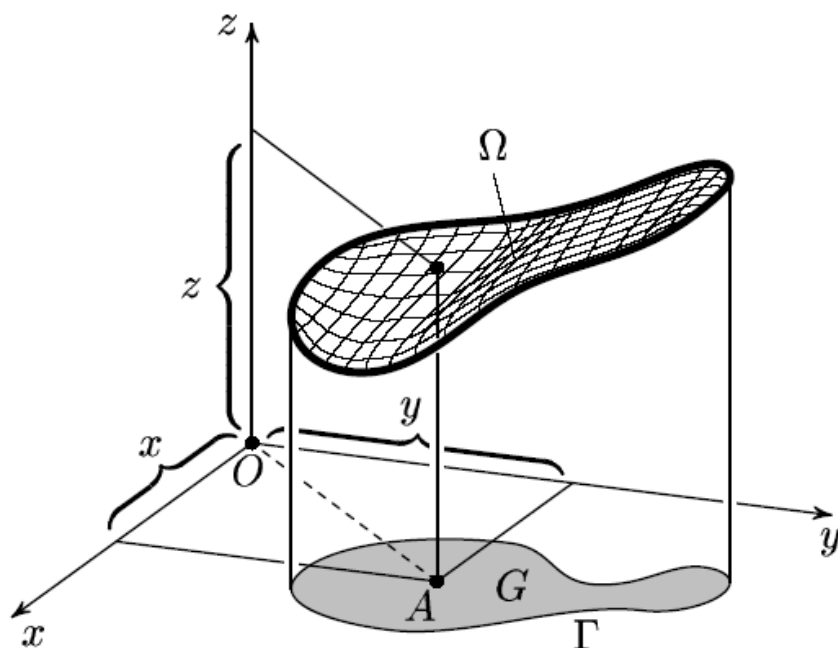


Рис. 3. Математическая модель мыльной пленки

Контур в пространстве задан (известна высота каждой точки контура), значит, дана функция $f(Q)$, $Q \in \Gamma$. Теперь задача состоит в том, чтобы найти значения функции $u(A)$, $A \in G$, которая описывает поверхность Ω . Мыльная плёнка, затягивающая замкнутый контур, будет занимать положение, при котором силы натяжения уравниваются, что отвечает уравнению Лапласа и имеет следующий вид:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0. \quad (1)$$

Кроме того, для функции u должно выполняться *краевое условие*

$$u(Q) = f(Q) \quad (2)$$

для всех $Q \in \Gamma$. Таким образом, требуется найти функцию $u(A)$, $A \in G$, удовлетворяющую уравнению Лапласа (1) и краевому условию (2).

К сожалению, общего метода решения этой задачи не существует, и для его решения предлагается *приближённое решение*, для чего применяется дискретная математическая модель задачи. Построим на плоскости координатную сетку, разбивающую плоскость на маленькие квадратики. Пусть для простоты граница Γ области G проходит по сторонам квадратов. Будем рассматривать не все точки G и Γ , а только те из них, которые являются узловыми точками сетки (вершинами квадратов).

Пусть $Q_1, Q_2, \dots, Q_m$ – узловые точки сетки, лежащие на ломаной Γ , и известны значения $f(Q_i)$, $1 \leq i \leq m$. Теперь задача состоит в том, чтобы найти значения функции $u(A)$ для всех узловых точек $A \in G$. (Тогда, если сетка достаточно мелкая, по значениям функции u в узлах сетки можно построить хорошее приближение значений этой функции и в остальных точках области G .) Аналогом уравнения Лапласа в дискретном случае будет разностная схема

$$u(A) = \frac{1}{4}(u(A_1) + u(A_2) + u(A_3) + u(A_4)) \quad (3)$$

где вместе с точкой A рассмотрены четыре соседние вершины: A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , (рис. 4). Итерационный метод позволяет достичь результата, однако эффективность такого прямолинейного подхода весьма невысока. Существуют и другие подходы, в частности, метод случайного блуждания.

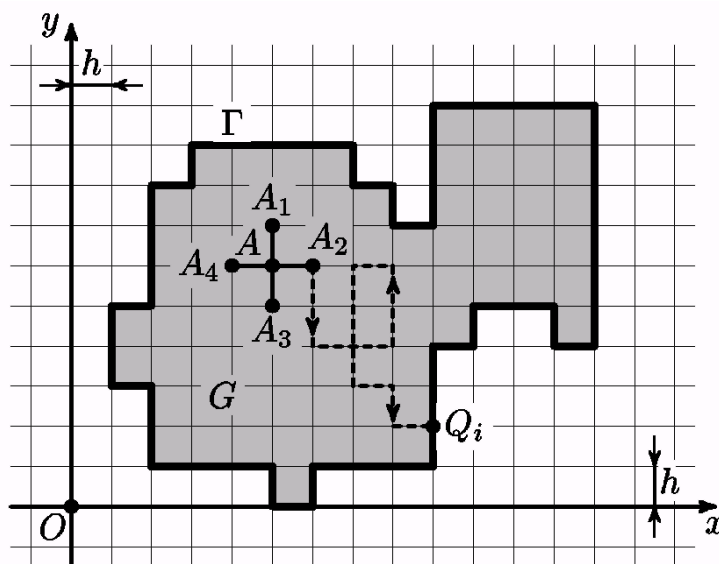


Рис. 4. Проекция дискретной модели пленки

Переход от ступенчатой модели рельефа к масштабируемой минимаксной модели будем осуществлять итерационным способом, последовательно уменьшая площадь огибающей поверхности. Сходимость итерационного процесса обеспечивается эвристическим механизмом разбиения рельефа на ортогональные (вертикальные и горизонтальные) полосы. При сокращении длины огибающей полосы по одному из направлений, с сохранением ограничиваемого этой огибающей объема[5], следующая итерация будет проводиться по ортогональному направлению. Работа частично поддержана грантом РФФИ 07-07-00085-а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. F. Morgan. Soap bubble clusters // Reviews of Modern Physics, 79, 821 (13 июля 2007 года).
2. Joel Hass and Roger Schlafly Double bubbles minimize // Annals of Mathematics, 151 (2000), pp. 459–515.
3. Ким П.А. Математическое обоснование масштабируемой модели рельефа: классификационный подход // Тр. Межд. научн. конгр. «ГЕО-Сибирь-2008», – Новосибирск: СГГА, 2008. – Т. 3, ч. 2. – С. 220–222.
4. Kim P.A., Kalantaev P.A. Object's identification in scaled model of regional geoinformation processes // Proceedings 9th International Conference on pattern recognition and image analysis: new information technologies (PRIA-9-2008). Nizhni Novgorod, 2008, vol. 1, pp. 293–296.

5. Ким П.А. Полидуга как элемент конструирования профилей масштабируемой модели рельефа // Труды Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», 25–27 апреля 2007, Новосибирск, т. 3 «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск: СГГА, 2007. – с. 188–192.

6. Ким П.А. О геометрической форме решения интегрального уравнения масштабируемой модели РЕЛЬЕФА // Сборник материалов международного научного конгресса «ГЕО-СИБИРЬ-2006», 24–28 апреля 2006 г., т. 3, ч. 1 «Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия». – Новосибирск: СГГА, 2006. – Т. 3, ч. 1. – С. 212–217.

7. Ким П.А. Один подход к визуализации масштабируемой модели рельефа // Труды 16 Международной конференции по компьютерной графике и ее приложениям ГрафиКон 2006. 1–5 июля 2006 года, Россия, Новосибирск, Академгородок, ИВМиМГ СО РАН, 2006, с. 355–359.

8. Ким П.А. Сибирский виртуальный программно-аппаратный комплекс СВПАК-2003: ГИС-моделирование // Труды Всероссийской научно-методической конференции «Моделирование географических систем», Россия, Иркутск, 1–3 ноября 2004, с. 78–80.

9. Сосинский А.Б. Мыльные плёнки и случайные блуждания // Серия: «Библиотека "Математическое просвещение"», выпуск 6. – М.: МЦНМО, 2000. – 24 с.

© П.А. Ким, 2009

УДК 550.312

Г.П. Арнаутков, Е.Н. Калиш, Ю.Ф. Стусь, М.Г. Смирнов, И.А. Бунин, Д.А. Носов
ИАиЭ СО РАН, Новосибирск

ИЗМЕРЕНИЕ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ 31 ИЮЛЯ 1981 Г. И 1 АВГУСТА 2008 Г. ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

G.P. Arnautov, E.N. Kalish, Yu.F. Stus, M.G. Smirnov, I.A. Bunin, D.A. Nosov
Institute of Automation and Electrometry SB RAS (SIBERIAN BRANCH OF
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES),
Ak. Koptyuga Pr., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

THE MEASUREMENT OF GRAVITY VARIATIONS DURING SOLAR ECLIPSES 31 JULY 1981 AND 1 AUGUST 2008 ON RESULT OF THE GRAVIMETRIC OBSERVATIONS IN NOVOSIBIRSK AREA

The measurement of gravity variations Δg were produced by the absolute laser ballistic gravimeters, designed and created authors, with inaccuracy less $1 \mu\text{Gal} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}^2$. As a result of measurements was not discovered anomalous change Δg before and after the solar eclipse, exceeding inaccuracy of the measurements. Thereby, screening by Moon of the attraction Sun if it exists, was not shown in result of the observations.

Целью проведенных экспериментов была проверка гипотезы об эффекте экранирования Луной гравитационного притяжения Солнца. Этот эффект следует в основном из обсуждаемой и проверяемой до настоящего времени корпускулярной теории природы тяготения [1, 2, 3]. При этом предполагается частичное поглощение в точке наблюдений на Земле притяжения Солнца промежуточным телом (Луной).

Величина этого эффекта в изменениях силы тяжести на Земле зависит от доли закрытости диска Солнца Луной, т. е. от фазы затмения, и от зенитного расстояния Солнца z , с увеличением z она уменьшается до нуля, когда по отношению к наблюдателю Солнце находится вблизи горизонта. Наибольший эффект достигается в момент максимальной фазы затмения и, согласно расчетам [1, 2], увеличивает значение g на $1,5 \text{ мкГал}$. Особенностью солнечных затмений 1981 и 2008 годов было то, что в точках гравиметрических наблюдений они достигали полной фазы. Полная фаза этих затмений наступала соответственно в 10 часов 45 минут и в 17 часов 45 минут по местному времени.

Таким образом, местоположение пунктов наблюдений, расположенных в зоне полной фазы солнечного затмения, и зенитное расстояние Солнца во время

его затмения были близки к оптимальным, способствующим достижению максимального значения гравитационного экранирования.

Поскольку, оценки, приведенные в [1, 2], имеют приближенный характер, большой интерес представляла экспериментальная проверка гипотезы гравитационного экранирования с помощью лазерного баллистического гравиметра (ГАБЛ), погрешность измерений которого сравнима со значением ожидаемого эффекта. В отличие от относительных гравиметров, используемых в аналогичных экспериментах, гравиметры ГАБЛ не имеют дрейфа нуля, не чувствительны к изменениям температуры внешней среды, а влияние притяжения атмосферных масс, изменяющегося при изменении атмосферного давления, учитывается введением поправок по формулам, рекомендованным Международной гравиметрической комиссией. Абсолютное значение ускорения силы тяжести определяется гравиметрами типа ГАБЛ по результатам измерения пути и времени свободного падения пробной массы (свободно падающего тела) в вакуумированной камере. Главным достоинством этого метода является то, что при измерениях используются естественные единицы длины и времени: измерение пути, пройденного свободно падающим телом, осуществляется лазерным интерферометром (мерой длины служит длина волны лазерного излучения, определяемая по атомному реперу в спектре излучения), а мерой интервалов времени является частота прецизионного (например, рубидиевого) стандарта частоты. Высокая точность и стабильность этих мер определяют надежность результатов измерения, что особенно важно при исследовании долговременных (приливных и неприливных) вариаций силы тяжести.

В результате регулярных международных метрологических сравнений установлено [4, 5], что гравиметры типа ГАБЛ, разработанные авторами доклада, по точности измерений абсолютного значения g занимают одно из лидирующих положений в мире. При этом одна из последних разработок – гравиметр ГАБЛ-Э имеет инструментальную погрешность менее 3,5 мкГал, а его среднеквадратическая погрешность не превышает 1 мкГал.

Поскольку инструментальная погрешность для каждого отдельного прибора – величина постоянная и при повторных измерениях исключается, то при измерении вариаций силы тяжести Δg преобладающей становится среднеквадратическая погрешность измерений. Эта погрешность определяется в основном влиянием вибросейсмических колебаний постаментов, на котором установлен гравиметр.

Возникающие при этом инерционные помехи не отличимы от гравитационного изменения. Источником таких помех являются как природные микросейсмы, так и вибрационные шумы, создаваемые транспортом, проезжающим вблизи точки наблюдения, а также работой расположенных вблизи промышленных предприятий. В связи с этим точки прецизионных наблюдений обсуждаемых солнечных затмений были выбраны на достаточном удалении от источников промышленных и транспортных инерционных колебаний земной поверхности.

Существенная часть инерционных помех компенсировалась виброзащитной системой – подвеской опорного уголкового отражателя (точки

отсчета) в центре качаний низкочастотного сейсмографа. В зависимости от спектра этих помех виброзащитная система снижала погрешность измерений до 10 раз.

Влияние оставшейся нескомпенсированной части инерционных помех уменьшалась накоплением и усреднением результатов повторных измерений. Поскольку помехи имели нормальный закон распределения, погрешность среднего результата измерений уменьшалась в $\sqrt{N}$ раз, где N – число измерений в серии. Один цикл измерения (подъем специальным лифтом свободно падающего тела (СПТ) в исходное стартовое положение, возврат лифта в нижнее положение, отпускание СПТ, измерение пути и времени свободного падения СПТ, обработка результатов измерения) длится 10–12 секунд. В зависимости от уровня вибросейсмических помех накапливается серия из 30 или 60 единичных циклов измерений. Продолжительность этих серий составляет 5 или 10 минут. Обычно среднее значение таких серий имеет погрешность не более 1 мкГал.

Только в первых вариантах гравиметра ГАБЛ погрешность среднего в серии достигала 2 мкГал.

На рис. 1 показаны результаты измерений приливных вариаций силы тяжести гравиметром ГАБЛ до и во время солнечного затмения 1981 года. На рис. 2 приведены результаты измерений гравиметром ГАБЛ-ЭМ во время солнечного затмения 2008 года.

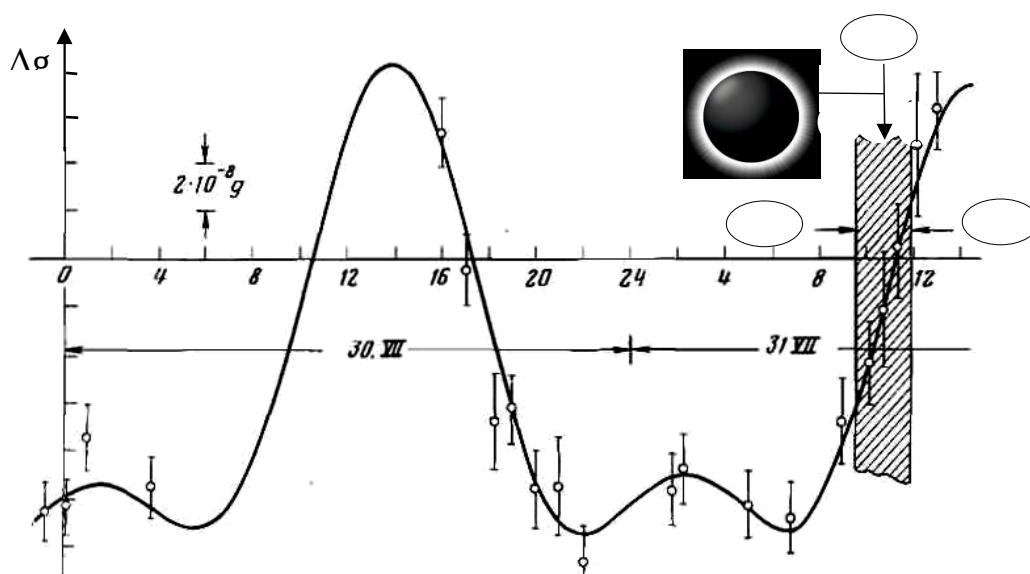


Рис. 1. Результаты измерений приливных вариаций силы тяжести в 1981 году

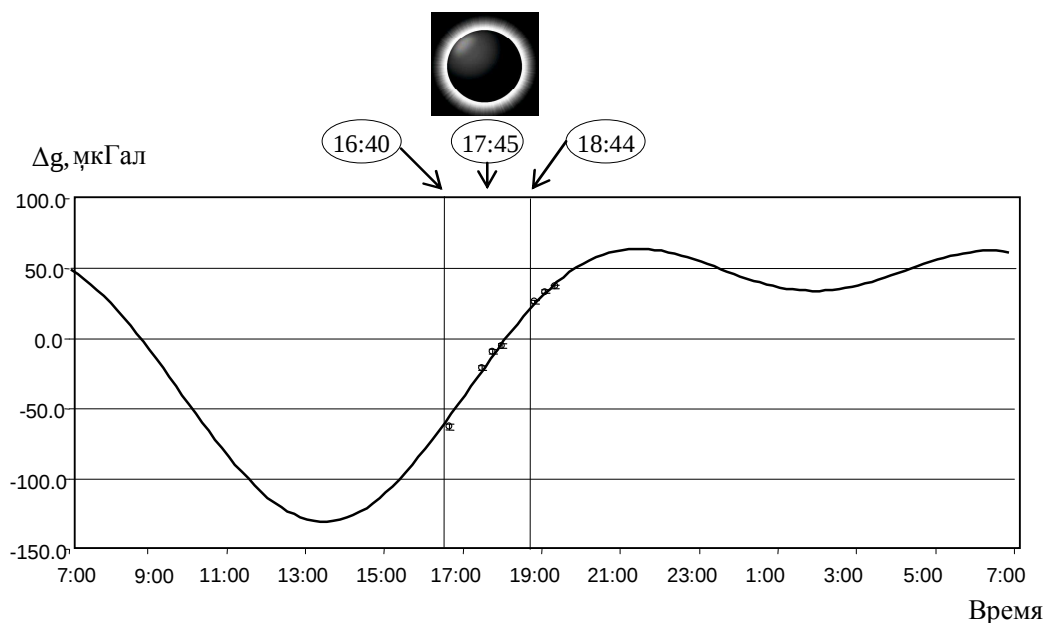


Рис. 2. Результаты измерений приливных вариаций силы тяжести в 2008 году

На этих рисунках сплошной кривой показано теоретическое изменение силы тяжести, точками – результаты измерений, вертикальные линии отображают среднеквадратическую погрешность проведенных измерений. Как видно из рис. 2, эта погрешность для гравиметра ГАБЛ-ЭМ сравнима с размерами точек. На рисунках указано местное время. Стрелками обозначены моменты начала затмения, его полной фазы и окончания.

Таким образом, по результатам измерений абсолютными лазерными баллистическими гравиметрами нами не обнаружен эффект гравитационного экранирования во время солнечных затмений, превышающий погрешность измерений.

Работа поддержана грантом Президиума РАН по программе 16 «Динамика деформационных процессов в сейсмоактивных регионах Центральной Азии и в очаговых зонах крупных землетрясений».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радзиевский В.В. О гравитационном эффекте солнечных затмений и его измерениях // Поиски механизма гравитации. Сб. научн. тр. Издатель Ю.А. Николаев. – Нижний Новгород. – 2004.
2. Савров Л.А. экспериментальные поиски поглощения гравитации и пятой силы // Сб. научн. тр. Издатель Ю.А. Николаев. – Нижний Новгород. – 2004.
3. Сарычева Ю.К., Тимофеев В.Ю., Хомутов С.Ю. Гравиметрические наблюдения на двух приливных станциях в Сибири во время солнечного затмения 9 марта 1979 г. // Сб. научн. тр. Издатель Ю.А. Николаев. – Нижний Новгород. – 2004.

4. Арнаут Г.П. Результаты международных метрологических сравнений абсолютных лазерных баллистических гравиметров // Автометрия. – 2005. – Т. 41. – № 1.

5. Арнаут Г.П., Калиш Е.Н., Смирнов М.Г., Стусь Ю.Ф., Тарасюк В.Г. Лазерный баллистический гравиметр ГАБЛ-М и результаты наблюдений силы тяжести // Автометрия. – 1994. – № 3.

© Г.П. Арнаут, Е.Н. Калиш, Ю.Ф. Стусь, М.Г. Смирнов,
И.А. Бунин, Д.А. Носов, 2009

УДК 550.37+550.388

*И.Ю. Бабаханов⁽¹⁾, А.Ю. Белинская⁽²⁾, М.А. Бизин⁽³⁾,
О.М. Грехов⁽²⁾, В.В. Кузнецов⁽¹⁾, А.Ф. Павлов⁽²⁾, С.Ю. Хомутов⁽²⁾*

(1) – ИКИР ДВО РАН, Паратунка, Камчатка; (2) – АСФ ГС СО РАН, Новосибирск; (3) – ИХКиГ СО РАН, Новосибирск

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 1 АВГУСТА 2008 ГОДА В НОВОСИБИРСКЕ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ)

*I.Yu. Babakhanov⁽¹⁾, A.Yu. Belinskaya⁽²⁾, M.A. Bizin⁽³⁾, O.M. Grekhov⁽²⁾,
S.Yu. Khomutov⁽²⁾, V.V. Kuznetsov⁽¹⁾, A.F. Pavlov⁽²⁾*

(1) – IKIR FEB RAS, Paratunka, Kamchatka region; (2) – ASB GS SB RAS, Novosibirsk; (3) – ICKC SB RAS, Novosibirsk

THE GEOPHYSICAL DISTURBANCES DURING TOTAL SOLAR ECLIPSE AT AUGUST 1, 2008 IN NOVOSIBIRSK (THE PRELIMINARY RESULTS)

The preliminary results of the geophysical observations at Geophysical observatory «Klyuchi» during total solar eclipse at 1 August 2008 are presented in this paper. The significant variations of the ionospheric critical frequencies, of the intensity of the atmospheric electrical field and of the surface ozone concentration are noted.

1. Введение

Полное солнечное затмение – это уникальное природное явление, которое из-за очень быстрого перемещения лунной тени оказывает специфическое воздействие на все внешние геооболочки Земли и проявляется в различных полях и процессах. Исторически наиболее существенные научные достижения по наблюдениям затмений были получены в оптике земной атмосферы и физике Солнца. Но постоянное появление в геофизике новых видов измерений и их комплексное использование во время затмений позволило получить важнейшие результаты в относительно недалеком прошлом. Например, наблюдения эффектов ионизации воздуха на различных высотах во время затмения 17 апреля 1912 г. привели к открытию космических лучей, а ионосферные измерения во время затмения 31 августа 1932 г. позволили сделать вывод о солнечном излучении как основном источнике ионизации плазмы на ионосферных высотах.

Существуют обширные исследования ионосферных эффектов, результаты которых в целом подтверждают тенденцию перехода ионосферы во время затмения в ночное состояние [1, 2, 3]. Не менее широко представлены работы по изучению метеорологических явлений во время затмений [4, 5, 6]. Большой интерес представляют экспериментальные наблюдения вариаций атмосферного

электрического поля, магнитного поля Земли, концентрации приземного и стратосферного озона и др. [7, 8, 9, 10]. Однако полученные результаты часто неоднозначны, сильно различаются и в некоторых случаях приводят к противоположным выводам. Основная причина этого – большое разнообразие условий, при которых происходят затмения, и отсутствие объединяющей это разнообразие теории. Каждое затмение по-своему уникально, поэтому геофизические измерения во время каждого нового затмения дают дополнительный существенный вклад в понимание процессов, происходящих в околоземном пространстве.

Полное солнечное затмение 1 августа 2008 г. обладает определенной спецификой: лунная тень начинает свое движение в околополярных областях, а на средних широтах перемещается на юг практически в меридиональном направлении. Геофизическая обсерватория «Ключи» АСФ ГС СО РАН (Новосибирск) находится в полосе полного затмения и, имея развитую инфраструктуру, представляет собой прекрасное место для организации наблюдений различного вида.

2. Используемая аппаратура, условия наблюдений

Комплекс геофизических измерений включал:

- Вертикальное зондирование ионосферы с помощью цифрового ионозонда «Парус» с периодичностью 1 мин во время затмения и 5 мин в течение ближайших суток;
- Измерение вертикальной составляющей E_z напряженности атмосферного электрического поля с помощью двух серийных электрометров «Градиент-М2» и «Градиент-М3», разнесенных на расстояние около 1 км. Периодичность измерений 2 с, чувствительность по двум каналам 0.25 и 2.5 В/м;
- Измерение вариаций магнитного поля штатными приборами обсерватории – цифровым феррозондовым магнитометром LEMI-008 с частотой измерения составляющих (x, y, z) магнитного поля 1 Гц, и протонным магнитометром POS-1с периодичностью отсчетов 5 с, чувствительность обоих приборов 0.01 нТл;
- Измерение интенсивности космических лучей штатным многоканальным комплексом с площадью сбора 24 м^2 , включающий спектрограф на эффекте локальной генерации и матричный мюонный телескоп;
- Измерение концентрации приземного озона с помощью стандартного газоанализатора 3.02-ПА с усреднением 20 мин. (вблизи полной фазы затмения были вручную сняты мгновенные данные N_{O_3});
- Измерение акустических колебаний в инфразвуковом диапазоне 2-15 Гц с помощью пьезодатчиков ПДС-7 (частота измерений 83 Гц).

Также во время затмения с помощью цифрового термодатчика DS18S20 измерялась температура воздуха вблизи освещаемой Солнцем стены. Все приборы и регистраторы были синхронизованы с помощью GPS-приемников.

ГО «Ключи» находилась в полосе полной тени, примерно в 30–40 км к востоку от центральной линии затмения. На поверхности первый контакт произошел в 09:41:19UT, максимальная фаза – в 10:45:12UT, последний контакт – 11:45:09UT. Продолжительность полной фазы около 2.5 мин. Высота Солнца над горизонтом в максимальной фазе была около 30°, закат 1 августа произошел в 14:29UT. Необходимо отметить, что из-за относительно низкого расположения Солнца над горизонтом основные фазы затмения на высотах ионосферы (100–200 км) запаздывали относительно соответствующих моментов на поверхности примерно на 1 мин, а полная фаза над Новосибирском вообще не произошла.

Погодные условия были благоприятными – до обеда наблюдались редкие кучевые облака, которые к началу затмения полностью исчезли. Температура на открытом месте непосредственно перед началом и после окончания затмения достигала +30 °С. Солнечная активность в течение нескольких дней до и после затмения была чрезвычайно низкой, соответственно, геомагнитная активность также была невысокой (стандартизированный Кр-индекс 1 августа не превышал значения 2).

3. Основные результаты

Наиболее выразительные и ожидаемые результаты получены в результатах наблюдений ионосферы. На рис. 1 представлены вариации критических частот

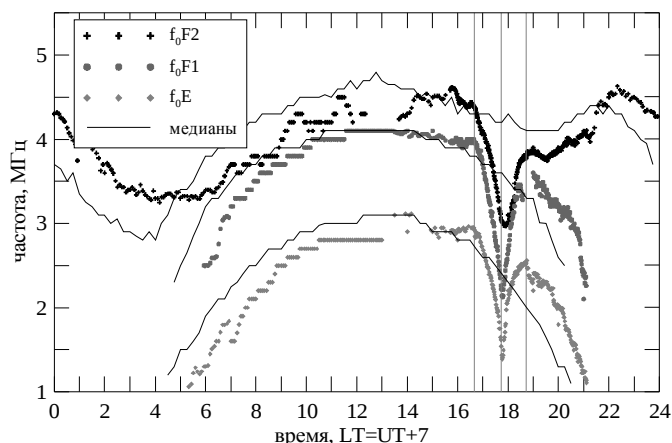


Рис. 1. Вариации критических частот ионосферных слоев над Новосибирском 1 августа 2008 г.

слоев E, F1 и F2 1 августа. Фазы затмения отмечены вертикальными линиями. Тонкие линии – медианные значения, имеющие хорошо выраженный суточный ход и характеризующие невозмущенное состояние ионосферы (они вычислены по данным с 15 июля по 15 августа, исключая день затмения).

Наибольшее отклонение от суточного хода, полученного полиномиальной аппроксимацией медианных значений за сутки до и после затмения, наблюдалось в критической частоте слоя F1

(около 1.6 МГц, что составило 43 % от невозмущенного уровня), наибольшее относительное отклонение было в слое E (46 % в максимуме, 1.2 МГц по частоте), в слое F2 наблюдалось уменьшение критической частоты на 1.3 МГц (30 %). Задержка реакции критической частоты слоев E, F1, F2 относительно момента максимальной фазы на уровне Земли составила примерно 2, 3, и 11 мин., соответственно. Восстановление невозмущенного уровня в слоях E и F1 произошло практически «одновременно» с окончанием затмения. Слой же F2 восстанавливался порядка двух часов после окончания СЗ, причем характер восстановления носил волнообразный характер (с периодом около 60 мин).

На рис. 2 показаны вариации вертикальной составляющей E_z напряженности атмосферного электрического поля (АЭП) 1 августа 2008 г. в двух пунктах, разнесенных примерно на 1 км. Как видно по кривым, эффект затмения достаточно отчетливо проявился в записях обоих электрометров, прежде всего, как резкий рост напряженности АЭП в фазе полного покрытия. На обоих пунктах E_z до начала затмения понижается, однако характер этого изменения несколько различается. При среднем уровне E_z в невозмущенные дни около 500 В/м, аномалия во время затмения представляется чрезвычайно сильной.

На рис. 3 представлены результаты измерения концентрации приземного озона N_{O_3} в день затмения. Газоанализатор был установлен рядом с электрометром (кривая (а) на рис.2). Общая картина соответствует обычному суточному поведению концентрации озона – отсутствие в ночное время и зависимость от солнечного излучения в дневное. Понижение концентрации в период затмения проявляется достаточно надежно и достигает 10–20 мкг/м³. Важно отметить, что экстремум в N_{O_3} происходит позже полной фазы затмения примерно на 20–30 мин.

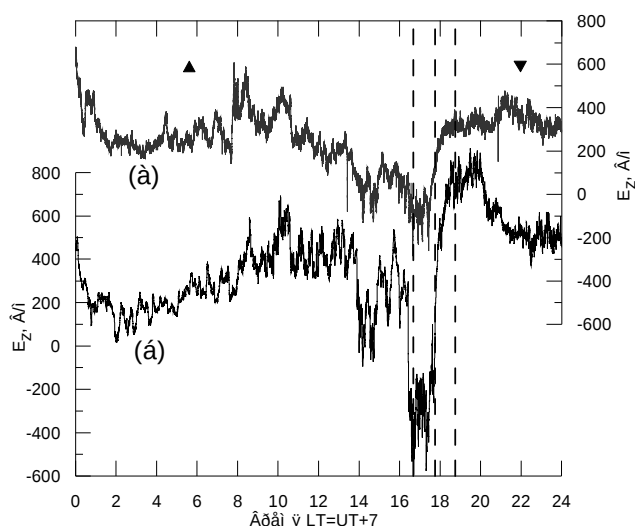


Рис. 2. Вариации атмосферного электрического поля в двух разнесенных пунктах. Треугольными маркерами показаны моменты восхода и заката, вертикальными линиями – начало, максимум и конец затмения

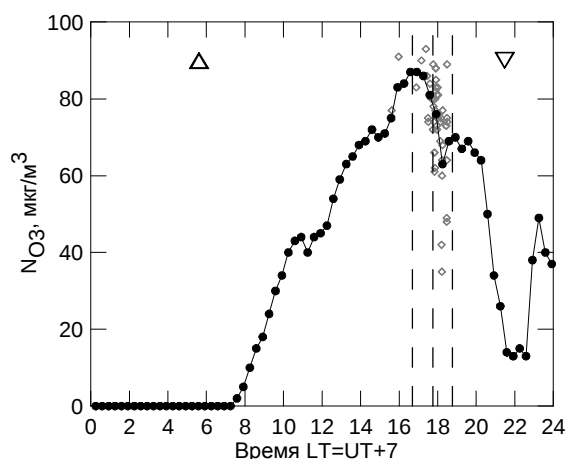


Рис. 3. Вариации концентрации приземного озона. Кривая – измерения с 20-минутным усреднением, отдельные маркеры – мгновенные значения, треугольные маркеры – моменты восхода и заката, вертикальные линии – моменты основных фаз затмения

В других наблюдаемых геофизических параметрах эффект затмения проявился слабо. Так, в вариациях X- и Z-компонентах магнитного поля можно отметить аномалии амплитудой несколько нТл, которые соотносятся с затмением. Однако на фоне естественных геомагнитных колебаний эти аномалии не представляются надежными. Интерпретация результатов инфразвуковых измерений осложнена сильными

шумами как естественного (например, метеорологического), так и искусственного (включая электромагнитные помехи в измерительных трактах аппаратуры) происхождения. Вариации космических лучей, описываемых такими параметрами как интегральная интенсивность нейтронной компоненты, общая ионизирующая компонента и вертикаль жесткой (мюонной) компоненты, в период затмения не превышают естественный уровень шумов.

4. Заключение

Предварительный анализ данных, полученных при комплексных наблюдениях на Геофизической обсерватории «Ключи» во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 г., показал, что эффект затмения надежно проявляется в одних геофизических характеристиках (ионосферные критические частоты, концентрация приземного озона, напряженность атмосферного электрического поля) и практически отсутствует в других характеристиках (космические лучи, инфразвук, магнитное поле). Последнее может быть следствием как использования на начальном этапе простейших методов анализа, так и сложностью самого явления и его следствий. В дальнейшем предполагается исследовать полученные данные с применением более глубоких методов и привлечением физических моделей наблюдаемых процессов.

Благодарности. Авторы признательны Б.М. Шевцову и С.Э. Смирнову (ИКИР ДВО РАН) за интерес к работе и предоставление электрометров «Градиент». Авторы выражают благодарность операторам ионозонда «Парус» Н.Ф. Ващенко, Г.В. Ивлевой, В.П. Мухортовой и Н.А. Шакировой за оперативную и качественную обработку первичных ионограмм. Работа выполнена при частичной поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16 «Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы», часть 3 «Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце-Земля» (госконтракт с ИСЗФ СО РАН).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Farges T. et al. Disturbances of the western European ionosphere during the total solar eclipse of 11 August 1999 measured by a wide ionosonde and radar network // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2001. – Vol.63. – P. 915–924.
2. Белинская А.Ю., Хомутов С.Ю., Григорьева С.А. Ионосферный отклик на солнечное затмение 29.03.2006 г. // Изв. вузов. Сер. Физика. – 2006. – № 9. – С. 68–72.
3. Григоренко Е.И., Ляшенко М.В., Черногор Л.Ф. Эффекты в ионосфере и атмосфере, вызванные солнечным затмением 29 марта 2006 г. // Геомагн. и аэрономия. – 2008. – Т. 48. – № 3. – С. 350–364.
4. Anderson R.C., Keefer D.R. Observation of the temperature and pressure changes during the 30 June 1973 solar eclipse // J. Atmos. Sci. – 1975. – Vol. 32. – P. 228–231.

5. Mauder M. et al. Atmospheric response to a partial solar eclipse over a cotton field in Central California // J. Appl. Meteorology and Climatology. – 2007. – Vol. 46. – P. 1792–1803.
6. Founda D. et al. The effect of the total solar eclipse of 29 March 2006 on meteorological variables in Greece // Atmos. Chem. Phys. – 2007. – Vol. 7. – P. 5543–5553.
7. Dolozalek H. Effects of the 7 March 1970 solar eclipse on atmospheric electricity, a contribution to the boundary layer discussion // Arch. Met. Geoph. Biokl., ser.A. – 1972. – Vol. 21. – P. 221–245.
8. Malin S.R.C. et al. Geomagnetic signature of the 1999 August 11 total eclipse // Geophys. J. Int. – 2000. – Vol. 140. – P. F13–F16.
9. Chudzynski S. et al. Observation of ozone concentration during the solar eclipse // Atmos. Res. – 2001. – Vol. 57. – P. 43–49.
10. Адушкин В.В. и др. Геофизические эффекты солнечного затмения 29 марта 2006 г. // Докл. АН. – 2007. – Т. 417. – № 4. – С. 535–540.

© И.Ю. Бабаханов, А.Ю. Белинская, М.А. Бизин, О.М. Грехов,
В.В. Кузнецов, А.Ф. Павлов, С.Ю. Хомутов, 2009

УДК 504.4 004.9

П.С. Бородавко

ИМКЭС СО РАН, Томск

КЛИМАТООБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ЛАНДШАФТОВ В ГОРАХ РУССКОГО АЛТАЯ

P.S. Borodavko

Institute for Monitoring of Climatic & Ecological Systems SB RAS

Tomsk, 634055, Russia, 10 / 3, Akademicheskoy Ave,

CLIMATE-RELATED CHANGES IN THERMOKARST TERRAIN IN RUSSIAN ALTAY MOUNTAINS

The Altay Mountains is the largest area of widespread mountain permafrost in Siberia. In Russia it occupies approximately 92,000 km². The climatic variations during the 20th century and especially during the last three decades have impacted on current permafrost temperatures. Observations over the last 40 years show that permafrost warmed by 0.3–0.4 °C, and average active-layer thickness increased by 20–25 per cent in comparison with the 1960s. Thermal degradation of ice-rich permafrost with coincident subsidence of the ground surface has recently resulted in extensive thermokarst and creation of new lakes on the Eshtikol Plateau (EP) and Akkol District (AD) in South-East of Russian Altay. GIS Analysis of aerial photography and satellite images indicated that widespread ice wedge degradation had not yet occurred before 1952. Our study documented a net increase in lake area and the number of lakes exceeding 0.2–2 ha in size in the continuous permafrost zone and suggests an increase of 52 % on a 3,000 km² territory (EP and AD) between 1952 and 2007, with the greatest increase between 1972 and 2000. Field observations indicate that in some locations thawing permafrost creates thermokarst lakes, while in other situations, thawing promotes talik development and draining of lake.

Многолетнемерзлые породы (ММП) распространены на территории Горного Алтая достаточно широко и неравномерно. Практически сплошное распространение криолитозона имеет в его Юго-восточной части. В направлении на запад и северо-запад сплошное развитие криолитозоны сменяется прерывистым, островным и, далее, зоной сезонного промерзания горных пород, расположенной вдоль северных и западных окраин. Мощность криолитозоны Русского Алтая, в целом, коррелируется с длительностью промерзания пород и связывается с приуроченностью разреза к тому или иному высотному геоэкологическому поясу [4]. В поясе островного распространения многолетнемерзлых пород их мощность варьирует от 6 до 90 м, прерывистого распространения – 50–160 м, сплошного распространения – 80–600 м. Мощность

ММП во впадинах значительно меньше, нежели в коренных породах их горного обрамления.

Наблюдения за климатом, которые ведут на регулярной основе станции Росгидромета, распределенные по всей территории России, показывают, что скорость потепления постоянно увеличивается [3, 8]. Региональные особенности динамики климата Алтая, характеризуются более интенсивным, чем в целом для России, увеличением годовой температуры воздуха, преимущественно за счет снижения суровости зимы. По расчетам В.С. Ревякина и Н.Ф. Харламовой [2], средняя температура теплого периода (IV-X) увеличилась на 2,3 °С за 166 лет, или 1,4 °С за 100 лет; холодного (XI-III) – на 3,4 °С или 2,2 °С соответственно. Особенно заметны изменения для января (на 4,8 °С), марта (4,4 °С) и апреля (4,5 °С). Для июля, августа и сентября повышение оказалось минимальным – 1,6 °С, 1,9 °С и 1,5 °С соответственно.

Потепление климата, по данным наблюдений на геокриологических стационарах (табл. 1) сопровождается отчетливо выраженным повышением среднегодовой температуры грунта, оттаиванием толщ ММП и активизацией деструктивных геокриологических процессов [1]. К числу последних относятся термокарст, криогенное оползание и пучение.

Таблица 1. Тренды изменения температуры ММП в различных регионах мира.
По [12] с дополнениями

	Район наблюдений, глубина, период	Температурный тренд	Источник
США	Транс-Аляскинский трубопровод (20 м) 1983–2003	+0.6 to +1.5°C	[13,15]
	Мерзлотная обсерватория Барроу (15 м), 1950–2003	+1°C	[17]
Россия	Восточная Сибирь (1.6–3.2 м), 1960–1992	+0.03°C/год	[16]
	Север Западной Сибири (10 м), 1980–1990	С +0.3 до +0.7°C	[14]
	Север Европейской России, (6 м), 1970–1995	до +1.2°C	[11]
Канада	Север бассейна Маккензи (28 м), 1990–2000	+0.1°C/год	[7]
	Мерзлотная станция Алерт, Нунавут (15 м), 1995–2000	+0.15°C/год	[19]
	Центральная часть бассейна Маккензи (15 м), 1985–2000	+0.03°C/год	[7]
	Север Квебека (10 м), вторая половина 1980-х – середина 1990-х	+0.1°C/год	[6]
Норвегия	Ювасхоэ, Юг Норвегии	С +0.5 до +1.0°C	[9]
	Янсонхауген, Шпицберген	С +1° до +2°C	[9]
Казахстан	Северный Тянь-Шань (1973–2003)	С +0.2° до +0.6°C	[10]
Монголия	Горы Хангая, Хэнтея, Побережье Хубсугула (1973–2003)	С +0.3° до +0.6°C	[18]

В трансформации ландшафтов приледниковых районов, важную роль играют криогенные процессы. Для оценки скорости их развития в современных условиях, нами была разработана геоинформационная система «КОНГЕО ПРО» (Климато-Обусловленные Новейшие ГЕОморфологические ПРОцессы). Под ней понимается компьютеризированная система сбора, систематизации, хранения, обработки, оценки, отображения и распространения пространственно-координированных данных о состоянии природных комплексов, а также интерпретации и анализа этих данных для эффективного использования при решении научных задач, связанных с исследованиями влияния климата на ход экзогенных геоморфологических процессов.

В качестве программного обеспечения ГИС «КОНГЕО ПРО» был выбран программный продукт фирмы Petmar Trilobite Breeding Ranch[®]: Microdem/TerraBaseII V10.0. В состав геоинформационной системы входят: банк данных, программно-аппаратный комплекс, средства создания оперативных материалов для разработки прогнозов.

Банк данных является информационной основой ГИС «КОНГЕО ПРО» и состоит из картографической базы данных, состоящей из совокупности цифровых векторных карт: слоев топографической основы масштаба 1:25 000, карты четвертичных отложений (1:50 000) геологической карты (1:500 000), карты криогенного районирования (1:500 000); тематических баз данных в формате DBASE, материалов дистанционного зондирования. Фактологические данные в ГИС представлены совокупностью отдельных тематических баз данных, атрибутивных таблиц цифровых слоев, справочников и классификаторов. Все фактологические данные представлены в системе в виде файлов формата DBASE. Структура тематических баз данных построена по реляционному типу. В банк данных ГИС включены цифровые изображения полученные со спутников Landsat 4 MSS, Landsat 7 TM, Landsat 7 ETM+, Meris, IKONOS 2.

Для изучения современных криогенных процессов нами были выбраны три участка: Эштыкольский, Чуйский и Аккольский. Исследования динамики термокарста на тестовых участках проведены с использованием материалов полихронной аэрофотосъемки и данных мультиспектрального оптико-механического сканирующего радиометра Landsat 7 ETM+. Геокоррекция и реферирование материалов аэрофотосъемки 1952 г. осуществлялось в среде MICRODEM V10.0. Аэроснимки привязывались к ДДЗ Landsat в проекции WGS 84 (UTM).

Тестовый участок № 1 (Ештыкольский) находится в горно-таежном поясе на периферии Северо-Чуйского хребта и Курайской межгорной впадины в урочище Ештыколь на абсолютной высоте 1 750–1 780 м.

Анализ материалов дистанционного зондирования за период с 1952 по 2007 гг. показал устойчивое увеличение площадей термокарстовых озер. За полувековой промежуток времени суммарная площадь озер Ештыкольского тестового участка увеличилась на 52 %. При этом отмечено появление новых водоемов на фоне расширения акваторий более старых.

Тестовый участок № 2 (Чуйский) охватывает центральную часть Чуйской впадины. Водоемы в пределах участка располагаются в высотном интервале от 1 737 до 1 850 м. Суммарная площадь закартированных 75 озер составляет 9,3 кв. км. Большинство из них имеют термокарстовое происхождение, о чем свидетельствуют морфологические особенности территории, асимметричность распределения озерных котловин, их конфигурация, наличие сухих впадин. В прошлом ряд водоемов имел большие размеры, на что указывают следы их прежних уровней. Обработка отечественных аэрофотоматериалов и ДДЗ Landsat 4 и Landsat 7 ETM+ за период с 1972 по 2007 гг. показала сокращение суммарной площади акваторий озер Чуйского тестового участка на 42 %. Кроме того, на фоне усыхания большинства водоемов центральной части Чуйской впадины, отмечено появление ряда новых.

Тестовый участок № 3 (Аккольский) расположен в пределах краевого моренного комплекса Малой ледниковой эпохи Большого Аккольского (Софийского) ледника. На территории участка закартировано 32 полигенетичных водоема. Компаративным анализом материалов полихронной аэрокосмосъемки установлено увеличение акваторий озер на 40 % в период с 1972 по 2007 год.

Устойчивое увеличение глубины сезонного оттаивания, в пределах исследуемой территории, нашло отражение в образовании сплывов грунтов сезонноталого слоя на склонах по поверхности льдистых глинистых пород. В приустьевой правобережной части долины р. Чаган-Узун закартировано и изучено 15 криогенных оползней и сплывов, образовавшихся за последние десять лет.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ
(грант 08-05-00037-а).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградов В.А. Сели Чуйских белков. Труды ЗапСибНИИ Госкомгидромета, 1981, вып. 51, с. 87–92.
2. Ревякин В.С., Харламова Н.Ф. Региональные изменения климата и природной среды Центральной Азии / Мировой океан, водоемы суши и климат // Труды XII съезда Русского Географического общества. Т. 5. – СПб, 2005. – С. 369–377.
3. Грицевич И.Г., Кокорин А.О., Подгорный И.И. Изменение климата. – М.: WWF России, 2007. – 56 с.
4. Розенберг Л.И. Геокриологические условия Алтая. В кн: Геокриология СССР. Горные страны Юга СССР. – М.: Недра, 1989. – С. 226–246.
5. ЮНЕП/РКИК ООН, (2003): Изменение климата. Комплект информационных материалов по изменению климата. Изд. ЦЭНЭФ, август 2003.
6. Allard, M., B. Wang and J.A. Pilon, 1995. Recent cooling along the southern shore of Hudson Strait, Quebec, Canada, documented from permafrost temperature measurements. Arctic and Alpine Research, 27:157–166.

7. Couture, R., S. Smith, S.D. Robinson, M.M. Burgess and S. Solomon, 2003. On the hazards to infrastructure in the Canadian North associated with thawing of permafrost. *Proceedings of Geohazards 2003, Third Canadian Conference on Geotechnique and Natural Hazards*, pp. 97–104. Canadian Geotechnical Society.
8. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2003. *Climate change 2003: Synthesis report*. WMO/UNEP.
9. Isaksen, K., P. Holmlund, J.L. Sollid and C. Harris, 2001. Three deep alpine-permafrost boreholes in Svalbard and Scandinavia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12:13–25.
10. Marchenko, S.S., Results of monitoring of the active layer in the northern Tien Shan mountains, *Earth Cryosphere*, v. VI, 3, 25–34, 2002
11. Oberman, N.G. and G.G. Mazhitova, Permafrost dynamics in the north-east of European Russia at the end of the 20th century. *Norwegian Journal of Geography*, 55, 241–244, 2001.
12. Osterkamp, T.E., 2003. A thermal history of permafrost in Alaska. *Proceedings of Eighth International Conference on Permafrost, Zurich*, pp. 863–868.
13. Osterkamp, T.E., and V.E. Romanovsky, Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska, *Permafrost and Periglacial Processes*, 10(1), 17–37, 1999.
14. Pavlov, A.V., Current changes of climate and permafrost in the Arctic and Sub-Arctic of Russia, *Permafrost and Periglacial Processes*, 5, 101–110, 1994.
15. Romanovsky, V.E., and T.E. Osterkamp, Permafrost: Changes and Impacts, in: R. Paepe and V. Melnikov (eds.), «Permafrost Response on Economic Development, Environmental Security and Natural Resources», Kluwer Academic Publishers, 297–315, 2001.
16. Romanovsky, V.E., Shender, N.I., Sazonova, T.S., Balobaev, V.T., Tipenko, G.S. and Rusakov, V.G., Permafrost Temperatures in Alaska and East Siberia: Past, Present and Future, in: *Proceedings of the Second Russian Conference on Geocryology (Permafrost Science)*, Moscow, June 6-8, pp. 301–314, 2001.
17. Romanovsky, V.M. Burgess, S. Smith, K. Yoshikawa, and J. Brown, Permafrost Temperature Records: Indicators of Climate Change, *EOS, AGU Transactions*, Vol. 83, No. 50, 589–594, December 10, 2002.
18. Sharkhuu, N., Recent changes in the permafrost of Mongolia. In: *Proceedings of the VII International Permafrost Conference, Switzerland, July 21–25*, pp. 1029–1034, 2003.
19. Smith, S.L., M.M. Burgess and A.E. Taylor, 2003. High Arctic permafrost observatory at Alert, Nunavut – analysis of a 23-year data set. *Proceedings of the Eighth International Conference on Permafrost*, 1073–1078.

УДК 550.388.2

А.Ю. Белинская, С.Ю. Хомутов

АСФ ГС СО РАН, Новосибирск

ВОЗМУЩЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ НАД НОВОСИБИРСКОМ, ВЫЗВАННЫЕ ПУСКАМИ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ С КОСМОДРОМА БАЙКОНУР

A.Yu. Belinskaya, S.Yu. Khomutov

Altay-Sayan branch of Geophysical Survey SB RAS

Geophysical observatory «Klyuchi»

THE DISTURBANCES OF THE IONOSPHERE ABOVE NOVOSIBIRSK DURING LAUNCHES OF THE ROCKETS FROM BAIKONUR

The results of the ionospheric observations on Geophysical observatory «Klyuchi» (Novosibirsk) during the rocket launches from Baikonur are presented. The «ionospheric holes» and the travelling ionospheric disturbances generated by launches and flights of the heavy rockets were detected.

Ионосфера – это переходная область от Земли к Космосу, ионизированный слой, защищающий нашу планету от жестких излучений, а также важное звено в системе радиосвязи. До недавнего времени свойства ионосферы рассматривались только в связи с воздействиями солнечной активности и космических лучей. Однако исследования последних лет показали, что эта часть атмосферы реагирует и на природные процессы на Земле (вулканическая деятельность, цунами, землетрясения) и на техногенные события (например, запуск космических аппаратов).

Механизм воздействия работающих двигателей ракет-носителей (РН) на околоземное пространство (ОКП) условно делят на три группы [1]:

1) Засорение ОКП, например, облака мелкодисперсных обломков и конденсата;

2) Химическая модификация атмосферы продуктами сгорания топлива ракет. При этом наблюдают значительное падение электронной концентрации N_e в F-области (когда ракета входит на высоты 200–400 км). Называют это явление «ионосферная дыра», и оно имеет размеры в десятки и сотни километров и время жизни от десятков минут до нескольких часов. Уменьшение N_e связано с рекомбинацией молекулярных ионов кислорода с молекулами воды, азота и углекислого газа;

3) Волновая модификация окружающей среды:

- Генерация факелом ракеты волн в нейтральном газе;
- Возбуждение неустойчивостей и волн в плазме и взаимодействие их с потоками заряженных частиц;

– Генерация ударно-акустической волны (УАВ), возникающей при пролете ракеты на горизонтальном участке траектории.

Воздействие первого фактора на ионосферу традиционными радиофизическими методами не обнаруживается. Однако при запусках космических аппаратов они позволяют регистрировать и изучать крупномасштабные эффекты, такие, например, как падение N_e в слое F2, а также в ряде случаев уверенно детектировать перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ), генерируемые УАВ. Стандартный метод вертикального зондирования (ВЗ) дает возможность фиксировать модификацию ионосферы, связанную с пусками РН, в том числе:

- 1) Изменение критической частоты слоя F2 (f_0F2), величина которой хорошо коррелирует с величиной N_e ;
- 2) Волновые вариации значений f_0F2 , вызванные широким спектром акустико-гравитационных волн, которые в свою очередь были возбуждены УАВ;
- 3) Регистрация ПИВ, которая, правда, существенно зависит от состояния верхней атмосферы и расположения ионозонда относительно траектории полета [2].

На Геофизической обсерватории «Ключи», расположенной вблизи г. Новосибирск ($54^{\circ}50'$ с.ш., $83^{\circ}14'$ в.д.), наблюдения за состоянием ионосферы ведутся с помощью цифрового ионозонда «Парус» [3]. В периоды пусков РН ионозонд работал в интенсивном режиме ВЗ, обычно с интервалом зондирования 20 с (при стандартном мониторинге 1 раз в час), в результате получены цифровые ионограммы, с которых сняты стандартные характеристики, рекомендуемые URSI, а также получены оценки особых состояний ионосферы, проявившиеся на ионограммах.

Информация о пусках РН с космодрома Байконур (46° с.ш. 63° в.д., расстояние до Новосибирска около 1 700 км; информация получена с сайта Роскосмоса <http://www.roscosmos.ru>), во время которых проводились ионосферные измерения, представлена в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Дата	Время UT	Типа РН	Падение 2-й ступени
1	30.03.2006	02:30	Союз-ФГ (средний класс)	Алтайский край, Республика Алтай
2	10.10.2007	13:22	Союз-ФГ (средний класс)	Алтайский край, Республика Алтай
3	26.10.2007	07:35	Протон-К с РБ (тяжелый класс)	Томская обл.
4	*17.11.2007	22:40	Протон-М (тяжелый класс)	Алтайский край, Республика Алтай
5	14.12.2007	13:17	Союз-ФГ (средний класс)	Пермская обл.
6	*23.12.2007	07:12	Союз-У (средний класс)	Алтайский край, Республика Алтай
7	*25.12.2007	19:32	Протон-М(тяжелый класс)	Томская обл.
8	*11.02.2008	11:33	Протон-М(тяжелый класс)	Республика Алтай
9	15.03.2008	23:18	Протон-М с РБ	Алтайский край, Республика Алтай

Пуски, помеченные в таблице символом «*», не использовались для анализа, так как в это время в ионосфере наблюдались сильные возмущения,

которые начинались еще до пуска РН и не были с ним связаны. Геомагнитная обстановка во время остальных наблюдений была спокойной.

На рис. 1 представлены вариации критических частот (слева) и действующих высот (справа) основных ионосферных слоев и следов ПИВ. Нулевой момент времени на графиках соответствует моменту старта РН с космодрома. Подробный анализ каждого запуска приведен ниже.

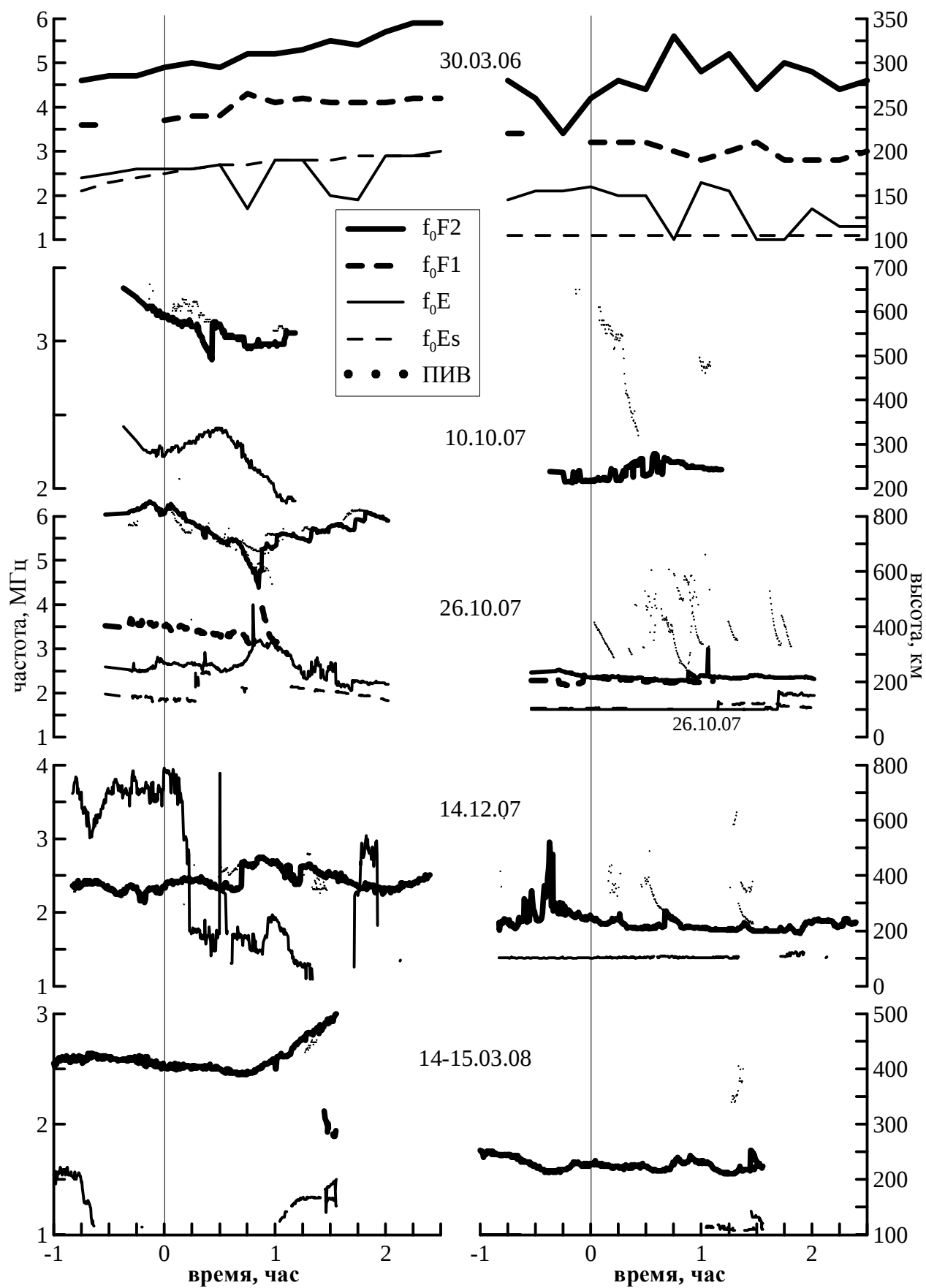


Рис. 1. Критические частоты и действующие высоты ионосферных слоев, следы ПИВ. Сплошная вертикальная линия – момент старта РН

30.03.2006 г. измерения проводились каждые 15 мин. Через 30 мин после старта было уменьшение f_0F2 , что свидетельствует о падении N_e в высоком ионосферном слое, т. е. явление «ионосферной дыры». Подобное уменьшение повторилось через 1.5 часа. Через 45 мин наблюдалось повышение f_0F1 , т. е. возрастание N_e в слое F1, с одновременным падением N_e в спорадическом слое Es. В это же время возросла высота слоя F2, а высота слоя Es уменьшилась. Такое поведение характеристик ионосферы можно интерпретировать, как проявление акустико-гравитационных волн, генерированных УАВ.

10.10.2007 г. через 26 мин наблюдалось понижение f_0F2 . Через 5 мин после старта на ионограммах появились следы ПИВ. Их появление можно связать с отделением 2 ступени РН над Алтайским краем, которое произошло через 287 с после старта. Через 30 мин опять наблюдалась «ионосферная дыра» в слое F2.

26.10.2007 г. был старт РН тяжелого класса с траекторией полета наиболее близкой к обсерватории «Ключи». Через 40 мин после старта упала электронная концентрация в слое F2 и возросла в слоях F1 и Es, т. е. произошла кратковременная перестройка в вертикальном профиле ионосферы. Кроме того, через 2 мин после старта наблюдались следы ПИВ в виде «крючков» и наклонных отражений. 1 ступень отделилась через 127 с над Карагандинской областью, а 2 ступень – через 338 с над Томской областью. Во время этого пуска ионосфера реагировала особенно бурно.

14.12.2007 г. через 45 мин после старта наблюдалось возрастание f_0F2 , через 12 мин и через 30 мин на ионограммах наблюдались наклонные отражения, а более чем через 1 час – следы ПИВ. Через 15 мин возросла высота F2, еще один пик был через 25 мин после первого повышения. Это можно интерпретировать как проявление УАВ. Во время этих наблюдений высокая концентрация в слое Es сменилась на низкую именно после старта РН.

15.03. 2008 г. старт был ранним местным утром. Проявлений полета РН через ионосферу нами не было отмечено.

Таким образом, результаты вертикального зондирования ионосферы в Новосибирске во время запусков РН с космодрома Байконур позволяют сделать следующие выводы:

- После старта РН наблюдаются «ионосферные дыры» в слое F2, за исключением 14–15 марта 2008 г., когда эффект был кратковременный и появился только через один час после события;
- После пролета РН на ионограммах фиксируются проявления ПИВ в виде специфических следов («крючков») и наклонных отражений, которые можно связать с отделением ступеней РН;

Особенно заметно ионосфера прореагировала на старт 26 октября 2007 г. РН «Протон-К» с разгонным блоком, траектория полета которой проходила через Карагандинскую и Томскую обл.

В целом, экспериментальные данные показывают, что после запуска РН в течение примерно одного часа происходит частичная перестройка структуры ионосферы, которая проявляется в возникновении волновых возмущений ионосферы различного масштаба.

Благодарности. Авторы выражают благодарность операторам ионозонда «Парус» Н.Ф. Ващенко, Г.В. Ивлевой, В.П. Мухортовой и Н.А. Шакировой за оперативную и качественную обработку первичных ионограмм. Работа выполнена при частичной поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16 «Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы», часть 3 «Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце-Земля» (госконтракт с ИСЗФ СО РАН).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афраимович Э.Л., Первалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. – Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. – 480 с.
2. Нагорский П.М., Таращук Ю.Е. Искусственная модификация ионосферы при стартах ракет, выводящих на орбиту космические аппараты // Изв. вузов. Физика. – 1993. – Т. 36. – № 10. – С. 98–107.
3. Белинская А.Ю., Колесник С.А., Хомутов С.Ю. Создание банка данных вертикального зондирования ионосферы на Геофизической обсерватории «Ключи», позволяющие решать задачи программы «Космическая погода» // Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике, VI Сессия молодых ученых «Волновые процессы в проблеме космической погоды», Программа и тезисы докладов. Иркутск, 15–20 сентября 2003 г. – Иркутск, 2003. – С. 51.

© А.Ю. Белинская, С.Ю. Хомутов, 2009

УДК 913:002(571)

*Ю.И. Шокин, И.А. Пестунов, В.В. Смирнов, Ю.Н. Синявский,
А.П. Скачкова, И.С. Дубров*
ИВТ СО РАН, Новосибирск

СИСТЕМА СБОРА, ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ЗАПАДНОЙ И ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

*Yu.I. Shokin, I.A. Pestunov, V.V. Smirnov, Yu.N. Sinyavskiy,
A.P. Skachkova, I.S. Dubrov*

Institute of Computational Technologies SB RAS

6 Acad. Lavrentjev ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

SYSTEM OF REMOTE SENSING DATA COLLECTING, STORAGE AND AND PROCESSING FOR WESTERN AND THE EASTERN SIBERIA TERRITORIES RESEARCH

Geoinformational system developed in the ICT SB RAS for Western and the Eastern Siberia territories research is considered.

Важнейшей составляющей информационного обеспечения общества, необходимой для безопасного существования и устойчивого экономического развития любого государства, являются данные дистанционного зондирования (ДДЗ). При исследовании обширных и труднодоступных территорий Сибири они имеют особое значение, потому что ДДЗ – практически единственный источник независимой, объективной и актуальной информации.

В последние годы в области создания и развития средств и технологий дистанционного зондирования Земли наблюдается стремительный прогресс. Как следствие, лавинообразно растут получаемые объемы данных, которые практически невозможно централизованно хранить и обрабатывать. Кроме того, сложность современных программных комплексов, их существенная стоимость и необходимость постоянного обновления значительно затрудняют их широкое применение рядовым пользователем.

В целях обеспечения доступа сотрудников Сибирского отделения РАН к спутниковым данным, на базе ИВТ СО РАН создается распределенная система сбора, хранения и обработки данных дистанционного зондирования. К основным функциям системы относятся: обеспечение сбора данных; архивирование «сырых» данных; предварительная (до уровня 1В) и дополнительная (до уровня 2А) обработка данных; каталогизация данных уровня 1А; обеспечение оперативного и долговременного хранения обработанных данных; предоставление доступа к данным и веб-сервисов для их тематической обработки.

Основной поставщик спутниковых данных – Западно-Сибирский региональный центр приема и обработки спутниковых данных (Зап-СибРЦПОД) при ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ». Для передачи данных из Зап-СибРЦПОД в ИВТ СО РАН организована подсеть сбора данных Сети передачи данных (СПД) Сибирского отделения РАН (рис. 1).

В сети Зап-СибРЦПОД расположен сервер для временного хранения информации. Он обеспечивает взаимодействие между локальной сетью Зап-СибРЦПОД и сетью ИВТ СО РАН, предоставляет FTP-сервис, сервис файловых каталогов и другие сервисы для служб Зап-СибРЦПОД, а также обеспечивает временное хранение (буферизацию) поступающей информации в течение 7–10 дней для гарантированного функционирования системы сбора данных в случае аварийных ситуаций.

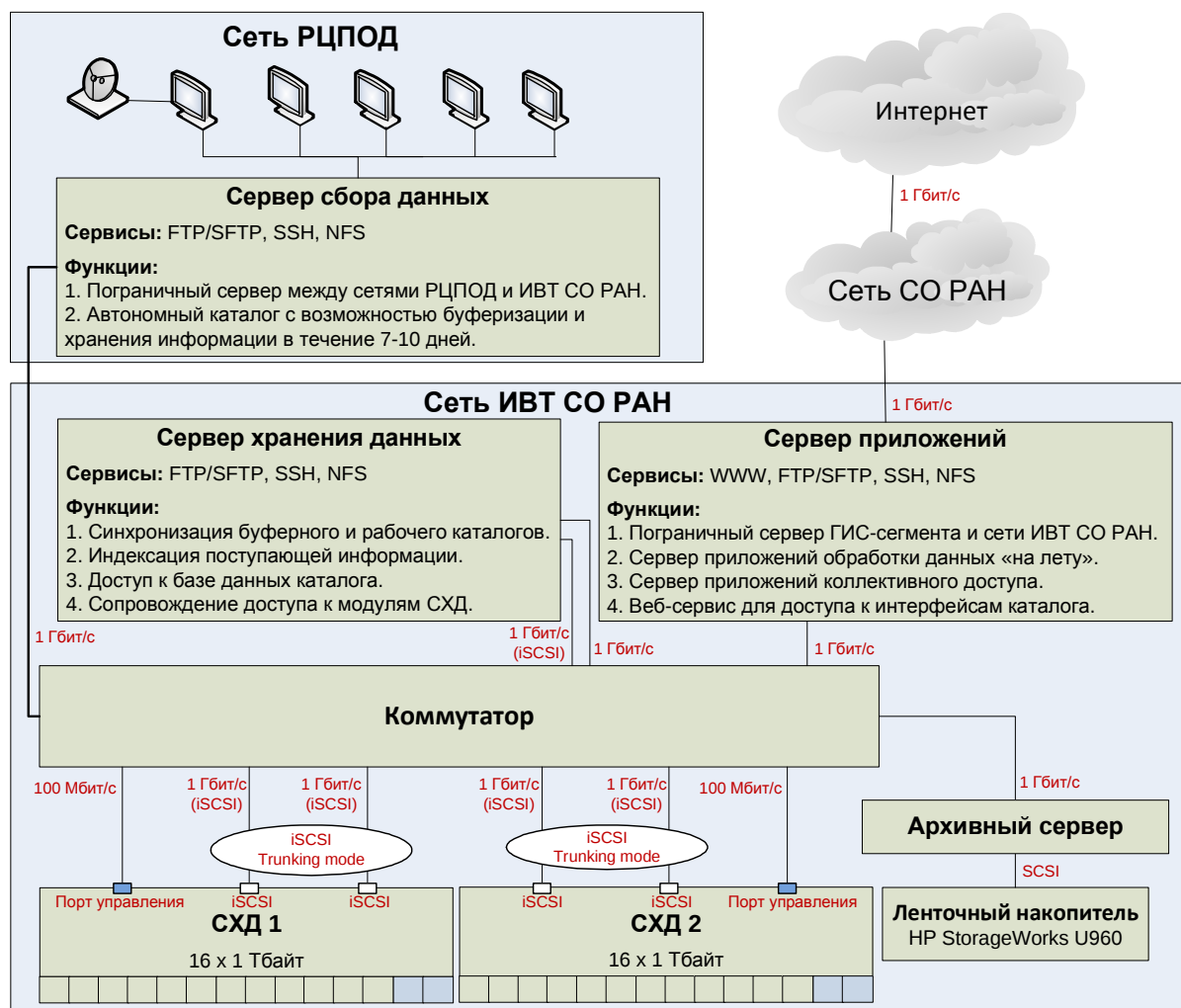


Рис. 1. Функциональная схема подсети сбора данных СПД СО РАН

Для обеспечения работы системы в сеть ИВТ СО РАН включено следующее оборудование:

– Система хранения данных (СХД), обеспечивающая долговременное бесперебойное хранение оперативной информации;

- *Сервер сбора и индексирования данных*, выполняющий функции сбора, индексирования данных и занесения их в СХД, а также формирования базы метаданных и выполнения поисковых запросов;
- *Сервер приложений*, предназначенный для обработки данных;
- *Система архивации данных*, обеспечивающая архивацию поступающей «сырой» информации и оперативного архива по мере его обновления.

В качестве *системы хранения данных* используются два дисковых массива proIPS SB-3164-G1A3, каждый из которых содержит 16 дисков по 1 Тбайт. Внутренняя организация СХД позволяет сохранить полную работоспособность системы при выходе из строя двух дисков и обеспечить работу системы в функционально ограниченном режиме при одновременном выходе из строя до четырех дисков.

В настоящее время обеспечен прием данных со спутников SPOT-2/4 на территорию Западной и Восточной Сибири (порядка 16 Гбайт в сутки). Кроме того, создан каталог архивных данных со спутников серии LandSat (1982–2002 гг.), покрывающих всю территорию России; организован доступ к каталогу спутниковых данных Межинститутского спутникового центра коллективного пользования ДВО РАН¹ [1] и сформирован каталог для доступа к архиву радарной топографической съемки на территорию Евразии, полученной NASA в феврале 2000 года (SRTM1 и SRTM2).

Архивация данных для долгосрочного хранения обеспечивается с помощью ленточного накопителя. «Сырые» данные после индексации тоже переносятся в долговременный архив.

Сервер приложений (2 x Intel Core Quad (8x2.2 ГГц), 16 Гбайт ОЗУ) взаимодействует с вычислительным кластером ИВТ СО РАН с пиковой производительностью порядка 230 Гфлопс. В настоящее время он выполняет операции по приведению данных в нужную картографическую проекцию.

С целью систематизации данных, организации поиска и извлечения из архива необходимой информации в систему интегрирован каталог пространственных данных. Каталог работает под управлением операционной системы семейства UNIX. В его основе лежит набор стандартных и специализированных программных продуктов с открытым исходным кодом, распространяемых под лицензией GPL (GNU General Public License).

Структура каталога представлена на рис. 2. Доступ к нему осуществляется посредством стандартного веб-браузера, что обеспечивает платформенную независимость. В основе каталога лежит набор Perl/Java/JavaScript-приложений, работающих под управлением веб-сервера Apache.

Доступ к каталогу реализован посредством модуля Central Authentication Service (CAS)². Он позволяет организовать многоуровневую систему разграничения прав доступа с централизованной базой пользователей на основе LDAP-каталога Сибирского отделения РАН и реализовать практически

¹ <http://satellite.dvo.ru>

² <http://www.ja-sig.org/products/cas/index.html>

индивидуальные настройки доступа к любому защищаемому ресурсу. Модуль CAS позволяет легко создавать защищенные ресурсы как на основе Apache/Tomcat, так и при использовании технологий PHP/JavaScript на платформе Apache.

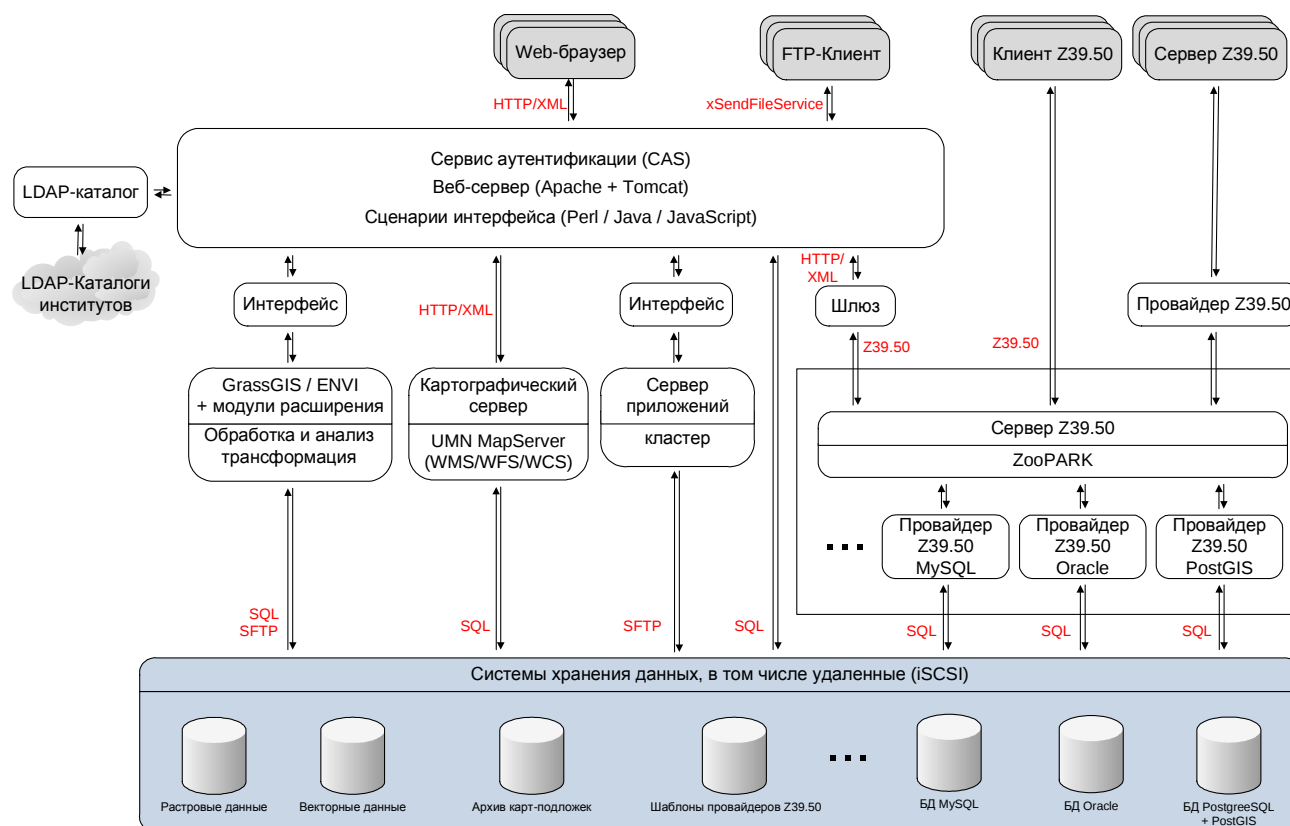


Рис. 2. Структура каталога

Каталог состоит из следующих функциональных блоков.

В качестве *HTTP-сервера* используется Apache (с расширением Tomcat) для платформы UNIX.

Важной составляющей системы являются картографические сервисы, которые также используются в других проектах. *Подсистема картографических сервисов* состоит из двух продуктов, распространяемых под лицензией GPL (GeoServer³ и UMN MapServer⁴).

GeoServer предназначен для публикации набора векторных и растровых слоев. Приложение взаимодействует непосредственно с СУБД PostgreSQL/PostGIS, что позволяет построить высокопроизводительный и легкий в настройке сервис.

Картографический сервер UMN MapServer содержит все необходимое для разработки картографических сервисов WMS/WFS, в соответствии со спецификациями OGC. Он позволяет формировать карты, одновременно используя информационные слои, размещенные как в локальных, так и в удаленных архивах.

³ <http://geoserver.org>

⁴ <http://mapserver.gis.umn.edu>

В качестве базового *инструментария для обработки и анализа данных дистанционного зондирования* используются как пакеты программ с открытым исходным кодом, так и коммерческие продукты.

Для предварительной обработки поступающих данных используется специальный модуль, интегрированный в коммерческий пакет RSI ENVI⁵ 4.5.

В качестве базового инструментария для тематической обработки и анализа данных дистанционного зондирования используется пакет программ с открытым исходным кодом GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System⁶). Отличительные особенности пакета – полная интеграция в среду UNIX, поддержка основных типов пространственных данных, мощный процессор обработки растровых данных, модульность и наличие открытого инструментария для быстрой и эффективной разработки модулей расширения. По функциональности GRASS GIS не уступает коммерческим аналогам. Он позволяет разрабатывать модули расширения практически на всех языках программирования, для которых есть компилятор под UNIX (Perl, sh, C/C++, Java, Fortran и др.). Пакет позволяет выполнять ресурсоемкие алгоритмы на высокопроизводительных вычислительных системах. Он включает библиотеки для работы практически со всеми современными СУБД.

Для тематической обработки данных в систему интегрирован комплекс программ, основанный на эффективных непараметрических алгоритмах выбора информативных признаков и классификации [2, 3].

Для расширения функциональности системы используется *сервер приложений*. Он содержит интерфейсы для взаимодействия с внешними приложениями, описанные на языке XML.

Для обеспечения функционирования системы в распределенном режиме и интероперабельности по протоколам доступа к метаданным и их представлению, в нее интегрированы *модули поддержки протокола Z39.50* [4]. Поисковая система позволяет не только находить данные по метаданным, но и выполнять комплексные запросы.

Для получения снимка необходимо оформить заказ. Для этого достаточно добавить выбранные снимки в корзину заказов. После этого, при нажатии кнопки «Заказать», заказ поступает в обработку. Затем пользователю предоставляется возможность скачать снимки по каналам сети передачи данных СО РАН с использованием протоколов FTP и HTTP.

В дальнейшем предполагается переход к адаптированным формам предоставления информации, что подразумевает стандартизованную и тематическую обработку «сырых» данных, а также предоставление их в режиме сетевых сервисов. Этот подход позволяет создавать неограниченное количество специализированных систем, базирующихся на одной информационной основе. При этом соответствующее программное обеспечение, установленное у пользователя, может быть максимально адаптировано к его деятельности и

⁵ <http://www.envi.ru>

⁶ <http://grass.itc.it>

уровню квалификации. Подобная архитектура позволяет создавать действительно распределенные информационные системы.

В настоящее время к системе подключено 14 институтов СО РАН. Система используется для выполнения крупных интеграционных проектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шокин Ю.И., Пестунов И.А., Смирнов В.В. и др. Распределенная информационная система сбора, хранения и обработки спутниковых данных для мониторинга территорий Сибири и Дальнего Востока // Журн. Сибирского федерального ун-та. Техника и технологии. – 2008. – Т. 1, вып. 4. – С. 291–314.

2. Пестунов И.А., Синявский Ю.И. Непараметрический алгоритм кластеризации данных дистанционного зондирования на основе grid-подхода // Автометрия. – 2006. – Т. 42. – № 2. – С. 90–99.

3. Куликова Е.А., Пестунов И.А. Классификация с полуобучением в задачах обработки многоспектральных изображений // Вычисл. технологии. 2008. Т. 13 (совместный вып. по матер. Междунар. конф. «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании»). Вестн. КазНУ им. аль-Фараби. Сер.: Математика, механика, информатика. 2008. № 3 (58), ч. II. С. 284–290.

4. Жижимов О.Л., Мазов Н.А. Принципы построения распределенных информационных систем на основе протокола Z39.50. Новосибирск: ОИГТМ СО РАН; ИВТ СО РАН, 2004. 361 с.

*© Ю.И. Шокин, И.А. Пестунов, В.В. Смирнов,
Ю.Н. Синявский, А.П. Скачкова, И.С. Дубров, 2009*

УДК 528.855(235.222)

*В.А. Лямина**, *З.И. Дольников**, *А.Ю. Королюк***, *Н.Н. Добрецов**,
*Б.А. Смоленцев****, *Н.В. Глушкова**

*ИГМ СО РАН

**ЦСБС СО РАН

*** ИПА СО РАН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ГИС И ДЗ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ГЕТЕРОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

*V.A. Lyamina**, *I.D. Zolnikov**, *A.Yu. Korolyuk***, *N.N. Dobretcov**,
*B.A. Smolentcev****, *N.V. Glushkova**

*IGM SB RAS

**CSBG SB RAS

***ISA SB RAS

USING OF METHODS OF GIS AND RS FOR MAPPING AND MONITORING OF HETEROGENEOUS LANDSCAPES

The complex technology of mapping and monitoring of heterogeneous landscapes with use of methods of remote sensing and geoinformation modeling is presented. This technology includes image processing of the different spatial resolution by methods of supervised classifications, and also density analysis of territorial heterogeneity with use of grid models (with application of software packages ENVI and ArcGIS). Allocation of landscapes on the basis of image processing and geoinformation modelling allows to map not only homogeneous, but also heterogeneous land ecosystems and also to conduct monitoring of their dynamics.

При проведении исследований природных систем какой-либо территории мы сталкиваемся с пространственной неоднородностью ландшафтов. В последние десятилетия в изучении пространственной организации экосистем всех уровней иерархии широко используются данные дистанционного зондирования (ДДЗ). В условиях роста объема и разнообразия космических снимков актуальна разработка методик их обработки. Для проведения наземных исследований и сбора данных была разработана унифицированная система многопараметрической характеристики ландшафтов. Используемое на первых этапах междисциплинарное описание [1, 2], составленное путём простого объединения результатов геолого-геоморфологических, почвенных и ботанических наблюдений оказалось не вполне пригодным для применения методов ГИС и ДЗ в связи со слишком узкой специализацией количественных характеристик и преобладанием качественных, в основном текстовых комментариев. Требовалось выбрать параметры, наиболее существенные для характеристики компонентов и одновременно значимые для формирования

спектральных особенностей космоснимков. Поэтому в результате унификации стандарта описания был определен набор индивидуально-индикационных, количественных и полуколичественных признаков, характеризующих типовые ландшафтные обстановки [3].

Неотъемлемым свойством наземных экосистем является их иерархическая структурированность и неоднородность. Эти свойства отчетливо проявляются на космических снимках различного пространственного разрешения: от мелкомасштабных (Modis) и среднемасштабных (Landsat, Aster, Spot) до крупномасштабных (Quick Bird). Сложно организованные ландшафты формируют на цифровых изображениях смесь спектральных откликов различной яркости, что не позволяет в рамках автоматической обработки ДДЗ решать задачу стандартными методиками разграничения анализируемой площади по классам однородных полей, представленных пикселями с однотипными спектрами. Это нередко приводит к тому, что картографирование ландшафтов проводится вручную путём векторной оцифровки по растровым подложкам – цифровым моделям рельефа и космоснимкам. Ручная оцифровка вносит значительную долю субъективности в картографические материалы, создаваемые на основе ДДЗ. Вместе с тем, именно гетерогенные ландшафты и пограничные биотопы являются наиболее чувствительными к региональным и глобальным изменениям факторов природной среды. В свою очередь эти изменения могут фиксироваться на космических снимках различного пространственного разрешения и оцениваться фактически в оперативном режиме. В этой связи очевидны фундаментальное значение и прикладная ценность комплексных технологий картографирования и мониторинга гетерогенных ландшафтов методами ГИС и ДЗ.

Разработка и апробация комплексной технологии проводилась на примере эталонного полигона «Касмалинский бор», который представляет сложный комплекс сосновых лесов и травяных ландшафтов юго-западной части Алтайского края (на стыке Угловского, Михайловского и Волчихинского районов). Ленточные боры степной зоны юга Обь-Иртышского междуречья – уникальное природное явление. Они формируют серию вытянутых в северо-восточном направлении лент, занимающих ложбины. Данные ландшафты обладают оригинальной флорой и имеют сложную пространственную структуру почвенно-растительного покрова, что делает их привлекательными для анализа гетерогенных ландшафтов разных иерархических уровней.

Предлагаемая технология реализуется однотипно для космических снимков всего масштабного ряда и соответственно для всех уровней организации наземных экосистем. В качестве иллюстрации работ на полигоне приведем результаты анализа мультиспектральных космических снимков Quick Bird разрешения 2 м. Ландшафтные исследования по цифровым изображениям высокого пространственного разрешения обладают фактологической и методической новизной, в отличие от геоэкологических работ среднего масштаба по снимкам Landsat и др., которые ведутся уже несколько десятилетий.

Реализованную технологию можно представить в виде следующей последовательности. Начальный этап – натурное исследование экосистем полигона, в ходе которого выявляется и характеризуется набор микроландшафтов и их сочетаний. На основании этого производится выбор эталонных участков для комплексного описания геолого-геоморфологического строения, почв и растительности по унифицированному стандарту. Особое внимание уделяется индикаторным признакам, играющим ключевую роль в формировании спектральных характеристик космоснимка.

По результатам полевых описаний составляются базы геоданных, характеризующие ландшафты района. Уже на этой стадии исследований наличие комплексных баз геоданных с характеристикой разных уровней иерархии позволяет перейти от качественного описания экосистем к геоинформационному их моделированию на основе количественных и полуколичественных признаков [3]. Базы геоданных дополняются спектральными библиотеками, полученными в результате изучения спектрального отклика ландшафтов на космоснимках выбранного пространственного разрешения. Спектральные библиотеки составляются по комплексно описанным в поле контурам. Таким образом, контур ландшафтного объекта представляет собой метрическую составляющую, а комплексное описание – семантическую составляющую базы геоданных, которая оформлена в векторном формате ГИС (в нашем случае – ArcGIS). Как правило, исследования на ключевых полигонах ведутся на протяжении нескольких лет, что позволяет ревизовать комплексные описания, уточнить и пополнить спектральные библиотеки. Многоитерационность исследований дает возможность неоднократно верифицировать как базы геоданных, так и спектральные библиотеки, составляемые по контурам.

На следующем этапе оценивается степень внутренней однородности элементарных ландшафтов по всем каналам снимка. В случае гомогенности, элементарные ландшафты должны обладать унимодальным распределением яркостных характеристик во всех диапазонах спектра. Если в каком-нибудь канале обнаруживается полимодальное распределение значений, то очевидно, что в спектральном домене обособляется более чем один объект и такой ландшафтный выдел вряд ли можно считать элементарным. Нередко на участке, описанном как однородный элементарный ландшафт, при анализе спектров выделяется несколько типов объектов, сходных по типу литологического субстрата, почвенному покрову и составу растительности, но различающихся по другим признакам (степенью проективного покрытия растительности, мозаичность ценотической структуры сообществ, антропогенная трансформация и др.). В подобных случаях выделяются новые типы микроландшафтов и их характеристики вносятся в базу геоданных. Кроме того, анализируются и выбраковываются аномальные значения, связанные с попаданием в эталонные пиксели сопредельных участков, занятых другими ландшафтами, а также с узко локальными феноменами. Особое внимание уделяется пространственному распределению пикселей в предварительных

результатах управляемых классификаций на основе обучения по эталонным выборкам.

На основании анализа сходства и различия объектов в спектральном и пространственном доменах мы уточняем классификацию микроландшафтов. По результатам этого этапа исследований формируются «спектральные портреты» элементарных микроландшафтов изучаемого района. Уточненная классификация микроландшафтов с учетом сходства и различия спектральных характеристик оформляется в виде спектральной библиотеки полигона, сопряженной с комплексной базой геоданных. Она представляет набор геоинформационных моделей эталонных микроландшафтов территории, имея которые, мы можем анализировать факторы, определяющие их обособление в виде автономных природных обстановок. Это позволяет составлять классификационные таблицы эталонных объектов с показом целевых признаков, по которым отличаются те или иные микроландшафты.

Следующим этапом является управляемая классификация с обучением по эталонным выборкам. Обработка изображений может проводиться пошагово с использованием масок в несколько итераций. Так, отдельно классифицируются леса и травяные ландшафты. Результаты классификации безлесных микроландшафтов по снимку Quick Bird показывают значительную гетерогенность пространственного распределения микроландшафтов.

Для исключения чрезмерно мелких объектов и выделения крупных областей строятся плотностные схемы для каждого типа микроландшафта. Шаг сетки в каждом конкретном случае определяется пространственным разрешением обрабатываемого космического снимка, а радиус скользящего окна подбирается эмпирически в соответствии с функциональным масштабом ландшафтной карты. Для участка, показанного на рисунке плотностные сетки строились с шагом 2,5 м и радиусом окна 25 м.

На следующем этапе каждому пикселю присваиваются значения полученных плотностей, нормированные на сумму значений плотностей в каждом пикселе. Таким образом, каждый пиксель получает характеристику в виде процентного соотношения плотностей микроландшафтов. После этого выделяются типы сочетаний микроландшафтов. На полигоне «Касмалинский бор» наиболее распространенными однородными ландшафтами являются солончаковатые луга, менее распространены первичные песчаные степи, остальные микроландшафты (солонцеватые степи, вторичные песчаные степи, кустарники и болота) не занимают больших площадей. Вклад солончаковатых лугов в сложение безлесных территорий не превышает 60 %, а большинстве случаев составляет 30 %. Наиболее распространенным сочетанием является комбинация песчаных степей и солончаковатых лугов в соотношении от 30 до 70 %. Следующим по распространенности, но значительно менее распространенным является сочетание болот и кустарников в соотношении от 30 до 70 %. Солонцеватые степи не формируют крупных контуров и чаще всего встречаются в сочетании с песчаными степями и солончаковатыми лугами. Полученная схема гомогенных и гетерогенных мезоландшафтов насчитывает многие десятки статистически обоснованных сочетаний микроландшафтов,

которые могут объединяться в группы, подгруппы и надгруппы по генетическим деревьям родственных связей и показываться с разной степенью генерализации в зависимости от задач исследования.

Разработанная технология позволяет анализировать гетерогенные ландшафты со сложной пространственной организацией методами ГИС и ДЗ. Она базируется на использовании баз геоданных, включающих унифицированные по междисциплинарному стандарту геолого-геоморфологические, почвенные и ботанические характеристики наземных экосистем. Комплексная технология включает обработку космоснимков разного пространственного разрешения методами управляемых классификаций, а также плотностной анализ территориальных неоднородностей с использованием сеточных моделей (с использованием программных пакетов ENVI и ArcGIS). Выделение ландшафтов на основе обработки космоснимков и геоинформационного моделирования позволяет картографировать не только гомогенные, но и гетерогенные наземные экосистемы, а также вести мониторинг их динамики, поскольку изменения удельных площадей элементов гетерогенных ландшафтов и пограничных образований являются чувствительными индикаторами изменений глобальных и региональных экологических факторов.

Работа выполнена в рамках интеграционного проекта СО РАН № 11.3 «Разработка системы комплексной индикации процессов опустынивания и оценка современного состояния экосистем Сибири и Центральной Азии», а также при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований № 09-05-00732.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айриянц А.А. Борисенко А.С. Добрецов Н.Н. Зольников И.Д. Кривоногов С.К. Мистрюков А.А. Опыт создания баз данных и метаданных Алтайского экорегиона // Геоинформатика. – 2003. – № 4. – С. 13–19.
2. Добрецов Н.Н., Зольников И.Д., Королюк А.Ю., Мистрюков А.А., Смоленцев Б.А., Смоленцева Е.Н., Мартысевич У.В., Макунина Н.И., Мальцева Т.В. Разработка системы комплексного описания полигонов для интерпретации данных космической съемки // Сибирский экологический журнал. – 2005. – № 6. – С. 1031–1038.
4. Зольников И.Д., Смоленцева Е.Н., Королюк А.Ю., Лямина В.А., Мартысевич У.В., Добрецов Н.Н. Многопараметрические базы геоданных для картографирования и мониторинга наземных экосистем Чуйской долины Горного Алтая // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее. Мат. Международной конф. (22–26 сентября 2008 года г. Горно-Алтайск). – Горно-Алтайск, 2008. – С. 67–72.

© В.А. Лямина, З.И. Дольников, А.Ю. Королюк,
Н.Н. Добрецов, Б.А. Смоленцев, Н.В. Глушкова, 2009

УДК 528.7

В.В. Малахова, Е.Н. Голубева

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

РАСТВОРЕННЫЙ МЕТАН В ВОДАХ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА: ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

V.V. Malakhova, E.N. Golubeva

ICM and MG SB RAS, Novosibirsk

THE DISSOLVED METHANE TRANSPORT IN THE ARCTIC WATER: OBSERVED DATA AND RESULT OF MODELLING

As part of the global carbon cycle, enormous quantities of methane occur in marine sediments. The extensive Arctic shelves may play an important role in methane cycling because of their large area, shallow sea depth, and huge storage of organic matter buried in permafrost, which can be involved in modern biogeochemical cycles under warming.

Based on the literature observed data, an attempt was made to identify the main sources dissolved methane in the Arctic Ocean. One mechanism to release methane from the sediment to the ocean is through submarine mud volcanism, hydrocarbon seeps and vents. Other arctic sources of methane include methane gas hydrates: the shelf and continental slope reservoir is estimated to be roughly 6000 Gt. In third, the Siberian Rivers are a strong source of surface dissolved methane which comes from watersheds which are underlain with permafrost.

Accordingly, methane dissolved from the plume may transfer to surface waters and thus potentially be released to the atmosphere. The three-dimensional mathematical model of the dissolved gas transport by the ocean currents is used for the quantitative evaluation of the scale of a possible methane flux from the submarine sources. The ocean model is based on the World Ocean Circulation Model designed at the ICM and MG and has been adopted for the domain of North Atlantic and Arctic. The problem was solved numerically on a spatial grid with horizontal spacing $1 \times 1^\circ$ resolution in the North Atlantic and from 50 to 34 km in the polar region. Vertically, the grid has 33 levels with a higher resolution near the surface.

© *В.В. Малахова, Е.Н. Голубева, 2009*

УДК 528.854

О.С. Токарева, Ю.М. Полищук

ИХН СО РАН, Томск

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ В ЗОНЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

O.S. Tokareva, Yu.M. Polishchuk

Institute of Petroleum Chemistry SB RAS

Akademicheskyy ave., 4, Tomsk, 634021, Russian Federation

MONITORING OF DARK-CONIFEROUS FORESTS STATE IN AIR POLLUTION ZONE IN OIL DEPOSITS TERRITORY

The atmospheric pollution caused by gas burning in torches on the oil deposits is one the most essential factors of oil production impact on forest ecosystem. It is known, dark coniferous forest is the most sensitive to atmospheric air pollution. Soot blocks the stomas of conifer needles. As results of pollutant effect degree of defoliation is increases, lifetime of needles and forest productivity is reduced.

The comparative analysis of change of dark-coniferous forest state depending on a level of atmospheric pollution as result of gas burning in torches is lead. The pilot territory selected in the Tomsk region (Vasugan group of oil deposits). Air pollution zones are determined for different soot concentrations by modeling the pollutant dispersal in the atmosphere using geo-information modeling system. The background sites are selected outside of air pollution zones. For the analysis the values of vegetative index NDVI received on basis of processing of space images from the satellite Landsat (spatial resolution 30 m) occurring at different times of survey was used in this work.

Загрязнение атмосферы в результате факельного сжигания попутного газа на нефтяных месторождениях является одним из наиболее существенных факторов воздействия нефтедобывающего комплекса на лесные экосистемы Западной Сибири [1]. В результате сжигания попутного газа в атмосферный воздух выбрасываются в значительных объемах сажа, диоксид азота, углеводороды, оксид углерода и образуются обширные шлейфы с небольшой концентрацией загрязняющих веществ.

Современный этап мониторинга лесов предполагает в качестве обязательной компоненты использование космических снимков и ГИС-технологий. В настоящее время достаточно изучено влияние загрязнения атмосферы на леса в зонах воздействия крупных промышленных предприятий, например, цветной металлургии, где уровень загрязнения атмосферы настолько высок, что зачастую приводит к полной деградации древостоев на обширных

территориях. На космических снимках хорошо видны последствия такого воздействия [2]. Как правило, выявляются зоны деградации со значительными изменениями в структуре растительного покрова, когда все или часть деревьев отмирает.

Известно, что наиболее чувствительными к загрязнению атмосферного воздуха являются деревья темнохвойных пород, имеющие наиболее длительный цикл смены хвои (5–7 лет). За время этого цикла в хвое может адсорбироваться и накапливаться значительное количество вредных веществ (и в первую очередь, сажи), что может привести к изменениям физиологических процессов. В частности, загрязнение воздушной среды сажей приводит к нарушению дыхательных систем растений, так как сажа забивает дыхательные устья хвоинок. Загрязнение атмосферного воздуха влияет на продолжительность жизни хвои, степень дефолиации деревьев, прирост деревьев и ведет к снижению продуктивности фитоценоза. В работе биологов из Югорского государственного университета [3] приведены некоторые результаты наземных исследований состояния кедров и елей в районе Приобского месторождения – наиболее крупного нефтяного месторождения ХМАО, где ежегодно сжигается 2–3 млрд. м³ попутного газа. Авторами изучены масса хвои, степень дефолиации кроны и степень охвоенности побегов в зависимости от расстояния до факелов. Установлено, что по мере приближения к факелам состояние древостоев ухудшается.

Целью данной работы является сравнительный анализ изменения состояния лесного покрова на участках в непосредственной близости от факела для сжигания попутного газа и на фоновых участках, неподверженных загрязнению атмосферы, с использованием космических снимков.

Для проведения исследований выбран тестовый участок, относящийся к территории нефтедобычи в Томской области. Участок расположен в зоне влияния Васюганской группы месторождений и находится в подзоне южной тайги, основным зональным типом которой являются темнохвойные (кедр, ель, пихта) и мелколиственные леса, отличающиеся хорошо развитым древостоем. Добыча нефти здесь ведется с 1978 года. Васюганская группа месторождений расположена достаточно изолированно, поэтому влияние других предприятий нефтедобывающего комплекса можно не учитывать. Для данной территории имеются лесотаксационные планы, данные из экологических паспортов месторождений о выбросах в атмосферный воздух, разновременные космические снимки Landsat (пространственное разрешение 30 м).

Космические снимки являются полноценным источником данных для построения ландшафтных карт и позволяют более эффективно решать задачи оценки состояния растительного покрова на обширных по площади территориях Западной Сибири, являющихся труднодоступными для крупномасштабных наземных исследований из-за высокой заболоченности. На основе обработки космических снимков Landsat с привлечением данных по лесоустройству определена структура растительного покрова территории и выбраны участки темнохвойного леса в зонах с уровнями загрязнения атмосферы сажей более 1 ПДК, от 1 до 0,5 ПДК, от 0,1 до 0,5 ПДК. Схема

расположения исследуемых участков относительно факелов месторождений Васюганской группы приведена на рис. 1. На рисунке показаны границы зон загрязнения атмосферы сажей с различными уровнями загрязнения и темных хвойных выделов, попадающие в указанные зоны. За пределами зон загрязнения атмосферы отмечены участки темного хвойного леса, расположенные на юге ХМАО на территории Юганско-Ларьеганской ландшафтной провинции и на юго-западе Томской области и используемые в качестве фоновых. Выбор фоновых участков обусловлен отсутствием непосредственного техногенного воздействия, сходными с тестовым участком климатическими и ландшафтными характеристиками. Фоновые участки покрываются теми же космическими снимками, что и тестовый участок. Это позволяет провести более корректный сравнительный анализ состояния растительного покрова, так как съемка проводилась в одинаковых условиях.

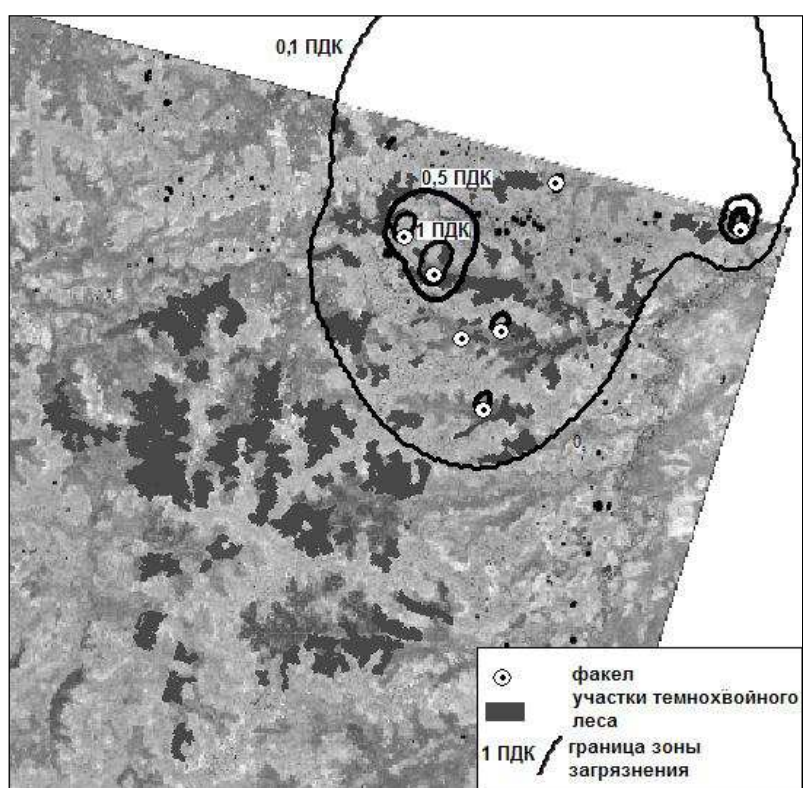


Рис. 1. Схема расположения изучаемых участков относительно факелов Васюганской группы месторождений, наложенная на космический снимок

Изменение состояния темных хвойных лесов оценивалось на основе расчетов известного вегетационного индекса NDVI (показатель количества фотосинтетически активной биомассы) [4], который широко применяется для определения динамики растительного покрова.

Реакции деревьев темных хвойных пород на атмосферное загрязнение невысокой концентрации отложены во времени, поэтому для исследований использованы разновременные космические снимки территории с промежутком съемки в несколько лет. Изменения в состоянии лесного покрова с течением времени происходят также в результате естественного развития деревьев,

воздействия погодных факторов и т. д. Предполагается, что в одинаковых условиях произрастания состояние деревьев под влиянием природных факторов изменяется одинаково. Из рассмотрения были исключены участки леса, имеющиеся на более раннем снимке и уничтоженные в результате пожаров и развития инфраструктуры на месторождениях, а также закрытые облачностью на одном из снимков.

Произведён сравнительный анализ изменения состояния темнохвойной части лесного массива на территории Васюганской группы нефтяных месторождений в зависимости от уровня загрязнения атмосферы сажей. Для анализа использованы значения относительного вегетационного индекса NDVI, полученные по данным космической съёмки этой территории со спутника Landsat от 25.08.1987 г. и 19.09.1999 г.

Для каждого выбранного выдела рассчитывается среднее значение NDVI по космическим снимкам с разными датами съёмки, затем для каждого выдела рассчитывается величина относительного изменения:

$$\delta = \frac{(NDVI_{2cp} - NDVI_{1cp})}{NDVI_{1cp}},$$

где $NDVI_{1cp}$, $NDVI_{2cp}$ – средние значения NDVI для каждого выбранного выдела, рассчитанные по первому и второму снимку соответственно.

Сравнение полученных величин позволяет установить наличие изменений в состоянии лесов в результате техногенного воздействия. На рис. 2 приведены средние показатели δ , рассчитанные для выделов, находящихся на тестовом участке в зонах загрязнения атмосферы сажей с различным уровнем загрязнения и для выделов фоновых участков, не подверженных загрязнению атмосферы. В рассматриваемый период времени происходит уменьшение значений NDVI, связанное с изменением вегетационного периода (август – середина сентября). Как видно из рис. 2, по мере повышения уровня загрязнения атмосферного воздуха сажей значение NDVI уменьшается с течением времени в несколько большей степени, что может говорить о влиянии загрязнения атмосферы на состояние деревьев, приводящем к более интенсивному опадению хвои.

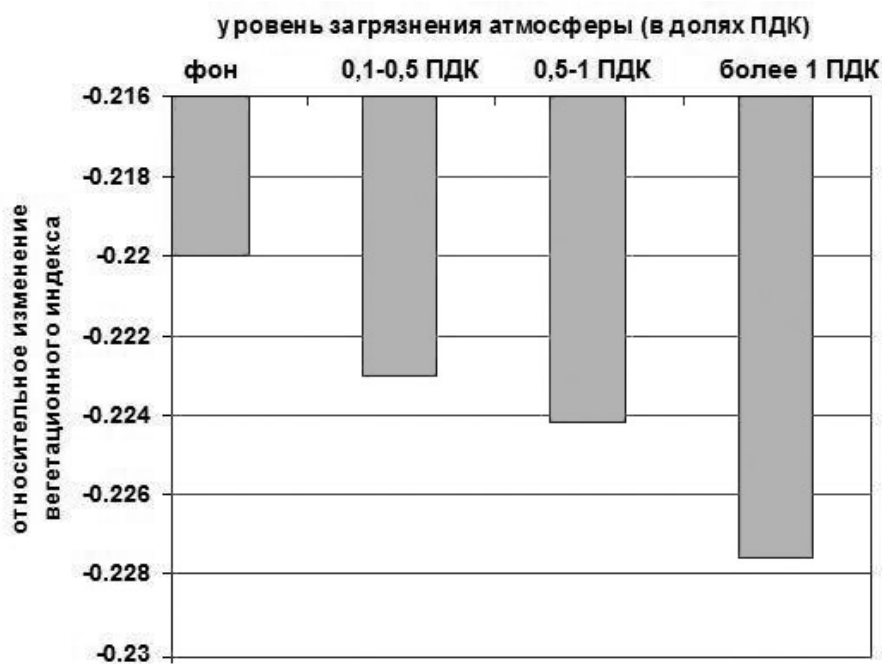


Рис. 2. Зависимость относительного изменения индекса вегетации от уровня загрязнения атмосферы

Несмотря на выявленную в данном случае тенденцию, можно также предположить, что на данной территории сложился фитоценоз, устойчивый к уровню загрязнения атмосферы, характерному для Васюганской группы месторождений, так как различия в изменении состояния лесного покрова являются статистически незначимыми.

В дальнейшем представляет интерес произвести подобный сравнительный анализ по космическим снимкам более высокого разрешения, что позволит полностью исключить влияние на полученные результаты возможных примесей мелколиственных деревьев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полищук Ю.М., Токарева О.С. Геоинформационная технология оценки воздействия загрязнения атмосферы на лесоболотные комплексы в нефтедобывающих регионах Западной Сибири. – В кн.: Аэрозоли Сибири. Под ред. К.П. Куценого. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. – С. 471–488.
2. Цветков В.Ф., Цветков И.В. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения. – Архангельск, 2003. – 354 с.
3. Касаткин А.М., Кокорина Н.В., Полищук Ю.М. Исследование биоиндикационных свойств темнохвойных пород // Эколого-географические проблемы природопользования нефтегазовых регионов: Теория, методы, практика: Доклады III Международной научно-практической конференции, Нижневартовск, 25–27 октября 2006 г. – Нижневартовск: Нижнеарт. гос. гуманит. ун-т, 2006. – 311 с.

4. Барталев С.С. Оценка индикаторов состояния лесов Московской области по данным спутникового наблюдения // Исследовано в России. – Электронный журнал. – [<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/100.pdf>].

© О.С. Токарева, Ю.М. Полищук, 2009

УДК 551.5

А.А. Фоменко

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ЧИСЛЕННЫЙ ПРОГНОЗ ПОГОДЫ ДЛЯ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

A.A. Fomenko

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics (Computing Center),

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

6, ave. Ac. Lavrentjeva,

Novosibirsk, 630090, Russia

NUMERICAL WEATHER PREDICTION FOR THE SIBERIAN REGION

In paper the results of practical application of scientific development spent in ICM&MG of SB RAS in the field of mathematical modeling of hydrothermodynamics of an atmosphere are presented. The problem in question is a creation of technology of numerical short-term weather prediction for the Siberian region. The description of mathematical model set in a basis of technology and some results of the forecasts are given.

Введение

Использование региональных численных моделей динамики атмосферы обусловлено двумя факторами. Первое – это невозможность (техническая) использования глобальных моделей высокого пространственного разрешения для воспроизведения метеорологических характеристик синоптического и мезо-масштабов. Вторая причина, вообще говоря, тесно связанная с первой, – недостаточно детальное описание физических процессов регионального масштаба глобальными моделями. Идеальное решение проблемы – это все же использование глобальных моделей высокого пространственного разрешения. К сожалению даже на настоящий момент эта задача технически невыполнима. Все это побуждает для воспроизведения региональных атмосферных характеристик (синоптический и мезо-масштаб) использовать региональные модели, как правило, конечно-разностные либо конечно-элементные. Ниже будет представлено описание такой модели в свое время активно эксплуатировавшейся в ЗапСибУГМС Росгидромета и положенной в основу технологии численного прогноза погоды заблаговременностью 2–3 суток [1].

Описание модели

Основу технологии численного прогноза погоды (ЧПП) составляет базовая региональная модель, реализующая в конечно-разностном виде систему уравнений гидротермодинамики, описывающую атмосферные процессы в σ –

системе координат (в качестве вертикальной координаты используется атмосферное давление, нормированное на его значение у поверхности Земли). Система базируется на основополагающих законах, к числу которых следует отнести следующие:

- Второй закон Ньютона, выписанный во вращающейся системе координат, поскольку наша планета находится в постоянном вращении. Математическая запись этого закона представляет собой проекцию ускорения на три направления соответствующих координатных осей (уравнения движения);

- Закон сохранения массы применительно к движениям жидкости или газа, математически записывающийся в форме уравнения неразрывности;

- Закон первого начала термодинамики или закон сохранения энергии применительно к тепловой энергии, представляемый в виде уравнения притока тепла;

- Уравнение состояния, выражающее собой однозначную связь между давлением, плотностью воздуха и температурой и выражающее тот факт, что воздух в атмосфере можно считать идеальным газом;

- Закон сохранения удельной влажности, обеспечивающий общий баланс влаги в атмосфере.

Исходная система уравнений обладает рядом интегральных инвариантов, учет которых необходим при конструировании конечно-разностных схем. Сохранение в конечно-разностном виде разностных аналогов этих интегральных характеристик позволяет проводить долгопериодное интегрирование. В статистическом смысле это должно обеспечить близость динамики атмосферы, воспроизводимой дискретной моделью, динамике непрерывной атмосферы.

Для целей краткосрочного прогноза погоды требование близости интегральных свойств дискретной и непрерывной моделей не так существенно. В данном случае больший интерес представляет локальная точность решения в пространстве и во времени. Однако представляется, что выполнение дополнительных требований, обеспечивающих реалистичное энергетическое взаимодействие между волнами различных пространственных масштабов, может сыграть свою положительную роль. Здесь следует заметить, что разработанная региональная модель атмосферы используется также и для проведения климатических исследований, где выполнение интегральных законов сохранения просто необходимо [2].

Интегральные инварианты, о которых идет речь, имеют фундаментальное значение и формулируются в виде следующих законов (кроме законов, перечисленных выше):

- Закон сохранения полной энергии (при отсутствии диссипации и притоков тепла);

- Закон сохранения углового момента (абсолютного момента количества движения), при зональном переносе;

– Асимптотический закон сохранения потенциальной энтропии (в приближении уравнений мелкой воды). Одновременное выполнение этого закона и закона сохранения энергии приводит к асимптотическому закону сохранения среднего волнового числа. Это в свою очередь в конечно-разностном виде должно обеспечивать реалистичное энергетическое взаимодействие между волнами различных пространственных масштабов.

Численная модель атмосферы строится исходя из требования выполнения конечно-разностных аналогов вышеперечисленных интегральных характеристик.

Физические процессы, связанные с турбулентным обменом, конвективными движениями, радиационными притоками тепла, конденсацией водяного пара играют весьма важную роль при описании динамики атмосферы. Однако, они не могут быть в большинстве своем описаны явно, ввиду того, что они имеют малые пространственные масштабы (т. е. масштабы этих процессов не могут быть явно разрешены в рамках крупномасштабных моделей). Поэтому учет этих факторов производится параметрически [3].

В модели предусмотрено несколько способов учета горизонтальной диффузии: это – линейная и нелинейная схемы второго и четвертого порядков. Вычисление приземных потоков основано на теории подобия Монина-Обухова, где профили ветра и температуры зависят от внешних параметров и от приземных потоков момента и тепла. Потоки в пограничном слое вычисляются на основе теории длины смешения, при этом коэффициенты диффузии зависят от стратификации.

Основа метода параметризации конвективной облачности, реализованного в данной модели, принадлежит Куо. В схеме параметризации неконвективной облачности процесс конденсации происходит тогда, когда удельная влажность достигает состояния насыщения, но при этом избыточная влага не выпадает в виде осадков пока не достигнуто одно из условий: достаточно холодная вершина облака, либо достаточно мощное облако.

Температура моря считается заданной на всем периоде интегрирования. Это предположение делается как для открытой воды, так и для водной поверхности, покрытой льдом.

На суше выделяется тонкий слой почвы определенной теплоемкости, который обменивается теплом и влагой с атмосферой и глубокой почвой (деятельный слой почвы). Для расчета температуры почвы используется нестационарное уравнение теплового баланса для верхнего слоя почвы.

Таяние снега рассматривается всякий раз, когда снег присутствует, и температура суши превышает температуру таяния льда. В этом случае температура суши принимается равной температуре таяния льда, а поступающая энергия затрачивается на таяние снега.

Влажность над морем равна значению насыщения при данной температуре. Влажность почвы и снежный покров прогнозируются с учетом осадков, испарения, талой воды, стока и диффузии влаги в почву.

Радиационная схема, используемая в модели рассматривает аэрозольно-облачные эффекты поглощения и эффекты рассеяния аэрозолями, облаками и газами H_2O , CO_2 , O_3 .

Таким образом, в описанной модели в качестве прогностических переменных выступают горизонтальные составляющие скорости, температура, относительная влажность и приземное атмосферное давление. По вертикали на верхней границе атмосферы ставится естественное краевое условие свободной поверхности. На поверхности земли ставится кинематическое условие обтекания. Значения на боковых границах области считаются известными и получаются из данных прогноза по глобальной модели атмосферы.

Реализация модели

Схема прогноза реализована с пространственным разрешением $1.25^\circ \times 1.66^\circ$ градусов вдоль долгот и кругов широты. Область интегрирования ограничена 40°E - 145°E и 40°N - 80°N , что покрывает территорию Урала, Западной и Восточной Сибири. Шаг интегрирования по времени составляет 5 минут при заблаговременности прогноза на 2 суток. Расчет прогнозов проводится 2 раза в сутки за сроки 0 час и 12 час СГВ. В настоящее время на заключительной стадии разработки находится модель с высоким пространственным разрешением (~ 30 км по горизонтали), реализация которой предполагается на многопроцессорном вычислительном комплексе ЗапСибРВЦ.

В качестве начальных и граничных условий (подкачиваемых с интервалами в 6 часов) в настоящее время используются результаты прогнозов по глобальной модели центра Экзетер (Брекнел), поступающие в ЗапСибРВЦ в коде «GRIB» на сетке $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ по пространству за сроки 0 час и 12 час СГВ. Расчеты по региональной схеме прогноза проводятся в квазиоперативном режиме.

В технологию ЧПП входят также модули подготовки (выборки) исходной информации для прогноза и автоматизированная система сопровождения, позволяющая проводить контроль полноты и качества поступающей из глобальной модели прогноза информации, проводить архивацию и оценки результатов прогнозов, формальные (статистические) и сравнительные (по фактическим данным) по зоне ответственности ЗапСибУГМС.

В качестве примера на рисунке приведены коэффициенты корреляций тенденций приземного давления и геопотенциала поверхности 500 гПа на момент внедрения технологии прогноза в оперативную практику.

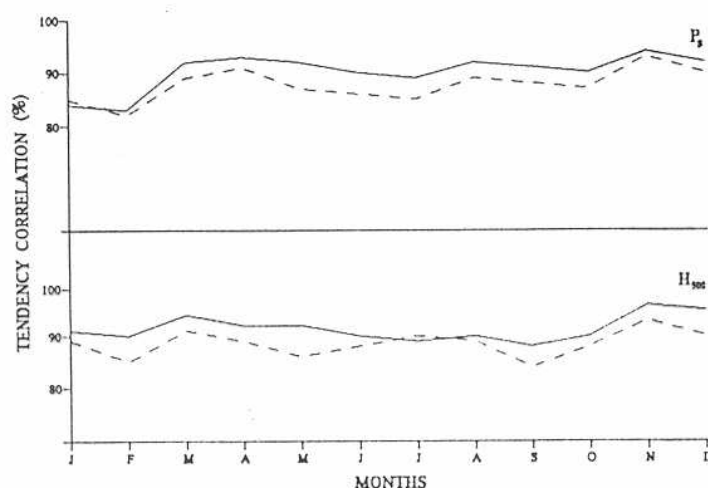


Рис. 1. Коэффициент корреляции тенденций приземного давления (верхняя часть рисунка) и высоты поверхности 500гПа (нижняя часть) для прогнозов на 24 часа (сплошная линия) и 48 часов (пунктирная линия) в 1992 году

Дальнейшая эксплуатация модели естественным образом продемонстрировала тот факт, что количество и качество данных самым непосредственным образом сказывается на качестве прогноза метеовеличин. Серьезный провал в 90-х годах, наконец, сменился улучшением ситуации. Сейчас удалось выйти на прежнее качество. В настоящее время проводятся работы по совершенствованию модели за счет увеличения пространственного разрешения и улучшения параметризаций процессов подсеточных масштабов.

Закключение

К сожалению, необходимо констатировать, что за последние десятилетия на территории бывшего СССР количество гидрометеорологической информации резко сократилось. Недостаточность финансирования привела к закрытию большого числа гидрометеорологических станций и постов наблюдений и, прежде всего в слабоосвещенных районах, где она наиболее необходима. Это естественным образом отразилось на качестве прогнозов метеозлементов. Недостаток информации, получаемой от наземных станций, можно было бы компенсировать за счет использования альтернативных источников (самолеты, спутники и т. д.), однако в нашей стране это по-прежнему остается до конца не решенной проблемой, имеющей как экономическое и техническое, так и научное объяснение. Остается сожалеть, что в данной области Россия существенно отстает от наиболее развитых стран. Лишь в последнее время появилась надежда на исправление ситуации, что позволяет надеяться на достижение соответствующих результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупчатников В.Н., Маев В.К., Фоменко А.А. Модель атмосферы на ограниченной территории с высоким разрешением // Известия АН СССР – 1992, ФАО. – Т. 28. – № 1. – С. 33–45.

2. Кузин В.И., Крупчатников В.Н., Крылова А.И. Математическое моделирование климата Сибири // Вычислительные технологии. – 2006. – Т. 11. – С. 57–66.

3. Крупчатников В.Н., Фоменко А.А. и др. Система прогноза и четырехмерного анализа данных. Конечно-разностная модель. Т. 1. – Деп. в ИЦ ВНИИГМИ – МЦД, 1988, № 742-ГМ88. – 94 с.

© А.А.Фоменко, 2009

УДК 631.4

Н.В. Гопп, В.В. Смирнов

ИПА СО РАН, ИВТ СО РАН, Новосибирск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА (NDVI) ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ ТУНДРОВЫХ СООБЩЕСТВ РАСТЕНИЙ

N.V. Gopp, V.V. Smirnov

Institute of Soil Science and Agrochemistry (ISSA SB RAS), 18 Sovietskaya St.,
Novosibirsk, 630099, Russian Federation

Institute of Computational Technologies (ICT SB RAS), 6 Akad. Lavrentjev avenue,
630090, Russian Federation

USE OF THE VEGETATION INDEX (NDVI) FOR ESTIMATION THE ABOVE-GROUND BIOMASS IN TUNDRA PLANT COMMUNITIES

An application of the multi-spectral imagery for estimation of the above-ground biomass in tundra vegetation communities is discussed in this paper.

Одной из важных задач дистанционного зондирования земли является исследование параметров растительного покрова. Запасы надземной фитомассы растительности являются одним из важных параметров растительности, который может определяться по многозональным космическим снимкам. Для решения этой задачи находятся взаимосвязи между данными дистанционных наблюдений и параметрами растительного покрова, полученными в полевых условиях. Анализ литературы показывает, что значения вегетационного индекса, определяемые как отношение яркостей в двух диапазонах снимка (красный и инфракрасный), коррелируют с количеством биомассы растительности [1, 2, 3].

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности – количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы. В красной области спектра (0,6–0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7–1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть, высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью), ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной.

Объекты и методы исследования

Исследовались запасы надземной фитомассы следующих растительных сообществ: осоково-разнотравно-злаковая травянистая тундра, кустарниково-

шикшевая ерниковая тундра, кустарниковая ерниковая тундра, разнотравно-моховая кустарниковая тундра, разнотравно-злаковая кобрезиевая тундра.

Ключевой участок ограничен координатами $89^{\circ}40'18,07''$ – $89^{\circ}43'41,50''$ в.д., $50^{\circ}28'32,32''$ – $50^{\circ}26'23,03''$ с.ш.

По физико-географическому районированию территория исследования относится к Юго-Восточной Алтайской провинции, Джулукульский район [4].

Определение запасов надземной фитомассы проводилось на площадках $0,25 \text{ м}^2$ ($50 \times 50 \text{ см}$) методом укосов, в четырехкратной повторности [5, 6]. Запасы надземной фитомассы измерялись в ц/га воздушно сухого вещества. При этом сроки определения запасов надземной фитомассы в полевых условиях были скоординированы с днем проведения космической съемки, таким образом, было соблюдено условие, заключающееся в единовременном получении информации о состоянии объекта на земле, и из космоса. Составление карты запасов надземной фитомассы и экстраполяция данных проводилась с помощью расчета по многозональному снимку нормализованного дифференциального вегетационного индекса растительности (NDVI). Расчет NDVI проводился в специализированной программе «GRASS» посредством определения соотношения отражения растительными сообществами в каналах снимка соответствующих ближнему инфракрасному и красному диапазону спектра.

Расчет NDVI и составление цифровой карты растительности проводился по многозональному снимку SPOT 4 (разрешение 20 м).

Результаты и обсуждение

На основе многозонального снимка SPOT 4 для каждого растительного сообщества составлены гистограммы пространственных флуктуаций значений NDVI (рис. 1), которые показывают, что все растительные сообщества имеют перекрывающиеся значения NDVI. Это означает, что найти общий коэффициент для перевода значений NDVI в значения запасов надземной фитомассы не представляется возможным, так как в данном случае отсутствует корреляция между NDVI и запасами надземной фитомассы.

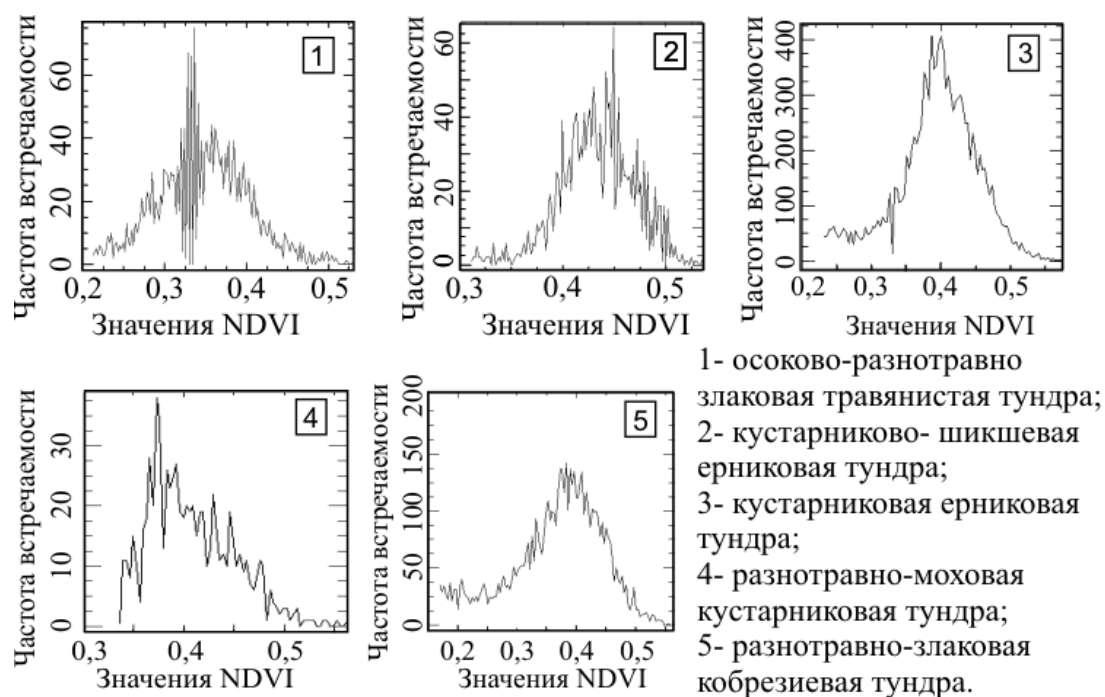


Рис. 1. Пространственные флуктуации значений NDVI

Пространственные флуктуации значений NDVI характеризуют неоднородность запасов надземной фитомассы растительных сообществ, связанную с неодинаковыми условиями увлажнения и физико-химическими свойствами почв (содержание органического углерода, реакция почвенного раствора, насыщенность основаниями, влажность).

В результате проведенных исследований было установлено, что расчет запасов надземной фитомассы возможен только путем подсчета коэффициентов корреляции внутри каждого ареала растительных сообществ, без учета значений запасов надземной фитомассы и NDVI других растительных сообществ, о чем свидетельствуют данные, приведенные на (рис. 2).

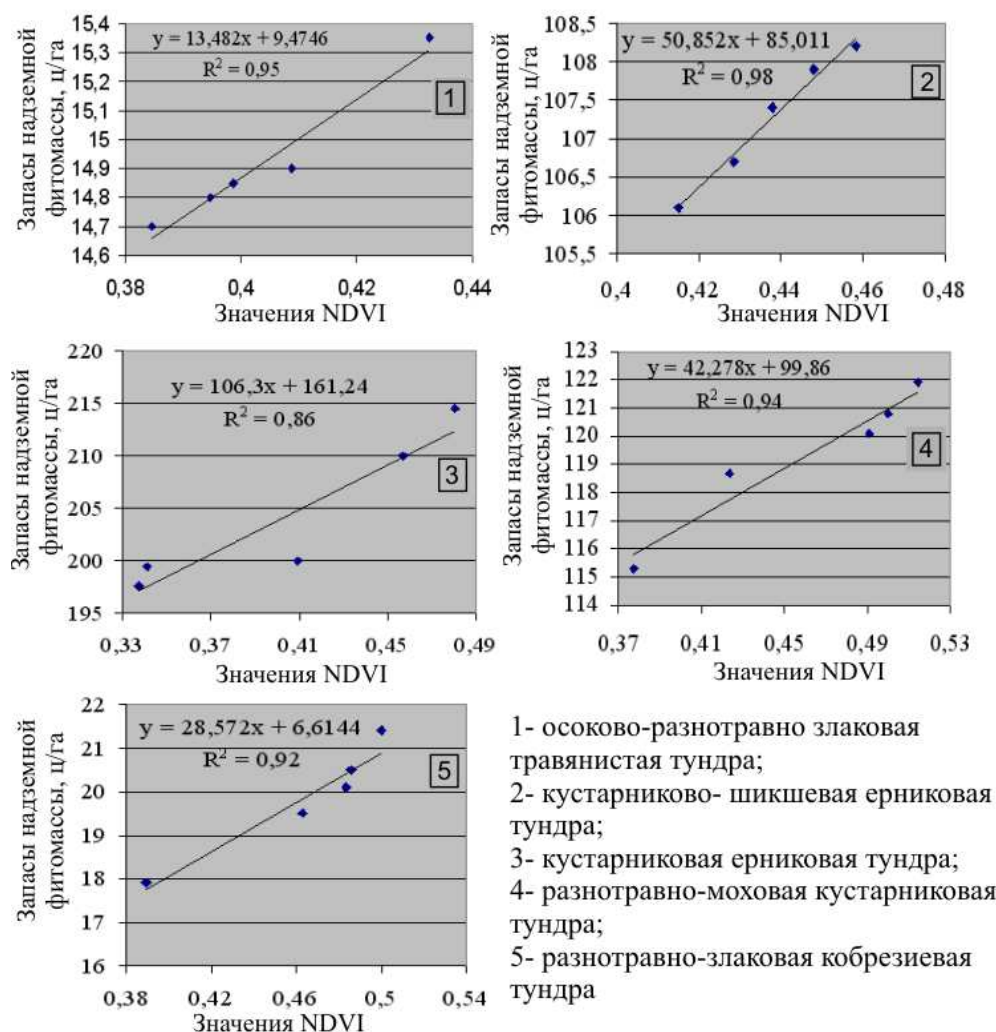


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между значениями запасов надземной фитомассы для различных растительных сообществ и вычисленными значениями NDVI по снимку SPOT 4

Распределение величин NDVI и запасов надземной фитомассы определенных в полевых экспериментах внутри каждого ареала имеют практически линейную зависимость. Коэффициенты корреляции между эмпирически измеренными значениями запасов надземной фитомассы и вычисленными значениями NDVI по снимку SPOT 4 лежат в диапазоне от 0,86 до 0,95, что является основой для составления уравнений регрессии (рис. 2).

На (рис. 3) приведена картосхема запасов надземной фитомассы, полученная путем перевода значений NDVI в запасы надземной фитомассы с использованием полученных уравнений регрессий и алгоритма «дерево-решений» (рис. 4).

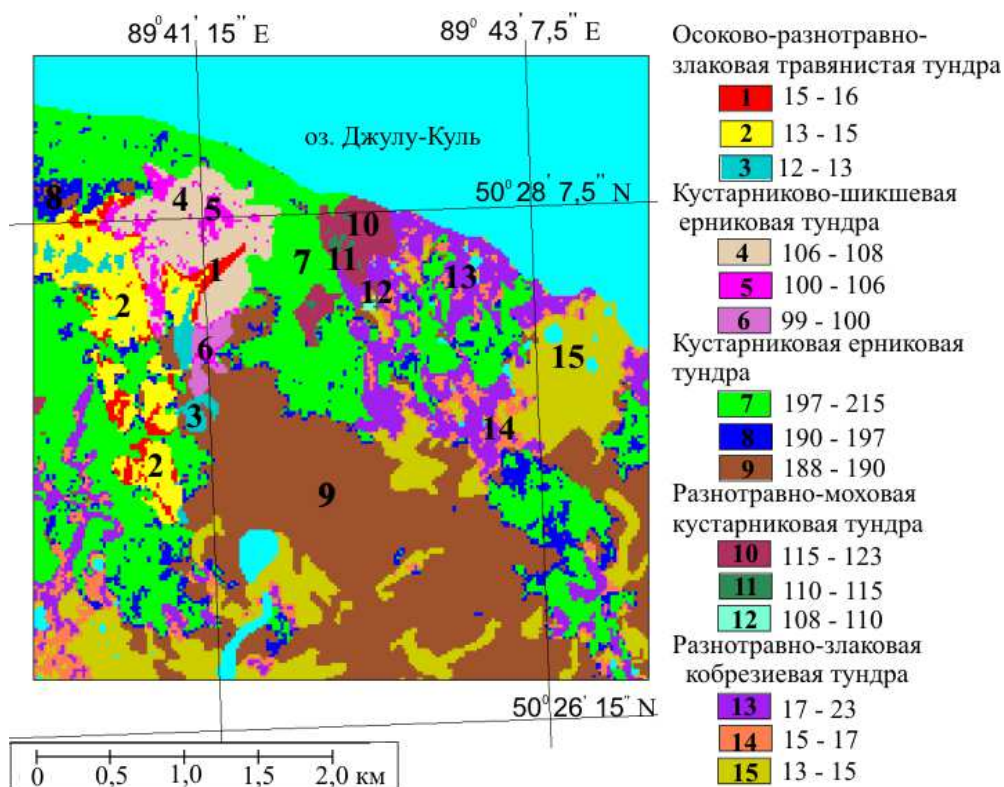


Рис. 3. Результаты классификации алгоритмом «дерево-решений» (запасы надземной фитомассы, ц/га)

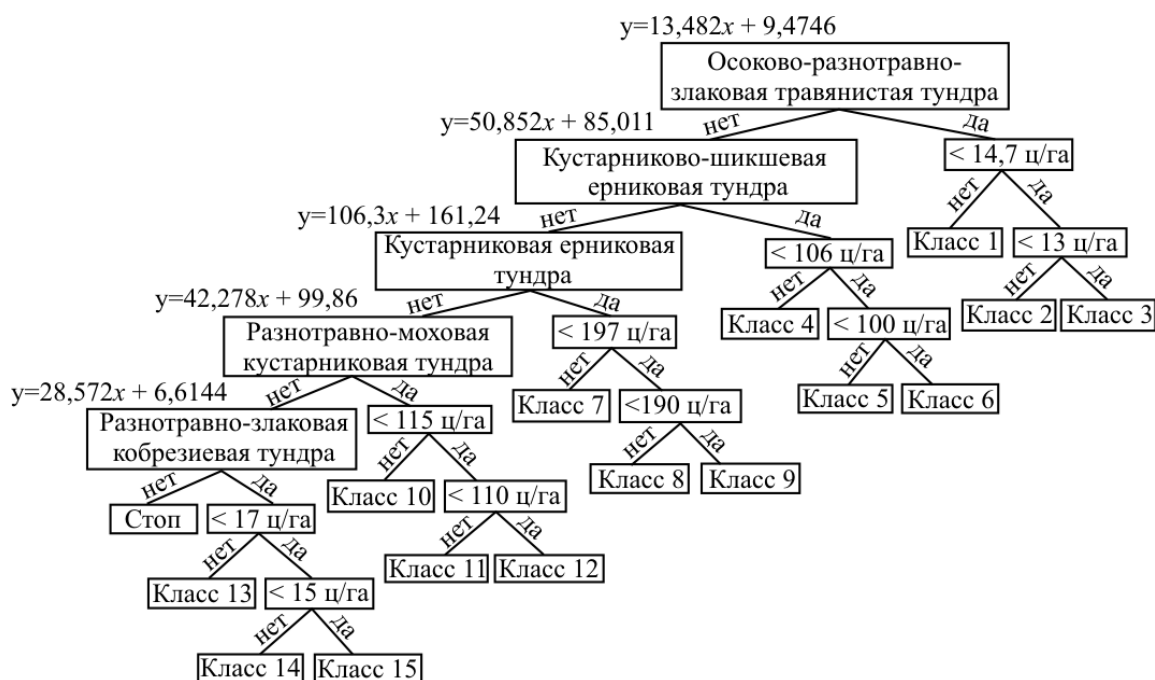


Рис. 4. Схема алгоритма «дерево-решений»

Заключение

Установлено, что использование алгоритмов (NDVI, «дерево-решений») при классификации многозонального снимка SPOT 4 позволяет оценить

пространственную неоднородность распределения запасов надземной фитомассы тундровых сообществ растений.

Проведена экстраполяция запасов надземной фитомассы по значениям NDVI на всю территорию исследования, что позволило сократить объемы полевых работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
2. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
3. Myneni R.B., Doug J., Tucker C.J., Kaufmann R.K., Kauppi P.E., Liski J., Zhou L., Alexeyev V., Hughes M.K. A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests //PNAS, 2001, 98(26): 14784–14789.
4. Атлас. Алтайский край. Москва-Барнаул: Главное управление геодезии и картографии при совете Министров СССР, 1978. – 222 с.
5. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. – Л.: Наука, 1968. – 143 с.
6. Титлянова А.А. Изучение биологического круговорота в биогеоценозах (Методическое руководство). – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1971. – 91 с.

© Н.В. Гонн, В.В. Смирнов, 2009

УДК 550.3:537.811

Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ В ЯДРЕ ЗЕМЛИ ПО ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЯМ

Y.P. Malyshkov, S.Y. Malyshkov

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of
the Russian Academy of Science,
Tomsk, Russia

MONITORING OF PROCESSES IN EARTH CORE BY PULSE ELECTROMAGNETIC FIELDS

Occurrence of daily and annual rhythms of a natural pulse electromagnetic field of the Earth (NPEMFE) and seismicity are explained by pressure of an internal solid core upon the lower mantle as a result of eccentric rotation of the Earth's core and shell with different angular velocities. Displacement of the Earth's core relative the geometrical centre of a planet should lead to occurrence of zones of high and low pressure in the melt of a liquid core. Pressure differences will be transferred into the lower mantle, and spread in the form of stress waves reaching surfaces of the Earth. Due to the daily rotation of the Earth points on an earth crust surface will start to move relative zones of disturbances created by the displaced core. There will be daily rhythms of movement of earth crust. The annual movement of a core will cause occurrence of annual rhythms. Accordingly, there will be daily and annual rhythms of many geophysical fields and seismicity of the Earth. On the basis of such hypothesis by parameters of long-term observations for NPEMFE the route of annual movement of the Earth's core is identified. It is shown, that the inner core never occurs in the geometrical centre of a planet. It makes pulsing movement near to the planet centre on some closed orbit. The plane of the core orbit is perpendicular to the plane of the equator and makes 45° to the direction of the Sun and to the direction of orbital movement of the Earth round the Sun. The average angular velocity of rotation of the core at 1.1 degrees per year exceeds the angular velocity of rotation of the Earth. The obtained results by the movement of the core are compared with the known facts of the Earth's rotation instabilities. It is shown, that these facts do not contradict each other.

Суточные вариации ЕИЭМПЗ в диапазоне ОНЧ традиционно связывают с двумя факторами: улучшенными условиями распространения атмосфериков в ночное время суток, и с послеполуденным повышением грозовой активности летом в наиболее жаркое время суток. В диапазоне СНЧ волн СНЧ-вспышки и СНЧ-всплески также считают порождением грозовых разрядов. К основным

аргументам в пользу таких представлений относят наличие суточного хода. В качестве модели явления используют модель постоянного по амплитуде мирового грозового центра, расположенного на экваторе в точке, соответствующей 17–18 ч местного времени. В течение суток этот центр, следуя за Солнцем, обегает землю по экватору. Такие представления об электромагнитных шумах мало изменились до настоящего времени. Однако тщательный анализ временных вариаций ЕИЭМПЗ указывает, что существующие представления не соответствуют экспериментально наблюдаемым фактам.

Послеполуденный максимум, который связывают с местными грозами, начинает устойчиво проявляться в Прибайкалье, а по нашим данным и в других регионах Сибири (Томская область, Алтай, Саяны и др.), уже во второй декаде марта. В то же время, первые грозы в этих регионах регистрируются обычно не ранее середины мая, то есть только спустя два месяца после появления послеполуденного максимума. Даже в мае гроза в Сибири достаточно большая редкость, а для марта это практически невероятное событие.

Это же можно сказать и о моменте исчезновения послеполуденного максимума. Грозовой период в Сибири заканчивается в конце августа, а послеполуденный максимум сохраняется, по крайней мере, до первой декады октября. Работает единый механизм, управляющий процессами генерации ЕИЭМПЗ в любое время суток и в любое время года. И зимой и летом мы видим не только точное (с точностью до минут) совпадение времени проявления основных максимумов и минимумов интенсивности ЕИЭМПЗ. Совпадают даже незначительные нюансы в поведении кривых.

Одной из причин возникновения высокостабильных ритмов многих геофизических процессов могут являться процессы суточного и годового вращения Земли. В частности в работах [Коровяков и Никитин, 1998; Авсюк и др., 2001; Сидоренков, 2002] обсуждается возможность гравитационного смещения ядра Земли относительно геометрического центра планеты. Смещение должно приводить к появлению давления со стороны ядра на оболочку Земли. За счет суточного вращения Земли точки на поверхности земной коры начнут перемещаться относительно зоны возмущения, созданной смещенным ядром. Появятся суточные ритмы движения земной коры. Такой механизм возникновения суточных и годовых вариаций ЕИЭМПЗ и сейсмичности достаточно подробно мы проанализировали в работе [Малышков, Малышков, 2009]. Анализ позволил сделать следующие выводы:

- Выявленные нами периодичности в вариациях ЕИЭМПЗ и сейсмичности Прибайкалья имеют неприливное, и, возможно, негравитационное происхождение.

- Существует ранее не обнаруженный глубинный механизм формирования внутрисуточных и годовых вариаций геофизических процессов, управляющий вариациями ЕИЭМПЗ и провоцирующий землетрясения.

- Наиболее вероятно, что выявленные ритмы вариаций электромагнитных полей и сейсмичности каким-то образом связаны с суточным и годовым вращением Земли.

– Для возникновения именно таких ритмов, которые мы обнаружили в электромагнитных полях и в землетрясениях необходимо, как минимум, наличие двух условий:

- 1) Суточное и годовое вращение Земли;
- 2) Наличие какого-то одностороннего воздействия на Земли либо извне, либо изнутри.

Очевидно, что каждое из этих условий в отдельности не может привести к ритмичности процессов. Обнаруженные ритмы могут возникнуть только при совместном действии обоих процессов.

Не найдя причин для обнаруженных нами ритмов вне Земли, попытаемся отыскать их внутри самой Земли. Обратимся к обсуждаемой в науке мысли о возможности смещения твердого внутреннего ядра Земли либо за счет воздействия гравитационных полей Солнца, Космоса, Луны либо, как нам представляется более вероятным, за счет каких-то других не гравитационных механизмов. В результате эксцентричного, суточного вращения оболочки Земли вокруг смещенного ядра возникнет давление со стороны ядра и окружающего его расплава на мантию, выдавливающее оболочку изнутри.

В других областях планеты, наоборот, возникнут силы сжимающие оболочку, втягивающие ее внутрь к ядру. Следует пояснить, что воздействие на мантию и оболочку Земли будет создаваться не только в процессе самого акта смещения ядра, но и за счет эффекта «перекачки» вещества жидкого ядра при эксцентричном вращении ядра относительно нижней мантии. При медленном смещении и последующей остановке ядра возникшие напряжения должны быстро релаксировать за счет перетекания расплава жидкого ядра, имеющего низкую вязкость. В предлагаемом же нами механизме поведение системы со смещенным и вращающимся ядром напоминает работу роторного насоса. Эксцентрично вращающееся относительно мантии твердое ядро-ротор будет перекачивать вещество жидкого расплава. Поэтому при различиях в угловых скоростях вращения ядра и нижней мантии перекачка расплава приведет к появлению зон повышенного давления и зон разряжения. Эти зоны с перепадом давления уже не могут релаксировать, и будут поддерживаться до тех пор, пока существует разница в угловых скоростях вращения и смещение ядра.

На основании такой гипотезы по параметрам многолетних наблюдений за ЕИЭМПЗ выявлена трасса годового движения ядра внутри Земли. Показано, что внутреннее ядро никогда не бывает в геометрическом центре планеты. Оно совершает пульсирующее движение вблизи центра планеты по некоторой замкнутой орбите. Плоскость орбиты ядра перпендикулярна к плоскости экватора и составляет 45° к направлению на Солнце и к направлению орбитального движения Земли вокруг Солнца. Средняя угловая скорость вращения ядра на $1,1$ градуса в год превышает угловую скорость вращения Земли. Полученные результаты по движению ядра сопоставлены с известными фактами нестабильностей вращения Земли. Показано, что эти факты не противоречат друг другу.

Если наша интерпретация верна, то следует вывод о чрезвычайно важной роли ядра в движении Земли. Ядро то ускоряет движение Земли по орбите вокруг Солнца, то тормозит такое движение. Оно удерживает равновесные расстояния от Солнца, перемещаясь относительно геометрического центра то в сторону Солнца, то в противоположном направлении. Взаимодействуя с нижней мантией, ядро периодически раскручивает Землю, поддерживая скорость суточного вращения. Возможно именно ядро, смещаясь, то в Северное, то в Южное полушарие, удерживает постоянным наклон оси вращения Земли $23^{\circ}27'$.

Совершенно не очевидна гравитационная причина смещения ядра, на базе которой делаются все теоретические оценки. Во-первых, во всех полученных нами спектрах ЕИЭМПЗ и сейсмической активности нет влияния Луны. Что это? Инерционность ядра, не реагирующего на высокочастотное воздействие Луны, или что-то принципиально другое? Во-вторых, в течение года ядро, по нашим данным, может находиться как ближе к Солнцу, чем геометрический центр планеты, так и дальше от него. Это не гравитация, или и здесь причина – инерционность ядра?

Вероятнее всего, движение ядра по своей годовой орбите носит пульсирующий характер. Ядро то начинает смещаться относительно центра планеты при достижении определенного разбаланса каких-то сил, то замедляет такое движение в вязком расплаве, после «ликвидации» имевшегося разбаланса. Период модуляции колеблется от нескольких суток до месяца и хорошо заметен в записях ЕИЭМПЗ в любой месяц года. Наличие процессов с такими периодами видно и в спектрах ЕИЭМПЗ. Однако они также не совпадают с главными лунными приливами (13,65 и 27,55 суток). Их связь с гравитационным воздействием Луны маловероятна.

Как показали наши оценки, основными направлениями движения ядра по шкале времени является линия (2–16) часов солнечного времени. Такая ориентация годового движения ядра относительно Солнца и определяет положение ночного и послеполуденного максимумов в суточных вариациях очень многих геофизических процессов их сезонные вариации. Сложное, пульсирующее перемещение и вращение ядра внутри жидкой полости должно приводить к достаточно сложным процессам циркуляции вещества жидкого ядра Земли. Этими циркуляциями, по-видимому, объясняется существование других менее значимых максимумов и минимумов в суточных вариациях ЕИЭМПЗ и числа землетрясений.

В опубликованных в литературе данных по временным вариациям различных по своей природе геофизических полей можно найти достаточно много других доказательств существования выявленных нами ритмов движения земной коры. На них просто не обращают внимания. Например, высокочастотные сейсмические шумы на дне океана имеют ярко выраженную суточную и полусуточную периодичность. Максимум интенсивности шума приходится на полдень и полночь по местному времени. Эффект имеет явно выраженные сезонные изменения. В спектрах сейсмоакустической эмиссии в глубоких скважинах наиболее значима, также как и в нашем случае, суточная волна. Так корреляция между характеристиками подземного фонового звука и

солнечными компонентами приливных сил составляет 0,6–0,8, тогда как лунные компоненты не обнаруживаются. Этот странный, по мнению авторов [Беляков и др., 1999, 2002], факт не находит приемлемого объяснения. Более того, в работе [Гаврилов и др., 2006] показано не только наличие идентичного суточного хода ЕИЭМПЗ и подземного фонового звука, но и исчезновение суточного хода накануне близких землетрясений. «Эффект затишья», с исчезновением суточного хода ЕИЭМПЗ перед землетрясениями обнаруженный нами ранее на Северном Тянь-Шане, в Прибайкалье и Бурятии, обнаружен так же на Камчатке [Дружин, 2002]. С позиций предлагаемого нами механизма этот факт находит простое объяснение [Малышков Ю.П., Малышков С.Ю., 2002]. Зацепление блоков земной коры на заключительных стадиях подготовки землетрясения, образование массивной консолидированной системы уменьшает способность системы реагировать на внутрисуточные колебания земной коры. Чем больше размеры такой системы, тем меньше ее реакция на подобные колебания. Поэтому длительность и степень нарушения суточного хода позволяют оценивать размеры консолидированной области, могут использоваться для оперативного прогноза параметров землетрясения [Малышков Ю.П., и др., 2004].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авсюк Ю.Н., Адушкин В.В., Овчинников В.М. Комплексное исследование подвижности внутреннего ядра Земли // Физика Земли. – 2001. – № 8. – С. 64–75.
2. Беляков А.С., Лавров В.С., Николаев А.В., Худзинский Л.Л. Подземный фоновый звук и его связь с приливными деформациями // Физика Земли. – 1999. – № 12. – С. 39–46.
3. Беляков А.С., Лавров В.С., Николаев А.В., Худзинский Л.Л. Подземный фоновый звук и его энергетическая модель как компоненты системы прогноза землетрясений // Физика Земли. – 2002. – № 8. – С. 57–64.
4. Гаврилов В.А., Морозова Ю.В., Сторчеус А.В. Вариации уровня геоакустической эмиссии в глубокой скважине Г-1 (Камчатка) и их связь с сейсмической активностью // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 1. – С. 52–67.
5. Дружин Г.И. Опыт прогноза Камчатских землетрясений на основе наблюдений за электромагнитным ОНЧ излучением // Вулканология и сейсмология. – 2002. – № 6. – С. 51–62.
6. Коровяков Н.И., Никитин А.Н. Закономерность эксцентрического вращения ядра и оболочки Земли в суточном и годовом периоде // Сознание и физическая реальность. – 1998. – Т. 3 (2). – С. 23–30.
7. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Суточные ритмы движения земной коры и их роль в подготовке землетрясений // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород: Материалы 1-й Междунар. школы-семинара (9-15 сент., 2001, г. Красноярск) / ред. В.А. Мансуров, Красноярск, СибГАУ, 2002, с. 316–323.

8. Малышков Ю.П., Джумабаев К.Б., Малышков С.Ю., Гордеев В.Ф., Шталин С.Г., Масальский О.К. Способ прогноза землетрясений. Патент РФ № 2238575, выдан 20.10.2004, Бюл. № 29.

9. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли. // Геология и геофизика. – 2009. – № 2. – С. 152–172.

10. Сидоренков Н.С. Физика неустойчивостей вращения Земли. – М.: Наука, Физматлит, 2002. – 384 с.

© Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков, 2009

УДК 528.1: 631.4

А.И. Павлова

СГГА, Новосибирск

ИЗУЧЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

A.I. Pavlova

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

STUDY TO SPOTTINESSES OF TOPSOIL ON BASE REMOTE SENSING DATAS

In article are considered questions of the study to spottinesses soil-go cover, cartography elementary soil area (EPA) on base of the use cosmic picture.

В настоящее время актуальными являются исследования, посвященные изучению неоднородности почвенного покрова, его структуры на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) – аэрофото- и космических снимков.

Целью исследований является изучение неоднородности почвенного покрова на примере землепользования «Большаковский» Любинского района Омской области. Актуальность исследований заключается в использовании многозональных космических изображений, получаемых со спутника Landsat-7.

В теории изучения структуры почвенного покрова по вопросу элементарной единицы почвенного покрова сформировалось два направления. Согласно первому представлению элементарная единица почвенного покрова связана с выделением того объема почвы, который имеет определенные пространственные рамки, в границах которого проявляется все разнообразие пространственной вариабельности свойств и признаков, характерных для почвенной разности. Данной единицей почвенного покрова является педон, почвенный индивид. Второе направление, связано с понятием элементарного почвенного ареала (ЭПА). Фридланд Я.М. считает, что ЭПА представляет собой почвенное образование, внутри которого отсутствуют какие-либо почвенно-географические границы. ЭПА может иметь различную площадь. Таким образом, ЭПА представляет собой почву, которая относится к любой классификационной единице наиболее низкого ранга – вида или разновидности. Каждый ЭПА может быть охарактеризован по внутреннему строению, содержанию, представляющих его почв, геометрическим показателям и экологическим позициям.

При проведении исследований изучались ЭПА на основе дешифрирования космических снимков. Технология дешифрирования почвенного покрова

предусматривает сбор и анализ исходной информации, устранение геометрических искажений и улучшение качества космических снимков, предварительный этап дешифрирования, корректировочные полевые обследования и окончательное оформление электронной карты ЭПА.

В качестве сходной информации служат топографическая, существующая почвенная и землеустроительные карты масштаба 1:25 000.

Для изучения почвенного покрова, картографирования элементарных почвенных ареалов использовался космический снимок Landsat-7. Преимуществом использования снимков Landsat-7 для настоящих исследований считаем то, что съемка земной поверхности выполняется в узких спектральных каналах, что позволяет получать синтезированные изображения с различным сочетанием каналов и наиболее полно реализовывать ландшафтно-индикационные методы дешифрирования.

Для работы с космическими изображениями использовался программный комплекс ENVI, который включает в себя наиболее полный набор функций для обработки данных дистанционного зондирования земли и их интеграции с данными в ГИС. Использование программы ENVI позволяет обрабатывать мультиспектральные данные, содержит библиотеки для спектрального анализа изображений, классификации изображений с помощью методов: параллелепипедов, минимального спектрального расстояния, максимального правдоподобия, дерева принятия решений и другие. Отличительной особенностью программного комплекса является открытая архитектура, возможности экспорта и импорта данных из различных ГИС, а также встроенный язык программирования IDL (Interactive data Language), с помощью которого можно расширять функциональные возможности, разрабатывать собственные алгоритмы по обработке данных. В исследованиях при картографировании ЭПА использовались как визуальные, так и автоматизированные методы. Применение ландшафтно-индикационных методов позволяет по косвенным признакам (растительность, объекты топографии, положение по формам рельефа) устанавливать типы почв.

Территория землепользования расположена на северо-востоке Любинского района, в лесостепной зоне Западно-Сибирской провинции. Неоднородность почвенного покрова тесно взаимосвязана с рельефом территории. землепользование расположено на слабонаклонной сильно заболоченной равнине. На изучаемой территории распространены следующие типы почв: лугово-черноземные, луговые, лугово-болотные, болотные, солоды, солонцы, солончаки. При дешифрировании отличаются ЭПА, представленных болотными почвами, имеющих округлую и продолговатую форму, залегающих в пониженных участках рельефа. Данные почвы отчетливо распознаются визуально по форме и текстуре изображения. Наименьшими размерами, характеризуются ЭПА, представленные солодами и солончаками. Данные ЭПА дешифрируются косвенно по типу растительного покрова, а также при автоматизированном дешифрировании. По форме данные ЭПА носят различный характер от крупных массивов, занятых древесной растительностью (березовыми лесами) до мелких контуров, вкрапленных в контура пашни.

Следующий этап исследований предполагает корректировку результатов дешифрирования и оформление карты ЭПА с семантическим описанием в базах данных ГИС.

© А.И. Павлова, 2009