

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

ГЕО-СИБИРЬ-2006

Т. 1

ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ

Ч. 2

Сборник материалов
международного научного конгресса

Новосибирск
СГГА
2006

УДК 528:528.9:622.1
С 26

Ответственные за выпуск:
координаторы направления
«Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»
Доктор технических наук, профессор, директор ИГиМ СГГА
А.П. Карник
Доктор технических наук, профессор СГГА
Д.В. Лисицкий
Кандидат технических наук, директор ФГУП центр «Сибгеоинформ»
В.Ф. Рожков

С 26 ГЕО-Сибирь-2006. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 2 : сб. материалов междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2006», 24 – 28 апреля 2006 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2006. – 368 с.

ISBN 5-87693-199-3

В сборнике опубликованы материалы международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2006» направления «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия».

Печатается по решению Редакционно-издательского совета СГГА

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 528:528.9:622.1

ISBN 5-87693-199-3

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная
геодезическая академия», 2006

PRECISE TRANSFORMATION OF CLASSICAL NETWORKS TO ITRF BY COPAG AND PRECISE VERTICAL REFERENCE SURFACE REPRESENTATION BY DFHRS – GENERAL CONCEPTS AND REALISATION OF DATABASES FOR GIS, GNSS AND NAVIGATION APPLICATIONS

Точное преобразование классических сетей в систему отсчета ITRF с использованием программного продукта CoPaG и высокоточное представление опорной высотной поверхности методом конечных элементов (DFHRS) – основные понятия и реализации баз данных для ГИС, GNSS и навигационных применений

1 INTRODUCTION

As concerns the georeferencing of position data in modern data bases, the availability of GNSS (GPS/GLONASS/GALILEO) related code- and phase-measurement DGNSS-correction data, which are provided in different ways by different positioning services in and outside Europe leads to the replacement of the classical geodetic reference systems by GNSS-consistent ITRS-based reference systems. So the transformation of the old plan position data $(N,E)_{\text{class}}$ related to the classical reference systems to the ITRS/ETRS89 datum $(N,E)_{\text{ITRS}}$ becomes urgently necessary. A sophisticated and general solution of this transformation problem has to include a respective data base concept for the provision of the corresponding transformation parameters for GIS, GNSS and Navigation purposes. Further the capacity of a one-centimetre positioning by GNSS services, such as e.g. SAPOS® and ascos® in Germany, is also appropriate for a GNSS related heighting. The GNSS-based determination of sea-level (orthometric, normal) heights H requires however the transformation of the ellipsoidal GNSS heights h_{ITRS} to the respective physically defined height reference surface (HRS). The first part of the contribution is dealing with the concept of a homogenizing precise and continuous transformation of plan positions $(N,E)_{\text{class}}$ to the ITRS/ETRS89 datum $(N,E)_{\text{ITRS}}$. From the theoretical point of view a respective transformation can not renounce completely on height information. The presented so-called CoPaG (Continuously Patched Georeferencing) concept however, has the advantage that the point height information is needed only on a poor accuracy level. Further basic considerations and a respective problem solution for the plan datum transition are due to the occurrence and the mathematical treatment of so-called ‘weak-shapes. These are long-waved deflections of the network shape of the classical networks, reaching a range of several meters in the nation-wide scale, e.g. for the size of Germany. This requires the partition of the total network area into a set of different “patches”. The introduction of continuity conditions along the patch borders implies restrictions between the transformation parameters $\mathbf{d}$ of neighbouring patches. Because of its mathematical strictness and general validity the CoPaG concept has (like the DFHRS approach below) a broad and far-reaching application profile in the con-

text with the big amount of similar datum transition problems occurring world-wide in the upcoming GNSS-age. The realisation of a software system for the statistically controlled set up of a transformation parameter **d** data base for the transformation of positions $(N,E)_{\text{class}}$ to the ITRS datum $(N,E)_{\text{ITRS}}$ and vice verse is presented at different examples.

The second part of the contribution is dedicated to the DFHRS (Digital-Finite-Element-Height-Reference-Surface) concept, which allows a GNSS height positioning (GPS/GLONASS /GALILEO etc.) by a direct online conversion of ellipsoidal heights h into standard heights H referring to the height reference surface (HRS). The DFHRS is modelled as a continuous HRS with parameters **p** in arbitrary large areas by bivariate polynomials over a grid of Finite Element meshes (FEM). Geoid heights N , vertical deflections (ξ,η) , gravity disturbances and anomalies Δg and identical points (h, H) can be used as observations in a least squares computation to derive the DFHRS-parameters **p**. Any number of geoid models may be introduced simultaneously and geoid models may be parted into different “patches” with individual datum-parameters in order to reduce the effect of existing medium- and long-waved systematic errors. So the resulting DFHRS parameters **p**, set up as a DRHRS data-base, provide a three-dimensional correction $\text{DFHRS}(\mathbf{p}|\mathbf{B},L,h)$ to transform by $H=h-\text{DFHRS}(\mathbf{p}|\mathbf{B},L,h)$ ellipsoidal GNSS heights h into standard heights H . The mathematical model of DFHRS computation and the software are pointed out. The authors present the results of DFHRS_DB computations for the GNSS online heighting in the cm-accuracy range for different countries and nations in and outside of Europe.

Above the theoretical concepts the implementation and use of DFLBF_DB and DFHRS_DB in GNSS-equipment for real-time positioning in GNSS-services (e.g. **SAPOS**® and ascos®) is shown, as well as the setting up the RTCM.3.0 transformation messages based on the above databases.

2 GNSS PLAN POSITIONING – DATA BASES TO TRANSFORM BETWEEN ETRS89/ITRS AND CLASSICAL DATUM SYSTEMS

2.1 Continuous Patched Georeferencing (CoPaG) Concept

This part of the contribution deals with the homogenisation, cm-accurate and neighbourhood consistent transformation of plan coordinates between classical national reference-systems $(N,E)_{\text{Class}}$ and the unique ITRF/ETRS89-datum $(N,E)_{\text{ITRF}}$.

The so-called CoPaG (Continuously Patched Georeferencing) transformation concept [26] implies the improvement and homogenisation of the geometrical quality of existing classical networks (such as e.g. the German DHDN network and datum, fig. 2.1; fig. 2.2) by the developed method of an ITRF/ETRS89 related georeferencing. So the qualification of the old position data for a future utilization and the continuation of existing databases are provided. Therefore also a high economic benefit as well as signals for further innovative developments in the GIS-, GNSS- and LBS-sector is set by the CoPaG concept of transforming the old classical data to the GNSS consistent ITRF/ETRS89 datum.

The CoPaG concept is based on a strict three-dimensional similarity transformation between the two concerned reference-systems. The equations of this transformation are linearized under the realistic assumption of small rotation angles and

the linearization point of the geographical coordinates $(B, L, h)_1$. This leads to the resulting part for the plan component (B, L) of the three-dimensional similarity transformation in geographical coordinates (B, L, h) reading [8], [9], [26]:

$$B_2 + v = B_1 + \partial B_1(d) = B_1 + \partial B_1(u, v, w, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \Delta m, \Delta a, \Delta f) \quad (2.1a)$$

$$\begin{aligned} = & B_1 + \left[\frac{-\cos(L) \cdot \sin(B)}{M + h} \right]_1 \cdot u + \left[\frac{-\sin(L) \cdot \sin(B)}{M + h} \right]_1 \cdot v + \left[\frac{\cos(B)}{M + h} \right]_1 \cdot w + \\ & \left[\frac{-\sin(L) \cdot \frac{a \cdot W + h}{M + h}}{M + h} \right]_1 \cdot \varepsilon_x + \left[\frac{\cos(L) \cdot \frac{a \cdot W + h}{M + h}}{M + h} \right]_1 \cdot \varepsilon_y + [0] \cdot \varepsilon_z + \\ & \left[\frac{-\sin(B) \cdot \cos(B) \cdot N \cdot e^2}{M + h} \right]_1 \cdot \Delta m + \Delta B(a_1, a_2, b_1, b_2) \end{aligned} \quad (2.1b)$$

$$L_2 + v = L_1 + \partial L_1(d) = L_1 + \partial L_1(u, v, w, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \Delta m, \Delta a, \Delta f)$$

$$\begin{aligned} = & L_1 + \left[\frac{-\sin(L)}{(N + h) \cdot \cos(B)} \right]_1 \cdot u + \left[\frac{\cos(L)}{(N + h) \cdot \cos(B)} \right]_1 \cdot v + [0] \cdot w + \\ & \left[\frac{\cos(L) \cdot \sin(B) \cdot (N \cdot (1 - e^2) + h)}{(N + h) \cdot \cos(B)} \right]_1 \cdot \varepsilon_x + \left[\frac{\sin(L) \cdot \sin(B) \cdot (N \cdot (1 - e^2) + h)}{(N + h) \cdot \cos(B)} \right]_1 \cdot \varepsilon_y \\ & - [1] \cdot \varepsilon_z + [0] \cdot \Delta m + \Delta L(a_1, a_2, b_1, b_2) \end{aligned}$$

In the above formulas the following abbreviations were introduced:

$$\Delta B(a_1, b_1, a_2, b_2) = B(a_1, b_1) - B(a_2, b_2), \quad (2.1c,d)$$

$$\Delta L(a_1, b_1, a_2, b_2) = L(a_1, b_1) - L(a_2, b_2) = 0 \quad \text{and}$$

$$N = \frac{a^2}{b \cdot \sqrt{1 + e^2 \cdot \cos^2 B}}; \quad M = \frac{a^2}{b \cdot \left(\sqrt{1 + e^2 \cdot \cos^2 B} \right)^3}; \quad W = \frac{a}{N}; \quad (2.1e,f,g,h)$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

As transformation parameters $\mathbf{d}$ (2.1a,b) three translations (u, v, w) , three rotations $(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)$ and a scale difference Δm between the two reference systems occur in the observation equations (2a,b). The corrections ΔB and ΔL (2.1c,d) are due to the known changes $(\Delta a, \Delta f)$ in the ellipsoid dimensions a and f at the transition from reference system 1 (e.g. DHDN in Germany) to reference system 2 (e.g. ETRS89). As the transformation is concerning the plan component (B, L) , and in general no heights for the respective identical points, nor for the points to be transformed (e.g. cadastral points, buildings etc.) are available in the different databases, the height component h – taken as third observation equation – is only needed for a small number of three dimensional identical points (e.g. points of a 1st order networks). The transformation equation for the height component h reads

$$h_2 + v = h_1 + \partial h_1(d) = h_1 + \partial h_1(u, v, w, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \Delta m, \Delta a, \Delta f) \quad (2.1h)$$

$$\begin{aligned} = & h_1 + [\cos(B) \cdot \cos(L)]_1 \cdot u + [\cos(B) \cdot \sin(L)]_1 \cdot v + [\sin(B)]_1 \cdot w + \\ & [-e^2 \cdot N \cdot \sin(B) \cdot \cos(B) \cdot \sin(L)]_1 \cdot \varepsilon_x + [e^2 \cdot N \cdot \sin(B) \cdot \cos(B) \cdot \cos(L)]_1 \cdot \varepsilon_y \\ & + [0] \cdot \varepsilon_z + [h + a \cdot W]_1 \cdot \Delta m + \Delta h(a_1, a_2, b_1, b_2), \end{aligned}$$

accordingly with $\Delta h(a_1, a_2, b_1, b_2) = h(a_1, b_1) - h(a_2, b_2)$. An advantage of the approach (2.1a-h) is that the ellipsoidal heights h_1 (which are due to all classical network datum close to the standard heights H) are only needed with a subordinate accuracy. Due to the fact, that for the classical national datum systems the ellipsoid's surface and the height reference surface were adapted to each other, the ellipsoidal height h_1 in the coefficients (2.1a) and (2.1b) can be replaced in different cases by the national standard heights H_2 . For the same, reason the height information h_1 can in case of a classical system be taken from free available databases (e.g. the digital terrain model databases ETOPO5 or ETOPO30).

The formulas (2.1a-h) are based on a linearization, so that in case of large datum parameters $\mathbf{d}$ (e.g. for the translations u, v, w between two systems 1 and 2) a corresponding pre-transformation between system 1 and 2 with approximate parameters has to be performed before the application of (2.1a-h) [9].

2.2 CoPaG and DFLBF Data Bases (DB) for Germany

Besides some solutions for different German states and city areas in Germany, two nationwide databases for Germany were computed with the CoPaG software, namely the “(3-5)_cm_CoPaG_DB Germany” (Fig. 2.2a) and the “(3-5)_cm_DFLBF_DB Germany” (fig. 2.2b) [28].

As the ETRS89 frame has one cm precision, e.g. all over Germany and the 1st order ITRF/ETRS89 of other states all over the world, the residuals shown in fig. 2.1 left mean the deflection of the classical plan DHDN network coordinates $\hat{x}=(B,L)_1$ from its true shape $\tilde{x}$. The residuals of the DHDN network of Germany West (fig. 2.1, left) reach the range of ± 2.5 m.

The shape and amount of the deflections $\nabla x = \tilde{x} - \hat{x}$ are to be explained by the theory of so-called “natural weak-forms” [4], [5], [6], [15] and eventually a second part of so-called “stochastic weak-forms” [10]. The “natural weak-forms” of classical geodetic networks are related to the eigenvalue-problem

$$[C_{\hat{x}} - \mu_i \cdot I] \cdot m_i = 0 \quad . \quad (2.2a)$$

of the covariance matrix $C_{\hat{x}}$ of the adjusted network coordinates $\hat{x}$.

The eigenvalue problem (2.2a) is part of the theory and concepts of spectral analysis and optimization of geodetic networks [4], [7]. It is shown in [4], [5], [7], [15] and [9] that the spectral components ∇_i

$$\nabla_i = \sqrt{\mu_i} \cdot m_i \quad . \quad (2.2b)$$

are the key for the prediction (comparing e.g. the 1989 prediction results for Baden-Württemberg [6] with the real deflections for Baden-Württemberg presented 2000 in [9]) and theoretical understanding of deflections $\nabla \hat{x}$ of large networks from their true shape $\tilde{x}$.

In case of an occurring shape deflection $\nabla \hat{x}$ - like shown for the plan German DHDN network in fig. 2.1, left - the spectral components ∇_i (2.2b), which are carried by the eigenvectors m_i (2.2a) and scaled by the square roots of the corresponding eigenvalues μ_i (2.2a) give - in the descending order of the eigenvalue size μ_i - the probability and amount of respective geometric deflection parts, which span up the

total deflection shape $\nabla \hat{x}$ (fig. 2.1, left). As large geodetic networks tend to have a number of high dominant eigenvalues, the maximum spectral components (2.2b) (especially the maximum component $\nabla_{\max} = \sqrt{\mu_{\max}} \cdot m_{\max}$) point out the quasi systematic shape deflection $\nabla \hat{x}$. In case that the covariance matrix $C_{\hat{x}}$ is regarded with respect to the assumed stochastic model of normal distributed observations, and the spectral analysis is accordingly based on (2.2a,b), the essential main spectral components $\nabla_i = \sqrt{\mu_i} \cdot m_i$ are called the “natural weak-forms” of a geodetic network [4], [15].

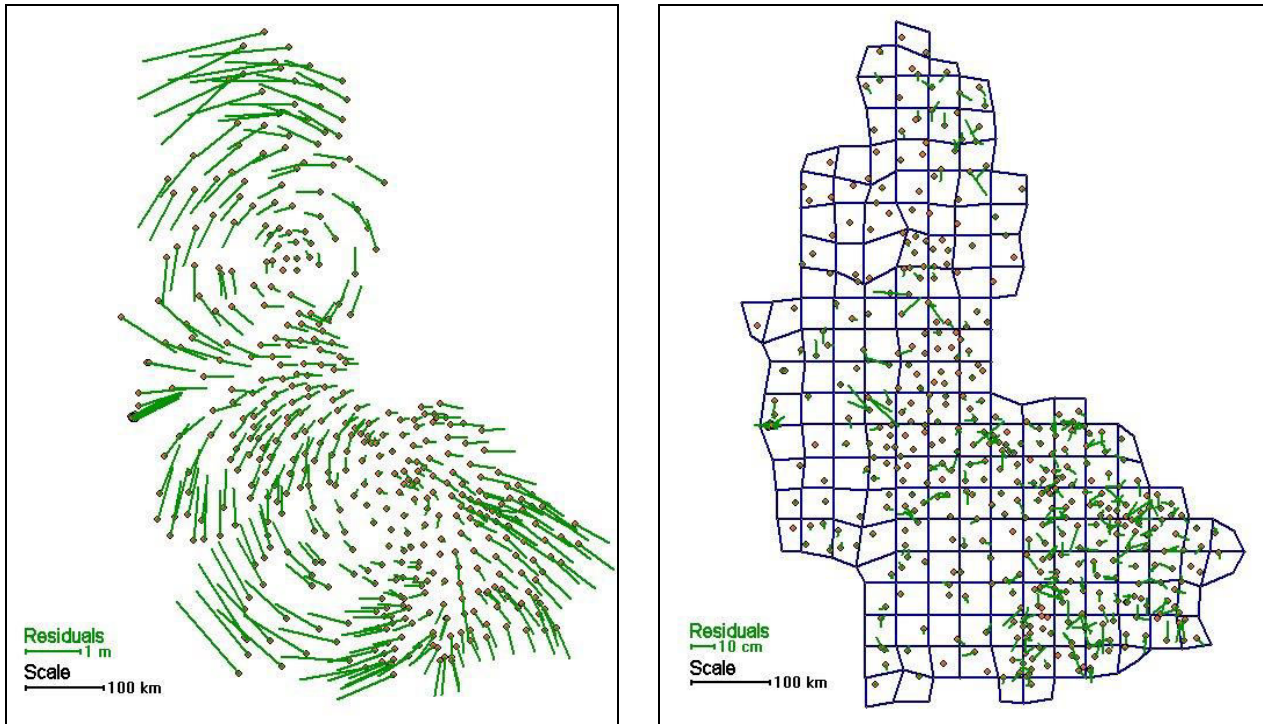


Fig. 2.1, left:

Residuals up to 2.5 m for the transformation of the German DHDN plan coordinates to ETRS89 with only one nationwide set of transformation parameters d .

Fig. 2.1, right:

Strict transformation with continuity conditions of the transformation parameters of the coordinates from German DHDN to ITRF (ETRS89) under partition in 177 patches. This leads to a drastic reduction of the residuals to less than 0.02 m in average.

Another type and an additional amount of weak-form deflections $\nabla \hat{x}$ - namely the so-called “stochastic weak forms” $\nabla_{i,\text{stoch}} = \sqrt{\mu_{i,\text{stoch}}} \cdot m_{i,\text{stoch}}$ already mentioned above – occur due to neglects in the stochastic model of the observations of a geodetic network adjustment [5], or a non over-determined parameter-computation $\hat{x}$ from a respective observation set. The spectral components $\nabla_i = \sqrt{\mu_i} \cdot m_i$ of the “stochastic weak forms” are then related to a general eigenvalue problem, which is regarded in [10].

To manage the weak-form problem with respect to the plan transformation (2.1a,b), the transformation area has to be divided into so-called patches (fig. 2.1b) with individual datum parameter sets $\mathbf{d}^j$ (accordingly the term CoPaG = Continuously Patched Georeferencing). In the example of applying the CoPaG concept to the plan German DHDN network, the average residual was reduced from 0.33 m (only one patch and datum set $\mathbf{d}$ for the whole area of Germany, fig. 2.1, left) to a range of less than 0.02 m by the division of the transformation area into 177 patches with individual datum parameters $\mathbf{d}^j$ (fig. 2.1, right).

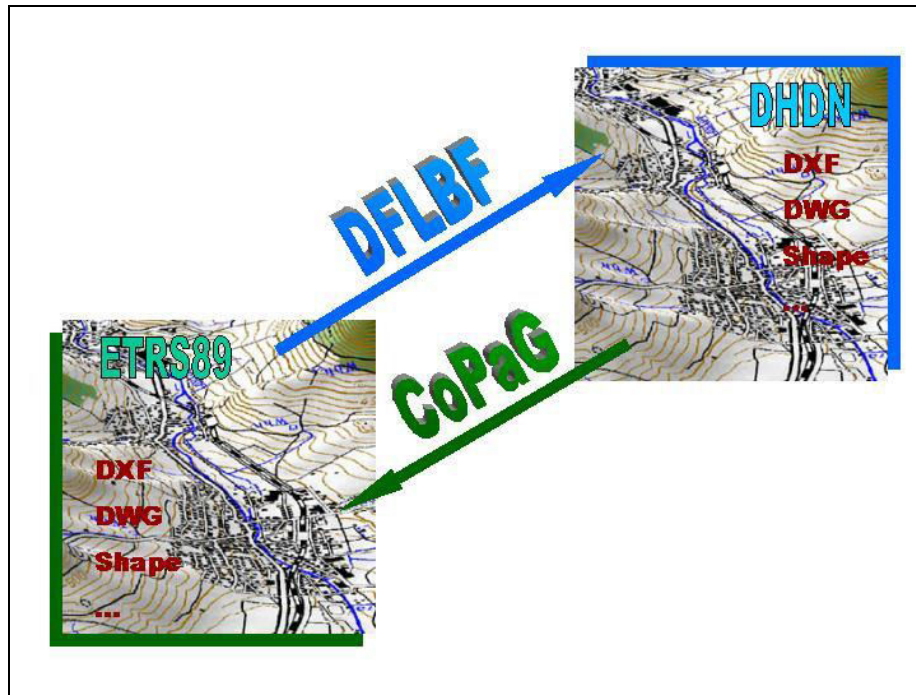


Fig. 2.2a, b:

Left: DFLBF_DB for the transformation from ETRS89 to a classical plan reference system. Right: CoPaG_DB for the transformation from a classical plan reference system to ETRS89.

To achieve a continuous and homogenising transformation, appropriate continuity conditions $C(\mathbf{d}^j, \mathbf{d}^{j+1})$ - in analogy to these of the DFHRS concept (3.6f) - along the borders of neighbouring patches j and $(j+1)$ have to be set up as additional condition equations concerning neighbouring parameter sets $\mathbf{d}^j$ and $\mathbf{d}^{j+1}$, in order to complete the CoPaG adjustment approach (2.1a,b,h) [26].

The present CoPaG_DB and the DFLBF_DB (Digital Finite Element Plan Reference System Transformation, in analogy to the term DFHBF, chap. 3) allow the strict and neighbourhood consistent transformation from/to the classical German reference-systems (e.g. DHDN in Western Germany presented in fig. 2.1 and RD83 in Eastern Germany) to/from ETRS89 with a reproduction quality of (3-5) cm.

2.3 CoPaG Software and CoPaG/DFLBF_DB Access Software

The CoPaG approach (2.1a-h) was realized in the CoPaG-Software ©Jäger/Kälber. The CoPaG software (fig. 2.3) allows the computation of transformation parameters $\mathbf{d}^j$ on dividing the whole transformation area into an arbitrary number of irregular patches (fig. 2.1b, fig. 2.3).

Additionally continuity conditions $C(\mathbf{d}^j, \mathbf{d}^{j+1})$ have to be introduced to achieve the continuity of the total set of parameters and the homogenisation of the transformed configuration.

Fig. 2.3 shows a screen-shot of the CoPaG-Software at the example of the view on the CoPaG Software at the example of the project “(1-2)_cm DFLBF_DB and CoPaG_DB Rheinland-Pfalz”. Whereas in fig. 2.3 the mean mesh size is 15 km, the final mesh size for (1-2) cm databases was 7 km.

The quality control is – in addition to standards of statistical testing – performed by regarding the quality measure of reproduction values. The two-dimensional test statistics and the so-called reproduction values are evaluated in the CoPaG concept and software in analogy to these of the quality control concept of DFHRS computation (see chapter 3.3.2). Besides this a so-called accuracy surface (Fig. 2.4) can be computed from the covariance-matrix in function of position.

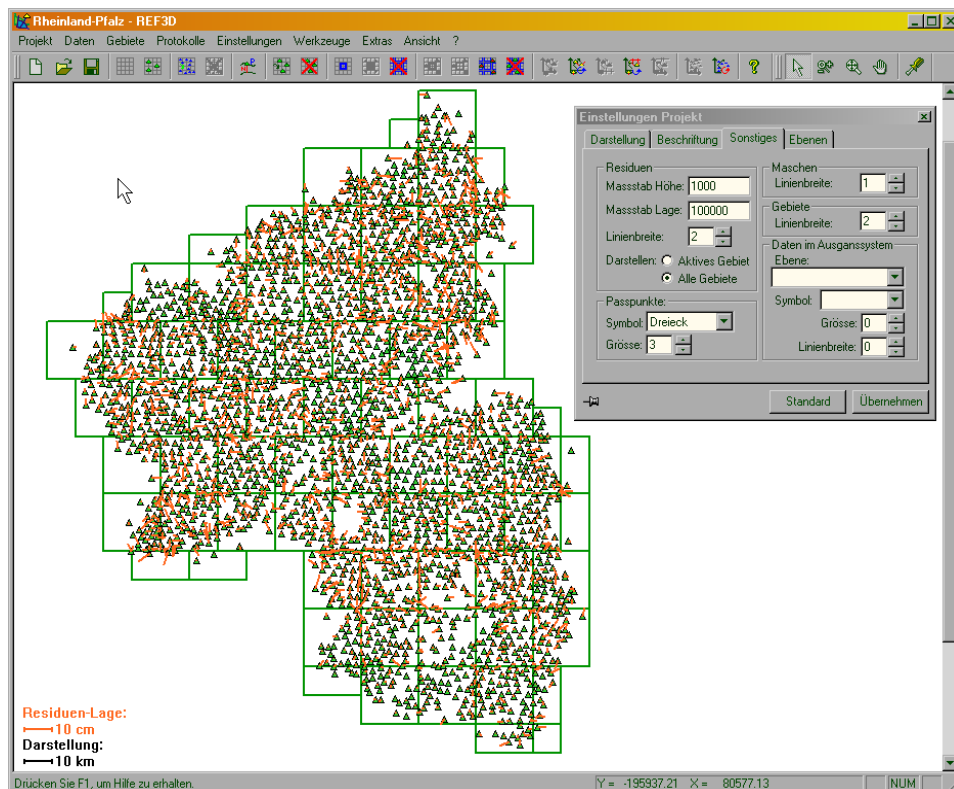


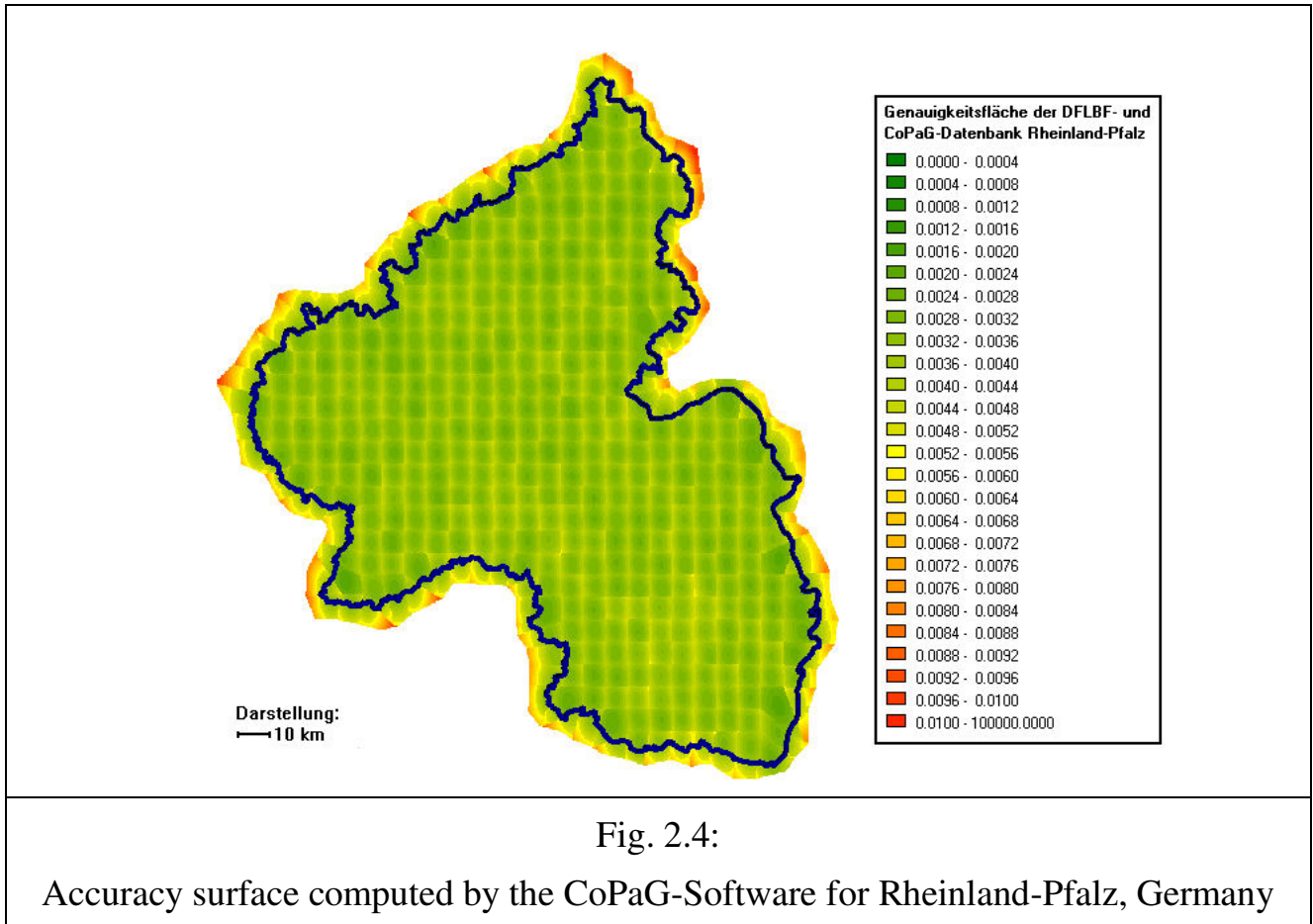
Fig. 2.3:

View on the CoPaG Software at the example of the project “(1-2)cm DFLBF_BD and CoPaG_DB Rheinland-Pfalz”

After finishing computation and quality control the parameter sets for all patches and also the residuals of the identical points are stored in a well-defined format in the

so-called DFLBF_DB and CoPaG_DB files and can be used by any software providing a DFLBF/CoPaG Access.

The direct access is realized by a DLL, which can be implemented into any GNSS or GIS software. Many GNSS and GIS companies meanwhile use a direct access. As concerns the alternative way of converting DFLBF_DB to gridfiles for a use in GNSS positioning in the so-called gridfactory philosophy and technology, e.g. within the Leica-Geosystem SKI_PRO software and the Trimble TSO software, it is referred to [28] and to the homepages of these companies respectively.



2.4 Outlook to the CoPaG Concept and CoPaG/DFLBF_DB

The CoPaG_DB provide the direct transformation (no identical points) of the classical plan networks and related DB positions to the ETRS89 datum (fig. 2.2b), and the DFLBF_DB (fig. 2.2a) are used vice-versa for the direct transformation (no identical points) of ETRS89 related GNSS positions in SAPOS®- and ascos® GNSS positioning to the classical plan datum systems.

The further development of the (3-5)_cm data bases, which is directed to the computation of a “1_cm_CoPaG_DB/DFLBF_DB for Germany” is merely a question of the number and density of further identical points. This is to be concluded from successful test computations for the area of Rheinland-Pfalz, Germany, where a number of 2535 identical points was used to evaluate the respective continuous transformation parameters sets $\mathbf{d} = (\mathbf{d}^1, \dots, \mathbf{d}^j, \dots, \mathbf{d}^n)$ enabling a mean reproduction quality of the coordinates of 1_cm.

The weak-form problem (fig. 2.1, left) is of general nature, and it concerns all classical networks all over Europe and the whole world respectively. So the CoPaG concept can be applied generally to solve the related transformation problems and to evaluate precise and economic CoPaG_DB and DFLBF_DB worldwide.

For further information it is referred to www.geozilla.de [36].

3 GNSS-HEIGHTING - PRECISE VERTICAL HEIGHT REFERENCE SURFACE REPRESENTATION BY THE DIGITAL FEM HEIGHT REFERENCE SURFACE CONCEPT (DFHRS) AND DFHRS DATA BASES

3.1 Motivation and Situation

Standard heights H are referring to different types of height reference surfaces (HRS). The common root of all three relevant HRS-types is the idea, that the HRS should be that equipotential surface of the earth's gravity field with a potential W_0 , which coincides with the normal potential U_0 and the mean sea-level surface $H=0$ (fig. 3.1, fig. 3.2)¹ and continues it outside the oceans. The datum of a height system is fixed by at least one point with an assigned value W_0 and $H=0$. The height H_P of any point P on the earth's surface (ES) is then defined as the curved distance between P and the respective HRS (fig. 3.1; fig. 3.2).

The two modern standard HRS-types are the geoid and the so called quasi-geoid. The geoid HRS type realizes exactly the equipotential surface concept. The related so-called orthometric heights $H_{\text{orth}} = (W_0 - W_P) / \bar{g}$ or $H_{\text{orth}} = C_P / \bar{g}$ respectively are found, by dividing the geopotential number C_P (difference between W_0 and the point P potential W_P) by the mean gravity value $\bar{g}$ between P and the HRS. A disadvantage of a HRS type of a geoid and a related orthometric height system H_{orth} is however due to the fact, that the density assumptions for the area of P are needed to evaluate $\bar{g}$. The quasi-geoid HRS and the respective so-called normal heights $H_{\text{normal}} = C_P / \bar{\gamma}$, as an alternative HRS and height system H , are found by dividing the geopotential number C_P by the mean gravity value $\bar{\gamma}$ taken from the normal potential between P and the HRS. In this case the modern standard for the normal potential and $\bar{\gamma}$ is related to the Global Reference System 80 (GRS80). The value $\bar{\gamma}(B, h)$ is free from any density hypothesis. Therefore the decision for the new HRS and height type H for the European reference system EUREF was met for the quasi-geoid and normal height type H respectively (EUREF symposium, Ankara 1996, resolution No. 10, see [3]).

The most precise way to determine the standard height of a point H_P of the earth's surface (ES) is still based on levelling, or better levelling and gravity measurements in higher order networks, meaning by the realization of the geopotential number C_P as $C_P = \sum g_i \cdot \Delta n_i$.

The recent adjustment of the normal height H related European Vertical Network - as part of new European Vertical Reference System (EVRS) - was based on C_P and is ready on the continental level [20]. The accuracy as e.g. predicted to be 5 cm on

¹ For the new Europe normal height system presently the Normaal Amsterdams Peils (NAP) [20]

continental level [5] is kept. The short-wave precision of the adjusted height differences ΔH of neighbouring points in the different European national networks of lower order is of course better and represented in the low sub-cm range [20].

The GNSS-based determination of standard heights H on any accuracy level however requires principally the transition of the ellipsoidal GNSS height h to the standard height H . So a GNSS-based determination of standard height H makes it necessary to subtract the height N_G of the height reference surface (HRS) from the ellipsoidal GNSS height h (fig. 3.1; fig. 3.2). Therefore the HRS must be represented relative to the ellipsoid surface in terms of a two-dimensional HRS model $N_G(B,L)$. The old term “geoid” and “geoid height” for the HRS model and $N_G(B,L)$ (fig. 3.1) are getting properly replaced by “HRS” and “height of the HRS (fig. 3.2, DFHRS)”, which is more convenient with respect to the above mentioned different standard HRS and height types².

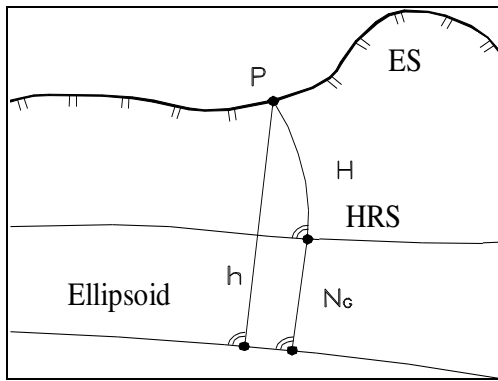
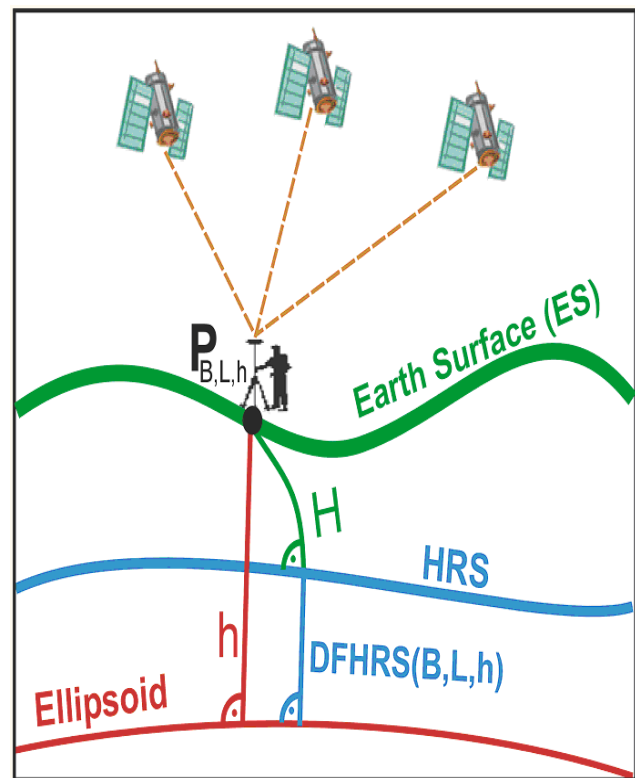


Fig. 3.1 (above):

Formula ideal (1a): earth surface (ES) at position $P(B,L)$, ellipsoidal GPS/GNSS height h , standard height H and a two-dimensional HRS model N_G .

Fig. 3.2 (right):

In real world GNSS-positioning the extended formulas (1b,c) and a three-dimensional HRS model $N_G(B,L,h)$ however have to be taken into account.



The classical gravity related geoid or quasi-geoid models $N_G(B,L)$, such as EGG97 [1], EGM96 [13]) and the large number of local and regional geoid models are not fitted to the HRS. This is for the reason, that the geometrical information of the identical points (h,H) is in general not taken into account art of a “geoid-computation” approach. A quasi-geoid for example is computed based on the Stokes formula as

² For historical reasons even some types more exist, such as e.g. the NN-type of HRS and the respective spheroidal normal heights (“NN-heights”) as precursor of the normal heights.

$$N_G(B, L) = \frac{a}{4\pi \cdot \gamma(B)} \iint_{\sigma} \Delta g \cdot S(\psi) \cdot d\sigma \quad . \quad (3.1a)$$

In practice of course (3.1a) is submitted to the so-called remove restore technique and algorithm [1], whereas the global gravity reference EGM96 [13] is used as geopotential reference.

The precise geometric information for the HRS

$$N_G(B, L) = (h - H)_{B,L} \quad (3.1b)$$

remains however unused as additional information in the state of the art of most gravity based geoid computation approaches. So the ideal formula

$$H = h - N_G(B, L) \quad (3.2)$$

fig. 3.1 (b) does not hold for the use of standard HRS in terms of “geoid-model” in GNSS-based heighting. In spite of a however sufficient HRS shape representation in the short wave range, HRS models represented by standard geoid models (3.1a) suffer from medium and long waved systematic shape deflections. The reasons are again a big amount of both types of “weak forms” (chap. 2). Also for locally and short waved precise geoid models, e.g. the EGG97 [1], the “weak-form” deflections reach a “meter range” over large areas e.g. for Europe (fig. 3.3).

Of course the HRS represented by the standard height system H and h (3.1b) is also subjected to “weak-forms” in H and h , but their amount is much smaller. For H they reach only in a “cm” range or a “few cm” range respectively in large areas [5], [15]. For Europe and the EVRS we have a range of 5 cm, see [5]. Consequently “levelled heights” H , which were evaluated from geopotential numbers (levelling and gravity) and the respective precise ellipsoidal heights h are representing by (3.1b) the precise and discrete control points for the long and short-wave domain of the HRS shape, while geoid-models of standard type $N_G(B, L)$ (3.1a) (fig. 3.3) can be used only as observations concerning the HRS shape in the local short wave domain.

An additional reason why (3.2) is not valid, is because of a scale difference Δm occurring between the GPS/GNSS-heights h and the heights H of the standard height system ([2], [3], [18], [19]). One reason for scale inconsistency Δm is, that most existing standard height systems H were not evaluated by the GRS80 normal gravity field $\gamma(B, h)$. Other proved sources for scale effects Δm are occurring due to neglected (hidden) observation correlations and related stochastic weak-forms [5] and different systematic error types in levelling ([5], [10]). All these systematics tend to imply a scale error Δm . So, all in all, the above formula ideal (3.2) has to be modified with respect to “real world conditions”. In classical approaches ([2], [3]) and software packages like HEIDI2©Dinter/Illner/Jäger [3], which use explicitly geoid models $N_G(B, L)$ (3.1a), the relation between GNSS heights h and standards heights H reads:

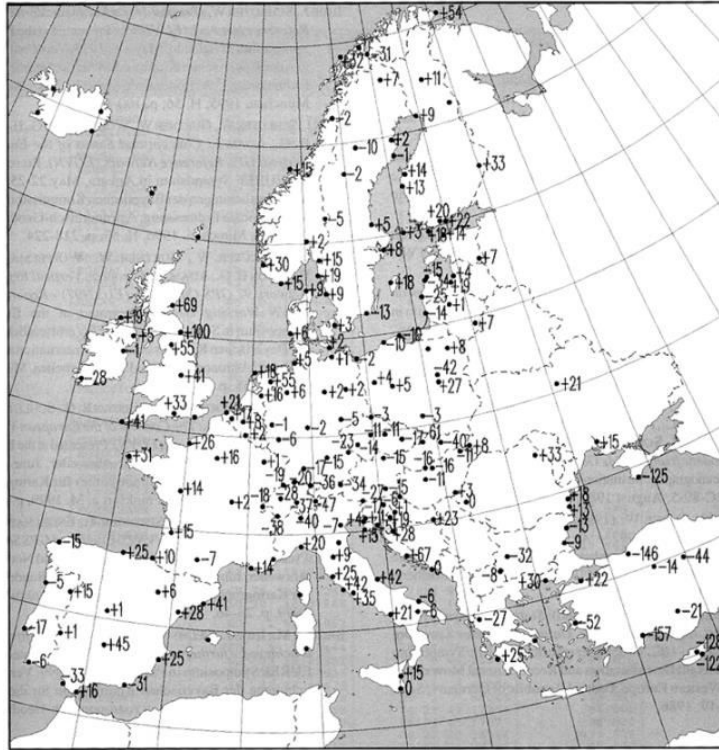


Fig. 3.3.:

Long-waved deflections, to be declared as natural and stochastic “weak-forms” (chap.1), in the (dm – meter) range of the EGG97, which has above these long-waved distortions a cm-accuracy concerning the local shape quality (published in different EUREF series, [20])

$$H = h - \underbrace{(N_G(B,L) + \partial N(\mathbf{d}_{\text{local}}) + \text{NFEM}(\mathbf{p}|B,L))}_{\text{uncontinuous "3 component" HRS}} - \Delta m_{\text{regional}} \cdot H \quad (3.3a)$$

The formula (3.3a) represents the so-called “geoid-refinement approach” [3], [11], [14]. Here the geoid model heights $N_G(B,L)$ are used both as observations and as unknowns. So the geoid-model heights $N_G(B,L)$ become part of the HRS together with additional local datum parts $\partial N(\mathbf{d}_{\text{local}})$, $\mathbf{d}_{\text{local}}^T = [u, v, w, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \Delta m_G]$ and an additional refinement $\text{NFEM}(\mathbf{p}|B,L)$ component.

The refinement part $\text{NFEM}(\mathbf{p}|B,L)$, which is described theoretically in chap. 3.2, is based on the same mathematical concept of a surface representation as in the DFHRS concept. But it has a quite different meaning in the DFHRS concept than in the above classical geoid-refinement approach (3.3a). With respect to the determination of new points in the geoid-refinement approach (3.3a), the final HRS is to be considered as a compound of 3 components – the original and unimproved geoid-model $N_G(B,L)$, the local datum-parts $\partial N(\mathbf{d}_{\text{local}})$ and the refinement $\text{NFEM}(\mathbf{p}|B,L)$. The compound of a three component HRS would be a badly portable and heterogeneous concept for a data base in online GNSS heighting. Therefore the geoid refinement approach (3.3a) is in practice a post-processing solution. Above this, the effect of the local datum-parts $\partial N(\mathbf{d}_{\text{local}})$ of the geoid-model(s) (3.3a) introduced in the total area (3.3a), reading explicitly

$$\begin{aligned}
\partial N_G(\mathbf{d}) = & [\cos(L) \cdot \cos(B)] \cdot u + [\cos(B) \cdot \sin(L)] \cdot v + [\sin(B)] \cdot w \\
& + [e^2 \cdot N(B) \cdot \sin(B) \cdot \cos(B) \cdot \sin(L)] \cdot \varepsilon_x + [-e^2 \cdot N(B) \cdot \sin(B) \cdot \cos(B) \cdot \cos(L)] \cdot \varepsilon_y \\
& + [-N_G] \cdot \Delta m_G
\end{aligned} \tag{3.3b}$$

is not controlled with respect to the continuity of the three-component HRS model at the borders of the local areas. These are some decisive disadvantages of the “geoid refinement” approach (3.3a). The datum part (3.3b), which is also used in (3.6a), is - except the simplified scale part $[-N_G] \cdot \Delta m_G$ of the geoid model N_G - identical with (2.1h).

In the DFHRS approach [11], [16], [17], [18], [21], [22], [23] and the computation of DFHRS_DB [14], [26], [27], [28] for GNSS-based heighting, which are further treated as main subject of chap. 3, however the role of the former three-component HRS model (3.3a) is completely taken over by the one-component HRS model of a Digital Finite Element Height Reference Surface (DFHRS).

In DFHRS modelling the HRS is described continuously by the surface NFEM ($\mathbf{p}|B,L$).

The two-dimensional Finite Element Model (FEM) NFEM ($\mathbf{p}|B,L$) (3.5a) of the HRS takes over the role of the HRS (fig. 3.1; fig. 3.2), and is represented in a continuous way by mesh-wise sets of polynomial parameters $\mathbf{p}$ (3.5b). So we have for the DFHRS concept the following basic relation between the ellipsoidal GNSS height h and the standard height H (fig. 3.1; fig. 3.2):

$$H = h - \underbrace{\text{NFEM}(\mathbf{p} | B, L)}_{\text{Continuous "one-component" HRS}} - \Delta m_{\text{regional}} \cdot H \tag{3.4a}$$

In this way the continuous Finite Element Model NFEM ($\mathbf{p}|B,L$) of the HRS is a two-dimensional function of the plan position (B,L), and is accordingly called the “geoid-part” of the so-called three-dimensional DFHRS correction. The part $\Delta m \cdot h$ is accordingly called the “scale part” of the DFHRS correction.

So three-dimensional DFHRS correction DFHRS (B,L,h) (fig. 3.2), which has to be subtracted from the GNSS height h in order to receive the standard height H , reads in total:

$$H = h - \text{DFHRS}(\mathbf{p}, \Delta m | B, L, h) = h - (\text{NFEM}(\mathbf{p} | B, L) - \Delta m \cdot H) \tag{3.4b}$$

The respective DFHRS data bases (DB) contain - as essential parts for HRS representation and the scale parametrization - the “DFHRS_DB parameters” $\mathbf{p}$ and Δm .

3.2 FEM representation of a Height Reference Surface (DFHRS)

The finite element representation NFEM ($\mathbf{p}|x,y$) is carried by the base functions of bivariate polynomials of degree n , which are set up in regular or irregular meshes. If we describe with $\mathbf{p}^i$ the polynomial coefficients $(a_{00}, a_{10}, a_{01}, a_{20}, a_{11}, a_{02}, \dots)^i$ of the i -th mesh, we have for the height NFEM($\mathbf{p}^i|x,y$) of the HRS over the ellipsoid (fig. 3.1; fig. 3.2) in the i -th mesh:

$$\text{NFEM}(\mathbf{p}^i | x, y) = \mathbf{f}(x(B,L), y(B,L)) \cdot \mathbf{p}^i ; i = 1, m; \text{ with} \tag{3.5a}$$

$$\mathbf{p}^i = (a_{00}, a_{10}, a_{01}, \dots)^i \text{ and } \mathbf{f}(x(B,L), y(B,L)) = (1, x, y, x^2, xy, y^2, \dots) \tag{3.5b), (3.5c)}$$

The vector $\mathbf{f}$ means the so called Vandermond vector and contains the different powers of the coordinates (x,y) according to the polynomial degree n. The total parameter vector $\mathbf{p}$ consists of the coefficient sets $\mathbf{p}^i=(a_{j,k})^i$, ($j=0,n$; $k=0,n$) of all m meshes. The plan position in (3.5a,c) is due to metric ellipsoidal coordinates ($y(B,L)$ ="East" and $x(B,L)$ ="North") introduced e.g. as Mercator or Lambert coordinates, which are in any case functions of the geographical coordinates (B,L).

To imply a continuous surface NFEM($\mathbf{p}|x,y$), one set of continuity conditions of different type $C_{0,1,2}$ has to be set up for the computation of NFEM($\mathbf{p}|x,y$) for each couple of neighbouring meshes (fig. 3.4). The continuity type C_0 implies the same functional values, the continuity type C_1 implies the same tangential planes and the continuity type C_2 the same curvature along common mesh borders of the DFHRS as represented by NFEM($\mathbf{p}|x,y$) (3.5a). The continuity conditions occur as additional observation equations $C(\mathbf{p})=0$ to be added to the parametrization of NFEM($\mathbf{p}|x,y$). The condition equations $C(\mathbf{p})=0$ are related to the polynomial sets of the coefficients $(a_{jk})^m$ and $(a_{jk})^n$ of each couple of neighbouring meshes m and n. To force e.g. C_0 -continuity, the difference $\Delta N_{m,n}$ in the geoid height N_G of any point S at the common border SA–SE of two meshes m and n (see fig. 3.4; fig. 3.8) has to become zero. So the basic condition equation for a polynomial representation of n^{th} degree reads [22]:

$$\Delta N_{m,n} = \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^n \binom{n}{j} \binom{n}{k} (a_{jk,n} - a_{jk,m}) \cdot (y_{SA} + t \cdot (y_{SA} - y_{SE}))^j \cdot (x_{SA} + t \cdot (x_{SA} - x_{SE}))^k = 0 \quad (3.5d)$$

With $(y_{SA}, x_{SA}, y_{SE}, x_{SE})$ we introduce the plan metric coordinates of the nodal points SA and SE of a mesh borderline. Equation (3.5d) represents a polynomial of n -th degree parametrized in the border line parameter t with $t \in [0,1]$. The subset of $(n+1)$ C_0 -continuity condition equations $C(\mathbf{p})=0$ for the border between mesh m and n results in case of C_0 -continuity from (3.5d) by setting all $(n+1)$ coefficients related to t to zero ([22]).

The mesh size and mesh shape for the computation of the NFEM ($\mathbf{p}|x,y$) - representing the so called HRS or "geoid" part (3.3a) of the DFHRS correction and DB content - may be chosen with an arbitrary shape. The best approximation of a HRS by NFEM($\mathbf{p}|x,y$) results of course by introducing small meshes, e.g. in a range of 5 km to keep a 5 mm range for any HRS shape approximation by a polynomial degree up to $n=3$.

A special advantage and characteristic of the NFEM ($\mathbf{p}|x(B,L), y(B,L)$) representation consists in the fact, that the nodal points of the FEM grid are totally independent of the location of the geodetic observations and the geoid data points. In principle any type of HRS and height related observation data can be used for the determination of the parameter vector $\mathbf{p}$ of NFEM($\mathbf{p}|x,y$), namely height observations ($h, H, \Delta H, \Delta h$), the geoid-model heights $N_G(B,L)$, deflections of the vertical (ξ, η) and gravity anomalies Δg (see chap. 3.3).

3.3 Digital FEM Height Reference Surface (DFHRS) Approach and Computation

3.3.1 Mathematical Adjustment Model

The mathematical model of the so-called DFHRS data base production step reads in the system of observation equations (functional model) and the corresponding stochastic models of a least squares adjustment as follows:

Functional Model

Observation Types and Stochastic Models

$h + v = H + h \cdot \Delta m + \mathbf{f}(x, y) \cdot \mathbf{p},$ with $\text{NFEM}(\mathbf{p} x, y) =: \mathbf{f}(x(B, L), y(B, L)) \cdot \mathbf{p}$	Uncorrelated observations of ellipsoidal heights h Covariance matrix $\mathbf{C}_h = \text{diag}(\sigma_{h_i}^2).$	(3.6a)
$N_G(B, L)^j + v = \mathbf{f}(x, y) \cdot \mathbf{p} + \partial N_G(\mathbf{d}^j)$	Correlated geoid height observations. With a given real covariance matrix $\mathbf{C}_{N,G}$ or a $\mathbf{C}_{N,G}$ evaluated from an artificial covariance function.	(3.6b)
$\xi + v = -\mathbf{f}_B / M(B) \cdot \mathbf{p} + \partial B(\mathbf{d}_{\xi, \eta})$	Observations of vertical deflections (η, ξ). Pair wise correlated or uncorrelated among each other in case of astronomical observations. Correlated in case of being taken from a gravity potential model.	(3.6c)
$\eta + v = -\mathbf{f}_L / (N(B) \cdot \cos(B)) \cdot \mathbf{p} + \partial L(\mathbf{d}_{\xi, \eta})$		(3.6d)
$H + v = H$	Uncorrelated standard height H observations with covariance matrix $\mathbf{C}_H = \text{diag}(\sigma_{H_i}^2).$	(3.6e)
$C + v = C(\mathbf{p})$	Continuity condition equations (3.5d) introduced as uncorrelated so-called pseudo observations with accordingly small variances and high weights.	(3.6f)

With $\mathbf{f}_B$ and $\mathbf{f}_L$ we introduce the partial derivatives of the Vandermonde's vector $\mathbf{f}(x(B, L), y(B, L))$ (3.6c) with respect to the geographical coordinates B and L . $M(B)$ and $N(B)$ mean the radius of meridian and normal curvature at a position $P(B, L)$ respectively. The continuity of the resulting HRS NFEM $(\mathbf{p} | x, y) = \mathbf{f}(x, y) \cdot \mathbf{p}$ is automatically provided by the continuity equations $C(\mathbf{p})$ (3.6f).

A number of identical points (h, H) (3.1b) are introduced by the observation equations (3.6a) and (3.6e). In the practice of DFHRS data base evaluation, also one or a number of several geoid models $N_G(B, L)^j$ are used as additional observations to produce DFHRS_DB in the least squares estimation (3.6a-k). To reduce the effect of medium or long waved systematic shape deflections, namely the natural and stochastic “weak-forms” (chap. 2) of geoid models N_G (3.6b) (fig. 3.3), the geoid model heights observations N_G (3.6b) are parted to into a number of so-called “geoid-patches” $N_G(B, L)^j$ (3.6b) (see fig. 3.8). Each patch is set up, with individual datum-parameters $\mathbf{d}^j$, which are introduced by the datum part $\partial N_G(\mathbf{d}^j)$ (3.3b) into (3.6b). It is of course also possible to introduce by $N_G(B, L)^j$ - and a respective parameterization

$\partial N_G(\mathbf{d}^j)$ - (3.6b) several patched or unpatched geoid models in the same area, and of course also geoid models of a different type than the classical ones (3.1a) may be used.

With the classical relations $\xi = -\partial N/\partial s_B$ and $\eta = -\partial N/\partial s_L$ between vertical deflections and the 1st derivatives of the HRS in northern and eastern direction and the NFEM- polynomial representation as a product (see (3.5a-c) and (3.6a)) of Vandermonde's vector $\mathbf{f}$ and the polynomial parameters $\mathbf{p}$ we get :

$$\xi = -\partial N/\partial s_B = -\partial \text{NFEM}/\partial B \cdot \partial B/\partial s_B = -\mathbf{f}(x(B,L), y(B,L))_B \cdot \mathbf{p} \cdot \partial B/\partial s_B, \quad (3-6g)$$

$$\eta = -\partial N/\partial s_L = -\partial \text{NFEM}/\partial L \cdot \partial L/\partial s_L = -\mathbf{f}(x(B,L), y(B,L))_L \cdot \mathbf{p} \cdot \partial L/\partial s_L. \quad (3-6h)$$

For $\partial B/\partial s_B$ and $\partial L/\partial s_L$ we have the classical relations $\partial B/\partial s_B = M(B)$ and $\partial L/\partial s_L = N \cdot \cos(B)$. With $\partial B(\mathbf{d}_{\xi,\eta})$ and $\partial L(\mathbf{d}_{\xi,\eta})$ we describe the datum parts of the type deflections of the vertical $\xi = (\varphi_{\text{astr}} - B)$ and $\eta = (\lambda_{\text{astr}} - L) \cdot \cos B$ respectively. According to these definitions we receive the datum-parts $\partial B(\mathbf{d}_{\xi,\eta})$ and $\partial L(\mathbf{d}_{\xi,\eta})$ by introducing (2.1a) and (2.1b). So it holds that $\partial B(\mathbf{d}_{\xi,\eta}) \equiv -\partial B_1(d)$ (2.1a) and $\partial L(\mathbf{d}_{\xi,\eta}) \equiv -\partial L_1(d) \cdot \cos B$.

Using the vertical deflections (ξ, η) , which were derived from the same geopotential model as the geoid-model N_G , the datum parameter $\mathbf{d}$ are also expected to be the same, and it holds $\mathbf{d}(3.6b) = \mathbf{d}_{\xi,\eta}(3.6c) = \mathbf{d}_{\xi,\eta}(3.6d)$. Otherwise, e.g. for sets of astronomically observed vertical deflections, different groups of datum parameters $\mathbf{d}$ have to be introduced.

Observations from classical geoid models N_G (3.6b) are to be introduced instead of the original gravity observations Δg , which had been introduced for the computation of N_G . In this case the correlated geoid models observations N_G (3.6b) and original gravity observations Δg lead to identical results for the HRS by the parameters $\mathbf{p}$ ([22], [23]). So the use of observation type N_G (3.6b) allows a more elegant and easier data treatment than by the use of the original gravity anomalies Δg (3.6i). Consequently observation equations for gravity observations Δg need to be set up in the DFHRS approach (3.6a-k), only if additional gravity observations Δg occur, which have not yet been used for the former computation of a geoid model N_G (3.6b).

Functional Model

$$\frac{a}{4\pi \cdot \gamma(B)} \iint_{\sigma} \Delta g \cdot S(\psi) \cdot d\sigma + v = \mathbf{f}(x, y) \cdot \mathbf{p} \\ = \text{NFEM}(\mathbf{p} | x, y)$$

Observation Types and Stochastic Model

Vector of reduced gravity anomalies Δg introduced with covariance matrix C_g into Stokes formula. The gravity anomalies Δg in this way determine the DFHRS with parameters $\mathbf{p}$ at position $(x(B,L), y(B,L))$.

The integration of gravity observations g is done by the functional model (3.6j). The gravity observation g is represented in the local astronomical vertical system by the vector $\mathbf{g}^{\text{LAV}} = [0, 0, -g]^T$. It is reduced due to vertical deflections ("topography") and then rotated to the system referring to the pole (φ_0, λ_0) of a local spherical cap harmonics (SCH) representation ([34], [35]).

Functional Model**Observation Types and Stochastic Model**

$$\mathbf{g} + v_g = \mathbf{g}(\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm} | \lambda', \nu') \quad \text{Gravity vector taken from original gravity measurement vectors } \mathbf{g}^{\text{LAV}} = [0, 0, -g]^T \text{ in the local astronomical vertical system (LAV), reduced for vertical deflections and transformed to the SCH-system referring to } (\varphi_0, \lambda_0). \quad (3.6j)$$

With (λ', ν') we introduce the local azimuth-coordinates referring to the SCH-pole (φ_0, λ_0) . Besides (3.6j) existing geopotential models, e.g. EGM96, are to be introduced direct as observations for the regional SCH-parameterization $\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$. Eventually a datum parameterization has to be considered here. The advantage of a regional SCH-parameterization - compared to the standard of a global spherical representation - is, that for a sub-cm resolution a SCH-order of $n=m=25$ is sufficient for an area-size of (100 km x 100 km) compared to $n=m=7000$ for the usual global spherical harmonics parameterization with $\varphi_0 = 90^\circ$ [34]. So the number of unknowns is to be reduced essentially. The SCH-parameters $\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ (3.6j) are regarded within the DFHRS-concept (3.6a-k) only as auxiliary unknowns, while the NFEM-parameters $\mathbf{p}$ are the main unknowns. By the condition equations (3.6k) – introduced as pseudo observations with a high weight - the SCH-parameters $\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ (3.6j) are related again to the NFEM parameters $\mathbf{p}$ of the DFHRS-approach, see [34].

Functional Model**Observation Types and Stochastic Model**

$$0 + v_{\Delta N} =$$

$$\frac{GM}{a\gamma} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} \sum_{m=0}^n (\delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda' + \delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda') \cdot \bar{P}_{nm}(\cos \nu') - \mathbf{f} \cdot \mathbf{p}$$

Condition equations
 “HRS from N(SCH) = NFEM(p)” as uncorrelated pseudo observations with small variances and high weights. (3.6k)

The approach (3.6a-k) means all in all a new method and standard (fig. 4.1, fig. 4.2), both for the over-determined boundary value problem (geoid-determination), and for the solution of a direct and online GPS/DGNSS-heighting (fig. 3.1, fig. 3. 2) by the use of DFHRS databases and the respective DFHRS correction (3.4b).

3.3.2 DFHRS Software and Quality Control in DFHRS_DB Computation

The DFHRS approach (3.6a-k) has been realized in the software DFHBF©Jäger/Schneid/Schwarzer. There the mathematical model of the DFHRS approach (6a-i) is embedded in the quality control standards of a priori and a posteriori variance related tests (data snooping) and variance component estimations.

The covariance matrix of the resulting DFHRS_DB parameters ($\mathbf{p}, \Delta m$) can be used to compute and visualize the precision of the HRS and/or DFHRS correction surface (fig. 3.5).

An additional and valuable way to prove the “external accuracy” of the DFHRS_DB is to compute a so-called “reproduction quality” and point-wise reproduction values [16], [17], [18].

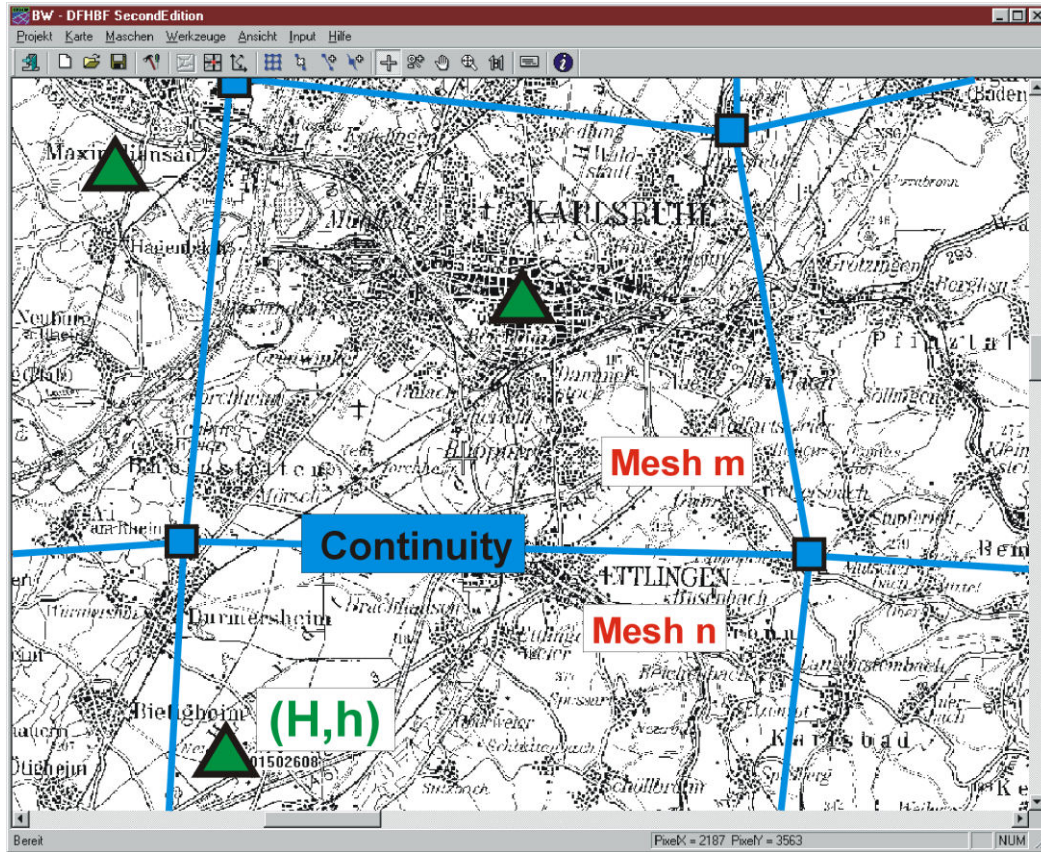


Fig. 3.4:

Screen shot of the DFHRS software. Continuity of the resulting HRS along the mesh borders of two general meshes m and n is provided by the continuity equations (3.6f). Identical points (3.1b) in green.

The “reproduction quality” and a number of n resulting “reproduction values ∇H_i ” - all over the DFHRS area - are simply defined by the values of differences:

$$\nabla H_i = H_i - H_i(\text{DFHRS}_i (= \text{without } H_i)), \text{ with} \quad (3.7a)$$

$$H_i(\text{DFHRS}_i) = h_i - \text{DFHRS}_i(\mathbf{p}, \Delta m | (B, L, h)_i)$$

For this quality proof no explicit “control measurements” are needed. We just have to compute successively the “DFHRS-height” $H(B, L, h, \text{DFHRS})_i$ of each of the n identical standard height points H_i from h_i , when using the individual data base DFHRS_i , where H_i was excluded from the respective DFHRS_DB production (3.6a-k) (“new point”), which was then evaluated with the rest of the (n-1) points.

The “reproduction values” ∇H_i are much more objective and informative than the pure least squares residuals v_i (3.6e). The reproduction values ∇H_i are to be com-

puted in the unique DFHRS production step (3.6a-k) of the DFHRS adjustment. The respective formula reads:

$$\nabla H_i = - \frac{v_{H_i}}{r_i} \quad (3.7b)$$

With v_{H_i} and r_i we describe the correction and the redundancy part of H_i in equation (3.6e).

The above reproduction values (3.7a, b) are however only directly interpretable as a quality measure, if they are applied to the part of the high accurate identical points (h, H).

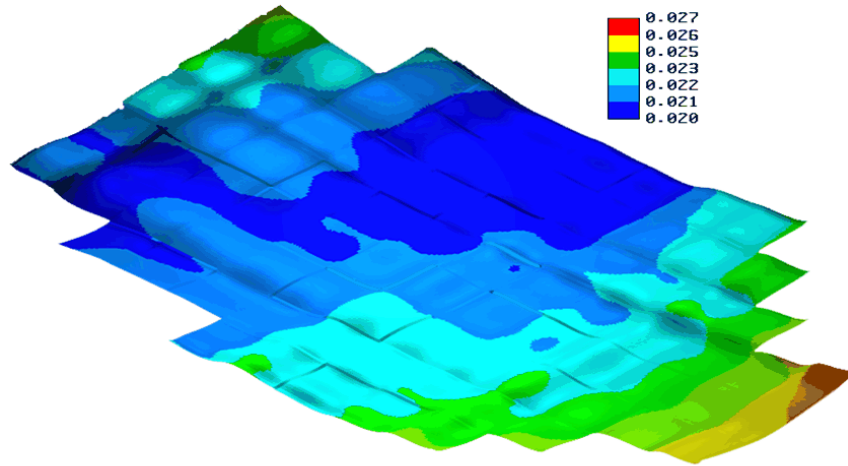


Fig. 3.5:

Precision surface of the (2-3)cm DFHRS of the district Windhuk, Namibia [24], [25]

A general measure for the precision of a DFHRS_DB and the resulting DFHRS-correction (3.4b) is however the location-depended so-called “precision surface” (fig. 3.5), which can be evaluated from the covariance-matrix of the relevant DFHRS_DB parameters ($\mathbf{p}$, Δm).

3.4 DFHRS_DB Contents and DB Access Software

The essential adjustment unknowns of the mathematical model (3.6a-k) and parameters of resulting DFHRS_DB are $\mathbf{p}$ and Δm . These represent the continuous model NFEM ($\mathbf{p}|x(B,L),y(B,L)$) of the HRS (fig. 3.1; fig. 3.2; fig. 3.7, fig. 3.8) and enable an additional scale correction $\Delta m \cdot H$. So these parameters provide the DFHRS correction $DFHRS(\mathbf{p}, \Delta m | B, L, h)$ (3.4b) for an online or post-processed GNSS heighting.

Below the header (version name etc.), a DFHRS_DB contains a second block with the mesh design (coordinates of the mesh nodal points, mesh number and topological description) and finally the block with the mesh-wise parameter sets $\mathbf{p}$ and Δm .

3.5 Evaluation of the European HRS as part of the European Vertical Reference System (EVRS)

3.5.1 Preliminary Notes

An essential and very precious characteristic of the embedded FEM principle is, that any DFHRS_DB and its reproduction quality (3.7a, b) respectively, which was achieved by using the DFHRS approach (3.6a-k) in a small area, is to be achieved - without loss of accuracy - in a corresponding large area scene, only provided that the density of the identical points (H, h) and the quality of the geoid information N_G are kept!

So it is clear, that a 1st class of

– “<_1cm_DFHRS_DB”

defined by a mean reproduction value $\nabla H_i \leq 1\text{cm}$ (3.7a,b) over all precise and not rejected identical points (3.1b), (3.6a), (3.6e) and a respective “precision surface” (fig. 3.5) better than 1 cm - is to be computed by the DFHRS approach and the DFHRS software with a mesh size of 5 km, a density of about 50 identical points (H, h) per (100 km x 100 km) area, and a (30 - 40) km geoid-model “patch” size.

Above these design parameters, the total size of the area does not play any role, so that this quality can be produced also e.g. in the European scale! Different “<1_cm_DFHBF_DB”, which represent the present “high end” quality type, have already been computed [18]. They are available as official geo-data products of different German state land service departments (Saarland, Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Bayern and Hannover district) [19], and they are used in SAPOS® and ascos® GNSS services in these parts of Germany (fig. 3.6).

Above these German countries presented in fig. 3.6, another “1_cm_DFHRS_DB” was computed for the region of Tallinn, Estonia, and a (2-3)_cm DFHRS_BD was computed for the district of Windhoek, Namibia [24], [25] based on the EGM96 [13], (fig. 3.5).



Fig. 3.6:

Existing “1_cm_DFHRS_DB” in the German countries Saarland, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Hessen, Bavaria and Hannover district (orange) and those, which are planned (green).

The 2nd quality class of a

– “<_3cm_DFHRS_DB”

is defined by mean reproduction value $\nabla H_i \leq 3\text{ cm}$ (3.7a,b) over all precise and not rejected identical points, and a respective “precision surface” (fig. 3.5) better than 3 cm. A “<_3cm_DFHRS_DB Germany” was evaluated by a density of less than 10 identical points (H, h) per (100 km x 100 km) area, a mesh size of 10 km, and a polynomial degree $n=3$.



Fig. 3.7:

Isolines of the HRS represented by the “3_cm_DFHRS_DB Germany” for the European normal height system.

The number of patches was 102 and the patch size was about 50 km. Fig. 3.7 above shows the isolines of the corresponding HRS (fig. 3.1; fig. 3.2) NFEM($\mathbf{p}|\mathbf{B},\mathbf{L}$) of the “<_3_cm_DFHRS_DB Germany”. It is already related to the new European normal height system. For the former West Germany another “<_3_cm_DFHRS_DB Germany” related to the classical NN-height system was computed additionally. The “<_3_cm_DFHRS_DB” is applied for GNSS online and post-processing heighting by the users of SAPOS® and ascos® DGNSS services [26], [27], [28]. Above the “3_cm_DFHRS_DB Germany” a “5_cm_DFHRS_DB Valencia” (fig. 3.8) was computed for the district of Valencia, Spain [30]. A closed and continuous solution of a “(1-3)_cm_DFHRS_DB Baltic States” (fig. 3.8) was computed for the Baltic States Estonia, Latvia and Lithuania in the frame of a cooperation with the State Land Service of Latvia, Riga [29], and a “(2-3)_cm_DFHRS_DB Windhoek” was computed for the district of Windhoek, Namibia [24], [25] based on the EGM96 [13], (fig. 3.5).

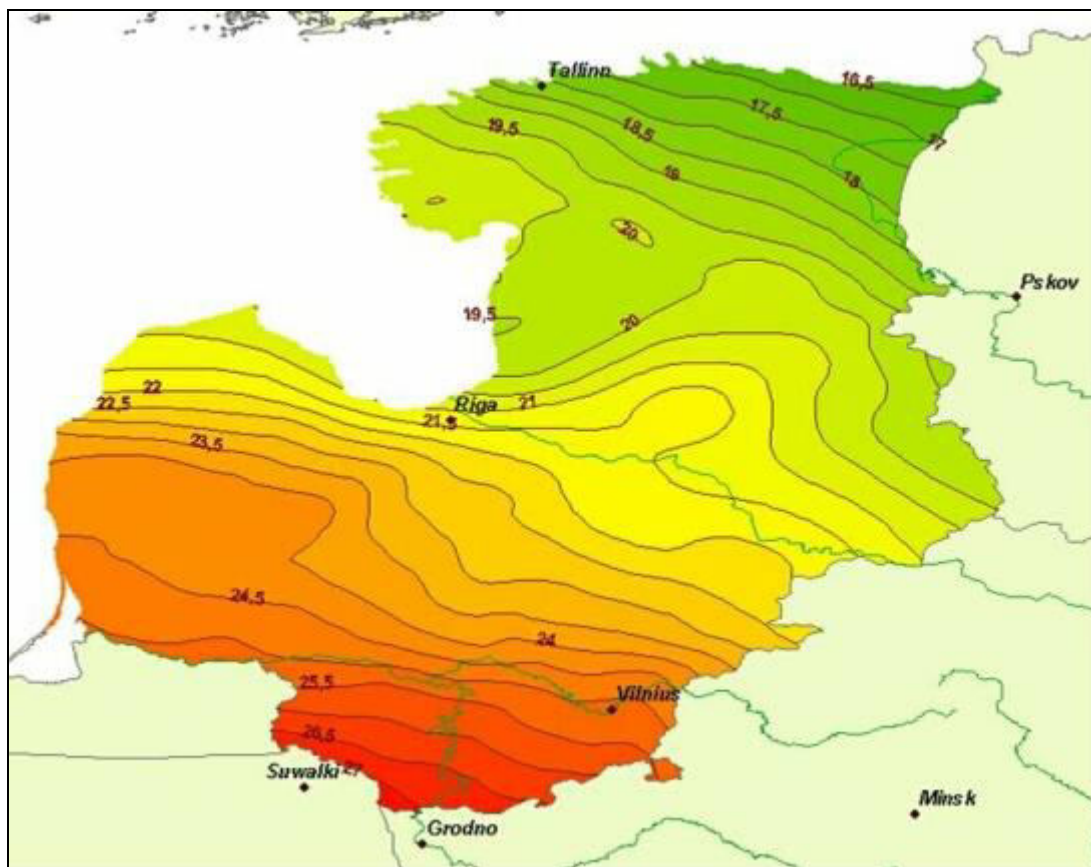


Fig. 3.8: Isolines of the HRS represented by the “(1-3)_cm_DFHRs_DB Baltic States”

Figure 3.9 shows an overview on all DFHRs_DB computed all over Europe including the different above mentioned DB for the different states.

The IAG Subcommission for Europe (EUREF) has met the decision to evaluate a continuous “<_10_cm European HRS”. This means an essential improvement of the HRS accuracy compared to the presently best European HRS, namely the EGG97 [1]. The EGG97 is continuous all over Europe, but it shows a high range of long-waved “weak-form” (chap. 1) deflections as shown in fig. 3.3. The respective EUREF Resolution No. 4, met on EUREF-Symposium at Dubrovnik, 2001 reads:

The IAG Subcommission for Europe (EUREF) recognising the European Vertical GPS Reference Network (EUVN) with its GPS-derived ellipsoidal heights and levelled connections to UELN, – the definition of the European Vertical Reference System EVRS with its first realisation UELN 95/98, called EVRF2000, considering – this implicit pointwise realisation of a European geoid consistent with both ETRS89 and EVRS, – the existence of a large number of regional and local geoids in Europe, – the urgent need by the navigation community for a height reference surface, asks its Technical Working Group and the European Sub-commission of the IAG IGGC (International Gravity and Geoid Commission) to take all necessary steps to generate a European geoid model of decimetre accuracy consistent with ETRS89 and EVRS.

The required

- “<_1_dm DFHRs_DB Europe”

(fig. 3.9, green colour) was computed in a short-term project at the Karlsruhe University of Applied Sciences by using the DFHRS concept (3.6a-k) and the DFHRS software [31].

Besides the computation of DFHRS_DB for Europe and the European states [32] a

– “< 5_cm DFHRS_DB for Florida, USA” ,

was computed in 2005 in the frame of a master-thesis at the Karlsruhe University of Applied Sciences (fig. 3.10a,b). For further information it is referred to the DFHRS homepage www.dfhbf.de [27].

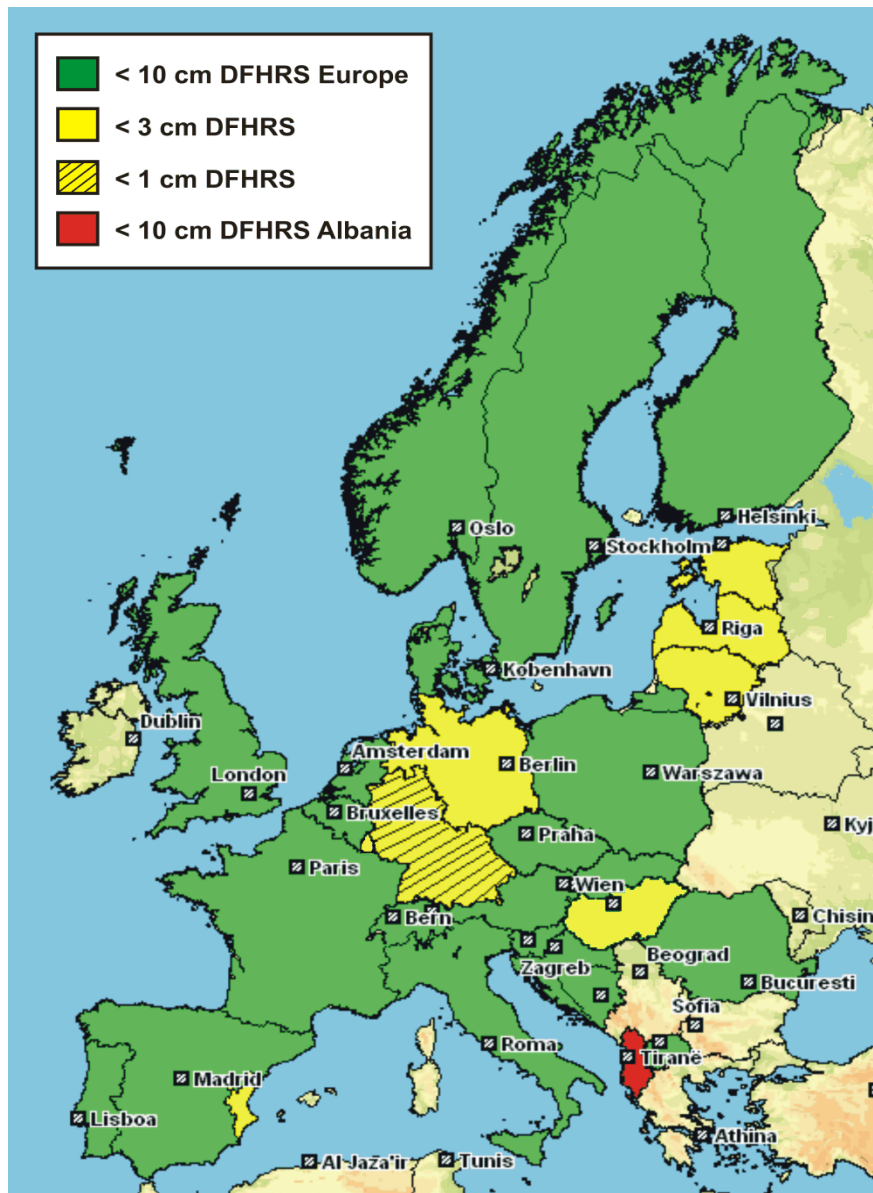


Fig. 3.9:
Overview on DFHRS_DB computed all over Europe

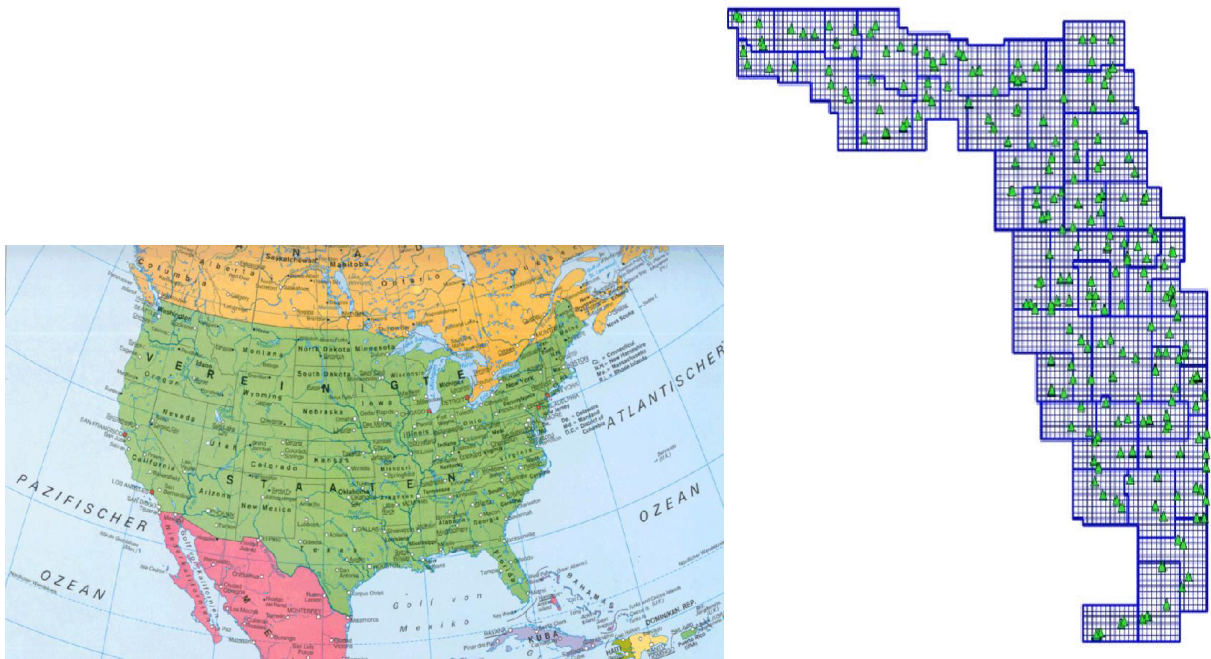


Fig. 3.10 (a, b):

USA map (right) and meshing (left) for the < 5 cm DHRS_DB Florida, which was computed in the frame of a master-thesis at the HS Karlsruhe.

4 STANDARDISATION OF DFLBF/COPAG AND DFHRS DATA BASES

For the implementation of a DFLBF/CoPaG and a DFRHS_DB access respectively into existing software packages (fig. 4.1, fig. 4.2), DFLBF/CoPaG and DFHRS_DB access software have been realized as DLL (Dynamics Link Library) [27], [28]. The DLL is also running in the so-called grid-factories of different GNSS-companies.



Fig. 4.1:

DFLBF/CoPaG and DFHRS access realized in Trimble Survey Manager Software (left; www.trimble.com) and in the controller of Leica-geosystems (right;



Fig. 4.2:

DFLBF/CoPaG and DFHRS access realized in the GNSS controller-software TopSURV of TOPCON (www.topcon.de) and by Thales Navigation (www.thales-navigation.com).

The growing acceptance and the different implementations of the DFLBF/CoPaG and DFHRS database standard into different GNSS equipments and software packages of the GNSS industry are shown in fig. 4.1 and fig. 4.2. That list of DFLBF/DFHBF database access-DLL implementation can be continued with respect to companies, that companies develop own surveying-software with GNSS- and totalstations-interfaces for electronic field-books, e.g. GeoSamos (www.breining.de), Gart2000 (www.allsat.de). Besides the GNSS domain, the DB and DB access software is used and implemented into different GIS software packages. For details it is referred to [27] and [28].

Finally it is mentioned, that the DFHRS_DB and DFLBF_DB can be converted consistently and directly into the new RTCM 3.0 so- called transformation messages 1022-1028 [33].

5 REFERENCES

1. Denker, H. and W. Torge (1997): The European Gravimetric Quasigeoid EGG97 – An IAG supported continental enterprise. In: Geodesy on the Move – Gravity Geoid, Geodynamics, and Antartica. R. Forsberg, M. Feissel, R. Dietrich (eds.). IAG Symposium Proceedings Vol. 119, Springer, Berlin Heidelberg New York: 249-254.
2. Dinter, G. and M. Illner (2001): Höhenbestimmung mit GPS am Beispiel von Pilotprojekten aus Baden-Württemberg. DVW Schriftenreihe (41). Wittwer-Verlag. ISBN 3879192766. S. 88 - 110.
3. Dinter, G.; Illner, M. and R. Jäger (1997): A synergetic approach for the integration of GPS heights into standard height systems and for the quality control and refinement of geoid mod-

els. In: Veröffentlichungen der Internationalen Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (57). IAG Subcommission for Europe Symposium EUREF, Ankara 1996. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München.

4. Jäger, R. (1988): Analyse und Optimierung geodätischer Netze nach spektralen Kriterien und mechanische Analogien. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, No. 342, München.

5. Jäger, R. (1990a): Spectral Analysis of Relative and Supported Geodetic Levelling Networks due to Random and Systematic Errors. 'Precise Vertical Positioning'. Invited Paper to the Hannover Workshop of October 08-12, 1990.

6. Jäger, R. (1990b): Optimum Positions for GPS-points and Supporting Fix-points in Geodetic Networks. In: Ivan I. Mueller (ed.) International Association of Geodesy Symposia. Symposium No. 102: Global Positioning System: An Overview, Edinburgh/Scotland, Aug. 7-8, 1989. Convened and edited by Y. Bock and N. Leppard, Springer: 254-261.

7. Jäger, R. and H. Kaltenbach (1990): Spectral analysis and optimization of geodetic networks based on eigenvalues and eigenfunctions. Manuscripta Geodetica (15), Springer Verlag. S. 302-311.

8. Jäger, R. (1999): State of the art and present developments of a general approach for GPS-based height determination. In (M. Lilje, ed.): Proceedings of the Symposium Geodesy and Surveying in the Future - The importance of Heights, March 15-17, 1999. Gävle/Schweden Reports in Geodesy and Geographical Informations Systems, LMV-Rapport 1999(3). Gävle, Schweden. ISSN 0280-5731: 161-174.

9. Jäger, R. und S. Kälber (2000): Konzepte und Softwareentwicklungen für aktuelle Aufgabenstellungen für GPS und Landesvermessung. DVW Mitteilungen, Landesverein Baden-Württemberg. 10/2000. ISSN 0940-2942.

10. Jäger, R. and S. Leinen (1992): Spectral Analysis of GPS-Networks and Processing Strategies due to Random and Systematic Errors. In: Defense Mapping Agency and Ohio State University (Eds.) Proceedings of the Sixth International Symposium on Satellite Positioning, Columbus/Ohio (USA), 16-20 March. Vol. (2), p. 530-539.

11. Jäger, R. and S. Schneid (2001a): GPS-Höhenbestimmung mittels Digitaler Finite-Elemente Höhenbezugsfläche (DFHBF) - das Online-Konzept für DGPS-Positionierungsdienste. XI. Internationale Geodätische Woche in Obergurgl/Österreich, Februar 2001. Institutsmitteilungen, Heft Nr. 19, Institut für Geodäsie der Universität Innsbruck: 195-200

12. Jäger, R. and S. Schneid (2001b): Online and Postprocessed GPS-heighting based on the Concept of a Digital Height Reference Surface. Proceedings, IAG Subcommission for Europe Symposium EUREF, Dubrovnik 2001. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BEK) (Eds.) Frankfurt.

13. Lemoine, F.; S. Kenyon; J. Factor; R. Trimmer, N. Pavlis; D. Chinn; M. Cox; S. Klosko; S. Luthcke; M. Torrence; Y. Wang; R. Williamson; E. Pavlis; R. Rapp and T. Olson (1998): The development of the Joint NASA GSFC and NIMA Geopotential Model EGM96. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 20771, USA.

14. Meichle, H. (2001): Digitale Finite Element Höhenbezugsfläche (DFHBF) für Baden-Württemberg. DVW Mitteilungen, Heft 2. DVW Landesverein Baden-Württemberg. ISSN 0940-2942. S. 23-31.

15. Schmitt, G. (1997): Spectral Analysis and Optimization of two dimensional networks. Geomatics Research Australasia (67): 47-64.

16. Schneid, S. (2002): Software Development and DFHRS computations for several countries. J. Kaminskis and R. Jäger (Eds.): Proceedings of the 1st Common Baltic Symposium, GPS-Heighting based on the Concept of a Digital Height Reference Surface (DFHRS) and Related Topics - GPS-Heighting and Nationwide Permanent GPS Reference Systems. Riga, June 11, 2001; Riga, Latvia.

17. Jäger, R. (2002): Online and Postprocessed GPS-heighting based on the Concept of a Digital Finite Element Height Reference Surface (DFHRS). J. Kaminskis and R. Jäger (Eds.): Proceedings of the 1st Common Baltic Symposium, GPS-Heighting based on the Concept of a Digital

Height Reference Surface (DFHRS) and Related Topics - GPS-Heighting and Nationwide Permanent GPS Reference Systems. Riga, June 11, 2001; Riga, Latvia.

18. Jäger, R. and S. Schneid (2002): Passpunktfreie direkte Höhenbestimmung – ein Konzept für Positionierungsdienste wie SAPOS®. Proceedings 4. SAPOS® Symposium, 21.-23. Mai 2002. Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN) (Hrsg.). LGN, Hannover. S. 149-166.

19. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (2002): Neue Projekte und Produkte mit Kunden- und Praxisbezug im Landesbetrieb Vermessung. Festschrift „50 Jahre Baden-Württemberg – 50 Jahre Hightech-Vermessungsland. 150 Jahre Badische Katastervermessung“. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.). S. 39-50.

20. Ihde, J. and W. Augath (2000): European Vertical Reference System (EVRS). In: Veröffentlichungen der Internationalen Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (61). IAG Subcommission for Europe Symposium EUREF, Tromsø 2000. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München. S. 101 ff.

21. Jäger, R. (1998): Ein Konzept zur selektiven Höhenbestimmung für SAPOS. Beitrag zum 1. SAPOS-Symposium. Hamburg 11./12. Mai 1998. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), Amt für Geoinformation und Vermessung, Hamburg. S. 131-142.

22. Jäger, R. and S. Schneid (2002): Online and Postprocessed GPS-Heighting based on the Concept of a Digital Height Reference Surface. Contribution to IAG International Symposium on Vertical Reference Systems, February 2001, Cartagena, Columbia. In: H. Drewes, A.H. Dodson, L. P. Fortes, L. Sanches, P. Sandoval (Eds.). International Association of Geodesy Symposia. Symposium No. 124: 'Vertical Reference Systems', Cartagena, Colombia, February 20-23, 2001. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. ISBN 3-540-43011-3. S. 203-208.

23. Jäger, R. und S. Schneid (2002): GNSS Online Heighting based on the Concept of a Digital Finite Element Height Reference Surface (DFHRS) and the Evaluation of the European HRS. Proceedings, GNSS 2002 Symposium. CD-ROM Publication The Nordic Institute of Navigation, Copenhagen.

24. Jäger, R.; Volkmann, W.E.; Niethammer, S.; Christmann, I. and A. Schick (1999): NAM97-Report – Calculation of a Zero Order ITRF based Reference Network for Namibia. Republic of Namibia, Ministry of Lands, Resettlement and Rehabilitation, Directorate of Survey and Mapping (ed.). 26 pages.

25. Jäger, R. (2003): Realisierung eines dreidimensionalen hochgenauen ITRF-Referenzsystems zur satellitengestützten GNSS-Positionierung in Namibia. (Fachhochschule Karlsruhe, Hrsg.): Forschungsberichte der Fachhochschule Karlsruhe – University of Applied Sciences.

26. Jäger, R., Kälber, S., Schneid, S. und S. Seiler (2003): Konzepte und Realisierungen von Datenbanken zur hochgenauen Transformation zwischen klassischen Landessystemen und ITRF/ETRS89 im aktuellen GIS- und GNSS-Anwendungsprofil. (Chesi/Weinold, Hrsg.): 12. Internationale Geodätische Woche Obergurgl, 2003 Wichmann Verlag, Heidelberg. ISBN 3-87907-401-1. S. 207-211.

27. Jäger, R. and S. Schneid (2002-2003): www.dfhbf.de. DFHBF Homepage.

28. Seiler, S. (2000-2003): www.ib-seiler.de. IBS-Homepage.

29. Lace, L. and J. Kaminskis (2003): DGPS service / DGPS – heighting in Latvia and all Baltic States based on DFHRS. Proceedings 2nd Common Baltic Symposium “GPS-Heighting based on the Concept of a Digital Height Reference Surface (DFHRS) and Related Topics - GPS Heighting and National-wide Permanent GPS Reference Systems”, Riga 12-13 June 2003. State Land Service of Latvia, Riga.

30. Jäger, R., Schneid, S., Garcia Villa Major, L. Garrigues Talens, P. and L. Pascual Llorens (2003): Precise Plan Transformation of Classical National Networks to ITRF/ETRS89 and Precise Vertical Reference Surface Representation by Digital FEM Height Reference Surfaces (DFHRS) - Concepts, Databases, Present Developments and Realisation of a 5 cm DFHRS-Database District of

Valencia, Spain. Symposium, IAG Subcommission for Europe, Toledo, June 2003. EUREF Publication No. 12. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main.

31. Jäger, R. and S. Schneid (2004): A Decimetre Height Reference Surface (HRS) for the European Vertical Reference System (EVRS) based on the DFHRS Concept. Contribution to IAG Subcommission for Europe Symposium EUREF 2004, Bratislava, Slovakia. EUREF-Mitteilungen. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), Heft 14, Frankfurt. In Press.

32. Jäger, R.; Kälber, S.; Schneid, S; Qeleshi, G.; Nurce, B. and Cekrezi, I. (2004): Realization of CoPaG/DFLBF and DFHRS Databases for Albania. Contribution to IAG Subcommission for Europe Symposium EUREF 2004, Bratislava, Slovakia. EUREF-Mitteilungen. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), Heft 14, Frankfurt. In Press.

33. Jäger, R. (2006): GNSS-basierte Höhen- und Lagebestimmung auf der Basis der neuen RTCM3.0-Transformationsmessage. Geomatik aktuell 2006. Seminar-Teilnehmer-Skript. Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Karlsruhe.

34. Jäger, R. und S. Schneid (2006): DFHBF (Digitale FEM Höhenbezugsfläche) - Ein allgemeines Konzept zur Berechnung und Repräsentation hochpräziser Höhenbezugsflächen. Seminar-Teilnehmer-Skript. Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Karlsruhe.

35. Thébault, E., J. Schott and M. Mande (2006): Revised spherical cap harmonic analysis (R-SCHA): Validation and properties, Journal of Geophysical Research (111).

36. Jäger, R. and S. Kälber (2003-2006): www.geozilla.de. GeoZilla Homepage.

© R. Jäger, S. Kälber, 2006

GNSS/GPS/LPS BASED ONLINE CONTROL AND ALARM SYSTEM (GOCA) MATHEMATICAL MODELS AND TECHNICAL REALISATION OF A SYSTEM FOR NATURAL AND GEOTECHNICAL DEFORMATION MONITORING AND ANALYSIS

Интерактивная система контроля и оповещения - GOCA с применением GPS/GNSS/LPS. Математические модели и техническая реализация системы для мониторинга за техногенными и геотехническими деформациями и анализа

Abstract: The real-time mobile or permanent multi-sensor system GOCA (GNSS/LPS/LS based Online Control and Alarm System) applies GNSS, terrestrial local positioning sensors (LPS), such as e.g. total stations and leveling instruments, and additionally local sensor (LS), such as e.g. strain-sensors or inclinometers, for a deformation monitoring and analysis. GOCA may be set up as an early-warning-system for natural hazards e.g. landslides, for the monitoring of geotechnical structures, e.g. mining and tunneling activities, and for constructions and buildings monitoring, e.g. dams. The GOCA system consists of GNSS, LPS and LS sensors, which are set up in the monitoring area as a permanent array or as a mobile monitoring system, and the GOCA software components. The first software component is the so-called GOCA hardware-control and communication module, which collects the GNSS, LPS and LS data. Presently the hardware-control and communication software DC3©DrBertges and MONITOR©GeoNav_Trimble are available. They provide the sampled sensor data in a well-defined data-interface format, the so-called GKA format, and provide it to the second software component, the GOCA deformation-analysis software. The GOCA deformation-analysis software is responsible for the further processing of the GNSS- and LPS-data in a three steps sequential adjustment procedure. The 1st step initializes the monitoring reference frame – the coordinates and covariance matrix – consisting of stable reference points. The 2nd and 3rd step comprise the geo-referencing of the three-dimensional object-point coordinates in the reference frame, and the simultaneous deformation analysis. Both least squares and robust techniques (L1-norm and M-estimators) are applied. The deformation analysis step comprises an online-displacement estimation and a Kalman-filtering for the estimation of the object-point state vector of displacements, velocities and accelerations, and additional statistical testing and alarm settings. With respect to the deformation monitoring in geo-techniques and structures the further development of the mathematical model deals with the integration of both, additional parameters (e.g. material parameters, safety-critical damage models) as well as of further, so-called local sensors (e.g. strain-/ stress-sensors), by means of a so-called system analysis. Respective FEM-based approaches for static and dynamic processes and the integration of the approaches are treated in the GOCA system context. The mathematical model of the FEM based system analysis approach is appropriate for the evaluation of

an optimal sensor configuration on leading the model back to the classical 1st and 2nd order design problem of geodetic network optimization.

1. Introduction

The sensor hardware of the GOCA system may consist of GNSS sensors, terrestrial local positioning sensors (LPS), such as e.g. total stations and leveling instruments and additionally local sensors (LS), such as e.g. strain and stress sensors. As concerns the use of the GOCA-system in practice it is referred to [1], [4], [5], [6], [8], [9] and www.goca.info. The GNSS and LPS sensor data are provided by a hardware-control- and communication module and a respective data interface. The observations derived from that data are used in order to set up a classical geodetic deformation network, as defined in [15] in terms of a permanent online adjustment. A classical geodetic deformation network consists of a stable reference frame $\mathbf{x}_R$, which is set up by the adjusted coordinates of the reference points and moving object-point positions $\mathbf{x}_O(t)$ (fig. 1). This is done in the subsequent 1st and 2nd adjustment step by the GOCA deformation analysis software. By fulfilling the tasks of a classical so-called deformation network the GOCA deformation analysis software gives its first priority to use the adjusted time series $\mathbf{x}_O(t)$ for a further estimation of the state vectors of the three-dimensional displacement, velocity and acceleration $\mathbf{u}_O(t)$, $\dot{\mathbf{u}}_O(t)$ and $\ddot{\mathbf{u}}_O(t)$ of the object points in the deformation analysis, as the 3rd step of the GOCA deformation analysis software. Here the online displacement estimation and the Kalman-filtering are based on least squares or robust estimation procedures, and they are the most relevant and powerful deformation process estimators of the object-point position series $\mathbf{x}_O(t)$ based on GNSS and LPS sensor data.

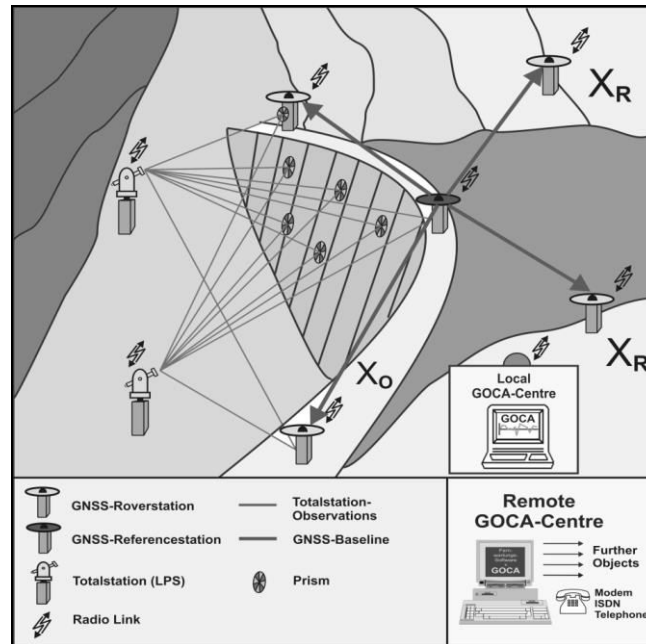


Figure.1: A classical deformation network (stable reference points $\mathbf{x}_R$ and moving object points $\mathbf{x}_O(t)$ set up online by using GNSS and LPS sensor data in the GOCA system. With the GOCA software several local objects can be monitored simultaneously in a unified reference frame.

The observation data $\mathbf{l}(t)$ of the different LS sensor types can also be treated within the displacement-estimation and Kalman-filtering in the 3rd deformation analysis step. In that case the displacement, velocity and acceleration quantities are directly related to the state vector of the sensor data $\mathbf{l}(t)$, e.g. the local inclinations. The system analysis related deformation analysis however is appropriate to lead all sensor data (GNSS, LPS and LS) back to a common parametric adjustment model, which contains both the displacement information $\mathbf{u}$ as well as additionally the physical parameters $\mathbf{p}$ of an object.

2. Data flow and deformation analysis processing steps in the GOCA system

The data flow and data interfaces of GOCA system are shown in fig. 2. The hardware-control and -communication software is responsible for the sensor control and data communication in the sensor array of a GOCA-system. The selection of the sensor types depends on the dynamics and amplitude of the expected object point changes $\mathbf{x}_O(t)$ in time t . In accordance with the sampling theorem a sampling rate is chosen, which corresponds to the required deformation spectrum. The questions of sampling, re-sampling and discretization are regarded in [2]. The hardware-control-software finally provides the sensor observations with a time stamp on every dataset in the well-defined and open GKA data format [14], which is similar to NMEA. The GKA data is organized in different sensor message types. The structure of the GKA-data messages is adapted to the GNSS baseline- and session output, the LPS data standard observables (zenith angles, slope distances, directions, leveled height differences), and the output of different types of local sensors (LS), e.g. strain- and stress-sensors.

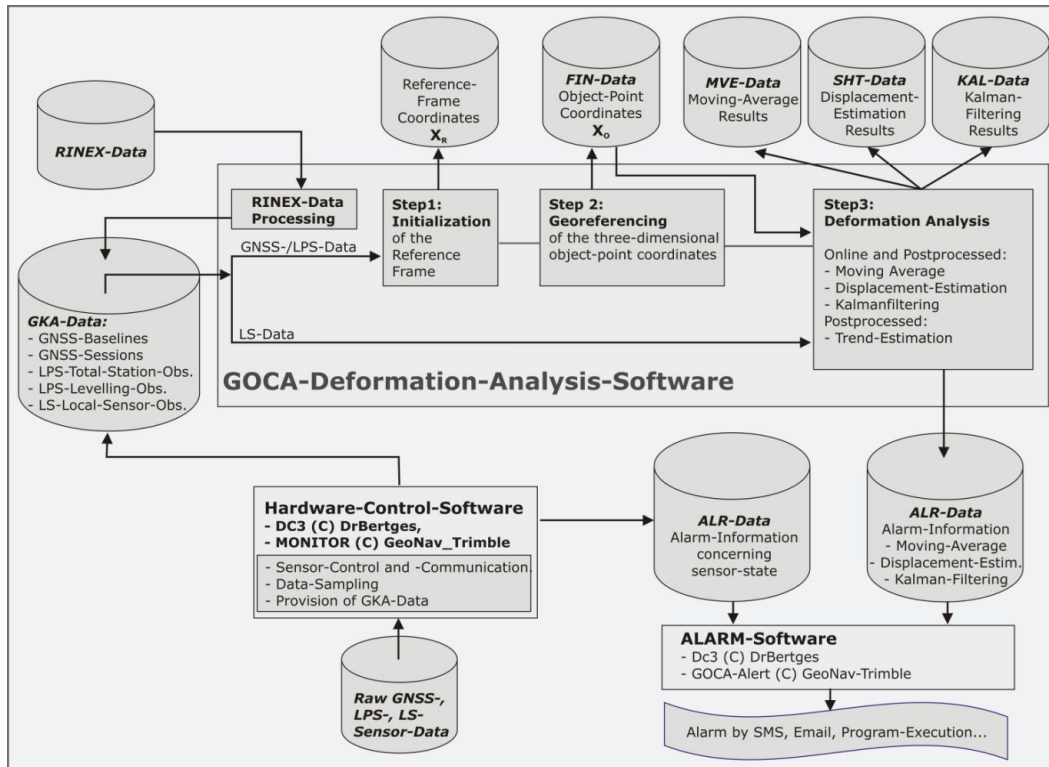


Figure 2: Data flow and deformation analysis processing steps in the GOCA system

In the case of near-online processing projects also GNSS RINEX-files can be taken from the GNSS-sensors and transmitted to the GOCA deformation analysis software to be processed with different GNSS-processing engines. The RINEX-processing results are leaded again back to the GKA format. The RINEX data transfer can also be managed by the hardware-control-software. Presently two different packages, namely MONITOR of GeoNav_Trimble and S+H Systemtechnik (www.sh-systemtechnik.de) and GOCA_DC3 of the company DrBertges Vermessungstechnik (www.drbertges.de) are commercially available. These hardware-control-software packages are completed by alarm-software modules. These handle both the type of alarm messages in kind of sensor failures and the alarm information (ALR-files), which result from the different deformation estimations statistical tests used for the detection of critical deformation states of the object (fig. 1).

A first task of the GOCA deformation analysis software is to evaluate the parameter estimation of a classical deformation network ([1], [13], [15]) online. In case of GNSS- and/or LPS sensor data the adjustment of the respective GKA data provides the adjusted absolute object-point-positions $\mathbf{x}_O(t)$ in the 2nd step of the deformation analysis procedure. The reference frame $\mathbf{x}_R$ is estimated in the 1st step. The results $\mathbf{x}_O(t)$ and the covariance matrices $\mathbf{C}_{x,O}(t)$ are stored in so-called FIN-files, and the moving average estimation result is stored in MVE-files [14]. By the estimation of the object-point displacements $\mathbf{u}_O(t)$, velocities $\dot{\mathbf{u}}_O(t)$ and accelerations $\ddot{\mathbf{u}}_O(t)$ in the 3rd step the GOCA system fulfils the second task of a classical geodetic deformation analysis. The respective online displacement and the Kalman-filtering estimation both use the output of the second step - the time series $\mathbf{x}_O(t)$ - as observation input. An analogous displacement, velocity and acceleration estimation with the same algorithms is based on the on the GKA-data $\mathbf{l}(t)$ of the local sensors (LS) as observations and leads to the estimations $\Delta \mathbf{l}_O(t)$, $\Delta \dot{\mathbf{l}}_O(t)$ and $\Delta \ddot{\mathbf{l}}_O(t)$. The results of the displacement and the Kalman-filter estimations are stored in so-called SHT- and KAL-files respectively. The final task of the deformation analysis procedure in the 3rd step is to set up an alarm in case of the detection of significant critical parameters $\mathbf{u}_O(t)$, $\dot{\mathbf{u}}_O(t)$, $\ddot{\mathbf{u}}_O(t)$ as well as for the state vectors $\Delta \mathbf{l}_O(t)$, $\Delta \dot{\mathbf{l}}_O(t)$, $\Delta \ddot{\mathbf{l}}_O(t)$ concerning the state vector changes of the LS array. The alarm messages are stored in so-called ALR-files. The GOCA deformation analysis software archives the above FIN-, MVE-, SHT-, KAL and ALR-files in a project-related directory structure. These data can be visualized in the graphics representation of the GOCA deformation analysis software, and above this it is provided as open interface for external further processing, e.g. for web-based representations, the use in GIS and last but not least, for system-analysis related deformation approaches (chap. 4).

3. GOCA Deformation Analysis Software

3.1. Mathematical Modelling for GNSS- and/or LPS-Data and for LS-data

As shown in fig. 2, the 3rd step of the subsequent adjustments of the GOCA deformation analysis software procedure serves as deformation parameters estimation step. Observations for classical geodetic displacement estimations is the position data

$(\mathbf{x}_O(t), \mathbf{C}_{x,O}(t))$ of the object-points geo-referenced in the frame $\mathbf{x}_R$ (fig. 1) That means that the subsequent 1st and 2nd adjustment steps constitute the heart of the GOCA software with respect to the online modelling of a classical geodetic deformation network providing absolute object-point positions and movements using GNSS and LPS data. Independently the GKA-data $(\mathbf{l}(t), \mathbf{C}_l(t))$ of local sensors (LS) can be processed by the displacement and Kalman-filter algorithms of the 3rd step, the so called geometrical deformation analysis ([1], [13], [16]). The FEM-based system analysis approach presented in chap. 4 is appropriate to parametrize commonly all these sensor observation types, namely GNSS, LPS (including the LPS category of terrestrial laser-scanners) and LS sensors.

3.1.1. First and Second Adjustment Step – Reference and Object Point Coordinate and Height Surface Transition Estimations

The deformation analysis concept implemented in the GOCA software is due to a classical geodetic deformation analysis. That means, that for two different observation epochs t_i and t_j , we get the following system of observation equations:

$$\mathbf{l}(t_i) + \mathbf{v}_i = \mathbf{A}_{Ri} \cdot \mathbf{x}_{Ri} + \mathbf{A}_{Oi} \cdot \mathbf{x}_O(t_i) \text{ and } \mathbf{C}_{li}, \quad (1a)$$

$$\mathbf{l}(t_j) + \mathbf{v}_j = \mathbf{A}_{Rj} \cdot \mathbf{x}_{Rj} + \mathbf{A}_{Oj} \cdot \mathbf{x}_O(t_j) \text{ and } \mathbf{C}_{lj}. \quad (1b)$$

With $\mathbf{A}$ we describe the design matrices of the linearized Gauß-Markov model, with $\mathbf{l}$ the GNSS- and LPS-based observations and with $\mathbf{C}_l$ their stochastic models. The stability of the reference frame is modelled on introducing the same coordinates $\mathbf{x}_{Ri} = \mathbf{x}_{Rj} = \mathbf{x}_R$ for all epochs, while for the object-points different coordinates $\mathbf{x}_{Oi}$ and $\mathbf{x}_{Oj}$ are estimated for different epochs t_i and t_j , and the stability is to be checked based on (1a,b) by strict statistical concept as described in [16]. With respect to a discretization in time, the “epochs” t_i and t_j are extended to time intervals of length ΔT . The adjustment intervals ΔT has to be equal or larger than the sensor data sampling interval Δt . The epoch time stamps t_i and t_j are accordingly the centres of the subsequent intervals ΔT . The GNSS- and LPS-based observations $\mathbf{l}$ in (1a, b) are derived from the original GNSS and LPS GKA-data in such a way, that a separate plan and height adjustment is to be performed at each epoch based on the data in the interval ΔT . This has the advantage that the adjustment model (1a,b) can easily be handled in the case, that the used sensor type in a GOCA-array, such as pure hydrostatical levels, enables for example only a vertical monitoring. The observation quantities $\mathbf{l}$ derived from GNSS GKA-data and used in (1a,b) are the 2D/1D-baseline observations $(\Delta x, \Delta y | \Delta h)_{ij}$. The observation quantities $\mathbf{l}$ derived from LPS data and used in (1a,b) are the plan distances s_{ij} , the directions r_{ij} and the height differences ΔH_{ij} . So the partly linear and non-linear observation equations (1a,b) for an epoch t_i read as follows [7]:

$$\begin{bmatrix} \Delta x_{ij} \\ \Delta y_{ij} \end{bmatrix}_{GNSS} + \begin{bmatrix} v_{\Delta x, ij} \\ v_{\Delta y, ij} \end{bmatrix}_{GNSS} = \begin{bmatrix} \Delta \hat{x}_{ij} \\ \Delta \hat{y}_{ij} \end{bmatrix}, \quad (2a)$$

$$s_{ij} + v_{s, ij} = s \cdot \sqrt{\Delta \hat{x}_{ij}^2 + \Delta \hat{y}_{ij}^2}, \quad (2b)$$

$$r_{ij} + v_{r,ij} = \arctan\left(\frac{\Delta y_{ij}}{\Delta x_{ij}}\right) - o_i, \quad (2c)$$

$$\Delta h_{GNSS,ij} + v_{\Delta h,ij} = \Delta \hat{h}_{ij} \text{ and} \quad (2d)$$

$$\Delta H_{terr,ij} + v_{\Delta H,ij} = s_h \cdot \Delta \hat{h}_{ij} + (\hat{a}_{00} + \hat{a}_{10} \cdot x_j + \hat{a}_{01} \cdot y_i)^m - (\hat{a}_{00} + \hat{a}_{10} \cdot x_j + \hat{a}_{01} \cdot y_i)^n. \quad (2e)$$

Besides the coordinate unknowns $(\hat{x}, \hat{y} | \hat{h})$ of the reference points $\mathbf{x}_R$ and the object-points $\mathbf{x}_0$ (fig. 1), which are set up in the GNSS-frame, the scale factors s and s_h for the plan and height component, the orientation unknown o_i for the direction measurements and the polynomial parameters $\hat{\mathbf{p}}_N = (\hat{a}_{00}, \hat{a}_{10}, \hat{a}_{01}, \dots)^T$ occur as additional auxiliary parameters. The parameters $\hat{\mathbf{p}}_N$ model the height reference surface (“geoid”) in the local object area (see www.dfhb.de). So the monitoring of several local objects in an extended but unique reference frame $\mathbf{x}_R$ is enabled by different parameter sets $\hat{\mathbf{p}}_N^m, \hat{\mathbf{p}}_N^n$ etc. . These are defined by the deformation network design settings in the GOCA deformation analysis software. The initialization, namely the 1st adjustment step, is based on a least squares (L2-norm) free network adjustment of the GNSS- and LPS-based observations (2a-e) data with respect to a user-defined starting epoch and initialization time interval. The initialization is robustified with respect to gross errors by an automatic iterative data snooping, including an iterative variance-component estimation. By the aim of realizing a classical deformation network analysis online, this 1st step has to precede the deformation monitoring, as it provides the network datum and frame $\mathbf{x}_R$ (fig.1). The 2nd step in GOCA deformation analysis software is again related to (1a, b) with respect to different extended epochs t_i and t_j , and is running online using the observation equations (2a-e) for the GNSS- and LPS data within the epochs of duration ΔT . This 2nd step comprises the permanent adjustment of the GNSS and LPS data and provides the three-dimensional georeferencing of the object-point positions $\mathbf{x}_O(t)$ (3a). The estimated adjusted object-point positions $\mathbf{x}_O(t)$ and the covariance matrix $\mathbf{C}_O(t)$ are stored in daily FIN-files (fig.2). The reference frame coordinates $\mathbf{x}_R$ and the above auxiliary parameters (except the orientation-unknowns o_i) are kept a fix parameters in the 2nd step according to the results of the 1st step. The covariance matrix of these parameters is however strictly considered in the computation of $\mathbf{C}_O(t)$ [16].

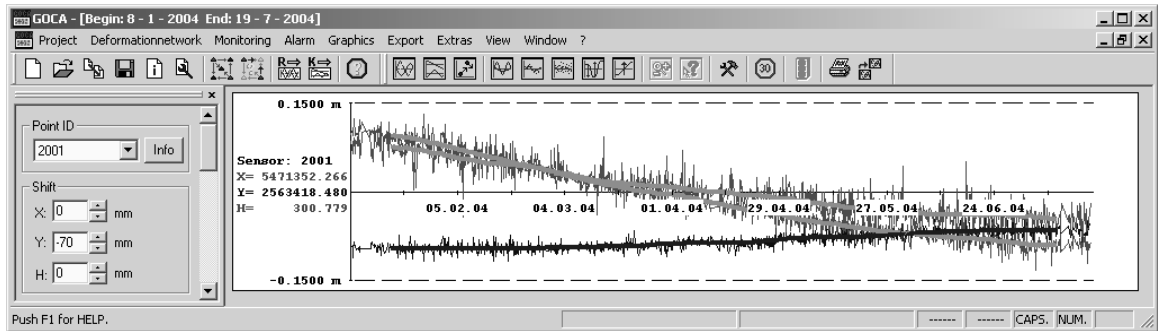


Figure 3: GOCA object-point time series $\mathbf{x}_O(t_i)$ as result of the 2nd adjustment step. The thick lines show the smoothing by a moving average estimation (MVE).

3.1.2. Third Adjustment Step – Deformation Analysis

The 3rd step, namely the deformation analysis, deals with the estimation of the parameters of different deformation functions, and it runs online in parallel to the 2nd step. The deformation parameter estimation is related to the object-point position time-series and their covariance matrix, reading

$$\mathbf{x}_O(t) \text{ and } \mathbf{C}_O(t) \quad (3a, b)$$

These are used as observations for the parameter estimation in step 3. As a first and simple object-point related deformation function the GOCA deformation analysis software provides a moving average estimation (MVE) including the detection of critical displacements (fig. 3). A second deformation function is the online displacement estimation ([9], [14]) between different “extended epochs” t_0 and t_i . Extended epochs means again, that the two epochs t_0 and t_i start at individual times t_0 and t_i , and have interval lengths ΔT_0 and ΔT_i (fig. 4), e.g. one hour. The start of the first epoch t_0 may be the initialization time (1st step). Alternatively t_0 can be defined in the GOCA deformation analysis software settings (fig. 4). either by an arbitrary fixed time mark, or by a dynamically moving time mark. The functional model of the object point displacement estimation reads:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{l}_{t_0} \\ \mathbf{l}_{t_i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{t_0} \\ \mathbf{v}_{t_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{E}_2 & \mathbf{E}_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_0 \\ \hat{\mathbf{u}}(t) \end{bmatrix} = \mathbf{A} \cdot \hat{\mathbf{y}} \text{ with } \hat{\mathbf{y}} = [\hat{\mathbf{x}}_0(t_0), \hat{\mathbf{u}}(t_0, t_i)]^T. \quad (4a, b)$$

The two observation groups $\mathbf{l}_{t_0}$ and $\mathbf{l}_{t_i}$ and their covariance matrices are taken out of the object-point time series information (3a,b). With $\mathbf{v}$ we introduce the observation corrections. To mark the difference between the time series observations $\mathbf{x}_O(t)$ (3a) and the estimated epoch state $\hat{\mathbf{x}}_O(t_0)$ we introduce in (4a,b) the sign (^) for the estimated deformation parameters. The six deformation parameters included in $\hat{\mathbf{y}}(t)$ are for each object point the three-dimensional adjusted epoch state position $\hat{\mathbf{x}}_0 = [\hat{x}, \hat{y} | \hat{h}]_{t_0}^T$ at the reference time t_0 , and the three-dimensional displacements $\hat{\mathbf{u}}(t_0, t_i) = [u_x, u_y | u_h]_{t_0, t_i}^T$ dating to the second epoch starting at time t_i . The design matrices $\mathbf{E}_1$ and $\mathbf{E}_2$ are column matrices composed of (3 x 3)-unit matrices for each three-dimensional point observation $\mathbf{x}_O(t)$ in the respective epoch intervals ΔT_0 and ΔT_i . Fig. 4 shows the GOCA-software settings for the online displacement estimation according to (4a, b). The different settings concern the selection of the object points, the epoch definition for the displacement estimation, the settings for adjustment and statistical testing, and the settings for an automatic alert.

Displacement-Estimation

General Settings

Name:

Object Points	
☒	2001
☒	100

Epoch Definition

☒ Epoch 1 = Initialisation
☐ Epoch 1 = fix
☐ Epoch 1 = dynamic

Begin of dynamic or fix Epoch 1:
Date: Time:

Begin dynamic Epoch 2:
Date: Time:

Duration of Epoch 1: Hours
Epoch-Cycle: Hours
Duration of Epoch 2: Hours

Adjustment Settings

Estimation Type:
☐ L1 ☒ L2 ☐ Huber
Convergence Crit. (L1, Huber):

Statistical Settings

Error Probability Plan Pos.: %
Error Probability Height: %
Sensitivity B: %

Settings for Alert

☒ Alert in case of Significance (A)
☒ Alert on exceeding crit. values (B)

Plan: mm Priority:
Height: mm Priority:
☒ Alert only if A and B simultaneously match

Figure 4: Settings for the GOCA online displacement estimation and alerting.

The GOCA Kalman-Filtering as the third component for the deformation parameter estimation in the 3rd step is related to the so-called transition equation (5a) and to the state vector $\mathbf{y}(t)$, reading:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}(t) \\ \dot{\mathbf{u}}(t) \\ \ddot{\mathbf{u}}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & [\Delta t] & \left[\frac{1}{2} \Delta t^2 \right] \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} & [\Delta t] \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{u}(t - \Delta t) \\ \dot{\mathbf{u}}(t - \Delta t) \\ \ddot{\mathbf{u}}(t - \Delta t) \end{bmatrix} \text{ and } \mathbf{y}(t) = [\mathbf{u}(t), \dot{\mathbf{u}}(t), \ddot{\mathbf{u}}(t)]^T. \quad (5a,b)$$

The state vector $\mathbf{y}(t)$ of the GOCA-Kalman-Filtering comprises the individual three-dimensional displacements $\mathbf{u}(t)$, the velocities $\dot{\mathbf{u}}(t)$ and the accelerations $\ddot{\mathbf{u}}(t)$ of the object points between subsequent time intervals Δt . The observations $\mathbf{I}(t)$ and their covariance matrices for the Kalman-filtering (5a,b) are again set up from the object point time series (3a,b) as

$$\mathbf{I}_u(t) = \mathbf{x}_O(t) - \mathbf{x}_O(t_0) \quad (5c)$$

Again t_0 and t are “extended epochs”, while t_0 is a fixed time mark in the Kalman-filtering. The principles and concepts of the significance tests (fig. 4, right) for of the deformation parameters are treated in [1], [2] and [16].

3.2. Geometrical Deformation Analysis for LS -Data

Local sensor data $\mathbf{I}(t)$, e.g. strain-, stress-sensors and inclinometers and the covariance matrix information $\mathbf{C}_1(t)$ can be used in the moving average estimation (MVE) as well as in the sophisticated models of the online displacement estimation

(4a,b) and in the Kalman-filtering (5a,b) in GOCA, in analogy to the observation information and models for the absolute object-point positions (3a,b).

3.3. Estimation principles and Relevance of Online Monitoring Systems

The parameter estimation principle in the GOCA deformation analysis software is based on the general concept of an M-estimation [7] with an estimation function $\rho(\bar{v}_k)$. It reads:

$$\sum_{k=1}^n \rho(\bar{v}_k) = \sum_{k=1}^n \rho((\mathbf{C}_l^{-\frac{1}{2}} \cdot \mathbf{A})_k \cdot d\hat{\mathbf{y}} - (\mathbf{C}_l^{-\frac{1}{2}} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{I}(\mathbf{y}^0)))_k) = \text{Min}_{\hat{\mathbf{y}}} \quad (6)$$

Depending on estimation function $\rho(\bar{v}_k)$, the estimated parameters $\hat{\mathbf{y}}$ are received due to a least squares estimation with $\rho(\bar{v}_i) = \frac{1}{2} \bar{v}_i^2$, a robust L1-estimation

with $\rho(\bar{v}_i) = \frac{1}{2} |\bar{v}_i|$, and a weakly robust Huber-estimation with $\rho(\bar{v}_i) = \begin{cases} \frac{1}{2} \bar{v}_i^2 & \forall |\bar{v}_i| \leq k \\ |\bar{v}_i| & \forall |\bar{v}_i| > k \end{cases}$

(fig. 4, right). The L1 norm and the Huber-estimation are robust against the occurrence of gross observation errors $\nabla \mathbf{I}$. As it is a statistical fact that mor or less 0.3% of the observations are concerned with gross errors, the availability of a robust parameter estimation related to (6) and adequate robust estimation functions $\rho(\bar{v}_k)$ increases essentially the reliability of an online monitoring system like GOCA.

4. System Analysis – General Aspects and Contributions of GOCA

The further development of the deformation analysis clearly shows the trend to integrate the results of a geodetic displacement estimation (4a,b) and/or Kalman-filtering (5a,b,c), namely $\mathbf{u}(t)$, $\dot{\mathbf{u}}(t)$ and $\ddot{\mathbf{u}}(t)$ as well as geometrical or physical observations $\mathbf{I}(t)$ of local sensors (LS) into a common modeling ([1], [3], [11], [13], [16]). With the property that both deformation function types are observed output signals of the physical object state a physical kind of model is needed for this integration. Within the classification into black- grey- and white-box models, the class of Finite Element Models (FEM) belong to the white-box category and is parametrized both by physical parameters $\mathbf{p}$ and by the displacements state vectors $\mathbf{u}(t)$, $\dot{\mathbf{u}}(t)$ and $\ddot{\mathbf{u}}(t)$ as the parameters of a so-classical so-called geometrical deformation analysis ([13],[16]). So FEM are the key for an integrated modeling of geodetic displacements $\mathbf{u}$ evaluated online from GNSS- and LPS-sensors and LS observations $\mathbf{I}$. The FEM system equations then can be written as

$$\mathbf{F}(\mathbf{p}, \mathbf{u}(t), \dot{\mathbf{u}}(t), \ddot{\mathbf{u}}(t)) = \mathbf{0} \quad (7a)$$

While in the dynamic case - e.g. the FEM of vibrating structures - the derivatives $\dot{\mathbf{u}}(t)$ and $\ddot{\mathbf{u}}(t)$ are relevant ([3], [16]), the state vectors $\dot{\mathbf{u}}(t)$ and $\ddot{\mathbf{u}}(t)$ do not occur in the so-called static case ($\dot{\mathbf{u}} \rightarrow \mathbf{0}$). The number of parameters $\mathbf{p}$ and system matrices also decreases, and we arrive at the FEM system equation of type $\mathbf{F}(\mathbf{p}, \mathbf{u}) = \mathbf{0}$. It reads

$$\mathbf{K}(\mathbf{p}_k) \cdot \mathbf{u} - \mathbf{f} = \mathbf{0} \quad (7b)$$

in the case of the FEM of an elastic structure, e.g. dams ([11], [16], [18], fig.1). The characteristic system matrix is the so-called stiffness matrix $\mathbf{K}(\mathbf{p}_k)$, $\mathbf{f}$ is the vector of external nodal-forces, and $\mathbf{p}_k$ is the vector of material-parameters of the FEM

elements ([10], [11], [12], [16], [18], fig. 5)). As extension of the FEM approach presented [11], we introduce in the following system analysis related adjustment approach, by $\Delta\hat{\mathbf{p}}_k$, an additional set of unknown FEM parameters into the system equations. The parameters $\Delta\hat{\mathbf{p}}_k$ model that kind of safety-critical parameters (e.g. local failures of the structure, such as a washout in case of an earth dam, or fissures), which are to be detected by statistical methods a part of the monitoring system. The other FEM parameters $\mathbf{p}_k$ and $\mathbf{f}$ are known and introduced as direct observations, and their uncertainties are put into respective covariance matrices. So the FEM of an object - as first part of the mathematical adjustment model representing the system analysis approach – reads in the static case:

$$\mathbf{0}_{sys} + \mathbf{v}_{sys} = \hat{\mathbf{u}} - \mathbf{K}(\hat{\mathbf{p}}_k, \Delta\hat{\mathbf{p}}) \cdot \hat{\mathbf{f}} \text{ and } \mathbf{C}_{sys} \rightarrow \mathbf{0}, \quad (8a)$$

$$\mathbf{p}_k + \mathbf{v}_k = \hat{\mathbf{p}}_k \quad \text{and } \mathbf{C}_{p_k}, \quad (8b)$$

$$\mathbf{f} + \mathbf{v}_f = \hat{\mathbf{f}} \quad \text{and } \mathbf{C}_f. \quad (8c)$$

As concerns the parametric FEM representation in the case of structural dynamics case, it is referred to [16], [12], [3] and [18]. With $\mathbf{C}_{sys} \rightarrow \mathbf{0}$ (8a) the system equation (7b) is set up as condition equation. Alternatively (7b) could also be set up in a Kalman-filter mode together the initial observations (8a,c), whereas the GNSS, LPS and LS observations (8d-e) contribute during the online monitoring as observations in each filtering step. The vector $\hat{\mathbf{u}}$ of the nodal-point displacements concerns the FEM, and so all nodes at the objects on its surface and in its interior (fig. 5).

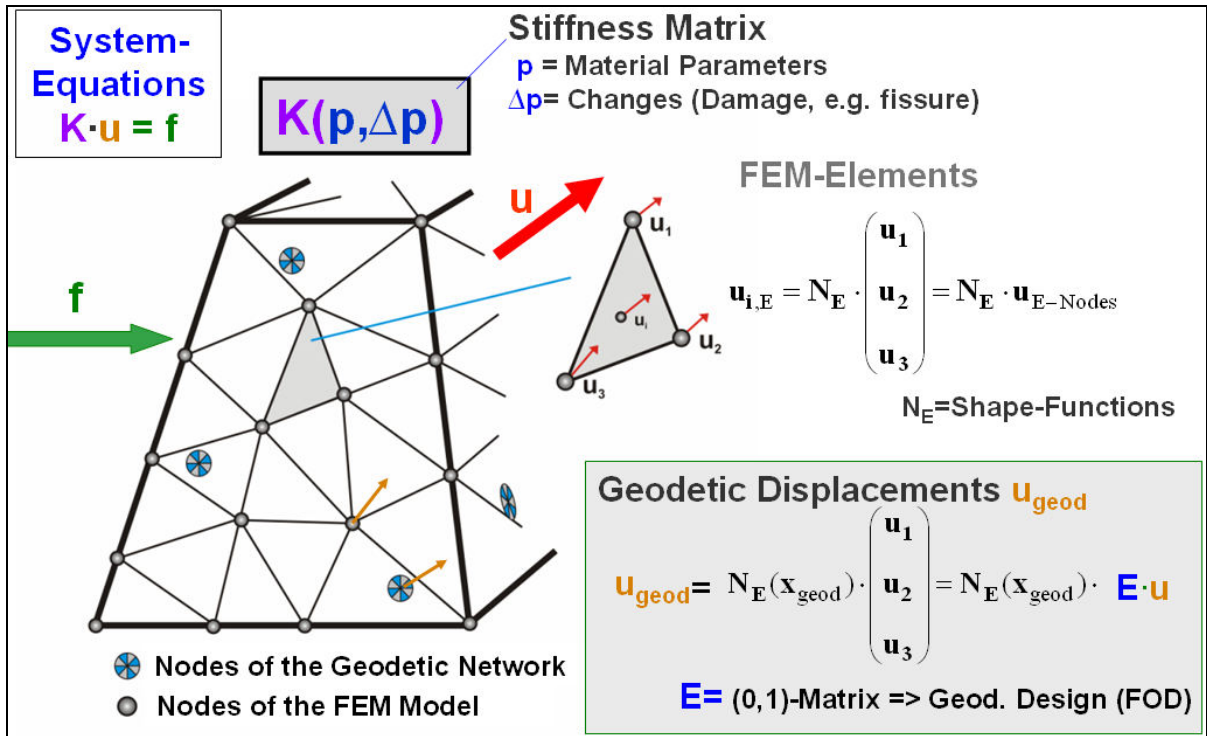


Figure 5: Finite Element Model of a Dam in the static case

Concepts for the statistical testing of the significance of the unknown parameters $\Delta\hat{\mathbf{p}}_k$ - similar to data-snooping – are discussed in [16] and [17]. The geodetic online

displacements determined by the GOCA system estimations (4a,b) or (5a,b,c) based on GNSS- and LPS-sensors (chap. 3.1.2) are named here $\mathbf{u}_{GOCA}$ and introduced as the second component of the system analysis model reading

$$\mathbf{u}_{GOCA} + \mathbf{v}_{GOCA} = \mathbf{N}_E(x, y, z) \cdot \mathbf{E}_{GNSS/LPS} \cdot \hat{\mathbf{u}} \text{ and } \mathbf{C}_u . \quad (8d)$$

The rectangular matrix $\mathbf{E}_{GNSS/LPS}$ relates the total vector $\hat{\mathbf{u}}$ of the FEM to the three absolute GNSS-/LPS-sensor displacements $\mathbf{u}_{GOCA}$. The matrix $\mathbf{E}_{GNSS/LPS}$ is occupied with “1” at the positions of that nodal point element (fig. 5), which carries the GNSS/LPS sensor, else with “0”. The known so-called shape-function $\mathbf{N}_E(x, y, z)$ ([12], [18]) relates the nodal point displacements of the local (surface) element (fig.5, right) to the elements inside the FEM. The equation (8d) can also be used with respect to position and displacements modelled from on an extension of (2a-e) to laser-scanner data (laser-coordinates and additional transformation parameters, in principle also or raw-data). Finally the “displacement” observations $\Delta \mathbf{l}_O(t)$ from the estimated state vectors (chap. 3.2) of local sensors (LS) are introduced into the system analysis approach. In the case of the so-called geometric type the observation equations read

$$\mathbf{l}_g + \mathbf{v}_g = \mathbf{l}_g(\mathbf{N}_E, \mathbf{E}_g, \hat{\mathbf{u}}) \quad \text{and } \mathbf{C}_{lg} . \quad (8e1)$$

Example - local strain ϵ sensor:

$$\epsilon + \mathbf{v}_\epsilon = \mathbf{L} \cdot \mathbf{N}_E \cdot \mathbf{E}_g \cdot \hat{\mathbf{u}} . \quad (8e2)$$

In case of LS of the so-called “physical type” we have

$$\mathbf{l}_p + \mathbf{v}_p = \mathbf{l}_p(\mathbf{N}_E, \mathbf{E}_p, \hat{\mathbf{u}}) \quad \text{and } \mathbf{C}_{lp} \quad (8f1)$$

Example - local stress σ sensor:

$$\sigma = \mathbf{D}(\mathbf{p}_k) \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{N}_E \cdot \mathbf{E}_p \cdot \hat{\mathbf{u}} . \quad (8f2)$$

The matrices $\mathbf{E}_g$ and $\mathbf{E}_p$ are defined and set up in analogy to $\mathbf{E}_{GNSS/LPS}$. With $\mathbf{N}_E(x, y, z)$ we introduce again the above shape functions of the FEM element model. The matrices $\mathbf{L}$ and $\mathbf{D}(\mathbf{p}_k)$ comprise known differential operators, and the known element stiffness parametrization ([10], [11], [12], [18]).

The different local sensors (LS) can be located both on exterior and interior surface and even inside the objects structure, while GNSS- and LPS-sensors are in general located at the exterior and/or interior object boundaries. In this context, the mathematical model (8a-f) of the system analysis based adjustment approach, enables and urges the application of the classical geodetic network optimization principles. Based on the target function of an optimal sensitivity [17] for safety critical parameters $\Delta \mathbf{p}_k$, the matrices $\mathbf{E}_{GNSS/LPS}$, $\mathbf{E}_g$ and $\mathbf{E}_p$ describe the placement of a given number of different sensors types. So the problem of optimum positions for a number of “1” in $\mathbf{E}_{GNSS/LPS}$, $\mathbf{E}_g$ and $\mathbf{E}_p$ constitutes the 1st order design problem of optimal sensor positions in geodetic monitoring networks and systems, and the occupation of the sensor covariance matrix the respective 2nd order design problem of optimal accuracies of the sensor-types.

5. Conclusions

The 3 step network adjustment concept behind the GOCA deformation-analysis software provides a unique geo-referencing of the GNSS/LPS-occupied object point positions in the coordinate frame of the reference points. The geodetic online deformation analysis of the object-point can be set up as flexible user-defined displacement estimation or by a Kalman filter (displacements, velocities and accelerations). Local sensor (LS) data can also be monitored by the GOCA-system in the 3rd step. Both least squares and robust estimation techniques are applied in the deformation analysis procedures, so that a reliable setting of an alarm is enabled, in case that a critical state is reached and proved by statistical testing. The evaluation of continuous time series of the objects displacement field and of the state vector of local sensors, provided by GOCA, opens new perspectives in deformation analysis and model calibration. This concerns the presented transition from the classical geometric deformation analysis to so-called system analysis based approaches, as required by the interests of geodesists and of other disciplines such as geodynamics, geotechnics and civil engineering. The presented system analysis approach is also open for the 1st and 2nd order design question of an optimum GNSS-/LPS and LS sensor location and precision with the target function of an optimal sensitivity for safety critical parameters.

References

1. Jäger, R. and S. Kälber (2001): GPS-based Online Control and Alarm System (GOCA) - A [2] Geodetic Contribution for Hazard Prevention. Proceedings International Conference on Landslides Causes, Impacts and Countermeasures. Davos, Switzerland, June 17-21. (In: Kühne, Einstein, Krauter, Klapperich, Pöttler (Eds.)), ISBN 3-7739-5969-9 Runge, GmbH, Cloppenburg. S. 261 - 275.
2. Jäger, R. und M. Bertges (2004): Integrierte Modellbildung zum permanenten Monitoring von Bauwerken und geotechnischen Anlagen. 61. DVW Seminar. DVW-Schriftenreihe. Wittwer, Stuttgart.
3. Eichhorn, A. (2005): Ein Beitrag zur Identifikation von dynamischen Strukturmodellen mit Methoden der adaptiven Kalman-Filterung. DGK-C Nr. 585. Deutsche Geodätische Kommission, München.
4. Borchers, S. und R. Heer (2002): Bauwerksüberwachung mit GOKA (GPS-basiertes Online Kontroll- und Alarmsystem) an der Schleuse Uelzen I. Schriftenreihe des DVW, Band 44. Wittwer Verlag. ISBN 3-87919-281-2, S. 65-84.
5. Bulowski, T. (2001): Kontinuierliche Überwachung von Tagebauböschungen mit dem System GOCA. 43. Wissenschaftliche Tagung der DMV, Trier. DMV Mitteilungen.
6. Feldmeth, I., Jäger, R. und R. Zischinsky (2004): GPS-based Online Control and Alarm-system GOCA – Leistungsstandards am Einsatzbeispiel Staumauer Kops (Vorarlberger Illwerke AG, Österreich). Wasserwirtschaft - Zeitschrift für Wasser und Umwelt, Heft 1-2, 2004. Vieweg Verlag, Stuttgart, ISSN 0043-0978.
7. Jäger, R.; Müller, T.; Saler, H. and R. Schwäble (2005): Klassische und robuste Ausgleichungsverfahren - Ein Leitfaden für Ausbildung und Praxis von Geodäten und Geoinformatikern. ISBN 3-87907-370. Wichmann Verlag.
8. Lauterbach, M. und E. Krauter (2002): Satellitengestütztes Monitoring einer Großrutschung im Bereich eines Autobahndammes bei Landstuhl/Pfalz. Messtechnik – Geotechnik, Nr. 25, 2002.
9. Schäfer, W. (2004): GPS-gestützte 3D-Permanent-Überwachung bewegungsempfindlicher Bergschadensobjekte. Zeitschrift Markscheidewesen.

10. Szostak-Chrzanowski, A.; Chrzanowski, A. and Chen Y.Q. (1994): Error propagation in the finite element analysis of deformations. XX. FIG Congress, Melbourne 1994, Commission No. 6, paper no. 602.4.
11. Teskey, W. (1988): Integrierte Analyse geodätischer und geotechnischer Daten sowie physikalischer Modelldaten zur Beschreibung des Deformationsverhaltens großer Erddämme unter statischer Belastung. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, München.
12. Jäger, R. (1988): Analyse und Optimierung geodätischer Netze nach spektralen Kriterien und mechanische Analogien. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 342, München.
13. Welsch, W. and O. Heunecke (1999): Terminology and classification of deformation models - final report of FIG ad-hoc-Committee of WG 6.1. Proceeding of the 9th International FIG Symposium on Deformation Measurements, Olsztyn, 27-30 September, 1999.
14. Jäger, R., Kälber, S. and M. Oswald [1999-2006]: User manual of the GOCA-software. Karlsruhe.
15. Pelzer, H. (1974): Zur Analyse geodätischer Deformationsmessungen. DGK, Reihe C, Nr. 164, München.
16. Kälber, S. and R. Jäger (2000): Realization of a GPS-based Online Control and Alarm System (GOCA) and Preview on Appropriate System Analysis Models for an Online Monitoring. Proceedings of the 9th FIG-Symposium on Deformation Measurement and Analysis. Sept. 1999, Olsztyn, Poland. p. 98 -117.
17. Jäger, R., Weber, A. und R. Haas (1997): Ein ISO 9000 Handbuch für Überwachungsmessungen, DVW-Schriftenreihe, Heft Nr. 27, Wichmann Verlag, Karlsruhe.
18. Zienkiewicz, O.C. (1984): Methode der finiten Elemente. Carl Hanser Verlag, München.

© R. Jäger, S. Kälber, M. Oswald, 2006

УДК 629.783:551.24
К.М. Антонович
СГГА, Новосибирск

ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ГНСС ТЕХНОЛОГИЙ

Аппаратура. Интенсивное использование СРНС требует огромного количества аппаратуры. Объем продаж оборудования по земному шару за 2003 г. оценивается в 16.5 миллиардов долларов, и ожидается, что в 2006 г. он возрастет вдвое (www.accj.or.jp/document_library/Journal/1070851168.pdf). На геодезическую аппаратуру, в которой используются измерения по фазе несущей, приходится около 10% от объема.

Эволюции спутниковых приемников происходит по следующим путям:

- Уменьшение в размерах, потреблении энергии и стоимости приемников, выпуск «одночиповых» приемников;
- Цифровая обработка сигнала, повышенная надежность и чувствительность, более высокий темп записи, уменьшенный шум наблюдений, сопротивление многопутности;
- Расширенные возможности геодезических приемников, вероятно, это будет двух- или трехчастотный ГНСС-приемник с увеличенной памятью,

большей автоматизацией операций, оптимизированный для кинематического применения в реальном времени;

- Улучшение точности измерения псевдодальностей до сантиметрового уровня;
- Увеличение объема вычислительных возможностей в самом приемнике, получение конечных результатов непосредственно на пункте;
- Интеграция спутниковых технологий в комплексные геодезические и навигационные системы;
- Улучшение конструкций антенн, уменьшение в восприимчивости к многопутности [2, 5, 8, 11].

Уже сейчас на рынке появились приемники и микросхемы под новые типы сигналов, как, например, трехсистемный 72-канальный чип GeNiuSS для сигналов GPS-ГЛОНАСС-Галилео (<http://www.javad.com>).

Предпринимаются многочисленные попытки преодоления одного из самых неприятных недостатков спутниковых методов – невозможности позиционирования в условиях затенения сигналов спутников, то есть внутри помещений, на улицах городов и т. д. Многообещающие результаты получили канадские исследователи по испытаниям навигационного приемника с высокой чувствительностью [6]. Разработан способ использования телевизионных сигналов как в аналоговой, так и в цифровой форме для определения положений. Тем же способом как работает GPS, специальный приемник может извлекать из принятых телевизионных сигналов временную информацию и с помощью дополнительной информации о поправке часов передатчика может определять плановые координаты приемника. А поскольку сигналы телевидения очень мощные, то можно получать положения даже внутри зданий, где обычный GPS приемник не работает [7]. Тем не менее, основным направлением остается интегрирование спутниковых приемников с другими способами позиционирования (применение дальномеров, одометров, высотомеров, инерциальных систем и др.).

Теория математической обработки и программное обеспечение. Теория обработки спутниковых наблюдений постоянно совершенствуется. В последние годы большое внимание уделялось работам над алгоритмами для надежного разрешения неоднозначности фазы несущей, улучшению стохастических моделей обработки фазы, совершенствованию моделей и способов учета влияния среды распространения сигнала, углубление теории преобразования координат и высот. Одновременно происходит совершенствование форматов для передачи данных. Эти особенности приводят к постоянному совершенствованию программного обеспечения. Для него характерно:

- Улучшенные возможности с дружественным интерфейсом, большей автоматизацией при обработке;
- Разрешение неоднозначности "On-the-Fly" становится более уверенным, допуская позиционирование по фазе несущей в одну эпоху;
- Расширение разнообразия методик обработки в программных пакетах;

- Повышенные требования к мерам уверенности в качестве, особенно для режимов быстрой статики и кинематики;
- Расширение использования точных продуктов МГС, включая орбиты, тропосферные и ионосферные модели;
- Расширение диапазона улучшенных вторичных программ, например, для уравнивания сетей, ввода данных для ГИС и т. д.

Появились службы, выполняющие обработку наблюдений в режиме on-line. Разрабатываются алгоритмы для ГНСС-позиционирования [3].

Методы позиционирования. Высокоточная GPS технология становится основным средством для разнообразных геодезических работ. Начиная с решений в пост-обработке в начале 1980-х годов высокоточное позиционирование в реальном времени Real-Time Kinematic Positioning по GPS/ГЛОНАСС является одним из наиболее широко используемых методов измерений. Установленные в различных странах сети опорных станций заменяют традиционные опорные сети, закрепленные монументами. Для метода RTK из-за вынужденной необходимости в коротких расстояниях между опорной и мобильной станцией сети должны быть очень плотными, и не всегда национальные сети могут обеспечивать полный охват для RTK. Недостаточная плотность сетей успешно компенсируются с помощью концепции виртуальных опорных станций. При их использовании уменьшаются систематические ошибки, вызванные данными опорных станций. Это позволяет пользователю не только увеличить расстояние между опорной станцией и мобильной станцией, но также повысить надежность системы и уменьшить время на инициализацию мобильного приемника. Эту концепцию можно использовать для улучшения работы старых, уже установленных сетей. Сети опорных станций GPS были развернуты во многих странах Европы, Америки Азии и Австралии. Они являются основой для использования концепции виртуальных базовых станций. Сети также используются для определения параметров геодезических систем координат, обеспечивая услуги для RTK и измерений с пост-обработкой. Они используются в кадастре, для картографирования.

В целом напрашиваются следующие выводы:

- ГНСС-позиционирование по фазе несущей быстро развивается за последнее десятилетие, так что теперь можно получать положение: в кинематическом режиме, в реальном времени и моментально;
- Стирается различие между точной ГНСС навигацией и ГНСС геодезией;
- При выполнении определенных условий (количество спутников, геометрия, длина базовой линии, точность кодовых измерений, совершенство алгоритмов моделирования внешних условий и т. Д.) Позиционирование по фазе почти неотличимо от позиционирования по псевдодалностям в методе DGPS, но при намного более высокой точности, поскольку становится возможным очень быстрое разрешение неоднозначности в движении;

– Сетевые методы смягчают критические ограничения в очень быстром разрешении неоднозначностей, допуская максимальные расстояния во многие десятки километров;

– Важную тенденцию представляет установление сетей из непрерывно оперирующих приемников, поскольку оно постепенно ведет к сетевому методу с пост-обработкой или обработкой в реальном времени.

Будущее точного кинематического позиционирования зависит от ряда факторов, включая разработку аппаратных средств, алгоритмов обработки и программного обеспечения, а также методик измерений, связь через Интернет и GSM, как и усиление GPS через использование псевдолитов, систем инерциальной навигации, сенсоров, применение систем WAAS, объединение с ГЛОНАСС, развитие системы Галилео и модернизацию GPS для передачи второй и третьей гражданской частоты. Все это значительно улучшит надежность, целостность и точность результатов позиционирования [10].

Считается, что статическое позиционирование сохранится в сетях непрерывного мониторинга, включая сети типа МГС, для построения государственных сетей класса ФАГС, ВГС, а также более низких классов в районах, где отсутствует инфраструктура для методов типа сетевой кинематики.

Системы координат и опорные сети. Прогресс в развитии средств и методов определения координат и, особенно, широкое внедрение в практику спутниковых навигационных систем требует постоянного совершенствования координатной основы и уточнения взаимосогласованных параметров общеземного эллипсоида и гравитационного поля Земли. Используемая для функционирования GPS система отсчета WGS84 приближена к системам отсчета ITRF.

Многие страны заново определяют свои национальные геодезические системы координат, чтобы они совпадали (на некотором уровне точности) с отсчетными основами ITRF [12].

Точность реализации системы координат ПЗ-90 не вполне соответствует современным требованиям точности при измерениях с использованием спутниковой технологии [1]. Поэтому получение новых реализаций Параметров Земли ПЗ-90 является одной из задач фундаментального координатно-временного обеспечения в России.

В условиях, когда геодезист, придя на точку, моментально получает координаты в нужной системе с абсолютной точностью на уровне сантиметра, построение опорных сетей в том объеме, как это выполнялось в классической геодезии, становится ненужным [4]. Однако для безопасности государства должна оставаться альтернатива спутниковому методу позиционирования, поскольку в условиях военных действий радио навигационные системы становятся достаточно уязвимыми.

Политика. Текущая политика ведущих стран мира отражает глубокое понимание роли и места ГНСС, как неотъемлемой части мировой экономической инфраструктуры и как средства укрепления национальной безопасности. В то же время, расширяющаяся и растущая зависимость от ГНСС

военных, гражданских и коммерческих систем и инфраструктур делает многие из этих систем уязвимыми по отношению к внезапным перерывам в координатно-временных и навигационных услугах. Именно поэтому, поддерживается развитие дополняющих и резервных средств координатно-временного обеспечения, наряду с повышением уровня помехозащищенности и развитием средств, обеспечивающих управляемое исключение доступа возможного противника к средствам и услугам СРНС (без ущемления интересов гражданских потребителей).

Страны, обладающие собственными ГНСС или создающие их, заинтересованы в обеспечении национальной безопасности и экономической независимости исключительно за счет собственных систем без какой-либо зависимости от зарубежных услуг координатно-временного и навигационного обеспечения.

Благодаря осознанию роли, которую играют вопросы координатно-временного и навигационного обеспечения в общем стремительно развивающемся процессе вовлечения высоких информационных технологий во все сферы человеческой деятельности и, как следствие, повышенному вниманию со стороны администрации развитых стран к вопросам и технологиям космической навигации в этой области за последнее время достигнут значительный прогресс, который, наряду с планами модернизации СРНС GPS, ГЛОНАСС и создания новой европейской ГНСС Галилео, должен привести к качественно новому состоянию координатно-временного обеспечения потребителей во всем мире.

Заявляемые в проектных материалах точности навигации по сигналам ГНСС (от 5 до 15 м), вероятно, будут превзойдены благодаря совершенствованию средств и методов эфемеридно-временного обеспечения, приема и обработки сигнала в навигационном приемнике.

Проблемы использования и распространения современных навигационных технологий в РФ в значительной степени связаны с отсутствием сбалансированной нормативно-правовой базы, регламентирующей разработку, производство, применение и ввоз навигационной аппаратуры и других средств координатно-временного навигационного обеспечения. Существующая нескоординированная нормативно-правовая система регулирования деятельности в области космической навигации и геодезии не может способствовать созданию и развитию единой системы координатно-временного обеспечения. Именно поэтому необходимы корректировка существующего законодательства в области координатно-временной и навигационной деятельности и создание единой системы нормативно-правового регулирования этой деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юркина, М.И. Действующие системы координат в России [Текст] / М.И. Юркина, Л.И. Серебрякова // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2001. – № 3. – С. 40-53.
2. Ashjaee, J. GPS: The Challenge of a Single Chip [Text] / J. Ashjaee // GPS World. – 2001. – Vol. 12, No. 5. – P. 24-27. – Англ.

3. Feng, Y. Future GNSS performance. Predictions using GPS with a virtual Galileo constellation [Text] / Y. Feng // GPS World. – Vol. 16, No. 3. – 2005. – P. 46-52. – Англ.
4. Jäger, R. Precise Vertical Reference Surface Representation and Precise Transformation of Classical Networks to ETRS89 [Text] / Jäger, R., Kälber, S., Schneid, S., S. Seiler // ITRF – General Concepts and Realisation of Databases for GIS, GNSS and Navigation Applications in and outside Europe. Proceedings GNSS2003 – The European Navigation Conference, Graz, April 22-25, 2003. – Англ.
5. Langley, R.B. Smaller and smaller. The evolution of the GPS receiver [Text] / R.B. Langley // GPS World. – 2000. – Vol. 11, No. 4. – P. 54 – 58. – Англ.
6. MacGougan, G. Performance analysis of a stand-alone high-sensitivity receiver [Text] / G. MacGougan, G. Lachapele, R. Klukas, et al. // GPS Solutions. – 2002. – Vol. 6, No. 3. – P. 179 – 195. – Англ.
7. Martone, M. Prime Time Positioning. Using Broadcast TV Signals to Fill GPS Acquisition Gaps [Text] / M. Martone, J. Metzler // GPS World. – 2005. Vol. 16, No. 9. – P. 52-59. – Англ.
8. Mattos, P.G. A Single-Chip GPS Receiver and the Steps to Mass-Market Galileo [Text] / P.G. Mattos // GPS World. – 2005. – Vol. 16, No. 10. – P. 24 – 31. – Англ.
9. Muellerschoen, R.J. An Internet-Based Global Differential GPS System, Initial Results . [Electronic resource]. / R.J. Muellerschoen, W.I. Bertiger, M. Lough, D. Stowers, D. Dong / 2000. – Англ. – Режим доступа: http://gipsy.jpl.nasa.gov/igdg/papers/ion_paper_2000.doc
10. Rizos, Ch. Precise GPS Positioning: Prospects and Challenges [Electronic resource] / Ch. Rizos. – 2001. – 17 p. – Англ. – Режим доступа: www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/rizos_2001a.pdf
11. Rizos, Ch. Principles and Practice of GPS Surveying [Electronic resource] / Ch. Rizos. – Version 1.1, September 1999. – Режим доступа: http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/ – Англ.
12. Soler, T. A note on frame transformations with applications to geodetic datums [Text] / T. Soler, J. Marshall // GPS Solutions. – 2003. – Vol. 7 No. 1. – P. 23-32. – Англ.

© К.М. Антонович, 2006

УДК 629.783:551.24
 А.С. Рассказов
 СГГА, Новосибирск

МЕТОД МНОЖЕСТВЕННЫХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

В попытке преодоления недостатков однобазовых измерений были разработаны методы, основанные на использовании сетей базовых GPS станций, чтобы уменьшать влияние коррелированных ошибок и таким образом улучшить точность позиционирования. Такие сети GPS станций можно использовать для измерения коррелированных ошибок в регионе и предсказывать их влияние (через улучшенные методы интерполяции) в пространстве и во времени в пределах сети. Этот процесс (сетевая RealTimeKinematic – кинематика в реальном времени) поможет уменьшить влияние коррелированных ошибок намного лучше, чем метод одиночной опорной станции. Опорные станции, распределенные в пространстве,

охватывают намного большую площадь, чем в традиционном методе, и поддерживают при этом более высокий уровень исполнения.

Использование нескольких станций в широкозонном дифференциальном методе WADGPS для улучшения положений, определяемых по кодовым данным (или кодовым данным со сглаживанием по фазе несущей), было с большим успехом использовано и в пост-обработке, и в режиме реального времени. Естественное расширение этой концепции – использование более точных измерений фазы несущей в подобном сетевом методе. Однако переход от кодовых измерений к фазовым является не тривиальной задачей, преимущественно из-за более строгих требований к точности. Например, в большинстве кодовых измерений DGPS ограничивающим источником ошибок является шум измерений и многопутность самого кода (ионосферные эффекты начинают играть роль только на очень больших расстояниях). Таким образом, такие ошибки как от атмосферы и от орбиты, влияние которых маскировалось более низкой точностью измерений в кодовом методе DGPS, в наблюдениях по фазе несущей выходят на передний план. Кроме того, для высокоточных определений по фазе требуется точное и надежное разрешение целых неоднозначностей. Наконец, расширение этой концепции в отношении требований пользователей, работающих в реальном времени, требует решения проблем, связанных с оптимальными схемами представления (параметризации) поправок и их распространением и передачей потенциальным пользователям в пределах (или вблизи) площади, охваченной сетью.

Применение сети базовых станций для выполнения фазовых измерений в реальном времени дает несколько преимуществ над обычным методом одиночных базовых линий. Одно из самых важных преимуществ, – это расширение надежности и доступности обслуживания. В сетевом методе, если одна или две станции неисправны одновременно, то их вклад можно исключить из решения, а остальные базовые станции могут взять его на себя, чтобы обеспечить пользователя поправками, таким образом, сохраняя работу службы. Хотя в таких случаях точность положений может несколько пострадать, это не будет настолько плохо, как в методе с одной базовой станцией, что приводит к точечному позиционированию. В дополнение к этому, использование сетевого метода позволяет делать контроль качества поправок, образуемых по каждой базовой станции. Тогда, если отдельная станция генерирует ошибочные поправки, сеть позволяет выявить и исключить эту ошибку из окончательного решения.

Другое весьма важное преимущество сетевого метода состоит в том, что он позволяет моделировать зависящие от расстояния или пространственно коррелированные ошибки, такие как ионосферные и тропосферные влияния и ошибки орбит. При объединении наблюдений от нескольких постоянных базовых станций влияние упомянутых источников ошибок можно уменьшить посредством применения различных методов параметризации. Таким образом, поправки, компенсирующие эти ошибки, можно генерировать и распределять пользователям, улучшая общую точность положений. Прямой результат от

моделирования пространственно коррелированных ошибок, – это возможность улучшения в разрешении неоднозначностей фазы несущей (включая очень длинные линии), что необходимо для получения координат потребителя на сантиметровом уровне точности. В действительности разрешение неоднозначностей на длинных базовых линиях приводит к другому важному преимуществу сетевого метода: к большему допустимому расстоянию между опорными станциями. Это непосредственно увеличивает охват площади, на которой можно работать методом RTK. Например, в большинстве случаев расстояния между станциями увеличиваются от 10 – 15 километров при использовании метода одиночных базовых линий до многих десятков километров при использовании сети базовых станций. Это позволяет значительно уменьшить количество базовых станций.

Наконец, сетевой метод позволяет образовывать наблюдения для *виртуальной базовой станции*, которая может располагаться ближе к станции пользователя, чем любая из постоянных реальных базовых станций, что приводит

к улучшению позиционирования. Такие преимущества метода виртуальных базовых станций обеспечивают большую гибкость, позволяя пользователю применять его текущие приемники и программы обработки, без приобретения какой-либо «специальной» программы обработки фазовых наблюдений, чтобы заботиться об одновременно принимаемых поправках от серии базовых станций.

Как и в любом методе, здесь также есть некоторые недостатки, связанные с использованием сети базовых станций. В частности, в зависимости от используемого метода возможно увеличение в объеме передаваемых данных и сложности в применении пользователем по сравнению с обычным методом RTK по одиночным базовым линиям. Объединение всех наблюдений сети на центральной станции обработки и последующая передача либо поправок для пользователя, либо синтезированных наблюдений для виртуальной базовой станции (либо оба вида данных) являются предпочтительными методами для преодоления ограничений, связанных с шириной полосы пропускания данных. Наконец, чтобы метод был легко доступным для всех пользователей, необходимо, чтобы соответствующие опорные станции с очень хорошо известными координатами находились, непрерывно работали и распространяли поправки по технологии, которая применяется пользователями на обслуживаемой площади. Для организации метода, вероятно, потребуется диспетчерская (провайдерская) служба,

а отсюда следует еще один недостаток сетевого метода – более высокая стоимость применения и поддержания качества обслуживания.

Первый шаг сетевого RTK – измерение ошибок на базовых станциях. В большинстве случаев ошибки получаются как разности между наблюдениями фазы несущей (с зафиксированными неоднозначностями) и расстояниями, которые вычисляются по известным координатам станций. Эти ошибки можно измерить через сырые наблюдения фазы на L1 и L2. Для того чтобы изолировать различные источники ошибок и использовать преимущества от их уникальных характеристик.

Интерполяция коррелированных ошибок на положение приемника пользователя предполагает стохастическое и физическое (математическое) соотношение между ошибками. Например, все способы интерполяции дают результат по ближайшим опорным станциям, имея наибольшее влияние на предсказанные значения, потому что на близких базовых станциях более вероятно проявление тех же самых ошибок, что и у ровера, а не на тех пунктах, которые далеко.

Raquet (1998) предложил метод интерполирования найденных ошибок между станциями на положение пользователя, находящегося в любом месте сети. В этом методе внешний процесс определяет целые неоднозначности фазы несущей между опорными станциями. Эти неоднозначности затем используются для оценивания разностных ошибок между опорными станциями. Измеренные ошибки интерполируются на пользователя в сети линейным методом с предсказанием по МНК. Ковариационные функции представляют стохастическое поведение ошибок, которые должны определяться на внешнем наборе (выходе). Метод был применен в действующей системе в реальном времени и обеспечил хорошее улучшение в реальном времени и в постобработке (Cannon et al., 2001a, 2001b; Fortes et al., 2000a, 2000b, 2001; Alves et al., 2001; Raquet et al., 1998; Raquet, 1998; Zhang, 1999a; Zhang & Lachapelle, 2001).

В работах Wanninger (1999), Vollath (2000a) и Wübbena (2001a) обсуждается несколько иная схема интерполяции, где для определения поправок для пользователя используются три окружающих станции. В этой более простой модели для оценивания ошибок подбирается плоскость по трем ближайшим станциям. Эта плоскость представляет двумерные дифференциальные ошибки внутри треугольника из трех окружающих станций. Доказано, что метод обеспечивает хорошие результаты при спокойной ионосфере и при сравнительно высокой плотности станций в сети.

Как только поправки для мобильной станции определены, их нужно передать на приемник пользователя в удобном формате. Традиционный метод одиночных базовых линий имеет большое влияние на этот процесс, поскольку большинство коммерческих приемников еще не имеют возможности принимать сетевые поправки. Чтобы компенсировать этот недостаток, многие системы сетевой RTK создают виртуальные базовые станции (Virtual Reference Station, VRS). VRS – это набор исправленных данных от одного опорного приемника (в сети), которые были исправлены для локальной площади внутри сети. Эти данные обычно геометрически приводятся к точке, близкой к району работ, для которого ведется исправление. Мобильная станция (МС) может принимать виртуальную опорную станцию за одиночную опорную станцию. Этот процесс описан в Fotopoulos (2000).

В общем, в методе VRS создается «опорная станция» для использования со стандартными off-the-shelf приемниками, которые не могут принимать сетевые поправки. Есть много недостатков у этого метода. МС будет интерпретировать VRS как одиночную базовую станцию, которая может заставить МС использовать схему обработки, не являющуюся оптимальной (Townsend et al.,

2000).

В большинстве случаев МС будет оптимизировать схему обработки, основанную на расстоянии между ее положением и опорной станцией. В случае VRS положение виртуальной станции является произвольным, поскольку основано на сети станций. Решение должно иметь гарантию провайдера службы о том, что VRS находится на соответствующем расстоянии от пользователя, чтобы оптимизировать схему обработки, но это не всегда возможно, если пользователей много. Это требует иметь провайдера, который должен знать приближенное положение пользователей. В этом случае МС должна сообщать свое положение через NMEA сообщение на обрабатывающий контрольный центр, чтобы гарантировать, что интерполяция производится на правильное положение. Для этого необходима сложная двусторонняя связь, что является другим недостатком метода (Euler et al., 2001). Ограничение для этого метода – ему не подходит стандарт RTCM, поскольку он не позволяет данные опорной станции корректировать за ошибки от атмосферы или от орбит (Townsend et al., 2000).

Будущее метода MRS. Текущие рекомендации касаются главным образом стандартизации сообщений для сетевой RTK. Как только создание стандарта для сетевых поправок будет осуществлено, то сетевые поправки можно будет засылать прямо в приемник МС без необходимости в VRS. В работе Townsend (2000) предлагается схема, основанная на сетке, где поправки для разных точек на нерегулярной сетке посылаются в приемник МС. Он может для вычисления и введения поправок использовать схему интерполяции. Точки сетки могут содержать только опорные станции или опорные станции и предсказанные ошибки, которые были определены путем интерполяции.

Подобная схема предлагается в работе Euler et al. (2001), по которой поправки для главной опорной станции и координаты для главной станции даются вместе с поправками и разностями координат относительно главной станции. По этой схеме приемник МС имеет возможность интерполировать поправки на свое положение или просто восстанавливать наблюдения для одной опорной станции. Это дает изготовителям приемников свободу в применении любой интерполяционной схемы, которую они считают наилучшей.

Хотя методы MRS RTK доказали свою эффективность в опытных сетях, оперативное размещение остается сложным, а высокий уровень ионосферной активности ограничил их преимущество в течение последних нескольких лет, когда метод проходил испытания. Серьезные последствия надежности сохраняются. Однако ожидается введение 2-й и 3-й гражданских частот, а также объединенное использование GPS и Galileo, что будет иметь решающее влияние на эффективность и крупномасштабное развертывание этих методов в ближайшем десятилетии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. G. Lachapelle, P. Alves. Multiple Reference Station Approach: Overview and Current Research //Journal of Global Positioning Systems (2002) Vol. 1, No. 2, pp133-136. – Англ.

2. Е.И. Суницкий. Широкозонные системы спутниковой дифференциальной навигации // Геопрофи. – 2006. – № 3. – С. 12 – 14.
3. G. Fotopoulos and M.E. Cannon An Overview of Multi-Reference Station Methods for cm-Level Positioning // GPS Solutions (2001), Vol. 4, No. 3, pp. 1-10. – Англ.
4. M. O. Kechine, C. C. J. M. Tiberius, H. van der Marel An experimental performance analysis of real-time kinematic positioning with NASA's Internet-Based Global Differential GPS// GPS Solutions (2004) 8:9–22. – Англ.

© А.С. Рассказов, 2006

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Контроль качества спутниковых наблюдений должен выполняться при проведении наблюдений на пункте, при обработке отдельных базовых линий (БЛ) и при выполнении уравнивания всей построенной геодезической сети. Он заключается в оценке полноты, корректности и достоверности данных измерений и их соответствия установленным требованиям.

Контроль в процессе измерений на пункте. Наблюдатель должен обеспечить сбор качественных измерений, выполняемых им лично и производимых приемником. Полнота контроля качества спутниковых наблюдений в значительной мере зависит от комплекта спутниковой аппаратуры. Наличие контроллера или компьютера позволяет почти полностью контролировать качество выполняемых наблюдений. В процессе спутниковых измерений контролю подлежит следующая информация:

- Время начала и конца измерений в сеансе, количество сеансов;
- Количество наблюдаемых спутников и их геометрия;
- Наличие срывов в наблюдении фазы, отношение сигнал/шум;
- Правильность измерения высоты антенны;
- Параметры наблюдений (угол отсечки по высоте, дискретность записи, максимальный PDOP и т. д.).

Если число наблюдаемых спутников не соответствует количеству запланированных спутников, то это может объясняться неисправностью аппаратуры. Необходимо контролировать процесс инициализации приемника (время до первого захвата сигнала), качество инициализации приемника сказывается на качестве процесса измерений.

Главный вид измерений, производимых наблюдателем – определение высоты антенны. Контроль этого процесса – измерения (и соответствующие вычисления) до и после сеанса наблюдений, измерения в разной системе мер (метрической и английской), определение высоты до разных опорных точек на корпусе антенны (или приемника моноблочного типа) с известными расстояниями между ними.

Контроль качества наблюдений в процессе предварительной обработки. Еще в поле в процессе формирования базы данных наблюдений проверяется их полнота, правильность указания типов и наименований использованных антенн и результатов измерения высот антенн. При этом одновременно контролируются данные, указанные в журналах и содержащиеся в файлах наблюдений, соблюдение порядка и правил центрирования антенн и измерения их высот.

Предварительная обработка может выполняться любым из имеющихся стандартных программных пакетов, предназначенных для точной обработки наблюдений и позволяющих в документированном виде получить все требуемые основные характеристики состава и качества выполненных работ и сформировать на электронных носителях пакеты данных, необходимых для окончательной обработки.

Полная предварительная обработка спутниковых наблюдений включает непосредственную обработку спутниковых наблюдений для вычисления векторов БЛ между пунктами и уравнивание полученных значений векторов при фиксированных значениях координат одного из пунктов с целью апробации и отбраковки грубых результатов и оценки приемлемости полученных наблюдений для окончательной обработки.

Всегда необходимо подвергать анализу основные параметры решения БЛ, и, прежде всего, – тип окончательного решения. Лучшим типом решения для одночастотных измерений являются фиксированное по двойным разностям, для двухчастотных измерений – фиксированное по двойным разностям ионосферно-свободной комбинации фаз.

Полезную информацию о погрешностях дает апостериорная ковариационная матрица. Однако эти данные характеризуют точность лишь по внутренней сходимости. Объем отвергнутых измерений, по мнению разработчиков программного обеспечения, не должен превышать 10% от всего объема данных.

В связи с тем, что для системы уравнений поправок находится несколько наборов целочисленных неоднозначностей, выбор лучшего из них производится на основании F-теста или *Variance Ratio* (VR, отношение дисперсий). В этом исследовании соответствующие каждому набору дисперсии располагаются в порядке возрастания, и берется отношение дисперсии второго претендента на решение σ_2^2 к дисперсии первого претендента на решение σ_1^2 , то есть к наименьшей из всех дисперсий:

$$VR = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2}. \quad (1)$$

Полагая, что лучшему решению соответствует минимальная дисперсия, обычно при $VR > 1.5$ с вероятностью 95% присваивается тип фиксированного решения. Если $VR \leq 1.5$, то первому претенденту на решение присваивается тип плавающего решения.

Тест на относительную дисперсию *Reference Variance* (RV) проверяет соответствие апостериорной $\sigma_{a\ posteriori}^2$ и априорной $\sigma_{a\ prior}^2$ дисперсий:

$$RV = \frac{\sigma_{a\ posteriori}^2}{\sigma_{a\ prior}^2}. \quad (2)$$

Эта величина не имеет размерности, ее также называют коэффициентом дисперсии или дисперсией единицы веса. Она показывает, насколько

полученные данные соответствуют тому, что ожидалось получить. Априорная дисперсия рассчитывается на основе предсказания о нормальном уровне ошибок в измерениях (уровне шумов). Если предположения о суммарном влиянии ошибок оправдалось, то $RV = 1$. При $RV < 1$ можно утверждать, что данные получены более качественные, чем ожидалось, при $RV > 1$ – ожидания не оправдались.

Высокое *Reference Variance* и низкое *Variance Ratio* могут быть следствием ряда причин:

- Шумные данные, вызванные частичными препятствиями, например, деревьями, данными от спутников вблизи горизонта;
- Значительная многопутность;
- Немоделируемые систематические ошибки, особенно при одночастотных измерениях на линиях длиннее 15 – 20 км, где могут быть проблемы с учетом ионосферной рефракции, в частности, при магнитных бурях;
- Неправильный выбор фиксированного решения или не восстановленные потери счета циклов (рис. 1).

Важную информацию для анализа решения дают сведения о трекинге сигналов спутников и графики остаточных невязок уравнений наблюдений. Например, потеря сигналов по всем или большей части каналов может свидетельствовать о наличии источника помех, влияющего на электронику приемника. Таким источником могут быть разряды в ионосфере во время магнитных бурь или помехи от двигателей автотранспорта. Во втором случае сможет помочь установка сеточного экрана. В некоторых случаях графики остаточных невязок позволяют идентифицировать источник ошибок (рис. 1, 2). Ошибки элементов приведения (в том числе определения высоты антенны), ошибки фазового центра не сказываются на качественных характеристиках решения базовой линии, они выявляются при вычислении невязок в замкнутых фигурах.

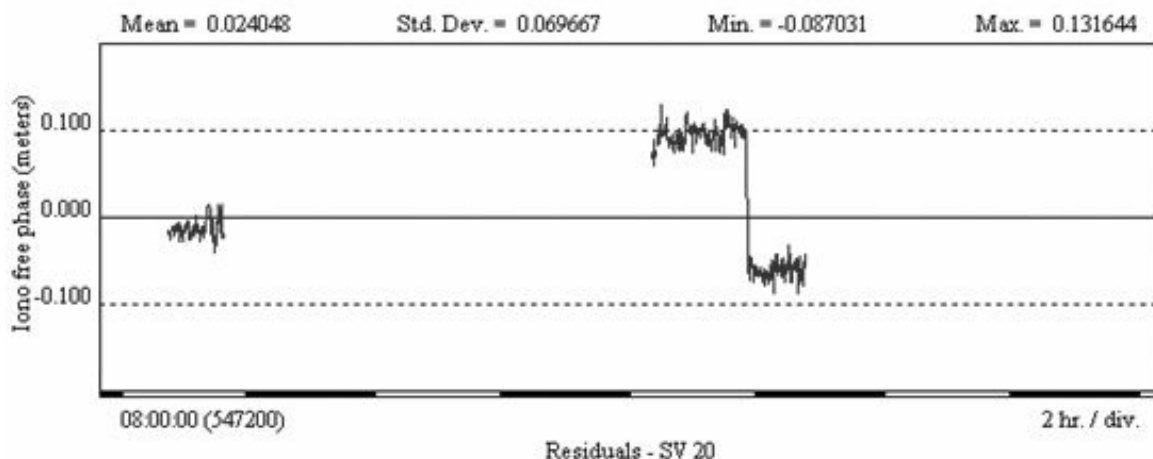


Рис. 1. График остаточных невязок при обработке измерений с не исправленной потерей счета циклов

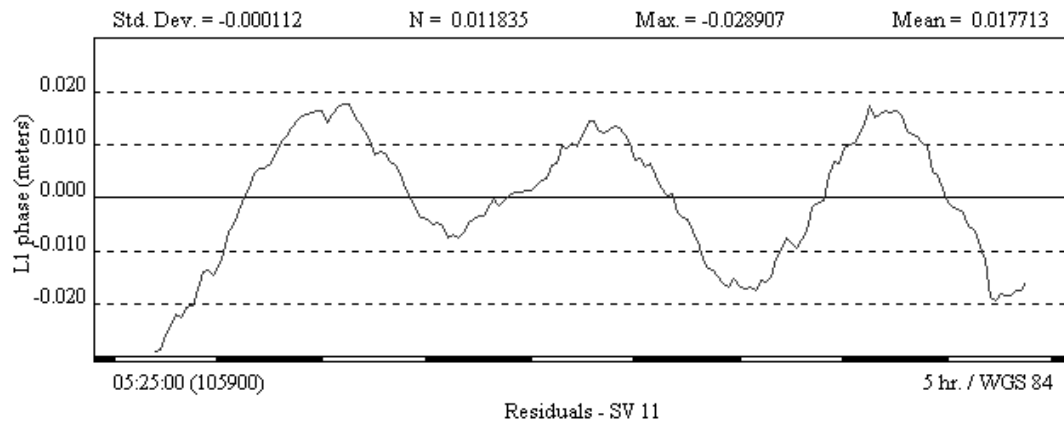


Рис. 2. Синусоидальный характер влияния многопутности на остаточные невязки измерений фазы

Для сетей наилучшим средством нахождения проблемных линий является использование программ замыкания фигур, которые для определения невязок суммируют компоненты векторов по замкнутому контуру. Большинство программных пакетов имеют именно этот тип программ. В каждой фигуре можно получить невязки w_X , w_Y , w_Z или w_E , w_N , w_H по каждой из координат как сумму соответствующих приращений, которая теоретически должна равняться нулю:

$$w_X = \sum_k \Delta X, \quad w_Y = \sum_k \Delta Y, \quad w_Z = \sum_k \Delta Z, \quad (3)$$

где k – число сторон в замкнутой фигуре.

По координатным невязкам можно получить полную невязку w :

$$w = \sqrt{w_X^2 + w_Y^2 + w_Z^2} = \sqrt{w_E^2 + w_N^2 + w_H^2} \quad (4)$$

и сравнить ее с допустимой (ожидаемой) невязкой $w_{don.}$:

$$w_{don.} = \sqrt{\sum_k (\Delta_D^2 + \Delta_H^2)} \quad (5)$$

Ошибки Δ_D , Δ_H определяются на основании паспортных данных или устанавливаются на основании инструкций для данного вида работ. С вероятностью 95% должно выполняться условие:

$$w \leq 2w_{don.} \quad (6)$$

Преимущество контроля по невязкам очевидно: здесь осуществляется не только контроль решения базовой линии, но и ошибки оператора. Большие невязки w_E , w_N свидетельствуют о грубом центрировании антенны, а большая невязка w_H – о промахе при измерении высоты. Недостаток метода контроля по невязкам состоит в невозможности контролировать смещенные решения

базовых линий. Один из источников таких решений – ошибки в априорных координатах начала базовой линии.

В статье Герасимова и Сластенова [1994] дается формула средней квадратической ошибки измерения одной разности координат по невязкам фигур всей сети:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i^2}{3 \sum_{i=1}^n k_i}}. \quad (7)$$

В этой формуле в числителе должна быть сумма квадратов полных невязок из n замкнутых фигур, а в знаменателе – сумма числа сторон во всех фигурах, k – число сторон в фигуре. Если требуется сделать оценку точности по каждой из координат в отдельности, то формулу нужно изменить: в числителе вместо полных невязок использовать только невязки по соответствующей координате, а в знаменателе необходимо убрать коэффициент 3. При этом важно, чтобы одна и та же базовая линия присутствовала только в одной фигуре.

К сожалению, встречаются ситуации, в которых выполнение контроля по замыканиям фигур не гарантирует отсутствия ошибок. Такая ситуация иногда возникает при проведении измерений в городских условиях поблизости от зданий, рекламных щитов или бетонных заборов в случае наблюдения виртуальной точки. Возникающая многопутность в непродолжительных сеансах приводит к тому, что измерения оказываются выполненными относительно некоторой виртуальной точки. В таких ситуациях наблюдатель должен либо выбирать место для установки приемника без опасного окружения и затем определять элементы приведения или проводить контрольные измерения.

Другой метод контроля сети – это выполнение свободного или минимально ограниченного уравнивания по методу наименьших квадратов с использованием одной из многочисленных доступных сегодня программ. Это уравнивание обычно должно выполняться только после предварительного исключения неудовлетворительных линий программой вычисления невязок в замкнутых фигурах. Предварительное уравнивание выполняется несколькими приближениями, в процессе проведения которых последовательно уточняется априорно вводимое значение ошибки единицы веса включаемых в уравнивание векторов и осуществляется отбраковка векторов.

Ковариационные матрицы позволяют судить о качестве и надежности уравнивания. Высокая точность результатов уравнивания не всегда свидетельствует о его надежности: возможны обнаруженные грубые ошибки и систематические влияния, искажающие математическую модель уравнивания. Грубые модели уравнивания обнаруживаются тем надежнее, чем выше избыточность сети.

Для оценки качества уравнивания применяются различные статистические тесты. Вероятностный тест χ^2 основан на сумме взвешенных квадратов поправок $\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V}$, числе степеней свободы и уровне доверия (проценте

вероятности). Назначение этого теста – отвергнуть или принять гипотезу о том, что предсказанные ошибки были точно оценены. Если тест не проходит, то это указывает на то, что все или несколько наблюдений необходимо проверить, или даже перенаблюдать. Если проверка вычислений не дает желаемого результата, то ошибочные измерения удаляют из уравнивания. Однако невыполнение χ^2 -теста может быть также вызвано неадекватной стохастической моделью, или неадекватной математической моделью, или ими обеими.

Вероятностный τ -тест (τ -критерий), опирающийся на распределение Стьюдента, которое в свою очередь базируется на числе наблюдений, доверительной вероятности (95%) и числе степеней свободы, позволяет выявить грубые измерения. Дополнительную информацию для анализа дают гистограммы распределения ошибок и эллипсы (или эллипсоиды) ошибок

© К.М. Антонович, В.В. Яхман, 2006

УДК 629.783:551.24

К.М. Антонович, В.В. Яхман

СГГА, Новосибирск

СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УРАВНИВАНИЯ СЕТИ

Для уравнивания спутниковых сетей важно выбрать стохастическую модель (вероятностную модель ошибок измерений) по возможности адекватно характеризующую точность выполненных измерений. Тем самым достигается исправление более грубых измерений большими поправками, а более точных измерений – меньшими поправками. Если же стохастическая модель сети содержит ошибочную информацию, то результаты уравнивания и оценка точности уравненных величин могут оказаться ненадежными. В этом случае могут быть получены не состоятельные оценки. В большей степени это относится к сетям, образованным из «независимых» базовых линий то есть косвенно измеренным величинам.

В технической литературе используются различные приемы выбора стохастической модели, которые нашли свое применение в каждом конкретном случае.

Стохастическая модель сети, построенной по спутниковым измерениям, представляется ковариационными матрицами K_{XYZ} , полученными при решении отдельных базовых линий:

$$K_{XYZ} = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & \sigma_{XY} & \sigma_{XZ} \\ \sigma_{YX} & \sigma_Y^2 & \sigma_{YZ} \\ \sigma_{ZX} & \sigma_{ZY} & \sigma_Z^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

в которых диагональные члены – дисперсии приращений координат базовых линий, а недиагональные члены – их ковариации. В случае обработки

одновременных наблюдений R приемниками имеется полная ковариационная матрица для группы из R станций (или $R-1$ независимых базовых линий). Она имеет размер $3(R-1) \times 3(R-1)$.

Использование дисперсий (квадратов средних квадратических ошибок) как основы для назначения весов наблюдений подразумевает, что ошибки наблюдений (компонент базовой линии) имеют *нормальное распределение*. Однако это может быть ошибочное предположение, которому практически нет альтернативы.

Одной из характерных особенностей спутниковых методов является существенное преобладание систематических ошибок над случайными. Практически всегда при решении базовых линий в ковариационных матрицах для приращений координат получаются миллиметровые точности, особенно при удачном разрешении неоднозначностей по двойным разностям. В то же время невязки

в замкнутых фигурах, вычисляемые по этим же базовым линиям, имеют величину на сантиметровом уровне. Это происходит потому, что ковариационная матрица на выходе из решения базовой линии подразумевает точность по внутренней сходимости. В ней не учитывается влияние ошибок центрирования, измерения высоты антенны, некоррелированных ошибок тропосферной и ионосферной задержки и других, не моделируемых ошибок, которые в сеансе ведут себя как систематические ошибки (смещения). Когда на вход программы уравнивания сети будет поступать нереальная ковариационная матрица, получаемое решение не будет проходить χ^2 -тест. Хотя ковариационные матрицы векторов базовых линий не дают возможности судить о реальной точности их координат, по ним можно составить некоторые выводы об условиях наблюдений. Но перед их использованием во вторичном уравнивании эти матрицы необходимо корректировать, приближая их к реальным условиям измерений. На практике обработчик для изменения ковариационных матриц прибегает к различным эмпирическим методам. Обычно это производится в итеративном режиме, с использованием теста на фактор дисперсии (или какой-либо другой статистический тест).

В коммерческих программах уравнивания спутниковых сетей, как правило, используются два общепринятых метода корректировки ковариационных матриц:

- Масштабирование ковариационных матриц;
- Модификация отдельных элементов ковариационных матриц.

В первом методе применяется некоторый масштабирующий коэффициент (скаляр) w , и получается преобразованная ковариационная матрица K'_{XYZ} , в которой все дисперсии и ковариации будут хуже, чем в уравнении (1)

$$K'_{XYZ} = w \cdot K_{XYZ}. \quad (2)$$

Если тест не проходит, то назначается другой масштабирующий коэффициент, и вычисления повторяются.

Многие авторы предлагают вычислять масштабирующий коэффициент w из сравнения средних квадратических ошибок, полученных по невязкам фигур. Для этого вычисляются невязки в n замкнутых фигурах и рассчитывается средняя квадратическая ошибка m для одной из разностей координат $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, то есть выполняется оценка точности по внешней сходимости. Обычно эта ошибка в 5 – 10 раз больше ошибок, представленных в ковариационных матрицах базовых линий. Средние квадратические ошибки, определяемые по внутренней сходимости, находятся через три диагональных элемента K_{11}, K_{22}, K_{33} как $\sqrt{K_{11}}, \sqrt{K_{22}}, \sqrt{K_{33}}$. Для сети из всех $\sqrt{K_{ii}}$ определяется среднее арифметическое значение:

$$m_K = \frac{1}{3n} \sum \sqrt{K_{ii}}, \quad (3)$$

то есть m_K является средней квадратической ошибкой одной разности по результатам решения базовых линий. Масштабирующий коэффициент находится по формуле

$$w = m^2 / m_K^2, \quad (4)$$

а корректировка ковариационных матриц выполняется по формуле (1). Такой прием в большей степени подходит для сетей с примерно одинаковыми длинами линий, измеренных однотипной аппаратурой и в одном стиле (методы обычной статики, кинематики стой-иди или быстрой статики), с использованием решений одного и того же типа (например, по двойным разностям свободных от влияния ионосферы комбинаций фазы с разрешением целых неоднозначностей). Если же такие условия не выполняются, то можно попытаться для каждой базовой линии подобрать свой масштабирующий множитель. При этом более надежным базовым линиям следует назначать меньшие масштабирующие множители.

Второй метод построения стохастической модели основан на априорном определении ошибок определения планового положения σ_D и разности геодезических высот σ_H с разделением их на постоянную и переменную часть, зависящей от расстояния D :

$$\sigma_D = a + b \cdot D, \quad (5)$$

$$\sigma_H = a' + b' \cdot D. \quad (6)$$

Постоянный член можно рассматривать, например, как ошибку центрирования или ошибку измерения высоты антенны (соответственно влияние в плане и по высоте). С теоретической точки зрения, остаточные тропосферные и ионосферные ошибки в наблюдениях фазы несущей, как и влияния ошибок в координатах спутников и фиксированных станций, сказываются на результатах позиционирования величиной, которая возрастает с увеличением длины базовой линии.

Влияние внешних систематических смещений на обработку фазовых измерений можно выявить через их согласованность с другими данными. Более надежный метод – сравнение повторных измерений базовых линий, полученных в разное время суток, разное время года и т. д. Однако, чтобы не

оказали влияние другие эффекты (вызванные, например, различием в длинах базовых линий), при этом анализе их нужно исключать. Заметим, что в этом методе невозможно выявить систематические ошибки, которые влияют на результаты всех сессий с одинаковой величиной.

Необходимая для моделирования дисперсий информация берется из паспортных данных на аппаратуру или определяется эмпирически. Использование эмпирически выведенной информации о дисперсиях для модификации ковариационных матриц теперь является общепринятой практикой при объединении решений отдельных базовых линий, решений отдельных сессий или решений по многим сессиям. Обычно оценки параметра a лежат в диапазоне примерно 5-40 мм, а оценки параметра b – в пределах $(2-10) \cdot 10^{-6}$, в зависимости от качества первичной обработки сети. Параметры a' и b' в 2-3 раза больше.

Возможно несколько способов использования дисперсии из оценок a и b :

- Величина σ^2 для определенных базовых линий принимается одинаковой для всех трех компонент: K_{11} , K_{22} , K_{33} ;

- Ко всем трем компонентам базовых линий могут применяться одинаковые величины a или разные величины для каждой из компонент базовых линий (a_X , a_Y , a_Z). Ковариационную матрицу K_{XYZ} можно трансформировать в топоцентрическую форму K_{ENU} , используя соотношение:

$$K_{ENU} = R \cdot K_{XYZ} \cdot R^T, \quad (7)$$

где матрица R вычисляется по геодезическим координатам начала вектора базовой линии. Можно назначить разные величины для плановых компонент a_E , a_N , возникающих из-за ошибок центрирования и для вертикального компонента a' , предполагающего ошибки в высоте антенны;

- Величина b предполагается связанной с длиной базовой линии и распределяется в соответствии с длинами компонент базовой линии, в этом случае дисперсии аппроксимируются как:

$$\begin{aligned} \sigma_X^2 &= (a_X + b \cdot \Delta X)^2, \\ \sigma_Y^2 &= (a_Y + b \cdot \Delta Y)^2, \\ \sigma_Z^2 &= (a_Z + b \cdot \Delta Z)^2; \end{aligned} \quad (8)$$

- Величину b можно связать с длиной базовой линии и оценивать в соответствии со стандартными отклонениями оцененных компонент базовых линий, в этом случае дисперсии аппроксимируются выражениями:

$$\begin{aligned} \sigma_X^2 &= (a_X + b \cdot \frac{\sigma_{\Delta X}}{\sigma_D} \cdot \Delta X)^2, \\ \sigma_Y^2 &= (a_Y + b \cdot \frac{\sigma_{\Delta Y}}{\sigma_D} \cdot \Delta Y)^2, \\ \sigma_Z^2 &= (a_Z + b \cdot \frac{\sigma_{\Delta Z}}{\sigma_D} \cdot \Delta Z)^2. \end{aligned} \quad (9)$$

где $\sigma_{\Delta X}, \sigma_{\Delta Y}, \sigma_{\Delta Z}$ – средние квадратические ошибки (стандартные отклонения) определения компонент базовой линии, а σ_D – средняя квадратическая ошибка в длине базовой линии;

– В матрице K_{ENU} можно назначить разные значения a и b для плановых и вертикальных компонент (например, для учета того факта, что определение высоты грубее определения плановых компонент):

$$\begin{aligned}\sigma_E^2 &= (a_E + b_E \cdot D)^2, \\ \sigma_N^2 &= (a_N + b_N \cdot D)^2, \\ \sigma_U^2 &= (a' + b' \cdot D)^2.\end{aligned}\tag{10}$$

Заметим, что для коротких базовых линий более характерно влияние постоянных компонент a, a' , а для длинных базовых линий большее значение имеет зависимость от компонент b, b' .

Хотя есть несколько методов для вычисления дисперсии, есть также несколько возможностей для того, как их использовать для модификации исходных матриц K_{XYZ} или K_{ENU} :

– Вычисленная из обработки фазовых данных матрица игнорируется и заменяется диагональной матрицей, содержащей только выведенные дисперсии σ^2 . Здесь нет ковариационных членов, соответственно, корреляции между компонентами базовой линии отсутствуют;

– Можно сохранить вычисленную при первичном уравнивании ковариационную матрицу и добавить соответствующую величину дисперсии σ^2 к диагональным элементам матрицы. Сохранение исходных членов ковариаций означает, что изменились корреляции между компонентами базовой линии;

– Можно образовать новую ковариационную матрицу K'_{XYZ} , используя новую информацию о дисперсии σ^2 и исходную информацию о корреляциях. В этом случае вначале вычисляются коэффициенты корреляции по исходной информации из ковариационных матриц:

$$r_{XY} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}, \quad r_{XZ} = \frac{\sigma_{XZ}}{\sigma_X \sigma_Z}, \quad r_{YZ} = \frac{\sigma_{YZ}}{\sigma_Y \sigma_Z}.\tag{11}$$

Затем определяются новые дисперсии $\sigma_X^2, \sigma_Y^2, \sigma_Z^2$, и образуется новая ковариационная матрица:

$$K'_{XYZ} = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & r_{XY} \sigma_X \sigma_Y & r_{XZ} \sigma_X \sigma_Z \\ r_{YX} \sigma_Y \sigma_X & \sigma_Y^2 & r_{YZ} \sigma_Y \sigma_Z \\ r_{ZX} \sigma_Z \sigma_X & r_{ZY} \sigma_Z \sigma_Y & \sigma_Z^2 \end{bmatrix}.\tag{12}$$

Последняя возможность предпочтительнее.

Еще один прием корректировки ковариационной матрица описан в руководстве по программе TRIMNET. В этом методе, называемом *стратегией суммирования* назначаются дополнительные ошибки для азимутов, длин геодезических и приращений эллипсоидальных высот. Эти дополнительные ошибки возводятся в квадрат и складываются с соответствующими

дисперсиями в ковариационных матрицах K_{AHS} . Суммирование может производиться либо для одного какого-либо вида параметров, либо для их комбинаций. Величина дополнительной ошибки для каждой базовой линии может назначаться индивидуально, либо можно назначать одинаковые ошибки для всех базовых линий.

К сожалению, приходится констатировать, что у пользователя коммерческой программы уравнивания спутниковой сети выбор методов построения стохастической модели уравнивания обычно ограничен 2-3 опциями программного обеспечения.

© К.М. Антонович, В.В. Яхман, 2006

УДК 528:629.783

А.Г. Прихода, А.П. Лапко

ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск

СПУТНИКОВЫЕ ФАЗОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ЗАЛЕСЕННЫХ УСЛОВИЯХ

При производстве полевых геолого-геофизических работ в сложных физико-географических условиях (залесенная, холмистая и горно-таежная местность) возникают проблемы спутникового геодезического обеспечения. Одним из главных источников ошибок при позиционировании по сигналам глобальных спутниковых радионавигационных систем является многопутность (многолучевость) распространения спутниковых радиосигналов [Антонович, т. 1, 2005]. Эти ошибки – результат интерференции радиоволн, которые проходят расстояние между навигационным спутником и приемником несколькими путями различной длины из-за отражений от земной поверхности и объектов в основном вблизи приемника [Генике и др., 1999].

Нами были проведены в залесенной местности исследования системы субметровой точности, работающей по сигналам GPS. Исследуемая система включала в себя: базовую станцию Legacy – HGD фирмы Topcon и мобильную роверную станцию Pathfinder PRO XR фирмы Trimble Navigation.

Базовая станция располагалась на опорном пункте с известными координатами на крыше здания. Измерения выполнялись в относительном режиме с постобработкой полученной информации в залесенной и открытой местности на эталонных пунктах. Высота деревьев с густой кроной достигала 20 м. Расстояние между деревьями до 5 – 7 м. Расстояние между мобильной и базовой станциями находилось в пределах 25 км.

На каждый час работы посредством программного обеспечения Trimble Pathfinder Office составлялся прогноз видимости количества навигационных искусственных спутников Земли (НИСЗ). В обоих GPS-приемниках с кодовым разделением спутниковых сигналов обработка фазы несущей частоты, равной 1575,42 МГц, что соответствует длине волны $L1 \approx 20$ см. осуществляется

фазовым процессором. Приведенные компанией Trimble технические характеристики при обработке фазовых измерений для приемника GPS Pathfinder PRO XR соответствуют следующим значениям точности (СКО):

- 30 см + 5 мм/км за 5 минут непрерывного отслеживания НИСЗ;
- 20 см + 5 мм/км за 10 минут непрерывного отслеживания НИСЗ;
- 10 см + 5 мм/км за 20 минут непрерывного отслеживания НИСЗ.

Установочные (пороговые) значения исходных данных, как для открытой, так и для закрытой местности составляли: количество наблюдаемых НИСЗ ≥ 5 , геометрический фактор потери точности плановых и высотных измерений $PDOP \leq 6$, отношение сигнал/шум (SNR) ≥ 6 , маска угла возвышения спутников над горизонтом 15° .

PDOP – фактор считается наиболее удобным для оценки показателем точности. Из практики известно, что $PDOP \leq 4$ обеспечивает получение относительно точных значений местоположения. PDOP между 5 и 7 является приемлемым, $PDOP \geq 7$ считается плохим, хотя для некоторых геодезических приемников фирмы Trimble по умолчанию устанавливается пороговое значение PDOP, равное 7.

Для оценки зашумлённости сигнала ориентируются на уровень сигнала на несущей L1. Качество данных считается неудовлетворительным, если уровень сигнала на несущей L1 одного из спутников наблюдаемого созвездия оказывается менее 6. Значения полученных местоположений, определенных при низком уровне сигнала можно использовать для навигации, но не для целей геодезии.

Известны следующие основные причины затухания информационного сигнала: сигнал будет ослабленным, если прошел, например, через крону дерева; сигнал будет иметь низкий уровень, если задан малый порог возвышения спутников над линией горизонта. Кроме того, использование спутников с малым углом возвышения приводит к ошибке за многолучевость распространения. Чтобы избежать ошибок при низких углах возвышения необходимо, чтобы большая часть съёмок с постобработкой выполнялась с заданной маской угла возвышения, равной 15° . В то же время, большая часть работ в реальном времени, т. е. с передачей корректирующих поправок по радиомодему, осуществляется при значении маски угла возвышения спутников 13° . Данные со спутников регистрируются редко, если возвышение будет ниже 10° .

При фазовых измерениях количество наблюдаемых спутников должно быть ≥ 5 , хотя трехмерное положение пункта наблюдения можно определить по 4 спутникам. Дополнительные спутники обеспечивают получение избыточных измерений фазы несущей и являются фактором надежности для тех моментов времени, когда происходит срыв цикла, который представляет собой нарушение непрерывного сопровождения спутника т. е. процесс считывания фронтов сигналов при обязательном непрерывном сопровождении несущей нарушается. Срывы могут произойти из-за слабого уровня сигнала при низком расположении спутника над горизонтом, наличия препятствий на пути

радиолуча «спутник-антенна приемника», например деревьев, кустарников или заслонением антенны приемника оператором, а также смещением ветвей деревьев при ветре.

В процессе измерений при непрерывном сопровождении несущей, что контролируется оператором на визуальном индикаторе контроллера TSC-1, наблюдались кратковременные (до 3 секунд) пропадания несущей, но без потери захвата сигналов спутников.

Наряду с термином «многолучевость» известно понятие «имэджинг» (imaging), смысл которого состоит в том, что сторонние близкорасположенные к антенне проводящие тела, например элементы металлического геодезического знака, автотранспорта и т. п. могут влиять на антенну приемника, изменяя её амплитудно-частотную и фазовую характеристики и, таким образом, изменять диаграмму направленности и смещать фазовый центр антенны.

В результате интерференции «прямого» и переотраженного сигналов в фазовом центре антенны формируется результирующий сигнал, который можно представить, как «прямой» сигнал с дополнительным фазовым (или временным) сдвигом. Для кодовых сигналов сдвиг ($\gamma_{код}$), вызванный эффектом многолучевости, имеет следующий вид [Беликов и др., 1993]:

$$\Delta\gamma_{код} = -\frac{1}{2} \arctg \frac{2K \sin(2\pi \frac{\Delta R}{\lambda_m}) [K \cos(2\pi \frac{\Delta R}{\lambda_m}) + \cos(2\pi \frac{\Delta R}{\lambda_m})]}{1 - K^2 + 2K \cos(2\pi \frac{\Delta R}{\lambda_m}) [K \cos(2\pi \frac{\Delta R}{\lambda_m}) + \cos(2\pi \frac{\Delta R}{\lambda_m})]}, \quad (1)$$

где: K – коэффициент отражения, ΔR – разность хода прямого и переотраженного сигналов, λ_m – длина волны модулирующего сигнала.

Анализ формулы (1) свидетельствует о том, что при наличии сильных отражений, когда $K = 1$, значение $\Delta\gamma_{код}$ может достигать $\pi/2$, а погрешность определения дальности до спутника – $\lambda/4$. Таким образом, устойчивость кодовой аппаратуры по отношению к воздействию переотраженных сигналов определяется типом используемого кода, например C/A – кода или P-кода, частоты передачи которых отличаются на порядок. Так для GPS системы частота передачи C/A – кода составляет 1,023 МГц, а частота передачи P-кода равна 10,23 МГц. Тогда погрешность измеряемого расстояния кодовым методом составит, соответственно около 73 м и 7 м.

Для фазовых сигналов величина фазового сдвига $\Delta\gamma_{фаз.}$, вызванного эффектом многолучевости, определяется по формуле [Беликов и др., 1993]:

$$\Delta\gamma_{фаз.} = \arctg \frac{K \sin(2\pi \frac{\Delta R}{\lambda})}{1 + K \cos(2\pi \frac{\Delta R}{\lambda})}, \quad (2)$$

где: λ – длина волны несущих колебаний.

При переходе к погрешности в значении измеряемого расстояния до спутника G_R формулу (2) можно записать в следующем виде:

$$G_R = \frac{C}{\omega} \Delta\varphi = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{arctg} \frac{K \sin(2\pi \frac{\Delta R}{\lambda})}{1 + K \cos(2\pi \frac{\Delta R}{\lambda})}. \quad (3)$$

Максимальная ошибка при воздействии многолучевости соответствует условию $\cos(2\pi \frac{\Delta R}{\lambda}) = -K$. Если коэффициент отражения приближается к единице, то соответствующая погрешность измеряемого расстояния фазовым методом с использованием несущей частоты может достигать значения, равного $\lambda/2$ и на частоте L1 составит около 10 см.

При испытаниях комплекса аппаратуры в полевых условиях антенно-мачтовое устройство базовой станции было в стандартном исполнении, а мобильной (рис. 1) имело специальное исполнение.

Основными элементами предлагаемого мачтового устройства мобильной станции являются: цилиндрический штوك с фиксирующими направляющими, который неподвижно укреплен на опорном фланце штатива, подвижная стойка, снабженная в верхней части горизонтальной штангой для установки спутниковой антенны, а в нижней части с трапецевидным кольцом, включающим указатель положения. Опорный фланец включает в себя подвижный лимб с угловой шкалой от 0° до 360° , через каждые 45° . Направляющие обеспечивают устойчивое вращение антенны, а также возможность изменения ее положения по высоте вдоль цилиндрического штока с шагом 0.5λ , где λ длина волны несущих колебаний.

Методика геодезических измерений заключается в следующем.

Перед началом пошагового кругового перемещения антенны, вращая подвижную стойку, находят направление на максимальное число одновременно наблюдаемых спутников, после чего вращение антенны прекращают. Это положение антенны считается исходным (нулевым). Фиксируют

соответствующее положение указателя и совмещают с ним нулевую отметку шкалы лимба. Затем, контролируя по визуальному индикатору видимость спутников, поворачивают подвижную стойку по часовой стрелке, например, на 45° .

В таком положении в течение одной минуты выполняются

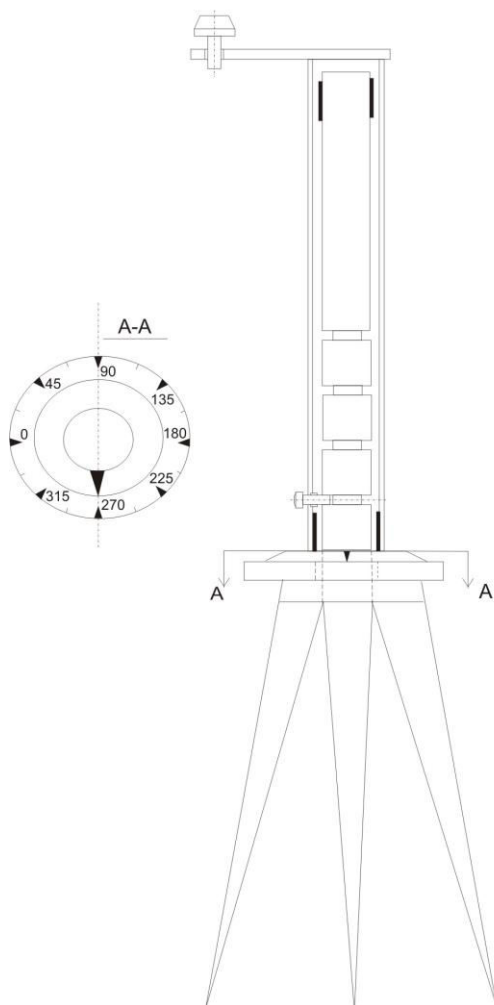


Рис. 1. Антенно-мачтовое устройство

геодезические измерения, которые заносятся в память измерительной аппаратуры. Далее в том же направлении по часовой стрелке по угловой шкале лимба, вращая подвижную стойку, поворачивают антенну на следующие 45^0 и производят измерения также в течение одной минуты. Этот процесс продолжают до завершения полного оборота вращения антенны, то есть до возвращения ее в первоначальное (исходное) положение, в котором также выполняют измерения в течение одной минуты. При необходимости более точного определения координат исследуемых точек идентичные измерения производят на нескольких высотах антенны, для чего подвижную стойку поднимают и фиксируют

в следующем положении цилиндрического штока (на высоту $0.5\lambda \approx 10$ см). Процесс измерений при каждой высоте антенны выполняют описанным выше способом. Принятые сигналы, прямые и отраженные, автоматически регистрируются, накапливаются и обрабатываются. Конечные значения координат каждой из исследуемых точек на местности определяют путем осреднения полученных осредненных значений для каждого из фиксированных положений антенны. В таблице показан фрагмент результатов геодезических измерений с использованием субметровой GPS системы.

На рис. 2 в качестве примера для пункта наблюдений № 1909 (см. таблицу) показано распределение значений координат при дискретных геодезических измерениях.

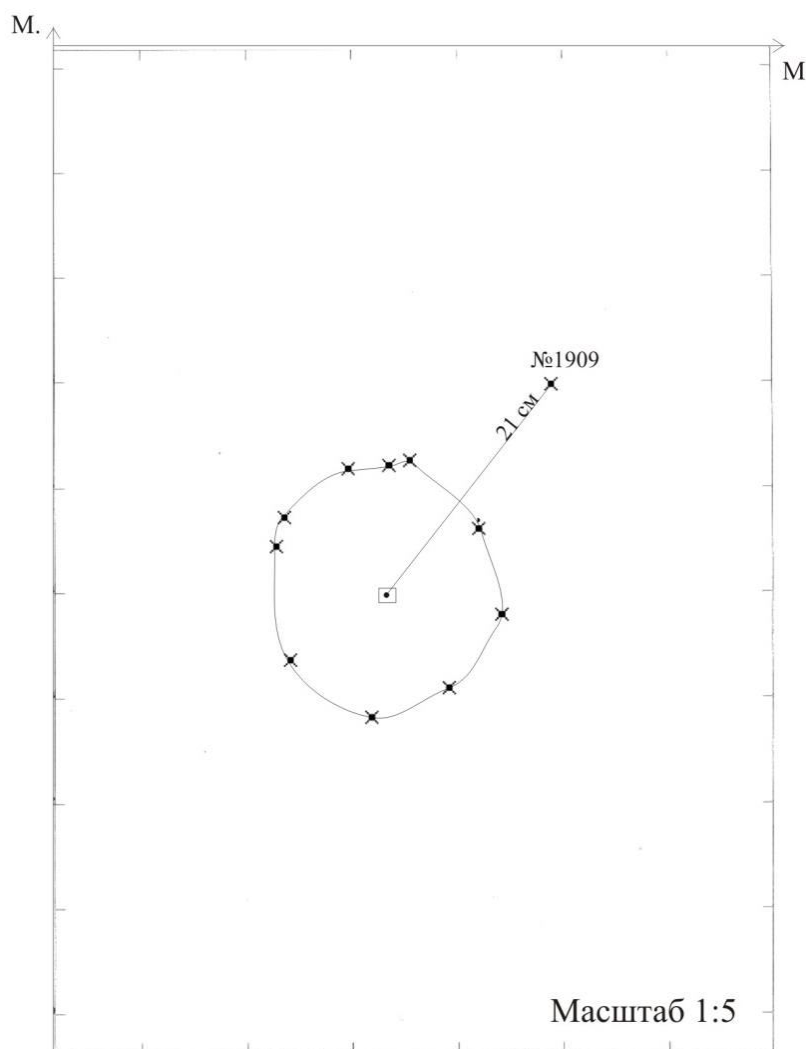


Рис. 2. Распределение значений координат пункта № 1909 при дискретных наблюдениях:

* – полученные значения координат исследуемой точки при каждом фиксированном положении антенны;
□ – значение координаты измеряемой точки, полученное в результате усреднения всех значений

Таблица. Результаты измерений спутниковым кодово-фазовым комплексом Javad (база) – PathFinder (мобильная станция) в открытой и залесенной местности.

Высота смешанных пород 20 м, расстояние между деревьями 5-7 м

№ пункта	m_x , м	m_y , м	m_H , м	m_{xy} , м	M_x , м	M_y , м	M_H , м	M_{xy} , м	Кол-во видим. сп-ков, (высота антенны), м	Вид местности
9650	0.17	0.18	0.34	0.24	0.20	0.17	1.05	0.23	7-8; (2)	Открытая
0372	0.18	0.18	0.37	0.25	0.24	0.25	0.77	0.32	7-8; (2)	Залесенная
9715	0.22	0.20	0.41	0.27	0.21	0.18	0.91	0.29	7-8; (2)	
3950	0.15	0.17	0.48	0.20	0.19	0.21	1.20	0.29	5-6; (2)	
1909	0.14	0.15	0.36	0.19	0.16	0.18	1.35	0.21	5-7; (2)	

m_x , m_y , m_H – ошибки определения координат x, y и высот H по уклонениям от среднего значения;

m_{xy} – ошибка определения местоположения $m = \sqrt{x^2 + y^2}$ по уклонениям от среднего значения;

M_{xy} – ошибка определения местоположения по уклонениям от истинного значения (из высокоточных определений);

M_x , M_y , M_H – ошибка определения координат x, y и высот H по уклонениям от истинных значений.

Представленные результаты демонстрируют, что реализация предлагаемого способа фазовых измерений обеспечивает точность определения координат пунктов в залесенной местности одного порядка с точностью при работе в открытой местности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [текст]. В 2 т. Т.1 : монография / К.М. Антонович. – М.: Картгеоцентр, 2005. – 334 с.
2. Беликов, П.А. Исследование GPS-приемников на объектах работ РосНИЦ «Земля» [Текст] / П.А. Беликов, А.В. Бойков, В.А. Козлов – Пятый Российский симпозиум «Метрология времени и пространства», октябрь 1994, ИМВП НПО «ВНИИФТРИ», Менделеево, Россия.

3. Генике, А.А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии [Текст] / А.А. Генике, Г.Г. Побединский. – М.: Картгеоцентр, Геоиздат, 1999. – 272 с.

© А.Г. Прихода, А.П. Лапко, 2006

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГНСС ТЕХНОЛОГИЯХ

Исторически главными источниками ошибок, которые последовательно уменьшали и исключали для достижения максимальной точности геодезических построений, были: ионосферная рефракция, ошибки орбит, моделирование фазового центра антенн, многопутность и рассеяние сигнала ближайшим окружением приемника и тропосферная рефракция. Сейчас точность определения координат относительным методом для средней длины пространственных векторов в плане достигает 1-2 мм и 5-10 мм по высоте [1]. Тропосферная рефракция является одной из основных причин более грубого определения высоты спутниковыми методами.

Тропосферная задержка, в самом первом приближении, записывается как интеграл показателя преломления среды n по пути прохождения сигнала от спутника к приемнику. В свою очередь, показатель преломления в общем случае является функцией от физических характеристик нейтральной атмосферы, температуры T , давления P , и влажности воздуха f , или парциального давления водяных паров e , называемых так же метеорологическими элементами. Таким образом, получение информации о состоянии тропосферы для ее моделирования и учета влияния, является одной из задач повышения точности спутниковых определений.

Большая часть методик измерения характеристик атмосферы основана на контактных способах: датчики, устанавливаемые на самолетах, шары-пилоты, метеорологические или геофизические ракеты, метеостанции. Другую группу способов получения метеорологической информации представляют дистанционные методы, куда относят зондирование посредством локационных радиоэлектронных систем.

Наземная метеорология. Наблюдения за текущим состоянием тропосферы осуществляются гидрометеорологической службой России для анализа и прогноза погоды. С этой целью уже более 70-ти лет развивается гидрометеорологическая сеть России, на станциях которой регулярно проводится более 15 видов измерений. Сейчас на сайте «Погода России» (<http://meteo.infospace.ru>)

в стадии разработки находится архив погоды, который хранит в базе данных информацию об измерениях метеорологических параметров порядка 5 000 станций по всему миру начиная с декабря 1998 года. В одной только Новосибирской области таких станций 42, и их показания с 2000 года доступны в электронном виде.

Большая часть метеорологических станций в наше время имеет автоматические системы регистрации метеопараметров. Производителей подобных систем множество, среди них такие корпорации как: Paroscientific

(США), Vaisala (Финляндия), Rotronic (США), LAB-EL (Elektronika Laboratoryjna, Польша). Требования к качеству метеорологических приборов, используемых при точных спутниковых определениях, достаточно высоки: точность отсчитывания температуры 0.1° , давления – 0.1 мбар, влажности – 1 – 2%.

Несмотря на достаточно густую сеть метеорологических станций, их положение редко совпадает с пунктами спутниковых наблюдений. Использование автоматических метеосенсоров так же весьма проблематично при геодезических работах, поэтому обычными приборами для измерения метеорологических элементов на пунктах спутниковых наблюдений остаются барометры, термометры и психрометры или гигрометры.

Основной недостаток поверхностных измерений состоит в том, что полученные метеоданные в общем случае являются слабым индикатором распределения влажности по пути распространения сигнала между спутником и приемником. Получается, что сбор метеоданных, являющийся сам по себе сложной задачей, зачастую дает совершенно ошибочные данные.

Аэрология и радиозондирование. Близость к земной поверхности и локальные аномалии в погодных условиях затрудняют сбор объективной информации в непосредственной близости от приемника. Динамические процессы в атмосфере сглаживают эти эффекты, начиная с высот около 100 м над поверхностью, поэтому для определения метеорологических элементов на значительных высотах используют аэрологические наблюдения.

Запускаемый радиозонд, находясь в полете, посылает радиосигналы, передающие значения метеорологических элементов в высоких слоях атмосферы. В радиолокации используют электромагнитные волны от дециметрового до субмиллиметрового диапазона, что позволяет обеспечить большие дальности локации. Запуски производятся как с поверхности (на шаре с метеорологической станции), так и с некоторой высоты (радиозонды Vaisala сбрасываются на парашюте борта самолета).

Расшифрованные сигналы радиозондов обрабатываются на станции наблюдений и передаются в региональный гидрометеоцентр для дальнейшего анализа и использования для прогноза погоды и передачи заинтересованным потребителям.

Причины, по которым использование аэрологической информации для обработки данных спутниковых наблюдений в Российской Федерации не получило широкого распространения следующие:

- Разреженность аэрологической сети страны. Регион Западной Сибири, вблизи Новосибирска, обеспечивает всего 5 постоянно действующих станций (Колпашево, Барнаул, Куйбышев, Новосибирск, Александрово);
- Недостаточная частота запуска зондов (один раз в сутки);
- Информация в региональных гидрометеорологических центрах хранится на магнитных лентах и ее крайне сложно получить удаленным пользователям.

Радиометры водяных паров. Перепады температуры и влажности в приповерхностном слое атмосферы метеорологи измеряют радиотеплолокационным методом, используя радиометры паров воды. Радиометр представляет собой очень чувствительный радиоприемник, который измеряет яркостную температуру (то есть энергию излучения) всех молекул паров воды вдоль линии, по которой направлена пассивная антенна. Обычно они работают на двух частотах: 23.8 ГГц для измерения содержания паров воды, и 31.4 ГГц для измерения содержания жидкой воды в облаках. Разность яркостных температур на этих волнах определяется интегральным содержанием и температурой водяных паров вдоль луча. [3]

Одним из преимуществ радиометрического исследования в отличие от аэрологического зондирования является возможность получения профиля распределения водяных паров вдоль некоторого направления, которое можно совместить с направлением на спутник. Таким образом, может быть установлена влажная составляющая тропосферной задержки для данного направления с точностью, не хуже чем 10 мм. Для получения такой точности радиометры калибруются по дифференциальным измерениям показателя преломления с использованием спектральных гигрометров, радиозондов или других методов измерений паров воды, чтобы исключить возможные систематические ошибки. Измерения базовых линий при этом могут получаться с миллиметровой точностью.

Основным недостатком радиометров является их стационарность, дороговизна изготовления (около \$200 000 на пункт). Радиометры водяных паров невозможно использовать при выпадении на пункте осадков.

Лазерные локационные системы. Лазерные локационные системы, называемые лидарами, основаны на использовании таких свойств оптического излучения как комбинационное рассеяние, дифференциальное поглощение и флуоресценция. Само название образовано из английской аббревиатуры этой технологии Laser Imaging Detection And Ranging.

Лазерный зонд на своем пути непрерывно посылает часть рассеянных фотонов из разных слоев атмосферы, таким образом, можно получить профили распределения с высотой температуры, влажности, давления, скорости и направления ветра. Используя эффект Доплера, лидарная аппаратура позволяет измерять скорость и направление ветра от поверхности Земли до высоты 15 километров, распределение влажности в тропосфере и нижней атмосфере (около 30 км), а температуры – около 100 километров.

В последние десятилетия создаются новые лидары на базе современных лазеров. Они не только позволяют повысить точность измерений, но и дают возможность измерять сразу несколько характеристик атмосфер.

Ориентировочные затраты на изготовление одного такого прибора, в зависимости от комплектации и объема получаемой информации могут составить от 500 тысяч до 1,2 миллиона долларов США.

В зависимости от комплектации лидара и объема получаемой информации масса и размеры могут изменяться – от переносного варианта до размещения

его в легковом автомобиле, на самолете или вертолете с питанием от бортовой сети электроснабжения, без дополнительных источников электроснабжения.

Однако, как лидары, так и микроволновые радиометры паров воды вряд ли будут использоваться в ближайшем будущем при обычных спутниковых измерениях. Исключение могут составить станции мониторинга, например станции Международной ГНСС службы.

Использование цифровой модели погоды. В Лаборатории систем прогноза (Forecast Systems Laboratory, FSL) Национального океанического и атмосферного управления США разработана цифровая модель погоды, называемая Mesoscale Analysis and Prediction System, (Среднемасштабная система анализа и предсказаний, MAPS) (<http://maps.fsl.noaa.gov>). Цифровые модели погоды в отечественной метеорологии носят название цифровых моделей метеорологических параметров. Модель MAPS предназначена для обеспечения ежечасного анализа обычных и новых источников данных для США и смежных территорий для поддержки авиации и других пользователей. Исходными данными для MAPS являются четыре типа метеорологических наблюдений, включающих: (1) радиозонды, (2) наблюдения с коммерческих воздушных судов, (3) наблюдения с 35 тропосферных профилей ветров, размещённых, в основном, в центре США, и (4) традиционные поверхностные измерения температуры давления, влажности и других величин. Метеорологические продукты MAPS даются для сетки, которая охватывает континентальную часть США. Текущее запаздывание, связанное с обработкой данных MAPS, равно 21 минуте после каждого часа.

Анализ показал, что текущая версия MAPS может приводить к улучшению в точности GPS высот, когда продолжительность сессии короче 2 часов. Для сессий более длинных, чем 2 часа, сравнительно точные высоты можно получать, используя менее точную сезонную модель путём введения соответствующих мешающих параметров в процессе оценивания высот.

Аналогичное направление по использованию цифровых прогнозов погоды (Numerical Weather Predictions, NWP) развивается в Западной Европе [4]. Модель NWP содержит информацию об атмосфере (температура, влажность, направление и скорость ветра) от поверхности Земли до высоты 30 км. Основой модели являются наблюдения, собранные по всему земному шару, главным образом наземным оборудованием, но также по радиозондам, датчикам с самолетов трансатлантических рейсов, микроволновых радиометров. Достигаемая точность определения тропосферной задержки вдвое выше, чем при использовании модели стандартной атмосферы.

Определение тропосферной задержки по фазовым GPS измерениям. В 1990-е годы появился ряд исследований, показывающих, что с помощью GPS измерений можно успешно определять содержание паров воды в нейтральной атмосфере. При этом точность совсем незначительно уступает результатам, достигаемым с помощью радиозондов и радиометров паров воды. В дополнение к этому, система GPS обеспечивает более качественное пространственное распределение измерений, чем другие методы. Как следствие, GPS измерения

становятся ценным источником информации о количестве осаждаемых паров воды для предсказания погоды. Для этого метеорологи оценивают различные способы использования данных GPS в численных моделях прогноза погоды. Для геодезистов же задержка в распространении сигналов, вызванная нейтральной атмосферой, остается одним из главных факторов, ограничивающих точность прецизионного позиционирования. Точность, ожидаемая во многих геодезических приложениях, требует применения хорошо настроенной схемы обработки, в которой особое внимание должно уделяться методам учета тропосферных ошибок. Миллиметровая точность, необходимая для GPS оценок содержания осаждаемых паров воды для ее использования в метеорологии, а также точности, необходимые сегодня в геодезии, придают особое значение тому вниманию, которое уделяется проблеме оценивания тропосферных задержек.

Для многих станций МГС даются значения влажной или влажной и полной тропосферных задержек. Точность этих данных около 4 мм, задержка в данных 4 недели. Данные обновляются еженедельно. Использование этих данных в обработке наблюдений ограничивается научными программными продуктами, коммерческое программное обеспечение на использование этих данных не рассчитано.

Таким образом, можно заключить, что в задачах геодезии ограниченных точностью 1×10^{-6} для учета тропосферной задержки достаточно использовать стандартные модели распределения метеоэлементов или результаты наземной метеорологии. Для более точных работ ($10^{-7} - 10^{-8}$) простых моделей уже недостаточно. В этом случае оптимальным будет оценивать тропосферную задержку по сигналам ГНСС. Этот метод не требует дополнительного оборудования на станции наблюдений, что является его несомненным достоинством.

Весьма вероятным методом определения метеорологических параметров в ближайшем будущем станет использование моделей числового анализа погоды. Этот метод оптимален для кинематических наблюдений в режиме реального времени. Уже сейчас использование цифровых моделей погоды позволяет улучшать качество вычисления гидростатической составляющей тропосферной задержки в 1,5 раза по сравнению с обычными наземными метеонаблюдениями на пункте. Цифровые модели погоды не только сами по себе ценны для определения метеопараметров, они способны значительно улучшить результаты оценивания тропосферной задержки из спутниковых наблюдений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Teunissen, P.J.G. GPS for geodesy. Teunissen P.J.G., Kleusberg A. (Eds.). [text] / P.J.G. Teunissen, Y. Bock, G. Beutler et. al – Berlin: Springer, 1998. – 650 p. – Англ.
2. Кравцов Ю.А. Наблюдение океана из космоса при помощи микроволновых радиометров // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 7. – С. 103 – 107.
3. Alber, C. GPS surveying with 1 mm precision using corrections for atmospheric slant path delay [text] / C. Alber, R. Ware, C. Rocken, F. Solheim // Geophysical Research Letters, Vol. 24, No. 15. – August 1997. – P. 1859-1862. – Англ.

4. Jensen, A.B.O. Integrating Numerical Weather Predictions in GPS Positioning [Electronic resource] / A.B.O. Jensen, C.C. Tscherning, F. Madsen. – 2002. – 8 p. – Англ. – Режим доступа: <http://www2.imm.dtu.dk/~aj/paper54.pdf>

© К.М. Антонович, Е.К. Фролова, 2006

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНЕНТОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВЕКТОРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ СЕАНСОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

Уже первые опыты координатных определений с помощью спутниковых приемников (1982 – 84 гг.) показали, что появилась новая измерительная система, способная превзойти по точности традиционные первоклассные геодезические построения. За последнее время GPS-технологии из-за своих очевидных преимуществ (всепогодности, точности, производительности и других) получили бурное и широкое развитие.

Перечисленные преимущества (особенно точность) привлекательны для построения высокоточных опорных сетей. К сожалению, разрозненные отечественные источники не дают всех ответов на вопросы, возникающие в подобных проектах, что вынуждает исполнителей заниматься поиском ответов в зарубежной литературе и собственном опыте.

Например, немаловажным вопросом, как с точки зрения получения качественного результата, так и с экономической, при создании относительно небольших (по протяженности и длине пространственных векторов) высокоточных локальных сетей, является продолжительность сеанса наблюдений.

Для оптимального решения данного вопроса автор обратился к теории ошибок применительно для GPS-технологий.

Все наблюдения псевдодальностей и фазы несущей GPS можно моделировать как [1]:

$$Obs_A^i = \rho_A^i + b^i + b_A + b_A^i + v_A^i, \quad (1)$$

где ρ_A^i – геометрическое расстояние от станции A до спутника i ;

b^i – смещения, зависящие от приемника;

b_A – смещения, зависящие от спутника;

b_A^i – смещения, зависящие от окружающей среды;

v_A^i – шум наблюдений.

Интересующие нас координаты содержит только геометрическое расстояние. Все остальные члены уравнения (1) искажают измеряемый параметр.

Коротко рассмотрим эти ошибки и способы их исключения.

Смещения, зависящие от спутника и приемника:

Ошибки аппаратуры, исключаемые в результате обработки разностных измерений: ошибки часов спутника и приемника, запаздывания в электрических цепях спутника и приемника.

Ошибка положения фазового центра антенны спутника и приемника моделируется по известным параметрам этих антенн, полученных в результате калибровки. Хотя геометрия расположения элементов антенн известна достаточно хорошо, изменения в ориентировки спутника дают дополнительные погрешности в расстояние (обычно единицы миллиметров). Подобный эффект дает «наматывание фазы», возникающее из-за изменения взаимной ориентировки системы спутника и приемника [2, 3].

Уменьшение влияния шума приборов возможно осуществить используя наиболее современные приемники.

Потеря счета циклов – это внезапный скачок целого числа циклов в наблюдении фазы несущей, вызванный потерей захвата петлей (цепью) слежения фазы приемника. Потеря может быть из-за проблем со слежением в инерциальном приемнике (приемник не успевает за изменением фазы) или из-за перерыва в поступлении сигналов на антенну, вызванного, к примеру, временной блокировкой сигналов. Потеря захвата может быть короче, чем временной интервал между соседними эпохами сбора данных или такой как временной интервал между многими эпохами, в случае которого может применяться термин "разрыв (брешь) в данных". Исправление потери циклов включает выявление потери, оценку точного числа циклов на частотах L1 или L2, которое образует его, и действительное исправление измерений фазовой последовательности оценкой этого целого. Точное позиционирование требует выявлять и полностью исправлять потери циклов. Выявление потерь цикла и его восстановление все еще является сложной задачей, даже после многих лет научного поиска [4]. Но даже на современной аппаратуре возможно получение данных, в которых скрыто присутствует эта проблема. Не выявленные срывы циклов ведут к грубым ошибкам, сравнимым с длиной волны, в результатах обработки GPS-измерений. Большинство подходов выявления и исправления срывов циклов включают формирование из доступных параметров наблюдений линейных комбинаций, чувствительных к потерям циклов. Исследователи разработали алгоритмы для обнаружения, определения и восстановления этих потерь циклов путем подбора функций к линейным комбинациям и путем наблюдения расхождений между функциями и комбинациями данных. Но вплоть до настоящего времени абсолютно надежных алгоритмов выявления потерь циклов не существует [4].

Влияния, зависящие от внешней среды:

Использование двухчастотного приёмника, конечно же, наилучший метод, гарантирующий, что 99% ионосферной задержки будет автоматически использоваться по всем спутникам. Тропосферную задержку можно обычно свести до удовлетворительного результата просто путём использования климатической модели тропосферы [5] и применения её во многих функциях от зенитных расстояний для перехода к наклонным задержкам для высоты отдельного спутника GPS. Только в самых точных измерениях нужны измерения давления, температуры и влажности и включать их в уравнение тропосферной задержки.

Ошибка из-за многопутности в GPS-приемниках должна рассматриваться как соответствующий вклад в измерение фазы или псевдодальности от отраженных сигналов. Одним из главных компромиссов в проектировании всенаправленных антенн GPS-приемников является поддержание сравнительно высокого усиления на малых высотах. Многопутность трудно охарактеризовать в целом, поскольку ее амплитуда и фаза зависят от многих параметров, хотя часть из них достаточно постоянна. Это дает возможность наблюдать многопутность, повторяющуюся ежедневно, в соответствии с повторяемостью орбит СРНС. В общем, любой объект около антенны GPS-приемника, поверхность которого является гладкой для радиоволн с длиной 19 или 24 см, будет действовать как источник многопутности. Это и здания, и деревья, и сама земля. Земная поверхность является сильным источником многопутности, и, если земля рассматривается как некоторая уровенная поверхность, то разность между фазами сигнала спутника и отраженного сигнала $\Delta\Phi = 2h_a \sinh$, где h_a – высота антенны в длинах волн, а h – угол высоты спутника. Одним из лучших признаков присутствия многопутности является амплитуда принятых сигналов, которая будет колебаться при наличии многопутности. Существовавшие до сих пор версии формата RINEX (Receiver INdependent EXchange) обмена спутниковыми данными не позволяли записывать амплитуду с достаточным числом значащих цифр, иначе было бы возможным выявлять и корректировать сигналы, пораженные многопутностью [6]. Новая версия формата RINEX 3.0 введенная

с 1 февраля 2006 года лишена этого недостатка [7]. Влияние многопутности эффективно усредняется на больших интервалах времени. Для коротких периодов времени (до 20 – 30 минут, в зависимости от высоты антенны и скорости изменения угла высоты) многопутность не усредняется до нуля, и это может серьезно влиять на результаты кинематических и быстростатических съемок, где время наблюдений не превышает нескольких минут. В таких случаях могут иметь место ошибки в десятки миллиметров.

Отдельно следует отметить влияние рассеивания – частный вариант явления многопутности. Рассеивание вызывается отражением сигналов от поверхности бетонного столба (от бетона или металлической плиты), на котором антенна GPS-приемника установлена. Сигнал GPS рассеивается от поверхности столба и интерферирует с прямым сигналом. Ошибка зависит от угла высоты спутника и высоты установки антенны. Влияние данного фактора медленно изменяется при изменении угла высоты спутника и времени наблюдений и не всегда исключается при различных установках антенны. В результате, при незначительных (в пределах мм) ошибках в плановых координат, ошибки высотной составляющей может достигать 10 мм. Как показано в статье [8] рассеивание можно существенно уменьшить, если использовать материалы, поглощающие микроизлучение, закрыв подобным материалом верхнюю часть пилона. Учет влияния рассеивания сигнала имеет большое значение для построения высокоточных сетей, на которых используется установка антенн с принудительным центрированием (на бетонных столбах).

Упомянем влияние естественных и искусственных радиопомех. К естественным радиопомехам в приеме сигнала GPS следует относить причины не связанные с деятельностью человека. Именно таким фактором является активность Солнца. Влияние искусственных радиопомех зависит от приборов, излучающих в диапазоне сигналов GPS. Названные влияния могут ухудшить качество приема сигнала вплоть до невозможности его приема.

На основе анализа влияний ошибок, кратко приведенного выше, и обзора литературы по данному вопросу можно сделать вывод о целесообразности 2 – 3-четырех часовых сеансов, вместо одного суточного, как это иногда предлагается в отечественной литературе.

В качестве примера, была выбрана сеть, состоящая из 7 пунктов (6, практически равнобедренных треугольников с длиной стороны порядка 16-20 км, имеющих одну общую вершину).

Суточные файлы измерений были разделены на кратные 12-ти, 6-ти, 4-х, 3-х и 2-х часовые сеансы. В качестве эталонного значения были взяты компоненты пространственных векторов, полученных из обработки суточного сеанса. Анализ полученных результатов показал, что различие в компонентах векторов становятся исчезающе малым уже на 3 – 4 часовых сеансах наблюдений. А остаточные различия компонентов вектора из суточного интервала измерений, заметные на двух и трех часовых интервалах, на 6-ти, 8-ти и 12-ти часовых интервалах асимптотически приближаются к нулю.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rizos, Ch. Precise GPS Positioning: Prospects and Challenges [Electronic resource] / Ch. Rizos. – 2001. – 17 p. – Англ. – Режим доступа: www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/rizos_2001a.pdf
2. Teunissen, P.J.G. GPS for geodesy. Teunissen P.J.G., Kleusberg A. (Eds.). [Text] / P.J.G. Teunissen, Y. Bock, G. Beutler et al. – Berlin: Springer, 1998. – 650 p. – Англ.
3. Bernese GPS Software Version 4.2 [Text] / Edited by U. Hugentobler, S. Schaer, P. Fridez. – Astronomical Institute University of Berne. – February 2001. – Англ.
4. Bisnath, S.B. A new approach to an old problem Carrier-Phase Cycle Slips [Text] / S.B. Bisnath, Donghyun Kim, R.B. Langley // GPS World. – 2001. – Vol. 12, No. 5. – P. 46-51. – Англ.
5. Niell A.E. Global mapping functions for atmosphere delay at radio wavelengths [Text] / A.E. Niell // J. of Geophysical Research, vol. 101, No. B2. – February 10, 1996. – P. 3227-3246. – Англ.
6. Gurtner, W. RINEX - The receiver-independent exchange format [Text] / W. Gurtner // GPS World. – 1994. – Vol. 5, No. 7. – P. 48-52. – Англ.
7. Gurtner, W. RINEX. The Receiver Independent Exchange Format. Version 3.00 [Electronic resource] / W. Gurtner, L. Estey. – February 1st, 2006. – 36 p. – Англ. – Режим доступа: <ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/data/format/rinex300.pdf>
8. Elósegui, P. Geodesy using the Global Positioning System: The effects of signal scattering on estimates of site position [text] / P. Elósegui, J.L. Davis, R.T.K. Jaldehag et al. // Journal of Geophysical Research, Vol. 100, No. B7. – 1995. – P. 9921-9934. – Англ.

© А.Н. Клепиков, 2006

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВНЕШНЕГО ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НА ОГРАНИЧЕННОМ УЧАСТКЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ И ТРАДИЦИОННЫМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Введение. В соответствии с теорией М.С. Молоденского [1], традиционные астрономо-геодезические методы определения плановых и высотных координат (триангуляция, трилатерация, полигонометрия, геометрическое нивелирование, астрономические определения), а также гравиметрические измерения дают возможность, определять поверхность Земли лишь совместно с определением ее внешнего гравитационного поля. В этой теории поверхность Земли, как граничная поверхность краевой задачи, на которой заданы результаты измерений, является неизвестной. Появление современных методов спутниковых координатных определений позволяет с высокой точностью определять координаты точек земной поверхности в единой геоцентрической системе отсчета. Таким образом, независимо от решения краевой задачи в постановке М.С. Молоденского, стало возможным получение физической поверхности Земли в виде множества дискретных точек в общей земной системе координат. В связи с этим, включение спутниковых высокоточных координатных данных в состав астрономо-геодезической и гравиметрической информации с целью определения внешнего гравитационного поля Земли (ГПЗ) позволяет по иному подойти к решению задачи. Такой подход с одной стороны существенно облегчает ее решение, с другой повышает точность определения гравитационного поля Земли.

Кроме того, в современной практике астрономо-гравиметрического нивелирования квазигеоида (по методу М.С. Молоденского [2]) карты аномалий высот ζ и составляющих отклонений отвеса ξ , η строятся, главным образом, по аномалиям ускорения силы тяжести Δg посредством уточненных интегральных формул Стокса и Венинг-Мейноса. Астрономические долготы λ , широты φ и азимуты α на пунктах Лапласа, как дополнительная и независимая высокоточная информация о ГПЗ, традиционно непосредственно не вкладываются

в определение параметров единственной геопотенциальной функции – потенциала ускорения силы тяжести, которая порождает все разнообразие возможных трансформант гравитационного поля Земли. В интегральных уравнениях М.С. Молоденского [1] астрономические координаты λ , φ выполняют лишь роль аргументов геопотенциальной функции (наряду или взамен геодезических долгот L и широт B). Но λ и φ непосредственно характеризуют направление силовых линий ГПЗ на поверхности Земли. Астрономический азимут косвенно определяет составляющую отклонения отвеса в плоскости первого вертикала η через уравнение Лапласа. Поэтому не включение в состав измерительной информации астрономических величин λ , φ

и α , относительная погрешность которых одного порядка с первоклассным нивелированием и гравиметрическими измерениями, приводит к потере полезной информации и к снижению точности определения гравитационного поля Земли.

Метод М.С. Молоденского [2] определения фигуры геоида при совместном использовании астрономо-геодезических отклонений отвеса η , ξ и карт аномалий силы тяжести Δg , не решает задачу одновременного вложения трех видов измерений η , ξ и Δg в определение ГПЗ. Уравнения наблюдений для разностей между астрономо-геодезическими (индекс – $_{AG}$) и гравиметрическими (индекс – $_{GP}$) отклонениями отвеса формируются и решаются независимо друг от друга [3], [4]:

$$\xi_{AG} - \xi_{GP} = a\varphi + b\lambda + c, \quad (1)$$

$$\eta_{AG} - \eta_{GP} = \alpha\varphi + \beta\lambda + \gamma. \quad (2)$$

Это приводит к тому, что два неизвестных параметра b и α (которые для единой потенциальной функции должны быть равными друг другу) определяются порознь из двух систем уравнений (1) и (2), ухудшая обусловленность и точность решения задачи. В числовом примере Н. П. Макарова [3, с. 281] $b = -0,15''$, $\alpha = +0,01''$. Различие в оценках b и α в этом примере лежит в доверительном интервале, определяемом точностью исходных данных.

Корректировка систем уравнений (1) и (2) – с учетом того, что составляющие отклонения отвеса есть производные одной потенциальной функции – возмущающего потенциала T , приводит к решению объединенной системы из уравнений (1), (2) с пятью неизвестными параметрами $\{a, b, c, \beta, \gamma\}$. Теперь в уравнениях вида (2) на месте параметра α должен стоять параметр b .

В современном комбинированном методе [5] развития сети нормальных высот на территории России с помощью геометрического нивелирования (в виде нормальных высот H^y) в комплексе со спутниковыми координатными GPS/ГЛОНАСС-определениями (в виде геодезических высот H) и детальной гравиметрической съемкой (в виде аномалий силы тяжести Δg), информация об астрономических трансформантах ГПЗ λ , φ , α , по-прежнему, не используется.

В усовершенствованной методике создания цифровых карт уклонений отвесных линий (ЦК УОЛ) [6] основными видами исходной информации являются:

- Гармонические коэффициенты до 36 степени модели «Параметры Земли 1990 года» для учета планетарной части ГПЗ;
- Средние значения аномалий силы тяжести (АСТ) по трапециям $1 \times 1^\circ$ и $5 \times 7,5'$ для учета региональных особенностей ГПЗ;
- Гравиметрические карты масштаба $1 : 200\,000$ и топографические карты масштаба $1 : 50\,000$ для учета тонкой структуры ГПЗ.

В этой методике информация об астрономических долготах λ и широтах φ на 16 астропунктах для района Карпат площадью $40 \times 60'$ использована только для контроля экспериментального варианта ЦК УОЛ.

Таким образом, в теории М.С. Молоденского [1] и ее практическом применении [2 – 6], имеющаяся высокоточная информация о ГПЗ в виде $\{L, B, H, H', \lambda, \varphi, \alpha, \Delta g\}$ вкладывается в определение ГПЗ не полностью и не всегда комплексно.

Первое предложение о комплексном использовании такого рода астрономо-геодезической и гравиметрической информации $\{H', \lambda, \varphi, \alpha, \Delta g\}$ для определения геопотенциала было высказано, по-видимому, Г. Морицем [7] в методе коллокации. Однако идея применения коллокации к задаче определения ГПЗ,

с нашей точки зрения, полезна только в том случае, когда «запросы потребителя» (количество, состав определяемых параметров, конструкция модели ГПЗ

и требуемая точность) не соизмеримы с имеющейся информацией о ГПЗ (по количеству, по распределению в пространстве, по составу, по точности). Другими словами, мы имеем дело с так называемыми, некорректно поставленными задачами. Такой, например, является задача определения глобальной модели ГПЗ в виде бесконечного ряда шаровых функций по информации $\{H', \lambda, \varphi, \alpha, \Delta g\}$, которая распределена крайне неравномерно из-за неполной гравиметрической изученности. В такой ситуации в методе коллокации Г. Морица предлагается недостаток информации восполнить введением дополнительной – эргодической – модели возмущающего потенциала T . Кроме двух естественных моделей: детерминированной модели ГПЗ – (AX) и стохастической модели (в виде ковариационной матрицы K_n для вектора n погрешностей измерений), в уравнение наблюдений (для вектора измерений l) включается стохастическая модель возмущающего потенциала T , (в виде BT) [7, с. 187]:

$$l = AX + BT + n. \quad (3)$$

Но получение достоверной ковариационной функции T требует знания аномальной части ГПЗ (которая неизвестна!). Для выхода из этого «заколдованного круга» в методе коллокации предлагается принять гипотезу об однородности и изотропности аномального, но не случайного поля T . Таким образом, вынужденная необходимость использования в методе коллокации, в общем случае, неадекватной объекту (ГПЗ) математической модели сигнала T , неизбежно будет приводить и к смещенным оценкам параметров и к искаженной оценке точности получаемого решения.

Регулярная – «правильная» – стратегия решения таких обратных задач геодезии должна строиться на трех условия регулярности [8]:

- Адекватности математической модели объекту (процессу);
- Наблюдаемости математической модели по имеющейся измерительной информации;
- Состоятельности решения задачи.

Первое условие регулярности требует конструирования адекватной математической модели, состоящей из двух частей: детерминированной части (в виде модели AX , в которой X включает все параметры ГПЗ, в том числе и аномальной части поля, влияние погрешности априорного знания которых превосходит погрешности используемых измерений) и стохастической части модели (в виде ковариационной матрицы K_n) для погрешностей n измерений и остаточных случайных погрешностей, не учитываемых детерминированной частью модели.

Проблемы, возникающие при выполнении второго условия регулярности – наблюдаемости – должны решаться не на основе каких-либо гипотез – типа эргодичности поля аномалий силы тяжести, а путем, во-первых, привлечения достоверной информации о гравитационном поле, как в виде результатов измерений, так и иного характера, во-вторых, путем приведения в соответствие требований к количественному и качественному составу оцениваемых параметров детерминированной модели ГПЗ согласно количеству и качеству имеющейся

в распоряжении измерительной информации (по распределению измерений в пространстве-времени, по видам измерений и т. п.).

Третье условие регулярности – состоятельность решения – будет выполняться автоматически в случае выполнения первых двух условий регулярности и применения подходящего метода математико-статистической обработки результатов измерений – например, метода максимального правдоподобия или как частный случай метода наименьших квадратов.

Поэтому замечания Г. Морица [7, с. 174] о том, что «Операционный подход (метод коллокации, *прим. авт.*) к физической геодезии проявился относительно недавно – после того как появились новые возможности для геодезических измерений и, в особенности, после того как классический подход (теория М.С. Молоденского, *прим. авт.*) обнаружил неспособность дать полный ответ (определить глобальное ГПЗ, *прим. авт.*) при неполной гравиметрической изученности.», не совсем справедливо по отношению к глубокой и строгой теории М.С. Молоденского, имеющей большое практическое значение.

Теорию М.С. Молоденского определения глобального ГПЗ [1] и метод астрономо-гравиметрического нивелирования квазигеоида [2-6] на локальных участках земной поверхности необходимо дополнить включением современных видов измерений, и лучше не подменять ее коллокацией, используя неадекватные – эргодичные – модели реальных гравитационных аномалий. Кроме того, на основе теории М.С. Молоденского целесообразно построить такую модель ГПЗ, которую можно было бы сравнительно просто адаптировать с одной стороны – к «рельефу» аномалий геопотенциала, с другой – к имеющейся измерительной информации (распределению измерений в пространстве, их составу и точности).

В качестве такой модели наиболее целесообразно использовать конечно-элементную модель ГПЗ. Первые результаты применения метода конечных

элементов для математического описания гравитационного поля получены в работах Я. Райнера [9] и А.В. Елагина [10].

В первой работе [9] создана законченная модель в виде опорной поверхности геоида, легко адаптируемая к измерениям и рельефу поверхности и основанная на использовании почти всего спектра измерительной информации

$\{\zeta = H - H', \xi, \eta, \Delta g\}$ (без астрономических азимутов α). Однако модель является двумерной (тогда как исследуемый объект – трехмерный) и содержит на границах конечных элементов разрывы первого рода, как самой функции, так и ее производных. Но величина разрывов по высотам геоида практически не ощутима (по-видимому, одного порядка с погрешностями исходных данных), по наклонам же поверхности величины разрывов должны превышать погрешности «измеренных» составляющих отклонений отвеса.

Во второй оригинальной работе [10] по определению параметров конечно-элементной модели возмущающего потенциала на локальном участке S земной поверхности (внутри нивелирного полигона) используется несколько иная измерительная информация (но без астрономических данных λ, φ, α). По периметру полигона S требуются результаты нивелирных и гравиметрических измерений, внутри полигона S необходимо располагать гравиметрическими, градиентометрическими измерениями и данными для вычисления наклонов физической поверхности Земли по отношению к поверхности эллипсоида. В статье [10], к сожалению, не рассматривается вопрос о необходимой точности градиентометрических измерений и знания наклонов земной поверхности. Из рассмотрения двух работ [9], [10] следует, что создание эффективной математической модели ГПЗ с помощью метода конечных элементов требует дальнейших исследований. Поэтому совершенствование теории, методики и практики определения конечно-элементной модели ГПЗ является актуальной задачей.

В данной работе рассматривается один из этапов построения математической модели ГПЗ в соответствии с условиями регулярности (4) на локальном участке S земной поверхности. Область S рассматривается как одна ячейка

в конечно-элементной модели локального, регионального или глобального гравитационного поля Земли. Такое поле в области S , в дальнейшем для краткости, будем называть локальным ГПЗ. Отличительными особенностями рассматриваемой модели локального ГПЗ является ее трехмерность и использование расширенного состава высокоточной измерительной информации, по сравнению с работами [2 – 6, 9, 10], путем привлечения нивелирных, астрономических, гравиметрических и спутниковых данных к решению задачи определения параметров одной геопотенциальной функции – возмущающего потенциала T .

Постановка задачи. Исходной информацией для отыскания параметров модели локального ГПЗ служат результаты спутниковых и традиционных (классических) средств измерений в узлах хаотичной пространственной решетки, расположенных на локальном участке S поверхности Земли.

В качестве результатов спутниковых измерений в рассматриваемом способе построения модели используются геодезические долготы, широты и высоты

$$\{L_i, B_i, H_i\}, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (5)$$

относительно общего земного эллипсоида с параметрами $\{a_E, e_E\}$. Не представляет никаких принципиальных трудностей вместо общеземных координат (5) использовать геодезические координаты $\{L'_i, B'_i, H'_i\}$ в системе референц-эллипсоида с 8-ю параметрами $\{a'_E, e'_E, \delta X_o, \delta Y_o, \delta Z_o, \omega_x, \omega_y, \omega_z\}$ или квазигеоцентрические геодезические координаты $\{L^*_i, B^*_i, H^*_i\}$ относительно квазигеоцентрического WGS-эллипсоида с параметрами $\{a^*_E, e^*_E, \delta X^*, \delta Y^*, \delta Z^*\}$. Чтобы не усложнять изложение методики определения модели ГПЗ, будем далее применять геодезические координаты (5), которые можно получить на основе радиотехнических средств наблюдений космических аппаратов, входящих в системы глобального позиционирования ГЛОНАСС и GPS, методом относительных спутниковых координатных определений (название метода заимствованы из работы [5]).

В качестве результатов традиционных геодезических измерений для определения параметров модели ГПЗ применяются нормальные высоты, астрономические долготы, широты и азимуты, а также ускорения силы тяжести

$$\{H'_i, \lambda_i, \varphi_i, \alpha_i, g_i\}, \quad i=1, 2, \dots, k, \quad (6)$$

где i, k – порядковый номер узла и количество узлов решетки.

Каждый узел может содержать от максимального количества измерительной информации $\{L_i, B_i, H_i, H'_i, \lambda_i, \varphi_i, \alpha_i, g_i\}$ до минимального $\{L_i, B_i, H_i, H'_i\}$.

Помимо этой информации необходимо знать ковариационную матрицу погрешностей измеренных величин (5) и (6), хотя бы диагонального вида.

Требуется решить – по терминологии Ю.М. Неймана [11] – задачу глобальной аппроксимации ГПЗ на локальном участке земной поверхности S в регулярной постановке [8]. Это означает, что требуется найти такую аналитическую функцию $\underline{T}$, которая имела бы простейшую структуру, наилучшим образом (в соответствии с принятым критерием) приближала возмущающий потенциал T на S и отвечала трем условиям регулярности (4).

Построение модели состоит из трех основных частей: математического описания локального ГПЗ, методики решения обратной задачи (определение параметров модели по измерениям) и практической обработки результатов измерений с целью получения числовых значений параметров модели ГПЗ. Здесь рассмотрим только первые два этапа создания модели локального гравитационного поля: коротко – модель и методику.

Общее описание математической модели локального ГПЗ дается формулами:

$$W = W(a, L, B, H), \quad (7)$$

$$W = U + T, \quad (8)$$

$$U = U(b, L, B, H), \quad (9)$$

$$T = T(c, L, B, H), \quad (10)$$

где W , U , T – потенциалы, соответственно, ускорения силы тяжести, нормальный и возмущающий, как функции геодезических координат L , B , H текущей точки на физической поверхности Земли и векторов a , b , c , содержащих в качестве своих компонент параметры локальной модели ГПЗ. В частности,

$$a = \{b, c\} \quad (11)$$

– Вектор параметров модели потенциала ускорения силы тяжести (7), (8);

$$b = \{\mu, a_E, e_E, \omega\}, \quad (12)$$

– Вектор параметров модели нормальной Земли (9), в котором μ – гравитационный параметр Земли (произведение универсальной постоянной тяготения И. Ньютона на массу Земли), ω – угловая скорость вращения Земли, a_E , e_E – параметры уровенного общего земного эллипсоида, принятые при вычислении координат (5);

$$c = \{c_l\}, \quad l = 1, 2, \dots, q \quad (13)$$

– Вектор параметров модели локального возмущающего потенциала (10) в области S .

Математическая модель нормальной Земли. В качестве нормального гравитационного поля Земли (9) принимается потенциал U нормального ускорения силы тяжести γ уровенного двухосного эллипсоида с параметрами (12), вращающегося вместе с Землей. Ниже даются замкнутые формулы М.С. Молоденского [1], адаптированные автором для текущей точки (L, B, H) , расположенной на или вне поверхности уровенного эллипсоида:

$$U = (\mu/c) \arctg(c/b) + (\omega^2 a^2 / 2) [(a_E/b_E)^2 (b/a)^2 (q/q_E) (2/3 - \sin^2 u) + \sin^2 u], \quad (14)$$

$$\gamma = \{\mu/a^2 - (2/3)\omega^2 b [(f/f_E)(1 - (3/2)\sin^2 u + (3/2)\sin^2 u)]\} (1 - (c/a)^2 \sin^2 u)^{-1/2}, \quad (15)$$

где

$$q = [3 + (c/b)^2] \arctg(c/b) - 3(c/b),$$

$$q_E = [3 + (c/b_E)^2] \arctg(c/b_E) - 3(c/b_E),$$

$$f = 3[\arctg(c/b) - (c/b)] + (c/a)^2 (c/b),$$

$$f_E = \{3[\arctg(c/b) - (c/b)] + (c/b_E)^2 \arctg(c/b_E)\} (b_E/a_E)^2,$$

$$c = a_E e_E, \quad b_E^2 = a_E^2 - c^2,$$

$$a = (R_1 + R_2)/2, \quad R_1 = R^2 + c^2 + 2cD, \quad R_2 = R^2 + c^2 - 2cD, \quad b^2 = a^2 - c^2,$$

$$\sin^2 u = (D/a)^2, \quad D^2 = X^2 + Y^2, \quad R^2 = D^2 + Z^2,$$

$$X = (N + H) \cos B \cos L, \quad Y = (N + H) \cos B \sin L, \quad Z = (N + H - Ne_E^2) \sin B, \quad (16)$$

$$N = a_E(1 - e_E^2 \sin^2 B)^{-1/2}.$$

Математическая модель возмущающего потенциала, ускорения силы тяжести и его основных трансформант. Аналитический вид модели $T = T(c, L, B, H)$, которая аппроксимирует спутниковые (5) и наземные данные (6) в ограниченной области S , выбирается из класса гармонических функций. Для описания модели выбирается прямоугольная горизонтальная система координат ($o \square x \square \tilde{y} z \square$), начало которой помещается в точку $\tilde{o}$ с координатами (L_o, B_o, H_o) , расположенную, примерно, в середине локального участка земной поверхности S . Ось абсцисс $o \square x \square$ направляется в геодезический зенит начальной точки $\tilde{o}(L_o, B_o, H_o)$, ось аппликат $o \square z \square$ – по линии пересечения плоскостей геодезического горизонта и вертикала с геодезическим азимутом A_o , ось ординат $o \square y \square$ дополняет систему до правой. Азимут A_o задает ориентировку короткой оси симметрии сферической трапеции, охватывающей локальную область S , где лежит информация. В прямоугольной системе ($o \square x \square \tilde{y} z \square$) для текущей точки на поверхности Земли вводятся сферические координаты (u, v, r) , связанные с прямоугольными $(x \square, y \square, z \square)$ прямыми и обратными соотношениями:

$$\begin{aligned} x \square &= r \cos v \cos u, \quad y \square = r \cos v \sin u, \quad z \square = r \sin v, \\ d^2 &= x \square^2 + y \square^2, \quad r^2 = d^2 + z \square^2, \quad \cos u = x \square / d, \quad \sin u = y \square / d, \quad \cos v = d / r, \quad \sin v = z \square / r. \end{aligned} \quad (17)$$

Переход от геодезических координат (L, B, H) текущей точки, заданных в общеземной системе, к прямоугольным координатам $(x \square, y \square, z \square)$ в локальной системе ($o \square x \square \tilde{y} z \square$) осуществляется по формуле

$$[x \square \ y \square \ z \square]^T = \{[X \ Y \ Z]^T - [X_o \ Y_o \ Z_o]^T\} \mathbf{R}_3(-L_o) \mathbf{R}_2(B_o) \mathbf{R}_1(A_o), \quad (18)$$

где $\{X, Y, Z\}$ и $\{X_o, Y_o, Z_o\}$ – прямоугольные координаты в общеземной системе отсчета текущей (L, B, H) и начальной (L_o, B_o, H_o) точек, вычисляемые по формулам вида (16). $\mathbf{R}_i(\theta)$ – обозначение элементарной матрицы вращения вокруг координатной оси с номером i на угол θ . Положительный поворот θ считается происходящим против часовой стрелки для наблюдателя, смотрящего с положительного конца оси поворота на начало координат. Номер координатной оси устанавливается по правилу: для оси абсцисс $i = 1$, для оси ординат $i = 2$, для оси аппликат $i = 3$.

Возмущающий потенциал T и его частные производные T_u, T_v, T_r по касательным к координатным линиям u, v, r , как функции гармонических коэффициентов $\{c_{nm}, s_{nm}\}$ и сферических координат текущей точки $\{u, v, r\}$ аппроксимируются следующими разложениями в ряды шаровых функций:

$$\left. \begin{aligned} T &= \sum_{n=0}^N \frac{1}{r^{n+1}} \sum_{m=0}^n (c_{nm} \cos mu + s_{nm} \sin mu) P_{nm}(\sin v), \\ \frac{1}{r \cos v} \cdot T_u &= \frac{\partial T}{r \cos v \partial u} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{r^{n+2}} \sum_{m=0}^n m \cdot (s_{nm} \cos mu - c_{nm} \sin mu) \frac{P_{nm}(\sin v)}{\cos v}, \\ \frac{1}{r} \cdot T_v &= \frac{\partial T}{r \partial v} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{r^{n+2}} \sum_{m=0}^n (c_{nm} \cos mu + s_{nm} \sin mu) \frac{\partial P_{nm}(\sin v)}{\partial v}, \\ T_r &= \frac{\partial T}{\partial r} = - \sum_{n=0}^N \frac{n+1}{r^{n+2}} \sum_{m=0}^n (c_{nm} \cos mu + s_{nm} \sin mu) P_{nm}(\sin v). \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Для вычисления сферических гармоник применяются следующие рекуррентные соотношения:

$$\text{для } n = m, P_{nm}(\sin v) = \cos^m v \prod_{i=1}^m (2i-1);$$

$$\text{для } n = m + 1, P_{m+1,m}(\sin v) = (2m+1) \sin v P_{nm}(\sin v);$$

$$\begin{aligned} \text{для } n \neq m, (n-m)P_{nm}(\sin v) &= (2n-1) \sin v P_{n-1,m}(\sin v) - (n+m-1)P_{n-2,m}(\sin v); \\ dP_{nm}(\sin v)/dv &= (1-\delta_{nm})P_{n,m+1}(\sin v) - m \operatorname{tg} v P_{nm}(\sin v); \end{aligned}$$

$$\cos mu = \cos[(m-1)u] \cos u - \sin[(m-1)u] \sin u;$$

$$\sin mu = \sin[(m-1)u] \cos u + \cos[(m-1)u] \sin u;$$

$$\delta_{nm} = \{1, \text{ если } n = m, \text{ иначе } 0\}. \quad (20)$$

Связь измеряемых величин с определяемыми параметрами ГПЗ.

Основные «измеряемые» трансформанты возмущающего потенциала T , такие как:

– Аномалии высоты	$\zeta = H - H'$,
– Отклонения отвеса в плоскости первого вертикала	$\eta = (\lambda - L) \cos B$,
– Отклонения отвеса в плоскости меридиана	$\xi = \varphi - B$,
– Разность между геодезическим и астрономическим азимутами	$\Delta \alpha = \alpha - A$,
– Чистые аномалии ускорения силы тяжести	$\Delta g = g - \gamma$

связываются с возмущающим потенциалом T и его частными производными T_u, T_v, T_r равенствами:

$$\Delta \mathbf{T}^T = [\zeta \quad \eta(N+H) \quad \xi_n(M+H) \quad \Delta g/(-\gamma_H)]^T, \quad (22)$$

$$\mathbf{T}^T = [T - T_u - T_v - T_r]^T, \quad \Delta \mathbf{T}^T = \mathbf{T}^T \mathbf{F}^{-1} \mathbf{C}^T \mathbf{Q}_o^T \mathbf{H}^T, \quad (23)$$

$$F = \text{diag}\{\gamma, r\cos v/(N+H), r/(M+H), -\gamma_H\}, \quad \gamma_H = -2\gamma/R_m, \\ C^T = \text{diag}\{1, \mathbf{R}_1(\pi/2 - v)\mathbf{R}_3(\pi/2 + u)\}, \quad \mathbf{Q}_o^T = \text{diag}\{1, \mathbf{R}_1(-A_o)\mathbf{R}_2(-B_o)\mathbf{R}_3(L_o)\}, \quad (24)$$

$$\mathbf{H} = \text{diag}\{1, \mathbf{R}_1(\pi/2 - B)\mathbf{R}_3(\pi/2 + L)\}, \quad \xi = \xi_n + \delta\xi, \\ \delta\xi = \beta(H/R_m)\sin 2B, \quad \beta = (\gamma_p - \gamma_e)/\gamma_e, \\ \delta\alpha = s_{ij}\Delta\alpha, \quad \Delta\alpha = \eta_i \text{tg} B_i + (\xi_i \sin A_{ij} - \eta_i \cos A_{ij}) \text{ctg} \Theta_{ij}, \quad s_{ij} = D_{ij} \sin \Theta_{ij}, \quad (25)$$

где $\Delta \mathbf{T}^T$, $\mathbf{T}^T$ – векторы, составленные из трансформант возмущающего потенциала T ; β – гравиметрическое сжатие уровня (нормального) эллипсоида; γ_p , γ_e , γ – ускорения силы тяжести на полюсе ($B = \pi/2$), на экваторе ($B = 0$) и на широте B нормального эллипсоида, N , M , R_m – радиусы кривизн эллипсоида на широте B , соответственно: меридиана, первого вертикала и среднее интегральное значение; γ_H – приближенное значение вертикального градиента нормального ускорения силы тяжести на широте B и высоте $H = 0$.

Методика составления и решения системы уравнений наблюдений.

Вектор опорных параметров модели локального ГПЗ (не уточняемых по результатам измерений) формируется из четырех констант нормального поля U и четырех параметров ориентирования локальной системы координат ($o \square x \square \hat{y} z \square$)

$$\mathbf{b} = \{\mu, a_E, e_E, \omega, L_o, B_o, H_o, A_o\}. \quad (26)$$

Вектор оцениваемых параметров модели локального ГПЗ образуется из коэффициентов разложения в ряд шаровых функций возмущающего потенциала T , упорядоченных по правилу

$$\mathbf{c} = \{c_{00}, c_{10}, c_{11}, c_{20}, c_{21}, c_{22}, \dots, c_{NN}, s_{11}, s_{21}, s_{22}, \dots, s_{NN}\}, \quad (27)$$

где индекс N – максимальный порядок разложений (19).

Неизвестный вектор $\mathbf{c}$ размера $q \times 1$ ($q = (N + 1)^2$) определяется под условием метода наименьших квадратов (МНК) из решения линейной системы уравнений

$$\mathbf{A}\mathbf{c} = \mathbf{f} + \mathbf{v}, \quad \mathbf{K}_v, \quad (28)$$

$$\mathbf{f} = \{\dots, f_{i'}^{\xi}, f_{i'}^{\eta}, f_{i'}^{\xi}, f_{i'}^{\Delta g}, f_{ij}^{\Delta\alpha}, \dots\},$$

$$f_{i'}^{\xi} = \zeta_i = H_i - H_{i'}, f_{i'}^{\eta} = \eta_i(N_i + H_i) = (\lambda_i - L_i)(N_i + H_i)\cos B_{i'}, f_{i'}^{\xi} = \xi_i(M_i + H_i), f_{i'}^{\Delta g} = \Delta g/(-\gamma_H),$$

$$f_{ij}^{\Delta\alpha} = \Delta\alpha_{ij} D_{ij} \sin \Theta_{ij} = (\alpha_{ij} - A_{ij}) D_{ij} \sin \Theta_{ij},$$

где $\mathbf{f}$ – вектор свободных членов размера $p \times 1$, $\mathbf{A}$ – матрица размера $p \times q$ коэффициентов $\{A_{ij}\}$, вычисляемых на основе формул (19) – (25), $\mathbf{v}$ – вектор случайных погрешностей измерений и модели размера $p \times 1$; $\mathbf{K}_v$ – ковариационная матрица вектора $\mathbf{v}$.

Оценка векторов $\mathbf{c}$ и $\mathbf{v}$ под условием МНК производится по формулам:

$$\underline{c} = \underline{A}^\# \underline{f}, \quad \underline{v} = (\underline{A}\underline{A}^\# - I)\underline{f}, \quad \underline{A} = K_v^{-1/2} A, \quad \underline{f} = K_v^{-1/2} f, \quad (29)$$

Псевдообратную матрицу $\underline{A}^\#$ рекомендуется вычислять посредством сингулярного разложения [12], [13]

$$\underline{A}^\# = W \Sigma^\# U^T, \quad \Sigma = \text{diag}\{\sigma_1, \dots, \sigma_q\}, \quad (30)$$

где $\sigma_1, \dots, \sigma_q$ – сингулярные числа матрицы $\underline{A}$; U и W – ортогональные матрицы левых и правых сингулярных векторов матрицы $\underline{A}$.

Ковариационные матрицы K_c и K_v найденных оценок $\underline{c}$ и $\underline{v}$ параметров модели ГПЗ находятся по формулам:

$$K_c = \underline{\mu}^2 W \Sigma^{\#2} W^T, \quad K_v = \underline{\mu}^2 (\underline{A}\underline{A}^\# - I) = \underline{\mu}^2 (U_r U_r^T - I) = \underline{\mu}^2 U_o U_o^T, \quad (31)$$

$$\underline{\mu}^2 = \|\underline{v}\|^2 / (p-r), \quad r = \text{rang}(\underline{A}),$$

где U_o – ортонормированный базис для ортогонального дополнения области значений оператора $\underline{A}$, U_r – ортонормированный базис для области значений $\underline{A}$. Прямоугольные матрицы U_o и U_r имеют размеры $p \times (p-r)$ и $p \times r$ и являются блоками матрицы $U = [U_r^T U_o^T]$, $\underline{\mu}^2$ – масштабный множитель, приводящий в соответствие априорную K_v и апостериорную K_c ковариационные матрицы.

Декомпозиция и регуляризация решения. Анализ сингулярного спектра $\{\sigma_1, \dots, \sigma_q\}$ матрицы $\underline{A}$, расположенного в порядке убывания сингулярных чисел, и анализ вектора свободных членов $G = \{g_1, \dots, g_p\}$ диагональной системы уравнений

$$\Sigma Y = G, \quad Y = W^T c, \quad G = U^T f, \quad (32)$$

где $Y = \{y_1, \dots, y_q\}$ = преобразованный вектор неизвестных параметров c , позволяют произвести регуляризацию [14, 15] решения обратной задачи (28) – (31) и обоснованно определить количественный состав вектора оцениваемых параметров c на основе информации о погрешностях вектора f и матрицы A . Для установления качественного состава вектора c , т.е. для указания конкретных параметров c_i , оценки которых $\underline{c}_i$ получаются достоверными, необходимо выполнить физическую декомпозицию [14, 16] системы уравнений наблюдений (28), таким образом, чтобы правые сингулярные векторы были близки к единичным векторам канонического вида. Иначе говоря, чтобы физическое пространство оцениваемых параметров (в котором ищутся параметры c) практически совпадало с алгебраическим пространством области определения оператора A . Более детальное описание процесса регуляризации и декомпозиции обратной задачи (28) – (31) является предметом отдельного исследования, которое выходит за рамки данной работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молоденский М.С., Еремеев В.Ф., Юркина М.И. Методы изучения внешнего гравитационного поля Земли // Тр. ЦНИИГАиК. – 1960. – Вып. 131. – С. 251.

2. Молоденский М.С. Определение фигуры геоида при совместном использовании астрономо-геодезических уклонов отвеса и карты аномалий силы тяжести // Тр. ЦНИИГАиК, вып. 17. – Редбюро ГУГСК, 1937.
3. Макаров Н.П. Геодезическая гравиметрия // М.: Недра, 1968. С. – 408.
4. Бровар В.В., Магницкий В.А., Шимберев Б.П. Теория фигуры Земли. – М.: Геодезиздат, 1961. – С. 256.
5. Непоклонов В.Б., Чугунов И.П., Яковенко П.Э., Орлов В.В. Новые возможности развития сети нормальных высот на территории России // Геодезия и картография. – 1996. – № 7. – С. 20 – 22.
6. Непоклонов В.Б., Яковенко П.Э., Кузьмин Ю.А., Переверткин С.В. О создании цифровых карт уклонов отвесных линий / Геодезия и картография. – 1996. – № 9. – С. 1 – 5.
7. Мориц Г. Современная физическая геодезия // М.: Недра, 1983. – С. 393.
8. Брандин В.Н., Разоренов Г.Н. Определение траекторий космических аппаратов // «Машиностроение». – М., 1978. – С. 216.
9. Reiner J. Precise Transformation of Classical Networks to ITRF by COPAG and Precise Vertical Reference Surface Representation by DFHRS – General Concepts and Realisation of Databases for GIS, GNSS and Navigation Applications. // Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft – University of Applied Sciences. – Siberian State Academy of Geodesy (SSGA). – Novosibirsk, 17-26 Februar 2006. – www.dfhb.de
10. Елагин А.В. Применение метода конечных элементов для решения краевой задачи теории потенциала внутри нивелирного полигона // Вестник СГГА, вып. 10. – Новосибирск. – 2005. – С. 25 – 30.
11. Журкин И. Г., Нейман Ю. М. Методы вычислений в геодезии // М.: Недра. – 1988. – С. 304.
12. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений // М.: Мир, 1980. – С. 280.
13. Годунов С.К., Антонов А.Г., Кирилюк О.П., Костин В.И. Гарантированная точность решения систем линейных уравнений в евклидовых пространствах // Новосибирск: ВО «Наука», 1992. – С. 360.
14. Sournin Yu. The regular approach to the estimation of parameters of the mathematical model of the Earth's crust motion and displacements using satellite data // PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SEMINAR. "On the Use of Space Techniques for Asia-Pacific Regional Crustal Movements Studies" (Project: Asia-Pacific Space Geodynamics) APSG-IRKUTSK-2002. Irkutsk, 5-10 August, 2002. Moscow GEOS. – 2002. – С. 206 – 212.
15. Сурнин Ю.В. Сравнительный анализ непрерывной и дискретной регуляризации решений некорректных задач космической геодезии // ТРЕТИЙ СИБИРСКИЙ КОНГРЕСС ПО ПРИКЛАДНОЙ И ИНДУСТРИАЛЬНОЙ МАТЕМАТИКЕ (ИНПРИМ-98). Тез. докл., часть III, Изд. Института математики СО РАН. – 1998. – С. 122.
16. Сурнин Ю.В., Гиенко Е.Г. Алгебраическая и физическая декомпозиция математических моделей при решении плохо обусловленных обратных задач геодезии // ЧЕТВЕРТЫЙ СИБИРСКИЙ КОНГРЕСС ПО ПРИКЛАДНОЙ И ИНДУСТРИАЛЬНОЙ МАТЕМАТИКЕ (ИНПРИМ-2000). Тез. докл., часть IV, изд. Института математики СО РАН. – 2000. – С. 73 – 74.

© Ю.В. Сурнин, 2006

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЛОКАЛЬНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Под математической моделью локального гравитационного поля Земли (ГПЗ) подразумевается модель потенциала силы тяжести на ограниченном участке земной поверхности. Параметры этой модели определяются по результатам спутниковых и традиционных средств измерений в узлах хаотичной пространственной решетки, расположенных на локальном участке поверхности Земли. Зная аналитическую запись модели ГПЗ и ее параметры для локальной области, можно в произвольных точках этой области получать трансформанты локального ГПЗ. К ним относятся астрономические и геодезические широты, долготы и азимуты наземных пунктов, нормальные высоты, значения ускорения силы тяжести, а также их отклонения от соответствующих характеристик нормального поля в виде отклонений отвеса, аномалий высоты, аномалий ускорения силы тяжести и других величин. Идея данного метода изложена в [1], первые опыты его реализации и экспериментальное обоснование точности метода описаны в [2].

В настоящей публикации рассматриваются некоторые вопросы использования модели локального ГПЗ для получения нормальных высот пунктов, один из которых – в каком виде передавать информацию о модели ГПЗ потребителям? Здесь может быть несколько вариантов.

1. Аналитический вид математической модели локального ГПЗ, набор ее параметров $\mathbf{c}$, ковариационная матрица параметров $\mathbf{K}_c$. Высота квазигеоида над эллипсоидом $\square$ будет получаться как функция от параметров $\mathbf{c}$, причем в той же системе координат, в которой были заданы координаты (и особенно геодезические высоты!) пунктов при построении модели. Нормальные высоты N в произвольных пунктах локальной области будут вычисляться, как

$$N = N - \square,$$

где N – геодезические высоты этих пунктов, определенные по спутниковым измерениям.

При таком применении потребитель должен согласовывать свои спутниковые измерения с системой координат, в которой строилась модель.

2. Каталог нормальных высот пунктов геодезической сети, вычисленных по модели. Нормальные высоты не зависят от выбранного эллипсоида и системы координат спутниковой геодезической сети. Однако здесь нет возможности получения информации о квазигеоиде в произвольной точке.

3. Набор вычисленных по модели высот квазигеоида в узлах равномерной сетки (база данных) и программное обеспечение для интерполяции в произвольных точках. Аналитический вид модели локального квазигеоида здесь знать необязательно. При таком подходе проблема согласования систем координат модели и потребителя остается.

4. Превышения квазигеоида между парами пунктов $\square\square$, вычисляемые с помощью модели локального ГПЗ. Здесь разности нормальных высот двух пунктов $\square H$ определяются, как

$$\square H = \square H - \square\square,$$

где $\square H$ – разности геодезических высот пунктов спутниковой сети.

При этом полагается, что разности $\square H$ имеют более высокую точность, нежели сами их значения. Здесь нет большой необходимости согласовывать между собой системы координат спутниковой геодезической сети потребителя и модели. Данный вариант представляется наиболее оптимальным.

Вопросы оценки точности получаемых результатов.

Ковариационная матрица нормальных высот пунктов геодезической сети, полученных по модели локального ГПЗ, определяется выражением

$$\mathbf{K}_H = \mathbf{K}_H + \mathbf{K},$$

где $\mathbf{K}_H$, $\mathbf{K}$ – ковариационные матрицы геодезических высот и высот квазигеоида, соответственно.

Для разностей нормальных высот ковариационная матрица $\mathbf{K}_H$ записывается, как

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}_H + \mathbf{K}_{\square\square},$$

где $\mathbf{K}_H$, $\mathbf{K}$ – ковариационные матрицы разностей геодезических высот и разностей высот квазигеоида, соответственно.

К сожалению, коммерческие программы обработки спутниковых геодезических определений не предоставляют полные ковариационные матрицы $\mathbf{K}_H$, $\mathbf{K}_H$ после уравнивания геодезических сетей. Для получения ковариационных матриц $\mathbf{K}$, $\mathbf{K}$ в качестве исходной информации служит ковариационная матрица параметров математической модели локального ГПЗ $\mathbf{K}_c$:

$$\mathbf{K} = \mathbf{A}\mathbf{K}_c\mathbf{A}^T, \quad \mathbf{K}_{\square\square} = \mathbf{P}\mathbf{K}\mathbf{P}^T,$$

где $\mathbf{A}$ – матрица коэффициентов при параметрах модели локального ГПЗ, составленная для вычисления высот квазигеоида $\square$,

$\mathbf{P}$ – матрица соответствующих перестановок, составленная для набора пар пунктов.

В силу некоторой зависимости параметров модели на локальной области, апостериорная точность разностей высот квазигеоида должна быть несколько выше, чем точность получения непосредственно высот $\square$.

Экспериментальное обоснование точности получения превышений квазигеоида с использованием математической модели локального ГПЗ

Математическая модель локального ГПЗ была построена по данным спутниковых измерений, геометрического нивелирования и гравиметрических измерений на пунктах Геодезического эталонного полигона СГГА (ПГЭ СГГА) [3]. Аналитический вид модели представлен в [2]. Среднее квадратическое отклонение экспериментальных данных в узловых точках от построенной модели возмущающего потенциала первой степени разложения составляет в линейной мере величину 2 см.

По построенной модели были вычислены превышения квазигеоида $\Delta\zeta$ между целым рядом различно сориентированных пар пунктов, а также установлена зависимость величины апостериорной погрешности превышения m от расстояния между пунктами (см. рисунок). Как видно из рисунка, указанная зависимость аппроксимируется степенной функцией и особенно заметно проявляется на коротких расстояниях.

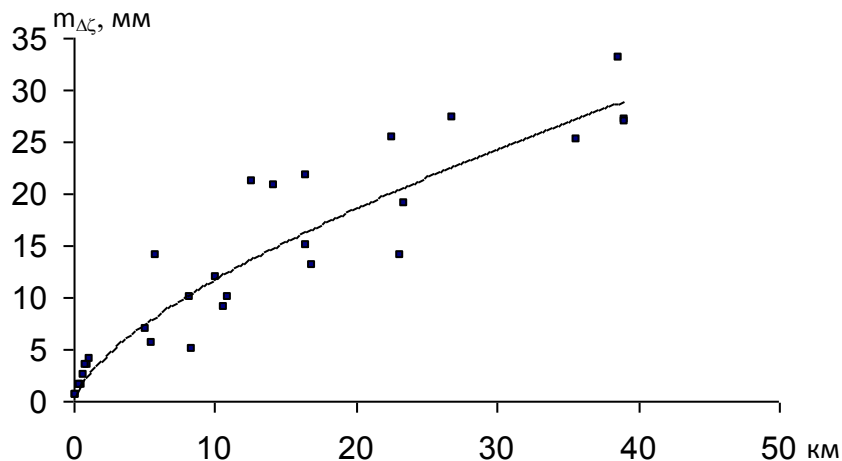


Рис. Зависимость величины апостериорной погрешности вычисления превышения $\Delta\zeta$ от расстояния между пунктами.

Для некоторых пар пунктов ПГЭ СГГА с известными из геометрического нивелирования нормальными высотами были получены разности нормальных высот по модели локального ГПЗ. Результаты приведены в таблице. Здесь содержатся следующие сведения для пар пунктов: классы нивелирования пунктов, разности нормальных высот, вычисленных по модели локального ГПЗ, $H_{\text{выч}}$, и полученных из геометрического нивелирования $H_{\text{изм}}$, апостериорные погрешности вычисленных высот квазигеоида m и нормальных высот $m_{H_{\text{П}}}$, расстояния между пунктами D , разности вычисленных и измеренных превышений нормальных высот ΔH , апостериорные погрешности разностей высот квазигеоида $m_{\Delta H}$, полученных по модели локального ГПЗ.

Таблица. Результаты оценки превышений нормальных высот, полученных с помощью математической модели локального ГПЗ

Пункт i				Пункт j				Разница превышений i-j		
Класс нив-я	$(H_{\text{выч}}^i - H_{\text{изм}}^i),$ мм	$m_{\text{и}},$ мм	$m_{H_{\text{и}}} \square \square$ мм	Класс нив-я	$(H_{\text{выч}}^j - H_{\text{изм}}^j),$ мм	$m_{\text{и}},$ мм	$m_{H_{\text{и}}} \square \square$ мм	D, км	$\square H_{\text{выч}}^i - \square H_{\text{изм}}^j,$ мм	$m_{\text{и}} \square \square \square \square$ мм
IV	16	13	15	IV	10	11	14	10,6	+6	9
I	1	27	28	IV	16	13	15	12,7	-15	21
IV	12	31	32	I	-23	23	25	14,2	+35	21
IV	10	11	14	IV	12	31	32	16,5	-2	22
I	1	27	28	IV	10	11	14	22,6	-9	25
IV	16	13	15	IV	12	31	32	26,9	+4	27
I	1	27	28	I	-23	23	25	35,6	+22	25
I	1	27	28	IV	12	31	32	39,0	-12	27

По материалам таблицы можно сделать следующие выводы.

1. Экспериментально подтверждено, что апостериорные погрешности разностей высот квазигеоида $m_{\text{и}}$ меньше соответствующих погрешностей высот m .

2. Во всех случаях невязки $(H_{\text{выч}} - H_{\text{изм}})$ попадают в доверительный интервал $1,95m_{\text{и}}$, задаваемый погрешностями измерений и модели, что говорит о корректной оценке точности.

3. Вследствие того, что отсутствует информация о полной ковариационной матрице геодезических высот пунктов уравниваемой спутниковой сети $K_{\text{Н}}$, строгая оценка точности разностей нормальных высот невозможна. Однако можно сказать, что все разности превышений нормальных высот $(\square H_{\text{выч}} - \square H_{\text{изм}})$ попадают в интервал $1,95m_{\text{и}} \square$.

4. В большинстве случаев невязки превышений $(\square H_{\text{выч}} - \square H_{\text{изм}})$ по абсолютной величине меньше невязок собственно нормальных высот $(H_{\text{выч}} - H_{\text{изм}})$, что подтверждает целесообразность представления информации потребителям в виде разностей нормальных высот $\square H$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сурнин, Ю.В. Определение астрономических, гравиметрических и геодезических трансформант гравитационного поля на локальном участке земной поверхности по спутниковым и традиционным геодезическим измерениям/Сб. материалов науч. конгресса ГЕО-СИБИРЬ-2005. – Новосибирск, 2005. – С. 132 – 136.
2. Гиенко, Е.Г., Кузьмин, В.И., Сурнин, Ю.В. Некоторые результаты определения гравитационного поля на локальном участке земной поверхности по спутниковым, астрономо-геодезическим и гравиметрическим данным/ Сб. материалов науч. конгресса ГЕО-СИБИРЬ-2005. – Новосибирск, 2005. – С. 136 – 141.
3. Антонович, К.М. Эталонный пространственный полигон СГГА для проверок геодезической аппаратуры / К.М. Антонович, В.А. Середович, Ю.В. Сурнин // Современные проблемы геодезии и оптики: сб. науч. тр./51 научно-техн. конф. преподавателей СГГА. – Новосибирск: 2001. – С. 9.

© Е.Г. Гиенко, 2006

ПРОВЕРКА ЗАМКНУТЫХ ФОРМУЛ ВЫЧИСЛЕНИЯ НОРМАЛЬНОГО УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ В ТРЕХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В данной работе осуществляется проверка замкнутых формул для вычисления нормального ускорения силы тяжести, которые получены Ю.В. Сурниным [1] путем адаптации формул М.С. Молоденского [2] для пространственного случая.

При повышении точности расчетов использование незамкнутых формул [3], [4] приводит к необходимости их доработки – увеличения числа членов разложения для градиента нормальной силы тяжести. Замкнутые формулы обеспечивают любую точность в пределах погрешностей компьютерной арифметики.

Суть эксперимента состоит в сравнении результатов расчета нормального ускорения силы тяжести по замкнутым формулам [1] и по замкнутым формулам Сомильяна-Пицетти [3] на поверхности уровня эллипсоида, а также по незамкнутым формулам [4] вне поверхности эллипсоида на заданной высоте H .

Исходными данными для эксперимента являются массив геодезических координат трех контрольных точек $\{L_i, B_i, H_i\}$ (табл. 1) и четыре параметра нормального поля силы тяжести (табл. 2).

Таблица 1. Геодезические координаты контрольных точек

№ п/п	B	L	H, м
1	44° 48' 27.2759"	82° 51' 53"	0,0
2	44° 48' 27.5478"	83° 15' 44"	2500,0
3	44° 48' 27.8194"	83° 19' 37"	5000,0

Таблица 2. Параметры нормального поля силы тяжести

№ п/п	Название	Обозначение	Численное значение	Единицы измерения
1	гравитационный параметр уровня эллипсоида	μ	$398600,5 \cdot 10^9$	$\text{м}^3/\text{сек}^2$
2	большая полуось эллипсоида	a_e	6378140	м
3	сжатие эллипсоида	α	$3352,814639 \cdot 10^6$	безр
4	угловая скорость вращения эллипсоида	ω	$0,7292115 \cdot 10^{-4}$	рад/сек

* Значение параметров были взяты из монографии М.М. Машимова [4].

На основе приведенных выше данных таблиц 1 и 2 и замкнутых формул из работе [1] на языке программирования Turbo Pascal была написана программа

и произведены расчеты нормального потенциала и нормального ускорения силы тяжести в трех контрольных точках. Полученные результаты были выведены в текстовый файл.

Для проверки замкнутых формул вычисления ускорения нормальной силы тяжести был произведен ряд экспериментов.

Во-первых, по созданной программе было произведено тестирование данных, приведенных в монографии М.М. Машимова (для высот 0, 2 500 и 5 000 м) [4].

Таблица 3. Результаты тестирования по данным из монографии М.М. Машимова

по Машимову γ_M (м/с ⁻²)	по программе γ (м/с ⁻²)	$\Delta = \gamma_M - \gamma$ (м/с ⁻²)
9.806189109	9.806015823	0.000173286
9.798479673	9.798306402	0.000173271
9.790779985	9.790606035	0.000173950

Во-вторых, производилось сравнение с результатами вычисления ускорения нормальной силы тяжести по формуле Сомильяна-Пицетти (для высоты 0 м) [4]

$$\gamma = \frac{\gamma_E \cdot a \cdot \cos^2(B) + \gamma_P \cdot b \cdot \sin^2(B)}{\sqrt{a^2 \cdot \cos^2(B) + b^2 \cdot \sin^2(B)}}, \quad (1)$$

где γ_E , γ_P – соответственно, ускорение нормальной силы тяжести на экваторе и полюсе,

a , b – соответственно, большая и малая полуоси уровенного эллипсоида.

Причем, ускорения нормальной силы тяжести на экваторе γ_E и полюсе γ_P были вычислены по замкнутым формулам.

Таблица 4. Результаты тестирования по формуле Сомильяна-Пицетти

по Машимову γ_M (м/с ⁻²)	по Сомильяна-Пицетти γ_{SP} (м/с ⁻²)	$\Delta = \gamma_M - \gamma_{SP}$ (м/с ⁻²)
9.806189109	9.806015823	0.000173286

И, в-третьих, для определения относительной погрешности вычислений нормального ускорения силы тяжести был использован разностный метод вычисления производной

$$\Delta U = U(H + \Delta H) - U(H - \Delta H),$$

$$\gamma' = \frac{\Delta U}{2 \cdot \Delta H}, \quad \Delta \gamma = \gamma' - \gamma, \quad \delta(\gamma) = \frac{\sigma(\gamma)}{\Delta \gamma}, \quad (2)$$

где ΔH – приращение аргумента по высоте;

ΔU – приращение функции нормального потенциала, соответствующее приращению аргумента по высоте;

γ – значение нормального ускорения силы тяжести, полученное по замкнутым формулам;

γ' – значение нормального ускорения силы тяжести, полученное разностным методом;

$\Delta\gamma$ – абсолютная погрешность вычисления нормального ускорения силы тяжести;

$\delta(\gamma)$ – относительная погрешность вычисления нормального ускорения силы тяжести;

$\sigma(\gamma)$ – погрешность компьютерной арифметики вычисления нормального ускорения силы тяжести.

Накопление относительных погрешностей, вычисленных разностным методом, для различных приращений аргумента по высоте отражено на рисунке.



Рис. Зависимость степени относительной погрешности вычислений от приращения аргумента по высоте

Для высот 2 500 и 5 000 м были получены результаты таких же порядков.

На основе проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- Результаты расчета нормального ускорения силы тяжести по замкнутым формулам [1] и по замкнутым формулам Сомильяна-Пицетти [3] на поверхности уровенного эллипсоида совпадают до пятнадцати значащих цифр (предельная машинная точность);

- Результаты расчета нормального ускорения силы тяжести по замкнутым формулам [1] и по незамкнутым формулам [4] вне поверхности эллипсоида на заданной высоте H не совпадают с пятой значащей цифры, что делает необходимым дальнейший поиск ошибок в формуле или расчетах М.М. Машимова;

– Результаты расчета по замкнутым формулам и численным дифференцированием совпадают до десятой значащей цифры (предельные возможности численного дифференцирования для данной разрядной сетки компьютера).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сурнин Ю.В. Математическая модель внешнего гравитационного поля на ограниченном участке земной поверхности по спутниковым и традиционным геодезическим данным // Материалы конгресса «ГЕО-СИБИРЬ-2006». – Новосибирск, 2006.
2. Молоденский М.С., Еремеев В.Ф., Юркина М.И. Методы изучения внешнего гравитационного поля и фигуры Земли: Тр. ЦНИИГАиК. Вып. 131. – М.: Геодезиздат, 1960. – 251 с.
3. Пеллинен Л.П. Высшая геодезия. – М.: Недра, 1978. – 264 с.
4. Машимов М.М. Теоретическая геодезия / Под ред. Савиных В.П. и Яценко В.Р. – М.: Недра, 1991. – 268 с.

© Н.В. Ротова, 2006

УДК 528.21/22

А.В. Елагин

СГГА, Новосибирск

УРАВНЕНИЯ ПОПРАВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМУЩАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА В УЗЛАХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СПУТНИКОВОГО ШАРОВОГО СЛОЯ ПО ИЗМЕРЕННЫМ ДАЛЬНОСТЯМ И РАДИАЛЬНЫМ СКОРОСТЯМ

Дифференциальные уравнения движения искусственного спутника Земли (ИСЗ) в инерциальной системе координат могут быть представлены в виде

$$\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \left[\frac{\partial \vec{r}}{\partial \vec{r}} \right]^T F_G, \quad (1)$$

где $\vec{r}$, $\vec{r}$ – соответственно, векторы положения ИСЗ в инерциальной системе координат и в Гринвической системе координат, F_G – ускорение от гравитационного поля Земли (ГПЗ).

Разобьем слой, в котором движется ИСЗ, на конечные элементы, представляющие собой усеченные треугольные пирамиды с восемнадцатью узлами. Значения возмущающего потенциала в узлах конечных элементов $\vec{p} = [T^{(1)} \ T^{(2)} \ ... \ T^{(m)}]^T$ являются параметрами конечно-элементной модели ГПЗ. Для определения производных от векторов положения и скорости ИСЗ по параметрам модели ГПЗ продифференцируем правую и левую части уравнения (1) по вектору параметров $\vec{p}$. Тогда, с учетом переместительности порядка дифференцирования, система дифференциальных уравнений в вариациях примет вид

$$\frac{d^2}{dt^2} \left[\frac{\partial \vec{r}}{\partial \vec{p}} \right] = \frac{\partial^2 U}{\partial \vec{r}^2} \frac{\partial \vec{r}}{\partial \vec{p}} + \left[\frac{\partial \vec{r}}{\partial \vec{r}} \right]^T \frac{\partial}{\partial \vec{p}} \left(\frac{\partial T}{\partial \vec{r}} \right), \quad (2)$$

где U – потенциал нормального поля силы тяготения, $T = F_G - U$ – возмущающий потенциал.

Нормальный потенциал U , включающий в себя потенциалы от центрального поля и второй зональной гармоники, определяется по формуле

$$U = U_0 + U_{20} = \frac{fM}{\tilde{r}} + \frac{fM}{\tilde{r}} C_{20} \left(\frac{a_e}{\tilde{r}} \right)^2 \left(\frac{3}{2} \sin^2 \varphi - \frac{1}{2} \right), \quad (3)$$

где C_{20} – коэффициент второй зональной гармоники, a_e – большая полуось земного эллипсоида, $\sin^2 \varphi = \frac{\tilde{z}^2}{\tilde{r}^2}$.

Производные $\frac{\partial^2 U}{\partial \vec{r}^2} = \frac{\partial^2 U}{\partial \vec{r}^2}$ могут быть получены, путем двойного

дифференцирования выражения (3). Введём обозначение $K = \frac{fM}{2} C_{20} a_e^2$. Тогда

$$U_{\tilde{x}\tilde{x}} = \frac{fM}{\tilde{r}^3} \left(3 \frac{\tilde{x}^2}{\tilde{r}^2} - 1 \right) + 3 \frac{K}{\tilde{r}^5} \left[1 - \frac{5}{\tilde{r}^2} \left(\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2 - 7 \frac{\tilde{x}^2 \tilde{z}^2}{\tilde{r}^2} \right) \right],$$

$$U_{\tilde{x}\tilde{y}} = U_{\tilde{y}\tilde{x}} = 3 \frac{fM}{\tilde{r}^5} \tilde{x}\tilde{y} + 15 \frac{K}{\tilde{r}^7} \tilde{x}\tilde{y} \left(-1 + 7 \frac{\tilde{z}^2}{\tilde{r}^2} \right),$$

$$U_{\tilde{x}\tilde{z}} = U_{\tilde{z}\tilde{x}} = 3 \frac{fM}{\tilde{r}^5} \tilde{x}\tilde{z} + 15 \frac{K}{\tilde{r}^7} \tilde{x}\tilde{z} \left(-3 + 7 \frac{\tilde{z}^2}{\tilde{r}^2} \right),$$

$$U_{\tilde{y}\tilde{y}} = \frac{fM}{\tilde{r}^3} \left(3 \frac{\tilde{y}^2}{\tilde{r}^2} - 1 \right) + 3 \frac{K}{\tilde{r}^5} \left[1 - \frac{5}{\tilde{r}^2} \left(\tilde{y}^2 + \tilde{z}^2 - 7 \frac{\tilde{y}^2 \tilde{z}^2}{\tilde{r}^2} \right) \right],$$

$$U_{\tilde{y}\tilde{z}} = U_{\tilde{z}\tilde{y}} = 3 \frac{fM}{\tilde{r}^5} \tilde{y}\tilde{z} + 15 \frac{K}{\tilde{r}^7} \tilde{y}\tilde{z} \left(-3 + 7 \frac{\tilde{z}^2}{\tilde{r}^2} \right),$$

$$U_{\tilde{z}\tilde{z}} = \frac{fM}{\tilde{r}^3} \left(3 \frac{\tilde{z}^2}{\tilde{r}^2} - 1 \right) + 3 \frac{K}{\tilde{r}^5} \left(3 - 30 \frac{\tilde{z}^2}{\tilde{r}^2} + 35 \frac{\tilde{z}^4}{\tilde{r}^4} \right).$$

Если интегрировать систему дифференциальных уравнений второго порядка (2) численным методом Эверхарта, то кроме производных $\frac{\partial \vec{r}}{\partial \vec{p}}$

одновременно вычисляются и производные $\frac{\partial \vec{r}}{\partial \vec{p}}$.

Внутри конечного элемента параметры $T^{(i)}$ связаны с первыми производными от возмущающего потенциала по направлению осей Гринвичской системы координат соотношениями

$$\left. \begin{aligned} T_{\bar{x}} &= \sum_{i=1}^{18} [q_{11}N_{\xi}^{(i)} + q_{12}N_{\eta}^{(i)} + q_{13}N_{\zeta}^{(i)}] \cdot T^{(i)}, \\ T_{\bar{y}} &= \sum_{i=1}^{18} [q_{21}N_{\xi}^{(i)} + q_{22}N_{\eta}^{(i)} + q_{23}N_{\zeta}^{(i)}] \cdot T^{(i)}, \\ T_{\bar{z}} &= \sum_{i=1}^{18} [q_{31}N_{\xi}^{(i)} + q_{32}N_{\eta}^{(i)} + q_{33}N_{\zeta}^{(i)}] \cdot T^{(i)}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $N_{\xi}^{(i)}$, $N_{\eta}^{(i)}$, $N_{\zeta}^{(i)}$ – базисные функции субпараметрического конечного элемента, коэффициенты q_{ij} , $i=1, 2, 3$; $j=1, 2, 3$ являются элементами матрицы перехода от субпараметрических координат к глобальным Гринвичским прямоугольным координатам [1, 2].

Производные $\frac{\partial}{\partial \vec{p}} \left(\frac{\partial T}{\partial \vec{r}} \right)$ в выражении (2) определяются из

дифференцирования формул (4), например, $\frac{\partial T_{\bar{x}}}{\partial T^{(1)}} = q_{11}N_{\xi}^{(1)} + q_{12}N_{\eta}^{(1)} + q_{13}N_{\zeta}^{(1)}$.

Рассмотрим три случая измерения дальностей s и скорости изменения дальностей $\dot{s}$:

- Измеряются s и/или $\dot{s}$ между спутником, m_i , движущимся в сферическом граничном слое, и наземным пунктом M_j ;
- Измеряются s и/или $\dot{s}$ между спутником m_i и космическим аппаратом m_j одной из глобальных навигационных систем (GPS и/или ГЛОНАСС);
- Измеряются s и/или $\dot{s}$ между двумя спутниками m_i и m_j , движущимися в сферическом граничном слое.

Измерения могут выполняться и одновременно между всеми объектами (рис. 1).

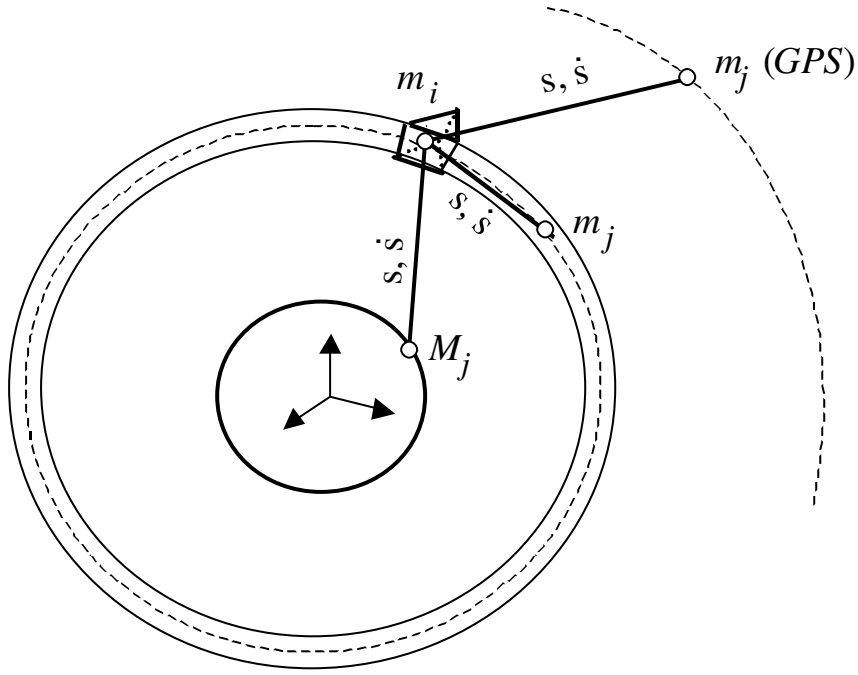


Рис. 1. Геометрия наблюдений дальностей и скоростей изменения дальностей

Уравнение связи дальности с координатами точки m_i и координатами любой из точек m_j или M_j представим в виде

$$s = \sqrt{(\tilde{x}_i - \tilde{x}_j)^2 + (\tilde{y}_i - \tilde{y}_j)^2 + (\tilde{z}_i - \tilde{z}_j)^2}. \quad (5)$$

Если продифференцировать это уравнение по времени, то получим уравнение связи скорости изменения дальности с координатами и составляющими скоростей в инерциальной системе

$$\dot{s} = \frac{1}{s} [(\tilde{x}_i - \tilde{x}_j)(\dot{\tilde{x}}_i - \dot{\tilde{x}}_j) + (\tilde{y}_i - \tilde{y}_j)(\dot{\tilde{y}}_i - \dot{\tilde{y}}_j) + (\tilde{z}_i - \tilde{z}_j)(\dot{\tilde{z}}_i - \dot{\tilde{z}}_j)]. \quad (6)$$

Для составления уравнения поправок необходимо найти частные производные от измеренной дальности и скорости по вектору оцениваемых параметров $\vec{\hat{p}}$, который может включать в себя, в случае наблюдений между спутниками, вектор значений возмущающего потенциала в узлах конечных элементов и векторы начальных условий движения двух спутников

$$\vec{\hat{p}} = [\vec{p} \quad \vec{r}_{i0} \quad \dot{\vec{r}}_{i0} \quad \vec{r}_{j0} \quad \dot{\vec{r}}_{j0}]^T. \quad (7)$$

Если измерения выполнены между спутником и наземным пунктом, то два последних вектора исчезнут, когда координаты пункта известны, либо вместо начальных условий движения спутника m_j подставляется вектор положения пункта в гринвичской глобальной системе координат.

Продифференцируем (5) и (6) по этому вектору, получим

$$\frac{\partial s}{\partial \vec{\hat{p}}} = \frac{1}{s} \left[(\tilde{x}_i - \tilde{x}_j) \left(\frac{\partial \tilde{x}_i}{\partial \vec{\hat{p}}} - \frac{\partial \tilde{x}_j}{\partial \vec{\hat{p}}} \right) + (\tilde{y}_i - \tilde{y}_j) \left(\frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial \vec{\hat{p}}} - \frac{\partial \tilde{y}_j}{\partial \vec{\hat{p}}} \right) + (\tilde{z}_i - \tilde{z}_j) \left(\frac{\partial \tilde{z}_i}{\partial \vec{\hat{p}}} - \frac{\partial \tilde{z}_j}{\partial \vec{\hat{p}}} \right) \right], \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \dot{s}}{\partial \hat{\vec{p}}} = & \frac{1}{s} \left\{ \left[\dot{\tilde{x}}_i - \dot{\tilde{x}}_j - \frac{\dot{s}}{s} (\tilde{x}_i - \tilde{x}_j) \right] \left(\frac{\partial \tilde{x}_i}{\partial \hat{\vec{p}}} - \frac{\partial \tilde{x}_j}{\partial \hat{\vec{p}}} \right) - (\tilde{x}_i - \tilde{x}_j) \left(\frac{\partial \dot{\tilde{x}}_i}{\partial \hat{\vec{p}}} - \frac{\partial \dot{\tilde{x}}_j}{\partial \hat{\vec{p}}} \right) + \right. \\
& + \left[\dot{\tilde{y}}_i - \dot{\tilde{y}}_j - \frac{\dot{s}}{s} (\tilde{y}_i - \tilde{y}_j) \right] \left(\frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial \hat{\vec{p}}} - \frac{\partial \tilde{y}_j}{\partial \hat{\vec{p}}} \right) - (\tilde{y}_i - \tilde{y}_j) \left(\frac{\partial \dot{\tilde{y}}_i}{\partial \hat{\vec{p}}} - \frac{\partial \dot{\tilde{y}}_j}{\partial \hat{\vec{p}}} \right) + \\
& \left. + \left[\dot{\tilde{z}}_i - \dot{\tilde{z}}_j - \frac{\dot{s}}{s} (\tilde{z}_i - \tilde{z}_j) \right] \left(\frac{\partial \tilde{z}_i}{\partial \hat{\vec{p}}} - \frac{\partial \tilde{z}_j}{\partial \hat{\vec{p}}} \right) - (\tilde{z}_i - \tilde{z}_j) \left(\frac{\partial \dot{\tilde{z}}_i}{\partial \hat{\vec{p}}} - \frac{\partial \dot{\tilde{z}}_j}{\partial \hat{\vec{p}}} \right) \right\}, \quad (9)
\end{aligned}$$

где производные от векторов положения и скорости по значениям возмущающего потенциала в узлах для точек i и j определяются в результате интегрирования системы уравнений в вариациях (2).

Необходимо отметить, что в случае измерения s и $\dot{s}$ между спутниками находящимися в одном разделенном на конечные элементы сферическом слое, вычисление производных от положений и скоростей по возмущающему потенциалу в узлах выполняется для каждого ИСЗ. Для спутников систем GPS и ГЛОНАСС эти производные не вычисляются.

Уравнения поправок для измеренных дальностей и радиальных скоростей в общем виде записывается следующим образом

$$\begin{aligned}
\frac{\partial s}{\partial \hat{\vec{p}}} \Delta \hat{\vec{p}} + s^0 - \tilde{s} &= \mathcal{G}, \\
\frac{\partial \dot{s}}{\partial \hat{\vec{p}}} \Delta \hat{\vec{p}} + \dot{s}^0 - \tilde{\dot{s}} &= \mathcal{G},
\end{aligned}$$

где $\frac{\partial s}{\partial \hat{\vec{p}}}$, $\frac{\partial \dot{s}}{\partial \hat{\vec{p}}}$ – производные, вычисляемые по приближенным координатам

и скоростям, соответственно, по формулам (8) и (9); $\Delta \hat{\vec{p}}$ – вектор поправок к приближенным значениям оцениваемых параметров; s^0 , $\dot{s}^0$ – дальности и скорости, найденные по приближенным координатам и составляющим скорости точек m_i , m_j , M_j , соответственно, при помощи соотношений (5) и (6); $\tilde{s}$, $\tilde{\dot{s}}$ – измеренные значения дальности и скорости; $\mathcal{G}$ – поправки к измерениям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елагин, А.В. Связь глобальной Гринвичской системы координат с локальной системой координат конечного элемента [Текст] / А.В. Елагин // ГЕО-Сибирь-2005. Т. 1. Геодезия, картография, маркшейдерия: Сб. матер. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2005», 25 – 29 апреля 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 141 – 143.

2. Елагин, А.В. Связь локальной и субпараметрической систем координат конечного элемента [Текст] / А.В. Елагин // ГЕО-Сибирь-2005. Т. 1. Геодезия, картография, маркшейдерия: Сб. матер. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2005», 25 – 29 апреля 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 189 – 193.

© А.В. Елагин, 2006

СВЯЗЬ ГРАДИЕНТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С ВОЗМУЩАЮЩИМ ПОТЕНЦИАЛОМ В УЗЛАХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СПУТНИКОВОГО ШАРОВОГО СЛОЯ

В середине августа 2006 г. с космодрома Плисецк планируется запустить искусственный спутник Земли (ИСЗ) проекта GOCE с градиентометром на борту. Спутник будет выведен на близкую к солнечно-синхронную орбиту с наклонением $96,5^\circ$ и высотой 240 – 270 км. Спутниковые градиентометрические измерения позволят существенно уточнить имеющиеся в настоящее время модели гравитационного поля Земли [3].

Так как орбита близкая к солнечно-синхронная и спутникоцентрическая система координат t, w, s , показанная на рис. 1, близка к инструментальной системе координат, то в дальнейшем различать их не будем.

Формулы прямого и обратного преобразования координат из глобальной Гринвичской системы координат в спутникоцентрическую систему имеют вид:

$$\bar{r}_1 = \sqrt{\bar{x}_1^2 + \bar{y}_1^2 + \bar{z}_1^2}, \quad \bar{m}_1 = \frac{\bar{x}_1}{\bar{r}_1}, \quad \bar{m}_2 = \frac{\bar{y}_1}{\bar{r}_1}, \quad \bar{m}_3 = \frac{\bar{z}_1}{\bar{r}_1}.$$

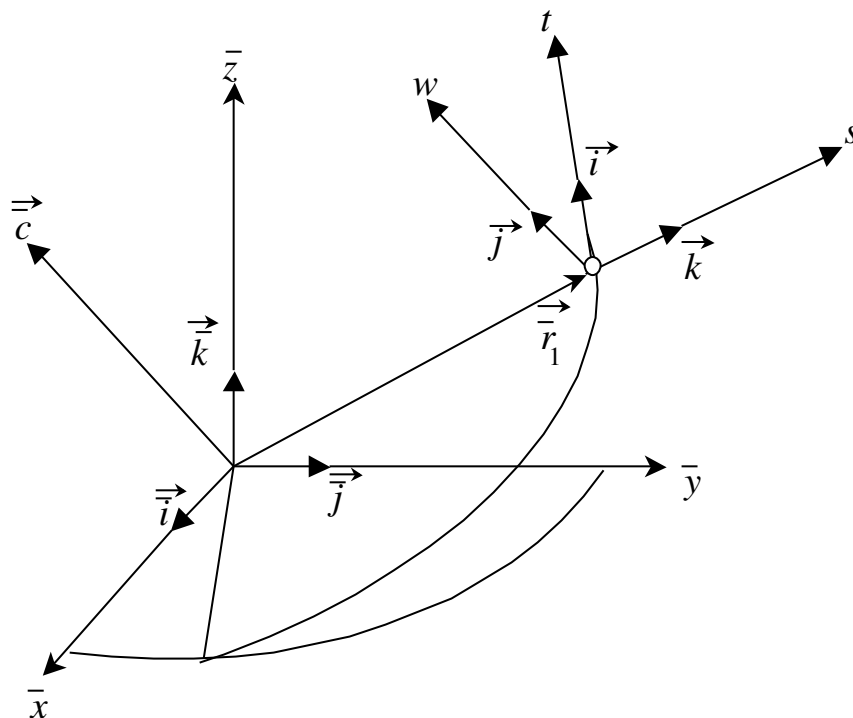


Рис. 1. Глобальная гринвичская и спутникоцентрическая системы координат

$$\vec{\bar{c}} = \vec{\bar{n}}_1 \times \vec{\bar{n}}_1, \quad \bar{c} = \sqrt{\bar{c}_{\bar{x}}^2 + \bar{c}_{\bar{y}}^2 + \bar{c}_{\bar{z}}^2}, \quad \bar{n}_1 = \frac{\bar{c}_{\bar{x}}}{\bar{c}}, \quad \bar{n}_2 = \frac{\bar{c}_{\bar{y}}}{\bar{c}}, \quad \bar{n}_3 = \frac{\bar{c}_{\bar{z}}}{\bar{c}}.$$

$$\bar{x}_t = \bar{n}_2 \bar{m}_3 - \bar{n}_3 \bar{m}_2, \quad \bar{x}_w = \bar{n}_1, \quad \bar{x}_s = \bar{m}_1,$$

$$\bar{y}_t = \bar{n}_3 \bar{m}_1 - \bar{n}_1 \bar{m}_3, \quad \bar{y}_w = \bar{n}_2, \quad \bar{y}_s = \bar{m}_2,$$

$$\bar{z}_t = \bar{n}_1 \bar{m}_2 - \bar{n}_2 \bar{m}_1, \quad \bar{z}_w = \bar{n}_3, \quad \bar{z}_s = \bar{m}_3.$$

$$\bar{R} = \begin{bmatrix} \bar{x}_t & \bar{x}_w & \bar{x}_s \\ \bar{y}_t & \bar{y}_w & \bar{y}_s \\ \bar{z}_t & \bar{z}_w & \bar{z}_s \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} t \\ w \\ s \end{bmatrix} = \bar{R}^T \cdot \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \bar{r}_1 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} = \bar{R} \cdot \begin{bmatrix} t \\ w \\ s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{y}_1 \\ \bar{z}_1 \end{bmatrix},$$

Градиенты в спутникоцентрической системе координат связаны с градиентами в глобальной системе координат соотношениями

$$\begin{bmatrix} T_{tt} & T_{tw} & T_{ts} \\ T_{tw} & T_{ww} & T_{ws} \\ T_{ts} & T_{ws} & T_{ss} \end{bmatrix} = \bar{R}^T \cdot \begin{bmatrix} T_{\bar{x}\bar{x}} & T_{\bar{x}\bar{y}} & T_{\bar{x}\bar{z}} \\ T_{\bar{x}\bar{y}} & T_{\bar{y}\bar{y}} & T_{\bar{y}\bar{z}} \\ T_{\bar{x}\bar{z}} & T_{\bar{y}\bar{z}} & T_{\bar{z}\bar{z}} \end{bmatrix} \cdot \bar{R}.$$

Возмущающий потенциал в узлах конечных элементов спутникового шарового слоя связан с градиентами в глобальной системе координат следующим образом.

$$T_{\bar{x}\bar{x}} = \sum_{i=1}^{18} [q_{11}^2 N_{\xi\xi}^{(i)} + q_{12}^2 N_{\eta\eta}^{(i)} + q_{13}^2 N_{\zeta\zeta}^{(i)} + 2q_{11}q_{12} N_{\xi\eta}^{(i)} + 2q_{11}q_{13} N_{\xi\zeta}^{(i)} + 2q_{12}q_{13} N_{\eta\zeta}^{(i)} + P_{11}^{\xi} N_{\xi}^{(i)} + P_{11}^{\eta} N_{\eta}^{(i)} + P_{11}^{\zeta} N_{\zeta}^{(i)}] \cdot T^{(i)},$$

$$T_{\bar{y}\bar{y}} = \sum_{i=1}^{18} [q_{21}^2 N_{\xi\xi}^{(i)} + q_{22}^2 N_{\eta\eta}^{(i)} + q_{23}^2 N_{\zeta\zeta}^{(i)} + 2q_{21}q_{22} N_{\xi\eta}^{(i)} + 2q_{21}q_{23} N_{\xi\zeta}^{(i)} + 2q_{22}q_{23} N_{\eta\zeta}^{(i)} + P_{22}^{\xi} N_{\xi}^{(i)} + P_{22}^{\eta} N_{\eta}^{(i)} + P_{22}^{\zeta} N_{\zeta}^{(i)}] \cdot T^{(i)},$$

$$T_{\bar{z}\bar{z}} = \sum_{i=1}^{18} [q_{31}^2 N_{\xi\xi}^{(i)} + q_{32}^2 N_{\eta\eta}^{(i)} + q_{33}^2 N_{\zeta\zeta}^{(i)} + 2q_{31}q_{32} N_{\xi\eta}^{(i)} + 2q_{31}q_{33} N_{\xi\zeta}^{(i)} + 2q_{32}q_{33} N_{\eta\zeta}^{(i)} + P_{33}^{\xi} N_{\xi}^{(i)} + P_{33}^{\eta} N_{\eta}^{(i)} + P_{33}^{\zeta} N_{\zeta}^{(i)}] \cdot T^{(i)},$$

$$T_{\bar{x}\bar{y}} = \sum_{i=1}^{18} [q_{11}q_{21} N_{\xi\xi}^{(i)} + q_{12}q_{22} N_{\eta\eta}^{(i)} + q_{13}q_{23} N_{\zeta\zeta}^{(i)} +$$

$$+ (q_{11}q_{22} + q_{21}q_{12})N_{\xi\eta}^{(i)} + (q_{11}q_{23} + q_{21}q_{13})N_{\xi\zeta}^{(i)} + \\ + (q_{12}q_{23} + q_{22}q_{13})N_{\eta\zeta}^{(i)} + P_{12}^{\xi}N_{\xi}^{(i)} + P_{12}^{\eta}N_{\eta}^{(i)} + P_{12}^{\zeta}N_{\zeta}^{(i)}] \cdot T^{(i)},$$

$$T_{\bar{x}\bar{z}} = \sum_{i=1}^{18} [q_{11}q_{31}N_{\xi\xi}^{(i)} + q_{12}q_{32}N_{\eta\eta}^{(i)} + q_{13}q_{33}N_{\zeta\zeta}^{(i)} + \\ + (q_{11}q_{32} + q_{31}q_{12})N_{\xi\eta}^{(i)} + (q_{11}q_{33} + q_{31}q_{13})N_{\xi\zeta}^{(i)} + \\ + (q_{12}q_{33} + q_{32}q_{13})N_{\eta\zeta}^{(i)} + P_{13}^{\xi}N_{\xi}^{(i)} + P_{13}^{\eta}N_{\eta}^{(i)} + P_{13}^{\zeta}N_{\zeta}^{(i)}] \cdot T^{(i)},$$

$$T_{\bar{y}\bar{z}} = \sum_{i=1}^{18} [q_{21}q_{31}N_{\xi\xi}^{(i)} + q_{22}q_{32}N_{\eta\eta}^{(i)} + q_{23}q_{33}N_{\zeta\zeta}^{(i)} + \\ + (q_{21}q_{32} + q_{31}q_{22})N_{\xi\eta}^{(i)} + (q_{21}q_{33} + q_{31}q_{23})N_{\xi\zeta}^{(i)} + \\ + (q_{22}q_{33} + q_{32}q_{23})N_{\eta\zeta}^{(i)} + P_{23}^{\xi}N_{\xi}^{(i)} + P_{23}^{\eta}N_{\eta}^{(i)} + P_{23}^{\zeta}N_{\zeta}^{(i)}] \cdot T^{(i)}.$$

Здесь коэффициенты q_{ij} , P_{ij}^{ξ} , P_{ij}^{η} , P_{ij}^{ζ} – находятся по формулам

$$R = \begin{bmatrix} x_{\bar{x}} & x_{\bar{y}} & x_{\bar{z}} \\ y_{\bar{x}} & y_{\bar{y}} & y_{\bar{z}} \\ z_{\bar{x}} & z_{\bar{y}} & z_{\bar{z}} \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{bmatrix} = R^T \cdot \begin{bmatrix} \xi_x & \eta_x & \zeta_x \\ \xi_y & \eta_y & \zeta_y \\ \xi_z & \eta_z & \zeta_z \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} P_{11}^{\xi} & P_{12}^{\xi} & P_{13}^{\xi} \\ P_{12}^{\xi} & P_{22}^{\xi} & P_{23}^{\xi} \\ P_{13}^{\xi} & P_{23}^{\xi} & P_{33}^{\xi} \end{bmatrix} = R^T \cdot \begin{bmatrix} \xi_{xx} & \xi_{xy} & \xi_{xz} \\ \xi_{xy} & \xi_{yy} & \xi_{yz} \\ \xi_{xz} & \xi_{yz} & \xi_{zz} \end{bmatrix} \cdot R,$$

$$\begin{bmatrix} P_{11}^{\eta} & P_{12}^{\eta} & P_{13}^{\eta} \\ P_{12}^{\eta} & P_{22}^{\eta} & P_{23}^{\eta} \\ P_{13}^{\eta} & P_{23}^{\eta} & P_{33}^{\eta} \end{bmatrix} = R^T \cdot \begin{bmatrix} \eta_{xx} & \eta_{xy} & \eta_{xz} \\ \eta_{xy} & \eta_{yy} & \eta_{yz} \\ \eta_{xz} & \eta_{yz} & \eta_{zz} \end{bmatrix} \cdot R,$$

$$\begin{bmatrix} P_{11}^{\zeta} & P_{12}^{\zeta} & P_{13}^{\zeta} \\ P_{12}^{\zeta} & P_{22}^{\zeta} & P_{23}^{\zeta} \\ P_{13}^{\zeta} & P_{23}^{\zeta} & P_{33}^{\zeta} \end{bmatrix} = R^T \cdot \begin{bmatrix} \zeta_{xx} & \zeta_{xy} & \zeta_{xz} \\ \zeta_{xy} & \zeta_{yy} & \zeta_{yz} \\ \zeta_{xz} & \zeta_{yz} & \zeta_{zz} \end{bmatrix} \cdot R.$$

В правых частях этих формул элементами матриц в квадратных скобках являются первые производные от локальных прямоугольных координат x, y, z по глобальным прямоугольным координатам $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ (рис. 2), а также первые и вторые производные от субпараметрических координат ξ, η, ζ по локальным прямоугольным координатам x, y, z (рис. 3).

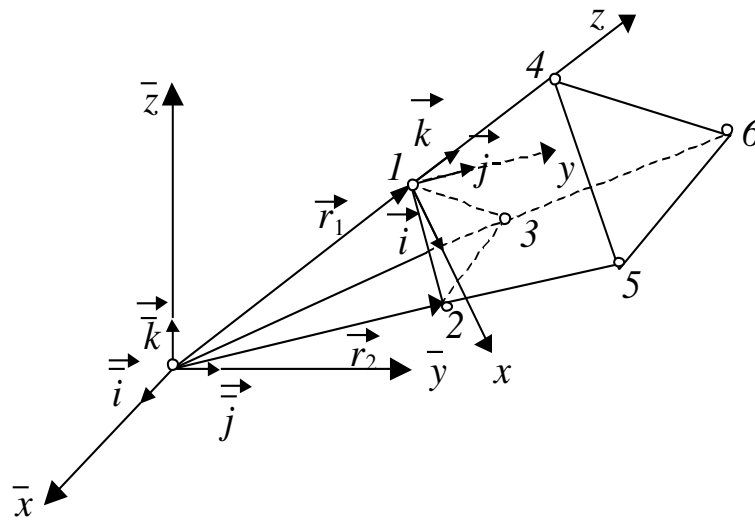
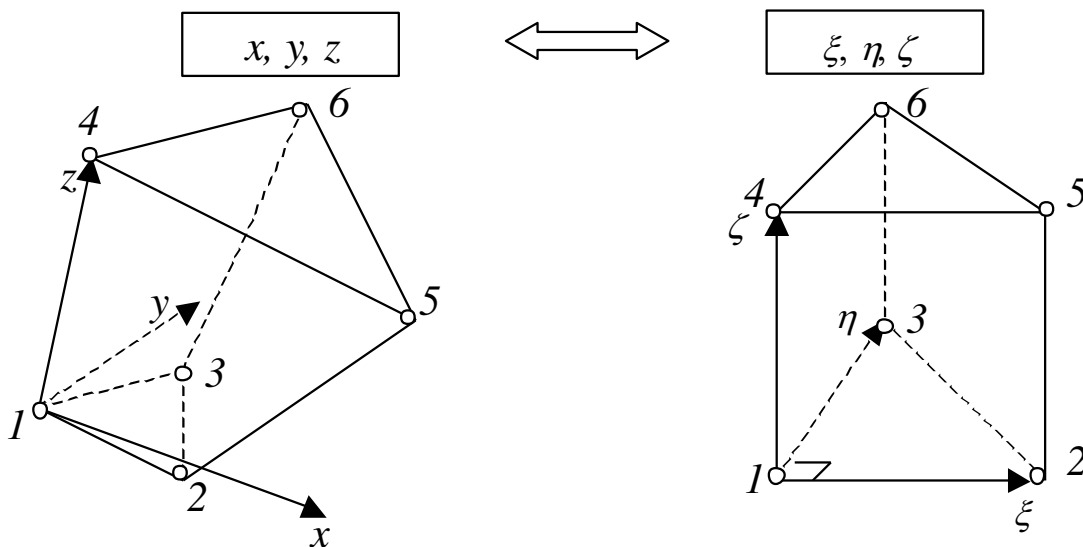


Рис. 2. Глобальная гринвичская и локальная системы координат



субпараметрический конечный элемент

Рис. 3. Локальная и субпараметрическая системы координат

Формулы связи глобальной, локальной и субпараметрической систем координат представлены в работах [1, 2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елагин, А.В. Связь глобальной Гринвичской системы координат с локальной системой координат конечного элемента [Текст] / А.В. Елагин // ГЕО-Сибирь-2005. Т. 1. Геодезия, картография, маркшейдерия: Сборник материалов научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2005», 25 – 29 апреля 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 141 – 143.
2. Елагин, А.В. Связь локальной и субпараметрической систем координат конечного элемента [Текст] / А.В. Елагин // ГЕО-Сибирь-2005. Т. 1. Геодезия, картография, маркшейдерия: Сборник материалов научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2005», 25 – 29 апреля 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 189 – 193.
3. Visser, P.N.A.M., The gravity field mission GOCE: a revolution for the geosciences [Text] / P.N.A.M. Visser, R. Rummel, G. Balmino, H. Sunkel, J. Johannessen, M. Aguirre, P.L. Woodworth, C. Le Provost, C.C. Tscherning, R. Sabadini // LAG International Symposium on Gravity, Geoid and Geodynamics 2000, Banff, July 31-Aug. 4, 2000; GGG2000 Technical Program and Abstracts. Banff. 2000. 155.

© А.В. Елагин, 2006

OMNISTAR HP WORLDWIDE POSITIONING SERVICE**OmniSTAR HP – Служба высокоточного глобального позиционирования в реальном масштабе времени****1 ABSTRACT**

OmniSTAR has a worldwide network of 100 GPS reference stations, which together with broadcasted precise orbit and clock info of GPS satellites allow decimetre level absolute position accuracy. OmniSTAR broadcasts these corrections over a network of 6 geostationary reference Satellites. In this article, the application of this technology to GIS mapping and the operating parameters will be explained. Concepts such as “Kick-start” (i.e) starting at a known point) and “static convergence” will be discussed.

2 INTRODUCTION

OmniSTAR BV is located in the Netherlands and is part of the Fugro group of companies. Together with sister companies in Houston (USA), Perth (Australia), Cape Town (South Africa), Abu Dhabi (Middle East) and Singapore, OmniSTAR sells GPS correction signals for the land market. These correction signals are sent by geostationary satellites.

These correction signals allow sub-meter and decimetre level accuracy around the world without the need for having own reference stations.

OmniSTAR broadcasts over six high power geostationary satellites, located at 36,000 km anywhere above the equator, measurements to the Mobile GPS receiver. The frequencies are in the range of 1,525-1,559 MHz, (GPS L1=1, 575.42 MHz, GPS L2=1227.60 MHz)

Table 1 OmniSTAR Geostationary L-band satellites

Nr.	Satellite name	Area of Coverage	Frequency (Hz)	Data rate	Centre Longitude	East Border	West Border	South Border	North Border
1	EA-SAT	Europe, Russia, Middle Africa	1 535 152 500	1200 bps	25° East	56° W	106° E	80° S	80° N
2	AF-SAT	Africa, Middle East	1 535 180 000	1200 bps	25° East	56° W	106° E	80° S	80° N
3	AP-SAT	Asia, India, Australia, New Zealand	1 535 137 500	1200 bps	109° East	28° E	168° W	80° S	80° N
4	AM-SAT	North and South America	1 535 137 500	1200 bps	98° West	179° W	17° W	80° S	80° N
5	OPTUS	Australia and New Zealand	1 558 510 000	1200 bps	145° East	95° E	173° E	66° S	7° N
6	MSV-W	USA-West	1 536 782 000	1200 bps	120° West	25° N	67° N	80° S	80° N
	MSV-C	USA-Central	1 534 741 000	1200 bps	94° West	25° N	67° N	80° S	80° N
	MSV-E	USA-East	1 530 359 000	1200 bps	80° West	25° N	67° N	80° S	80° N
7	OC-SAT	Pacific Ocean, Australia, New Zealand	1 535 185 000	1200 bps	143.5° East	62° E	136° W	80° S	80° N

In order to receive the OmniSTAR signal one needs a special Combined L1/L-band for DGPS or L1/L2/L-band Antenna for HP.

OmniSTAR DGPS Virtual Base Station (VBS)

The VBS solution uses GPS pseudo range measurements from all reference stations in the network. These pseudo-range measurements are sent to the GPS receiver. In the receiver is an algorithm, which is weighting the pseudo-range measurements based on distance, elevation mask and quality. From these measurements an optimized RTCM for that specific location (VBS) is calculated which is sent internally to the GPS receiver.

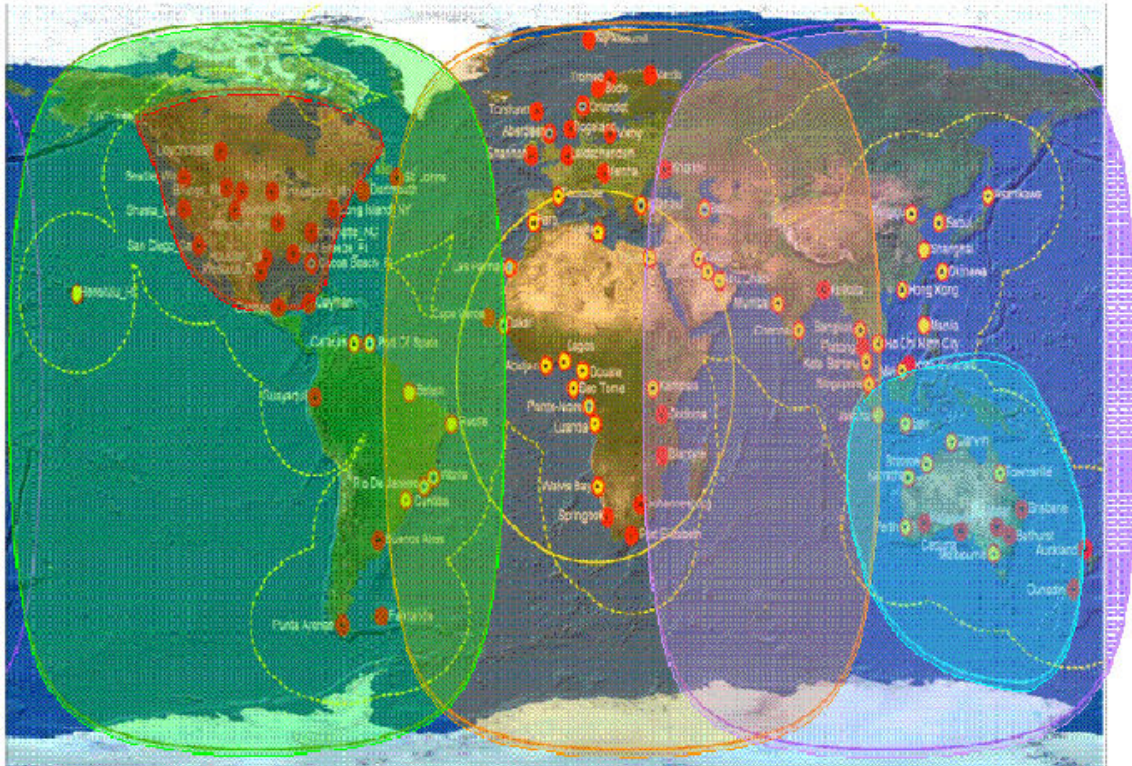


Figure 2 HP principle overview

OmniSTAR High Performance (HP)

OmniSTAR HP needs a dual frequency receiver. In the receiver Ionospheric-free phase and code measurements from all reference stations are received. In the receiver the phase and code measurements of the network are combined with the measurements from the mobile GPS receiver. The total number of wavelengths to the satellites is then estimated.

The position, receiver clock and troposphere are estimated. After a receiver has been switched on the position solution converges from meter level in the first minute to cm level in 24 hours.

3 POSITION CONVERGENCE SPEED

When the sum of the standard deviations is 30 cm a flag is raised and the solution is considered converged. The NMEA GGA quality indicator will indicate code 5, which stands for RTK float ambiguity fixing or code 4, which stands for RTK accuracy level.

$$\sqrt{\sigma_{Lat}^2 + \sigma_{Lon}^2 + \sigma_{Height}^2} \leq 30cm$$

The convergence speed depends on

- a) The number of GPS satellites tracked
- b) The constellation change of these satellites over time
- c) Distance to reference stations

The convergence process can be visualised as trying to fit the high accurate relative measured distance change to the satellite with the actual orbit. In order to make this fit well the orbit needs curvature. Curvature needs time.

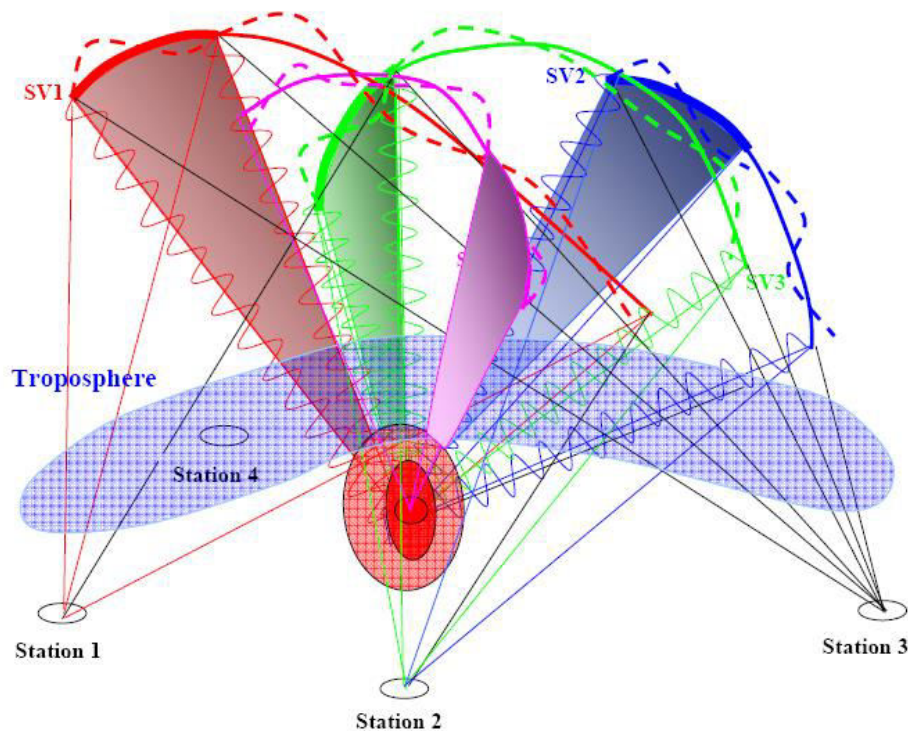


Figure 3 OmniSTAR HP working overview

Kick-start

When the receiver starts at a point with known coordinates the position can be injected directly in the HP algorithm. This is called Kick-start or seeding as the start position is the “Seed” of the computation process. With Kick-Start the solution is already “converged” within a minute after switching on the receiver.

Static convergence

If the receiver is static the HP algorithm takes advantage of this fact giving average convergence in 10 minutes and maximum in 20 minutes.

Dynamic convergence

When the receiver is moving in relative open areas, like on tractors or aircraft it takes an average of 25 minutes and maximum 55 minutes to converge.

Calculations in post-processing mode for one day with a processing interval of 5 minutes in the Netherlands gave the following result

Table 2 HP kickstart, static and dynamic convergence time in minutes

HP Convergence in minutes		SEP=30 cm
Kickstart	average	00' 36"
	minimum time	00' 30"
	Maximum time	02' 12"
Static	average	09' 31"
	minimum time	06' 01"
	Maximum time	17' 03"
Dynamic	average time	23' 46"
	Minimum time	10' 43"
	Maximum time	54' 36"

*SEP=Spherical Error Probability

These results will vary for other locations in the world based on satellite geometry and number of satellites. However the results will be in the same order of magnitude.

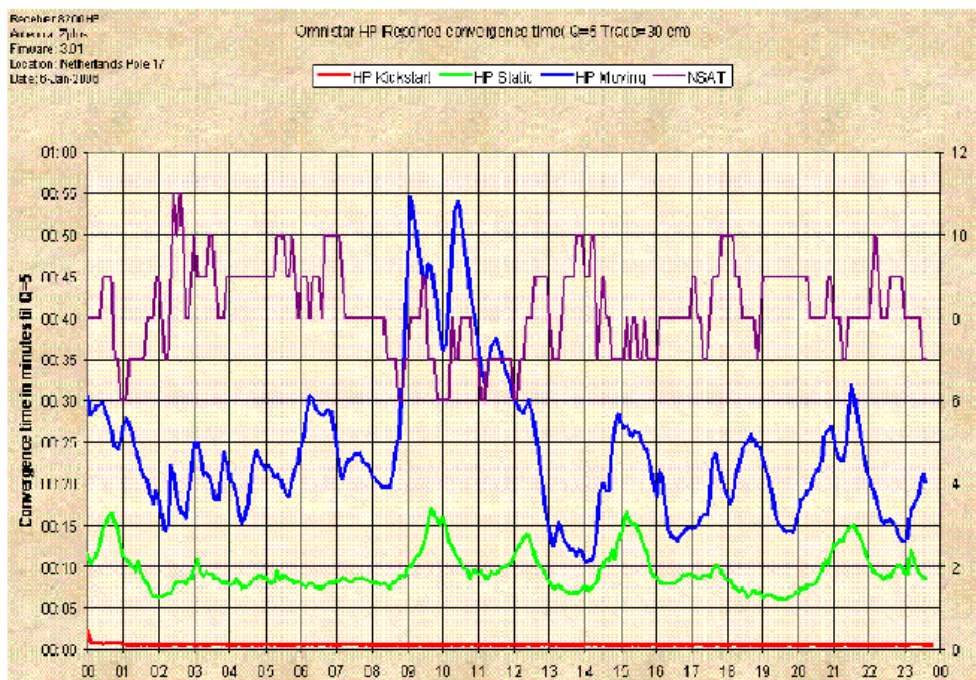


Figure 4 HP convergence time till Spherical Error Position (SEP) =30 cm for Kickstart, Static and Moving.

Convergence depending on number of satellites

As it is a heavy calculation task we have looked at the number of Satellites available at the moment of convergence as possible indicator for convergence time.

Table 3 Convergence time in minutes versus number of satellites

Convergence time	HP Static			HP Dynamic		
NSAT	average	min	max	average	min	max
6	12' 08"	10' 12"	17' 04"	32' 53"	25' 37"	48' 20"
7	12' 15"	07' 34"	19' 58"	28' 44"	12' 34"	54' 10"
8	10' 56"	06' 56"	18' 15"	23' 27"	11' 59"	54' 36"
9	09' 36"	06' 38"	17' 29"	20' 29"	10' 45"	46' 25"
10	09' 15"	07' 32"	10' 48"	19' 05"	10' 43"	28' 59"
11	-	-	-	20' 07"	18' 51"	21' 23"

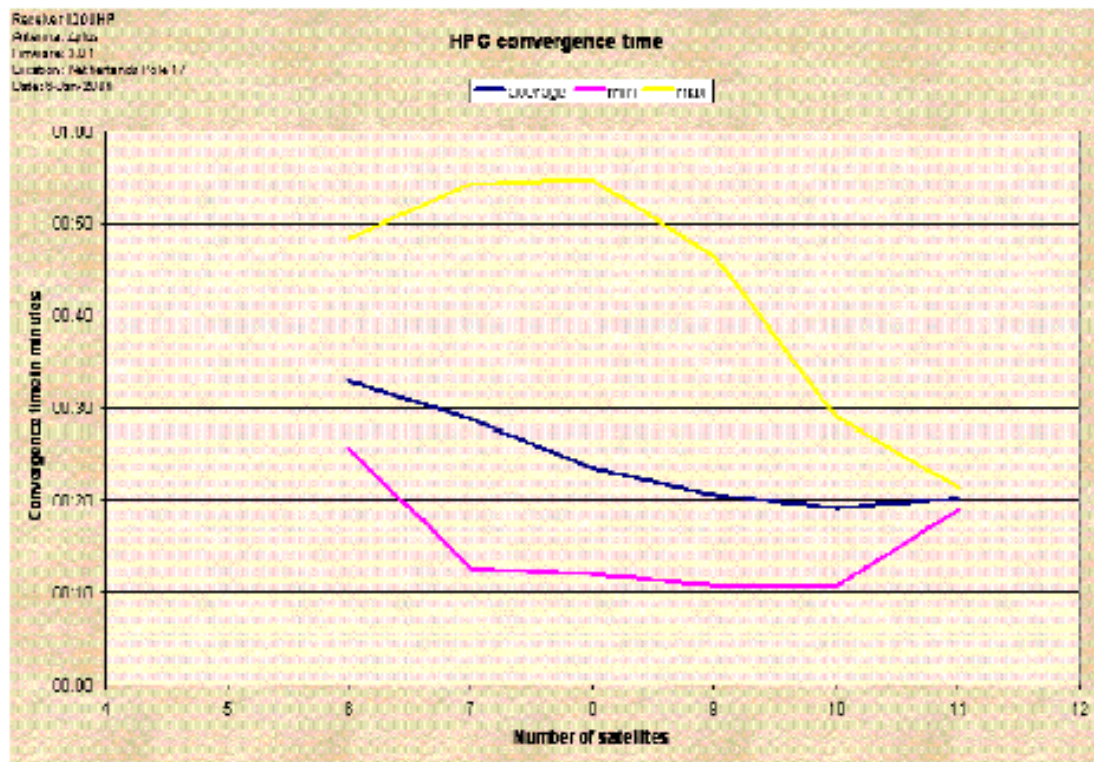


Figure 5 HP convergence speed depending on number of satellites

These values can be used to create a rule of thumb for the time it will take before the solution is converged.

4 GPS SATELLITE INTERRUPTIONS

The HP solution be can restored after satellites phase measurements were blocked by buildings or trees as long as there are a minimum of five common satellites available before and after the interruption.

When less than 5 satellites are available, because the solution goes in a tunnel or under heavy trees HP can regain the same level accuracy up to a period of 3 minutes.

The success rate of regaining the solution is dependent on:

- Time without GPS measurements
- Phase and code multipath before and after the interruption
- The number of available satellites before and after the gap.

5 OMNISTAR L-BAND SATELLITE INTERRUPTIONS

Sometimes the Geostationary satellite is blocked by buildings or trees. In VBS mode the solution is valid up to 4 minutes without correction data. In HP mode the solution remains valid for a maximum of 5 minutes. Once a correction message becomes available the solution can be again of the same quality as before the outage.

6 USING GPS REFERENCE STATIONS

HP uses measurements of the nearest surrounding reference stations together with measurements of the mobile GPS receiver. Up to a distance of 1000 km there are enough common satellites to guarantee good position accuracy. Beyond 1000 km the position solution slowly degrades.

7 USING PRECISE ORBITS AND CLOCK

In addition to the HP solution based on Reference stations the correction satellites also broadcasts precise satellite orbits every minute and precise clock information every ten seconds. It is then possible without the use of any reference stations to estimate positions up to the decimetre level. When the position of the satellites is known within 20-30 cm and also the satellite clock error is known within a nanosecond (30 cm). This technique is also called “Precise Point Positioning” (PPP).

8 COMBINED REFERENCE STATIONS WITH PRECISE ORBITS

OmniSTAR Europe combines the measurement of the reference network (HP) and orbits and clocks into an integrated solution.

This improves the robustness of the solution considerable.

- a) Far away from reference stations the solution relies on precise orbits and clocks.
- b) Close to reference stations the solution is improved using a network solution
- c) Rare outages of individual reference stations will then not influence the solution.

9 GPS MANUFACTURERS WITH OMNISTAR

The following GPS manufacturers have implemented OmniSTAR algorithms in their GPS hardware.

Table 4 Overview of OmniSTAR capable receivers and firmware releases

Manufacturers	Models	Main Markets	Firmware version	Release date	VBS/HP ¹
Hemisphere (CSI/Satloc/ Outback)	DGPSMAX	Marine/GIS	4.8	Dec 2005	VBS2
	SLX1,2,3	Ag/Avionics			
	Outback	Ag			
	Cornerpost	AG/GIS			
Leica	GS50/GS20 +RTS	GIS	1.37	Jan. 2005	Nearest Station
Novatel	Propak LB Propak LB Span	OEM Vehicle	2.312	Nov. 2005	VBS2/HP
OmniSTAR	3000 and 3100LR series	GIS	3.00.22	Sept. 2004	VBS
	3200LR12	Vehicle/GIS/Ag	3.0	Sept. 2005	VBS2
	3500LR	L-band Demodulator	02.06.05	June. 2005	VBS2
	3510LR	L-band Demodulator	02.06.05	June. 2005	VBS2
	7114LR12	Ag/GIS	3.0	Sept. 2005	VBS2
	8300HP	GIS/Vehicle	2.310	Nov. 2005	VBS2/HP
	8400HP	GIS/Vehicle	1.0p2b2	June 2005	VBS/HP

Raven	Invicta 310	GIS/Vehicle/Marine	?	2005	VBS2
	RPR 410	Ag	?	2006	HP/VBS2
Sokkia	GSR2650 LB	GIS	2.310	Nov. 2005	VBS2/HP
	Axis3	GIS	4.8	Dec 2005	VBS2
Thales	MKIV	Ag/GIS	1.37	Jan. 2005	Nearest Station
Topcon	MAP-RT	GIS	3.0a7	Feb-2006	VBS
	MAP-HP	GIS/Construction	1.0p2b2	June 2005	VBS/HP
Trimble	AgGPS 110	Ag/GIS	3.0	Oct. 2005	VBS2
	AgGPS 114	Ag/GIS	3.0	Sept. 2005	VBS2
	AgGPS 132		3.0	Sept. 2005	VBS2
	AgGPS 252	Ag Autosteer	3.21	Mar 2006	VBS2/HP
	AgGPS 332	Ag			
	DSM 332	Marine			
	SPS-550	Marine/Construction			
	SPS-750	Construction			
	SPS-850	Construction			
	Pathfinder power	GIS	1.70	March 2005	VBS
	PRO-XRS	GIS	1.70	Jan. 2003	VBS

10 PDA GIS SOFTWARE

All receivers are supporting the NMEA output control. However to set the HP process in Kickstart or Static mode a command has to be sent to the receiver. The following PDA software packages do support HP Kickstart

- PocketGIS Pocket, Positioning Resources
- Arcpad 6.01 ESRI (using Script file)
- Solo Software TDSWay

– Imap	Sokkia
– Topsurv	Topcon
– FieldGenius	MicroSurvey
– Omnilogger	OmniSTAR South Africa (Psion)
– Viewall	OmniSTAR BV
– Others...	

11 WHERE IS OMNISTAR USED

OmniSTAR is used by thousands of customers around the world in many market segments and for niche applications. The most important markets are Agriculture, GIS, Construction and machine control.

12 AGRICULTURE

One of the main markets is Agriculture. In Agriculture OmniSTAR VBS is used for manual steering aids, mapping the contours of the area and the soil quality and measuring the quantity of production as function of position. It is used for spreading fertilizer, chemicals over the fields. This leads to significant improvements in efficiency and cost savings.

OmniSTAR HP is used for automatic steering of the Tractor. To create parallel lines for ploughing, seeding and spraying.

13 GIS

In GIS OmniSTAR VBS is used for data collection, map road marks and electricity poles. OmniSTAR HP is for instance used to map pipeline trajectories, cadastral applications, etc

14 MACHINE CONTROL

In Agriculture OmniSTAR HP is used to steer the Tractor to the correct lane and keep the Tractor on the lane with decimetre accuracy. In Construction HP is being used for road construction.

15 AVIONICS

In aviation the system is used in photogrammetry, flight trajectory control and flight inspection.

16 CONCLUSIONS

- With OmniSTAR the Customer does not need own reference stations
- OmniSTAR works worldwide
- OmniSTAR Reference stations increase accuracy and robustness
- Kickstart allows immediate decimetre production
- Static convergence takes 10 minutes (average)
- Dynamic convergence takes 25 minutes (average) and 50 minutes max.
- Convergence time is depended on the number visible satellites
- The converged HP solution has a 4-5 cm standard deviation
- A majority of GPS manufacturers support the OmniSTAR Signal in their hardware.
- OmniSTAR HP can be used for GIS measurements in open terrain to get fast decimetre level accuracy.

17 REFERENCES

1. Wide Area Carrier Phase Positioning Comparison of the Two Alternate Methods ENC-GNSS Rotterdam May 2004 ,Dariusz Lapucha and Richard Barker, Fugro Chance Inc., USA , Henk Zwaan, Fugro Intersite B.V., The Netherlands
2. A note on frame transformations with applications to geodetic datums, Tomás Soler & Al, NGS, NOS, NOAA, N/NGS22, #8825
3. The ITRF2000 Claude Boucher et al IERS ITRS Centre

© Ir. Hans Visser, Ing. Cor de Kuijper, 2006

УДК 629.783:528.531

В.В. Яхман

СГГА, Новосибирск

МЕТОДИКА ОТНОСИТЕЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФАЗОВОГО ЦЕНТРА РАЗНОТИПНЫХ СПУТНИКОВЫХ АНТЕНН

При выполнении высокоточных спутниковых измерений каждый исполнитель должен стремиться к тому, чтобы минимизировать погрешности измерения базовых линий. Однако, это не всегда удается по целому ряду причин, большинство из которых вызваны недостаточностью технологической проработки процесса выполнения и математической обработки спутниковых измерений. Так при проведении в 2002 спутниковых измерений на рабочих центрах пункта ФАГС Новосибирск исполнители ФГУП «Инжгеодезия» столкнулись

с проблемой определения высотных параметров фазового центра разнотипных спутниковых антенн, несовпадающих с паспортными и заданными в программном обеспечении (ПО) Pinnacle ver. 1.0.

В процессе обработки результатов спутниковых измерений базовых линий были получены превышения, которые явно не согласовались с результатами нивелирования II класса (табл. 1).

При этом невязки замкнутой фигуры (в виде прямоугольного треугольника со сторонами 6 и 18 м) в сети трех рабочих центров пункта ФАГС составили в плане 4 мм, а по высоте 14 мм и были недопустимы для высокоточных измерений. Более того, они по своим значениям превосходили невязки в замкнутых фигурах каркасной сети (шестиугольник с длинами базовых линий 19-28 км), которые не превышали в плане 3 мм и 5 мм. Для выяснения расхождений в полученных превышениях были выполнены контрольные спутниковые измерения базовых линий с помощью трех однотипных комплектов спутниковой аппаратуры Trimble Navigation 4000SST. При этом расхождения в превышениях между базовыми линиями и нивелированием II класса не превышали 2 мм, а невязка замкнутой фигуры была равна 0 мм (табл. 1). Указанные выше расхождения не могли быть вызваны условиями спутниковых измерений и ошибками исполнителей. Так появилось

предположение, что полученные расхождения не связаны с качеством выполненных спутниковых наблюдений, а вызваны ошибочными параметрами спутниковых антенн, заданных в ПО. В соответствии с этой гипотезой нами были получены из различных источников параметры высот фазового центра антенн фирмы Javad Position Systems: LegAnt E, RegAnt DD, RegAnt SD (табл. 2).

Таблица 1. Таблица превышений между рабочими центрами пункта
ФАГС Новосибирск

Результаты измерений	Значение превышений между рабочими центрами NSK1, NSK2, NSK3, м		
	NSK1- NSK2	NSK2-NSK3	NSK3-NSK1
Из нивелирования II класса	+0,071	-0,009	-0,062
Из спутниковых измерений разнотипными антеннами	+0,002	-0,038	+0,022
Из спутниковых измерений однотипными антеннами фирмы Trimble	+0,073	-0,011	-0,062

Таблица 2. Значения параметра высоты фазового центра спутниковых антенн

Источник данных	Значения параметра высоты фазового центра антенн, м		
	LegAnt_E	RegAnt_DD	RegAnt_SD
http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/	0.04211	-	0.07300
Pinnacle ver.1.0 (от 04.04.01)	0.0210(L1) 0.0292(L2)	0.0546(L1) 0.0601(L2)	0.0145(L1) 0.0281(L2)
Pinnacle ver.1.0 (от 24.08.01)	0.0210(L1) 0.0292(L2)	0.0546(L1) 0.0601(L2)	0.0475(L1) 0.0611(L2)
СГГА, Кафедра астрономии и гравиметрии	0.0540(L1)	0.1130(L1)	0.1060(L1)

Из табл. 2 видно, что значения параметра высоты фазового центра антенн, полученные из разных источников различаются между собой порядка 60 мм.

В связи с этим ФГУП «Инжгеодезия» была выполнена работа по взаимной калибровке четырех типов антенн, участвующих в спутниковых наблюдениях на пунктах каркасной сети и привязки контрольных центров и реперов: Compact L1/L2 w/Ground Plane фирмы-изготовителя Trimble Navigation (далее по тексту идентификатор антенны “TRM”), JPSLegAnt w/Flat Ground Plane (LE) и JPSRegAnt w/Dual Dept Choke, Ext. (DD), JPSRegAnt w/Single Dept Choke, Ext. (SD) фирмы Javad Position Systems.

Калибровка выполнялась по методике рекомендованной ЦНИИГАиК (Техническое предписание по выполнению спутниковых наблюдений при построении фрагментов ФАГС и ВГС. 2001 г.).

Данная методика относительной калибровки двух разных типов антенн состояла в том, чтобы в разные дни проводились два сеанса наблюдений с двумя сравниваемыми антеннами, устанавливаемыми на двух близких точках (расстояние между ними от нескольких единиц до нескольких десятков метров).

В каждый из двух дней проводится по одному 5 часовому сеансу непрерывных наблюдений. Начало времени наблюдений второго сеанса смещается по сравнению с началом первого сеанса на более раннее время из расчета 4 минуты на каждый день перерыва между сеансами. При проведении второго сеанса наблюдений антенны меняются местами.

При взаимной калибровке двухчастотных антенн обработка наблюдений выполняется отдельно по каждой частоте. Для обработки наблюдения каждого сеанса разбиваются на не перекрывающиеся часовые интервалы с соответствующими взаимными временными сдвигами интервалов для разных сеансов.

Каждая группа из пяти значений векторов, полученных по каждому сеансу и по каждой частоте, уравнивается независимо. Полученные значения средних квадратических ошибок уравненных значений превышений между концами базовой линии не должны быть более 0,5 мм. При уравнивании допускается отбраковка значений векторов с максимальными абсолютными остаточными отклонениями по высоте. Если из уравнивания исключается вектор, полученный по какому-либо часовому интервалу одного сеанса, то и из уравнивания векторов второго сеанса исключается вектор, соответствующий обработке наблюдений в том же часовом интервале на той же частоте. Такое исключение выполняется и в том случае, когда другое исключаемое значение вектора само по себе не показывает наличия аномального отклонения в своей группе. Такая отбраковка допускается для каждой частоты не более, чем для результатов определения вектора по наблюдениям в одном часовом интервале.

Поправка в значение параметра высоты фазового центра калибруемой спутниковой антенны Δ определяется из полусуммы превышений, полученных из разных сеансов наблюдений H_1, H_2

$$\Delta = \frac{(H_1 + H_2)}{2}. \quad (1)$$

Для двух частотных антенн поправка (1) определяется для каждой из частот L_1 и L_2 . Далее выполняется исправление параметра высоты фазового центра калибруемой спутниковой антенны в соответствующем ПО.

Для взаимной калибровки спутниковых антенн нами были выбраны три рабочих центра пункта ФАГС (с идентификаторами NSK1, NSK2, NSK3), оснащенные устройством. Высоты головок станковых винтов были известны из нивелирования II класса. Для выполнения калибровки выполнялись два сеанса наблюдений для каждой пары сравниваемых антенн, устанавливаемых с

использованием систем принудительного центрирования типа ПЦ-260. Высоты антенн (до низа антенны) определялись с помощью штангенциркуля.

Перед началом взаимной калибровки из планирования спутниковых измерений было определено оптимальное время выполнения сеансов наблюдений.

В качестве базовой спутниковой антенны была выбрана антенна Compact L1/L2 w/Ground Plane фирмы-изготовителя Trimble Navigation. Такое решение было принято исходя из следующих соображений:

- В ФГУП «Инжгеодезия» имелись большие объемы спутниковых наблюдений, выполненные с помощью комплектов спутниковых приемников фирмы Trimble 4000SST;
- Антенны типа choke ring обеспечивают наилучшую невосприимчивость к многопутности;
- При взаимной калибровке, выполняемой национальной геодезической службой США в качестве базовой спутниковой антенны всегда используется антенна типа choke ring.

Спутниковые измерения на пунктах производились при следующих установках:

- Запись результатов измерений в память приёмника производилась с частотой (дискретностью) 10 секунд;
- Максимальный PDOP задавался равным 6;
- Отсечка по высоте (маска) задавалась равной 5°.

Обработка результатов спутниковых измерений выполнялась с помощью ПО GPSurvey и включала следующие операции.

1. Подготовка исходных файлов заключалась в конвертировании файлов с расширением *.jps в RINEX-формат.
2. Решение базовых линий со следующими параметрами:
 - Максимальное количество итераций – 10;
 - Маска по высоте – 15°;
 - Тропосферная модель – “Найла”.

В результате решения базовых линий были получены фиксированные решения. Полученные среднеквадратические ошибки длин и компонент базовых линий не превышали 0.5 мм. Отношение финальных дисперсий к предвычисленным не превышало величины в 1,043 с вероятностью 95%.

Значения вычисленных поправок в значение параметра высоты фазового центра калибруемой спутниковой антенны составили 60 мм (табл. 3).

Таблица 3. Определение поправок в параметры высот фазовых центров антенн

Рабочие центры	Типы антенн	Превышение, м		Поправка, м
		прямо	обратно	
NSK1- NSK3	SD-LE	0,103	-0,015	0,044
NSK3- NSK1	DD-TRM	-0,005	0,112	0,054

NSK1- NSK2	DD-SD	0,080	-0,056	0,012
NSK2- NSK1	LE-TRM	0,060	-0,075	-0,008
NSK3- NSK2	DD-LE	0,070	0,049	0,060
NSK2- NSK3	SD-TRM	0,047	0,032	0,040

Сходимость осредненных значений исправленных превышений (отклонение от среднего) характеризует качество выполненных спутниковых наблюдений и не превышает 1мм.

После введения поправок в файл антенн было выполнено уравнивание сети между центрами пункта ФАГС и результаты в превышениях совпали по превышениям с нивелированием II класса.

В процессе выполнения относительной калибровки нами была предложена и апробирована упрощенная методика относительной калибровки двух разных типов антенн, позволяющая как минимум в два раза сократить время необходимое для выполнения спутниковых измерений.

Согласно разработанной методике, определение высотного параметра фазового центра разнотипных антенн, может быть определено из сопоставления превышений, полученных из спутниковых измерений и из нивелирования не ниже II класса. В этом случае поправка в высотный параметр фазового центра определяется как разность превышений «эталонного», полученного из нивелирования II класса и полученного из спутниковых измерений. Полученные результаты по определению поправок к высотному параметру фазового центра из двух разных методик отличались между собой на 0,3 мм.

Предложенная методика может использоваться для относительной калибровки, выполняемой на центрах образцовых эталонных базисов, имеющих в каждом предприятии Роскартографии.

Анализируя полученные результаты, возникает вопрос о характере влияния различий в высотном положении фазовых центров различных типов антенн. При коротких сторонах до 100 метров базовые линии совпадают и не искажаются, а происходит деформация в сети путем ее разворота в пространстве с разложением ошибок по всем координатам.

При сторонах свыше 10 км данные ошибки мало проявляются и их практически трудно определить по невязкам фигур, образованных из независимых базовых линий (в виду взаимной компенсации), но целиком входят в высоты определяемых пунктов.

Таким образом, при создании высокоточных геодезических сетей ФАГС, ВГС и СГС-1 и привязки их контрольных центров необходимо определять высотный параметр фазового центра разнотипных антенн.

Определение высотного параметра фазового центра разнотипных антенн может быть определено гораздо быстрее, если пару разнотипных антенн устанавливать на центрах с определенными превышениями из нивелирования не ниже II класса.

При использовании спутниковых антенн разных типов в ПО необходимо указывать тип антенны и способ измерения высоты. Если же данный тип антенны отсутствует, то необходимо произвести настройку этого типа антенны.

Файлы поправок большинства используемых спутниковых антенн можно найти на доступном сайте (<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.shtml>). National Geodetic Service основывается на относительном методе получения поправок.

© В.В. Яхман, 2006

ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АПК «ПРОФИЛЬ»

К главным характеристикам эксплуатации инженерных технических сооружений относятся в первую очередь безопасность, надежность и долговечность. Требования на железной дороге является высочайшим. В связи с повышением интенсивности и скоростей движения поездов, повышается и требования к содержанию всех объектов, относящихся к функционированию всей системы. Содержание железнодорожных путей заключается в поддержании всех параметров их проектным значениям.

Основными геометрическими параметрами, влияющими на скорость и безопасность движения железнодорожных составов, являются продольный, поперечный профиль пути и габариты искусственных сооружений. Существующие на сегодняшний день средства измерений профиля и плана пути, активно используют возможности спутниковой геодезической аппаратуры.

Разработанный в НИДЦ СГУПС аппаратно-программный комплекс «Профиль», включает в себя как GPS-аппаратуру, так и дополнительный блок измерительной аппаратуры, содержащий инерциальную систему. Данный подход позволяет получить некоторые параметры дважды, независимо друг от друга, что позволяет осуществлять взаимный контроль измерений и повышает надежность получаемых данных. При этом измерения, полученные каждой из систем в отдельности, позволяют оценивать геометрические параметры лишь по определенным критериям. Совместная обработка материалов двух систем позволяют привести все материалы в единую систему измерений, повысить точность получаемых данных. Преимущества АПК-«Профиль» перед аналогами и классическими средствами измерений состоит в том, что требуется только один проход по пути с измерениями для получения набора всех необходимых данных для оценки геометрических параметров, и пространственного положения пути.

Основными преимуществами разработанной технологии являются:

- Высокая скорость измерений;
- Высокая надежность и точность определения геометрических параметров;
- Высокая плотность измерений;
- Возможность определения пространственного положения пути в любой системе координат;
- Решение вопросов, связанных с мониторингом геометрических параметров пути;
- Возможность выполнения работ без ограничения движения транспорта;

- Получение характеристик кривых в плане и продольном профиле;
- Мобильность АПК;
- Получение исходных данных для кадастра;
- Автоматизация обработки данных и возможность экспорта данных в программный комплекс CREDO, профиль-2 и ряд других;
- Низкие материально-финансовые затраты на эксплуатацию оборудования;

За прошлый 2005 год НИДЦ СГУПС по данной технологии выполнил съемку 15 железнодорожных станций на западно-сибирской железной дороге. Полученный опыт работ показывает повешение скорости выполняемых работ по сравнению с традиционными методами в 1.5 – 2 раза, в зависимости от сложности станций. Существуют ситуации, где работа спутниковой аппаратуры осложняется наличием высотных строений вдоль подъездных путей. В таких случаях совместная обработка решает проблемы «неработоспособности» GPS-аппаратуры, повышая надежность аппаратно-программного комплекса в целом.

© В.М. Жидов, 2006

УДК 528.48

В.В. Щербаков, Д.А. Попов

СГУПС, Новосибирск

В.М. Круглов

МГУПС, Москва

ДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

На сети железных дорог России для оценки состояния верхнего строения пути по геометрическим параметрам (уровень, рихтовка, просадки, шаблон) используются путеизмерительные вагоны типа КВЛП и путеобследовательские станции типа ЦНИИ-4. Система контроля пути предусматривает обследование состояния рельсовой колеи с определенной периодичностью, которая в целом удовлетворяет требованиям безопасности движения поездов. При этом в определенные периоды времени динамика развития дефектов пути значительно увеличивается, кроме того, существует опасность появления дефектов в связи с техногенными или другими причинами. Для предупреждения аварийных ситуаций предусмотрены различные мероприятия, включая визуальный оперативный контроль. Поскольку оперативный контроль выполняет машинист, в его действиях присутствует человеческий фактор.

Для решения данной актуальной проблемы в СГУПС была разработана система динамического контроля состояния верхнего строения пути. Основным вектором работы являлось создание средств именно оперативного контроля состояния пути. Существует несколько вариантов реализации динамического

способа для определения геометрических параметров состояния пути. Наибольшее развитие получил способ двойного интегрирования ускорений по трем осям. Схема реализации этого способа основана на определении ориентации координатных осей с использованием гироскопов и измерении по каждой оси ускорений. В настоящее время на базе данного способа разработано и эксплуатируется большое количество приборов. Стоимость приборов или диагностических систем построенных на базе динамических методов, учитывая высокие требования к точности измерений и сложность реализации, значительно выше по отношению к путеизмерителям, построенным на базе метода хорд.

Способ оперативного контроля геометрических параметров рельсовой колеи, разработанный в СГУПС принципиально отличается от динамических способов реализованных на различных типах путеизмерителей. Главным отличием является метод получения информации о дефектах и геометрических параметрах несоответствующих нормам содержания пути. Метод заключается в наборе статистических данных, определении дефектов и их классификации. Для каждого типа дефектов по измерениям с акселерометров и гироскопов формируется цифровая динамическая модель. Эти работы выполняются на предварительном этапе. При выполнении оперативного контроля текущие данные о динамике движения локомотива, амплитуда которых превышает определенный предельный уровень, сравниваются с типовыми моделями, по которым определяется вид дефекта и степень отклонения от норм содержания. При этом данные являются оперативными и требуют подтверждения.

Количественная оценка дефектов с использованием инструментальных методов или путеизмерителей позволяет устранить обнаруженные дефекты. На базе разработанного метода изготовлен прибор. Прибор включает в себя инерциальный блок, контроллер, компьютер и GPS-приемник.

С мая 2005 года проходят испытания системы оперативного контроля состояния пути на Западно-Сибирской Железной Дороге. Одним из результатов, полученных при испытаниях аппаратуры, является высокая внутренняя сходимость и надежная работа измерительной системы в реальных условиях. Для привязки динамических параметров к линейной координате пути используется GPS-приемник. Обработка данных и оценка параметров пути выполняется с использованием цифровых моделей полученных из экспериментальных работ. Текущее состояние пути оценивается путем сравнения динамических данных и записанной в базу данных цифровой модели соответствующей текущей координате пути.

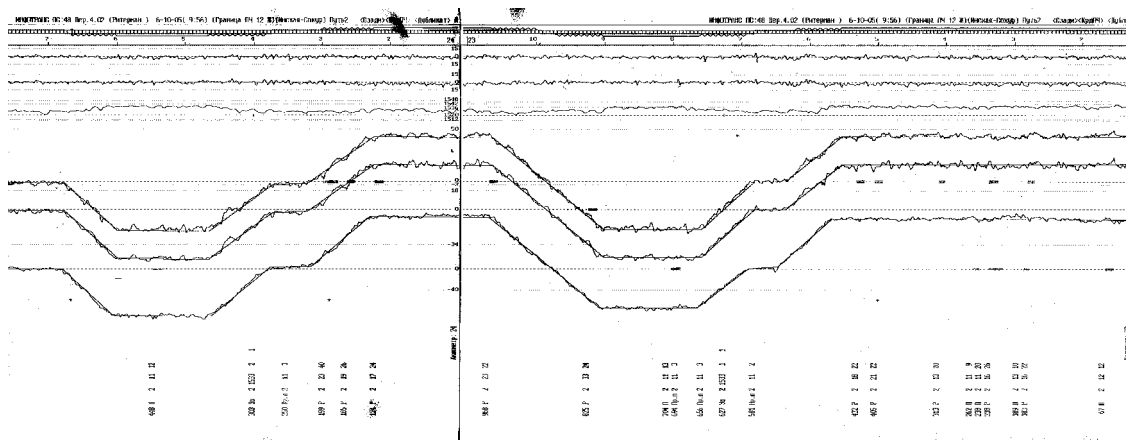


Рис. 1. Пример записи графика геометрических параметров

05 октября 15:45

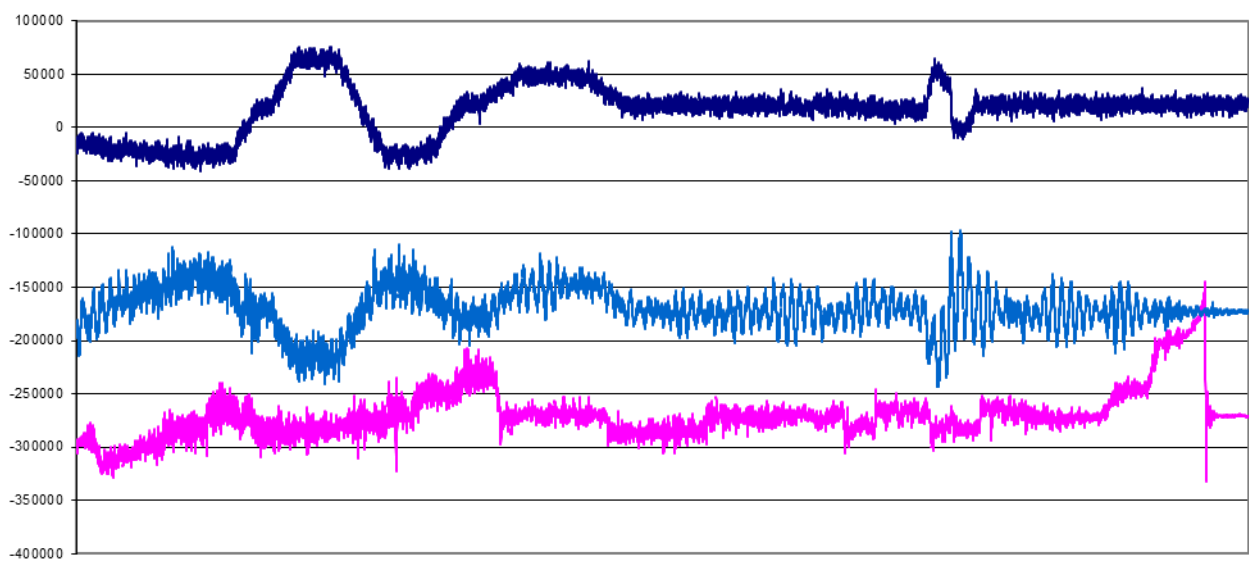


Рис. 2. Пример записи графиков динамических характеристик

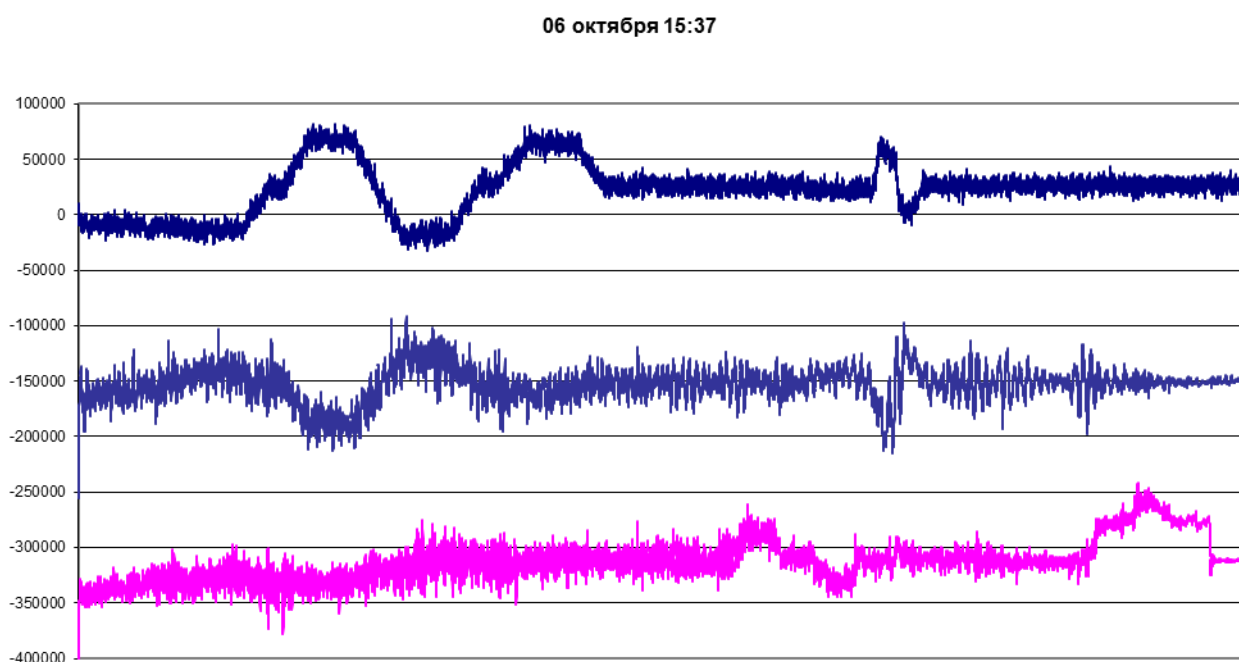


Рис. 3. Пример записи графиков динамических характеристик

Главным преимуществом разработанного способа и прибора является более высокая достоверность получения данных о техническом состоянии пути, за счет применения современных гироскопов и акселерометров – прибор работает в режиме реального времени и может быть установлен на любой тип подвижного состава, без подключения к какой-либо системе (прибор работает автономно). Кроме того, использование самых современных технологий позволило создать недорогой прибор – стоимость не превышает 25 тысяч рублей. Для эксплуатации прибора не требуется специальной подготовки обслуживающего персонала. Внедрение прибора на сети железных дорог России позволит, за счет проведения ежедневного контроля рельсовой колеи оперативными методами, исключить развитие дефектов на ранней стадии и повысить безопасность движения поездов.

© В.В. Щербаков, Д.А. Попов, В.М. Круглов, 2006

УДК 528.5

О.В. Евстафьев

Leica Geosystems, Москва

ПРЕЗЕНТАЦИЯ НОВОГО GPS ОБОРУДОВАНИЯ КОМПАНИИ LEICA GEOSYSTEMS

В 2005 году компания Leica Geosystems выпустила на рынок уникальный полевой инструмент SmartStation, который представляет собой комбинацию электронного тахеометра TPS1200 и двухчастотного GPS приемника.

SmartStation позволяет определять координаты пунктов, выполнять съемку или разбивку не затрачивая время на создание съемочного обоснования. Новый инструмент позволяет существенно сэкономить время при выполнении топогеодезических работ. Он особенно эффективен там, где съемочное обоснование недостаточно развито или отсутствует. Новая версия внутреннего программного обеспечения тахеометров Leica TPS1200 (firmware 3.0) теперь позволяет SmartStation записывать "сырые" спутниковые измерения (фазы несущих GPS L1/L2) для получения координат точки установки инструмента после обработки данных в программном обеспечении Leica Geo Office (ver.3). Теперь съемку в режиме TPS можно производить во время записи GPS данных. Программа Leica Geo Office теперь также позволяет обновлять (уточнять) координаты установки SmartStation и пересчитывать положение измеренных пикетов.

Новая полевая GPS система Leica SmartRover – самая легкая в мире спутниковая система для топогеодезических съемок, в которой отсутствуют кабельные соединения. Система состоит из универсальной спутниковой антенны SmartAntenna и нового полевого контроллера Leica RX1250. Вся система, включая модем и аккумуляторы могут быть легко размещены на одной вехе. При этом SmartRover будет весить всего 2.8 кг. Новый контроллер Leica RX1250 работает под управлением операционной среды Windows CE. Интерфейс и структура меню полевого программного обеспечения контроллера (версия 3.0) аналогичны интерфейсу и структуре внутреннего программного обеспечения SmartStation, спутниковых приемников и тахеометров Системы 1200. Для связи контроллера RX1250 с антенной SmartAntenna может использоваться как обычный кабель, так и устройство беспроводной связи Bluetooth (тип II), что удобно при работе среди кустов и деревьев. Кроме этого, Bluetooth используется для соединения с сотовыми модемами стандартов GSM и CDMA для приема дифференциальных спутниковых поправок.

Новая версия внутреннего программного обеспечения GPS приемника Leica GS20/SR20 предоставляет новые возможности для решения задач в геодезии, картографии, земельном кадастре, ГИС и инженерных изысканиях и навигации. Теперь на экран приемника можно выводить карты подложки и принимать дифференциальные поправки в реальном времени через сеть Internet с применением протокола NTRIP.

Компания Leica Geosystems анонсировала выпуск нового программного обеспечения SpiderWEB V1.3 – удобное, основанное на Internet технологии, решение для размещения данных базовых GPS станций в глобальной компьютерной сети. Благодаря мощному и легкому в использовании программному обеспечению, администраторы GPS сетей могут быстро предоставить данные их сетей для всеобщего пользования через стандартный веб-браузер. SpiderWEB позволяет администраторам GPS сетей получать сведения о выгрузке данных и отслеживать трафики пользователей. Пользователи GPS сетей могут достаточно просто скачивать данные GPS наблюдений в формате RINEX одной или нескольких базовых станций.

SpiderWEB является лучшим решением для тех кто ищет простой и быстрый путь для обеспечения потребителей данными базовых GPS станций.

Компания Leica Geosystems анонсировала программу предоставления специальных условий приобретения оборудования для базовых GPS станций (Networked Reference Station ATHENA Program) для университетов, научно-исследовательских организаций, высших учебных заведений и членов UNAVCO. Специальные цены распространяются на комплекты оборудования, включающие базовые GPS приемники Leica GRX1200 Classic или GRX1200 Pro, антенны Leica AT504 Chokering или AX1202, а также программное обеспечение Leica GPS Spider 2.0. Программа ATHENA позволит стать более доступной для академических и научных организаций и обществ новейшей технологии позиционирования с использованием сетей базовых GPS станций. Она также в будущем позволит выпускникам учебных заведений и специалистам обладать современными знаниями и пониманием преимуществ систем позиционирования с использованием сетей базовых GPS станций и, таким образом, содействовать использованию их в научных и технических целях.

© О.В. Евстафьев, 2006

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДРЕЙФА GPS ПУНКТОВ В УЗБЕКИСТАНЕ

Анализ координат GPS пунктов свидетельствует о дрейфе Индийской и Евразийской плит со скоростью 40-50мм/г., воздействуя на Гималаи и горные цепи Монголии, что приводит к деформации локальных плит Центральной Азии [1]. Поэтому при исследовании движения региональных плит необходимо учитывать движение и вращение глобальной плиты. С 1992г. по 1996г. в Центральной Азии была проведена региональная кампания CATS (Central Asia Tectonic Sciences) с целью определения величин вертикальных и горизонтальных перемещений и изучения динамики Памиро-Тяньшанского региона. GPS измерения вместе с сейсмическими данными были использованы для сравнения геодезических и сейсмических деформаций и оценки изменений. Региональная сеть 1200 x 1800 км охватывала область от северной до восточной границы Таджикской депрессии, Северного Памира и Таримский бассейн над Ферганским бассейном, Чаткальской и Тянь-Шаньской линией и Казахской платформой. На основе сейсмического, геологического и GPS данных была определена новая депрессионная модель, состоящая из 79 блоков для Тянь-Шаньского региона и прилежащих областей. Точность координат GPS пунктов CATS составила 1 – 3 мм по горизонтальной компоненте и 5 мм по высоте [2], а точность глобальной сети была порядка 1-2см.

Обработка результатов GPS измерений пунктов сети CATS в Узбекистане показал, что значения горизонтальных скоростей GPS пунктов лежат в диапазоне от 3мм до 46 мм в год для цикла 1992 – 1994 гг, от 0 мм до 20 мм в год для цикла 1992 – 1996 гг и от – 2мм до 9 мм в год для 1994 – 1995гг. Имеющиеся координаты GPS пунктов за 1992, 1994, 1995, 1996 гг. не позволяют сделать значимых оценок для скоростей перемещения земной коры в районе каждого наблюдательного пункта в отдельности. В этой ситуации наиболее простым и логичным способом является извлечение из наблюдений информацию о геодинамике региона через групповую скорость всех пунктов относительно системы ITRF94. Такая оценка представляется корректной прежде всего в силу компактности изучаемого региона.

Ниже в табл. 2 – 4 приведены разности между координатами GPS пунктов, полученных из наблюдений за 1992 и 1994, за 1994 и 1994, за 1992 и 1996 гг. Для широтных (ΔB) и долготных (ΔL) значений во всех таблицах приведены два значения: 1 колонка – разности, без учета движения тектонических плит и 2 – с учетом движения плит, вычисленных по модели NUVEL1-A (табл. 1).

Таблица 1. Скорости пунктов сети CATS по модели NUVEL1-A

Пункты	ΔL , мм	ΔB , мм
KITB	26.73	0.46
ADRA	26.60	-0.76
ALMA	26.62	-0.61
ANGR	26.58	-0.91
BAYS	26.74	-0.01
BESH	26.62	-0.78
CIRC	26.59	-0.56
DENA	26.74	-0.03
DJAN	26.75	0.39
KFIR	26.76	0.18
MADA	26.74	0.35
OKTO	26.68	0.15
SANZ	26.68	-0.30
SARY	26.59	-0.96

Таблица 2. Разности координат пунктов сети CATs на интервале 1992 – 1994 гг.

Пункты	ΔB (мм)		ΔL (мм)		ΔH (мм)
	1	2	1	2	
ALMA	6	6.6	25	-1.6	-4
CIRC	8	8.6	20	-6.6	-22
DENA	6	6.0	24	-2.7	4
DJAN	15	14.6	46	19.2	9
KITB	13	12.5	28	1.3	-20
MADA	3	2.6	31	4.3	-1
OKTO	8	7.8	27	0.3	-11
SANZ	5	5.3	28	1.3	-40
SARY	11	11.9	20	-6.6	-11
Среднее	8.3	8.5	27.7	0.9	-10.7
СКО	3.9	3.9	7.8	7.7	15.1

Таблица 3. Разности координат пунктов сети CATs на интервале 1992-1996гг.

Пункты	ΔB (мм)		ΔL (мм)		H(мм)
	1	2	1	2	
DENA	0	0.03	15	-11.7	4
DJAN	10	9.6	18	-8.8	-12
KITB	5	4.5	20	-6.7	-7
OKTO	1	0.8	18	-8.7	-4
SANZ	0	0.3	19	-7.7	-14
Среднее	3.2	3.1	18	-8.7	-6.6
СКО	4.3	4.1	1.9	1.9	7.1

Таблица 4. Разности координат пунктов сети CATs на интервале 1994 – 1995 гг.

Пункты	ΔB (мм)		ΔL (мм)		H(мм)
	1	2	1	2	
ADRA	5	5.8	2	-24.6	112
ANGR	6	6.9	3	-23.6	116
BAYS	9	9.0	-3	-29.7	60
BESH	4	4.8	-2	-28.6	62
KFIR	6	5.8	9	-17.8	52
Среднее	6	6.5	1.8	-24.9	80.4
СКО	1.9	1.6	4.8	4.7	30.9

Как видно из табл. 2 – 4, лучшая оценка скоростей была получена по результатам измерений 1992 – 1994 гг. и 1992 – 1996 гг. Для получения более точных результатов выполнено разбиение исследуемой области на 2 деформационных блока (G1, G2) согласно тектонической карте разломов, определенной CATS. В группу G1, условно названной Ташкентской микроплитой, вошли станции Алмалык (Alma), Чирчик (Circ), Сарык-Сув(Sary), Ангрэн(Angr), Адрасман (Adra), Бешарык (Besh). В группу G2, Китабская микроплита, входят Джанкара (Djan), Китаб (Kitb), Октом (Okto), Денау (Dena), Санзар (Sanz), Майданак (Mada), Байсун (Bays), Кафирниган (Kfir).

Таблица 5. Разности координат пунктов для G1 на интервале 1992 – 1994 гг.

Пункты	ΔB (мм)		ΔL (мм)		H(мм)
	1	2	1	2	
ALMA	6	6.6	25	-1.6	-4
CICR	8	8.6	20	-6.6	-22
Sary	11	11.9	20	-6.6	-11
Среднее	8.3	9.0	21.7	-4.9	-12.3
СКО	2.5	2.7	2.9	2.9	9.1

Таблица 6. Разности координат пунктов для G1 на интервале 1994 – 1995 гг.

Пункты	ΔB (мм)		ΔL (мм)		H(мм)
	1	2	1	2	
ADRA	5	5,8	2	-24,6	112
ANGR	6	6,9	3	-23,6	116
BESH	4	4,8	-2	-28,6	62
Среднее	5	5,8	1	-25,6	96,7
СКО	1	1,1	2,6	2,7	30,1

Таблица 7. Разности координат пунктов для G2 на интервале 1992 – 1994 гг.

Пункты	ΔB (мм)		ΔL (мм)		H(мм)
	1	2	1	2	
DENA	6	6.0	24	-2.7	4
DJAN	15	14.6	46	19.2	9
KITB	13	12.5	28	1.3	-20
MADA	3	2.6	31	4.3	-1
OKTO	8	7.8	27	0.3	-11
SANZ	5	5.3	28	1.3	-40
Среднее	8.3	8.2	30.7	3.9	-9.8
СКО	4.7	4.6	7.8	7.8	18.1

Таблица 8. Разности координат пунктов для G2 на интервале 1994 – 1995 гг.

Пункты	ΔB (мм)		ΔL (мм)		H(мм)
	1	2	1	2	
BAYS	9	9.0	-3	-29.7	60
KFIR	6	5.8	9	-17.8	52
Среднее	7.5	7.4	3	-23.7	56
СКО	2.1	2.3	8.5	8.5	5.7

Значения горизонтальных скоростей пунктов CATS группы G1 лежат в диапазоне от 6 мм до 25 мм в год (1992 – 1994 гг.) и от 1 мм до 28 мм в год (1992 – 1996 гг.) (табл. 5 – 6), а для группы G2 (табл. 7 – 8) – от 1 мм до 46 мм в год (1992 – 1994 гг.) и от 3 мм до 29 мм в год (1994 – 1995 гг.). Из таблиц видно, что значения ошибок вертикальных движений больше, чем в случае горизонтальных движений. Так для пунктов группы G2 – средняя скорость по вертикали составила 56 мм $\pm$ 5.7мм в год на интервале 1994 – 1996 гг., а для пунктов группы G1 – 12.3 мм $\pm$ 9.1 мм. На интервале 1992 – 1994 гг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Reigber, Ch. Angermann, D., Michel, G.W., Klotz J., Galas R. & CATS-Team, New constraints on the distribution of deformation in central Asia: GPS results covering the Tien Shan, N-Pamirs and Tarim // EUG Newsletter, 64, 1999.
2. DeMets C., R.G. Gordon, D.F. Argus, S. Stein. Current plate motions. Geophys // J.Int. 101, 425-478, 1990.

© Э.Р. Мирмахмудов, D. Fazilova, 2006

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ГИС

Развитие последних технологий ясно демонстрирует совершенствование методов сбора трехмерных данных о местности и объектах в отношении повышения точности и разрешения. К таким методам относятся: аэрокосмическая съемка и наземная стереофотограмметрическая съемка, воздушное и наземное лазерное сканирование и GPS-съемка. На данный момент проводится много исследований, направленных на автоматизацию процесса реконструкции трехмерных моделей объектов. Для этих целей разработаны различные подходы, отличающиеся разрешением, точностью и стоимостью.

Фотограмметрия является классическим и доминантным подходом для получения трехмерных данных. В этом случае построение трехмерных моделей объектов и картографирование территорий выполняется с использованием стереопар снимков. В последнее время снова возрастает популярность наземной стереофотограмметрической съемки объектов, где цифровые камеры применяются для получения крупномасштабных снимков, например, зданий. С развитием технологии цифровой обработки изображений повышается скорость обработки данных, снижается ее стоимость и увеличивается степень автоматизации процессов распознавания и реконструкции объектов по их изображению.

Кроме стереофотограмметрической обработки снимков с целью построения трехмерных моделей местности разработаны новые технологии получения трехмерной информации по одиночному изображению, используя геометрические свойства объектов и законы их отображения на плоскости, тени или комбинацию этих подходов. Эти технологии позволяют ускорить процесс обработки снимков и снизить ее стоимость по сравнению со стереоизмерениями. Имеющиеся на данный момент коммерческие программные продукты дают возможность создавать фотореалистичные модели городов и зданий по одиночным космическим или аэроснимкам.

Лидарная съемка или лазерное сканирование на сегодняшний момент является самым быстрым и автоматизированным способом сбора пространственной информации. Использование воздушного и наземного лазерного сканирования обеспечивает быстрое и точное построение цифровой модели рельефа и определение высоты сооружений. Задача реконструкции сооружений состоит в определении положения и ориентации зданий, их размера, превышения точек местности, высоты крыш и т.д. Модели большинства зданий могут быть описаны достаточно детально с помощью многогранников, т.е. их границы можно представить набором плоскостей и прямых линий.

Реконструкция зданий по данным лазерной съемки, также как и большинство задач выделения характерных особенностей изображений, может

быть реализована в полуавтоматическом или автоматическом режиме. Полуавтоматические процедуры основаны на использовании набора примитивов для описания стандартных типов зданий и крыш. В этом случае оператор «вписывает» соответствующий примитив в массив точек и комбинирует (соединяет) его с общей моделью здания. Различные автоматические процедуры реконструкции зданий помогают оператору измерить отдельные элементы объекта и уточнить трехмерные каркасы моделей.

Сложность реконструкции зданий можно уменьшить, интегрируя данные, полученные со снимков и цифровой карты или ГИС. В этом случае информация о плановом положении сооружений берется с карты. Для получения высотной составляющей применяются два подхода: используются стереопары снимков, либо данные воздушного лазерного сканирования.

Развитие перечисленных методов получения пространственной информации об объектах, а также совершенствование аппаратной и программной части вычислительных систем привело к появлению трехмерных ГИС.

Трехмерные ГИС часто называют виртуальными. Виртуальная ГИС может решать практически все задачи, которые на данный момент реализованы в традиционных ГИС. Таким образом, она может использоваться для городского планирования, оценки состояния растительности, почв, водных путей или дорожных участков, предсказания наводнений и многих других задач. Кроме того, возможность получения детального трехмерного вида отдельных объектов и территорий с любой точки открывает новые перспективы для пользователей ГИС. Проектировщики новых зданий и сооружений могут получить комплексный трехмерный вид ландшафта с предполагаемого места строительства

объекта или виртуальный снимок спроектированного сооружения с соседнего здания. Архитекторы могут увидеть макет улиц, зданий и парков и, таким образом, определить границы строительных площадок, возможность возникновения дорожных пробок, оценить освещенность улицы в дневное и ночное время и т. д. С помощью базы данных (БД) ГИС представляется возможным рациональное проектирование размещения торговых точек, школ, детских садов, культурных центров, водопроводных магистралей и множества других социально значимых объектов.

Использование виртуальных ГИС позволит службам МЧС, скорой, аварийной и пожарной помощи немедленно получить трехмерный вид территории, откуда поступил сигнал о бедствии, и соответствующую информацию из БД ГИС о событиях, например, где на предполагаемом пути их следования возникли проблемы с движением из-за строительства или перегруженности дороги.

Опыт выполнения работ по трехмерному лазерному сканированию и моделированию различных по назначению и сложности объектов позволил сделать вывод о следующих достоинствах трехмерных моделей по сравнению с традиционной картой или планом.

Информативность. Наличие третьего измерения само по себе говорит о том, что информационная нагрузка трехмерной модели на порядок выше, чем планов и карт. Однако не только этим фактом объясняется высокая информативность 3D-модели. Во-первых, для города, заводов, площадок сложного технологического оборудования свойственно наличие многоярусных конструкций. Такие объекты из-за наложения элементов невозможно отобразить детально на плоскости. В этом случае на топографическом плане для многоярусных конструкций, как правило, показывается либо нижний, либо верхний ярус. Во-вторых, многие объекты на плане отображаются в виде точечных условных знаков (например, пожарные гидранты), которые по определению не имеют ориентации. На трехмерной модели такие объекты будут выглядеть аналогично, как на местности (в соответствии с их высотой и направленностью). Отсутствие подобной информации может быть критическим, например, при проведении оперативных мероприятий по пожаротушению.

Наглядность. Традиционные планы содержат информацию о третьем измерении (о высоте) в виде горизонталей, отметок точек местности и отдельных элементов оборудования, т.е. третья координата здесь представлена как атрибут, подпись или отдельный слой (например, слой цифровой модели рельефа). Такая форма отображения и хранения информации во многом затрудняет ее интерпретацию, как для человека, так и для вычислительной системы. Установлено, что 50% мозговых нейронов участвуют при обработке зрительной информации. Это говорит о том, что трехмерная визуализация стимулирует больше нейронов, вовлекая большую часть мозга в процесс решения проблемы. Например, при анализе информации с двумерных карт мозг должен сначала построить концептуальную модель рельефа и местности, прежде чем принять какое-либо решение. Эта задача может оказаться довольно сложной, даже для тренированного человека, например, при работе с картографическими материалами на сложные территории. Трехмерное отображение симулирует пространственную реальность, позволяя наблюдателю более быстро оценивать и понимать ситуацию.

Непрерывность. Поскольку отметки на плане показываются только для характерных или контрольных точек, то такую форму графического или электронного представления местности можно назвать дискретной, в то время как трехмерная модель по своей сути является непрерывной.

Точность и достоверность. По точности трехмерные модели не уступают, а в ряде случаев превосходят, традиционные карты и планы. Например, метод трехмерного лазерного сканирования и алгоритмы обработки его данных сами по себе подразумевают, что полученная модель будет более точной, поскольку метрические характеристики объектов определяются не по координатам двух-трех пикетов, а по совокупности множества измерений. Например, если по результатам лазерного сканирования построены две плоскости, отображающие стены здания, то, очевидно, что геометрически линия пересечения двух плоскостей будет определена значительно точнее, чем если бы координаты угла здания были получены по одному измерению, тахеометром на отражатель.

Кроме того, безотражательный принцип работы сканера исключает ошибку неточной установки отражателя на объект. Запас точности трехмерной модели также вытекает из свойства ее непрерывности, так как плановые координаты и отметки промежуточных точек местности и оборудования можно получить не интерполированием и аппроксимацией, а непосредственным измерением.

Учитывая перечисленные достоинства трехмерных моделей объектов, трехмерные ГИС можно рекомендовать для решения следующих инженерно-технических задач:

1. Оперативное проектирование реконструкции коммуникаций объектов;
2. Трехмерная презентация объектов с визуализацией всех технологических узлов, связей и т. п.;
3. Компьютерное моделирование технологических процессов работы оборудования на заводах, нефте- и газоперерабатывающих площадках и т. п.;
4. Детальное проведение инвентаризации объектов;
5. Оперативный мониторинг состояния оборудования на основе совмещения трехмерной модели с другими видами наблюдений (например, материалами тепловизионной съемки или данными пьезометров).

Этим списком далеко не ограничивается перечень задач, решение которых возможно с использованием виртуальных ГИС. Например, в ряде стран с высокой стоимостью земли ведется разработка системы трехмерного кадастра, в которой плата за пользование землей рассчитывается не от площади земельного участка, а от его трехмерного объема. Таким образом, трехмерные ГИС рано или поздно вытеснят другие формы представления информации о местности.

© Т.А. Широкова, Д.В. Комиссаров, 2006

УДК 587/588

Е.М. Медведев, К.А. Пестов

Компания ГеоЛИДАР, Москва

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ALTEXIS – СРЕДСТВО ОБРАБОТКИ ВОЗДУШНЫХ ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Обсуждаются технологические возможности обработки данных воздушной лазерной локации программными средствами на примере программного комплекса Altexis.

Лазерно-локационные методы съемки обладают целым рядом серьезных технологических преимуществ по сравнению с традиционными, как в топографических, так и в инженерно-изыскательских приложениях. Наибольший интерес представляет комбинирование лазерно-локационных и традиционных аэрофототопографических методов на этапах сбора и обработки

аэросъемочных данных. Вместе с тем, результаты лазерно-локационной съемки обладают рядом отличий от традиционных методов:

- Отсутствие стандартных методов представления результатов съемки;
- Представление в виде массива немаркированных точек;
- Большая пространственная плотность точек;
- Огромные объемы информации;
- Отсутствие навыков и знаний технологий обработки у пользователей;
- Использование материалов цифровой аэрофотосъемки, обеспеченных

параметрами внешнего ориентирования.

В связи с указанными особенностями особую роль начинают играть программные средства обработки данных. Применяемые программные средства можно классифицировать по принадлежности к основным группам:

- штатные средства, поставляемые с аппаратурой (REALM производства Optec Inc., PosPac производства Applanix);
- прикладные пакеты общего назначения (Altexis производства Геолидара, TerraScan производства Terra Solid);
- специализированные пакеты (ArcView производства ESRI, AutoCAD производства AutoDesk).

Понимание потребностей заказчика позволило создать программный пакет общего назначения Altexis, охватывающий полный цикл обработки и ориентированный на обработку двух основных видов данных:

- Лазерно-локационные данные в виде дискретного множества лазерных точек;
- Растровые двумерные прямоугольные изображения (в первую очередь цифровые аэрофотоснимки), с выраженными фотограмметрическими свойствами, для которых возможно выполнить абсолютное ориентирование в геодезическом пространстве и геопозиционирование.

Технические требования программного пакета приведены в таблице.

Таблица. Технические требования программного пакета Altexis

Параметр	Описание
Операционная система	Windows 98 Windows Millennium Edition (ME) Windows 2000 Windows XP
Процессор	Pentium III-800 МГц (минимум) Pentium IV-1.2 ГГц и выше (рекомендуется)
Оперативная память	256 Мб (минимум) 1 Гб (рекомендуется)
Видео карта	800×600 SVGA, HighColor, 16 бит (минимум) 1280×1024 SVGA, 32 бита (рекомендуется)
Жесткий диск	Установка программы 2 Мб Временная директория 1Гб
Манипуляторы	Мышь, манипулятор типа трекбол, прочие манипуляторы
Дополнительное оборудование	OpenGL-совместимая 3D видео карта Принтер, сетевая карта

Кроме аэрофотоснимков могут быть использованы тепловизионные (ИК) и спектрональные изображения и, в принципе, любые другие изображения.

Программный комплекс Altexis обеспечивает возможность обработки лазерно-локационных данных, поставляемых аппаратурой всех ведущих мировых производителей – Optech, Leica, TopoSys и др. Для этой цели разработан гибкий интерфейс импорта ASCII данных, обеспечивающий ручную настройку на любой формат представления результатов лазерно-локационной съемки. Так, могут быть загружены данные с произвольным количеством откликов для каждого зондирующего импульса, а каждая используемая лазерная точка может быть обеспечена как координатами, так и значением интенсивности отраженного импульса. Предусмотрена возможность загрузки данных только на выбранную территорию, или только данных, полученных в определенном временном интервале.

Возможна загрузка данных с прореживанием, а также с некоторым постоянным сдвигом на произвольный, заданный оператором вектор в пространстве. Так же предусмотрено большое количество настраиваемых фильтров, решающих две основные задачи – исключение неинформативных лазерных точек и преодоление возможных ошибок в формате представления исходных данных (оборванные или склеенные строки, недопустимые значения координат, немонотонность временного представления и др.).

Имеется возможность импорта данных, представленных в формате международного стандарта LAS. В результате выполнения операции импорта, первичные лазерно-локационные данные преобразуются к внутреннему формату Altexis – бинарному файлу ALX типа, который, как правило, в 5 – 7 раз компактнее соответствующего файла с исходными данными.

При импорте первичных лазерно-локационных данных, равно как и в дальнейшей работе, могут быть использованы различные геодезические системы координат (СК). Altexis штатно поддерживает СК двух референц-эллипсоидов WGS-84, Красовского и две картографические проекции Гаусса-Крюгера и UTM. Задание любых других СК осуществляется пользователями в специальном окне настройки.

В программном комплексе Altexis используется категория "модель сенсора", которая предполагает полностью форматированное описание геометрических и временных соотношений, характеризующих взаимное положение и взаимодействие компонентов, участвующих в образовании лазерно-локационных данных – GPS (GLONASS) антенны, сенсора IMU, сканирующего зеркала (призмы), цифровой камеры. Такой подход применим при использовании лазерно-локационной аппаратуры всех ведущих производителей. Введение категории модели сенсора позволяет значительно повысить качество метрологического обеспечения процесса обработки данных съемки. С использованием "модели сенсора" выполняются такие важные процедуры, как калибровка сканирующего блока, уравнивание маршрутов (при выполнении многомаршрутной съемки), уточнение аэросъемочных данных по наземным реперным точкам, а также геопривязка цифровых аэрофотоснимков.

Одним из полезных приложений категории "модель сенсора" является процедура контроля качества пилотирования и достоверности собранных лазерно-локационных данных, реализованная в Altexis в виде отдельного модуля. Благодаря описанному выше подходу, каждая лазерная точка обеспечена полным набором элементов внешнего ориентирования, а также информацией о времени совершения дальнометрического измерения, что позволяет оценить GPS обстановку и статус инерциальной системы в этот момент. Altexis предлагает информационно-поисковую систему, позволяющую выделить фрагменты траекторий и лазерно-локационных данных со значением любого пилотажно-навигационного параметра, выходящим за заданные границы.

Большое внимание в программной среде Altexis уделено выразительности предоставления данных. Все виды данных могут быть представлены в произвольном масштабе и проекции (план, профиль, изометрия). Общее количество видов, открытых для произвольного фрагмента данных, не ограничивается. Графический интерфейс поддерживает произвольную ориентацию линии визирования (с удалением невидимых компонентов), все виды сечений, выделение коридоров при визуализации. Активно используются методы цветного кодирования лазерных точек и других видов данных.

Благодаря использованию описанной выше модели сенсора в программном комплексе обеспечивается 100% автоматизация процесса ортотрансформирования и геопозиционирования цифровых аэрофотоснимков, получаемых параллельно с лазерно-локационными данными в ходе аэросъемки. Качество геопозиционирования аэрофотоснимков сопоставимо по уровню геодезической точности с лазерно-локационными данными. Это создает благоприятные условия для параллельного использования обоих видов данных для камерального дешифрирования и выделения контуров.

При работе в программной среде Altexis оператор имеет возможность выполнять все виды геометрических измерений, как в плановом, так и в профильном окнах. Измерениям могут подвергаться лазерно-локационные и все производные виды данных (векторные объекты, TIN, GRID модели), а также ортофотоснимки (только плановые измерения) (рис. 1).

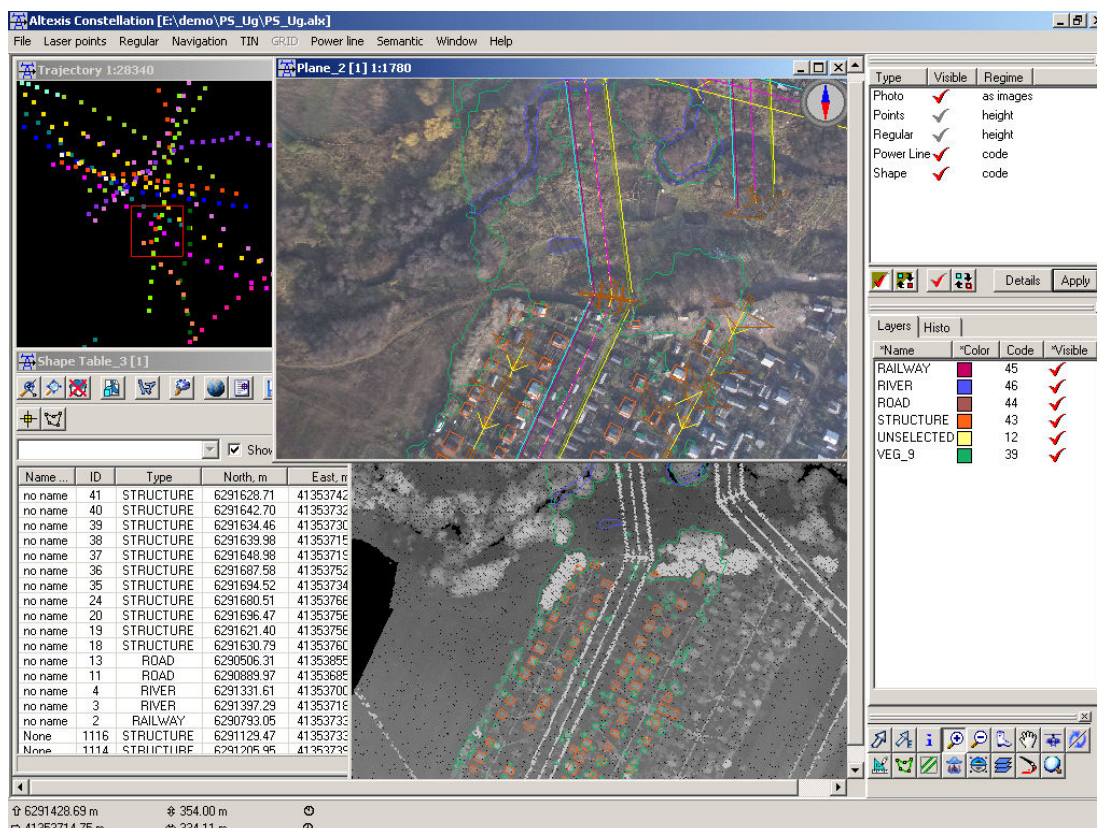


Рис. 1. Синхронные фрагменты представления ЛЛ данных и цифрового аэрофотоснимка

Altexis поддерживает ручные (задаваемые оператором) и автоматические измерения. В последнем случае без участия оператора определяются расстояния между отдельными компонентами, например, между проводами пересекающихся ЛЭП, между проводом и растительностью и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. И.М. Данилин, Е.М. Медведев, С.Р. Мельников. Лазерная локация земли и леса. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005. – 182 с.

© Е.М. Медведев, К.А. Пестов, 2006

УДК 528:528.7

А. Ковров

Геокосмос, Москва

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАЗЕМНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СКАНЕРОВ И ЦИФРОВЫХ КАМЕР

Использование лазерного сканера Riegl LMS, совместно с цифровыми камерами высокого разрешения позволяет получить детализированное цветное

(RGB) облако точек в пространственной системе координат. Цветное облако точек значительно упрощает процесс камерального дешифрирования и позволяет в короткие сроки создать детализированную модель сканируемого объекта.

Преимущества лазерного сканирования (ЛС) следующие:

- Трехмерность данных;
- Множество видов представления результатов;
- Высокая точность и детальность;
- Дистанционность;
- Оперативность съемочных работ;
- Высокая мобильность комплекса;
- ЛС аналогично фотограмметрическим методам, но позволяет получать координаты с одной точки стояния;
- Упрощенная схема привязки к системе координат.

Основные преимущества наземных лазерных сканеров производства Riegl:

- Универсальность;
- Скорость сканирования до 12 000 точек/сек;
- Точность до 5 мм;
- Дальность до 1 000 м;
- Угол поля сканирования $360^\circ \times 90^\circ$;
- Защита от пыли и влаги ip64 (возможность работы в агрессивных средах);
- Рабочая температура от 0° до $+40^\circ$ (от -25° С при использовании терморубашки).

Особенностью использования сканера Riegl совместно с цифровыми камерами высокого разрешения является возможность использования камер разных производителей (например, Nikon и Canon) и разных типов (Nikon D100, Nikon D70, Canon EOS 1Ds) на одном и том же сканере. Данная особенность является неоспоримым преимуществом по сравнению с другими конструктивными решениями, так как позволяет использовать сканер с камерой или без нее, в зависимости от поставленных задач и условий проведения съемки.

Преимущества метода перед фотограмметрическими способами съемки

Лазерное сканирование и моделирование аналогично фотограмметрическим методам, но позволяет получать координаты с одной точки стояния и без последующей камеральной обработки – с возможностью контроля измерений непосредственно в полевых условиях. Кроме того, обеспечивается более высокая точность измерений по сравнению с фотограмметрическими методами при одинаковом удалении от снимаемого объекта.

Необходимо отметить такие преимущества лазерного сканирования как:

1. Возможность настройки некоторых моделей сканеров на фиксацию первого и/или последнего отражения, что позволяет разделять отраженный сигнал от растительности и поверхности земли – «пробивать» растительность;
2. Отсутствует необходимость в использовании стереопар. Посадка цветных изображений, полученных с помощью цифровой камеры высокого разрешения осуществляется с помощью программного обеспечения Riscan Pro;
3. Упрощенная схема привязки к системе координат;
4. Финансовые и временные затраты говорят в пользу лазерного сканирования. При отсутствии необходимости векторизации трехмерного раstra, работа с результатами лазерного сканирования может выполняться в режиме реального времени, что для фотограмметрических способов невозможно;
5. Существенно упрощен процесс постобработки;
6. Весь процесс постобработки сводится либо к измерениям по облаку точек, либо построению пространственной модели в AutoCAD;
7. Один человек может управлять лазерным сканером.

Преимущества метода перед тахеометрической съемкой и другими наземными видами съемки:

- Мгновенная трехмерная визуализация;
- Высокая точность;
- Несравнимо более полные результаты;
- Оперативный сбор данных;
- Обеспечение безопасности при съемке труднодоступных и опасных объектов.

Материальные затраты по сбору данных и моделированию объекта методами трехмерного лазерного сканирования на небольших участках и объектах сопоставимы с традиционными методами съемки. Даже при сопоставимых расходах на съемку, полнота и точность результатов лазерного сканирования позволяют избежать дополнительных расходов на этапах проектирования, строительства и эксплуатации объекта. Сравнение временных затрат просто бессмысленно – счет идет на порядки.

Общее определение системы

Трехмерный (3D – three dimensional) лазерный зеркальный сканнер 3D Laser Mirror Scanner LMS-Z420i представляет собой, безопасную для зрения систему отображения поверхности, основанную на точном измерении дальности. Система включает светодальномер, совмещенный со сканирующим по двум осям механизмом. Трехмерные изображения строят, выполняя последовательность независимых друг от друга светодальномерных измерений. Эти измерения выполняют в разных, но строго заданных направлениях. В своей совокупности результаты дальномерных измерений и заданные значения углов (направлений) служат основой для формирования трехмерных изображений.

Структура системы

Как сказано ранее, лазерный сканнер LMS-Z420i включает установленные в прочном корпусе точный светодальномер и двухосный сканирующий механизм. Дальномерная система состоит из импульсного светодальномера, работающего в инфракрасном диапазоне.

Генератор электрических импульсов периодически генерирует электрические импульсы и подает их на полупроводниковый лазер (лазерный светодиод). Под воздействием этих электрических импульсов полупроводниковый лазер генерирует инфракрасные световые импульсы. Объектив коллимирует световое излучение лазера и направляет его на объект. Часть отраженного от объекта сигнала, сфокусированного на фотодиоде приемной оптической системой, генерирует в этом фотодиоде электрический импульс. Интервал времени между моментом излучения импульса и моментом прихода этого же импульса, отраженного от объекта, измеряют с помощью измерителя временных интервалов, работающего на основе кварцевого генератора. Полученное значение расстояния поступает на встроенный микрокомпьютер. Микрокомпьютер обрабатывает результаты измерений и готовит эти результаты для вывода данных.

Принцип совместной работы сканера и цифровой камеры

Цифровая камера высокого разрешения и лазерный сканер Riegl LMS объединяются в одну систему; получаемые при этом текстуры поверхности объекта могут быть назначены трехмерному облаку точек автоматически и с высоким разрешением. Лазерный сканер позволяет получить высокоточную и детализированную трехмерную модель за относительно короткое время. Фотокамера предоставляет реалистичные текстуры поверхности снимаемого объекта.

С помощью цифровой камеры получают серию изображений, покрывающих весь объект в пределах области предполагаемого сканирования. После сканирования, соответствующие плотности точек берутся с этих снимков. Это позволяет в последующей обработке оперировать не только с облаком точек, но и с цифровыми изображениями объекта, что существенно повышает информативность полученной информации об объекте.

Результаты сканирования (сканы), проведенного с различных точек, могут быть «сшиты» друг с другом для создания полной модели комплекса конструкций и местности с помощью программного обеспечения (ПО) Riscan Pro. ПО Riscan Pro позволяет визуализировать точечную модель, вращать ее, перемещаться и проводить измерения между любыми точками или моделируемыми поверхностями, «заглядывать», «гулять» по только что снятому объекту. Каждая графическая точка может быть окрашена в зависимости от интенсивности отраженного лазерного сигнала, «истинного цвета» или другого параметра (например, высотной отметки или удаления от точки съемки), что улучшает визуализацию объекта. Подобной функцией обладают не только специализированные «сканерные» программы, но и более широко распространенные программные продукты.

По результатам полевой съемки возможно построение модели снимаемой местности или объекта — объединения точек в сеть триангулированных ячеек

(TIN-модель). Программа автоматически определяет границы ячеек, формирует очертания отдельных объектов, анализирует интенсивность и цвет изображения и получает модель с четкими контурами и цветовым разграничением различных геометрических элементов (откосы, трубы, резервуары, стальные конструкции и т. д.). Процесс занимает немного времени, что позволяет получать трехмерное изображение объекта непосредственно в полевых условиях.

Трехмерная модель, получаемая в процессе сканирования, изначально не является векторной (не описана набором математических уравнений), но по ней можно выполнять пространственные измерения: вычислять объемы насыпи и выемки, расстояния между точками, нормальные расстояния от точки до поверхности, между поверхностями и осями и отдельными составляющими модели. Точечный массив может быть преобразован в векторную трехмерную модель и двухмерные рисунки с помощью различных программ, которые могут использоваться вместе со сканирующими и моделирующими системами и содержат библиотеки объектов. Модель и контуры могут быть напрямую перенесены в среду AutoCAD (Autodesk, Inc., США), MicroStation (Bentley Systems, Inc., США), 3D StudioMax и других САПР и ГИС.

Недостатками трехмерной растровой модели являются большой объем занимаемой памяти (до 70 Мб на один «скан» при поле зрения $360 \times 80^\circ$ и угловом разрешении $0,1^\circ$) и более медленное манипулирование. Векторная трехмерная модель того же объекта занимает всего 20 – 500 Кб. В то же время растровая модель имеет ряд преимуществ: она получается сразу же после завершения сканирования и стоит дешевле. Необходимо четко оценивать целесообразность векторизации изображения, поскольку в некоторых случаях (например, для контроля формы в процессе строительства, вычисления объемов, поведения измерения на недоступных участках и т. д.) достаточно и необходимо по временным и материальным затратам иметь растровую модель.

Основные сферы применения лазерного сканера

1. В электроэнергетике;
2. В нефтяной и газовой промышленности;
3. В строительстве и эксплуатации инженерных сооружений;
4. В горной промышленности;
5. В архитектуре;
6. Оперативный контроль и мониторинг инженерных объектов, экологический контроль.

Использование лазерной сканирующей системы для съемки памятников

1. Паспортизация памятников архитектуры;
2. Проектирование памятников;
3. Создание виртуальной модели;
4. Прогулка по виртуальной модели;
5. Создание и восстановление исполнительной документации.

В архитектуре

1. Паспортизация памятников архитектуры;

2. Реставрация фасадов;
3. Проектирование архитектурных сооружений;
4. Обзор проектируемого сооружения с различных точек зрения с учетом окружающей действительности;
5. Прогулка по виртуальной модели для оценки эстетического восприятия;
6. Создание и восстановление исполнительной документации и создание рабочих чертежей.

В горной промышленности

1. Составление планов горных выработок, составление и пополнение цифровой модели карьера;
2. Наблюдения за деформациями бортов карьеров при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом;
3. Наблюдения за деформацией земной поверхности в районах горных разработок, наблюдения за осадкой зданий и сооружений в процессе строительства и эксплуатации;
4. Контроль за проектами съемки: определение объемов земляных работ, реконструкция подъездных железнодорожных путей, автомобильных дорог, при рекультивации земель, нарушенных горными разработками, для обновления топографических планов земной поверхности, при сооружении и эксплуатации гидроотвалов, шламо-, хвостохранилищ, внешних отвалов вскрышных пород, складов забалансовых руд и других текущих работ;
5. Определение объемов труднодоступных горных выработок (камер), складов полезных ископаемых сложной конфигурации;
6. Маркшейдерское сопровождение буровзрывных работ;
7. Наблюдения за деформациями плотин (дамб) накопителей жидких промышленных отходов (шламо-, хвостохранилищ).

В строительстве и эксплуатации инженерных сооружений

1. Индустриальная съемка;
2. Контроль за строительством;
3. Корректировка проекта в процессе строительства;
4. Оптимальное планирование и контроль перемещения, установки и удаления крупных частей сооружений или оборудования;
5. Монтажные работы, калибровка;
6. Исполнительные трехмерные съемки зданий, инженерных сооружений и в процессе и по окончании строительства.

Создаваемые модели могут быть представлены в виде облаков точек, сетей треугольников, простых и сложных геометрических примитивов с сохранением реальных цветов снимаемых объектов.

В сочетании технологии лазерного сканирования с фотограмметрическими методами можно добиться фотореалистического качества трехмерной модели виртуальной реальности.

По моделям возможно проведение любых измерений и расчетов. По сохраненному виртуальному образу можно выполнять создание рабочих чертежей и производить восстановление или реставрацию утраченного памятника или архитектурного сооружения.

Перспективы в лазерном сканировании

1. Наземное сканирование в реальном времени;
2. Инерциальная система;
3. Беспроводная передача данных;
4. Повышение точности (первые миллиметры и выше), скорости (до нескольких десятков тысяч измерений в секунду) и дальности (более километра) измерений с сохранением высокого уровня безопасности лазера (Класс I);
5. Уменьшение массогабаритных характеристик, повышение удобства использования и управления;
6. Совершенствование специализированных пакетов программного обеспечения для автоматизации процесса моделирования и создания планов;
7. Интеграция с оборудованием для дистанционного мониторинга и дефектоскопии (тепловизионное, ультразвуковое оборудование и т. п.);
8. Совершенствование мобильных решений для съемки в движении (сопряжение сканера с инерциальной системой и установка на автомобиль).

В настоящее время на рынке существует несколько коммерческих моделей трехмерных лазерных сканирующих и моделирующих систем наземного базирования:

1. LMS Z210i – универсальный;
2. LMS Z360i – повышенной точности и скорости;
3. LMS Z420i – повышенной точности и дальности.

Выводы

1. В зависимости от поставленных задач, существует возможность выбора, использовать сканер с цифровой камерой или без нее;
2. Существует возможность выбора производителя камеры (Canon, Nikon) и ее типа;
3. Использование сканера Riegl совместно с цифровой камерой позволяет получить детализированное цветное облако точек, что существенно упрощает процесс пост-обработки (дешифрирования и построения модели).

© А. Ковров, 2006

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Введение

В настоящее время для топографических съемок используется современное геодезическое оборудование: электронные тахеометры и GPS-приемники. Кроме того, постоянно идет процесс совершенствования такого оборудования и повышения степени автоматизации процесса съемки. Особенности лазерного сканирования являются дистанционность, высокая скорость и высокая информативность получаемой модели. Т. е. координируются не отдельные точки, а весь объект в целом. Автоматический режим измерений, также, в значительной степени освобождает результаты съемки от влияния человеческого фактора. Комплекс работ по созданию цифровых топографических планов (ЦТП) масштаба 1 : 500, выполненных в 2004-2005 гг. на площадных объектах ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз», подтвердил высокую эффективность применения наземного лазерного сканирования при съемке сложных технологических объектов. В ходе работ решались следующие задачи:

1. Выбор моделей наземных лазерных сканеров, наиболее подходящих для съемки сложных технологических объектов;
2. Разработка методики выполнения полевых работ, при съемке сложных технологических объектов;
3. Разработка методики построения цифровых топографических планов сложных технологических объектов по данным наземного лазерного сканирования.

1. Особенности современных лазерных сканеров.

Современные наземные лазерные сканеры среднего радиуса действия (до 1 000 м) при одинаковом принципе действия, заключающемся в измерении расстояний и углов до точки отражения, значительно различаются по своим характеристикам. Сканеры, работающие в фазовом режиме значительно быстрее импульсных, однако ограничены по дальности съемки. Пошаговый механизм работы угломерной части в несколько раз снижает скорость съемки, по сравнению с непрерывным. Расходимость лазерного излучения определяет размер лазерного пятна в точке отражения, что влияет на точность определения расстояний. В табл. 1 приведены основные характеристики наиболее распространенных современных наземных лазерных сканеров.

Исходя из особенностей объектов, оптимальным сочетанием характеристик сканера для выполнения топографической съемки, будет точность измерений до 25-30 мм, дальность действия до нескольких сотен метров и высокая скорость сканирования. Примененные в практических работах сканеры Riegl полностью подходят под данные параметры.

Таблица 1. Характеристики современных наземных лазерных сканеров

Модель	Метод	Макс.	Расходи-	Точность	Режим	Скорость	Угловая	Компен-

сканера	изм. расст.	даль- ность, м	мощь лазера, мрад	изм. расст., мм	изм. углов	съемки т/сек	точность	сатор
Leica HDS3000	импульсный	100	0,12	4	пошаговый	1800	00'12"	нет
Leica HDS4500	фазовый	53,5	0,22	3	непрерывный	625000	01'12"	нет
Trimble GX	импульсный	350	0,06	6	пошаговый	1000	00'12"	6"
iQsun625	фазовый	76	0,20	3	непрерывный	240000	01'12"	нет
I-Site 4400	импульсный	400	2,00	50	непрерывный	4400	——	20"
Riegl LMS- Z210i	импульсный	400	3,00	25	непрерывный	12000	18"	нет
Riegl LMS- Z360i	импульсный	200	2,00	12	непрерывный	12000	9"	нет
Riegl LMS- Z420i	импульсный	1000	0,25	10	непрерывный	12000	9"	нет

2. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

2.1. Планирование, создание планово-высотного обоснования

На этапе планирования осуществляется постановка задачи и определяется круг требований, предъявляемых к конечному продукту. Исходя из поставленной задачи, выбирается методика работ и оборудование. Далее на объектах создается сеть планово-высотного обоснования (ПВО). Требования к плотности пунктов ПВО, необходимых для выполнения крупномасштабных топографических съемок методом лазерного сканирования аналогичны требованиям для выполнения тахеометрической съемки.

2.2. Составление абрисов

Перед выполнением съемки объекта необходимо составить подробный абрис на объект съемки. Абрис представляет собой аналог топографического плана, выполненный в результате глазомерной съемки, на котором отображена вся информация, которая необходима для построения цифрового топографического плана, т.е. положение объектов, их назначение, характеристики. В дальнейшем абрис используется для дешифрирования объектов и присвоения им семантических характеристик.

2.2. Сканерная съемка

Основными задачами, которые необходимо решать в ходе выполнения сканерной съемки являются:

– Выбор углового шага сканирования. Расчет углового шага сканирования определяется исходя из минимального размера объектов, подлежащих съемке. Практический опыт показал, что при съемке объектов нефтегазодобычи оптимальным является шаг в $0,1 - 0,08^\circ$;

– Выбор местоположения сканерных станций. Местоположение сканерных станций необходимо выбирать с условием как можно большего захвата окружающих объектов, на расстоянии достаточном для их

дешифрирования. Установка сканера в наиболее высокие точки значительно повышает информативность точечной модели. Для технологических площадок в качестве высоких точек могут быть использованы крыши зданий, насыпи и обваловки, металлические площадки переходов через трубопроводы. В ходе выполнения полевых работ один из сканеров устанавливался на крыше автомобиля УАЗ, за счет чего высота сканера достигала порядка 4 м, что значительно увеличивало обзорность. Показатели средней плотности сканерных станций на примере съемки дожимной насосной станции (ДНС) представлены в табл. 2;

– Геодезическая привязка сканерных станций. Большинство современных моделей сканеров не имеют устройств для точного горизонтирования и центрирования прибора. Поэтому привязка сканерных данных осуществляется через специальные марки, располагаемые в пределах сцены сканирования, координаты которых получены с пунктов ПВО с помощью тахеометра. В ходе работ, использовалась схема расстановки марок, представленная на рис. 1.

Таблица 2. Расстояния между станциями сканирования

	Минимальное расстояние, м	Максимальное расстояние, м	Среднее расстояние, м
Площадь с высокой контурностью	21	79	44
Площадь со средней контурностью	26	116	70
Вся территория ДНС	21	116	60

Применение данной схемы для каждой станции, позволило существенно сократить затраты времени на расстановку марок и избежать пропусков при их привязке. Время, затрачиваемое для работы на каждой станции (вместе с переходом на следующую станцию) составило около 25 минут, при средней охватываемой площади 0,4 Га.

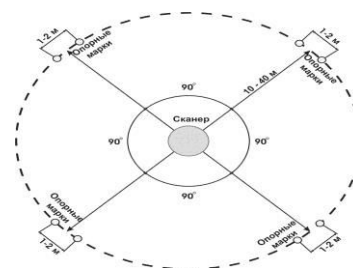


Рис. 1. Схема опорных марок

2.3. Формирование единой точечной модели объекта

Для данных, полученных сканерами Riegl, процедура формирования единой модели осуществляется в программном продукте RiSCAN PRO, куда, кроме сканерных данных, подгружается файл с координатами всех марок, определенных в единой системе с помощью тахеометра. Программа автоматически выбирает соответствующие по расположению марки, производит трансформацию координат полученных в процессе сканирования, и выводит значение средней квадратической ошибки положения марок относительно внешней системы координат. Среднее значение ошибки составило порядка 10 мм, максимальная ошибка не превышала 15 мм.

2.4. Векторизация точечной модели

После построения ЦТП был проведен полевой контроль. Для этого на объекте стальной компарированной рулеткой длиной 50 м измерялись расстояния между

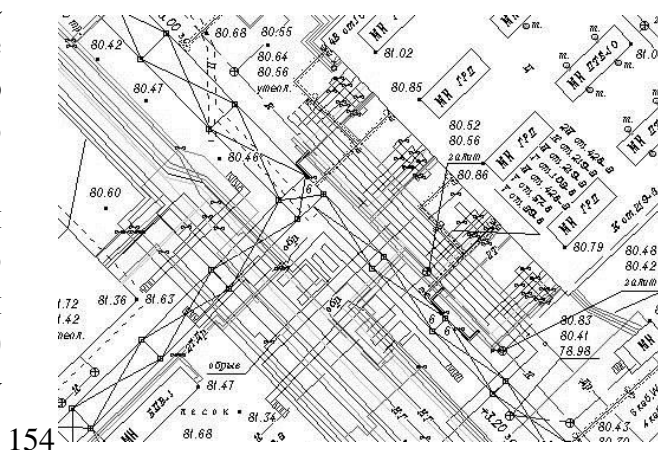


Рис. 2. Фрагмент ЦТП масштаба
1 : 500

четкими контурами, которые потом сравнивались с теми же расстояниями на ЦТП. Высотный контроль проводился по аналогичной схеме, с использованием повторных измерений точек по контурам и рельефу, выполненных электронным тахеометром. Средние значения расхождений составили для планового положения 4 см, для высотного 5 см, максимальные значения расхождений не превышали 10 см. Фрагмент ЦТП масштаба 1 : 500, полученного по данным наземного лазерного сканирования представлен на рис. 2.

Заключение

Опыт работ показал, что технология лазерного сканирования позволяет значительно сократить время полевых работ. Бригада из 3 человек, с одним сканером за 10-часовой рабочий день выполняет крупномасштабную топографическую съемку сложного объекта, до 10-14 гектар. На абрис в этом случае затрачивается дополнительно около 4 часов. Полученный ЦТП обладает высокой степенью достоверности. Так, вместо отдельных пикетов, специалист камеральной группы имеет перед глазами полную модель объекта, что позволяет избежать пропусков и ошибок, а также способствует постоянному самоконтролю. Построение ЦТП по данной технологии занимает примерно на 50% процентов больше времени, чем по традиционным измерениям, так как при упрощении полевых работ центр тяжести переносится на камеральную обработку. Трехмерная точечная модель позволяет определять взаимное положение объектов с ошибкой 1 – 2 см, что несколько точнее, чем по полученному ЦТП. Это вызвано тем, что для достижения такой точности необходимо очень подробно строить векторные объекты, что значительно увеличит время, затрачиваемое на их создание. Кроме того, в реальности, объекты не имеют правильной геометрической формы (т. е. углы не всегда прямые а стены ровные). Подводя итог, можно сказать, что технология наземного лазерного сканирования является эффективным инструментом для построения цифровых моделей сложных технологических объектов. Помимо ЦТП, данная технология позволяет получать трехмерные модели с теми же трудозатратами, что является большим преимуществом на перспективу.

© А.В. Середович, 2006

УДК 528:528.7

А.В. Комиссаров

СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ПО ДАННЫМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Для оценки точности построения цифровой модели рельефа (ЦМР) по данным наземного лазерного сканирования в работе [1] предложена методика, основанная на сравнении построенной поверхности рельефа с точечной моделью ландшафта. Для применения такой методики необходимо исследовать насколько адекватно точечная модель описывает поверхность рельефа. Для

проведения исследований была отсканирована территория Сибирской государственной геодезической академии 11 и 12 мая 2005 г. Сканирование производилось наземным лазерным сканером Riegl LMS-Z360 при температуре воздуха 21 – 26°C и давлении воздуха 742 мм рт. ст. в безоблачную погоду. Лазерная съемка выполнена с 26 сканерных станций, с которых было получено 53 скана. Для подготовки планово-высотного обоснования съемки электронным тахеометром Leica TCR 1205 проложен теодолитный ход, схема которого приведена на рис. 1.

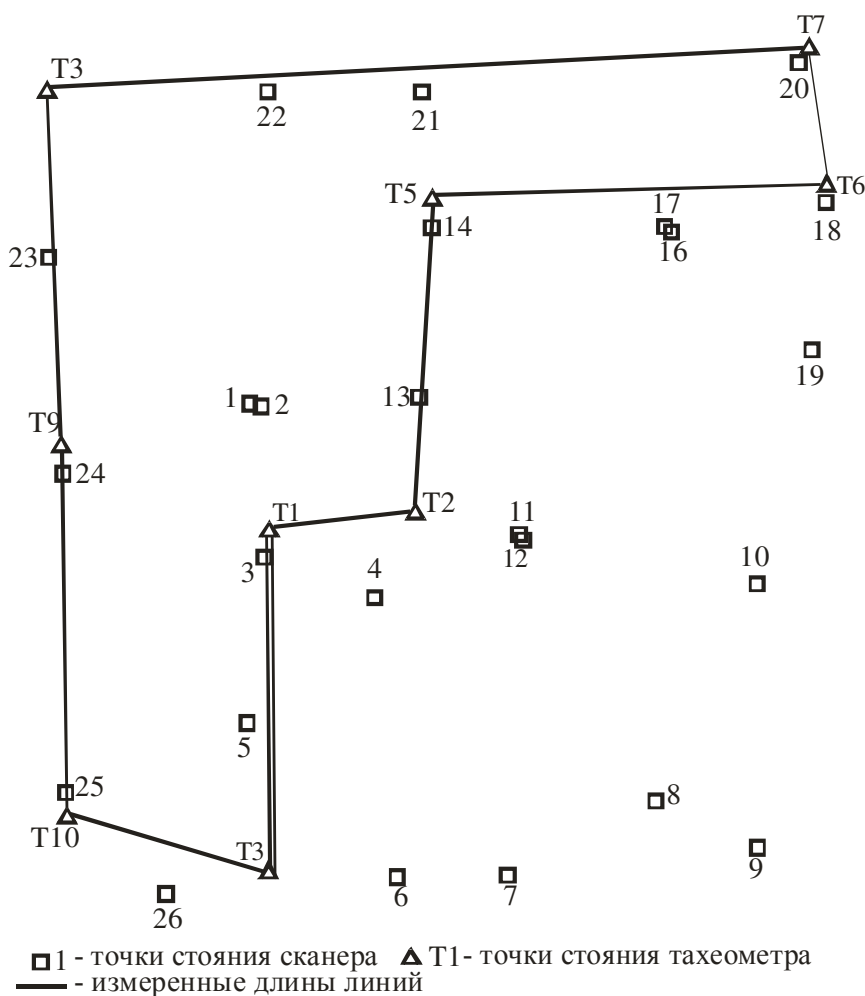


Рис. 1. Схема теодолитного хода и расположения сканерных станций

Линейная невязка теодолитного хода составила 0,037 м. Совместно с проложением теодолитного хода проведено тригонометрическое нивелирование. Невязка замкнутого хода тригонометрического нивелирования составила 1 мм.

Основным способом внешнего ориентирования сканов, полученных сканером фирмы Riegl, является определение их элементов ориентирования по координатам светоотражающих марок. Координаты центров специальных марок измерены с помощью электронного тахеометра Leica TCR 1205 в безотражательном режиме. В основе внешнего ориентирования сканов в программе RISCAN PRO положено следующее уравнение:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_{геод} = A \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}_{скан}, \quad (1)$$

где $X, Y, Z_{геод}$ – пространственные координаты точек местности (объектов) во внешней системе координат;

$X, Y, Z_{скан}$ – координаты этих же точек в системе координат скана;

A – матрица, элементы которой характеризуют разворот и смещение системы координат скана относительно внешней системы координат.

Матрица A имеет вид:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & X_S \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & Y_S \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & Z_S \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{33}$ – направляющие косинусы, которые зависят от трех углов Эйлера;

X_S, Y_S, Z_S – пространственные координаты начала системы координат скана.

Для целей внешнего ориентирования сканов в программе предусмотрен автоматический поиск отражателей (марок). Алгоритм поиска марок включает следующие операции:

- Поиск областей или отдельных пикселей на сканах с наибольшей интенсивностью отраженного сигнала. Для надежного отождествления точек, используемых для внешнего ориентирования сканов, применлись светоотражающие марки, коэффициент отражения которых близок к единице ($\sim 0,9$);
- Нахождение центра марки путем осреднения координат пикселей, принадлежащих марке;
- Составление списка координат марок в системе координат скана.

Средние квадратические ошибки (СКО) внешнего ориентирования сканов и количество специальных марок приведены в табл. 1.

Таблица 1. Точность внешнего ориентирования сканов

Номер сканерной станции	Количество специальных марок	СКО, м
1	10	0,008
2	10	0,008
3	10	0,008
4	10	0,014
5	7	0,010
6	9	0,009

7	8	0,008
8	9	0,009
9	10	0,007
10	7	0,009
11	8	0,009
12	6	0,011
13	8	0,010
14	6	0,008
15	6	0,010
16	6	0,011
17	8	0,010
18	8	0,008
19	8	0,007
20	9	0,009
21	8	0,008
22	8	0,010
23	8	0,008
24	6	0,010
25	7	0,009
Среднее значение СКО		0,0091

Из анализа результатов табл. 1 видно, что изменение количества марок на сканерной станции от 6 до 10 незначительно влияет на величину средней квадратической ошибки внешнего ориентирования сканов.

Для оценки точности построения цифровой модели рельефа и полученной точечной модели территории СГГА были определены отметки 191 пикета одновременно с созданием планово-высотного обоснования сканерной съемки. В качестве пикетов выбраны точки, принадлежащие поверхности земли и таким объектам, как дорога, бортовой камень и т. д. Средняя квадратическая ошибка расхождений высот пикетов, полученных тахеометром Leica TCR 1205 с разных теодолитных станций, вычислена по формуле:

$$m_{\text{пикетов}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta H)^2}{n}}, \quad (3)$$

где ΔH – разность высот пикетов, полученных из двух приемов измерений и из прямого и обратного нивелирования;

n – число контролируемых пикетов.

Величина ошибки $m_{\text{пикетов}}$ составила 0,016 м.

На следующем этапе определены отклонения высот точек единой точечной модели от высот пикетов, измеренных при помощи тахеометра. СКО этих расхождений составила 0,021 м.

На основе единой точечной модели территории СГГА построена цифровая модель рельефа (ЦМР) по технологии, изложенной в работе [1], и вычислены разности высот пикетов, полученных по ЦМР и с помощью тахеометра. СКО отклонений составила 0,045 м.

Из анализа результатов можно сделать вывод, что точность определения координат точечной модели наземным лазерным сканером значительно выше точности моделирования рельефа. Следовательно, оценку точности построения ЦМР можно выполнять по высотам точечной модели, полученной наземным лазерным сканером.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комиссаров, Д.В. Построение трехмерных моделей спортивных сооружений средствами лазерного сканирования (на примере Новосибирского биатлонного комплекса)/Комиссаров Д.В. и др. Тез. конф. международного промышленного форума GEOFORM+ «Геопространственные технологии и сферы их применения». – 14-17 марта 2005. – С. 69-70.

2. Комиссаров, Д.В. Технология топографической съемки промышленных объектов с применением наземного лазерного сканирования / Д.В. Комиссаров, А.В. Середович и О.А. Дементьева / ГЕО-Сибирь-2005. Т. 5. Геодезия, картография, маркшейдерия: Сб. материалов научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2005», 25-29 апреля 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 197 – 201.

© А.В. Комиссаров, 2006

УДК 528.94

И.В. Гуненко, Ю.С. Салтыкова, В.А. Середович, Д.В. Комиссаров
СГГА, Новосибирск

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ГОРОДОВ НА ОСНОВЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ

Современные темпы развития вычислительной техники и программного обеспечения дают возможность представления картографической информации в трехмерном виде, максимально приближенном к реальности. Одним из преимуществ трехмерного представления информации является ее наглядность, которая более всего учитывает особенности образного восприятия мира человеком, тем самым, позволяя точнее ориентироваться в пространстве.

Существует достаточно большое количество технологий, позволяющих выполнять трехмерное моделирование объектов, которые активно развиваются и применяются на практике. В работе представлены результаты построения трехмерных моделей объектов с использованием двух технологий. Первая технология предусматривает построение моделей только по данным цифрового топографического плана местности, а вторая – основана на комплексном использовании данных топоплана и наземного лазерного сканирования.

По данным технологиям в Региональном центре лазерного сканирования были построены трехмерная модель г. Салехард и трехмерная модель ул. Ленина г. Новосибирска.

Для построения трехмерной модели г. Салехард по данным топографического плана масштаба 1 : 500 использовался программный продукт (ПП) 3D Studio Max. Технология моделирования включала следующие этапы:

- Экспорт цифрового плана в формат программы 3DS Max;
- Разделение исходного объекта на отдельные контуры зданий и сооружений;
- Преобразование двумерных сплайнов в трехмерные объекты;
- Редактирование полученных трехмерных моделей объектов.

Из ПП MapInfo был произведен экспорт одного слоя цифрового плана «строения, сооружения и их части» в ПП AutoCAD для получения обменного формата DWG, после чего данные были импортированы в 3D Studio Max.

При создании нового рабочего проекта (сцены) с помощью диалога Units Setup в 3D Studio Max были заданы единицы измерения линейных величин, которые использовались при создании топоплана (метры, километры, футы или дюймы), для сохранения ориентации модели в единой системе координат.

Экспортированный план города был представлен в форме единого shape-объекта, состоящего из сплайнов, описывающих контуры зданий и сооружений г. Салехарда. Исходный объект был разделен на отдельные контуры зданий, строений и их элементы в соответствии с топопланом. Для повышения производительности работ каждому элементу было присвоено имя в соответствии с семантической информацией об этажности и назначении строения, указанной на топоплане города, чтобы при построении модели всякий раз не прибегать к помощи топоплана.

При создании моделей одноэтажных строений условно была принята их высота, равная 4 м, двухэтажных – 6 м, для многоэтажных построек высота этажа была задана 3 м.

В диалоговом окне Select by Name (выделение по списку) в 3D Studio Max выбирались однотипные объекты, к которым применялся модификатор Extrude, позволяющий «выдавливает» сплайн-объект по оси Z на заданную величину.

Для редактирования моделей зданий и сооружений использован ряд модификаторов, таких как Edit Mesh (отредактировать каркас), Bevel (скос), а также встроенная библиотека готовых объектов Stairs (лестницы).

При создании объектов типа теплиц и парников применялся модификатор Bevel (скос), который изменяет размеры сечений по мере продвижения вдоль линии пути (оси Z).

Редактирование моделей зданий выполнено с помощью модификатора Edit Mesh, который позволяет изменять каркасы многоугольных сеток, составляющих поверхности трехмерных объектов на трех различных уровнях: vertex (вершина), face (грань), edge (ребро). Данный модификатор использовался для создания моделей беседок, остановок, террас и других видов строений. При моделировании мелких деталей применялись стандартные примитивы (цилиндр, тор, параллелепипед).

При построении моделей лестниц использовалась стандартная библиотека объектов Stairs, в которой находится 4 различных типа лестниц. При их

моделировании задавались длина, ширина, высота, количество ступеней и угол уклона, а также наличие или отсутствие перил и тип лестниц (закрытая или открытая). Количество ступеней было заданно в соответствии с топопланом (рис. 1).

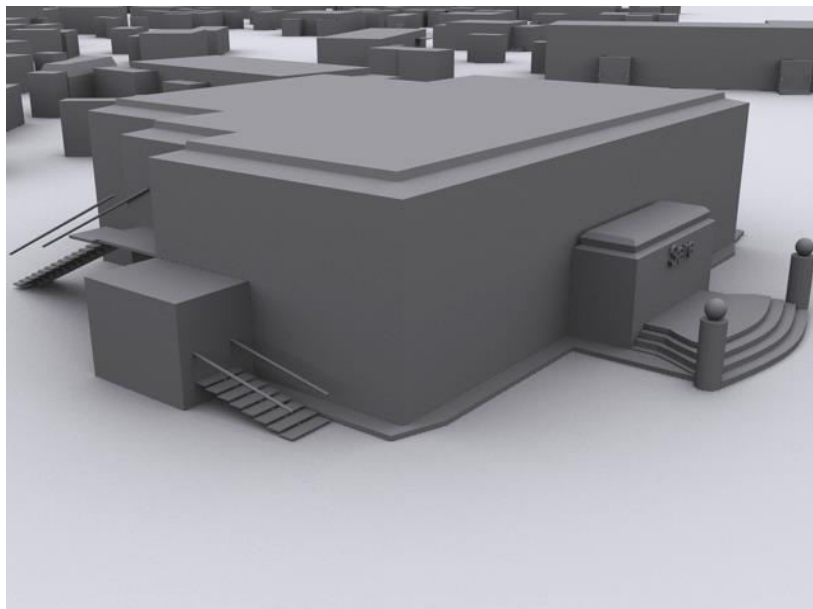


Рис. 1. Применение стандартной библиотеки объектов Stairs

Таким образом, используя возможности комплекса 3DStudioMax, была создана цифровая трехмерная модель г. Салехарда (рис. 2).

Построенные трехмерные модели представляют собой нерегулярную триангуляционную сеть, полученную последовательным применением модификаторов: Extrude, Edit Mesh, UVW Map. Одной из особенностей 3D Studio Max является возможность редактирования модели на любом этапе работ.

Построенные трехмерные модели объектов могут быть текстурированы для получения фотореалистичной модели г. Салехарда.

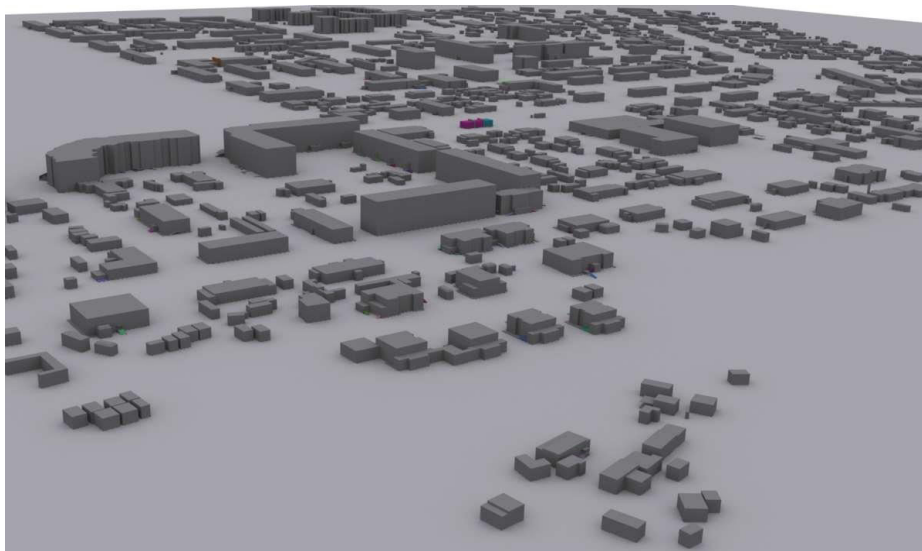


Рис. 2. Цифровая трехмерная модель г. Салехарда

При моделировании ул. Ленина г. Новосибирска применялась технология, основанная на комплексном использовании данных топоплана и наземного лазерного сканирования. Таким образом, для задания планового положения объектов улицы был использован цифровой план г. Новосибирска 1 : 500 масштаба, а данные о их высоте получены из наземного лазерного сканирования.

Для построения трехмерной модели ул. Ленина использовалась технология, которая включает следующие процессы:

- Наземное лазерное сканирование;
- Фотосъемка цифровой камерой объектов для получения текстур;
- Экспорт цифрового плана в формат программы 3DS Max;
- Разделение исходного объекта на отдельные контуры зданий и сооружений;
- Определение высоты каждого здания по данным наземного лазерного сканирования в ПП Cyclone;
- Преобразование двумерных сплайнов в трехмерные объекты;
- Обработка полученного фотоматериала в ПП Corel Photo-Paint;
- Текстурирование зданий и сооружений.

Наземное лазерное сканирование ул. Ленина было выполнено сканером Riegl LMS Z210, установленным на крышу автомобиля на специально сконструированную жестко закрепленную платформу. Поскольку данные лазерного сканирования планировалось использовать только для определения высоты зданий, что исключало необходимость внешнего ориентирования сканов, а следовательно создания геодезического обоснования лазерной съемки.

Участок ул. Ленина протяженностью 1 600 м, был отсканирован с 11 станций, расположенных на расстоянии 120 – 150 м.

Для того, чтобы создать модель, приближенную к реальной, необходимо наличие текстур, которые были получены по снимкам цифровой фотосъемки. Для получения по снимкам наиболее достоверных данных о текстуре поверхности объектов снимки должны быть высокого разрешения, максимально приближены к центральной проекции и фотосъемка выполнена в пасмурную погоду без осадков для исключения ярко выраженных теней.

Экспорт цифрового плана, разделение единого shape-объекта на отдельные контуры зданий и процесс преобразования двумерных сплайнов в трехмерные объекты производились аналогично как при построении трехмерной модели г. Салехарда. Принципиальное отличие состояло в использовании данных наземного лазерного сканирования, по которым перед применением к сплайнам модификатора Extrude, по каждому отдельному скану определялись высоты зданий в ПП Cyclone по разности отметок точек, взятых у основания здания и на его крыше.

Для редактирования моделей зданий со сложной архитектурой применялись дополнительные функции 3D Studio Max.

Последним этапом работы было текстурирование моделей зданий, которое заключается в правильно ориентированном наложении текстур на поверхность моделей объектов. Создание, редактирование и присвоение текстур выбранным объектам осуществлялось с помощью Material Editor, который позволяет задавать физические свойства создаваемой текстуры: отражение, преломление, поглощение света, зеркальность и т. д. Для правильной ориентации положения текстур и карт на поверхности объектов использовался модификатор UVW Map, который позволяет наложить текстуры на объект согласно выбранному способу проектирования: box, cylindrical, planar, spherical, face и т. д. Так как получить идеальные текстуры по снимкам не представлялось возможным из-за объективных причин, влияющих на качество изображения (наличия в области фотографирования посторонних предметов, коммуникационных кабелей, ветвей деревьев, людей, наличие теней на поверхности объектов), то возникла необходимость редактирования текстур, которое осуществлялось в ПП Corel Photo-Paint.

Представленная технология позволяет создать трехмерную модель с точностью, соответствующей точности топографического плана и данных наземной лазерной съемки. Построенные модели городских территорий могут быть использованы при создании трехмерных ГИС.

© И.В. Гуненко, Ю.С. Салтыкова, В.А. Середович, Д.В. Комиссаров, 2006

РАЗРАБОТКА ПОДПРОГРАММ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ 3D STUDIO MAX

Одна из основных проблем внедрения технологии лазерного сканирования обусловлена с одной стороны тем, что большинство геоинформационных систем (ГИС) не предназначено для обработки трехмерных моделей объектов. В лучшем случае параметр третьего измерения (высота) учитывается как атрибут в базе данных, что значительно ограничивает возможности пространственного анализа объектов и спектр решаемых задач с использованием ГИС. С другой стороны, потребитель топографо-геодезической продукции не готов к использованию трехмерной информации. Наличие третьего измерения должно увеличить уровень сложности и количество решаемых задач, по меньшей мере, на порядок, но пока трехмерная модель объекта воспринимается пользователем лишь как дополнительное средство визуализации и представления результата.

В отличие от распространенных двумерных ГИС системы автоматизированного проектирования (САПР), такие как, AutoCad, MicroStation, 3D Studio Max, позволяют решать задачи в трехмерном пространстве. Поэтому, обычно результат трехмерной съемки объектов передается заказчику в формате перечисленных САПРовских систем. Однако их возможностей недостаточно для выполнения сложного пространственного анализа, присущего ГИС. Одним из вариантов разрешения этой проблемы является развитие функциональных возможностей САПР посредством разработки набора небольших подпрограмм, предназначенных для выполнения прикладных задач.

Например, такая задача возникла при построении двумерных профилей трасс Новосибирского биатлонного комплекса (НБК). Схемы лыжных трасс были построены в среде 3DS Max в виде сплайнов, состоящих из сегментов типа «кривая», связанных между собой вершинами типа «безье с изломом», поскольку такой тип сплайна позволил наиболее точно описать черты поверхности трассы. Необходимо было развернуть построенные трехмерные сплайны на плоскость. Поставленная задача выполнена также с помощью программного продукта (ПП) 3D Studio Max, поскольку он позволяет расширять свои возможности используя встроенную объектно-ориентированную программную среду, базирующуюся на языке программирования высокого уровня C++.

Для распрямления полученных схем биатлонных трасс была создана подпрограмма, которая разворачивает схему трассы на плоскость с заданной точностью. Для реализации поставленной задача был использован алгоритм дискретизации сплайна с сохранением входящих и выходящих векторов вершин в одной плоскости (плоскости проецирования). Каждый сегмент сплайна обрабатывался отдельно и дискретизировался только в том случае, если разность расстояния между начальной и конечной точками и длины этого сегмента превышает установленный допуск. Алгоритм выполняется

итерационным методом, до тех пор, пока ошибка длины, вызванная кривизной сегмента сплайна, не станет меньше допустимой. После выполнения всех итераций сегменты объединяются в единый сплайн, тем самым формируя единый двумерный профиль рельефа трассы.

Одной из основных особенностей отличающих ГИС от САПР является совмещение пространственной информации с атрибутивной или семантической. Таким свойством можно наделить, например САПР 3DS MAX, используя средства внутренней среды программирования MaxScript Language. Следовательно, для имитации полноценной ГИС необходимо разработать механизм взаимодействия 3D Studio Max с базой данных созданной в Excel, Access, Paradox и др.. В этой базе данных может храниться информация о типе объекта (строение, дорога, ограждений, коммуникация), его назначении (промышленный, жилой, административный), материале (бетон, кирпич, дерево, асфальт), составе (сложный, простой) и т.д..

Для этих целей в среде MaxScript Language разработана подпрограмма Linker, которая позволяет подсоединить к созданной трехмерной модели объекта одну из распространенных баз данных (Excel, Access, Paradox) и редактировать ее. Linker выполняет анализ всех объектов проекта, объединяя их в древовидную структуру по группам. Для каждой группы резервируется набор необходимых параметров (например, для городского ландшафта: этажность здания, огнестойкость, адрес и т. д.), которые будут впоследствии представлены как свойства объектов в трехмерном редакторе 3D Studio Max. Такой подход позволяет вносить необходимые изменения и уточнения в характеристики объектов не только в процессе обработки таблицы в базе данных, но и сохранять и редактировать их внутри 3D Studio Max.

Для формирования и экспорта таблиц Linker использует встроенные ActiveX-компоненты Windows и подключается к необходимой программе обработки баз данных с помощью технологии OLE (Object Linking and Embedding). Пользователь также может выделить только необходимые для экспорта объекты и зарезервировать любые необходимые свойства для последующей связи объектов трехмерной модели и таблицы базы данных по их идентификатору.

Представленные примеры демонстрируют, что разработка дополнительных подпрограмм позволяет максимально приблизить функциональность конкретного САПР к возможностям современных ГИС.

© В.В. Загородний, А.А. Деговцов, Д.В. Комиссаров, 2006

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РВС ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

На объектах добычи и переработки нефти и газа эксплуатируется большое количество сварных вертикальных цилиндрических резервуаров (РВС), используемых для хранения и учета нефтепродуктов. Данные резервуары имеют вместимость от 100 м³ до 50 000 м³ и требуют проведения периодического технического диагностирования и проверок [1, 2]. Одной из основных задач, которые требуется решить при проведении диагностирования или проверки является определение геометрических параметров резервуара. Для этого, по существующей методике, измерения выполняются для отдельных точек резервуара, а промежуточные значения интерполируются.

В отличие от традиционной технологии, лазерное сканирование позволяет дистанционно выполнять измерения по какой-либо поверхности с очень высокой плотностью (угловой шаг может составлять до 0,0018°, что соответствует 0,9 мм на поверхности при съемке с расстояния 30 м) при скорости в несколько сот точек в секунду. Такие особенности позволяют говорить о высоком потенциале применения технологии трехмерного сканирования для определения геометрических характеристик резервуаров, в связи с чем были выполнены пробные работы по сканерной съемке РВС и разработана методика обработки данных сканирования.

Для полевых работ использовался наземный лазерный сканер Mensi GS200, который имеет следующие характеристики: точность измерения расстояний – 1,4 мм (на расстоянии до 30 м при многократных измерениях); минимальный угловой шаг сканирования – 0,0018°; угол поля зрения – 360° по горизонтали и 60° по вертикали; скорость сканирования – около 500 точек/сек (для точного режима сканирования). Большое количество точек, описывающих поверхность резервуара, позволяет определить ее параметры с точностью, примерно в два раза выше, чем точность определения координат одной точки.

1. Выбор шага сканирования, количества станций и их местоположения

Шаг сканирования должен быть подобран с учетом того, чтобы плотность точек, измеряемых на поверхности резервуара, позволяла с достаточной точностью и достоверностью определять его геометрические параметры и выполнять объединение сканерных данных по перекрытиям между станциями. Линейный шаг в 20 мм является достаточным для соблюдения данных требований.

В случае если на объект, на котором находится РВС, существует топографический план или иная картографическая продукция можно заранее

запроектировать положение сканерных станций. При этом, вычислив зоны перекрытий между станциями, можно просчитать их оптимальную конфигурацию еще до начала полевых работ.

2. Выполнение измерений, объединение сканерных данных

Сканер Mensi GS200 имеет встроенную цифровую видеокамеру, позволяющую по видеоизображению или по панорамному фотоснимку задавать область сканирования. Кроме области сканирования задается также угловой или линейный шаг съемки. Съемку уторного узла резервуара (углового сварного соединения днища со стенкой), следует выполнять с шагом примерно в два раза меньшим, чем съемку стенок РВС, что обеспечит лучшее дешифрирование. При съемке также важно использовать режим многократных измерений на каждую точку, что позволит повысить точность измерений. Экспериментальные работы показали, что в режиме 4-10-кратных измерений максимально снижается влияние шумовой составляющей в измерениях.

Важнейшим этапом работ является объединение отдельных точечных моделей резервуара, полученных с разных станций (сканов) в единую точечную модель. Технология объединения только по маркам не позволяет достичь необходимой точности. Поэтому, в ходе экспериментальных работ объединение сканов было выполнено в программном продукте RealWorksSurvey с использованием областей перекрытия между станциями. Точность уравнивания составила порядка 2 мм. Проведенный после уравнивания визуальный контроль по сечениям точечной модели, показал отсутствие расхождений снятых поверхностей в местах перекрытий. Горизонтирование модели осуществлялось через внешние марки, закоординированные электронным тахеометром Leica TCR405. Средняя ошибка привязки марок составила порядка 7 мм.

3. Определение геометрических параметров резервуара

Полученная в ходе полевых работ точечная модель резервуара, позволила определить следующие геометрические характеристики:

– Отклонение наружного контура днища от горизонтали. В соответствии с [1], величина неравномерной осадки наружного контура днища определяется путем нивелирования наружного контура днища в точках, соответствующих вертикальным стыкам первого пояса не реже, чем через 6 метров. Отметки данных точек были получены по сечениям точечной модели в нижней части резервуара (рис. 1). Учитывая высокую плотность точечной модели в камеральных условиях можно определить отметку любой точки по периметру резервуара с представлением результата в графическом или табличном виде;

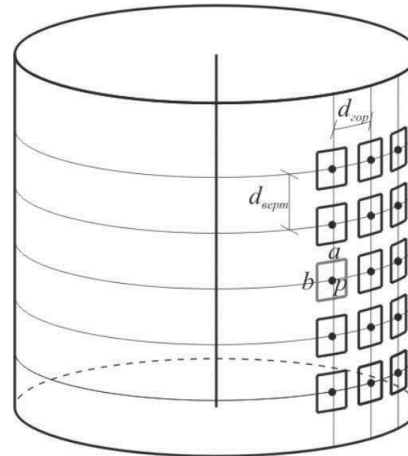


Рис. 1. Сечение точечной модели в нижней части резервуара

– Определение отклонений образующих стенки резервуара от вертикали. По традиционной технологии, отклонения от вертикали определяются вдоль вертикальных сварных швов, в нижней, средней и верхней точках каждого пояса [1], [2]. Так как точность единичного сканерного измерения меньше точности моделирования объекта с использованием всей совокупности полученных данных, единичное измерение не может точно характеризовать отклонение от вертикали в конкретной точке. Схема определения отклонений по сканерным данным, представлена на рис. 2.

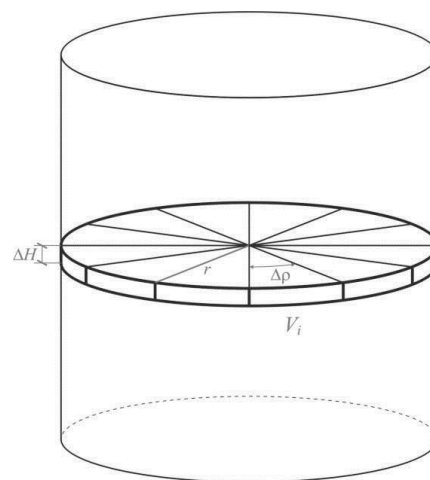
– Значение отклонения для точки p будет равняться среднему значению отклонений точек, попавших в заданный сектор размером a х b . Сектор должен быть такого размера, чтобы внутри него деформации не носили ярко выраженного характера, т.е. данный участок должен быть ровным. Задав вертикальный $d_{верт}$ и горизонтальный $d_{гор}$ шаги для точки p , можно вычислить точный отклонения от вертикали любого количества точек на поверхности РВС с любой плотностью;

– Определение объема РВС. Основными данными, служащими для определения объема РВС, являются данные о геометрии наружных стенок резервуара. Традиционная технология в упрощенном варианте заключается в измерении периметра резервуара, высоты поясов и отклонений образующих резервуара от вертикали (при этом, за нулевое значение для каждого вертикального шва, принимается нижняя часть стенки резервуара). Представление резервуара в виде



$d_{гор}$ – горизонтальный шаг определения отклонений от вертикали;
 $d_{верт}$ – вертикальный шаг определения отклонений от вертикали;
 a, b – горизонтальный и вертикальный размеры сектора, для которого производится осреднение измерений

Рис. 2. Определение отклонений от вертикали по сканерным данным



ΔH – высота пояса; $\Delta \rho$ – угловой размер сектора V_i ;
 r – радиус сектора V_i .

Рис. 3. Определение объема резервуара

единой модели, позволяет получить более точную и достоверную информацию об объеме наружной поверхности резервуара с учетом деформаций стенок. Определение объема резервуара по сканерным данным осуществляется по поясам высотой ΔH (схема представлена на рис. 3), значение которой задается.

Каждый пояс, в свою очередь, разбивается на угловые сектора $\Delta\rho$. Радиус r сектора V_i вычисляется как среднее значение радиусов r_i измеренных точек, попавших в него. Объем сектора V_i равен:

$$V_i = \left(\left(\frac{\Delta\rho}{2} \right)_{(rad)} \cdot r^2 \right) \cdot \Delta H. \quad (1)$$

Объем пояса V_H вычисляется как сумма объемов угловых секторов, либо через нахождение среднего радиуса для всего пояса. Объем резервуара равен сумме объемов поясов. Чем меньше размер поясов и секторов, тем точнее учитывается геометрия наружной стороны стенок РВС. В дальнейшем, в полученные результаты вводятся поправки за влияние различных факторов, предусмотренные стандартом [2]. Конечным итогом вычислений будет являться точное значение объема резервуара;

– Определение положения оси резервуара. Положение вертикальной оси резервуара свидетельствует о величине и направленности его наклона. Применительно к сканерным данным, вертикальной осью будет считаться геометрический центр масс цилиндрической модели резервуара. Для определения положения вертикальной оси используется математическая модель цилиндра, вписанная в точечную модель по методу наименьших квадратов. Ось данного цилиндра является осью РВС, и ее положение свидетельствует о положении центра масс резервуара. При разбиении точечной модели резервуара на небольшие цилиндрические сегменты, аналогично можно определить положение центра масс резервуара на разных уровнях;

– Построение карты деформаций стенок резервуара. Карта деформаций стенок резервуара является графическим представлением деформаций в виде изолиний. Наиболее наглядно такая карта будет выглядеть развернутой на плоскость. Для этого необходимо перевести точки трехмерной модели из цилиндрической в плоскую прямоугольную систему координат, после чего координата Z будет отображать удаление точки от оси резервуара. Полученная точечная модель позволяет создать карту деформации поверхности резервуара, с цветовой кодировкой характеристики Z для каждой точки (рис. 4).

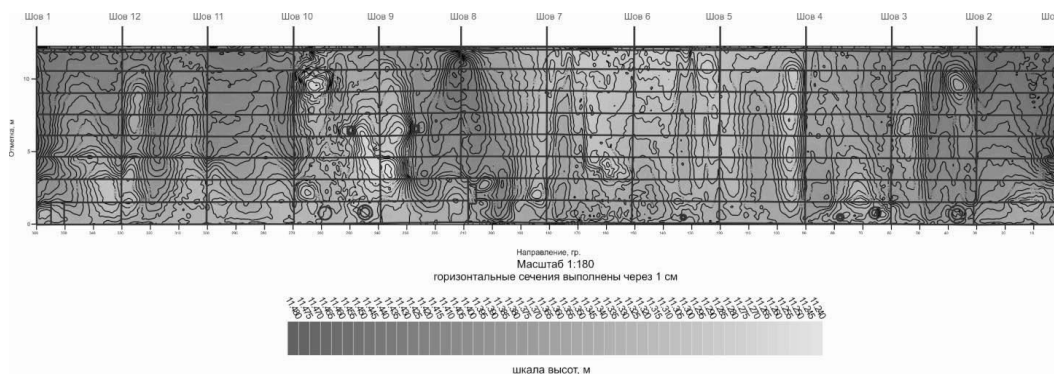


Рис. 4. Карта деформаций поверхности резервуара

Нанесенный на такую карту рисунок сварных швов и мест подключения трубопроводов позволяет оценить и анализировать степень, характер деформаций и их причину.

Заключение

Практические работы подтвердили высокую эффективность применения технологии лазерного сканирования для определения геометрических параметров РВС. Полученные данные позволяют с высокой степенью точности и достоверности решать следующие задачи:

1. Определение отклонения наружного контура днища от горизонтали;
2. Определение отклонения образующих стенки резервуара от вертикали;
3. Определение объема резервуара;
4. Определение положения вертикальной оси резервуара;
5. Построение подробной карты деформации стенок резервуара.

При этом большим преимуществом является, то, что все измерения выполняются дистанционно. Разработанная методика позволяет определять геометрические параметры резервуаров с точностью, в 2 раза превышающей точность единичного измерения сканера. Для сканера Mensi GS200 это значение составит около 0,7 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 08-95-95 Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов.— Введен 01.09.1995.— Москва, 1995.
2. ГОСТ 8.570-2000 Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки.— Введен 01.01.2002.— Минск, 2000.

© А.В. Середович, А.В. Иванов, 2006

УДК 528:902/904
С.А. Прокопьева
СГГА, Новосибирск

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРЕХМЕРНОГО НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АРХЕОЛОГИИ

В археологии геодезическим работам уделяется значительное место. Решение вопросов геодезического обеспечения в полевой археологической практике возможно только после специального анализа метрических и семантических данных для каждого метода проведения археологических раскопок или каждой поставленной исследователем цели.

При производстве археологических исследований возникают следующие геодезические задачи:

1. Топографическая съемка территории археологических работ (в масштабе не мельче 1 : 1 000 в зависимости от величины памятника), составление планов раскопов и профилей местности в едином масштабе не мельче 1 : 20 (не мельче 1 : 10 для планов и разрезов погребений);

2. Топографическая привязка. Топографический план на систему раскопов должен иметь корректную привязку к пунктам Государственной геодезической сети (ГГС) или к топографической карте требуемого масштаба;

3. Определение астрономической значимости археологических памятников и их отдельных элементов. Для этого определяются азимуты предполагаемых астроархеологических направлений и точки ближнего и дальнего горизонта с точностью до одной угловой минуты, выполняется (сегодня в основном традиционными астрономическими методами) решение обратных задач по нахождению небесных координат светил, которые могли восходить или заходить по этим направлениям в определенную эпоху;

4. Восстановление достоверного облика ландшафта и изменений условий его формирования в течение длительного исторического времени.

Для решения указанных задач проводятся комплексные археологические, геофизические и геодезические работы.

Следует особо отметить факт отсутствия в археологии нормативного отраслевого стандарта, регламентирующего выполнение отдельных видов геодезических работ и, следовательно, отсутствие комплексного подхода к формированию точности для совокупности геодезических работ, сопровождающих полевое изучение археологического памятника. В полевой археологической практике распространено и допустимо проведение замерных работ «инструментально-глазомерными» методами с низким уровнем точности: мерной рулеткой, шагами. Вследствие этого, например, соотнесение пространственного местоположения раскопов разных лет по планам связано со значительными трудностями.

Наиболее простым решением указанных задач является использование готового крупномасштабного картографического материала на территорию работ. Однако в отечественных археологических исследованиях это редко возможно по причине отсутствия такового или наличия только устаревшей крупномасштабной картографической информации на незастроенные районы. К тому же план на участок археологических исследований должен отражать специфику конкретного объекта съемки (в частности элементы рельефа должны быть описаны особо подробно для понимания геоморфологической ситуации). Поэтому практически на каждый объект археологических исследований возникает необходимость составлять топографический план. Топографические планы объектов археологических исследований сейчас создаются преимущественно традиционными методами, такими как мензульная, теодолитная, тахеометрическая съемка. Для построения разрезов и профилей раскопов выполняется нивелирование.

В настоящее время на смену традиционным геодезическим методам координатного обеспечения археологических исследований приходят новые технологии, в частности – спутниковое позиционирование и трехмерное наземное лазерное сканирование. В международной археологической практике уже есть яркие примеры применения таких методов.

Технология трехмерного наземного лазерного сканирования позволяет получить детальную цифровую модель археологического объекта и с ее помощью в совокупности решать перечисленные задачи. При наличии цифровой модели появляется возможность проведения различных экспериментов, необходимых для проверки каких-либо гипотез, в камеральных условиях в любой момент времени без возобновления съемочных работ непосредственно на объекте. Преимущества наземного лазерного сканирования, такие как дистанционное определение пространственного местоположения объекта и возможность съемки недоступных для человека участков местности, высокая скорость и точность получения данных, позволяют считать эту технологию полноценной альтернативой традиционным методам съемки.

Применительно к археологическим задачам по имеющейся цифровой модели местности может быть получен крупномасштабный топографический план в требуемой системе координат, определены азимуты всевозможных (только для случая близкого горизонта) направлений и координаты светил, возможно моделирование структурных элементов памятника с целью выявления его достоверного вида и облика палеоландшафтов.

Специалисты Регионального центра лазерного сканирования при Сибирской государственной геодезической академии совместно с археологами из Института археологии и этнографии СО РАН летом 2004 года участвовали в работах, проводимых на севере Хакасии на месте предполагаемого древнего астрокомплекса. Объектом исследований были Сундуки – песчаниковые горы (высотой до 150 м), расположенные в зоне болотистых пойм вдоль реки Июс. За все время археологических исследований (порядка 30 лет) на Сундуках обнаружены множество наскальных изображений, святилища, гробницы, множество площадок предположительно для астрономических наблюдений, прочие установленные человеком останцы, по-видимому, имевшие особое значение для жрецов древности и относящиеся к афанасьевско-окуневской эпохе (рубеж III – II тыс. до н.э.).

Сканирование Сундуков производилось лазерным сканером Riegl LMS Z210 бригадой из двух человек в течение 6 дней. За это время была произведена съемка трех объектов (два каньона Первого Сундука, площадка «Парус» с окрестностями на Третьем Сундуке, Первый скальный храм Четвертого Сундука). Планово-высотное обоснование развивалось в условной (для каждого объекта отдельно) системе координат. Планово-высотное обоснование создавалось прокладыванием теодолитного хода. При этом за исходное было выбрано направление, для которого автономными астрономическими методами был определен истинный астрономический азимут с точностью до 1'. Точность внешнего ориентирования сканов составила 2 см. С использованием полученной трехмерной модели объектов были решены следующие задачи:

1. Составлен топографический план на Первый Сундук, на котором отображены основные археологически значимые элементы объекта. Первичная обработка данных наземного лазерного сканирования производилась в программном продукте Cyclone, построение горизонталей – в программе Surfer. Окончательный вариант плана получен в формате программы MapInfo;

2. Разработана методика определения склонений суточных параллелей светил, которые могли восходить или заходить по исследуемым направлениям на точки ближнего горизонта в ту или иную эпоху. При этом очень ценной оказалась возможность неограниченного варьирования виртуальным положением наблюдателя и направлением наблюдения. Использование модели, созданной по данным наземного лазерного сканирования, позволило определить координаты труднодоступных точек местности, что нельзя было осуществить традиционными геодезическими методами из-за невозможности установить на них прибор;

3. Построена цифровая модель Первого Сундука в виде триангуляционной поверхности, которая использовалась как вспомогательный объект для экспериментальной проверки гипотез археологов о возможности применения скальных образований древними людьми для астрономических наблюдений.

Опыт, полученный при съемке археологических памятников средствами наземного лазерного сканирования, показал высокую эффективность данной технологии и в настоящий момент трудно представить себе другую технологию, которая могла бы составить конкуренцию в плане детальности и оперативности получения информации.

© С.А. Прокопьева, 2006

УДК 528:004

А.А. Деговцов, В.В. Загородний, Д.В. Комиссаров
СГГА, Новосибирск

СОЗДАНИЕ ВИДЕОТРЕНАЖЕРА ПО ДАННЫМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Наземное лазерное сканирование является одной из последних разработок для сбора пространственной информации об объектах. Это одна из технологий, которая позволяет получить наиболее полную метрическую информацию об объектах и использовать её в различных сферах деятельности человека.

Задачи наземного лазерного сканирования во многих случаях сводятся к построению трехмерных моделей по данным, которые представляют собой большой массив точек, описывающих объект съемки.

Модели, полученные по данным наземного лазерного сканирования, могут использоваться не только для целей геодезии и проектирования, но и для решения многих прикладных задач. С целью улучшения восприятия моделей, как реальных объектов, они приводятся к фотореалистичному виду, что во многом способствует расширению области применения полученных моделей. Такие модели можно использовать в целях рекламы, создания видеотренажеров и демонстрационных видеороликов.

Области применения трехмерных моделей во многом зависят от используемых для их построения и визуализации программных продуктов, т. е. от их функциональных возможностей.

Одним из наиболее распространенных редакторов в области трехмерной графики, имеющим широкие функциональные возможности, является программный продукт (ПП) 3D Studio Max. Данный ПП позволяет решать широкий спектр задач, связанных с обработкой, проектированием, построением и визуализацией трехмерных моделей. Кроме того, в 3D Studio Max имеется возможность расширить его функциональное назначение путем использования встроенной объектно-ориентированной программной среды, базирующейся на языке программирования C++.

При совместном использовании программных продуктов, позволяющих обрабатывать непосредственно данные наземного лазерного сканирования и ПП 3D Studio Max была построена и визуализирована трехмерная модель Новосибирского биатлонного комплекса (НБК) по заказу спорткомитета г. Новосибирска и Государственной телерадиокомпании в период подготовки к международным соревнованиям по биатлону, которые проводились в феврале 2005 г.

Построение трехмерной модели НБК выполнено по данным наземного лазерного сканирования с целью подготовки спортсменов к соревнованиям, ознакомления зрителей с размерами, конфигурацией и сложностью спортивных сооружений, повышения зрелищности телевизионных трансляций. Использование трехмерной модели НБК и функциональных возможностей 3D Studio Max был создан видеотренажер для предварительного просмотра трасс перед началом соревнований. Также смоделированы и анимированы трехмерные схемы трасс.

Трехмерная модель НБК включает модели инженерных и технических сооружений (зданий, мишеней, ограждений и т. п.), растительности и цифровую модель рельефа (ЦМР). Построение трехмерных моделей сооружений по данным наземного лазерного сканирования выполнено в ПП Cyclone. ЦМР была построена с помощью программного продукта Surfer. Полученная трехмерная модель экспортировалась в программный продукт 3D Studio Max для моделирования растительности, окончательной обработки и создания фотореалистичных и демонстрационных видеороликов. Моделирование растительности вдоль трасс производилось в соответствии с ее реальным местоположением, которое было определено при обработке точечной модели в ПП Cyclone. На территории лесных массивов НБК виртуальная растительная

среда создана на основе информации о густоте и высоте деревьев, полученной при обработке точечной модели.

Параллельно с лазерным сканированием производилась цифровая фотосъемка НБК. Полученные снимки объектов использовались для создания виртуальных материалов в ПП 3D studio Max с соответствующими текстурами, выполненными либо в растровом, либо в процедурном варианте, и необходимыми свойствами отражения, преломления, прозрачности и т. д. для придания моделям их реальных физических свойств. Созданные материалы использовались для расчета глобальной освещенности, отражения, преломления и рассеивания света при попадании его на модель объекта. Данные характеристики требуются на заключительном этапе создания видеороликов и растровых изображений моделей объектов в ПП 3Ds Max.

Для создания видеотренажера была использована текстурированная трехмерная модель НБК. Схемы трасс были отрисованы в виде сплайнов и спроектированы на поверхность ЦМР, которые использовались для задания траекторий движения виртуальных камер. Сценарий видеотренажера воспроизводит имитацию прохода по всем трассам камерой на высоте среднего человеческого роста. На мониторе на каждый момент времени выводится метрическая информация: удаленность от старта (м), угол следующего поворота трассы в градусах, угол подъема или спуска трассы (градусы) и семантическая информация: направление поворота, спуска или подъема. Также на мини-карту выводится текущее положение лыжника на трассе. Данная информация была получена в результате соответствующих измерений углов поворота, превышений и общей длины трасс по построенной трехмерной модели НБК (рис. 1).

После построения модели НБК и задания параметров виртуальных камер выполнен процесс настройки освещения и визуализации.

На следующем этапе обработки трехмерной модели НБК смоделированы схемы и профили лыжных трасс с целью изучения участниками соревнований маршрутов движения.

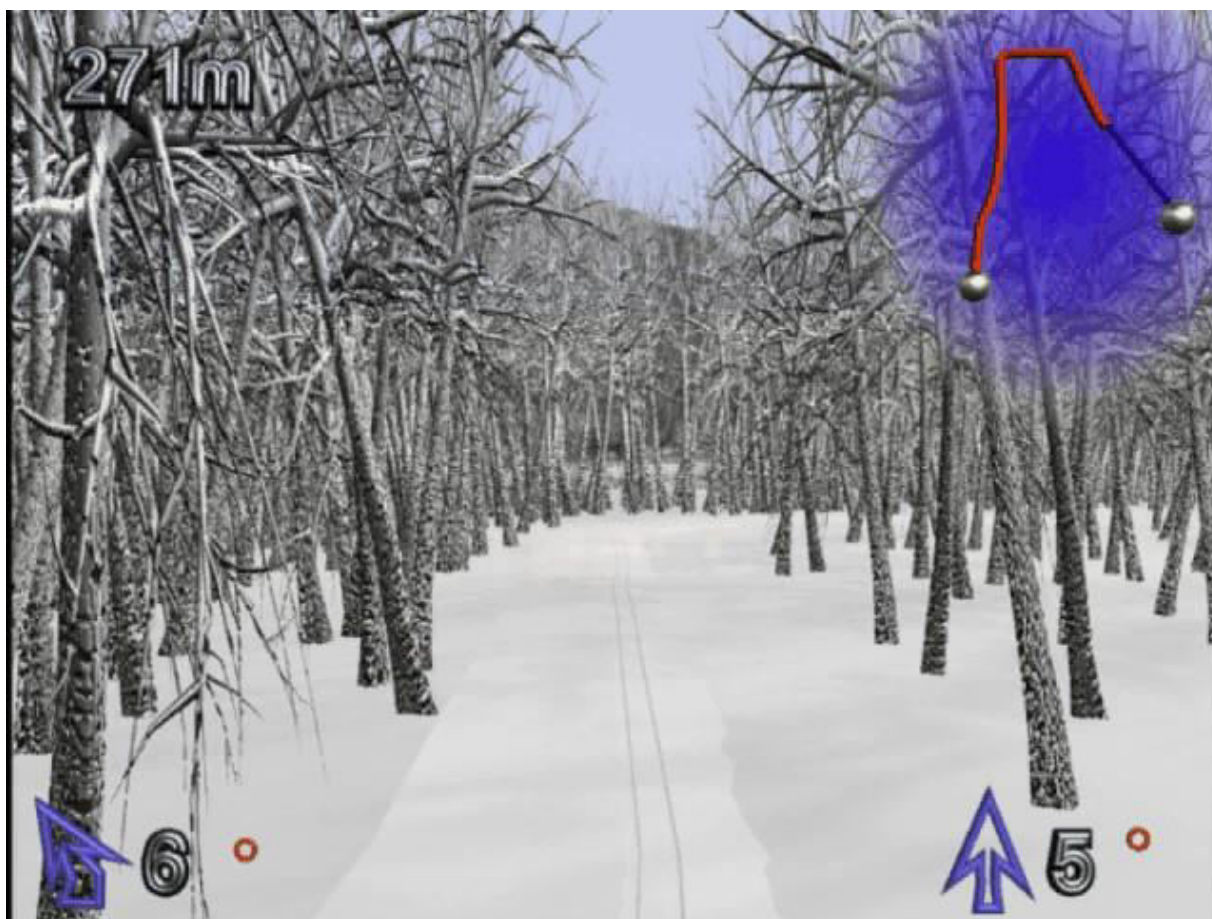


Рис. 1. Стоп-кадр видеотренажера

Схемы трасс были построены в соответствии с топографическими материалами, предоставленными заказчиком. При моделировании схем трасс главной задачей было создание не фотореалистичной модели, а более информативное и наглядное отображение характеристик каждой трассы. Построение профилей трасс выполнено в ПП 3D Studio Max путем проецирования сплайнов, характеризующих форму трасс, на поверхность ЦМР. Таким образом, были получены криволинейные трехмерные профили трасс, описывающие повороты и уклоны. Для более наглядного представления профили лыжных трасс необходимо было развернуть в плоскость с сохранением общей длины трассы и уклонов. С целью распрямления криволинейного профиля лыжной трассы была написана подпрограмма с использованием внутренней среды программирования 3D Studio Max. В созданной подпрограмме реализован алгоритм дискретизации профиля, описанного с помощью сплайна, с сохранением входящих и выходящих векторов вершин сплайна в одной плоскости (плоскости проецирования). Алгоритм предусматривает обработку каждого сегмента сплайна отдельно и деление его только в том случае, если разность расстояний между начальной и конечной точкой, и длиной сегмента превышает установленный допуск. Задача решается итерационно до тех пор, пока, ошибка, вызванная кривизной сегмента, не станет меньше допустимой. После выполнения всех итераций сегменты объединяются в единый сплайн, тем самым, формируя двумерный профиль рельефа.

Построенные схемы трасс НБК транслировались телевидением ГТРК в период проведения Чемпионата Европы по биатлону в 2005 г. В настоящий момент трехмерная модель НБК служит основой для создания интерактивного трехмерного навигатора, который будет использоваться для тренировки спортсменов.

© А.А. Деговцов, В.В. Загородний, Д.В. Комиссаров, 2006

УДК 004

А.В. Середович

СГГА, Новосибирск

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ КОНКРЕТНЫХ ЗАДАЧ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

На современном рынке представлено достаточно много специализированных программных продуктов (ПП), предназначенных для работы с данными лазерных или механических систем трехмерного сканирования. Современное программное обеспечение (ПО) по своему назначению можно условно разделить на две основные группы: управляющее и обрабатывающее. Основные функции управляющего ПО заключаются в управлении трехмерными сканерами, визуализации и манипуляции данными. Набор функций при этом достаточно стандартен для всех ПП данной группы. Обрабатывающее ПО служит для решения специализированных задач с использованием сканерных данных. При этом круг решаемых задач достаточно широк, чем вызваны значительные различия в функциональности ПП. В связи с этим актуален вопрос выбора ПП, наиболее подходящего для конкретных целей, для чего в статье предлагается методика, основным критерием в которой, является количество функций, реализованных в конкретном ПО (функциональная насыщенность).

С целью определения основных функций, реализованных в наиболее распространенных коммерческих программных продуктах, позволяющих работать с данными, полученными лазерными сканерами среднего радиуса действия, был выполнен анализ официальных данных, предоставляемых разработчиками ПО [1-20]. В результате был определен разбитый на группы список основных функций, реализованных в современном ПО, который представлен в сводной табл. 1. Каждая функциональная группа представляет собой обобщенную задачу, которую можно решать с помощью программного продукта. Основываясь на опыте работы с данными лазерного сканирования, каждой функции, в процентном отношении, был задан коэффициент значимости в группе, (сумма коэффициентов в группе равна 100%). После суммирования процентов, были получены значения коэффициентов реализованности ($K_{ГР}$) каждой функциональной группы в конкретном ПО, представленные в табл. 2.

Полученные значения позволяют выполнять анализ возможности применения программных продуктов для решения конкретных задач по следующему принципу:

1) определяются функциональные группы, необходимые для реализации конкретной задачи;

2) для каждой функциональной группы в процентном отношении задается вес p_i в решении поставленной задачи (сумма весов равняется 100%);

3) рассчитывается показатель функциональной насыщенности ПО F для конкретного приложения по формуле:

$$F = \sum_{i=1}^n K_{ГРi} \cdot p_i, \quad (1)$$

где n – количество функциональных групп;

$K_{ГРi}$ – коэффициент реализованности функциональной группы в ПО.

На примере выбора ПО для создания трехмерных моделей нефтегазодобывающих площадок и оборудования, методика выбора ПО работает следующим образом. При трехмерном моделировании технологических объектов основное внимание должно уделяться функциям твердотельного моделирования, работы с точечной моделью, построения двумерных примитивов и триангуляционных сетей.

Таблица 1. Основные функции, реализованные в ПО для обработки данных лазерного сканирования

Группы функций	Экспорт/ Импорт			Ориенти- рование	Работа с точечной моделью			Построение двумерных примитивов			Плоские триангуляционные сети					Твердотельное моделирование					Объемные триангу- ляционные сети и NURBS					Сканер											
ПО	Функции	Импорт сканерных данных других форматов	Экспорт в CAD-программы	Импорт из CAD-программ	Ориентирование сканерных данных по опорным точкам	Ориентирование сканерных данных по перекрытиям	Комплексное ориентирование	Различные цветовые схемы визуализации точечной модели	Фильтрация точечной модели	Выполнение измерений по точечной модели	Построение профилей и сечений по точечной модели	Построение ортоизображений по точечной модели	Построение двумерных примитивов по облаку точек	Независимое построение двумерных примитивов	Создание текстовых объектов	Построение плоских триангуляционных сетей	Редактирование плоских триангуляционных сетей	Текстурирование плоских триангуляционных сетей	Инспектирование плоских триангуляционных сетей	Построение сечений	Построение триангуляционной сети	Определение объемов и площадей плоских триангуляционных сетей	Построение твердотельных объектов по облаку точек	Независимое построение твердотельных объектов	Построение промышленных конструкций	Поддержка библиотек элементов	Поддержка работы со слоями	Измерения по трехмерной модели	Построение объемных триангуляционных сетей	Редактирование объемных триангуляционных сетей	Текстурирование объемных триангуляционных сетей	Работа с NURBS	Инспектирование трехмерных моделей	Выдача отчетов по инспектированию моделей	Определение объемов и площадей трехмерных объектов	Управление одной моделью сканера	Управление несколькими моделями сканеров
		33	33	33	33	33	33	10	30	10	30	20	30	50	20	20	20	20	10	10	20	20	20	30	20	10	10	10	30	10	10	15	15	10	10	70	30
Значимость в группе, %		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Trimble 3Dipsos 3.0			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•		•	•													•			
Trimble RealWorks Survey				•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•		•	•													•			
3rd Tech SceneVision-3D				•		•	•						•		•																						
Callidus 3D-Extractor				•		•									•																						
Cyclone CloudWorx				•	•	•		•	•	•	•			•	•									•													
Cyclone		•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•	•	•	•	•						•	•	
FARO Scene				•	•	•				•	•				•	•							•														
I-Site VoidWorks		•	•				•	•	•	•	•				•	•				•	•		•								•	•		•			
I-Site Studio		•	•	•	•	•		•	•	•	•			•	•					•	•		•											•	•		
Metris Focus Inspection		•	•	•				•	•	•	•			•	•					•	•		•									•	•		•		
Metris Focus Reverse Engineering		•	•					•	•	•	•				•	•																•	•				
Riegl RiSCAN PRO					•		•	•	•	•			•			•		•																		•	
Z+F LFM Modeller				•	•			•	•	•								•							•											•	
PolyWorks/Inspector		•	•	•	•		•	•	•	•				•	•												•							•			
PolyWorks/Modeller		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•	•					•	•		
Inus RapidForm2006		•	•	•			•	•	•	•	•			•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•					•	•	•	
Inus RapidFormXO		•	•	•	•	•	•	•	•	•				•	•	•	•				•	•											•	•	•		
Kubit PointCloud			•	•			•	•	•	•	•		•	•	•								•	•													
Topotek Reconstructor			•		•	•	•	•	•	•	•		•		•	•	•	•											•								
Geomagic Studio				•	•	•	•	•	•	•				•	•	•	•	•			•	•											•	•			

•

- данная функция реализована в ПО

- данная функция в ПО отсутствует

Таблица 2. Коэффициенты реализованности функциональных групп в ПО, %

	Экспорт/ Импорт	Ориентирование	Работа с точечной моделью	Простейшие объекты	Плоские триангуляционные сетки	Трехмерное моделирование	Объемные триангуляционные сетки и NURBS	Сканер
Trimble 3Dipsos 3.0	100	100	100	50	90	70	60	0
Trimble RealWorks Survey	67	67	100	50	100	0	10	0
3rd Tech SceneVision-3D	33	67	10	50	0	0	0	0
Callidus 3D-Extractor	33	67	10	20	50	20	0	0
Cyclone CloudWorx	67	0	80	100	0	90	0	0
Cyclone	100	100	80	100	90	100	0	100
FARO Scene	67	67	60	50	40	30	0	0
I-Site VoidWorks	67	0	80	30	80	0	50	0
I-Site Studio	100	67	80	100	80	0	50	100
Metris Focus Inspection	100	0	70	20	90	0	75	0
Metris Focus Reverse Engineering	100	0	70	20	80	0	65	0
Riegl RiSCAN PRO	0	33	50	30	50	0	0	70
Z+F LFM Modeller	67	33	50	30	40	40	0	0
PolyWorks/Inspector	100	100	50	80	10	10	25	0
PolyWorks/Modeller	100	100	80	100	80	100	65	0
Inus RapidForm2006	100	100	80	50	100	40	100	100
Inus RapidFormXO	100	100	50	20	90	40	75	0
Kubit PointCloud	67	0	80	100	0	90	0	0
Topotek Reconstructor	33	67	100	30	60	10	10	0
Geomagic Studio	33	100	70	20	100	10	100	0

Процентное соотношение функциональных групп в таком ПО можно представить следующим образом:

- Экспорт/импорт – 10%;
- Работа с точечной моделью – 20%;
- Создание/редактирование двумерных примитивов – 10%;
- Работа с плоскими триангуляционными сетями – 10%;
- Твёрдотельное моделирование – 50 %.

Вычислив коэффициенты F для каждого программного продукта, получаем соотношение, представленное на рис. 1.

Установив минимальное значение F на уровне 75% можно с большой долей вероятности сказать, что программные продукты с более высокой функциональной насыщенностью соответствуют решаемым задачам (степень соответствия зависит от значения F). Представленную методику можно использовать на практике.

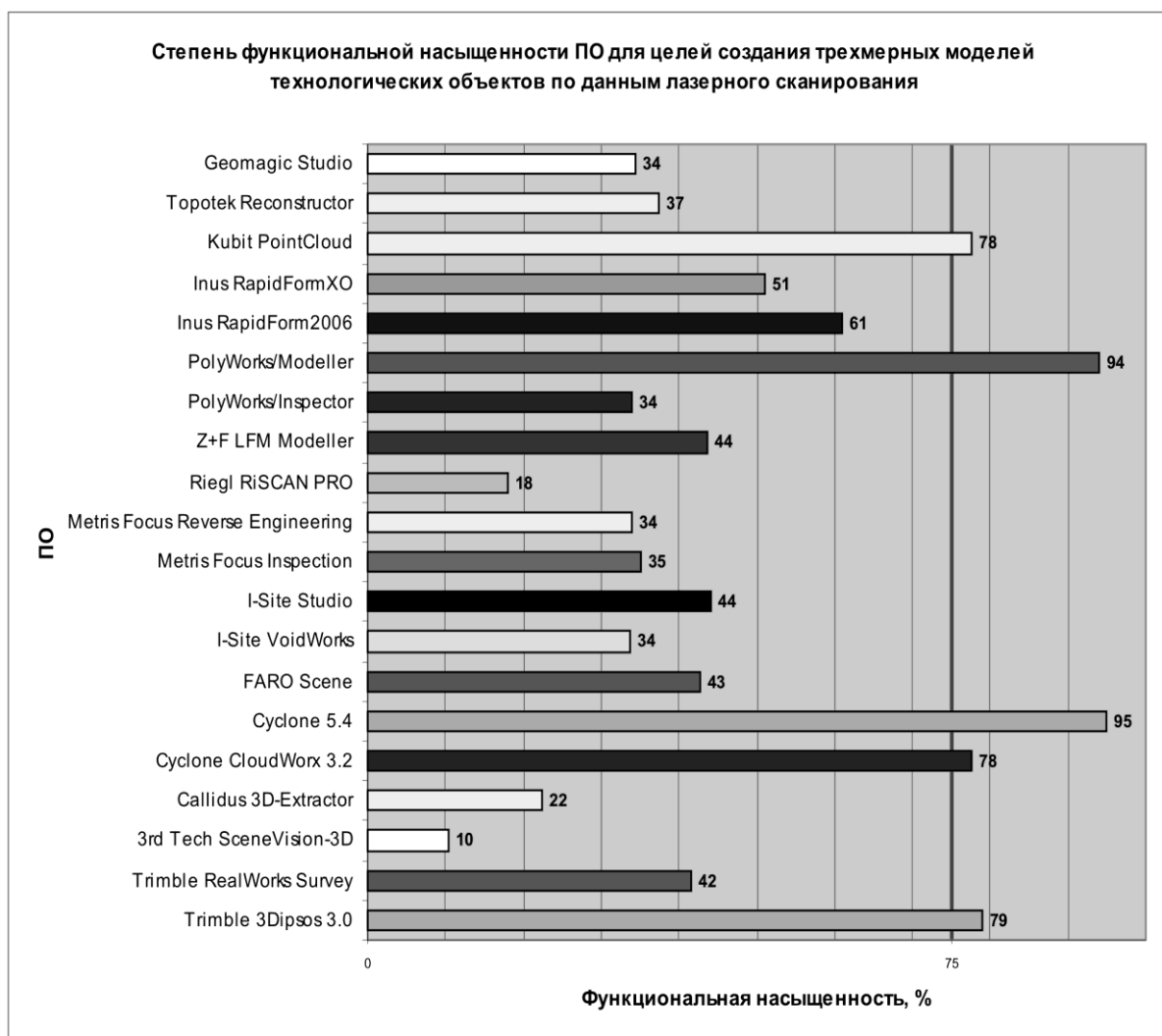


Рис. 1. Коэффициенты функциональной насыщенности ПО для целей трехмерного моделирования

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Trimble – 3Dipsos [электронный ресурс]: сайт компании Trimble – Режим доступа <http://www.trimble.com/3dipsos.shtml>
2. Trimble – RealWorks Survey [электронный ресурс]: сайт компании Trimble – Режим доступа <http://www.trimble.com/realworks.shtml>
3. SceneVision 3D [электронный ресурс]: сайт компании 3rdTech – Режим доступа <http://www.3rdtech.com/SceneVision-3D.htm>
4. Software for CALLIDUS CP 3200:3D [электронный ресурс]: сайт компании Callidus Precision Systems – Режим доступа <http://www.callidus.de/en/cp3200/software.html>
5. Cyclone CloudWorx for AutoCAD & Bentley CloudWorx [электронный ресурс]: сайт компании Leica Geosystems AG – Режим доступа http://www.leica-geosystems.com/hds/en/lgs_6517.htm
6. Cyclone 5.4 3D Point Cloud Processing Software [электронный ресурс]: сайт компании Leica Geosystems AG – Режим доступа http://www.leica-geosystems.com/hds/en/lgs_6515.htm
7. Software - MODEL, SURVEY [электронный ресурс]: сайт компании Faro Technologies Company – Режим доступа <http://www.iqvolution.com/en/Products/Software.php>

8. I-Site Voidworks [электронный ресурс]: сайт компании I-Site Pty Ltd – Режим доступа <http://www.isite3d.com/voidworks.html>
9. I-Site Studio [электронный ресурс]: сайт компании I-Site Pty Ltd – Режим доступа <http://www.isite3d.com/studio.html>
10. Focus inspection [электронный ресурс]: сайт компании Metris – Режим доступа <http://www.metris.com>
11. Focus reverse engineering [электронный ресурс]: сайт компании Metris – Режим доступа <http://www.metris.com>
12. Operating & Preprocessing Software RiSCAN PRO for Riegl 3D Laser Scanners [электронный ресурс]: сайт компании Riegl Laser measurement systems – Режим доступа http://www.riegl.com/terrestrial_scanners/lms-z420i_/420i_all.htm
13. LFM Modeller [электронный ресурс]: сайт компании Zoller + Froehlich GmbH – Режим доступа http://www.zf-laser.com/e_lfm_modeller.html
14. Reconstructor [электронный ресурс]: сайт компании Topotek Survey Technologies – Режим доступа <http://www.topotek.it/rec2engl/index.php>
15. PolyWorks: 3D scanner and 3D digitizer software from InnovMetric Software [электронный ресурс]: сайт компании InnovMetric Software – Режим доступа http://www.innovmetric.com/Manufacturing/what_modeler.aspx
16. PolyWorks: 3D scanner and 3D digitizer software from InnovMetric Software [электронный ресурс]: сайт компании InnovMetric Software – Режим доступа http://www.innovmetric.com/Manufacturing/what_inspector.aspx
17. RapidForm2006 Specification [электронный ресурс]: сайт компании INUS Technology – Режим доступа <http://www.rapidform.com/67>
18. RapidFormXO [электронный ресурс]: сайт компании INUS Technology – Режим доступа <http://www.rapidform.com/12>
19. PointCloud Concept [электронный ресурс]: сайт компании KUBIT GmbH – Режим доступа <http://www.kubit.de/english/index.htm>
20. Geomagis Studio [электронный ресурс]: сайт компании RainDrop Geomagic – Режим доступа <http://www.geomagic.com/products/studio/>

© А.В. Середович, 2006

УДК 528.48

О.А. Дементьева, В.А. Середович, Д.В. Комиссаров
СГГА, Новосибирск

ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ НОВОСИБИРСКОГО ОБЛАСТНОГО ТЕАТРА КУКОЛ

Одной из наиболее перспективных областей применения технологии лазерного сканирования является построение трехмерных моделей памятников культуры и архитектуры. Обычно такие модели используются для разработки проектов реставрации памятников. Однако информационный потенциал, заложенный в трехмерном представлении объекта, позволяет использовать 3D модель для решения более широкого спектра задач.

В марте 2006 года Региональным центром лазерного сканирования СГГА выполнено сканирование Новосибирского областного Театра кукол. Цель данного проекта построение трехмерной модели зрительного зала театра с отображением всех осветителей и прожекторов. Освещение в Театре кукол играет одну из ключевых ролей в ходе проведения спектаклей, поэтому, модель зрительного зала необходима заказчику в формате программного продукта (ПП) 3DStudioMax для дальнейшего моделирования постановки света и проектирования декораций. Также для демонстрации интерьеров театра и разработки виртуального навигатора построены трехмерные модели фойе и музея кукол.

Сканирование помещений Театра кукол выполнялось в течении 7 часов, наземным лазерным сканером Riegl LMS-Z360 (точность единичного измерения 12 мм). Весь интерьер театра был снят с 18 станций в режиме двукратного сканирования. Для связки сканов использовались круглые световозвращающие марки, с возможностью разворота вокруг своей оси без изменения положения координат их центра. Определение координат марок осуществлялась электронным тахеометром Leica TCR405 в условной системе координат. Сшивка сканерных данных выполнялась в ПП RiSCAN PRO с использованием специальных инструментальных средств. Оценка качества внешнего ориентирования сканов во внешней системе координат производилась по разностям координат марок, средняя величина которой по всем 18 станциям составила 7,8 мм. Далее осуществлялось осреднение результатов многократного сканирования и экспорт данных в формат программного обеспечения (ПО) Leica HDS Cyclone 5.2 для дальнейшей обработки.

Программа Cyclone позволяет векторизовать облака точек несколькими методами:

- Вписывание геометрических примитивов в автоматическом режиме;
- Вписывание геометрических примитивов в полуавтоматическом режиме;
- Встраивание примитива в интерактивном режиме.

При использовании автоматической функции оператор из всего облака точек указывает одну, которая принадлежит поверхности встраиваемого элемента. После вызова функции Region Grow программа анализирует соседние точки и выделяет те, которые максимально соответствуют примитиву, после чего в выделенные точки встраивается сам примитив в соответствии с некоторым критерием (например, по методу наименьших квадратов). Качество построения примитива можно оценить по средней квадратической ошибке (СКО) встраивания. Однако данная функция построения требует, чтобы величина шума измерений была на порядок ниже по отношению к размеру самого объекта.

Функция вписывания примитива в «облако» точек в полуавтоматическом режиме является более гибкой, но и трудоемкой, поскольку задачу фильтрации «облака точек» (удаления точек, не принадлежащих примитиву), в которое будет вписываться примитив, решает оператор.

Для некоторых элементов объекта по результатам лазерного сканирования можно определить положение, ориентацию и размер, но величина шума измерений сопоставима или больше размера самого элемента, в связи с чем программа не в состоянии корректно вписать в облако точек нужный примитив. Поэтому такие элементы строились в интерактивном режиме, и точность их встраивания в облако точек оценивалась визуально.

Для построения модели внутренних помещений Театра кукол использовались все перечисленные режимы построения примитивов в той или иной комбинации. Более детально рассмотрим построение модели зрительного зала.

Зрительный зал Театра кукол имеет овальную форму. На стенах зала присутствуют разнообразные элементы декора. Потолок помещения имеет сложную поверхность, на которой расположены осветители различного типа. Пол зрительного зала плоский с наклоном к сцене. В плоскости пола имеются выемки, в которых установлены ряды кресел для зрителей.

Работа по построению модели началась со стен. Для отрисовки рельефной части стены в произвольной точке задавалась базовая плоскость параллельная плоскости X–Y локальной системы координат (функция Set Reference Plane to X–Y Plane). С помощью инструментов визуализации «облако точек» представлялось в ортогональной проекции, т.е. задавался вид сверху (Top View) и ортогональная проекция (Orthographic). Инструмент Limit Box ограничивал необходимый на данный момент работы фрагмент «облака точек», т. е. участок стены, чтобы четко «прочитать» ее форму. Для векторизации использовался инструмент Draw Polygon – построение полигона, с помощью которого прорисовывались все декоративные элементы. Затем по построенной полилинии строилась плоскость (From Curves\Patch), далее она «выдавливалась» на нужное расстояние (функция Extrude). По такому же принципу строились нижняя часть стен и различные декоративные элементы. Плоскости стен строились с небольшим перекрытием, чтобы можно было редактировать модель в AutoCAD для исключения «зазоров» между плоскостями.

Потолок зрительного зала имеет сложную форму, средствами ПО Cyclone построить его поверхность затруднительно. Поэтому, построение этой архитектурной части театра выполнялась в ПП Rapid Form 2004, где потолок был представлен в виде NURBS – поверхности. Затем модель потолка преобразовывалась в формат AutoCad, где она автоматически представлялась в виде Mesh поверхности с необходимым уровнем детализации. Освещение, расположенное на потолке, представлялось в виде примитивов, построенных средствами Cyclone.

Пол помещения представлен двумя плоскостями. Первая плоскость, совпадающая с поверхностью пола, построена в автоматическом режиме. На ней отрисованы полилинии, указывающие места углублений для рядов кресел. На основе данных полилиний исходная плоскость превращена в перфорированную (инструмент Patch\Subtract from Patch). Затем полученная плоскость с помощью функции Extrude «выдавливалась» на расстояние,

совпадающее с высотой углублений. Чтобы закрыть полученные «отверстия» строилась вторая плоскость, идентичная первой, но не перфорированная, далее она «выдавливалась» на произвольную «глубину» и устанавливалась с небольшим перекрытием относительно первой плоскости. Это необходимо для редактирования модели в AutoCAD: исключения зазоров между плоскостями и их дальнейшего объединения.

Места в зрительном зале расположены следующим образом: каждый ряд кресел расположен по дуге, кресла в ряду расположены каждое под своим углом разворота. Для решения задачи моделирования кресел было полностью построено одно кресло из набора примитивов. Построенная модель кресла каждый раз копировалось и с помощью функции поворота и смещения вписывалось в «облако точек» в интерактивном режиме.

Множество прожекторов, находящихся вокруг сцены, обозначались условно (посредством примитива «шар»), так как важно указать именно центр освещения. Затем при дальнейшей работе с моделью в ПП 3DStudioMax примитивы заменял объектами «прожектор». Также построены штанги, на которых крепятся прожекторы.

Следующим этапом работы являлся экспорт модели зала в формат AutoCADa. В AutoCADe проводилось косметическое редактирование модели и дальнейший ее экспорт в ПП 3D-Max. В программном комплексе 3DStudioMax проводилось окончательное редактирование модели (наложение текстур по фотографиям, создание демонстрационных видеороликов и т. д.) и разработка подпрограммы для виртуального управления осветителями сцены с возможностью управления такими параметрами прожекторов, как их направленность, угол поля зрения, сила освещения и цвет используемого светофильтра.

Представленный пример демонстрирует, что трехмерные метрические модели в сочетании с алгоритмами имитационного моделирования в значительной степени позволяют расширить спектр решаемых задач.

© О.А. Дементьева, В.А. Середович, Д.В. Комиссаров, 2006

АТЛАСНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ СИБИРИ

Атласные информационные системы (АИС) по своим функциональным возможностям относятся к высшему классу электронных атласов и могут применяться в виде систем поддержки принятия решений, разработки сценариев развития крупных регионов и их подразделений. Они имеют развитые функции моделирования, могут интегрировать различные базы данных и экспертные системы, оформляться в виде фундаментальных цифровых и традиционных атласов, а также мультимасштабных региональных геоинформационных систем. АИС позволяют визуализировать геопространственные данные и проводить разнообразный анализ, вплоть до разработки оптимальных сценариев развития таких комплексных систем как «природа – общество – хозяйство». Электронное картографирование как метод исследования и моделирования пространственных особенностей подобных систем на примере крупных регионов в России развито недостаточно. Мировой уровень разработок значительно выше. В ряде стран мира: США, Великобритании, Канаде, Японии и др. производится электронное атласное картографирование на основе ГИС, в том числе в целях создания комплексных тематических атласов крупных регионов (на уровне групп стран, для всей страны или группы ее крупных экономических районов) уже более 10 – 15 лет. Однако комплексное картографирование иерархии территорий в составе крупного региона с системных позиций еще не разработано методически и тем более не вошло в практику, что потребует соответствующих исследований.

Использование системного подхода к созданию картографических моделей разного масштабного уровня как комплекса взаимосвязанных произведений, обеспечивающего эффективную обработку, интерпретацию, анализ и обобщение разнообразной информации от уровня федерального округа до ряда его региональных и локальных подразделений позволит формирование полномасштабной АИС.

Анализ используемых и предлагаемых в различных странах индикаторов сбалансированного развития показал отсутствие общепринятой схемы их выделения. Выбор показателей для создания карт разрабатываемой АИС обуславливается прежде всего следующим: наличием информации для картографирования и моделирования; возможностью рассмотрения исследуемых процессов в динамике; сопоставимостью тематических показателей для различных территориальных уровней; возможностью создания интегральных характеристик, отражающих механизмы выравнивания уровней развития различных частей крупного региона и приближения их к сбалансированному экологическому, экономическому и социально-демографическому развитию. АИС позволит провести инвентаризацию,

визуализацию и научный анализ ресурсно-экономической, социально-демографической и экологической ситуации в Сибири. Впервые будут созданы новые типы и сюжеты карт, которые позволят определить конкурентоспособность различных территорий Сибири и оптимальные модели их перехода к устойчивому развитию.

В институтах СО РАН изучению указанной проблемы уделяется большое внимание. Различные аспекты комплексного картографирования природы, хозяйства и населения в Сибири имеют достаточно длительную историю развития. Реализация крупных народнохозяйственных программ, таких как освоение нефтегазовых ресурсов Западной Сибири, создание промышленно-энергетических комплексов в Ангара-Енисейском регионе, в том числе формирование КАТЭКа, комплексное освоение природных ресурсов БАМа и др., потребовала соответствующего картографического обеспечения применительно к целям и задачам, обусловленным спецификой самих программ, их этапностью и региональной приуроченностью.

В целом процесс фундаментального научного картографирования в Сибири прошел ряд важных этапов. В качестве первого этапа можно назвать – этап комплексного инвентаризационно-интерпретационного картографирования природы хозяйства и населения, т. е. собственно комплексного картографирования. Для координации работ по вопросам тематической картографии в 1964 г. по инициативе академика В.Б. Сочавы была учреждена комиссия по комплексному картографированию природы, хозяйства и населения. Комиссия работала на базе Института географии, но была органом Сибирского отделения РАН и выполняла функции общесибирского объединения исследований по картографированию. Под эгидой Комиссии выпускались в свет комплексные картографические произведения в виде фундаментальных региональных и национальных атласов и серий настольных карт, а также в виде многолистных настенных научно-справочных карт. Комиссией СО РАН по картографированию были разработаны крупные научные программы: «Комплексное картографирование природы, хозяйства и населения Сибири», «Картографирование природных ресурсов Сибирской тайги», «Экологическое картографирование Сибири» и другие. В разработке этих и других программ, в создании и выпуске в свет крупных картографических разработок приняли активное участие академические институты, вузы и отраслевые научные учреждения Сибири. Только научными учреждениями Сибирского отделения РАН выпущены в свет более 50 комплексных региональных научно-справочных и учебных атласов и серий карт, более 100 настенных многолистных карт. Например, крупными работами Иркутского научного центра СО РАН в области атласного картографирования явились атласы «Забайкалье», Амурской области, озера Хубсугул, оз. Байкал, Национальный атлас Монголии и др. На многолистных настенных картах, разработанных научными учреждениями СО РАН получили отображение территории Азиатской части России в целом, Западной и Восточной Сибири, юга Западной и Восточной Сибири, Обского Севера, Енисейского Севера и Таймыра, Якутского и Иркутского Приленья, Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМ), Алтайского и

Красноярского краев, Республик Бурятия, Хакасия и Саха (Якутия), Кемеровской, Новосибирской, Томской, Омской, Иркутской и Читинской областей, Ханты-Мансийского, Ямало-Ненецкого, Усть-Ордынского Бурятского автономных округов и другие.

На втором этапе развития комплексного картографирования главное внимание уделялось картографическому обеспечению развития отраслевых и территориальных производственных комплексов Сибири. В целом на этом этапе развитие идей и методик комплексного подхода способствовало формированию системного картографирования, при котором внимание сосредотачивается на целостном отображении природно-территориальных комплексов и их элементов, иерархии, взаимосвязей, динамики, функционирования геосистем [1]. Становление этого фундаментального направления картографии тесно связано с деятельностью В.Б. Сочавы в 1960 – 1978 гг. Очевидным на этом этапе является наличие другого не менее важного направления картографии – картографического обеспечения региональных программ развития, т.е. проблемного картографирования. Становление данного направления связано с деятельностью академика В.В. Воробьева в 1970 – 1990 гг. В это время особо актуализировалась проблематика экологического картографирования. Крупнейшей картографической работой Института географии СО РАН и других институтов Иркутского научного центра СО РАН является атлас «Иркутская область: экологические условия развития». Большое внимание сибирскими учеными было уделено картографированию экологической обстановки в крупнейших городах Сибири. Были созданы серии экологических карт городов Новосибирска, Иркутска, Красноярска, Кемерово, Улан-Удэ, Барнаула и др.

Системное и проблемное направления в географической картографии, а также оперативные задачи решения актуальных вопросов развития Сибирских регионов картографическими методами потребовали основательного развития математических методов и автоматизированных технологий создания карт. Возникновение и совершенствование новых методов картографирования как прямое продолжение системного и проблемного картографирования в новой информационной среде привело к возникновению третьего этапа – геоинформационного картографирования (ГК), которое формируется как узловая дисциплина на пересечении автоматизированной картографии и ГИС, системного картографирования с применением аэрокосмических методов в широком понимании, включая дистанционное зондирование, дешифрирование и цифровую фотограмметрию. Основным импульсом для возникновения и формирования ГК, как узловой дисциплины послужило постоянное внедрение новых версий ГИС-технологий.

Фундаментальное и оперативное картографическое обеспечение решения проблем сбалансированного развития территорий на основе новых геоинформационных методов и технологий стало одним из главных направлений деятельности сибирских ученых в области картографии. Например, в настоящее время Институтом географии СО РАН совместно с Институтом динамики систем и теории управления СО РАН создана система, позволившая перейти от традиционного картосоставления к новым

технологиям, цифровым и ЭВМ-картам и атласам. Богатство и многообразие средств и возможностей информационных технологий для решения задач территориального развития реализуется с помощью использования как большого числа географических карт в качестве баз данных, так и геоинформационных систем разного интеллектуального уровня, которые характеризуются наличием взаимодействия информационно-имитационных моделей с тематическими экспертными системами и развитыми средствами визуализации и графического отображения явлений [2].

Накопленные научные знания по изучению и картографированию различных регионов Сибири, опыт создания крупных фундаментальных атласных произведений, разработанная методология системного экологического картографирования, картографического обеспечения ландшафтного планирования и эколого-хозяйственного зонирования территории, созданная обширная база данных в виде различных тематических слоев пространственной информации позволяют в настоящее время обобщить и отобразить все имеющиеся материалы в виде электронных карт, реализовать концепцию создания мультимедийной интегральной электронной атласной информационной системы Сибири.

Природно-экологический и социально-экономический потенциалы регионов Сибири, возможности современного и перспективного использования природных ресурсов и их охраны в проектируемой АИС должны представляться таким образом, чтобы она могла быть использована при разработке хозяйственных, экологических и социальных инновационных проектов и мероприятий. Этому будут способствовать следующие разрабатываемые возможности АИС: 1) системное отображение и анализ эволюционно-исторических, политико-правовых, национально-религиозных аспектов, природно-ресурсных, экономических, демографических, социально-культурных предпосылок, экологических и инновационных факторов сбалансированного регионального развития; 2) разнообразие и мультимасштабность картографического материала, выражающиеся в сочетании макрорегионального (общесибирского), регионального (областного, краевого, республиканского), локального (районного и муниципального) уровня отображения информации и в отображении информации по проблемным узлам и ареалам; 3) пригодность для принятия решений и управления (наличие карт для оценки, нормирования, оптимизации, планирования, мониторинга, регулирования); 4) возможность информационно-поисковых функций и удобные формы диалога с пользователем; 5) возможность интегрированной обработки картографических и текстовых данных; 6) возможность легкой адаптации электронного атласа к изменениям форм входных и выходных документов, а также структуры базы данных; 7) наличие разнообразных моделей данных, специализированных по задачам обработки и использования информации, тесно интегрированных между собой в поддерживающей атлас информационной системе.

В целом АИС станет необходимым инструментом управления развитием территорий. Она особо эффективна при многоуровневом, многофакторном и

оперативном картографическом обеспечении территорий, призвана обеспечить принятие оптимальных решений в области устойчивого развития регионов Сибири. Сведенные в единую систему базы данных, картографические, аэрокосмические и текстовые материалы, оформленные как гипермедийная конструкция, способная воспроизводить электронные карты, гипертекст, серию карт-прогнозов, карт-эталонов, карт-рекомендаций и др. дадут возможность получить наиболее полную характеристику состояния крупного региона, его внутренних территориальных подразделений в сравнении с другими частями страны и определения стратегии его развития. Данная система сможет послужить основой при последующем создании постоянно действующей электронной атласной информационной системы, доступной в полном объеме для ее использования через Интернет.

Основные задачи, решаемые АИС: инвентаризация и обобщение ресурсно-экологической, социально-экономической и другой информации о регионе; оценка и прогнозирование индикаторов регионального развития, в частности экологической обстановки при разных исходных предположениях; информационная поддержка мероприятий, предупреждающих развитие неблагоприятных экономических и экологических ситуаций.

Основные особенности АИС – системность, целенаправленность, высокая оперативность и многовариантность при создании и воспроизведении новых компьютерных карт. Такое сочетание свойств достигается высокой наукоемкостью системы, включением в ее состав географических, картографических и других баз знаний, оригинальных моделей и методов прикладной математики и искусственного интеллекта, в частности средств логического вывода и многокритериального принятия решений.

АИС обладает фундаментальными свойствами капитальных атласов, аккумулирующих устоявшиеся, тщательно проверенные научные знания и поэтому рассчитаны на многократное и многоцелевое использование. Ей присущи также признаки оперативных карт-документов, способных удовлетворить быстро меняющиеся интересы благодаря возможности интеграции электронных слоев и генерации новых пространственных структур, а также использования обширной базы данных.

Создание АИС конкретного крупного региона потребует его интегрированного изучения (соединение экологических, природоохранных и социально-экономических компонентов), что станет возможным при наличии целенаправленно разработанной комплексной программы электронного картографирования. Последнее рассматривается нами как процедура подготовки объективной и доступной информации о картографируемых объектах и явлениях для решения поставленных задач. Для трансформации исследовательских материалов в конструктивную электронно-картографическую модель необходимы: определение круга вопросов, подлежащих изучению; установление порядка их разработки; выбор методов и способов электронного картографического моделирования результатов теоретических разработок. Часть электронных карт разрабатываемой АИС могут быть созданы на основе предварительно составленных бумажных версий.

При этом использование научных принципов их составления и технологии системно-экологического картографирования обеспечит возможность целенаправленного анализа и интерпретации физико-географической, социальной и экономической информации, что позволит легко перейти к созданию оценочных экономических и экологических электронных карт нового содержания. Для характеристики динамики, тенденций и взаимосвязей развития будет создан целый ряд тематических карт-эталонов, карт-прогнозов, карт-рекомендаций и других математико-картографических моделей. Большая группа таких карт будет конструирована путем непосредственного воспроизведения из предварительно сформированной обширной базы данных.

Предполагается разработка гипермедийной ветви АИС на примере картографирования всей Сибири, его отдельных регионов и модельных участков. Картографирование в АИС Сибири будет осуществлено на разных масштабных уровнях, соответствующих территориальному охвату: локальном – 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000 (по городам и другим населенным пунктам Сибири); субрегиональном – 1 : 100 000, 1 : 200 000 (по муниципальным образованиям второго уровня, урбанизированным и аграрным территориальным комплексам); региональном – 1 : 1 000 000, 1 : 1 500 000, 1 : 2 000 000, 1 : 2 500 000, 1 : 3 000 000 (по субъектам РФ); межрегиональном – в масштабе 1 : 1 000 000, 1 : 2 000 000, 1 : 3 000 000, 1 : 5 000 000 (например, Байкальский регион); макрорегиональном (общесибирском) – 1 : 7 500 000.

Предварительно разработаны структуры тематического наполнения атласной информационной системы на разных масштабных уровнях: на локальном - на примере городов Иркутск [3]; муниципальном второго уровня – на примере Иркутского района Иркутской области; региональном - на примерах Иркутской области, Республики Бурятия; на межрегиональном – на примере Байкальского региона (Республика Бурятия, Иркутская область с Усть-Ордынским Бурятским автономным округом и Читинская область с Агинским Бурятским автономным округом), на макрорегиональном на примере Сибирского федерального округа.

Таким образом, концепция АИС Сибири предполагает предметное изучение и картографирование главных факторов, которые влияют на достижение основной цели развития территорий – повышению уровня и качества жизни населения, а фундаментальная картографическая обеспеченность многих регионов Сибири, достигнутая в первую очередь благодаря разработкам Институтам СО РАН позволит создать единую интегрированную атласную информационную систему, позволяющую обобщить фундаментальные научные знания о регионах Сибири в картографической форме, выявить и отобразить территориальные системы и зоны роста и развития, сохранения и санации, сформировать картографический имидж региона, провести инвестиционный маркетинг (подготовить территорию для инвестиций), оперативно создавать комплексные прикладные карты для муниципальных образований, фирм и предприятий, создать эффективные и наглядные картографические произведения учебно-образовательного назначения. В связи с реализацией проекта будет создана обширная база

цифровых картографических данных, разработаны электронные и полиграфические варианты атласов различных регионов Сибири и в целом на ее территорию.

В настоящее время разработан и выпущен в свет атлас на территорию Иркутской области, которая в течение длительного времени не имела своего современного полноценного и комплексного картографического имиджа. Атлас Иркутской области 1962 года стал библиографической редкостью. Новый атлас Иркутской области восполнит данный пробел, явится необходимым элементом в системе информационного обеспечения решения большинства проблем устойчивого развития крупного региона в Сибири.

Предназначенность большинства карт этого фундаментального атласа – дать возможность увязать отображаемые на карте экологические связи и явления с широким географическим фоном разнообразного тематического спектра, а также отобразить конкретные показатели тех или иных отклонений в системе природопользования, с тем, чтобы устранить их в ходе мероприятий по ее рационализации. Органы власти и управления разных уровней, научные, учебные, проектные, производственные и другие учреждения, общественные организации и движения получают достоверный материал для формирования научно-технических и иных проектов, программ и инициатив территориального развития с учетом ресурсной и экологической составляющей.

В настоящее время атлас по фундаментальности, разнообразию и согласованности содержания, многоаспектности и полноте набора сюжетов, выбору масштабного ряда карт, методам моделирования и графического отображения и рядом других характеристик не имеет подобных себе аналогов и может служить типовой моделью для распространения на другие регионы Сибири и России в целом.

Одновременно с выходом классической типографской версии атласа выпущен в свет его электронная версия на компакт-дисках и разработана цифровая версия атласа в виде региональной информационно-картографической системы. Цифровой вариант атласа с учетом всех возможностей представляет не только набор иллюстративных картографических материалов, а становится совокупностью связанных баз данных, сформированных на единой концептуальной и методической основе. Такая база данных поддерживается инструментальными средствами ГИС, позволяющими решать пользовательские задачи - продуцировать на основе базовых карт неограниченное множество производных карт и других иллюстративных и отчетных материалов различного вида и содержания. Программа цифрового проекта атласа предусматривает возможность использования электронных картографических материалов соответствующими организациями и службами местных органов власти при выработке социально-экологических, эколого-экономических и экономических приоритетов. Использование таких материалов позволит осуществлять оперативный контроль и постоянное слежение за деятельностью природопользователей, своевременно выявлять негативные тенденции, связанные с конкретными режимами и формами природопользования.

Цифровой вариант атласа «Иркутская область: экологические условия развития» является ключевым звеном и основой разрабатываемой АИС Сибири. Изначально новый атлас Иркутской области был задуман как составная часть атласа устойчивого развития Байкальского региона, основной целью составления которого было создание единого геоинформационного пространства для разработки и совершенствования системы управления в Байкальском регионе. В свою очередь основное значение атласа устойчивого развития Байкальского региона как электронно-картографического образа одного из крупнейших территориальных образований Сибири заключается в том, что он вносит существенный вклад в развитие национальных информационных ресурсов Сибири и России в целом.

Выпущенный в свет атлас «Иркутская область: экологические условия развития» содержит 175 карт, которые дополнены диаграммами, графиками, схемами, таблицами, фотокартами и цветными фотографиями. Сопровождающий карты текстовый материал в виде научных статей составляет 10 печатных листов. Большинство карт атласа создано для территории Иркутской области и Усть-Ордынского Бурятского автономного округа в представленных содержании и масштабах впервые и каждая из карт может рассматриваться как самостоятельное научное произведение фундаментального уровня, выполненное на основе новых теоретических и методических разработок, с привлечением новейших данных полевых стационарных и маршрутных наблюдений и съемок, лабораторных опытов и экспериментов, обширного статистического и цифрового картографического материала ведущих научных коллективов Иркутского научного центра СО РАН, других научных учреждений и вузов Иркутска.

Атлас имеет разветвленную организационную структуру, призванную всесторонне отобразить природные и антропогенные факторы формирования экологической обстановки в регионе, динамичные во времени и пространстве элементы, явления и условия окружающей среды.

Во вводном разделе помещены карты, показывающие географическое положение Иркутской области, ее физико-географический облик и административно-территориальное устройство, сеть поселений и систему расселения, размещение и плотность населения, людность и функциональные типы населенных пунктов. Карты населения составлены на основе данных переписи населения 2002 года.

Первая часть атласа, состоящая из трех разделов, отображает природные условия формирования экологической обстановки. На картах первого раздела отображены геолого-геодинамические, геохимические и геоморфологические факторы формирования экологической обстановки. Карты второго раздела комплексно отображают климатические, водные и криогенно-гляциальные факторы формирования экологической обстановки и условия сбалансированного развития области. В третий раздел включены карты, отображающие эдафические (почвенные), биотические (геоботанические, зоогеографические, эколого-фаунистические), и комплексные или геосистемные факторы формирования экологической обстановки. В разделе имеется важная

группа карт геосистемного содержания: "Ландшафты Иркутской области», "Ландшафты Верхнего Приангарья", "Эколого-ландшафтно-геохимическое районирование Иркутской области» и другие, где основной является инвентаризационная ландшафтная карта Иркутской области. Ее назначение – показать разнообразие природных условий территории области на основе отображения ландшафтно-типологических комплексов геосистемного содержания. В группе природных карт ландшафтные карты характеризуют новый качественный этап обобщения природных взаимосвязей, которые выявляются ординацией рельефа, литологии, почв, климата и биоты. Они являются наиболее универсальными и отражают закономерности геосистем по отношению ко всей совокупности структурных и динамических природных особенностей территории Иркутской области. Карты могут служить комплексной основой ландшафтно-экологического обеспечения разнообразных задач регионального природопользования и схем системно-экологических обоснований развития хозяйственного комплекса при освоении.

Вторая часть атласа состоит из двух разделов. Четвертый раздел, открывающий вторую часть атласа, посвящен комплексной характеристике медико-географической и социально-гигиенической обстановок на территории Иркутской области. На картах данного раздела впервые комплексно отображены разные аспекты связей показателей здоровья населения с факторами окружающей среды. Комплексное картографирование взаимодействия населения с географическими типами среды обитания – одно из важнейших направлений современных региональных эколого-географических исследований. Наиболее комплексно эти взаимодействия отражаются в разделе с помощью ряда генеральных карт районирования: демоэкологического, ландшафтно-эпидемиологического, биогеохимического, медико-экологического и рекреационно-экологического. Основное содержание этих карт составляют показатели состояния здоровья населения, комфортности проживания в условиях пространственной дифференциации окружающей среды и медико-экологической, санитарно-гигиенической ситуации, оцениваемого по ряду демографических, медицинских и санитарно-гигиенических параметров.

Пятый раздел посвящен всестороннему отображению антропогенных факторов формирования экологической обстановки и качества окружающей среды. Все карты данного раздела являются оригинальными, они помещаются впервые в региональном атласе. В совокупности они отражают большинство факторов антропогенного воздействия на природную среду и формирования современного качества окружающей среды.

Раздел является одним из самых крупных в атласе и состоит из следующих групп карт: 1) карты, отображающие воздействие антропогенных факторов на окружающую среду (техногенное и селитебное воздействие: воздействие системы геологоразведочных работ, горнодобывающей и топливно-энергетической промышленности, различных отраслей обрабатывающей промышленности, в особенности химической и нефтехимической, лесопромышленного и агропромышленного комплексов, транспорта и других систем коммуникации, коммунальной сферы, селитебной и рекреационной зон

и др.); 2) карты отображающие реакцию и состояние среды в результате антропогенного воздействия (загрязнение подвижных сред: атмосферного воздуха и поверхностных вод; загрязнение депонирующих сред: снежного покрова и криогенных систем, донных отложений водоемов и водотоков, почвы; эрозию почв и другие почворазрушающие процессы, нарушенность и трансформацию лесных и сельскохозяйственных земель; загрязнение природных комплексов: нарушенность ландшафтов); 3) карты, отображающие состояние биоты (лесопатологическая обстановка, нарушенность растительности и животного мира, акклиматизация и реакклиматизация диких животных др.; 4) комплексные эколого-географические карты и карты экологических районов.

В раздел включены карты, показывающие использование вторичных ресурсов и характеризующие интегральные качества окружающей среды. К последним относятся карты территориальной структуры факторов экологического риска, районов экологической опасности и территориальных систем обеспечения экологической безопасности. В завершение раздела помещены комплексные карты: «Комплексная характеристика экологических условий жизнедеятельности населения», «Экологически безопасная территориальная организация социально-экономического комплекса», «Особо охраняемые территории и объекты» и карта «Экологическое зонирование Байкальской природной территории».

Концепция устойчивого развития родилась в условиях глобального компромисса, пытающегося примирить различия в подходах между развитыми и развивающимися странами и регионами, между экологическими потребностями и экономическими основами современного общества. Проблема осложняется еще и тем, что существуют естественные макрорегиональные и региональные различия в исходных позициях вероятного перехода к устойчивому развитию.

Вышесказанное создает значительные трудности для картографического изучения проблем устойчивого развития. Методологической основой их преодоления должно стать изучение опыта создания региональных экологических и других тематических атласов и создание на их основе АИС регионов. В современных условиях формирования новых подходов и принципов управления регионами при их переходе к устойчивому развитию эти атласы становятся не только необходимым элементом в системе информационного обеспечения решения большинства проблем развития конкретной территории, но и комплексным произведением, имеющим большое научное, культурное и образовательное значение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Салищев К.А. Национальные и региональные атласы (принципы и перспективы). – Пути развития картографии. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1975. – 197 – 209.
2. Антипов А.Н., Батуев А.Р. Экологический атлас г. Иркутска и его пригородной зоны // Экологическое картографирование на современном этапе: Тез. докл. X Всесоюз. конференции по тематической картографии. – Л., 1991. – Кн. 2. – С. 60 – 62.

3. Воробьев В.В., Васильев С.Н., Антипов А.Н. и др. Интеллектуальное информационно-картографическое обеспечение устойчивого развития Байкальского региона // География и природ. ресурсы. – 1995. – № 1.

© А.Р. Батуев, 2006

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ БАКАЛАВРОВ И МАГИСТРОВ ГЕОГРАФИИ И КАРТОГРАФИИ В ИРГТУ

В соответствие с требованиями Федеральных законов "Об образовании" и "О высшем и послевузовском образовании", высшее учебное заведение, имеющее статус университета, должно обеспечивать возможность получить образование любого уровня. В связи с этим в Иркутском государственном техническом университете (ИрГТУ) организуется магистерская подготовка по направлению 511400 «География и картография».

Цели такой подготовки:

- Обучение молодых граждан к самостоятельной деятельности, требующей широкого образования в соответствующем направлении и углубленной профессиональной специализации, владения навыками научно-исследовательской и научно-педагогической работы;
- Подготовка смены профессорско-преподавательского состава и научных работников университета путем подготовки кандидатов к обучению в аспирантуре.

На кафедре Инженерной геодезии и картографии ИрГТУ выполняется подготовка к открытию магистратура по направлению 511400 – География и картография

При этом создается возможность получения образования трех уровней:

- Бакалавр (срок обучения 4 года);
- Специалист (5 лет);
- Магистр (6 лет).

Выпускник – бакалавр географии и картографии может занимать должности, требующие высшего профессионального образования: картографа, картографа-составителя, редактора карт, инженера, техника-картографа.

При условии освоения образовательно-профессиональной программы педагогического профиля бакалавр может занимать должности, относящиеся к педагогической деятельности в колледжах, общеобразовательных учреждениях и учреждениях среднего профессионального образования.

Деятельность бакалавра по географии и картографии направлена на: составление и исследование свойств географических карт, их использование в научной и практической деятельности, развитие тематического и комплексного картографирования с использованием средств дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий, формирование картографических информационных систем.

Он должен быть подготовлен к решению следующих задач:

- Проведение полевых топографо-геодезических работ;
- Использование аэрокосмической информации при создании тематических карт разного содержания и типов;
- Проектирование и составление общегеографических и тематических карт, в том числе экологических и инженерно-экологических карт;
- Автоматизированное создание карт на основе геоинформационных технологий;
- Участие в разработке ГИС разного типа и проблемной ориентации;
- Участие в создании фундаментальных картографических произведений – серий карт и комплексных атласов.

Бакалавр имеет возможность продолжить образование по пятилетней программе специалистов или обучаться в магистратуре.

Нормативный срок освоения основной образовательной программы магистра по направлению 511400 – География и картография при очной форме обучения – 6 лет, в том числе – 4 года подготовки бакалавра и 2 года специализированной магистерской подготовки.

Выпускник - магистр по направлению «География и картография» должен быть широко эрудирован, обладать фундаментальной научной базой, владеть методологией научного творчества, современными геоинформационными технологиями, методами получения, обработки и хранения научной картографической информации, быть готовым к научно-исследовательской работе в области создания и использования картографических произведений, к проектно-производственной и научно-педагогической деятельности.

Он может занимать должности, требующие высшего профессионального образования: картографа, картографа-составителя, редактора карт, научного редактора, младшего научного сотрудника, ведущего инженера.

При условии освоения программы педагогического профиля магистр географии и картографии может занимать должности, относящиеся к педагогической деятельности в вузах, колледжах, общеобразовательных учреждениях и учреждениях среднего профессионального образования.

Магистр должен быть подготовлен к обучению в аспирантуре по научным специальностям: 25.00.33 – Картография, 25.00.35 – Геоинформатика, а также по научным специальностям, родственными данному направлению: 25.00.23 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов, 25.00.24 – Экономическая, социальная и политическая география, 25.00.25 – Геоморфология и эволюционная география, и другим смежным специальностям.

Из перечня аннотированных магистерских программ в ИрГТУ выбраны:

511403 – Геоинформационное картографирование, в программу которого включены: сбор, систематизация, кодирование географической информации; формирование баз и банков данных, баз знаний; цифровая фотограмметрическая обработка данных дистанционного зондирования; развитие компьютерного тематического картографирования, включая

оперативное и динамическое картографирование; создание новых видов геоизображений; разработка программного обеспечения; создание и эксплуатация ГИС разных территориальных уровней, назначения и проблемной ориентации.

511405 – Экологическое картографирование, его программа предусматривает: сбор, анализ и оценка эколого-географической информации; развитие принципов и критериев экологического картографирования; разработка содержания и методов составления эколого-географических карт и атласов; создание экологических ГИС разных территориальных уровней, назначения и проблемной ориентации; разработка и создание инженерно-экологических карт на топографической основе с использованием космической информации.

Для реализации образовательной программы магистра географии и картографии разработан учебный план, за основу которого взят ныне действующий план подготовки картографа-специалиста со значительным его усовершенствованием и модернизацией.

Разработанный учебный план по программе подготовки бакалавра имеет следующие циклы:

Общие гуманитарные и социально-экономические дисциплины; общие математические и естественнонаучные дисциплины; общепрофессиональные дисциплины направления; специальные дисциплины; факультативные дисциплины;

По программе подготовки магистра их дополняют: дисциплины направления специализированной подготовки; специальные дисциплины магистерской подготовки; научно-исследовательская и научно-педагогическая работа.

В перечень спец. дисциплин подготовки бакалавра включены: топография с основами геодезии, картоведение, математическая картография, полевая картография, аэрокосмические методы, географическое картографирование, экологическое картографирование, географические информационные системы, отраслевые карты и планы, геоинформационное картографирование, картографический метод исследования, редактирование карт, организация и экономика картографического производства, актуальные проблемы картографии.

Специальные курсы дополнены дисциплинами географической направленности: общее землеведение, биология с основами экологии, физическая и экономическая география Мира и России, история и методология географии.

Предлагаются дисциплины, изучаемые по выбору студентов: история картографии, картографический дизайн, учебная картография, рекреационная картография, государственный земельный кадастр.

Для обучающихся в магистратуре в план обучения включены дисциплины: проблемы глобального картографирования Земли, системное картографирование, картографическая семантика и семиотика, космическая

картография, ландшафтоведение, организация научных исследований, основы предпринимательского дела.

Для обучения бакалавров и магистров в ИрГТУ создана соответствующая материально-техническая база и учебно-методическое обеспечение:

1. Оборудован компьютерный класс с обеспечением ряда программных продуктов (ПП) – «Панорама», «Map Info»; в ближайшее время предусматривается обеспечение ПП ФЦС «Фотомод», «Нива» и др.;

2. Разработан ряд учебных пособий и методических указаний по основам дистанционного зондирования и космической картографии, основам регионального экологического картографирования, аэрокосмическим методам и цифровой фотограмметрии, цифровой и рекреационной картографии и картографическому дизайну;

3. Подготовлены электронные варианты лекционных занятий и мультимедийного сопровождения по ряду картографических и географических дисциплин;

4. На кафедре ИГиК ИрГТУ разработаны, составлены и изданы ряд традиционных (бумажных) и электронных экологических, инженерно-экологических и ресурсных карт на территории Байкальского региона, широко используемых в учебном процессе и НИР;

5. Подобраны комплекты и серии научно-справочных тематических карт по основным направлениям географической науки и других наук о Земле;

6. Имеются комплексные научно-справочные, учебные и популярные атласы, в т.ч. электронные на территорию Мира, России, Байкальского региона;

7. Создан архив топографических карт и материалов аэрокосмического зондирования (аэро- и космоснимки, фотокарты и др.).

Кафедра ИГиК имеет оборудованный учебный полигон на Байкале и проводит учебные топографические и картографические практики на территории нац. парка «Тункинский» в Южном Прибайкалье.

Современный Иркутск, имея большие картографические историю и традиции, в настоящее время располагает уникальными возможностями для дальнейшего развития современной картографии на новом научно-техническом уровне.

В Иркутске работают крупные гражданские и военные топографо-геодезические, картографические и кадастрово-землеустроительные организации: ФГУП Восточно-Сибирское аэрогеодезическое предприятие Роскартографии, Восточно-Сибирский филиал Госземкадастръемки (ВИСХАГИ), Областная земельно-кадастровая палата, Фотограмметрическая войсковая часть и Военная картографическая фабрика ВТУ МО РФ и ряд других организаций.

В составе Иркутского научного центра СО РАН ведут научно-картографические исследования Институт географии, Институт земной коры, Институт геохимии и др.

Поэтому студенты картографического профиля имеют прекрасные возможности проходить производственные и научно-производственные

практики на базе многих производственных, инженерно-исследовательских и научных организаций города Иркутска, а также на территориях административных районов Иркутской области и Усть-Ордынского бурятского автономного округа, а также в соседних субъектах РФ – Красноярском крае, в Республике Бурятия, в Саха-Якутии, в которых специалисты картографического профиля не готовятся.

В связи с этим можно заключить – бакалавры и магистры географии и картографии ИрГТУ будут востребованы на территории Восточной Сибири многие – многие годы XXI века.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования (ГОС ВПО) направления 511400 «Геодезия и картография»
2. Степень (квалификация) бакалавр географии и картографии (номер гос. регистрации – 107 ЕН/бак.);
3. Степень (квалификация) магистр географии и картографии (номер гос. регистрации – 108 ЕН/маг.) – М.: Мин. Образования РФ, 2000.

© Е.В. Клевцов, Л.А. Пластинин, 2006

УДК 528.94

И.Н. Ротанова

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

РОССИЙСКОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ НА РУБЕЖЕ ВЕКОВ: АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ И ПОДХОДОВ И ОПЫТА

В исследованиях современных экологических проблем особая роль принадлежит географическим тематическим картам, отражающим факторы воздействия человека на природно-территориальные комплексы, вопросы охраны окружающей среды, комфортности условий проживания населения. Такие карты получили название экологических. Экологическое картографирование активно развивается в последние полвека и является одним из основных средств географического познания действительности, моделирования состояния окружающей среды, а также неотъемлемым элементом в решении вопросов рационального природопользования, охраны природы и устойчивого развития.

При проведении анализа экологического картографирования России было изучено более 1 800 литературных и картографических источников: монографии, статьи в научных журналах (15 наименований), публикации в сборниках научных трудов, в материалах международных, всероссийских и региональных конференций, карты, атласы, авторефераты кандидатских и докторских диссертаций за период 1990 – 2005 гг. Исследование позволило получить представление о научных подходах, принципах, основных направлениях, методиках экологического картографирования.

Несмотря на различия в методиках, объектах и задачах экологического картографирования, специалистами, занимающимися вопросами экологического картографирования, выработано общее мнение по многим концептуально-методологическим аспектам данного научно-практического направления. В интегрированном виде это можно сформулировать в следующих положениях:

- Методологическая база эколого-географического картографирования (ЭГК) базируется на теоретических основах комплексного картографирования сложно организованных объектов;

- ЭГК как молодое развивающееся научное направление характеризуется разнообразием теоретических установок, способов анализа информации и различием в объектах исследований;

- В ЭГК выделяется несколько основных концептуальных направлений: биоцентрическое, антропо- и демоцентрическое и геосистемное;

- Исходной базой ЭГК являются теоретические, методические и практические разработки таких направлений научных исследований, как природоохранное, ландшафтно-экологическое, медико-экологическое, водно-экологическое, рекреационное, проблем природопользования и других, которые активно развиваются в современной географической картографии;

- Главное средство ЭГК – моделирование процессов, возникающих при взаимодействии общества и природы и определяющих состояние окружающей человека среды на конкретной территории;

- Эколого-географические карты являются результатом комплексных междисциплинарных исследований;

- ЭГК – активная "точка роста" на стыке географии, картографии, биологических, социально-экономических, инженерных наук, информатики и так называемого экологического междисциплинарного подхода;

- В настоящее время преобладают экологические карты, содержащие качественную или полуколичественную (балльные оценки, коэффициенты, индексы суммирования и т. п.) информацию;

- Многообразие сюжетов экологических карт нужно рассматривать как закономерное проявление начального этапа развития нового научно-практического направления;

- Современные темпы создания экологических карт опережают изученность процессов и последствий антропогенных воздействий на природную среду, поэтому характер большинства экологических карт констатирующий, также существует большая зависимость содержания карт от государственной и ведомственной статистики;

- Новый качественный скачок ЭГК возможен при опережающем развитии фундаментальных исследований длительных процессов в окружающей среде;

- Перспективные направления развития ЭГК связаны с сочетанием наземных исследований и методов обработки дистанционного зондирования,

комплексированием информации, созданием оперативных карт целевого назначения, карт устойчивости среды и моделированием карт-сценариев;

– ЭКГ к настоящему времени сформировалось как самостоятельное научно-практическое направление в тематической картографии.

Основные концепции экологического картографирования, несмотря на различия в исходных установках, акцентах и категориях, имеют много общего. Это установка на анализ и отображение связей, отношений, взаимодействий в системах общество – природа, а также понимание того, что разноплановость и разноуровненность информации, сложность и многообразие экологических проблем и ситуаций, делают необходимым создание для каждого региона серии экологических карт констатирующего, оценочного и комплексного (синтетического) содержания.

Важным для становления эколого-географического картографирования является определение его места в системе географической картографии и географических исследований в целом. Ряд специалистов-картографов считает, что это направление в тематической картографии связано с эволюцией картографических и географических исследований. Они связывают развитие ЭКГ с формированием геоинформационного картографирования как нового этапа картографии и считают, что оно в широком смысле характеризует способ и средство отражения закономерностей развития того или иного географического объекта (процесса или явления) в зависимости от окружающей среды.

Тематика, содержание эколого-географических карт определяются их целевыми функциями: изучение выживаемости человека в измененных условиях среды; исследование эколого-географических проблем регионального и локального уровней; мониторинг среды региона; информирование населения о состоянии среды. Назначение карт во многом определяет и специфические требования к ним.

Так как экологические карты создаются для отображения прежде всего антропогенных воздействий и степени благоприятности территорий для жизни и определенных видов деятельности человека, то для них необходимы показатели, поддающиеся количественной оценке, комплексные и сопоставимые для разных природных условий.

Для содержания экологических карт важен выбор операционных единиц картографирования – территориальных ячеек организации информации. Применение ландшафтной основы в полной мере соответствует отражению объективной реальности. Трудности применения ландшафтных единиц связаны с отсутствием детальных ландшафтных карт, а также с имеющейся статистической информацией по административным единицам.

Как показывает анализ опубликованных работ и знакомство с экологическими картами, тенденции развития эколого-географического картографирования многообразны: содержание программ карт, принципы составления, приемы изображения картируемых элементов значительно различаются. Это, в первую очередь, наблюдается в отношении территории

картографирования: имеются существенные различия в картографировании территории России в целом и отдельных российских регионов.

Комплексные экологические карты и атласы на территорию России обычно создаются большими коллективами авторов с использованием системного подхода. При создании карт опираются на ведущие теоретические концепции и комплексные методические разработки, соответствующие программам карт. Карты содержат интегрированные показатели, получаемые при обработке огромного объема разнородной информации экологического характера. Такие карты носят универсальный научно-справочный характер. Они дают целостное представление об экологической ситуации в различных регионах России, однако могут быть посвящены и отображению узкой специальной экологической тематики (Эколого-геоморфологическая карта, Карта природно-климатических условий жизни населения, Карта экологического и свободного стока основных рек России). Наиболее общепринятым для такого картографирования принят подход, сочетающий оценку и отображение двух категорий факторов – природных и антропогенно-техногенных. При этом содержание карт носит двухплановый и трехплановый характер. Первый план составляет характеристика природных экологических условий, иначе говоря, экологического потенциала природных комплексов. Второй план – антропогенно-техногенная составляющая экологической среды, включающая отображение фоновых нарушений природной среды, связанных с хозяйственным использованием земель, очагов техногенного воздействия на природную среду, границ охраняемых природных территорий. При этом все отображаемые объекты подразделяются по их экологическому состоянию или по экологической опасности, водные объекты дифференцируются по уровню загрязнения. Третий план – последствия изменений в окружающей среде для здоровья и условий жизнедеятельности человека.

Картографический метод имеет универсальное значение для региональных экологических исследований. Он незаменим при изучении пространственных различий и взаимосвязей, при необходимости выразить итоги исследований с точной территориальной привязкой. Карты сопровождают многие направления экологических исследований и служат рабочим инструментом, а также итоговым документом.

Существенная практическая значимость эколого-географического картографирования и одновременно отсутствие единого комплексного подхода при региональных исследованиях определяют потребность в разработке методов, приемов и подходов картографического анализа экологического состояния для отдельных региональных структур как природного, так и социального деления. ЭГК предусматривает вариантность исследований, отражающих региональные особенности и специфику отдельных территорий.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что из всех форм географической научной отчетности практиками более всего ценится карта. Кроме того, в последние годы не только специалисты, но и широкая общественность проявляют большой интерес к экологическим картам. Публикации в научной печати свидетельствуют, что многие тематические карты

самого разного содержания приобретают экологический характер при экологическом подходе к предмету изображения. Такой подход обычно содержит элемент оценки, например картографирование животного населения с позиции потенциальной опасности природно-очаговых заболеваний, картографирование ландшафтно-геохимических условий с позиции влияния микроэлементных эндемий на здоровье человека.

Проведение экологических исследований в российских регионах сопровождается картами специальной тематики, например, карты источников выброса вредных веществ в атмосферу, карты загрязнения снежного покрова, карты содержания тяжелых металлов в донных отложениях рек.

Практически каждый показатель природно-ресурсного потенциала, антропогенного воздействия на природную среду, современного состояния компонентов окружающей среды, исследуемый в регионах, может быть предметом отображений на отдельной или комплексной экологической карте. Таким образом, в процессе регионального эколого-географического исследования накапливается комплект карт аналитического характера. Некоторые из них имеют вспомогательное значение в качестве рабочих материалов, другие являются итоговым документом или источником информации. В ходе исследований осуществляется постепенный поэтапный переход от анализа к синтезу, от экологической оценки отдельных компонентов природной среды к экологическому потенциалу ландшафтов, к их состоянию с учетом антропогенных воздействий. В результате создается набор карт эколого-географической серии регионального уровня.

Такой подход и алгоритм создания экологических карт хорошо прослеживается при анализе научных публикаций, раскрывающих результаты экологических исследований в регионах России. В процессе анализа журнальных публикаций, материалов конференций и статей в региональных сборниках научных трудов были изучены картографические произведения (карты и карты-схемы), а также методики их создания более чем на 60 регионов России (из 90 субъектов Федерации). Количество карт, приведенных в публикациях, насчитывает более 300.

Экологические карты регионов России не являются единообразными ни по методикам, ни по тематике и элементам содержания. Их наполнение зависит от назначения, размеров, масштаба исследования и экологического состояния территории. В границах различных территорий России наблюдается разнообразие экологических факторов и обусловленных ими состояний природной среды. В настоящее время можно говорить об отсутствии единства содержания, согласованности, взаимодополняемости и сравнимости, т. е. подлинной системности региональных карт.

Экологические карты имеют большое практическое значение для познания комплекса условий жизнедеятельности человека с целью решения как научных задач, так и задач хозяйственного развития регионов, рационального использования их природных ресурсов, обеспечения мероприятий по их эксплуатации.

Практическую значимость имеют геоинформационные системы (ГИС), в большинстве своем имеющие практическую ориентацию, содержащие серии взаимосогласованных карт и многоплановые базы данных, позволяющие в оперативном режиме проводить анализ экологической ситуации и способствующие принятию эффективных управляющих решений, в частности, в сфере природопользования.

Значительное ежегодное увеличение научных публикаций, посвященных экологическому картографированию и карт экологического содержания на рубеже XX – XXI веков свидетельствует о том, что роль экологического картографирования в условиях увеличивающихся информационных потоков о состоянии окружающей среды, требующих пространственного отображения, значительно возрастает. Этому способствуют высокая информационная емкость картографических материалов, наглядность и доступность для непосредственного восприятия, пространственный анализ и обобщение, возможность применения автоматизированных методов синтеза и интерпретации карт в практической деятельности и принятии управленческих решений.

© И.Н. Ротанова, 2006

СОВРЕМЕННОЕ МЕДИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Актуальность использования картографического метода в медико-экологических исследованиях связана с возможностью получения модели местности, отображающей на карте природные свойства, явления и динамические процессы, происходящих на ландшафтах, а также возможности определения связей и взаимозависимостей компонентов окружающей среды и человека, их оценки и прогнозирования и т. д. Карты медико-географической оценки природной среды позволяют отражать свойства отдельных компонентов геосистем, оказывающих влияние на здоровье человека. Их использование дает возможность создавать карты комплексной медико-географической оценки территории.

Медико-экологическая обстановка в Алтайском крае определяется совокупностью внешних и внутренних факторов природного и антропогенного характера. Разнообразные природные условия данного региона предопределяют возникновение природно-очаговых инфекций (клещевой энцефалит, клещевой риккетсиоз, туляремия, лептоспироз и др.), биогеохимических эндемий, обусловленных недостатком или избытком микроэлементов в почвах и водоемах (кариес зубов, эндемический зоб, урокалькулез и др.), а также болезней населения отдельных районов предгорной зоны Алтая, вызванных повышенным содержанием тяжелых металлов в природной среде.

В региональных медико-географических исследованиях большое значение имеет определение приоритетных факторов – индикаторов географических предпосылок болезней человека. Использование методологии системного подхода позволяет не только логически обосновать алгоритм пространственного анализа вклада географических предпосылок болезней человека и антропогенных факторов в возникновении проблемных медико-экологических ситуаций, но и максимально снизить риск заболеваемости. Алгоритм картографического анализа риска заболеваемости человека включает несколько этапов, которые согласуются с основными принципами медико-географических и медико-экологических исследований формирования предпосылок болезней человека [1, 2].

В соответствии с таким картографическим подходом пространственного медико-экологического анализа в Институте водных и экологических проблем СО РАН составлены следующие группы карт, отражающие медико-географическую обстановку в Алтайском крае:

– Компонентные медико-географические карты, характеризующие сложившиеся пространственные различия природных предпосылок болезней человека и их сочетаний в природных структурах регионального уровня;

- Карты медико-географического районирования по комплексному показателю природных предпосылок болезней человека с выделением природно-очаговых инфекций и биогеохимических эндемий;
- Карты медико-географического районирования рекреационных и бальнеологических ресурсов региона, отражающие климато-лечебные, лечебно-бальнеологические и общеоздоровительные характеристики геосистем.

Проведенный картографический медико-географический анализ территории края позволил выявить соотношения складывающихся природных предпосылок болезней человека с совокупностями антропогенных предпосылок [3].

Серия карт, первоначально разработанная в ИВЭП СО РАН, создавалась традиционным (ручным) способом, а затем преобразовывалась в электронный вид, поэтому в настоящее время эти картографические произведения не лишены некоторых недостатков: мелкомасштабность, большая генерализация, одномоментное отображение медико-географической ситуации, сложность технического обновления информации по заболеваемости и осуществления просмотра сценариев развития эпидемиологических ситуаций и т. д. Современные ГИС позволяют легко справляться с указанными недостатками: оперативно обрабатывать и комплексировать в интерактивном режиме статистическую информацию, отображать динамику развития эпидемиологических процессов, эффективно планировать размещение и функционирование специальных медицинских служб, разрабатывать проведение мероприятий по оздоровлению окружающей среды и [4] и т. п.

По статистическим данным Территориального управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Алтайскому краю за последние 15 лет эпидемиологическая обстановка в крае по природно-очаговым заболеваниям (ПОЗ – клещевой энцефалит, клещевой сибирский риккетсиоз и описторхоз) сохраняется напряженной, а в отдельных административных районах – высокой. Систематическая регистрация больных ПОЗ приводит к необходимости более детального научного подхода к создавшейся проблеме. Разрабатываемый в ИВЭП медико-географический метод картографирования ПОЗ с использованием ГИС позволяет совмещать и анализировать количественную и качественную информацию на ландшафтной основе, а для практического планирования использовать аналитическую информацию в границах административных районов [5, 6].

В настоящее время в ИВЭП СО РАН составлены цифровые медико-географические карты на территорию края масштаба 1:500 000: "Приуроченность заболевания населения клещевым энцефалитом на территории Алтайского края", [7]; "Ландшафтная приуроченность клещевого риккетсиоза на территории Алтайского края по его основным переносчикам; Наличие условий заражения клещевым риккетсиозом" [8, 9].

Примером использования ландшафтного подхода совместно с современными компьютерными технологиями и аналитическим исследованием

объекта без административно-территориальных ограничений могут служить карты оценочно-рекомендательного содержания масштаба 1:200000 на бассейн р. Чарыш [10, 11]: "Ландшафтная обусловленность природно-очаговых заболеваний" и "Ранжирование территории бассейна р. Чарыш по предпосылкам природно-очаговых заболеваний на ландшафтной основе" [12]. Данный бассейн расположен в юго-западной части Алтайского края, на горной и равнинной территориях, а верховье реки – в горах Республики Алтай, поэтому имеет не только разнообразную ландшафтную структуру, но и различные виды хозяйственной деятельности и использования земель, расселенности и плотности населения.

Для решения задач на административном уровне на Краснощековский район края, эпидемиологически неблагополучный по ПОЗ, составлена карта масштаба 1 : 200 000 "Обусловленность природно-очаговой заболеваемости населения Краснощековского района на ландшафтной основе [13].

Работа по разработке медико-географических карт нового поколения в ИВЭП продолжается, а уже созданные цифровые карты позволяют оптимально организовать профилактические мероприятия в эпидемиологических очагах, скоординировать туристско-рекреационную деятельность, максимально сократить риск заболеваемости местного и приезжего населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хлебович И.А., Ротанова И.Н., Курепина Н.Ю., Шибких А.А. Системное медико-эко-логическое картографирование // Сибирский экологический журнал. – 2003. № 2. – С. 193 – 204.
2. Хлебович И.А., Курепина Н.Ю., Ротанова И.Н. Картографический анализ региональных предпосылок болезней населения Алтайского края // Межрегиональный экологический форум в рамках IX медико-экологической выставки "Человек.Экология.Здоровье". Сборник материалов форума. – Барнаул, 2004. – С. 132 – 135.
3. Медико-экологический атлас Алтайского края: научно-методические основы разработки и составления // И.А. Хлебович, Ю.И. Винокуров, И.Н. Ротанова, В.С. Ревякин. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, – 2000. – 120 с.
4. Хлебович И.А., Ротанова И.Н., Курепина Н.Ю. Современные геоинформационные технологии в медико-экологических исследованиях Алтайского края // IV Международный симпозиум "Контроль и реабилитация окружающей среды". материалы Симпозиума // Под общей редакцией М.В. Кабанова, А.А. Тихомирова. – Томск, – 2004. – С. 66 – 68.
5. Курепина Н.Ю. Методический подход к геоинформационному картографированию природно-очаговых зоонозов // Геодезия, картография, кадастровое и маркшейдерское дело в освоении природных ресурсов Байкальского региона: Сб. науч. ст. – 2006 (в печати).
6. Ротанова И.Н., Хлебович И.А., Курепина Н.Ю., Шибких А.А.. Медико-экологическое картографирование Алтайского края с использованием компьютерных технологий // Интеркарто 8: ГИС для устойчивого развития территорий: Материалы международной конференции. – СПб, ЗАО "Карта". – 2002. – С. 2.
7. Курепина Н.Ю., Ротанова И.Н. Ландшафтный подход в медико-географических исследованиях Алтайского края // Александр фон Гумбольдт и проблемы устойчивого развития Урало-Сибирского региона: Материалы российско-германской конференции. Тюмень, Тобольск, 20-22 сентября 2004 г. – Тюмень: ИПЦ "Экспресс". – 2004. – С. 225 – 226.

8. Курепина Н.Ю., Оберт А.С. Использование современных картографических технологий в исследовании зоонозов на примере клещевого риккетсиоза в Алтайском крае // Труды XII съезда Русского географического общества. Т. 6. – СПб. – 2005. – С. 230 – 235.
9. Kurepina N.Yu., Obert A.S., Rudakov N.V. Geoinformation mapping of tick rickettsiosis zoonoses in Altai Krai // 4th International Conference on rickettsiae and rickettsial diseases. Joint Meeting with ASR Conference 2005 / June 18-21, 2005, Logroño (La Rioja), Spain. P-182.
10. Курепина Н.Ю. Подходы к использованию компьютерных технологий в медико-экологической оценке бассейна реки Чарыш. ГИС для устойчивого развития территорий // Материалы Международной конференции. Новороссийск, Севастополь, 25-29 июня 2003 г. – Севастополь. – С. 438 – 441.
11. Пурдик Л.Н., Курепина Н.Ю. Бассейн малой реки как объект ландшафтного изучения с использованием компьютерных технологий // Картографическое и геоинформационное обеспечение управления региональным развитием. Материалы VII научной конференции по тематической картографии // Институт географии СО РАН. – Иркутск. – 2002. – С. 188 – 189.
12. Курепина Н.Ю. Использование ГИС в медико-географических исследованиях (на примере бассейна реки Чарыш) // Моделирование географических систем. – Иркутск: Издательство Института географии СО РАН. – 2004. – С. 106 – 110.
13. Курепина Н.Ю., Ротанова И.Н. Картографическое моделирование в медико-экологических исследованиях Алтайского края // ГЕО-Сибирь-2005. Т. 4. Геоинформатика: Сб. материалов научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2005», 25-29 апреля 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА. – 2005. – С. 132 – 137.

© Н.Ю. Курепина, 2006

УДК 528.94:338.483.1+528.92:004.77

Л.В. Атоян

Белорусский государственный университет, Минск

ИНТЕРНЕТ-КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТУРИЗМА

Развитие туризма, расширение его географии, появление новых видов и их картографическое обеспечение способствовали выделению системы научных знаний и практической деятельности в этой области в самостоятельную отрасль – картографию туризма.

Развитие туристского картографирования имеет многоплановый характер. Туристские карты способствуют популяризации туризма. Они предназначены для широкого круга пользователей и служат справочным пособием и путеводителем для общего обзора, знакомства с районом путешествия, ориентирования на местности, получения необходимых сведений о размещении достопримечательностей, о системе обслуживания туристов. Роль картографии заключается не только в создании наглядных пособий, необходимых в путешествии. Картография также должна обеспечить рекламу туризму посредством различной картографической продукции.

Различают следующие виды туризма:

- Общепознавательный (развлекательный) туризм;

- Научный туризм (поездки на научные конгрессы, конференции);
- Спортивный туризм (поездки на спортивные форумы);
- Бизнес-туризм (шоп-туры).

Картографическое обеспечение туризма представляется в следующих вариантах:

- Карты и атласы для рекламы и пропаганды туризма;
- Карты и атласы обзорного типа, предназначенные для ознакомления с регионом, выбора места и маршрута путешествия (региональные туристские карты);
- Карты и атласы для более детального ознакомления с регионом или туристским маршрутом и ориентирования на местности (дорожные и маршрутные карты);
- Планы и атласы городов общего и специального туристского содержания.

Помимо назначения, главными отличительными признаками картографических произведений для туризма являются их внешний вид (форма), подробность передачи элементов содержания, художественное оформление.

По внешнему виду различают следующие туристские карты и атласы:

- Складные карты;
- Настенные карты-плакаты (постеры);
- Карты в путеводителях;
- Карты, входящие в региональные атласы;
- Туристские атласы;
- Карты и атласы на CD;
- Интернет-карты, Интернет-атласы.

Традиционные виды туристской картографической продукции на бумажной основе широко распространены и претерпевают изменения в плане дизайна и содержания. Принципиально новыми по своей организации и представлению информации являются электронные картографические произведения, размещаемые в сети Интернет [1, 2].

Всемирная глобальная сеть Интернет вошла в нашу жизнь настойчиво и безвозвратно, как само собой разумеющееся событие. Хотим мы того или нет, приходится с этим считаться и соответствовать своей профессиональной деятельностью этому всеобщему увлечению.

Современная картография, как область производственной и научной деятельности, развивается на основе информационных технологий, разрабатывая традиционные и новые картографические произведения, появившиеся благодаря персональным компьютерам и соответствующему программному обеспечению.

Анализируя Интернет-карты, размещаемые на различных сайтах, можно классифицировать их следующим образом:

- Статичные карты, дающие одноплановую информацию о картографируемой территории;
- Интерактивные карты, обладающие функциями интерактивного управления;
- Электронные справочные карты-системы и атласы, снабженные большими базами данных и организующие поиск необходимой информации.

Большинство представленных в Интернет карт относится к статичным, констатирующим факт наличия определенной информации о картографируемых объектах. Такие карты дают представление о территории, позволяя получать лишь информацию, «лежащую» на поверхности. При увеличении масштаба изображения они не пополняются новыми сведениями.

Все больше появляется карт второй группы, так называемых интерактивных карт, на сайтах различных организаций, деятельность которых так или иначе связана с пространственной привязкой. Такие карты позволяют пользователю управлять легендой – отключать или подключать тематические слои, интересующие пользователя, например, на плане города показать все учреждения образования, «скрыть» остальные объекты; масштабировать; сдвигать изображение; давать некоторые справочные сведения (ограниченный объем информации) и т. д. Такая задача актуальна для туристических агентств, организующих отдых и путешествия по городам и странам.

Электронные картографические произведения третьей группы пока не получили широкого распространения в глобальной сети, в основном они размещаются на CD-ROM и представляют собой геоинформационные справочные системы, способные дать пользователю наиболее полную информацию об интересующих объектах. Естественно, что такие электронные карты быстро устаревают в части оперативной справочной информации. Поэтому не имеет смысла помещать на дисках сведения, например, о стоимости экскурсии или расписании движения транспорта.

От таких ограничений и недостатков может быть избавлена электронная карта, помещенная в сети Интернет на сайте туристического агентства. К этой же группе можно отнести и Интернет-атласы – электронные картографические произведения более высокого класса. А ведь именно атласы дают интегральную характеристику картографируемой территории. Тематические атласы специального назначения, к которым традиционно относятся туристские, предлагают пользователю самые разнообразные сведения по соответствующей тематике. Электронный атлас, размещенный в сети Интернет с постоянно обновляемой базой данных, может служить неисчерпаемым источником оперативной информации об объектах туризма любой отдельно взятой страны или города. Ограничением может служить лишь большой объем данных и технические характеристики персонального компьютера пользователя.

В зависимости от типа пользователей (потенциальных путешественников) атласы могут видоизменяться, т. е. предоставлять различные виды услуг.

В свою очередь, пользователей персональных компьютеров, исследующих Интернет на предмет туризма, можно разделить на две основные категории:

- Реальных туристов, планирующих организовать свой отдых с помощью туристической фирмы и стремящихся получить исчерпывающую информацию о своем предстоящем путешествии на сайте соответствующей фирмы;

- Виртуальных туристов, которые «путешествуют» по странам и континентам посредством услуг, предоставляемых исключительно всемирной сетью.

И в том, и в другом случаях пользователям необходима определенная информация о стране пребывания, ведь подготовленному туристу всегда намного интереснее путешествовать. Да и времени экономится значительно больше, если турист заранее знает, какие памятники архитектуры, музеи, картинные галереи и другие объекты ему необходимо посетить. От этого во многом зависит и общее впечатление, и полнота восприятия в отличие от простого созерцания объекта туризма.

Предварительное знакомство со страной посещения будет недостаточным, если текстовую информацию не дополнить картографическими материалами, дающими наиболее наглядное представление о территории. К наглядным формам относятся также, к примеру, фотографические изображения, однако они не отражают той целостной картины, которую способны передать карты, одновременно позволяя определить пространственную привязку объектов действительности.

Поэтому размещение полноценных картографических материалов в сети Интернет на сайтах туристических фирм, могло бы значительно повысить рейтинг и самих турфирм, и тех стран, в которые организуются путешествия. При этом представленные туристские карты и атласы могут быть различного назначения соответственно перечисленным выше традиционным туристским произведениям.

Многие размещаемые в последние годы в сети интерактивные карты стали приближаться по своему сервису к электронным картам третьей группы, однако и они не содержат исчерпывающей информации о туристских объектах. Тем более трудно найти туристский электронный атлас, который давал бы целостную характеристику территории, ее достопримечательностей, оперативную многоуровневую информацию о туризме и др.

Такой атлас является системой электронных (интерактивных) карт. Он должен позволять производить определенные поисковые операции, давать исчерпывающую информацию о территории по тематическим слоям с возможностью многопланового просмотра изображения каждой отдельной карты, сопровождать графическую и текстовую составляющие аудиоинформацией и видеоизображениями, т. е. использовать возможности, предоставляемые современными компьютерными технологиями.

Структурная схема Интернет-атласа может выглядеть следующим образом: атлас страны – карта территориальной единицы (края, области, района) – карта

маршрута – план города – объект туризма (памятники природы, архитектуры, музеев и др.).

В каждой структурной единице должна быть представлена информация, связанная гиперссылками, соединяющими различные тематические слои-окна, дополняемая «всплывающими» информационными окнами. В окнах может быть размещена разного вида информация: фотографии, аэро- и космofотоснимки, текст, анимация, видеоизображение. Посредством гиперссылок возможно также обращение к другим сайтам. Просмотр изображения может сопровождаться аудиоинформацией: комментариями, музыкой, шумовыми эффектами, имитирующими звуки реального мира, например, шум морских волн, ветра, дождя, городских улиц и т. д. Кроме того, широкие возможности открывает виртуальное картографирование, как интеграция мультимедийных средств и трехмерной графики.

Помимо размещения на сайтах турфирм мультимедийные картографические произведения могут быть помещены на отдельный, специально организованный, картографический сайт, предлагающий услуги по предоставлению информации о различных объектах туризма. Сайт должен отвечать требованиям достоверности и актуальности, для чего необходимо постоянное оперативное обновление входящих в него данных.

Организованный таким образом мультимедийный атлас представляет не что иное, как геоинформационную систему, дающую полноценную, достоверную, оперативную информацию о туристских объектах.

Входящие в атлас карты могут быть как в растровом, так и векторном форматах, в обоих случаях они должны отвечать требованиям графического (визуального) качества. На любом уровне просмотра пользователь должен получать четкое графическое изображение, иначе он потеряет интерес к дальнейшему использованию данного продукта. Особенно важно качественное оформление подобного сайта для туристов, виртуально путешествующих по разным странам. Именно для них имеет большое значение форма и качество представления картографического изображения и дополнительного материала, комментирующего ту или иную карту.

В основу разработки туристского Интернет-атласа могут быть положены форматы данных и технологии их обработки, которые используются в сети Интернет, что обеспечит необходимый уровень унификации и платформенную независимость. Помимо широко используемого в сети Интернет растрового формата все чаще для визуализации пространственных данных применяется векторная графика, обладающая определенными преимуществами в качестве и объеме информации по сравнению с растровой. Оптимальным инструментом создания мультимедийных произведений может служить технология Flash, которая наряду с растровой графикой использует и векторную, совмещая в едином файле различные изображения с аудио- и видеоинформацией [3].

Определенным образом регламентировав условия использования электронного туристского атласа можно придать ему вид коммерческого произведения. Например, для бесплатного использования может быть доступна информация первого, рекламного, уровня и следующего, дающего

минимальную информацию о туристских объектах. Для дальнейшего «раскрытия» информационных слоев пользователю может быть предложена некоторая форма оплаты предоставляемых услуг, которая осуществляется непосредственно через сайт.

Если такой мультимедийный атлас разместить на CD-ROM, то следует открыть для доступа все возможные слои информации, поскольку предполагается его распространение через торговую сеть. Можно организовать распространение дисков одновременно с размещением атласа на сайте, поместив об этом информацию на этом же сайте. В любом случае преимуществом будет обладать Интернет-атлас, так как он всегда актуален, т. е. постоянно обновляется в режиме реального времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянт А.М. Картография: Учебник для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2001. – 336 с.
2. Картоведение: Учебник для вузов / А.М. Берлянт, А.В. Востокова, В.И. Кравцова и др. Под ред. А.М. Берлянта – М.: Аспект Пресс, 2003. – 477 с.
3. Плешков В.Г., Ребрий А.В., Степанова Я.В. О концепции создания электронной версии Национального атласа России // Геодезия и картография. – 2004. – № 12. – С. 30-34.

© Л.В. Атоян, 2006

УДК 528.94: 617.7

О.В. Горожанкина, Ю.В. Гаврилов

СГГА, Новосибирск

К ВОПРОСУ О РАСПОЗНАВАНИИ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Картографическое изображение представляет собой совокупность, комплекс нескольких способов отображения информации: условные знаки, штриховая нагрузка, фоновая нагрузка и др. Другими словами, в этом случае нужно распознать несколько объектов, находящихся одновременно на одной карте. Значение некоторых из них, например подписей собственных название рек, озер, морей, орографических объектов, определяется их относительным географическим расположением. Значение же других (условных знаков тематической нагрузки, подписей собственных названий населённых пунктов, зарамочное оформление) зависит от их расположения по горизонтали.

На карте все условные обозначения, относящиеся к различным объектам должны интерпретироваться таким образом, чтобы при чтении карты сохранился «временной» порядок восприятия картографической информации в зависимости от тематики карты. Распознавание картографической информации – это весьма сложная задача. Здесь существенное влияние оказывает уровень общего и географо-картографического образования читателя. Объём и оценка извлечённой информации зависят от того, насколько знакома читателю конкретная область, воспроизведённая на карте, взаимосвязи реальных

объектов, как глубоко знание содержания понятий, закодированных знаками. Субъективность чтения знаковых систем состоит также в различиях знаний потребителями картографического языка, навыками в пользовании картами, умении владеть картографическими символами, правильно извлекать информацию, а при исследовательских целях – получать из карты новые знания.

Картографическое изображение, на первой стадии, воспринимается как единое целое, далее в процессе мышления оно подвергается анализу, дифференцируется, вновь интегрируются отдельные элементы в пространственно составляющие структуры и происходит их синтез. В процессе мышления приходится обращаться к разным по сложности элементам графического выражения (простым, сложным знакам, их комбинациям и, наконец, к карте в целом).

Восприятие картографических знаков связано с физиологическими свойствами глаза. Физиологические возможности глаза определяются тремя параметрами:

1. Острота зрения;
2. Контрастная чувствительность;
3. Двигательная реакция глаза.

Глаз человека – весьма совершенный орган, но все же его возможности ограничены, поэтому при построении элементов знака существенно знание конкретных величин, определяющих чувствительность глаза. Из проведённых ранее исследований ЦНИИГАиК известно [1], что на расстоянии наилучшего зрения (25-35 см) при остроте зрения 1,0, контрасте по яркости между знаком и фоном 90% черная точка на белом фоне видима при угле зрения в 1' (среднее значение), т. е. при величине 0,09 мм в линейном выражении. Эта величина соответствует моменту попадания изображения на светочувствительный элемент сетчатки глаза; чёткое же различие наблюдается при величине диаметра точки 0,2 мм, т.е. при угле зрения 2',3. Видимость линейного элемента определяется его шириной, равной 0,06 мм, при угле зрения 0,7'. Площадные элементы распознаются в зависимости от их формы, светлоты, внутренней структуры и цвета.

Основными законами психологического процесса визуального восприятия являются:

1. Психофизический закон Вебера-Фехнера;
2. Закон контраста;
3. Закон соотношения части и целого;
4. Закон апперцепций;
5. Закон фигуры и фона.

По зрительному восприятию отдельных условных знаков накоплен обширный экспериментальный материал (Васмут, Веденева, Нырцова) как собственно картографических исследований, так и исследований психологов. Они включают изучение эффективности графических средств, например, читаемость геометрических фигур, различающихся по форме; оценку размеров

простейших картографических знаков и шрифтов; различаемость ступеней цветных и черно-белых (серых) шкал; запоминаемость знаков в несложных комбинациях и др. [2].

Выводы и обобщения экспериментов, проводимых по восприятию условных знаков вне карты, не обеспечивают оптимальных рекомендаций по рациональным приёмам построения знаков на карте, поэтому малоэффективны. Более полезны для проектирования систем знаков результаты исследований читаемости картографических обозначений на конкретных картах. В связи с этим были проведены исследования визуального восприятия картографической информации с целью разработки новых и совершенствования имеющихся условных знаков, обеспечивающих хорошую читаемость, наглядность, эстетику.

На основе физиологических и психологических законов восприятия информации разработана следующая методика исследований:

1. Изучение восприятия простейших (геометрических) значков;
2. Изучение восприятия прозрачных значков и значков с внутренней структурой;
3. Исследование восприятия цвета на карте;
4. Исследование восприятия рельефа;
5. Анализ опознавания отдельных элементов содержания реальной карты с учетом различных цветовых тонов, перекрытий значковых, линейных и площадных обозначений; анализ читаемости карты в целом.

На первом этапе исследования для определения восприятия формы условного знака фиксировалось время, затраченное на поиск значков различной геометрической формы. Эксперимент проводился при дневном освещении в следующих условиях: расстояние до условного знака – 3 м., число наблюдателей – 17 человек, размер значка – 10 мм. Результаты эксперимента подтвердили, что скорость восприятия знаков геометрической формы (квадрат, треугольник, ромб и др.) зависит от углов между сторонами, причем знаки с острыми углами опознаются быстрее. Лучшей различимостью обладают знаки округлой формы.

Для экспериментов по определению размера условных знаков, который обеспечивал бы наилучшее восприятие их на карте с расстояния, были изготовлены квадраты из чёрного картона. Самый маленький квадрат имел сторону 4 мм, в каждом последующем сторона увеличена на 3 мм. Всего в наборе участвовало 8 квадратов. Длина стороны самого большого квадрата составляла

25 мм. Соответствие размеров наблюдаемых знаков с действительными оценивалось на различных расстояниях. Результаты эксперимента показали, что с расстояния 2-7 м. (расстояние, с которого изучается карта) более чётко воспринимаются квадраты со стороной 10-15 мм.

На втором этапе проводились эксперименты по восприятию прозрачных и залитых знаков. Для выполнения исследований были созданы три образца физической учебной карты с элементами историко-культурного наследия на территорию Алтайского края масштаба 1 : 500 000, а также разработаны

условные знаки по краеведению различного вида. Данные условные обозначения были представлены учащимся для изучения, в результате которого было установлено, что знаки с внутренней структурой имеют больший порог различения, чем прозрачные. Различимость знаков с внутренней структурой зависит от соотношения площади черного и белого в знаке. При увеличении размеров черных элементов в знаке видимость просветов между ними улучшается. Художественные значки – более наглядны и интересны, так как они имеют сходство с предметами в действительности. Наглядность является одним из важных факторов, способствующих облегчению читаемости карты, потому что в этом случае изображение доводится до опознавания предметов.

На третьем этапе проводились исследования восприятия цвета на карте. Каждый цвет имеет свой тон, т. е. определенную степень светлоты, и поэтому любой образ можно построить цветом определенного тона. Все предметы, тела, окружающие нас, многоцветны. Свет, попадая на них отражается, поглощается и рассеивается. Одни предметы поглощают больше света, другие меньше, т. е. обладают избирательным поглощением, и, следовательно, при изменении спектрального состава света, будет меняться и цвет предметов. При использовании карт чаще всего встречается два вида освещения: дневное и искусственное. Одна и та же карта в помещении с освещением от обычной лампы имеет желтоватый оттенок, а при дневном освещении – холодный синеватый. На данном этапе исследования была произведена колориметрия (измерение светлоты, насыщенности и цветового тона) разработанных образцов созданной карты. В ходе экспериментов учащиеся выбирали наиболее привлекательный на их взгляд образец карты и объясняли свой выбор. В результате было установлено, что в определенных пропорциях цвет способен создавать настроение и привлекать внимание, но при нарушении этих соотношений в сторону увеличения может восприниматься как опасность и вызывать реакцию недоверия, т. е. здесь большую роль играет эмоциональное воздействие цвета на человека.

На четвертом этапе выполнялось изучение и исследование способов оформления рельефа на карте. Изображение рельефа, по сравнению с другими объектами, имеет свои особенности и трудности, связанные, прежде всего, с необходимостью передачи его трёхмерности (ширины, длины, высоты) на двухмерную поверхность листа бумаги или другого материала. В ходе экспериментов было выявлено, что одним из наглядных способов изображения рельефа является светотень, представляющая собой непрерывный переход тонов от тёмного к светлому. С помощью отмывки зрительно воспринимается объёмность рельефа, его трёхмерность и глубина изображения. Немаловажное значение приобретают поиски гармонии цвета и приближение к цветам, существующим в природе.

Заключительным этапом проводимых исследований являлся анализ читаемости отдельных элементов содержания разработанной карты, а также восприятия карты в целом. В результате анализа были сделаны следующие выводы и сформулированы некоторые рекомендации по разработке учебных карт:

1. Хорошую читаемость знаков геометрической формы с прямолинейными сторонами определяют углы;
2. Для наилучшего восприятия обозначений с расстояния необходимо несколько увеличить их обводку;
3. Наилучшей читаемостью обладают условные знаки заполненные чёрным цветом. Улучшение читаемости незалитых знаков может быть достигнуто за счёт печати их не по фону карты, а по любому другому фону, например по белому;
4. При проектировании обозначений на стенных картах имеет значение соотношение контрастов для применения приемов многоплановости. При рассматривании картографических изображений внимание концентрируется на том объекте, который отличается какими-то качествами от других, поэтому в процессе оформления карты необходимо выделять то, что является главным (главное определяется назначением карты);
5. Нельзя рассматривать фоновое оформление в отрыве от штриховой нагрузки, которая также характеризуется цветовыми решениями. Фоновое оформление должно проектироваться с учётом цвета знаков. Это значит, что оно должно быть светлым, не иметь окрасок большой насыщенности. Нельзя допускать и резкого контраста знака и фона, так как это усиливает пестроту изображения и при чтении карты способствует быстрому утомлению зрения;
6. При оформлении карт необходимо учитывать иллюзию фигуры и фона. Она связана с восприятием меньших и ярких площадей в первую очередь, а больших площадей – во вторую;
7. Применение цвета на карте позволяет оформить её не только наглядно, но и красиво, так, чтобы карта привлекала своим внешним видом, чтобы её оформление способствовало эстетическому воспитанию читателей. Цвет способен вызывать у читателя положительные эмоции, снижать внутреннее напряжение, снимать утомление, но увеличение пропорций цвета может вызвать негативную реакцию, быстрое утомление и раздражение;
8. Использование пластических свойств цвета, согласование цвета светотеней и цветного фона с воздушной перспективой позволяют вместе со светотенью получить высокую степень пластики в изображении рельефа.

Результаты исследований восприятия комбинаций знаков и картографического изображения в целом воспринимаются неоднозначно разными специалистами. Разработка методики таких исследований должна основываться на общих физических и психофизиологических законах зрительного восприятия. Раздражитель (карта) – ощущение – восприятие – вот какую последовательность необходимо изучать в опытах. От физики здесь – характеристика раздражителя, от психологии – характеристика ощущений и восприятия. Первая характеристика является объективной, вторая – субъективной. В наших экспериментах надёжными могут быть не только объективные, но и субъективные результаты.

1. Гаврилов, Ю.В. Оформление карт. Теория цвета [Текст]: учебное пособие / Ю.В. Гаврилов. – Новосибирск: СГГА, 1997. – 67 с.
2. Гараевская, Л.С. Редактирование мелкомасштабных карт и атласов [Текст] / Л.С. Гараевская. – М.: Изд-во геодез. лит., 1962. – 112 с.

© О.В. Горожанкина, Ю.В. Гаврилов, 2006

УДК 528.87 : 911.52/476

Ю.М. Обуховский

БГУ, Минск

Е.Н. Каждан

ИПИПРЭ НАНБ, Минск

ИНДИКАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТОВ, БОЛОТ И ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

В течение ряда лет Республиканский научно-технический центр дистанционной диагностики природной среды «Экомир» в сотрудничестве с академическими, отраслевыми институтами и вузами проводил исследования на полигонах дистанционного зондирования. Они включили в себя административные районы в различных природных регионах Беларуси, где с применением аэрокосмической информации выполнялось изучение водных, лесных и болотных экосистем и последствий воздействия техногенеза на природные территориальные комплексы (ПТК). Для всестороннего отображения природного потенциала районов были подготовлены серии сопряженных тематических карт, а также карт комплексного содержания – ландшафтных, болот и заболоченных земель.

Последние из названных карт составлялись с позиций индикационного ландшафтоведения. Авторы при этом руководствовались тем обстоятельством, что в результате интенсивного внедрения дистанционной информации в картографирование природных ресурсов будет возрастать роль ландшафтной индикации как методологической основы дешифрирования аэрокосмических снимков. Это предопределило некоторые особенности методики ландшафтного картографирования, ее отличия от традиционной [2].

Во-первых, выделяемые таксоны определяются только по совокупности физиономических признаков, так как все другие при дешифрировании МДС являются искомыми характеристиками. Таким образом, картографируемые комплексы являются эктоярусами ландшафта, в основе выделения которых лежит использование «физиографических» или «фитогеоморфологических» единиц. Характеристика деципиентных компонентов ландшафта дается по имеющемуся фактическому материалу или по индикационным связям между ярусами ландшафта.

Во-вторых, при ландшафтной интерпретации МДС таксоны выделяются «сверху вниз». При этом ландшафтам соответствуют генетические типы

рельефа, а урочищам – мезоформы (или части крупных мезоформ) в сочетании с группами растительных ассоциаций. По сравнению с традиционными схемами в понятие «урочище» вкладывается более конкретное геоботаническое содержание. Учитывая слабую компонентную изученность некоторых территорий, это важно в практическом отношении, так как суживает индикационное значение соответствующих экотярусов ПТК. Поэтому при соответствующей интерпретации составленных ландшафтных карт можно составить тематические карты (рельефа, грунтов, почв, грунтовых вод и т. д.) более точные, чем уже имеющиеся.

В-третьих, в пределах генетически однородных полей не выделяются таксоны по морфометрическим показателям, что привело бы к неоправданному усложнению легенд – повторению соподчиненных комплексов со сходными фитоценозами и сходным индикационным значением.

На ландшафтных картах во избежание повторов в легенде отдельно выделены комплексы субдоминанты, входящие в различные виды ландшафтов и связанные с аллювиальным, эоловым и болотным литогенезом. Фитоценозы объединяются в большинстве таксонов не по ботаническим, а по экологическим признакам, характеризуя местообитания со сходными почвенно-гидрогеологическими условиями.

Придерживаясь концепции аэроландшафтного картографирования и дистанционной индикации, авторы в то же время следовали точке зрения С.П. Альтера [1], согласно которой любая исходная ландшафтная карта должна составляться «нейтрально», независимо от характера последующей интерпретации. Экологические проблемы охватывают широкий круг вопросов, касающихся природного потенциала той или иной территории. Ландшафтная карта – документ многопланового использования, и конкретизация ее с акцентом на одну какую-то группу природных явлений в ущерб другим не представляется рациональной.

Аэроландшафтные карты, по сравнению с традиционными, несколько уступают им в информативности, однако многократно выигрывают в скорости и трудоемкости картографического процесса. Так, по данным лаборатории ландшафтоведения МГУ, норма площади только рекогносцировочных работ при уже проведенном комплексе предполетных исследований не превышает 5 кв. км на 1 человеко-день. На составление аэроландшафтной карты Полоцкого района масштаба 1 : 50 000 (площадью 3 200 кв. км) было затрачено на все виды работ – от сбора фактического материала до изготовления авторского макета карты – 20 чел/мес. [3].

Высокая эффективность аэроландшафтного картографирования позволяет рекомендовать создание базовых карт подобного рода на территории других полигонов дистанционного зондирования, где экологическая обстановка является весьма напряженной (Гродненский, Могилевский, Светлогорский районы, зоны радиационного загрязнения Гомельской и Могилевской областей).

Дистанционные исследования и крупномасштабное картографирование болот и заболоченных земель осуществлялись на территории трех полигонов: Воложинского, Солигорского и Полоцкого.

Карты заболоченных земель являются, по своей сути, не тематическими, а комплексными. Подобные материалы имеют сложные легенды, включающие информацию о ПТК и антропогенном воздействии на них. Трудозатраты на составление сопоставимы с ландшафтной картой, использование тоже многоплановое.

По отношению к картографированию заболоченных земель апробированы два подхода, которые, с долей допущения, можно назвать геологическим и геоботаническим. Первый используется преимущественно геологосъемочными организациями. Он базируется на значительном по объему фактическом материале, маршрутных и камеральных исследованиях, использовании аэрофотоснимков. При этом детально картируются геолого-гидрогеологические условия, однако почвенно-геоботанические особенности тельматогенных ландшафтов бывают раскрыты в самых общих чертах. Такой подход использован при картографировании Воложинского и Солигорского районов, где карта болот составлялась в пакете с другими крупномасштабными картами, в том числе геоботанической. Поэтому подробный показ выделов растительности в данном случае не рационален.

На рассматриваемых картах показаны типы болот и заболоченные земли, стадии развития болот, мощность торфа, подстилающие торф породы (рыхлые, связные), в очень дробной градации – литология горных пород на заболоченных и избыточно увлажненных землях; нашли отражение также состояние мелиоративной сети, водоприемники, фазы рекультивации торфяных месторождений.

При исследовании Полоцкого полигона использован геоботанический подход. Он отличается детальным картографированием растительности, а условия обводнения, литогенную основу и почвы отражает табличный материал, составляющий легенду карты и подготовленный на основе существующих в ПТК лито- и гидроиндикационных связей. Кроме этого, на карте показаны типы и виды болот, их положение в рельефе и стадии развития, гидросеть [4].

Геологический подход может быть рекомендован для картографирования болот с хорошей буровой изученностью, для детального показа деципиентных составляющих ландшафта, геоботанический – для исследования слабоизученных болот и подробной характеристики биотических компонентов.

Концепция аэроландшафтного картографирования, методические подходы к картографированию заболоченных земель, карты ландшафтов и болот использованы для изучения природного потенциала полигонов дистанционного зондирования, наземного обеспечения воздушных и подспутниковых экспериментов.

Работами последних лет показаны возможности применения аэрокосмической информации для изучения природоохранных объектов. Предложена этапность дистанционных исследований по выявлению охраняемых объектов на торфяных месторождениях. Раскрыто содержание работ на различных этапах. Сформированы требования к используемым материалам аэро- и космосъемок. В соответствии с подготовленными

рекомендациями природоохранный фонд республики Беларусь пополнился значительным количеством (более 80) торфяных месторождений, на которых запрещено изменение водного режима, утвержден нормативный документ о разработке природоохранных мероприятий регионального уровня при проектировании мелиоративных и водохозяйственных систем, действующий в настоящее время.

Весьма актуальной задачей повышения эффективности подобных исследований является разработка компьютерных автоматизированных методов обработки дистанционной информации [5, 6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альтер С.П. Ландшафтный метод дешифрирования аэроснимков – М. – Л.: Наука, 1966. – 88 с.
2. Обуховский Ю.М., Каждан Е.Н. Ландшафты Солигорского района // Природопользование. Минск, 1997. Вып. 3. – С. 41-44.
3. Обуховский Ю.М., Каждан Е.Н. Ландшафты Полоцкой низины по данным дистанционного картографирования // Материалы II Междунар. научно-техн. конф. «Геодезия, картография и кадастры». Минск, 1999. – С. 158-162.
4. Обуховский Ю.М., Каждан Е.Н. Болота и заболоченные земли Полоцкой низины // Материалы VI съезда БГО. Минск, 1999. – С. 141-142.
5. Топаз А.А. Анализ структуры почвенного покрова на основе цифровой обработки аэрофотоснимков (на примере долины р. Припяти): Автореф. диссертации канд. геогр. наук: 25.00.23 / БГУ. – Минск, 2005. – 22 с.
6. Konakh V.V., Topaz A.A. Indication of Anthropogenons Dynamics of Top-Soil of Aerial Photographs Digital Processing//Pattern Recognition and Information Processing: Proceedings of the Eighth International Conference (Minsk, Republic of Belarus, 18-20 May), – Minsk: Propiel, 2005. – P. 92-94.

© Ю.М. Обуховский, Е.Н. Каждан, 2006

УДК 528.94:553.982.2

Л.К. Радченко

СГГА, Новосибирск

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ КАРТ И ПЛАНОВ КОММУНИКАЦИЙ

Для правильного функционирования любого нефтегазового предприятия необходим комплект графической маркшейдерской документации, который включает в себя карты (планы) коммуникаций нефтегазовых месторождений.

В СГГА на базе научно-исследовательского сектора на протяжении пяти лет создаются карты (планы) коммуникаций на территории нефтегазовых компаний ОАО «Сибнефть-ННГ», ОАО «Роснефть-Пурнефтегаз». Технология создания таких карт (рис. 1) была получена в процессе производственных и экспериментальных работ, в которых автор принимала непосредственное участие.

Работы начинаются с редакционно-подготовительного этапа, который включает в себя:

а) а) получение задания на создаваемую карту, где указывается название (тема), масштаб, территория и назначение;

б) Анализ нормативно-технической документации и применяемых библиотек условных знаков;

в) Формирование требований на карту, которые должны учитывать специфические особенности этих карт, а именно:

– На картах коммуникаций должны быть точно и достоверно отображены все коммуникации и сопутствующие им объекты;

– Максимально переданы все необходимые характеристики объектов картографирования;

– Правильно подобрана цветовая гамма для коммуникаций, чтобы карта хорошо читалась;

– Удобство пользования этими картами. Цифровой вариант дает возможность работы с базами данных по отображаемым объектам, дает обзор всего месторождения, необходим для решения ряда производственных задач с помощью прикладных программ, дает возможность использования в локальной сети всего нефтегазового предприятия;

– Карты коммуникаций должны постоянно обновляться, так как изменение местности в районах добычи нефти и газа происходит молниеносно.

г) Изучение картографируемой территории и объектов, которое заключается в глубоком и всестороннем изучении особенностей картографируемых явлений или объектов, так как для составления карт коммуникаций важно знать, как устроена работа всего нефтегазового комплекса, все специализированные названия объектов нефтегазового промысла.

Для получения такой информации предлагается привлекать специалистов нефтегазовой отрасли, различные литературные источники, в необходимых случаях важен выезд на местность редактора, чтоб понять, как отобразить тот или иной объект картографирования;

д) Сбор, изучение и оценка картографических материалов.





Рис. 1. Технология создания карт и планов коммуникаций

Для создания карт коммуникаций необходимы следующие материалы: списки координат пунктов ГГС; списки координат и высот базового обоснования; аэрофотоснимки в аналоговом и цифровом форматах; результаты геодезической съемки, в виде каталога координат и высот; обзорные схемы расположения месторождений на нефтегазовом комплексе; материалы в виде таблиц с видами опор линий электропередач, полученные в результате сбора информации в полевых условиях; принципиальные схемы трубопроводов и линий электропередач, схемы дорог и кустовых площадок; таблицы с характеристиками трубопроводов и линий электропередач.

Результатом редакционно-подготовительных работ является программа карты, которая включает в себя:

- а) Географическое описание района картографирования;
- б) Обоснование математической основы карты;
- в) Указания по использованию картографических материалов;
- г) Указания по составлению карты и генерализации, которые включают в себя:
 - Кодирование объектов съемки (присваивается индивидуальный код каждому объекту, например N – нефтесбор, MN – магистральный нефтепровод и т. д.);
 - Подготовку библиотеки условных знаков, картографических шрифтов;
 - Выбор используемого программного обеспечения;
 - Создание шаблонов тематических слоев будущей карты [1].

Предлагается использовать следующее программное обеспечение, указанное в табл. 1.

Таблица 1. Используемое программное обеспечение

Название программы	Назначение
GPSurvey	Обработка геодезических измерений (если измерения производятся с помощью спутниковой аппаратуры).
Princom	Для перекачки измеренных данных с тахеометра в компьютер (если измерения производятся с помощью электронного тахеометра).
Microsoft Word	Создание редакционно-технических указаний
Microsoft Excel	Создание каталога координат
Mapinfo Professional	Создание цифровой карты коммуникаций.

Помимо этих программ также в процессе работы используются следующие прикладные программы, работающие под продуктом Mapinfo, созданные специалистами СГГА на базе научно-исследовательского сектора, указанные в табл. 2.

После составления программы карты, она проходит согласование и утверждение с заказчиком работ.

На этапе сбора и обработки топографо-геодезической информации используются полевые и камеральные методы.

Полевые методы сбора данных осуществляются с помощью электронных тахеометров, GPS-приборов, безотражательных лазерных рулеток, фотограмметрических материалов, лазерных сканеров. Результатом полевых методов сбора являются каталоги координат, абрисы, аэрофотоснимки.

Таблица 2. Прикладные программы для программы Mapinfo

Название программы	Назначение
WrkGTS v 1.4.1	Импорт данных в программу Mapinfo
ТАРСервис	Упаковка таблиц Mapinfo группой
Построения	Построение по координатам, по промерам, построение параллельной и перпендикулярной линий, построение точки пересечения двух отрезков.
Оформление	Автоматизированное создание стрелок линий электропередачи, подписей
Откос	Автоматизированное создание откосов
Сетка	Создание картограммы
Печать планшетов	Автоматизированное создание планшетов для печати

Из камеральных методов сбора в нашем случае применяется сканерная технология для сканирования аэрофотоснимков.

Третий этап – формирование растрово-векторной цифровой модели местности. Он включает в себя:

- Привязку цифрового ортофотоплана;
- Формирование векторной части цифрового топоплана;
- Оценку ортофотоплана;

- Камеральное дешифрирование ортофотоплана;
- Контроль.

Результатом работ является растрово-векторная цифровая модель местности, с которой в дальнейшем получаем цифровые карты и планы коммуникаций. Создание цифровых карт и планов производится в программе Mapinfo.

Следующий этап – подготовка к изданию карт и планов, который включает в себя:

- Создание картограммы, необходимой для разбивки карты на отдельные листы, называемыми планшетами. Создание ее производится произвольно, с помощью прикладной программы «Сетка» в рамках программного продукта Mapinfo. Каждому планшету присваивается индивидуальный номер.
- Оформление планшетоов для печати, включающее в себя рисовку внутренней и внешней рамок и создание зарамочного оформления планшета. Это предлагается выполнять с помощью прикладной программы «Печать планшетоов» в рамках программного продукта Mapinfo.

Результатом данных работ являются рабочие наборы – электронные файлы с расширением *.wof, которые содержат в себе готовые карты и отчеты для печати. После чего рабочие наборы проходят контроль у редактора и корректуру у исполнителя, и передаются для издания.

Издание карт и планов коммуникаций – заключительный этап технологии, состоящий из:

- Создания макета (макет – рабочий набор для печати в соответствии с условными знаками и шрифтами);
- Создания PS-файла (осуществляется прямой печатью через PS-драйвер принтера, в результате чего создается PS-файл, который храниться в памяти компьютера);
- Риповки (осуществляется цветоделение и обработка Постскрипт-файла);
- Вывода на печать (подготовленный файл выводится на печать).

Готовые планшеты карт и планов коммуникаций, вместе с цифровыми картами передаются заказчику работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радченко, Л.К. Создание карт-схем коридоров наземных и подземных коммуникаций масштаба 1:5000 на примере нефтегазоносных месторождений Ямала /Л.К. Радченко// Региональная научно-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию Роскартографии и 30-летию кафедры инженерной геодезии и картографии ИрГТУ «Геодезия, картография, кадастр земель Прибайкалья» 12-13 марта 2004 г., Иркутск. – Иркутск, 2004. – с. 149

**ЭЛЕКТРОННАЯ КАРТА РЕКРЕАЦИОННО-ТУРИСТИЧЕСКОГО ЗОНИРОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ТУНКИНСКИЙ» (ЮЖНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)**

Национальный парк «Тункинский» – единственный национальный парк России, который создан в границах административного района. Оригинальность его заключается в том, что его территория расположена в Южном Прибайкалье в 40 км к западу от южной оконечности оз. Байкал и занимает Тункинскую впадину.

Тункинская впадина по красоте, разнообразию рельефа и рекреационным свойствам ландшафта не имеет аналогов в Восточной Сибири. Ее уникальность обусловлена особенностью геологического и геоморфологического строения, она как бы связывает между собой два феномена природы – оз. Байкал и оз. Хубсугул. Самые молодые и оригинальные потухшие четвертичные вулканы в районе курорта Аршан, многочисленные минеральные источники, обилие солнечных дней (больше, чем на Черноморском побережье Крыма), великолепие и разнообразие ландшафтов с широко распространенными темно-хвойными лесами, пьянящий воздух Тункинских Альп, высокогорные луга, многочисленные памятники природы, истории, религии, близость к городам и хорошие дороги – сделали это место самым популярным для курортного лечения и отдыха, как отечественных, так и зарубежных туристов. Природно-климатические условия национального парка «Тункинский» благоприятны для развития оздоровительной, санаторно-курортной и спортивно-туристической деятельности. Поток туристов уже в настоящее время достаточно велик и составляет 200-220 тыс. человек за теплый сезон, а в дальнейшем он возрастет во много раз. Поэтому разработка и создание систематизированного картографического документа – Рекреационно-туристской карты – заключающего полную и достоверную информацию о природе, природных ресурсах и достопримечательностях этого прекрасного края, весьма актуальна [1, 2].

Особое значение приобретают компьютерные карты, разрабатываемые на основе методов ГИС-технологий, что позволяет оперативно представлять информацию в виде как аналитических информационных слоев, блоков, так и подсистем (структур), выделяемых по способу взаимодействия и взаимоотношений элементарных объектов и факторов.

Интерактивные возможности позволяют дополнить содержание цифровых карт в соответствии с поставленными задачами анализа и оценки ресурсов туризма и отдыха. Электронная интерактивная карта легко переводится из одного формата в другой и на бумажные носители. Применение ГИС-

технологий в картографировании рекреационно-туристских ресурсов, сферы рекреационно-туристского обслуживания, наиболее полно отвечает требованиям функционального зонирования. В национальном парке основные цели функционального зонирования направлены на решение двух основных задач: 1. Обеспечения оптимального режима рекреационного использования отдельных частей планируемой территории, соблюдения экологических нормативов и проектных решений в части размещения отдельных видов рекреационных объектов, занятий туризмом и отдыхом и их совокупностей. 2. Сохранение и восстановление природных и культурных ландшафтов [3].

Использование принципов и методов геоинформационного картографирования позволяет получить качественно новые возможности информационного анализа территории. Большое значение имеет компьютерная система накопления базы данных, анализа и оперативного представления (на компьютере или в виде настенной картографической информации) изменяющейся ситуации.

Электронная «Рекреационно-туристская карта национального парка «Тункинский» создается в масштабе 1 : 200 000. Создание цифровой карты включает несколько этапов: сканирование (перевод изображения в растровый формат), векторизацию (перевод изображения из растрового формата в векторный), создание слоев топографической основы и тематических слоев, создание тематических баз данных.

Одним из самых важных и наиболее сложных вопросов при создании карты является разработка ее легенды. Она ставит целью не только и не столько приведение проектируемых картографических знаков в систему, облегчающую восприятие содержания и чтение карты, сколько наиболее полное раскрытие замысла карты, обогащение ее содержания, а также выявление системных связей между природными комплексами и конкретными объектами карты.

«Рекреационно-туристская карта национального парка «Тункинский» включает элементы как общегеографического, так и тематического содержания.

Для карты была специально разработана общегеографическая основа на базе топографической карты масштаба 1 : 200 000, которая дает информацию о местности по всем основным элементам карты.

Рекреационно-экологические комплексы (РЭК), на карте их 13, выделены по принципу высотных ландшафтных поясов – от гольцовых, через горно-таежные к долинным. Матричный вид легенды позволяет дать более полную характеристику рекреационно-экологического комплекса, т. е. показать его рекреационную значимость и привлекательность (альпинизм, горный и научный туризм, лицензионная охота, сбор дикорастущих лекарственных растений, санаторно-курортное лечение на минеральных водах и др.), обозначить опасные природные процессы и явления (камнепады, обвалы, осыпи, снежные лавины, русловая и склоновая эрозия, селевые потоки, горные паводки и др.), рекомендовать необходимые природоохранные меры (регламентированный сбор ягод и грибов, ограничение охоты на промысловых животных и зверей, водоплавающих и околоводных птиц, боровую дичь, запрещение складирования хозяйственно-бытовых отходов, строгое соблюдение

пожарной безопасности и др.). На карте рекреационно-экологические комплексы отображены качественным фоном. При подборке цветов учитывалась традиционная шкала цветов, применяемая на ландшафтных картах.

Следующий раздел тематического содержания включает рекреационно-туристские элементы и состоит из двух подразделов: лечебно-оздоровительного и экскурсионно-познавательного. Лечебно-оздоровительный подраздел включает перечень различных типов минеральных источников: хлоридные воды Аршана, железистые – Хонгор-Уула, метановые – Жемчуга, родоновые – Ниловой Пустыни, и существующие учреждения рекреации.

В экскурсионно-познавательном подразделе отображены:

– Памятники природы:

Геологические: вулканы Тальская вершина и Уляборский (Черского, Хара-Болток), Мраморное дно р. Кынгарга,

водные: источники Нилова Пустынь, Хонгор-Ула и Аршан, Койморские озера, первый водопад на р. Кынгарга, реки Ихе-Ухгунь и Кынгарга при выходе из гор, Тункинская скважина, Хобокское озеро, второй водопад на р. Кынгарга

Ботанические: лиственница-долгожитель.

– Уникальные геологические объекты: Вулканы Коврижка, Кунтен, Подгорный, Ойн-Шандагата (вулкан Обручева), ледники горы Мунку-Сардык, Обнажение Белый Яр, Стол Чингисхана и др.

– Уникальные ландшафтные объекты: Бадар (Сосновый бор), Мондинская степь, Нуркутульские озера и др.

– Места особого поклонения местного населения,

– Научные обсерватории и музеи,

– Туристические маршруты (автомобильные, пешеходные, водные, конные и др.),

– Редкие и исчезающие виды растений и животных,

– Места палаточных и экологических лагерей.

Создание электронной карты (ЭК) осуществлялась в программном продукте Карта 2003 «Панорама».

Создание электронной карты включает четыре этапа:

1. Преобразование исходной картографической информации в растровую форму;

2. Векторизация (цифрование) объектов ЭК по растровому изображению и предварительная обработка данных;

3. Формирование легенды карты;

4. Контроль и приемка ЭК.

Преобразование исходной картографической информации в растровую форму состоит из следующих процессов:

– Сканирование исходных материалов (бумажные топографические карты масштаба 1 : 200 000, материалы космической съемки, бумажные тематические карты);

– Конвертирование растровых данных. Этот процесс заключается в преобразовании графических форматов *tiff, *bmp, *jpeg, *psx и других в формат программы Карта 2003 – *rsw , что происходит полуавтоматически при загрузке файлов с внесением данных о масштабе и разрешении изображения. Следует учитывать, что при увеличении разрешения резко возрастает объем формируемого файла, что сказывается на объемах хранимой информации, скорости отображения и обработке растрового изображения.

– Трансформирование данных. Привязка и масштабирование топографических карт выполнялись по рамкам номенклатурных листов, не содержащих точек излома. Для этого производилось трансформирование каждого растрового изображения по данным о теоретических координатах углов рамки, хранящимся в созданном заранее паспорте векторной карты, а затем объединение полученных растровых изображений в растровый район. Привязка и масштабирование карт с тематическим содержанием выполнялись в два этапа: предварительное ориентирование по двум далеко стоящим точкам, масштабирование изображения и точное трансформирование по набору опорных точек. По методу Делоне изображение преобразовывается частями (по треугольникам), но в результате получается единым и точно «садится» на опорные точки. Допустимые расхождения не более 0,3 мм в масштабе карты.

Порядок векторизации топографической основы согласуется с правилами цифрового описания (объекты гидрографии, рельефа, населенные пункты, объекты промышленного и социально-культурного назначения, дорожная сеть, растительность). Параллельно с векторизацией заполняется семантическая информация, дополнительно заносятся данные о лечебно-оздоровительных и экскурсионно-познавательных объектах.

При совмещении информации необходимо осуществлять контроль над наложением слоев топографии и тематики и проверку топологии. Программа позволяет выполнить сортировку слоев и объектов, в зависимости от локализации – площадные, линейные, векторные, шаблоны и подписи.

Таким образом, представленная методика позволяет создать электронную «Рекреационно-туристическую карту национального парка «Тункинский», которая будет использоваться для организации рекреационно-туристической, научной, познавательной, природоохранной деятельности, способствовать экологическому образованию и просвещению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Н.В. Котельникова, Л.А. Пластинин. Прикладные экологические карты в системе мониторинга ландшафтов национального парка «Тункинский». Геодезия, картография, кадастр земель Прибайкалья. – Иркутск, Изд-во ИргТУ, 2004. – 192 с.

2. Н.В. Котельникова, Г.Г. Гук, Е.В. Котельников. Перспективы создания электронной рекреационно -туристской карты национального парка «Тункинский». Игошинские чтения-2005. – Иркутск, Изд-во ИрГТУ, 2005.

3. В.Н. Богданов, С.В. Рященко. Разработка компьютерных карт рекреационного потенциала территорий с использованием методов ГИС-технологий. Современные проблемы социальной географии. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2005. – 119 с.

© Н.В. Котельникова, Р.В. Корюгин, Б.Н. Олзоев, 2006

УДК 528.9(571.150)

А.В. Владыкина

СГГА, Новосибирск

И.Н. Ротанова

ИВЭП СО РАН, Барнаул

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ КАРТОДИАГРАММЫ ДЛЯ ОПЕРАТИВНО-СПРАВОЧНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

В связи с усилением отрицательных экологических последствий хозяйственной деятельности возрастает значимость социально-эколого-экономической оценки регионов. Для отражения ситуации в регионах выявляются, разрабатываются и рассчитываются различные показатели, такие как индикаторы устойчивого развития [1]. Их картографическое отображение одна из задач эколого-экономического картографирования. Динамичность социально-экономических и экологических показателей, необходимость их учета и анализа для управления и принятия решений в социально-экономической сфере, создают предпосылки для разработки и составления оперативно-справочных карт, содержащих оценку сбалансированности / несбалансированности развития территорий.

В качестве показателей устойчивости развития региона могут выступать социально-экономические характеристики, используемые для анализа на уровне субъектов РФ и представленные на карте «Комплексное районирование территории России экологической и социально-экономической ситуации», разработанной в Институте географии РАН [2]. В индексной форме на ней дается оценка регионов в баллах по восьми группам социально-экономических показателей в пяти уровнях остроты проявления. Группы показателей включают, в том числе: объем внутреннего (регионального) продукта, млн. руб. на 1 чел./год;

долю сырьевых отраслей в общем объеме промышленного производства субъекта, %; среднюю продолжительность жизни, лет; среднюю заработную плату, руб. и пр. Используемый на карте способ изображения в виде буквенно-цифровых индексов интересен своей комплексностью, но сложен для восприятия. Поэтому необходимо для эколого-экономических показателей,

обладающих большой информативностью, разработать способ изображения, совмещающий простоту восприятия, информационную емкость, компьютерное построение и воспроизведение.

Эколого-экономические показатели отображаются на оперативно-справочных картах и предназначены для своевременного информирования пользователей о неблагоприятных процессах, контроля за их развитием, подготовки рекомендаций и прогнозов, стабилизации или изменения хода процесса [3]. Современные технологии позволяют исследователю работать в интерактивном режиме, обеспечивают тесное сочетание методов создания и использования карт, открывают широкие перспективы для оперативного построения моделей, обеспечивают немедленную обработку вновь поступающих данных, их картографическую визуализацию для различных целей.

Развитие геоинформационных технологий и создание ГИС-проектов позволило дать новое содержание оперативно-справочному картографированию, привести темпы создания карт к реальному времени. Информация для оперативного составления и обновления карт может поступать по каналам Интернет из удаленных баз данных по запросам пользователей, с различных носителей тематической информации.

Геоинформационные технологии позволяют решать вопросы картосемиотики оперативно-справочных карт, предоставляют возможность написания прикладных программ для создания карт в целом, а также конструировать как отдельные картографические условные знаки, так и усовершенствованные способы изображения. Программирование особенно эффективно при создании структурных знаков, где требуется точное соответствие между размером, цветом или формой элементов знака и отображаемыми с их помощью количественными или качественными характеристиками картографируемых объектов [3]. В MapInfo Professional такая возможность реализуется с помощью встроенного языка программирования MapBasic. Для тематического картографирования разработан специализированный способ их изображения картодиаграммного типа – график-матрица, одновременно отображающий несколько количественных показателей состояния объекта картографирования.

При разработке эколого-экономической карты Алтайского края в среде MapInfo Professional была поставлена задача отобразить семь расчетных показателей, характеризующих эколого-экономическую ситуацию в районах края (рис. 1).

Используемая в крае «Методика комплексной оценки уровня социально-экономического развития территории Алтайского края» в качестве основных показателей для оценки использует ряд «первичных» и «расчетных» индикаторов, подразделяемых на три блока: экономика, население, экология. В каждом блоке по значениям показателей-индикаторов рассчитываются частные потенциалы, характеризующие в блоке экономики производственный, финансовый и инфраструктурный потенциалы; в блоке населения – демографический, социальный; в блоке экологии – экологически

обусловленную заболеваемость, загрязнение окружающей среды, расчетные потенциалы отражены на рис. 2. Подобные показатели достаточно быстро меняются, поэтому использование технологической схемы отображения обновленной информации и позволило выявить тенденции развития региона посредством сопоставления карт, составленных по данным 2000, 2002 и 2004 гг.

Программа «Построение графика» предусматривает изменение следующих параметров:

- Объекта исследования (область, линия, точка);
- Количества картографируемых объектов;
- Количества отображаемых показателей;
- Увеличение/уменьшение окрашивания столбцов с увеличением картографируемого показателя;
- Число интервалов;
- Стилль оформления;
- Размер знака.

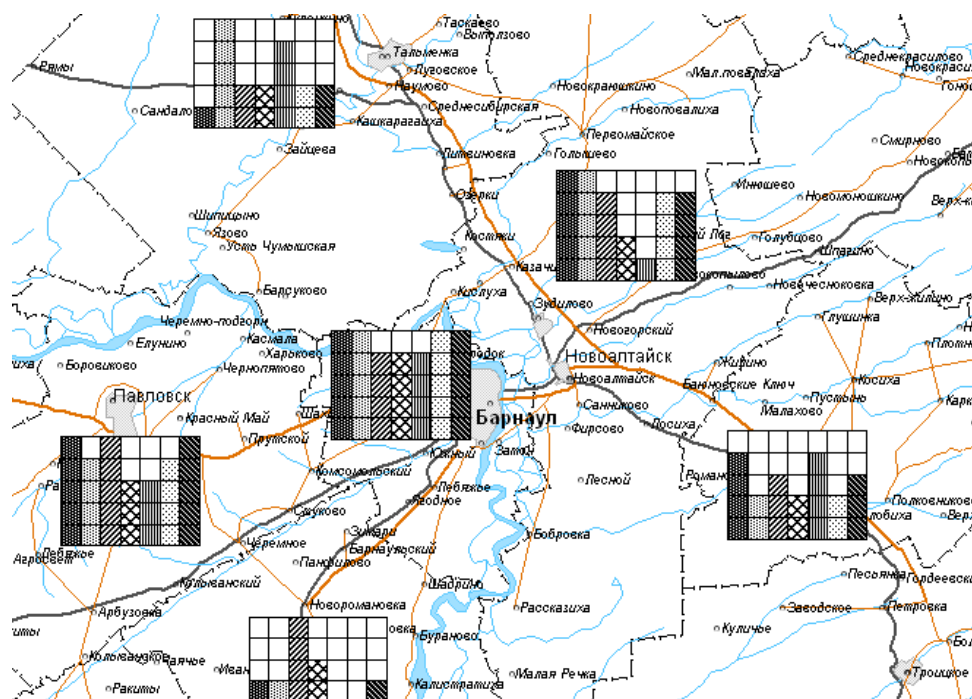


Рис. 1. Фрагмент эколого-экономической карты Алтайского края по данным 2004 года

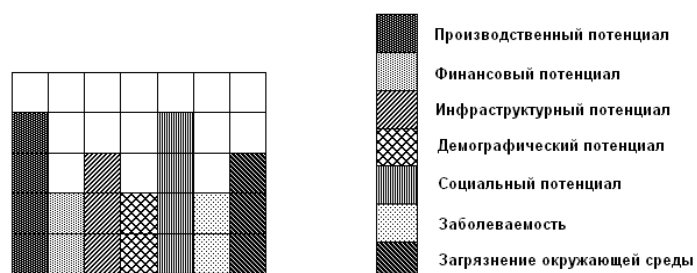


Рис. 2. Расчетные показатели, характеризующие эколого-экономическую систему региона

На рис. 3 показано рабочее окно программы и параметры, которые можно изменять: стиль оформления, размер, количество интервалов и др.

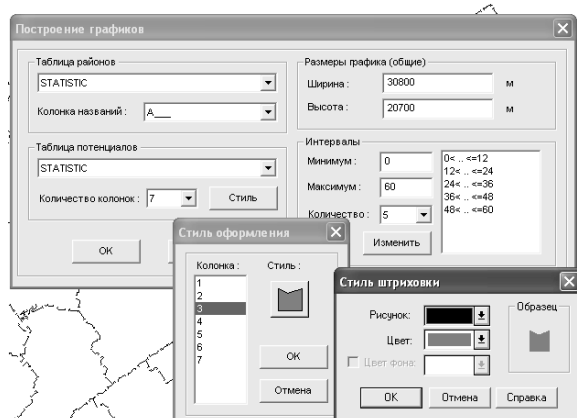


Рис. 3. Рабочее окно программы «Построение графика»

Разработанный способ изображения может быть применен для социально-экономических, экологических и других видов карт, в которых происходит достаточно быстрое изменение количественных данных картографируемых явлений. Например, можно использовать этот знак для мониторинга загрязненных вод рек. Учитывая случившуюся ситуацию на реке Амур, когда в реку поступило большое количество загрязняющих веществ, диаграмма позволит отслеживать концентрацию веществ на протяжении всей реки и в пределах городских территорий в течение заданного промежутка времени. По мере поступления новой информации из удаленной базы данных оперативная карта обновляется. На рис. 4 показан фрагмент карты города с графиками, отражающем прохождение пятна загрязняющих веществ.



Рис. 4. Фрагмент карты города с диаграммами концентрации загрязняющих веществ

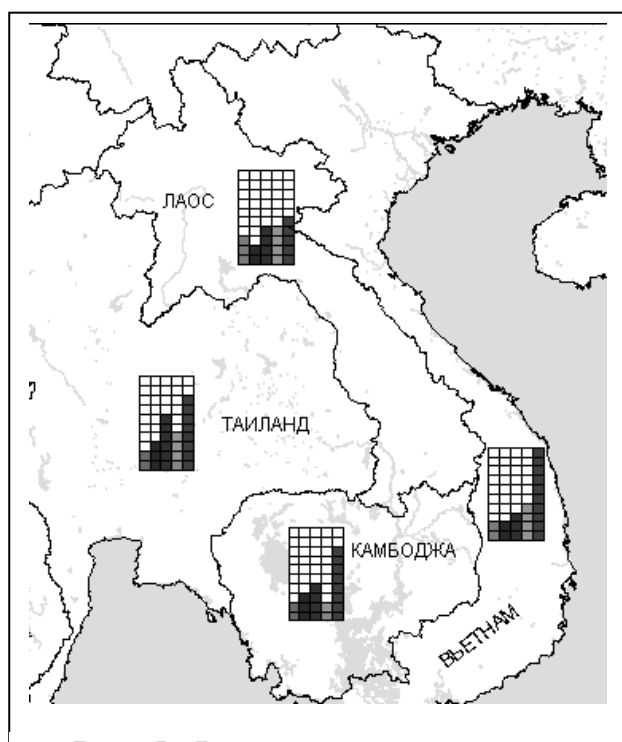


Рис. 5. Фрагмент карты мира с графиками заболеваемости кур птичьим гриппом

Продолжающееся распространение птичьего гриппа в России и мире вызывает растущее беспокойство общественности. С момента обнаружения вируса H5N1 в Гонконге в 1997 году, в мире погибли или были уничтожены десятки миллионов птиц, а в Китае, Вьетнаме и Таиланде скончались более 60

человек. Смертность среди заболевших людей составляет более 50 процентов [5]. На рис. 5 условный знак характеризует увеличение количества заболевших птиц за 5 месяцев 2006 года [5]. На кафедре картографии и геоинформатики СГГА разрабатывается серия медико-экологических карт, посвященная этой тематике, разработанный способ изображения может быть применен при создании карт (рис. 5).

Разработанный модифицированный способ изображения картодиаграммного типа сочетает принципы информативности, возможности связи с компьютерными информационными базами, соответствия современным оперативным технологиям построения, воспроизведения и наглядности для использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Показатели устойчивого развития: структура и методология [Текст]/ Тюмень: Изд-во Ин-та проблем освоения Севера СО РАН, 2000. – 358 с.
2. Комплексное районирование территории России по экологической и социально-экономической ситуации [Карта] / Масштаб 1 : 8 000 000. Под общ. ред. В.М. Котлякова, Н.Ф. Глазовского. ФСГиК, 2002.
3. Берлянт, А.М. Геоинформационное картографирование [Текст] / А.М. Берлянт. – М., 1997. – 64 с.
4. Востокова, А.В Оформление карт. Компьютерный дизайн [Текст]/А.В. Востокова, С.М. Кошель, Л.А. Ушакова. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 288 с.
5. Карта распространения птичьего гриппа на движке Google Earth [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elementy.ru/news>.

© А.В. Владыкина, И.Н. Ротанова, 2006

ГОРОД КАК ОБЪЕКТ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Обзор научных публикаций показывает возросший интерес к городским территориям, обусловленный процессом урбанизации.

Предпосылками урбанизации являются: рост в городах индустрии, развитие их культурных и политических функций, углубление территориального разделения труда.

Несмотря на четкую переориентацию многих исследований с глобальных и региональных на муниципальные проблемы отсутствуют общепринятые концепции картографирования крупных городов, недостаточно разработаны критерии оценки различных ее компонентов. Картографическое изучение городов вызывает множество проблем, связанных с методикой проведения работ, научной проработкой вопросов проектирования и составления карт.

Город же, являясь сложнейшим для познания объектом изучения, требует всестороннего многоаспектного рассмотрения всех или, по крайней мере, наиболее значимых, определяющих его состояние и развитие, параметров [1].

Геоинформационная поддержка в изучении города является важнейшей частью информационного обеспечения аналитической деятельности, повышает оперативность и качество информационного взаимодействия, эффективность управления и использования информационных ресурсов, применения электронных карт и геопространственных данных.

Достижения научно-технической работы, повсеместная замена аналоговых технологий цифровыми, а также революция в области получения первичной информации и ее обработки дали возможность выйти на более высокий этап автоматизированного картографирования – геоинформационное картографирование.

Суть геоинформационного картографирования состоит в информационно-картографическом моделировании природных и социально-экономических систем на основе цифровой базы данных, ГИС-технологий, географических и специальных данных [2].

Геоинформационное картографирование в настоящее время является ведущим направлением. В рамках этого направления сегодня идут активные поиски, создаются новые картографические произведения. Оно позволяет визуализировать и связывать между собой огромное количество информации, накопленной за многолетнюю деятельность различных областей науки и практики. Оно дает возможность, по мере необходимости, пополнять, обновлять имеющуюся базу, производить обработку, анализ.

Для разработки концепции геоинформационного картографирования городских территорий предстоит решить следующие задачи:

- Исследовать объективные закономерности и противоречия в области геоинформационного картографирования городов, определить ключевые направления его совершенствования и развития.

- Разработать принципы, методологию создания и внедрения Базы данных и Банка геопространственной информации.

- Определить методы и технологии семантического моделирования, кодирования, интеграции и поиска геопространственной информации, извлечение знаний.

При этом необходимо определить потребности потребителя и отыскать язык, правильно и в наиболее доступной форме передающий чисто научные и специализированные понятия, на которые будут опираться карты.

В этих исследованиях необходимо разработать методы, которые позволят:

- Интегрировать информацию о жилой и промышленной застройке; спортивных сооружениях и игровых детских площадках; объектах сферы обслуживания и досуга; инженерно-технических коммуникациях; маршрутах городского пассажирского транспорта и пригородных поездов;

- Сформировать Базу данных (знаний) для развития города, поддержки различных звеньев управления городом, экономикой, социальной сферой, безопасностью.

Возможности геоинформатики позволяют с высокой степенью наглядности воссоздать изучаемую территории и развитие происходящих на ней процессов. Однако усиление наглядности не должно привести к потере метричности, так как карты имеют научно-практическое значение.

Наряду с созданием электронных карт и Баз данных необходимо изучить функции города, факторы и определить критерии оценки качества изучаемой территории.

К основным функциям города можно отнести 2 вида: градообразующие и градообслуживающие. Градообразующие функции, определяют специализацию города. К градообслуживающим функциям относятся: обслуживание собственного населения внутригородским транспортом, коммунальными и бытовыми услугами, продукцией повседневного спроса и т. д.

В изучении факторов основополагающей может стать монография Павловой Л.И. «Город: модели и реальность» [3], которая отображает наиболее полный набор и анализ факторов. К ним относятся:

- Ландшафтно-композиционный фактор;
- Социальный фактор;
- Транспортный фактор;
- Экологический фактор;
- Историко-архитектурный фактор;
- Экономический фактор.

Исходными материалами для исследования могут служить:

- Различные картографические материалы (топографические и тематические карты разных периодов и масштабов, атласы, аэрофотоснимки и ортофотопланы);
- Обширные литературные и статистические данные;
- Материалы исторических и географических исследований.

Выполнение задач по изучению урбанизированных территорий зависит от правильной организации работ по сбору, оценке и анализу исходной информации; разработки системы технологии создания карт на всех стадиях работ.

Необходимо отметить, что последовательность работ при этом на территории разных городов может быть различна. Однако различия чаще всего касаются каких-то специфических особенностей, определяемых или задачами исследования и спецификой объекта. Носят эти различия всегда частный характер.

Созданные картографические произведения в геоинформационных системах могут быстро преобразовываться по содержанию в связи с изменением направлений исследований. Они позволяют выполнять мониторинг, прогнозировать и моделировать дальнейшее развитие тех или иных процессов, облегчают принятие решений по вопросам проектирования, строительства, эксплуатации инженерных объектов, экономики, сервиса, безопасности и т. д.

Круг пользователей таких данных включает: органы управления, промышленные предприятия, банки, деловые круги, коммерческие организации, изыскательские и научно-исследовательские учреждения, университеты, школы, архивы, библиотеки, музеи, туристические организации, средства массовой информации, органы охраны внутреннего распорядка, отдельных граждан.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евдокимова Н.М., Особенности геоинформационного картографирования городских территорий // Доклады научно-практической конференции «Игошинские чтения». – Иркутск, Изд-во ИрГТУ, 2006. – в печати
2. Макаров В.З., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Эколого-географическое картографирование городов. – М.: Научный мир, 2002. – 196 с.
3. Лютый А.А. Картография на рубеже тысячелетий // Картография на рубеже тысячелетий: Доклады I Всероссийской научной конференции по картографии. М., 1997. – С. 6-9.
4. Павлова Л.И. Город: модели и реальность [Текст]/ Л.И. Павлова. – М.: Стройиздат, 1994. – 320 с.

© Н.М. Евдокимова, 2006

УДК 528.9
С.А. Сухорукова
СГГА, Новосибирск

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ВАРИАНТА КАРТЫ ПРИРОДНЫХ ОЧАГОВ КЛЕЩЕВОГО ЭНЦЕФАЛИТА В МАСЛЯНИНСКОМ РАЙОНЕ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящее время электронные карты являются мощным средством повышения эффективности применения автоматизированных систем управления народным хозяйством, решения многочисленных прикладных, расчетных и информационных задач на основе геоинформационных систем.

Основные преимущества электронных карт состоят в том, что они в отличие от обычной карты позволяют отображать в реальном времени любой участок местности с заданной степенью детализации, получать справки о местности, наносить и корректировать специальную информацию, решать многочисленные расчетные и информационные задачи и отображать результаты решения на картографическом изображении.

Таким образом, ГИС является эффективным средством создания разнообразных тематических карт.

Одним из актуальных направлений в медико-географическом картографировании является составление карт природноочаговых инфекций, учитывающих природные факторы, влияющие на пространственное распространение вируса данной болезни. К числу основных инфекций относится клещевой энцефалит – одна из актуальнейших проблем инфекционной патологии на значительной территории новосибирской области.

Основными требованиями, предъявляемыми к картам распространения очагов клещевого энцефалита, является оперативность и достоверность. Это необходимо для совершенствования организационных работ по проведению профилактических противоэпидемиологических мероприятий. Обеспечение этих требований достигается применением ГИС-технологий, которые ускоряют процесс картографирования очагов природных инфекций.

Рассмотрим создание электронной карты на территорию Маслянинского района Новосибирской области, являющегося эндемичным по клещевому энцефалиту.

С учетом практических требований санитарно-эпидемиологической службы масштаб составляемой карты рекомендуется 1 : 200 000.

Природно-очаговые инфекции, как правило, приурочены к территориям с определенным географическим ландшафтом и сложны комплексом геоботанических и климатических факторов. Методической основой составления карты опасных зон по клещевому энцефалиту является комплексирование фактов географической среды на одну географическую основу с последующим дешифрированием для выявления границ природных очагов клещевого энцефалита. С этой точки зрения на территорию Маслянинского района отвекторизованы три вспомогательные карты: карта рельефа, карта леса и карта климатических зон.

На карте рельефа выделены следующие типы рельефа:

- Равнинный;
- Всклощенный;

- Среднегорный;
- Овражные формы рельефа.

На карте лесов отображены черновая тайга, смешанный лес и безлесье.

На климатической карте выделено два климатических района. Характеризующихся различной степенью увлажнения и суммой положительных температур. Степень увлажнения района определена по значению гидротермического коэффициента (ГТК). В первую климатическую зону вошли районы с ГТК от 1.4 до 1.9, характеризующиеся как прохладные, хорошо увлажненные. Во вторую – с ГТК от 1.0 до 1.5 – умеренно прохладные, умеренно увлажненные.

Известно. Что наибольшая активность переносчика вируса клещевого энцефалита приходится на весенне-летний период. Когда среднесуточные температуры переходят границу 5 С. В связи с этим соответствующими изотермами на карте выделяются широтные зоны, отображающие возрастную активность переносчика с юга на север.

В результате комплексирования получилась электронная карта совокупности природных факторов, содержащая 20 всевозможных сочетаний рельефа, климата и растительности:

- Смешанный лес, ГТК 1.4-1.9, среднегорный рельеф;
- Смешанный лес, ГТК 1.4-1.9, всхолмленный рельеф;
- Смешанный лес, ГТК 1.4-1.9, равнинный рельеф;
- Смешанный лес, ГТК 1.4-1.9, овражные формы рельефа;
- Смешанный лес, ГТК 1.0-1.5, среднегорный рельеф;
- Смешанный лес, ГТК 1.0-1.5, всхолмленный рельеф;
- Смешанный лес, ГТК 1.0-1.5, равнинный рельеф;
- Смешанный лес, ГТК 1.0-1.5 овражные формы рельефа;
- Безлесье, ГТК 1.4-1.9, среднегорный рельеф;
- Безлесье, ГТК 1.4-1.9, всхолмленный рельеф;
- Безлесье, ГТК 1.4-1.9, равнинный рельеф;
- Безлесье, ГТК 1.4-1.9, овражные формы рельефа;
- Безлесье, ГТК 1.0-1.5, среднегорный рельеф;
- Безлесье, ГТК 1.0-1.5, всхолмленный рельеф;
- Безлесье, ГТК 1.0-1.5, равнинный рельеф;
- Безлесье, ГТК 1.0-1.5, овражные формы рельефа

В результате анализа сочетаний различных географических факторов и эмпирических данных эпидемиологических служб выделяются зоны возможного заражения.

Данный этап моделирования карты осуществляется автоматически на основе оверлейной операции.

В результате выявлены территории, которые характеризуются определенной степенью опасности риска заражения клещевым энцефалитом:

- Наиболее опасные;

- Опасные;
- Менее опасные;
- Небезопасные.

К первой, наиболее опасной зоне отнесены все типы рельефа с черневой тайгой. Это в основном территории, расположенные в северной и восточной частях Маслянинского района.

Вторая по опасности зона занимает центральную часть территории. К ней отнесены все типы рельефа, покрытые лесом 9 кроме черновой тайги, ГТК от 1.4 до 1.9.

К третьей, менее опасной зоне отнесены незаселенные территории с ГТК от 1.4 до 1.9 и все территории с равнинной местностью, покрытой лесом, ГТК от 1.0 – 1.5, за исключением территории с равнинным рельефом и отсутствием леса.

Технология создания карты проиллюстрирована на рис. 1



Рис. 1. Схема создания электронной карты распространения клещевого энцефалита в Маслянинском районе Новосибирской области

© С.А Сухорукова, 2006

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ИНТЕРАКТИВНО-ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Развитие современного общества диктует новые требования к содержанию и формам подачи знаний. С учетом использования новых информационных технологий, индивидуальных возможностей и запросов студентов происходит изменение содержания и способа преподавания дисциплины традиционного и дистанционного образования.

Создание интерактивно-обучающей системы (ИОС) – быстро развивающееся и востребованное направление современного образования, в котором преподаватель уступает место активности студентам, а задачей преподавателя становится создание для их инициативы. По сравнению с традиционным образованием в интерактивном обучении преподаватель отказывается от роли своеобразного «фильтра», пропускающего через себя учебную информацию, а выполняет функцию помощника студентам в работе, как одного из источников информации.

Необходимость создания такой интерактивной среды в первую очередь обусловлена подготовкой специалистов новой формации, то есть таких, которые способны самостоятельно творчески мыслить, формировать и реализовывать принимаемые решения.

На основании выполненных научных исследований и практических разработок предложим методику создания ИОС. При этом обратим внимание на ряд преимуществ ИОС от традиционных методических разработок и учебных пособий. В качестве примера используем создание ИОС по общей картографии для студентов геодезической специальности.

Суть преимуществ ИОС состоит в следующем:

- Интерактивное взаимодействие пользователя с ИОС;
- Новые формы представления картографической информации (видео, звук, анимация, ссылки в Интернет);
- Сочетание интегрированного представления картографируемой территории в целом и представления отдельных ее объектов более детально с помощью мультимедийной информации;
- Возможность использования растровых и векторных карт и отображения на них динамичных условных знаков;
- Визуальное уменьшение или увеличение картографического изображения для общего представления всей территории карты или для более детального рассмотрения отдельных фрагментов;
- Использование тестирующих систем, для проверки знаний у студентов с составлением полного отчета о том, как каждый из них отвечал на вопросы системы и выставлением заслуженной оценки;

– Возможность быстрого поиска и отображения необходимой информации.

ИОС по общей картографии рассматривается нами как особая современная компьютерная форма подачи знаний, интегрирующая различные средства хранения и восприятия информации для студентов, включая текст, рисунки, фотографии, звуковое сопровождение, анимацию, картографическое изображение (цифровые и электронные карты, цифровые модели местности), аэро- и космические снимки и т. д.

В связи с этим представляется целесообразно рассмотреть методику создания ИОС. При этом обратим внимание на технологические процессы, структуру и организацию работ ИОС отличающие от традиционных учебных пособий и методики их преподавания, проанализировав на сколько новые геоинформационные технологии могут опираться на новейшие достижения в традиционном образовании.

Разработанная технологическая схема создания ИОС была успешно применена и апробирована при создании ИОС по общей картографии геодезической специальности (рис. 1).

Этапы технологической схемы создания ИОС заключаются в следующем:

1. Разрабатывается задание (назначение, обоснование его структуры, тематики, объема, указания по сбору основных и дополнительных источников, предъявляемые требования и область применения и т. д.) и формируется коллектив, который будет работать над созданием, а также собираются, систематизируются, анализируются, подготавливаются и обрабатываются исходные основные и другие материалы для ИОС в целом.

2. Разрабатывается сценарий согласно названию, назначению, учебной программе, предъявляемым требованиям и области его применения. При создании ИОС сценарий становится основным исходным документом, который конкретизирует: разработку содержания и структуры его разделов или рубрик; разработку перечня теоретического, обучающего и практического курсов; проектирование базы данных; установку требований для интерактивной программной оболочки (вьюера), при использовании которой будет происходить функционирование и использование всей ИОС.

3. Выбирается и/или разрабатывается комплекс программных средств (используется стандартное и специальное программное обеспечение): программное обеспечение для создания ИОС в целом; интерактивная программная оболочка для использования; программное обеспечение для обработки разнородных данных вводимых в компьютер; программное обеспечение для разработки топологии гиперссылок и страниц гиперссылок с мультимедийными файлами (анимации, видеофильмы и звуковое сопровождение);

4. Разрабатывается структура и содержание ИОС. Структура ИОС устанавливается в соответствии с принятым содержанием учебной программы, назначением ИОС и учетом аппаратно-программных возможностей. Структура ИОС представляет собой децентрализованную структуру, основанную на

гипертекстовых страницах. Любая гипертекстовая страница представляет собой обычный файл, содержащий текст, фотоизображение, рисунки, графики, а также гиперссылки на другие, подобные страницы, содержащие картографическую информацию и изображение (тематические слои карт и мультимедийные файлы). Содержание ИОС заключается в следующем:

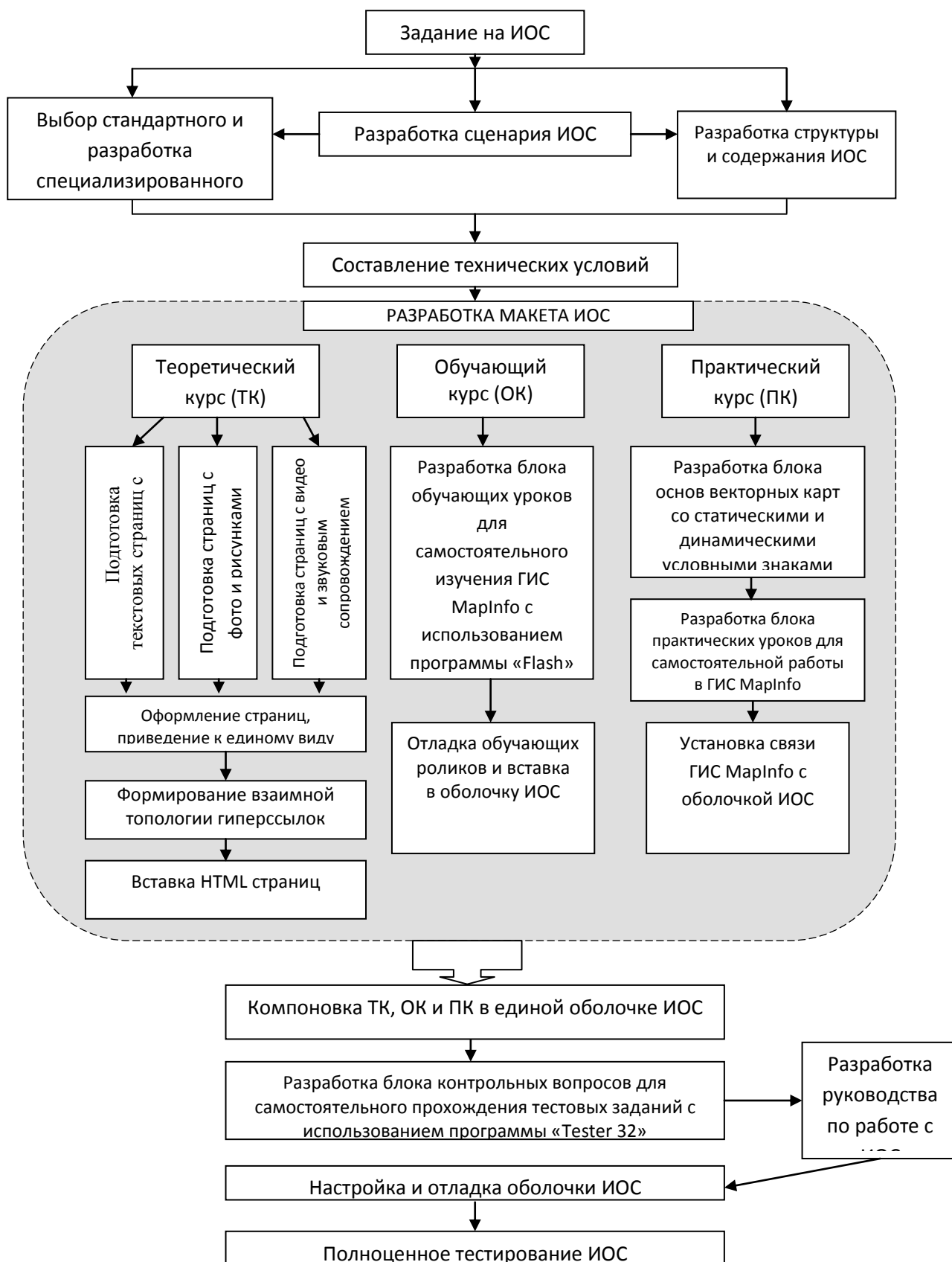


Рис. 1. Технологическая схема создания ИОС

– *Титульная страница* (название и назначение ИОС); *страница с общей характеристикой ИОС* – напутственное слово от создателей ИОС; *главное меню* с содержанием трех основных разделов: *теоретический курс* (ТК), *обучающий курс* (ОК), *практический курс* (ПК), а также *руководство пользователя*;

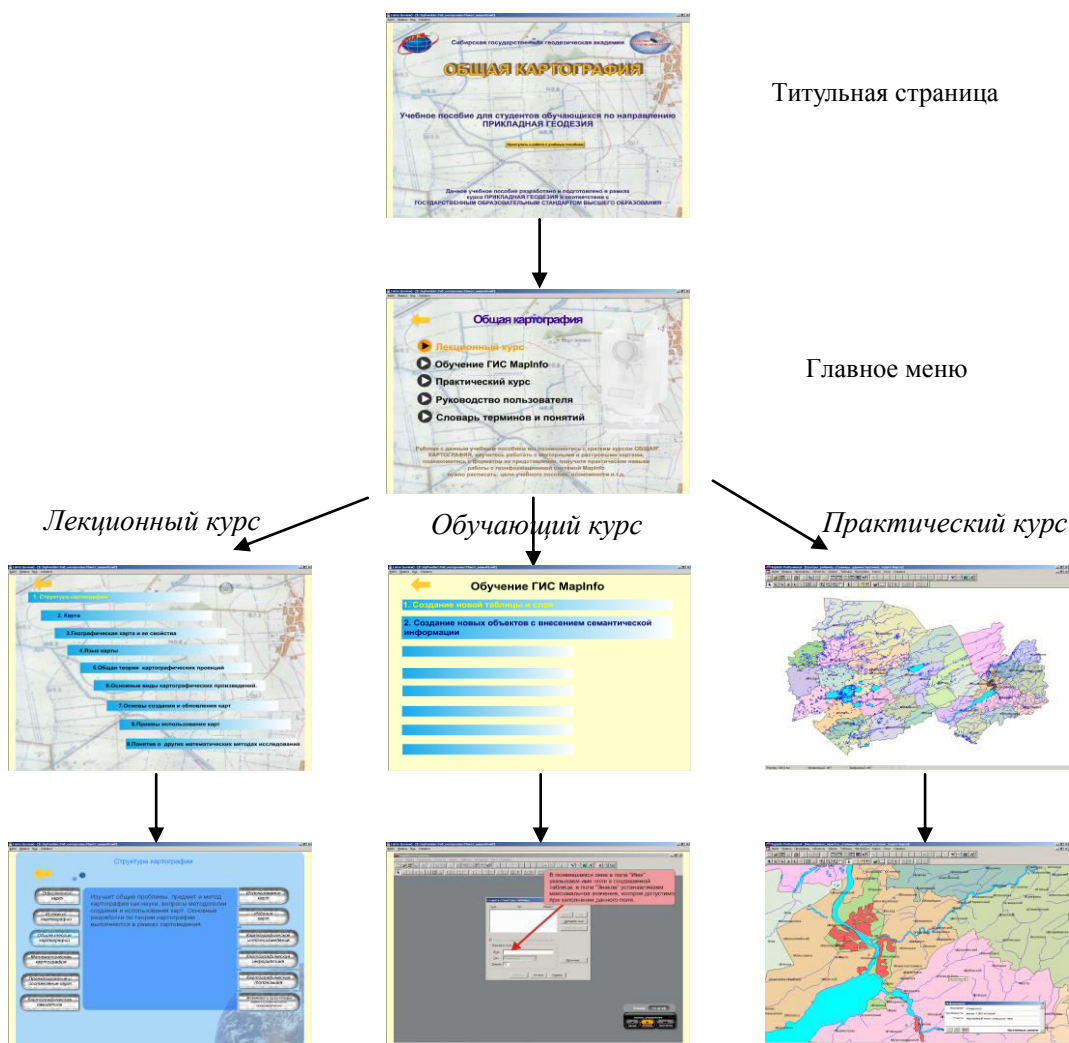


Рис. 2. Структура ИОС по «Общей картографии»

5. Составляются технические условия ИОС в которых дается характеристика аппаратным средствам и программному обеспечению для создания ИОС и использование его в дальнейшем.

6. Разрабатывается макет компоновки ИОС в целом. От удачно разработанного макета компоновки страниц, содержания и структуры ИОС будут зависеть не только ее внешний вид, но и последовательность освещения отображаемых тем. ИОС содержит три основных направления: теоретический курс, обучающий курс и практический курс.

Теоретический курс – содержит необходимую информацию для изучения основ общей картографии, оформлен в виде конспекта лекций.

Ядром всей ИОС являются обучающий и практический курсы.

Обучающий курс ГИС Mapinfo – представлен серией демонстрационных уроков со встроенной панелью управления.

Практический курс – представлен двумя составляющими блоками: традиционные методы картографирования и практические работы в ГИС Mapinfo.

7. Компонуются ТК, ОК и ПК в единую оболочку ИОС.

8. Разрабатываются блоки контрольных вопросов.

9. Разрабатывается руководство по работе с ИОС.

10. Настраивается и отлаживается оболочка ИОС.

11. Тестируется ИОС в целом.

На каждое пользовательское место студента с сервера академии устанавливается ИОС с тремя основными разделами: «Лекционный курс», «Обучающий курс», «Практический курс». Дальнейшая работа происходит параллельно и локально на каждом рабочем месте студента (рис. 3 – Организация работы с ИОС).



Рис. 3. Организация работы с ИОС

Лекционный курс рассчитан на 8-10 часов; *Обучающий курс* ГИС MapInfo рассчитан на 6-8 часов; *Практический курс* по работе с ГИС MapInfo рассчитан

на 10-14 часов. Далее по прохождению всего обучающего курса предусмотрена отдельная программа по проверке полученных знаний у студентов. Данная программа находится на удаленном сервере и перед тем как ее запустить, студент должен зарегистрироваться (ввести ФИО, номер группы). Программа включает в себя несколько тестов, проходя которые каждый студент отвечает на ряд вопросов. По завершении прохождения теста программа автоматически (с учетом времени затраченного на ответ каждого вопроса, количества попыток ответа на каждый вопрос) выставляет оценку. По завершению вся статистическая информация сохраняется на удаленном сервере и преподаватель, в удобное ему время, может просмотреть статистику ответов и сделать анализ о том – какими знаниями по данному предмету обладает каждый студент. И что ему следует посоветовать еще до «изучать».

© А.П. Карник, Е.В. Комиссарова, В.С. Писарев, 2006

УДК 528.94:602

Ю.В. Гаврилов, О.Н. Николаева, Л.А. Ромашова

СГГА, Новосибирск

О ТЕОРЕТИЧЕСКОМ И ПРАКТИЧЕСКОМ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Работы по проектированию и составлению экологических карт ведутся Сибирской государственной геодезической академией уже много лет, и они нашли выражение в создании большого количества серий экологических карт, выполненных на Сибирский регион.

С 1979 года кафедрой картографии СГГА накоплен определенный опыт в составлении эколого-гигиенических карт. Исследованиями по данному направлению занимались к.т.н., доцент кафедры О.В. Соколов; к.т.н., профессор кафедры С.Г. Пурсаков; д.т.н., профессор кафедры Г.И. Конусова; к.т.н., доцент кафедры Л.А. Ромашова; к.т.н., профессор Ю.В. Гаврилов. Созданные ими в соавторстве со специалистами Новосибирского НИИ гигиены оригиналы карт отображают санитарно-гигиеническое состояние атмосферного воздуха и водных объектов, природно-климатических условий и здоровья населения. Они нашли широкое применение в гигиеническом обеспечении крупнейших народно-хозяйственных проектов: комплексных районных планировок Новосибирской и Кемеровской областей, Приобского экономического района, Западной части Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса (КАТЭК), Южно-Якутского и Северо-Байкальского территориально-производственных комплексов. Практический опыт использования карт показал огромный интерес к ним со стороны плановых. Проектных и научно-исследовательских организаций, административных органов и учреждений здравоохранения. Вследствие этого на кафедре картографии были выполнены

научные исследования, посвященные разработке принципов и методов создания эколого-гигиенических карт окружающей среды. В процессе выполнения научных исследований были разработаны классификация эколого-гигиенических карт, которая вносит четкость и систематизацию в их многообразие при создании и использовании; сформирована иерархическая система эколого-гигиенического картографирования; разработаны и сформированы принципы и методы создания эколого-гигиенических карт (предложен системно-структурный метод); сформирована методика создания эколого-гигиенических карт, позволяющая на основе применения системно-структурного метода структурировать объект картографирования, систематизировать его характеристики и показатели для формирования содержания эколого-гигиенических карт (на примере карт атмосферного воздуха и водных объектов).

С приходом на кафедру картографии СГГА доктора технических наук, академика Российской экологической академии Маликова Бориса Никифоровича, исследования в сфере экологического картографирования получили новый импульс. По инициативе Б.Н. Маликова при кафедре картографии была организована межвузовская лаборатория медико-экологического картографирования, которая начала исследования по разработке методики создания нового типа тематических карт – комплексных экологических карт. Ценность этих карт заключается в том, что они позволяют одновременно отобразить все источники экологической опасности на данной территории и за счет этого – оценить их воздействие на окружающую среду, проанализировать сложившуюся экологическую обстановку и сделать выводы для принятия конкретных мер по охране природы.

Методика создания комплексных экологических карт была предложена Б.Н. Маликовым, и апробирована в процессе составления комплексной экологической карты г. Новосибирска, работу над которой курировал вице-мэр Новосибирска, Владимир Николаевич Шумилов. Обладая большим опытом по организации работ, Б.Н. Маликов сумел подключить к проектированию карты многие научные и производственные организации, и среди них Западно-Сибирский центр мониторинга загрязнения природной среды, Центр санэпиднадзора в Новосибирской области, Институт клинической экспериментальной морфологии СО РАМН, ГУФП «Березовгеология», Новосибирский региональный отдел Российской экологической академии, главное управление по делам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций Новосибирской области.

Вышеназванные институты и организации предоставили в распоряжение СГГА весьма разнообразные статистические данные и отраслевые экологические карты. Поэтому первый этап работ над картой заключался в унификации и согласовании всех собранных источников, в выборе рациональных способов картографического отображения и разработке условных обозначений. На втором этапе разрабатывалась унифицированная легенда комплексной экологической карты, то есть осуществлялось комплексирование (совмещенное отображение) всех элементов её тематической

нагрузки на одной общегеографической основе. В разработанной легенде были представлены все основные виды загрязнений, например – загрязнение атмосферы с указанием местоположения стационарных источников загрязнения, уровень загрязнения почв тяжелыми металлами, источники и уровень радиационного загрязнения территории и некоторые другие объекты, такие, как тектонические разломы, связанные с повышенной эманацией радона и т. п. Таким образом, на комплексную экологическую карту г. Новосибирска были нанесены все основные техногенные объекты и явления, отрицательно влияющие на экологию города.

Третьим, заключительным, этапом работ стало составление интегральной экологической карты г. Новосибирска. В ходе этого этапа вся территория города, изображенная на комплексной экологической карте, по методике Б.Н. Маликова, была разбита более чем на 400 квадратных ячеек, для каждой из которых были детально охарактеризованы уровни загрязнения атмосферного воздуха, воды, почв и радиационная обстановка. Далее специалистами Центра санэпиднадзора в Новосибирской области к.м.н. Валерием Петровичем Суслиным, к.м.н. Андреем Сергеевичем Юдиным и к.м.н. Виктором Владиславовичем Турбинским была разработана система ранжирования территории города по степени опасности для здоровья населения. Эта система включала в себя четыре ступени: высоко опасная экологическая обстановка; опасная экологическая обстановка; условно опасная экологическая обстановка; территории, слабо подверженные техногенному воздействию.

Таким образом, интегральная экологическая карта г. Новосибирска, созданная под руководством Б.Н. Маликова, содержит исчерпывающую информацию об общей экологической напряженности территории города, и за счет многоплановости своего содержания, позволяет решать целый ряд весьма актуальных задач, связанных с ведением городского хозяйства, например:

1. Оценка целесообразности строительства новых промышленных предприятий, транспортных путей и прочих техногенных объектов, неблагоприятно влияющих на окружающую среду.
2. Планирование перспективного строительства новых жилых массивов в экологически чистых районах.
3. Планирование и проведение мероприятий по снижению объемов промышленных выбросов и улучшению их очистки.
4. Оптимизация размещения здравоохранительных учреждений различного профиля.
5. Планирование и проведение мероприятий по медицинской профилактике экологически зависимых заболеваний.

Методика создания комплексных и интегральных экологических карт, предложенная Б.Н. Маликовым, получила дальнейшее развитие в процессе проектирования и составления комплексной и интегральной карт Новосибирского сельского района; эти работы проводились по заказу мэрии г. Новосибирска.

Достижения лаборатории медико-экологического картографирования вызвали немалый интерес за рубежом. Экологические карты, созданные на базе лаборатории, регулярно экспонируются на международном конгрессе «Интергео», ежегодно проводящемся в Германии, и на международных выставках «ГЕО-Сибирь», организуемых на базе Новосибирского выставочного комплекса «Сибирская Ярмарка». Объем сведений об экологической обстановке Новосибирска, имеющийся в распоряжении лаборатории, вполне позволяет приступить к следующему этапу работ – составлению комплексных и интегральных карт на отдельные районы города. Такие карты позволят решать задачи охраны природы и здоровья населения на более детальном и углубленном уровне, нежели карты города в целом, а главное – они явятся информационной базой для создания экологического атласа г. Новосибирска. В этом атласе для каждого из 10 районов города будут детально охарактеризованы: состояние его воздушной среды, загрязнение поверхностных вод, техногенное загрязнение почв, радиационная обстановка и интегральное зонирование района по степени опасности экологической обстановки для здоровья местного населения.

© Ю.В. Гаврилов, О.Н. Николаева, Л.А. Ромашова, 2006

УДК 528.94:602

Ю.В. Гаврилов, О.Н. Николаева, Л.А. Ромашова

СГГА, Новосибирск

К ВОПРОСУ О КАРТОГРАФИРОВАНИИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Новосибирская область – является одним из тех регионов, население которого весьма подвержено избыточному радиационному облучению. Это вызвано радиоэкологическими факторами как природного, так и техногенного происхождения.

Главным природным фактором является высокий уровень концентрации радона в почвах на большей части НСО. На отдельных участках естественный радиационный фон почв составляет 2-5 миллиЗиверта в год (при среднемировом фоне в 1,6 миллиЗиверта в год). В силу того, что радон тяжелее воздуха, от его воздействия страдает здоровье прежде всего той части населения, которая проживает в зданиях малой этажности (до 3 этажа), частных домах и полуподвальных помещениях; а в таких условиях живет и почти всё сельское население области, и многие горожане. По данным ГУФП «Березовгеология», от 50% до 90% общей дозы облучения, которую житель НСО получает за всю жизнь, – составляет именно облучение радоном и дочерними продуктами его распада.

К техногенным экологическим факторам, которые формируют неблагоприятную радиационную обстановку на территории области, – относятся:

1. Негативные последствия производственной деятельности (золоотвалы ТЭЦ и хвостохранилища тех заводов, производственный цикл которых предусматривает использование радиоактивных материалов.

2. Последствия ядерных испытаний 50-х-60-х годов. По оценке ЗамСибУГМС и В.В. Селегея, за эти 10 лет на Новосибирскую область повлияли

21 взрыв на Семипалатинском полигоне, и 4 взрыва на Новоземельском. При этом траектории ядерных следов затронули в основном юго-западную и восточную части области. Если первый из этих факторов оказывает отрицательное влияние только на здоровье горожан, то ядерные следы от испытаний 1954-1964 гг. на Семипалатинском и Новоземельском полигонах нанесли ущерб всем жителям области.

За счет сочетания двух видов радиоактивного загрязнения (природного и техногенного), эффективная доза облучения, получаемая жителем НСО в течении года, составляет 0,59 бэр в год, в то время, как «Нормы радиационной безопасности», вышедшие в 1996 году (НРБ-96) устанавливают для населения «потолок» в 0,5 бэр в год, более же высокие дозы считаются допустимыми только для «персонала группы А» (непосредственно допущенных к работе с источниками излучения).

Избыточное радиоактивное облучение не может не сказываться негативно на организме. При этом особую опасность представляет пролонгированный эффект облучения (снижение иммунитета организма в течение жизни; аутоиммунные заболевания, в том числе – онкологические; мутации и тератогенез у последующего поколения). По данным медицинской статистики, увеличение числа раковых заболеваний у населения начинается через 10 лет после облучения, а максимальный всплеск наблюдается через 30-40 лет.

Специалистами Областного центра Санэпиднадзора по НСО накоплен значительный статистический материал по динамике заболеваемости населения Новосибирской области различными видами онкологических заболеваний. В то же время местные организации (Западно-Сибирский центр мониторинга загрязнения природной среды, ГУФП «Березовгеология» и др.), постоянно ведущие наблюдения и исследования по экологической обстановке города и области, располагают весьма обширной и разнообразной информацией о значениях и колебаниях тех или иных показателей радиационного загрязнения окружающей среды; а в СГГА накоплен значительный опыт по картографированию неблагоприятных экологических факторов. В частности, лабораторией медико-экологического картографирования СГГА, основанной академиком Российской экологической академии, д.т.н, профессором Маликовым Б.Н., с 1998 года были созданы комплексные и интегральные экологические карты на Ленинский район г. Новосибирска, на весь Новосибирск и на Новосибирский административный район.

Установление корреляции данных медицинской статистики с данными о пространственном распространении природных и техногенных отрицательных радиозэкологических факторов по территории области, – позволяет оценить радиационный риск для здоровья населения различных районов области. Наиболее оптимальным средством достижения этой цели будет сопоставление карт заболеваемости населения НСО с экологическими картами, осуществленное с применением современной компьютерной техники и ГИС-технологий. Результатом такой работы явится серия цифровых радиозэкологических карт, которые будут наглядно отражать взаимосвязь радиационной обстановки на территории Новосибирской области с заболеваемостью местного населения отдельными категориями онкологических болезней. Такая работа даст возможность оценить влияние радиационной обстановки на здоровье местного населения и обосновать комплекс мероприятий по ранней диагностике и профилактике онкологических заболеваний среди местных жителей.

© Ю.В. Гаврилов, О.Н. Николаева, Л.А. Ромашова, 2006

ПРИРОДНООЧАГОВЫЕ КАРТЫ – ОДНО ИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ МЕДИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Цель современных медико-географических исследований заключается в познании свойств географической среды, проявляющихся в положительном и отрицательном влиянии на здоровье населения.

Изучая территориальное расположение причин и условий возникновения болезней человека, являющихся свойствами природных территориальных комплексов, можно говорить о них лишь как о природных предпосылках болезней.

Под природными предпосылками болезней человека понимаются определенные свойства геосистем, которые могут выявляться при взаимодействии с организмом человека в виде патологических состояний или болезней последнего.

Сейчас с полным основанием можно говорить о природных предпосылках группы трансмиссивных и паразитарных болезней с природной очаговостью, биохимических эндемий, некоторых аллергических заболеваний, авитаминозов, группы патологических состояний и болезней, возникающих в результате избыточной инсоляции, недостатка ультрафиолетовой радиации, крайне низких и крайне высоких температур приземного слоя воздуха и др.

из перечисленных групп болезней наиболее изучена в ландшафтно-географическом плане группа болезней с природной очаговостью. этому во многом способствовало учение о природной очаговости ряда трансмиссивных и паразитарных болезней, разработанное и успешно примененное на практике академиком Павловским Е.Н. и его многочисленными учениками, как в нашей стране так и за рубежом.

В борьбе с природноочаговыми болезнями медицина сможет действовать более планомерно и целеустремленно, быстрее достигать результатов, если наряду с медико – биологическими методами будут использованы также методы наук, изучающих природу и хозяйство. Одним из важных методов изучения территориальных особенностей распространения природноочаговых болезней и выявление их взаимосвязей с природными и социальными факторами является комплексное картографирование.

Объектом картографирования должен быть участок территории, обладающий соответствующим набором природных факторов, в составе которых скрыты предпосылки болезней человека.

Непосредственная цель составления карт состоит в выявлении закономерностей распространения этих болезней в связи с природными и хозяйственными особенностями территории. Для всесторонней характеристики компонентов природной среды необходимо показывать не только контуры

отображаемого специального явления (качественные и количественные), но и факторы, их обуславливающие.

При проведении анализа природноочаговых карт установлено, что в настоящее время при их составлении отсутствует единый подход к изображению природноочаговых инфекций, а также не отражена корреляция между ландшафтами и природными очагами. Выявление этих очагов является важной задачей специалистов, имеющих непосредственное отношение к изучению и предотвращению природноочаговых инфекций.

Большинство исследований проводились до настоящего времени без учета комплексной характеристики территории в отношении природноочаговых болезней. Объектом изучения являлась не территория, а болезнь в связи с распространением и структурой ее очагов. На самом деле в природе не существует изолированных очагов отдельных болезней.

Особенность нозогеографии (показ различных заболеваний) инфекционных и паразитарных болезней состоит в том, что распространение этих болезней определяется не местом обращения за медицинской помощью, а местом, где произошло заражение заболевшего. Эта особенность важна в современных условиях при большой подвижности людей, высокой степени развития транспорта, когда место заражения заболевшего чаще не совпадает с местом заболевания или обращения за медицинской помощью.

Создание карт природноочаговых инфекций является довольно трудоемким делом. Самым первым этапом является составление карты, характеризующей изученность территории. Обычно для этих целей вполне подходят общегеографические карты.

Поскольку существование природноочаговых болезней обусловлено сложным комплексом географических факторов, в основу работы над картами положены принципы и методы комплексного картографирования географической среды. При этом для каждого заболевания создается серия взаимосвязанных карт, отражающих его природные и частично социально-экономические предпосылки.

Комплекс карт дает исчерпывающую характеристику причин заболеваемости в одних районах и отсутствием ее в других. Единство масштаба, проекции, методов сопоставления дает возможность тщательного сравнения этих карт и анализа их содержания.

Метод картографического анализа на основе серий взаимосвязанных карт перспективен не только в научном, но и практическом отношении может широко применяться в оперативной и плановой работе органов здравоохранения. В частности, самое широкое использование он должен получить при освоении таежной, степной и пустынной зон. Создание культурных ландшафтов является единственным радикальным средством оздоровления территорий от природноочаговых болезней.

Планирование этих работ требует картографического обоснования подобно тому, как это делается в лесоустроении, землеустроении, гидрогеологии, инженерной геологии и т. д. Связи между природными очагами болезней и условиями местности сложны и многообразны, и наиболее полный их учет

может быть обеспечен лишь на базе комплексного картографирования природы, хозяйства.

К настоящему времени получены достаточно обширные материалы, позволяющие дать целостную характеристику территории страны в отношении болезней с природной очаговостью. Однако, сколь бы широкие размеры ни приняли такие исследования, нельзя ожидать, что ими будет охвачена абсолютно вся территория страны. Особенно сложно достигнуть этого в труднодоступных таежных районах и горнотаежных районах Сибири и Дальнего Востока. Поэтому самого пристального внимания заслуживают методы, которыми пользуются науки географического цикла для изучения явлений, выраженных в пространстве.

Важнейший из этих методов – картографирование. Основным принципом специального картографирования является не просто показ размещения явлений, стремление выявить причинные связи между ними. Именно наличие таких связей лежит в основе типичных сочетаний этих явлений.

Одним из первых и важных этапов создания любой карты является выбор масштаба. В свою очередь масштаб картографирования зависит от карты и обеспеченности ее фактическими материалами. Цель карты – дать общую картину территории страны с точки зрения наличия природоочаговых болезней, что наилучшим образом достигается применением мелкого масштаба. Мелкий масштаб не позволяет детально показать приуроченность природных предпосылок и очагов болезней к особенностям отдельных районов, зато обеспечивает хорошую обзорность и выявление наиболее существенных закономерностей их распределения в связи с природными условиями. В большинстве случаев карты распространения природноочаговых инфекций входят в состав комплексных атласов.

Особого внимания заслуживает отражение объективно существующих в природе связей через построение легенд. Поставлена задача разработки методов показа, выявляющих связи между отражаемыми явлениями, которые обуславливают природную очаговость болезней человека.

Задачей медицинской географии является оценка территории по влиянию на человека всего комплекса природных условий. Частные разделы этой дисциплины призваны оценить в этом плане значение отдельных компонентов географической среды (животного мира, климата, почв и т. д.).

Исходя из этого, объектом картографирования должен быть участок территории, обладающий соответствующим набором природных факторов, в составе которых скрыты предпосылки болезней человека.

© С.А Сухорукова, 2006

ЭЛЕКТРОННЫЕ ТУРИСТСКИЕ КАРТЫ

В конце 90-х годов широкомасштабно стал возрождаться в нашей стране разного вида туризм. В эти же годы происходит внедрение компьютерной техники во все сферы деятельности и производства. С организацией компьютерной картографии, появляются и различные компьютерные карты. Многие туристические фирмы занимаются организацией маршрутов разного направления: автомобильных, пеших, водных, конных. Для обеспечения всех этих направлений туризма необходимы карты и схемы. Часто необходимость в них возникает в единичном экземпляре. Имея компьютерный вариант туристской карты на весь район обслуживания туристической организацией (например, Алтай), можно распечатывать с нее отдельные небольшие районы, по которым проходит конкретный маршрут. Также можно содержание такой карты дополнять схемами горных перевалов (для альпинистов), туристскими логиями рек (для туристов, занимающихся сплавом по рекам на разных плавсредствах), вертикальными и горизонтальными разрезами пещер (для спелеотуристов), ленточками автодорог (для автотуристов), описаниями и фотографиями интересных объектов природы, отелей и мест отдыха.

Можно перечислить преимущества электронного представления туристской карты перед традиционной, бумажной:

- Более полное содержание карты, отвечающее нескольким видам туризма, т.е. объем карты неограничен;
- Возможность быстрого внесения поправок в содержание карты;
- Автоматический поиск различной информации на основной карте и картах-врезках;
- Размещение фотографий и различного текста, дополняющего содержание карты;
- Связь между объектами на карте, схемах и дополнительной информации и обращение к ним при помощи гиперссылок;
- Возможность распечатки карты и дополнительной информации.

Среди большого разнообразия программных средств наибольшее применение в картографии при создании тематических карт находят: векторные и растровые графические редакторы, векторизаторы, программы просмотра цветоделенных файлов, системы автоматизированного проектирования и геоинформационные системы. Каждый из перечисленных типов программных средств занимает особое место в технологическом процессе составления и издания карт. Основу программного составительско-издательского комплекса представляют векторные и растровые графические редакторы, которые не имеют картографической направленности, но включают в себя большой набор

инструментальных средств, позволяющих создавать картографические изображения высокой сложности. При выборе программ, в которых может создаваться электронная туристская карта, в первую очередь руководствовались доступностью, простотой использования и возможностью передачи графических элементов содержания, наиболее полно удовлетворяющих критериям оценки функциональных возможностей.

После сканирования исходных материалов, полученное растровое изображение необходимо обработать в растровом графическом редакторе. Для этого идеально подходит программа Adobe Photoshop. Она представляет собой профессиональный инструмент для обработки и коррекции фотографических изображений, выполнения цветоделения. Поддержка цветовых каналов дает возможность выполнения качественной цветовой и тоновой коррекции. Далее необходимо нанести все элементы содержания карты. После анализа векторных графических редакторов для этой цели была выбрана программа Corel Draw, в которой разрабатываются редакционно-технические указания, создаются слои, стили и библиотека условных знаков.

За основу электронной туристской карты можно выбрать изданную бумажную общегеографическую карту на необходимый район (например, Республики Алтай). Такая карта подвергается сканированию и геометрической коррекции полученного растрового изображения в многофункциональной программе редактирования растровых изображений Photo Shop и ее модификациях. Здесь выполняется цветовая, тоновая, яркостная коррекция, изменение контраста, индексация цвета, подчеркивание контуров. Таким образом, на экране монитора формируется растровая подложка исходного картматериала. После чего, карту, расположенную на двух сторонах листа, необходимо было объединить при помощи программы Adobe Photoshop с помощью функций выделения и свободной трансформации (free transfer).

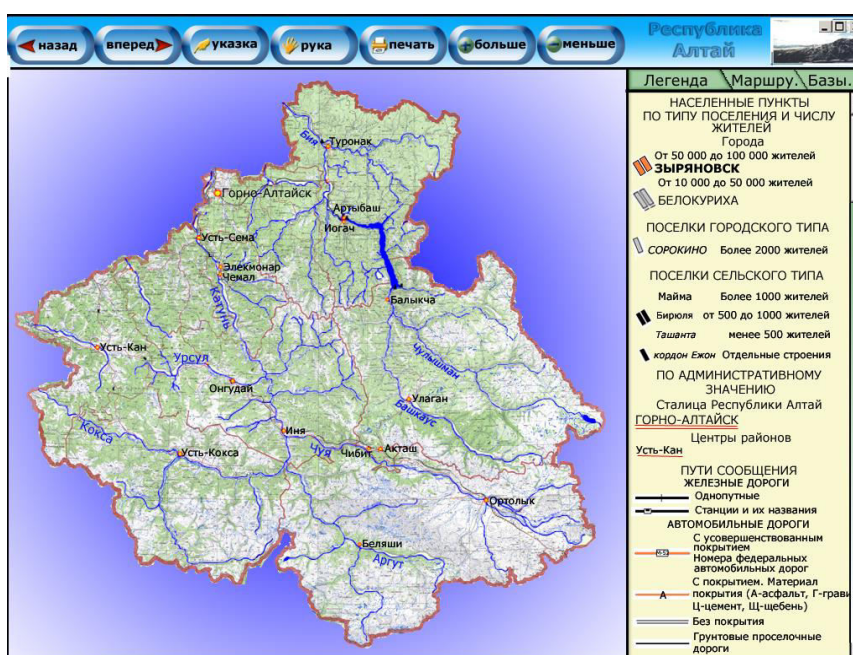


Рис. 1. Общегеографическая карта Республики Алтай

Для уменьшения объема файла полученная карта переведена была в формат jpg. В дальнейшем отсканированная и собранная карта была оцифрована (векторизированна). Векторизация проводилась в автоматическом режиме (рис. 1).

Применение различных типов и фоновых окрасок в программе Corel Draw, позволяют эффективно создавать картографическое изображение, а структура слоев и стилей обеспечивает оперативное редактирование и внесение исправлений, что немаловажно для туристских карт. Распределение изображения по слоям позволяет быстро вносить необходимые исправления. Слои можно менять местами, отключать, блокировать или удалять. Объекты можно помещать из одного слоя в другой. При оформлении карты слои необходимо оформлять в определенной последовательности. Слои фоновых элементов размещаются ниже слоев штриховых элементов. Последовательность расположения слоев передает правильность наложения штриховых и фоновых элементов. Каждый слой имеет свое название, в зависимости от находящихся в нем объектов.

Стили содержат в себе созданные пользователем типовые образцы оформления графических элементов. От эффективности использования стилей во многом зависит оперативность работы над картой.

Для оформления подписей на карте создаются текстовые стили. Текст характеризуется гарнитурой, кеглем, начертанием, цветом шрифта и рядом других параметров. Все подписи на карте можно условно разделить на: прямые и курсив.

Основную сложность создания такой карты составляет сбор данных специального содержания: вертикальный и горизонтальный разрезы пещер, где проходят спелеотуристы; лоции рек дополненные визуальной съемкой, по которым сплавляются туристы водных походов; схемы перевалов и опасных участков, предназначенные для альпинистов; фотографии интересных объектов природы и т. д. После сбора информации, необходимо ее классифицировать по видам и категориям сложности туризма, чтобы последовательно компоновать содержание электронной карты.

Разработка условных знаков для туристской карты производится с использованием программных инструментов – слоев и цветов по условным знакам для топографических карт при показе общегеографических элементов. Для специальных карт-врезок (схема горного перевала, разрез пещеры и т. д.) использовались условные знаки, принятые специалистами-туристами.

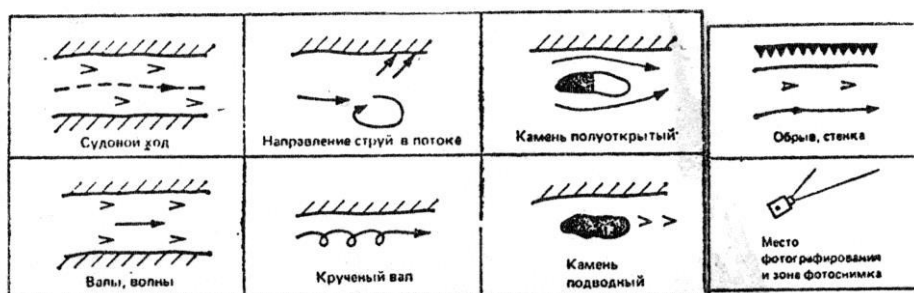


Рис. 2. Пример специальных условных знаков для туристской лоции

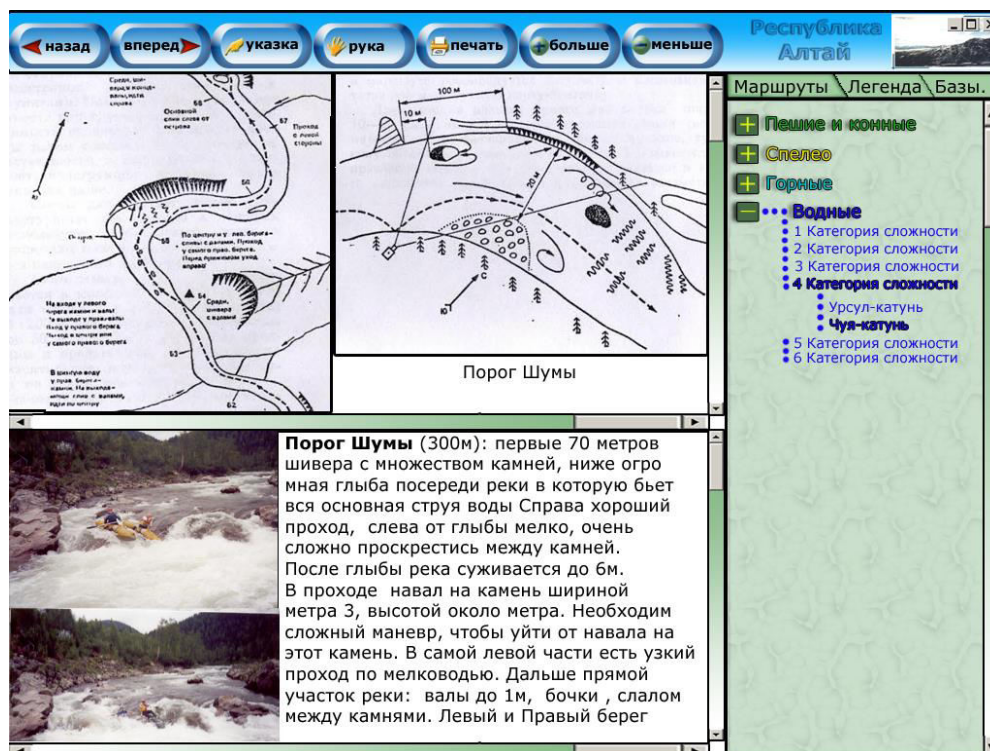


Рис. 3. Пример карты-врезки: туристская лоция, схема и описание опасного участка, фотография порога

С целью унификации внешнего вида страницы создается образец оформления, на который наносятся следующие атрибуты: обрезные кресты, рамки, номер страницы, сетка индексов. Для данной карты все условные знаки разработаны при помощи программного обеспечения Corel Draw. Дополнительная информация об объектах, изображенных на картах-врезках получена из литературных источников и на основе фотоматериалов.

© Е.Л. Касьянова, 2006

УДК 528.9

О.В. Данченко

ИрГТУ, Иркутск

ПРОБЛЕМЫ НАБОРА И УЧЕБНО-ВОСПИТАТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СО СТУДЕНТАМИ КАРТОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ В ИРГТУ

Для организации набора студентов на специальности кафедры инженерной геодезии и картографии горного факультета, приема документов поступающих по конкурсу, организуется факультетская приемная комиссия.

Основной задачей приемной комиссии является обеспечение соблюдения прав граждан на образование, установленных Конституцией Российской

Федерации, законодательством Российской Федерации, гласности и открытости всех процедур приема.

Правила приема утверждаются Ученым Советом ИрГТУ. В состав приемной комиссии входят: декан факультета, заведующие профилирующими кафедрами, ответственный секретарь, председатели предметных экзаменационных комиссий. Факультетская приемная комиссия назначается приказом ректора.

До начала приема документов центральная приемная комиссия определяет и объявляет:

- Количество мест для приема на последующие курсы, финансируемые из федерального бюджета по каждой специальности;
- Количество мест с оплатой за обучение на каждой специальности;
- Количество мест для целевого приема.

Факультетская приемная комиссия должна предоставить возможность поступающим ознакомиться с содержанием основных образовательных программ, а так же другими документами, регламентирующими организацию образовательного процесса.

Приемная комиссия в соответствии с полученными от абитуриента документами принимает решение о допуске поступающего к вступительным испытаниям, условиях его участия в конкурсе.

Целевой прием осуществляется на основе отдельного конкурса среди лиц, направленных соответствующим государственным, муниципальным органом или юридическим лицом в соответствии с договором. Количество мест для целевого приема определяется не позднее, чем за месяц до начала приема документов.

Прием на места с оплатой стоимости обучения осуществляется сверх установленных на них контрольных цифр приема в пределах численности, определяемой лицензией. Для поступающих на места с оплатой стоимости обучения набор вступительных испытаний устанавливается Ученым Советом ИрГТУ.

Решение приемной комиссии о зачислении в состав студентов оформляется протоколом.

Для осуществления полного набора абитуриентов и подъема престижа специальностей инженерной геодезии и картографии в течении года проводится плодотворная профориентационная работа. Профориентационная работа организуется по пяти формам:

1. Участие в «Ярмарках учебных мест» по плану ЦПК (ноябрь, март).
2. Участие в выездных мероприятиях по плану Департамента Федеральной службы занятости населения по Иркутской области.
3. Участие в «Дне открытых дверей» в ИрГТУ по плану ЦПК.
4. Профориентационная работа в школах города Иркутска (в течение года силами студентов и преподавателей охвачены более 15 школ).
5. Производственные связи с предприятиями.

За счет большой проводимой профориентационной работы вырос интерес к специальностям и в течение последних 5 лет и вырос конкурс на специальности от 1,5 человек на 1 место до 4 человек на 1 место. Хотя профориентационная работа проводится по всей Иркутской области, в республике Бурятия и республике Саха-Якутия, контингент студентов данных специальностей формируется в основном за счет населения города Иркутска (более 60%), Иркутской области (35%), и всех остальных регионов (5%).

Также вырос и проходной балл на данные специальности с 9.5 балла до 12 баллов, вступительные экзамены проводились по трем предметам письменно математике, физике и русскому языку.

Выросло и количество студентов, обучающихся на специальностях инженерной геодезии и картографии, в среднем на 7 человек.

Наряду с ростом показателей по набору следует отметить, что проблема набора студентов существует, кафедра работает над решением этой проблемы, тесно сотрудничает со школами, колледжами, идет организация воскресной школы для будущих студентов в стенах ИрГТУ.

Так как Иркутская область объявлена в участии обязательного эксперимента ЕГЭ, в школах будет проводиться ЕГЭ и приемной комиссией факультета будет осуществляться прием документов у абитуриентов по ЕГЭ. Поэтому следует усилить профориентационную работу в школах, чтобы закрепить и не потерять поток абитуриентов.

Для того чтобы сохранить и сделать полные выпуски сформированных специалистов, преподавателями кафедры Инженерной геодезии и картографии проводится глубокая учебно-воспитательная работа со студентами.

Инженерная геодезия и картография сегодня – это, прежде всего, 200 активных, любознательных студентов, которые заняты не только освоением будущих профессий в стенах нашего университета и на геодезических и картографических производствах, но и широко участвуют в общественной жизни университета и факультета. Студенты специальностей геодезии и картографии всегда были одними из первых в спортивных мероприятиях (организаторы кубка факультета по минифутболу), конкурсах КВН, НИРС, УИРС, геодезических олимпиадах. Студенты не раз получали дипломы конкурсов научных студенческих работ, почетные грамоты, участвовали и побеждали в конкурсах на лучшую группу ИрГТУ, постоянные участники фестиваля «Студенческая весна», «Дебют» и др.

За отличную успеваемость и активное участие в научно-исследовательской и культурно-массовой работе в настоящее время 6 студентов геодезистов и картографов получают стипендии Совета вуза.

Для отличной учебы созданы и создаются все условия. В университете – это читальные залы, богатый учебный, научно-технический фонд библиотеки, на кафедре – создание современного компьютерного класса. Геодезическую практику студенты проходят в прекрасной зоне Прибайкалья и в Тункинской долине, что еще и способствует укреплению здоровья одновременно с получением профессиональных знаний.

Сегодня студенты геодезисты и картографы уверены в своем будущем. После окончания выпускники полностью обеспечиваются рабочими местами на разных предприятиях. Уже с третьего курса начинают работать в изыскательских отделах многих предприятий. За последнее время отмечается невыполнение заявок на молодых специалистов, поэтому предприятиями заключаются контракты с полной оплатой обучения и по целевой подготовке. Хочется отметить, что хотя преподавателями кафедры ведется большая учебно-воспитательная работа со студентами, проблема учебно-воспитательной работы существует, так как и кафедра, и факультет, и весь университет живет в сложной экономической обстановке, поэтому необходимо укреплять научные кадры и расширять связи с производством.

© О.В. Данченко, 2006

УДК 528.94
И.П. Кокорина
СГГА, Новосибирск

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ

Интегрирование функциональных возможностей ГИС способствует проведению совместных междисциплинарных исследований. Они обеспечивают объединение и наложение друг на друга любых типов данных. К подобным исследованиям относится и анализ взаимосвязей между здоровьем населения и разнообразными факторами.

Здоровье и продолжительность жизни относится к наиболее популярным и обоснованным индикаторам устойчивого развития. Многие авторы считают критерием прогресса уровень гуманизации общества. А сущностным стержнем в этом критерии выступает средняя продолжительность жизни. Анализ здоровья усложняется тем, что оно связано с образом жизни, развитием медицины, генетическими особенностями, а не только с условиями окружающей среды.

Одной из основных задач медицинской географии является изучение роли природных и социальных факторов конкретной территории в формировании определенного уровня здоровья населения. При этом специфика медико-географических исследований заключается в описании объекта исследования – особого типа сложных территориальных систем и человека в их неразрывном единстве.

Проблема поиска путей изучения структур медико-биологических явлений и их варьирование в пространстве остается одной из сложнейших.

Эволюция представлений об объекте медицинской географии привела к совершенствованию методов его исследования, а также самих принципов их

применения. Медико-географические исследования проводятся с использованием методов классификации, типизации и районирования, а содержательная интерпретация результатов осуществляется с помощью методов географического и эпидемиологического анализа. Выявление эмпирических и теоретических зависимостей осуществляется с помощью используемых в медицинской географии взаимосвязанных направлений картографического метода исследования: математического, картографического, математико-картографического моделирования.

Математические модели механизмов взаимодействия компонентов территориальной системы объективно отражают закономерности саморегулирования природных процессов и позволяют оценить устойчивость систем и допустимые нагрузки. Выявлению и изучению связи помогает теория корреляции.

Трудности математизации географии можно объяснить повышенной сложностью пространственных структур и временной изменчивостью геосистем. Другая проблема – необходимо создать условия для широкого внедрения в географические исследования средств механизации и автоматизации процессов.

Математико-картографическое моделирование – один из наиболее высоких ступеней теоретически-познавательного уровня развития науки, с помощью которого удастся сочетать решение вопросов пространственного и содержательного характера. [6]

Медико-географическое картографирование нацелено на отображение факторов среды, как позитивно, так и негативно влияющих на здоровье человека. Применение медико-географического картографирования позволяет наиболее информативно отобразить исходные, а также полученные в результате анализа и синтеза данные по распространению болезней. В зависимости от показа факторов среды или результата их воздействия (патологии), карты можно отнести к разным группам медико-географической классификации:

- Медико-географические карты и оценочные карты окружающей среды, отображающие природные и социальные предпосылки болезней;
- Нозогеографические карты, характеризующие фактическое распространение болезней.

Среди факторов болезней, составляющих предмет медико-географических карт, различают:

- Географические предпосылки, обусловленные социальными, историческими и физико-географическими причинами (потенциальные ареалы заболеваний);
- Области источников заболеваний, связанных с видовым и количественным составом переносчиков, интенсивностью циркуляции возбудителей в природном очаге (фактические нозоареалы).

Несмотря на длительную историю медицинской статистики и большой объем накопленной информации, картографирование на этой основе не получило большого развития в силу ряда субъективных и объективных причин.

К субъективным относятся преобладание в медико-географических исследованиях внепространственных подходов, с ориентацией на сопоставление показателей «опытных» и «контрольных» районов. В медико-статистических исследованиях, выполняемых разными организациями, имеют место разные подходы к группировкам данных, к возрастному составу изучаемых контингентов и т. п., а также сложный характер взаимоотношений человека, как существа биосоциального, с окружающей средой. [4]

Одним из объективных факторов, сдерживающих медико-географическое картографирование, является проблема территориальной привязки показателей.

Эта проблема связана с противоречиями между необходимостью определить показатели для достаточно больших (представительных) групп населения, и желательностью использовать для этого как можно более мелкие территориальные единицы.

Создание электронных карт и атласов – быстро развивающееся и востребованное направление современной картографии, в котором широко используются современные технологии мультимедиа, а также возможности Интернет и ГИС.

Широкий круг операций поддерживают множество ГИС – это процедуры кластеризации и классификации, построение изолиний, проверка статистических зависимостей (факториальный и корреляционный анализы).

Преимущества геоинформационного картографирования заключаются в оперативности создания и корректировки, компактности хранения, возможности проведения анализа заболеваемости территориальных групп населения для принятия неотложных практических мер в области здравоохранения, выявления связей заболеваемости населения с факторами среды. ГИС дают возможность привязывать карты к одинаковым проекциям и масштабам, значительно облегчая сопряженный анализ ситуации. Особенно актуальным является вопрос о применении ГИС-технологий при изучении инфекционных заболеваний, которые характеризуются быстрой изменчивостью в пространстве и времени.

Прогресс и развитие ГИС определяется расширением их функций, включая «интеллектуальные». Одним из направлений в этой области стала разработка экспертных систем, систем поддержки принятия решений. Их функции – интерпретация, диагностика, предсказание, проектирование, планирование и управление.

Мультимедиа рассматривают как особую компьютерную технологию, интегрирующую различные средства хранения и воспроизведения информации, включая картографические изображения (трехмерные и виртуальные модели, анимации), аэро- и космические снимки, фотографии, иллюстрации, тексты, звуковое сопровождение и т. д. [3] Под анимацией в среде мультимедиа понимают последовательный показ рисованных статичных изображений, называемых кадрами. Хороший зрительный эффект дает использование

технологий трехмерной визуализации, позволяющих моделировать динамику медико-географических процессов, прогнозировать их развитие. Область применения анимированных картографических изображений на сегодняшний день практически неограниченна. Основными областями, для которых создаются и в которых используется картографическая анимация, являются:

- Оперативное картографирование и экстренное картографирование при ЧС для своевременной поддержки принятия решения, выявления закономерностей и достоверного прогнозирования развития ситуации на основе имеющегося ряда состояний, например, эпидемиологического процесса;

- Демонстрационная и пропагандистская деятельность с целью наглядной передачи информации лицам, не имеющим картографической подготовки;

- Фундаментальные исследования для выявления неизвестных ранее процессов.

Использование разных по временному масштабу картографических анимаций дает результат, сходный с использованием разных по масштабу карт на одну и ту же территорию. Уменьшение временного масштаба анимации позволяет выявлять основные направления развития территории, сгладив короткие незначительные «биения» за счет сверхускоренного показа событий. Фильмы же с крупным временным масштабом позволяют детально изучить особенности отклонений развития явлений от основного течения. [2]

Таким образом, геоинформационное исследование медико-географических процессов будет способствовать совершенствованию приемов и методов картографирования, поиску новых методических подходов к анализу заболеваемости населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянт А.М. Картография: Учебник для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2001. – 336 с.
2. Основы геоинформатики: В 2 кн. Кн. 1: Учеб. пособие для студ. вузов /Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; Под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 352 с.
3. Основы геоинформатики: В 2 кн. Кн. 2: Учеб. пособие для студ. вузов /Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; Под ред. В.С. Тикунова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 480 с.
4. Стурман В.И. Экологическое картографирование: Учебное пособие /В.И. Стурман. – М.: Аспект Пресс, 2003. – 251 с.
5. Тенденция развития геоинформационных систем. /Булатова Г.Н., Трофимов А.М., Панасюк М.В. // Геодезия и картография 1997, № 9. – С. 50-53.
6. Эколого-географическое картографирование и районирование Сибири: Сб. науч. трудов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1990. – 196 с.

© И.П. Кокорина, 2006

ПРЕИМУЩЕСТВА И ОСОБЕННОСТИ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Создание общих аналитических геоморфологических карт выполняется путем обобщения данных, отражающих морфологию, генезис и возраст рельефа. Для получения этих данных привлекается большое число разнородных источников. Поэтому задача геоморфологического картографирования является многофакторной. Процесс обобщения и совместной обработки разнородных данных является зачастую очень трудоемкой или даже иногда невыполнимой вручную задачей.

Автоматизировать трудоемкий процесс создания геоморфологических карт стало возможным со становлением ГИС-технологий. В создании геоморфологической карты автоматизированным путем достигнуты следующие преимущества:

1. Традиционные – экономия трудозатрат и времени;
2. Повышение точности картографирования;
3. Повышение объективности геоморфологического картографирования;
4. Использование большего числа основных и дополнительных источников для составления результирующей геоморфологической карты.

Основная особенность создания геоморфологической карты автоматизированным путем состоит в использовании агрегированной модели данных в цифровой базе. Это, прежде всего, вызвано тем, что представление исходных материалов для картографирования необходимо выполнять в двух различных форматах – векторном и растровом. Эти форматы представления данных имеют разные функции их обработки, свои преимущества и недостатки. Растровый формат используется для цифрового представления космических снимков. Векторный – для различных геологических карт и схем, частных геоморфологических карт и схем, топографических карт и др.

Исходная цифровая база, по сути дела, состоит из двух баз данных – растровой и векторной. На этапе обработки информации создается агрегированная модель, сочетающая в себе вектор и растр в единой математической основе. Результирующая цифровая и электронная карты создаются в векторном формате с возможностью визуализации растровой подложки.

На этапе работы с агрегированной цифровой моделью данных средства растровой ГИС используются для электронной обработки цифровых снимков. При этом выполняется геокодирование, коррекция, контрастирование, разделение тонов и плотностей снимка, подчеркивание границ, тоновые преобразования и фильтрации. Средства векторной ГИС используются для анализа топологических отношений между границами, полученными из

растровой обработки и взятыми с имеющихся исходных карт. Для такого анализа используются средства оверлейного аппарата векторных ГИС и программы коррективки векторного изображения. Результаты оверлея служат также для коррективки обработки снимков, то есть возможно отступить на шаг и провести обработку снимков заново, используя уже результаты векторного анализа.

Другой особенностью и преимуществом составления геоморфологических карт в цифровой среде является итеративность и интерактивность процесса. Итеративность подразумевает взаимоувязку растрового и векторного представлений геоморфологической и другой информации. Интерактивность – использование удобных программных средств управления процессом геоморфологического картографирования в режиме реального времени, т. е. интерактивность позволяет избежать трудоемкости итеративности карты.

В укрупненном виде принципиальная схема создания обзорных геоморфологических карт представлена на рис. 1.

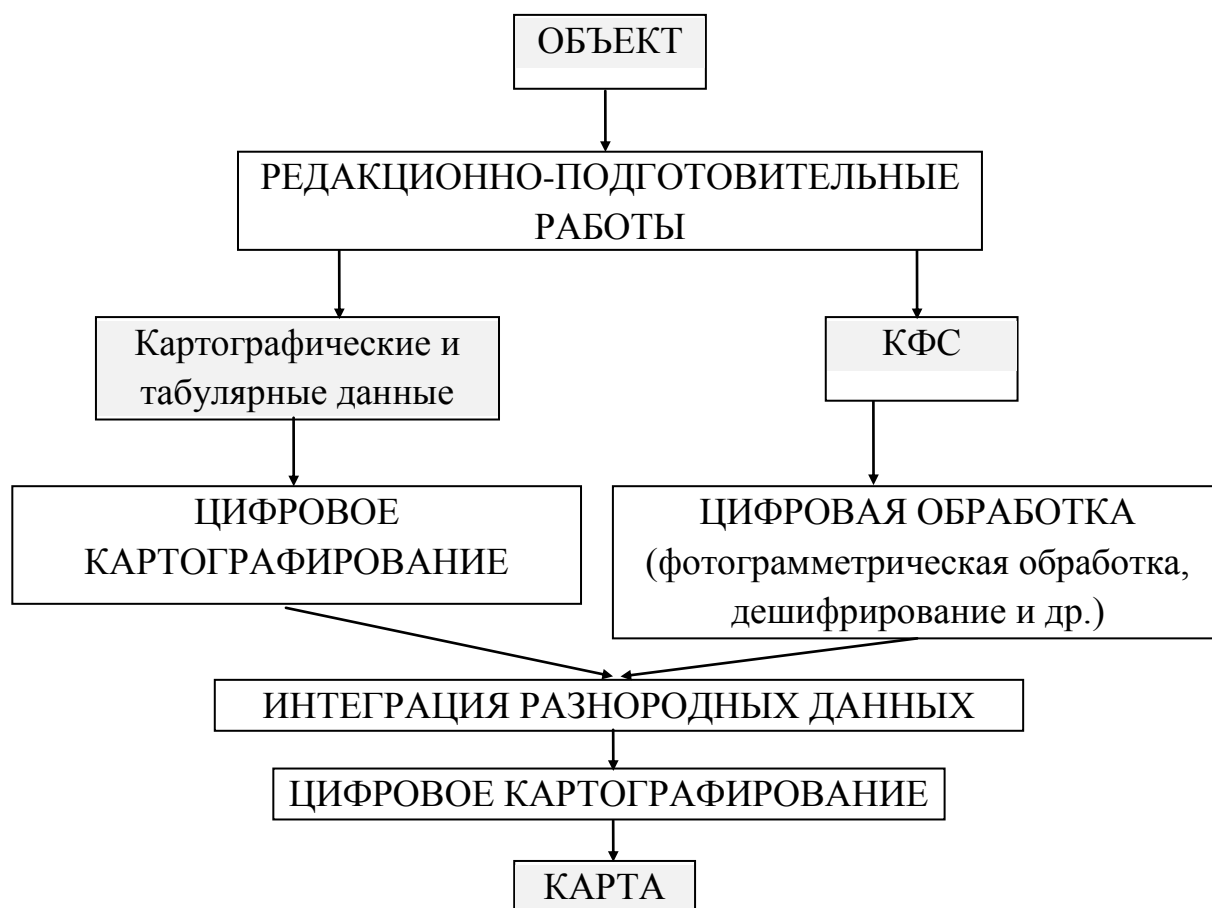


Рис. 1. Принципиальная схема создания обзорных геоморфологических карт комбинированным методом

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Нефтегазодобывающий комплекс – сложный структурный комплекс отраслей по добыче, транспортировке, переработки нефти и газа, распределению продуктов их переработки. Естественно, без досконального знания структуры нефтегазодобывающего комплекса невозможно создать качественный картографический продукт, который корректно показывал бы все особенности этого комплекса, и связи между отдельными составляющими. Поэтому ниже приводится структурная модель нефтегазодобывающего комплекса (рис. 1).

При картографировании, имея такую структурную модель, мы можем определить:

- а) Как устроен нефтегазодобывающий комплекс (из каких структурных подразделений состоит);
- б) На какие территории может быть составлена карта (это может быть карта всей нефтегазодобывающей компании, или отдельно действующего НГДУ, или карта отдельной дожимной насосной станции и т. д.);
- в) Какие элементы должна содержать конкретная карта.

Например, карта линейных коммуникаций. На этой карте должны быть показаны:

- а) Коммуникации нефти и газа, и пластового давления, к которым относятся все трубопроводы и узлы задвижек;
- б) Линии электропередачи, которые включают в себя воздушные и кабельные линии.

Кроме этих элементов должны быть отображены автомобильные дороги, которые находятся в ведении транспортных компаний, входящих в дочерние предприятия нефтегазодобывающего комплекса.

На карте кустовых площадок обязательно должны быть отображены такие элементы как: скважины, газозамерные установки, блоки гребенок, трансформаторные подстанции, насосы, блоки местной автоматики.

По требованию заказчика может быть создана карта на все месторождение нефти и газа. В этом случае, на ней будет отображена вся специальная нагрузка, где отдельные элементы будут отображены внемасштабными условными знаками.

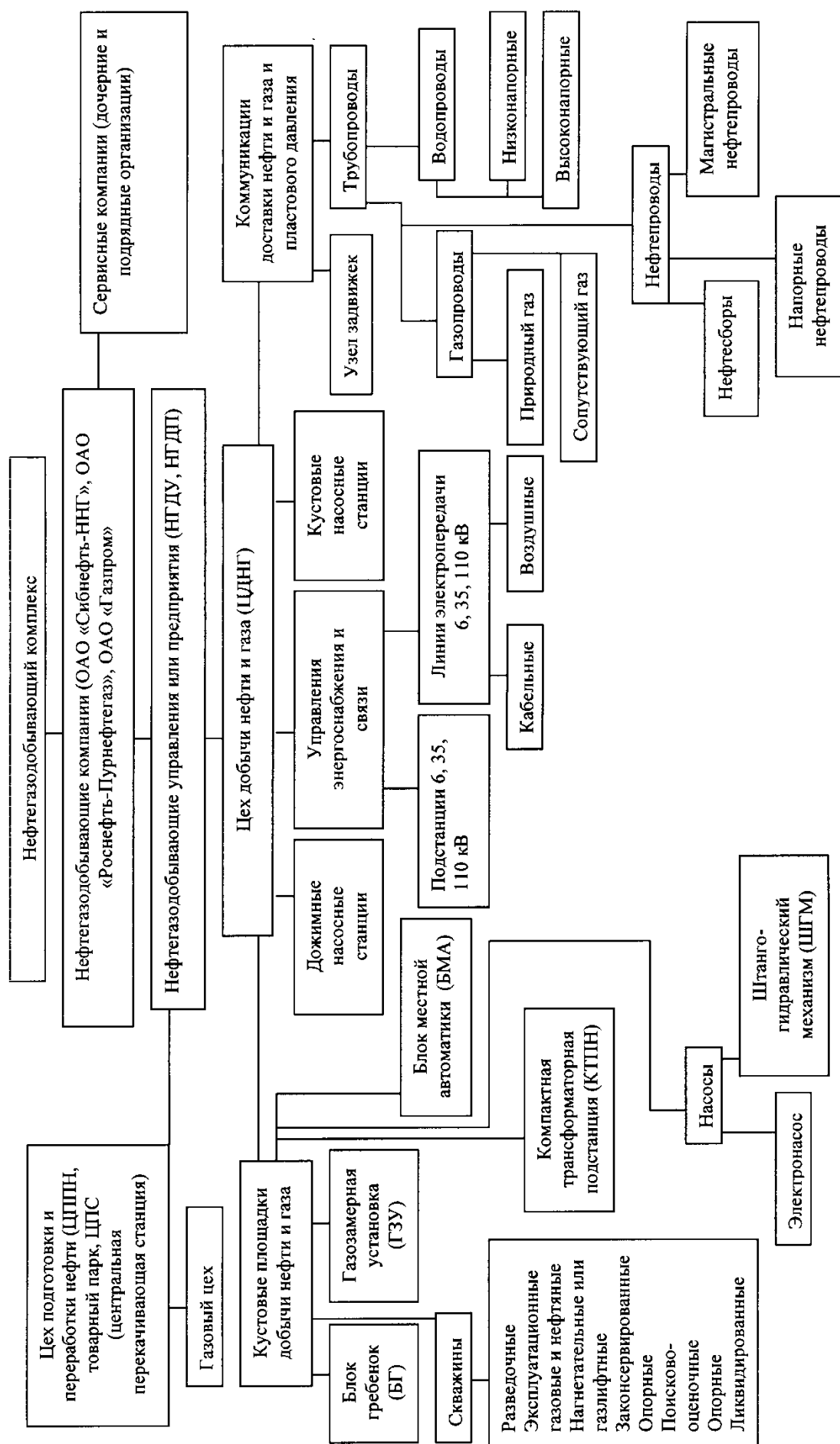


Рис. 1. Структурная модель нефтегазодобывающего комплекса

© Л.К. Радченко, 2006

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕТОДИКИ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ НА ОБЗОРНО-ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ*

Одним из важных вопросов составления карт в традиционной и цифровой форме является картографическая генерализация, влияющая на полноту содержания, практическую ценность и научные достоинства карт разного назначения и масштаба. Обзорно-топографические карты, занимающие особое место в масштабном ряду топографических карт, обеспечивают преемственность топографического и мелкомасштабного картографирования. Комплексный, многозначный характер задачи генерализации на обзорно-топографических картах обуславливает актуальность исследований этого картосоставительского процесса.

Логическим продолжением опубликованных работ [1 – 4, 6] по методике картографической генерализации трех взаимосвязанных элементов содержания обзорно-топографических карт – населенных пунктов, гидрографической и дорожной сети – является разработка программного обеспечения практической реализации положений методики.

Для создания программ количественной и качественной частей методики применены средства языка программирования Visual Basic v 6.0. Картометрические работы в пределах площадок карт, расчет коэффициентов, дифференциация территории и установление аналитических зависимостей реализуются в работе программных модулей.

Язык программирования BASIC (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code – Универсальный символический программный код для начинающих) и языки на его основе в настоящее время относятся к наиболее используемым и эффективным программным средствам. Microsoft Visual Basic v 6.0. является технологией визуального проектирования и объектно-ориентированного программирования, основой для приложений Applications Edition в Microsoft Excel, Microsoft Access и др. Процесс создания программы в Visual Basic состоит из двух шагов: создание формы программы (диалогового окна) и написания процедуры обработки события. В стандартной форме имеются базовые компоненты, обеспечивающие взаимодействие между программой и пользователем.

Средства и функциональные возможности Visual Basic v 6.0. обеспечивают оригинальную технологию картографической генерализации на обзорно-топографических картах с соответствием с разработанным математическим аппаратом предлагаемой методики [4].

*Работа выполнена при финансовой поддержке в форме гранта DAAD и Министерства образования и науки РФ по программе «Михаил Ломоносов».

Проект РНП.2.2.2.3.9641 «Исследование методов автоматизации картографической генерализации на общегеографических картах».

Разработана библиотека программных модулей (подпрограмм) генерализации населенных пунктов с автоматизированным построением соответствующих блок-схем:

1. Моделирование формы и размера ячейки (площадки) карты;
2. Дифференциация территории по величине площади изображения населенных пунктов с помощью таксономического метода (метод Берри) [5];
3. Дифференциация территории по величине площади изображения населенных пунктов с помощью кластерного метода [5];
4. Построение диаграмм размещения объектов (на примере населенных пунктов);
5. Вычисление площади изображения населенных пунктов по исходной карте масштаба 1 : 200 000;
6. Расчет аналитических зависимостей картографической генерализации при анализе карт масштабов 1 : 2 000 000 (M1) и 1 : 500 000 (M2);
7. Учет характеристик соседних ячеек методом «скользящего окна».

Рассмотрим несколько примеров описаний программных модулей.

Моделирование формы и размера ячейки (площадки) карты

Назначение программы – обработка исходных данных размещения населенных пунктов (НП) на листе карты масштаба 1 : 200 000 с целью обоснованного выбора размеров ячеек.

Входная информация. Одномерные массивы координат центров изображений НП $MX(n)$ и $MY(n)$ листа карты масштаба M1 относительно левого верхнего угла листа.

Выходная информация. Диаграммы листа карты и соответствующие гистограммы распределения ячеек по числу НП при различных значениях размеров ячеек и алгоритм принятия решения о выборе размера ячейки.

Поставленная задача решается использованием ряда подпрограмм:

1. Отображение центров населенных пунктов с координатами $MX(n)$, $MY(n)$ листа карты.

2. Формирование массивов ячеек с координатами $MXp(i, j, k)$, $MYp(i, j, k)$ центров НП, отнесенных к той или иной i, j -й ячейке,

где i – номер строки ($i = 1, 2, \dots, I_{\max}$), $I_{\max} = \text{Int}(Y_m/L)$,

j – номер столбца ($j = 1, 2, \dots, J_{\max}$), $J_{\max} = \text{Int}(X_m/L)$,

k – порядковый номер центра НП внутри ячейки ($k = 1, 2, \dots, K_{\max}$),

$i = \text{Int}(MX(n) / L) + 1$, (1)

$J = \text{Int}(MY(n) / L) + 1$, (2)

где L – размер квадратной ячейки (в мм),

$\text{Int}(x)$ – операция округления величины x до целого ($\text{Int}(x) \leq x$).

3. Отображение массивов ячеек $MXp(i, j, k)$, $MYp(i, j, k)$ на экране в форме диаграммы листа карты.

4. Гистограмма $GNN(m)$. Формируется и отображается на экране гистограмма, зависимость числа ячеек от количества НП в этих ячейках.

Блок-схема и отображение рабочего окна программы представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

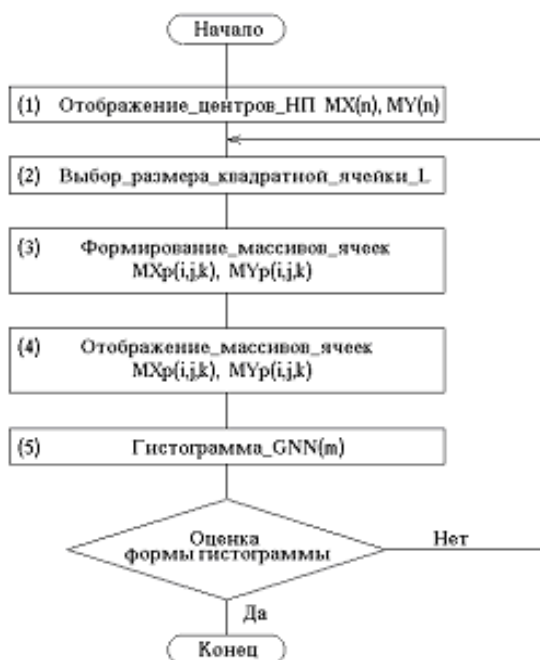


Рис. 1. Блок-схема программы по моделированию размера площадки карты

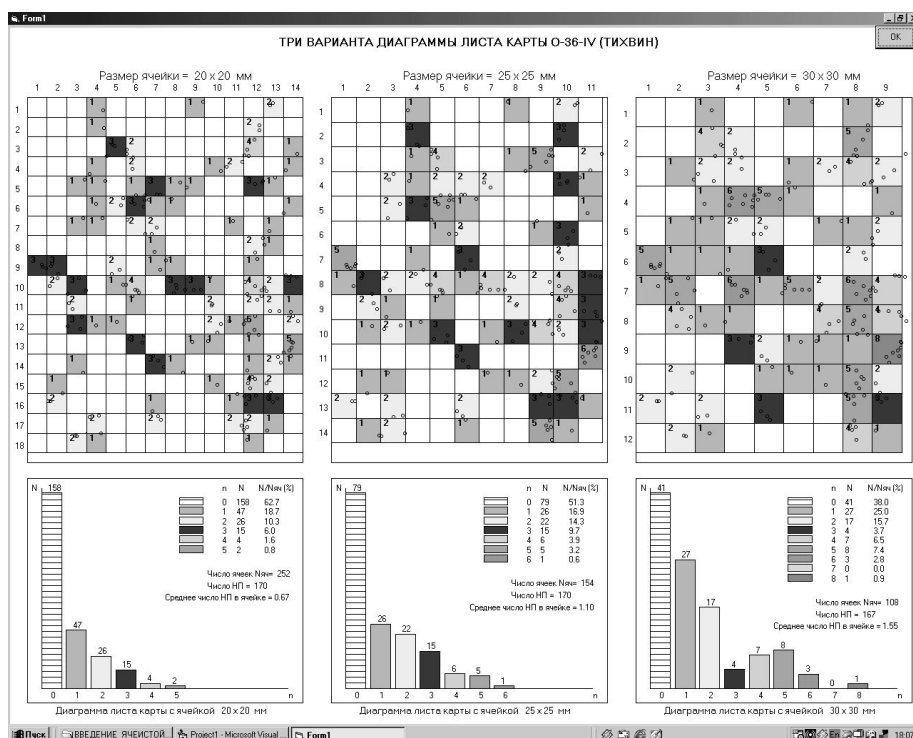


Рис. 2. Вид рабочего окна программы

Дифференциация территории по величине площади изображения населенных пунктов с помощью кластерного метода

Назначение программы – дифференциация территории, представленной листами карт двух масштабов M1 (1 : 200 000) и M2 (1 : 500 000) по соотношению величин изображений населенных пунктов.

Входная информация. Двумерные массивы суммарных площадей по ячейкам изображений НП на картах масштабов M1 и M2 $Sm1(i, j)$ и $Sm2(i, j)$, где $i = 1, 2, \dots, I_{\max}$ (номер строки), $j = 1, 2, \dots, J_{\max}$ (номер столбца).

Выходная информация. Список номеров ячеек, распределенных по кластерам. Построенная по этим данным гистограмма дифференциации территории и диаграмма листа карты, разбитого на ячейки, с отмеченными ячейками по всем кластерам.

Поставленная задача решается использованием ряда подпрограмм:

1. Отображение диаграммы $Sm2(i, j)$ от $Sm1(i, j)$, где значения площадей $Sm1(i, j) > 0$ и $Sm2(i, j) > 0$, $Sm1(i, j)$ ограничены сверху ($Sm1(i, j) < S1_{\max}$);

2. Коэффициенты $K(i, j)$, где коэффициент отношения площадей $K(i, j) = Sm2(i, j) / Sm1(i, j)$;

3. Разбиение массива коэффициентов $K(i, j)$ на кластеры.

Число групп (кластеров) принимается за N, например $N = 10$ (табл.).

(1) $0 < K_n \leq 0.1$	(6) $0.6 < K_n \leq 0.8$
(2) $0.1 < K_n \leq 0.2$	(7) $0.8 < K_n \leq 1.0$
(3) $0.2 < K_n \leq 0.3$	(8) $1.0 < K_n \leq 1.5$
(4) $0.3 < K_n \leq 0.45$	(9) $1.5 < K_n \leq 3.0$
(5) $0.45 < K_n \leq 0.6$	(10) $3.0 < K_n$

Конкретный выбор значений числа N и граничных значений K_0 (0.1; 0.2; ...; 3.0) определяется характером изображений населенных пунктов на картах;

4. Сортировка ячеек. Формируются списки номеров ячеек, отнесенных к каждому из N кластеров;

5. Гистограмма дифференциации территории по кластерам – формирование гистограммы, отображение ее на экране;

6. Диаграмма листа карты. На двумерной диаграмме ($I_{\max}$ – число строк, $J_{\max}$ – число столбцов) отмечаются ячейки из всех списков кластеров, в каждой ячейке записывается соотношение числа НП $Nm1/Nm2$ на картах масштабов M1 и M2, а также отображаются на полях гистограммы суммарные распределения количеств НП – $Mm1/Mm2$ по столбцам и строкам.

Вид рабочего окна программы дан на рис. 3.

В настоящее время ведется разработка следующих программных модулей, позволяющих представить целостное взаимосвязанное программное обеспечение методики:

- Распознавание типа речной сети по совокупности количественных и качественных признаков;
- Формирование комплексной характеристики ячейки карты;
- Анализ и составление фрагмента карты (модель).

Программные коды на Visual Basic могут быть встроены и отлажены в среде большинства ГИС профессионального уровня, что определяет основное преимущество использования этого языка программирования в разработанной методике. Созданное программное обеспечение можно рассматривать также как пример самостоятельного технологического решения задач генерализации.

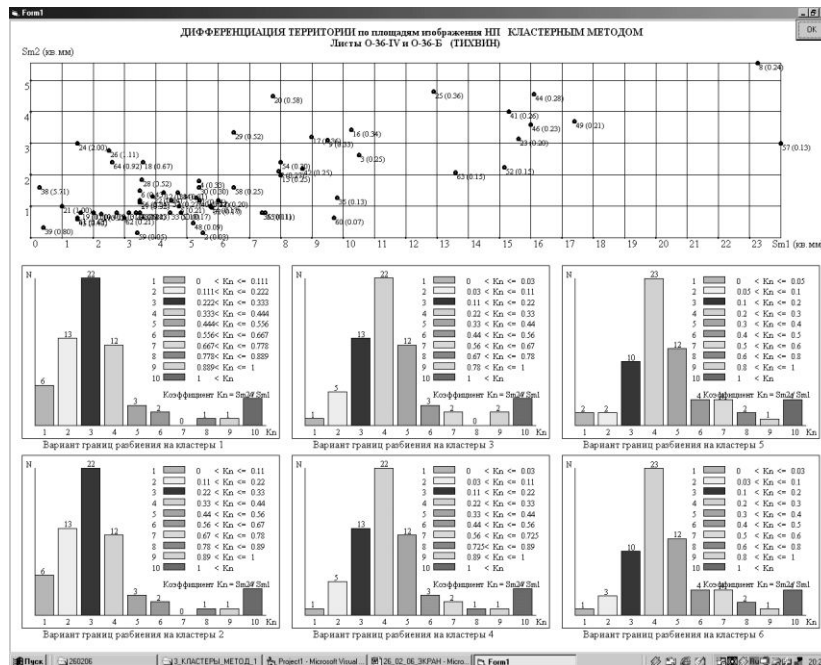


Рис. 3. Вид рабочего окна программы

Построение диаграмм размещения объектов (на примере населенных пунктов)

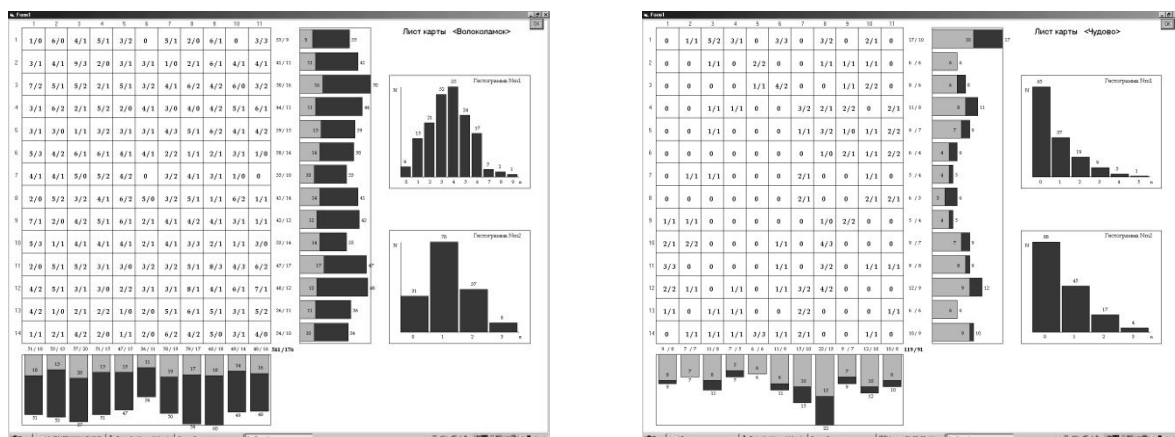


Рис. 4. Диаграммы средненаселенного и слабонаселенного типов районов (листы Волоколамск О-36-XXXVI и Чудово О-36-VIII)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бугаевский Л.М., Подольская Е.С. Теоретические аспекты картографической генерализации населенных пунктов при составлении обзорно-топографических карт // Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 2. – С. 67 – 79.
2. Бугаевский Л.М., Подольская Е.С. О картографической генерализации линейных элементов гидрографии на обзорно-топографических картах // Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 4. – С. 62 – 72.
3. Бугаевский Л.М., Подольская Е.С. Картографическая генерализация дорожной сети при составлении обзорно-топографических карт // Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 1. – С. 84 – 97.
4. Бугаевский Л. М., Подольская Е. С. Основные положения методики картографической генерализации на обзорно-топографических картах // Геодезия и картография. – 2005. – № 6. – С. 43 – 47.
5. Васмут А.С., Бугаевский Л.М., Портнов А.М. Автоматизация и математические методы в картосоставлении. – М.: Недра, 1991. – 390 с.
6. Podolskaya E.S. Russian scientific researches on map and space generalization // Proceedings of International Conference on cartography and GIS, January 25-28, 2006, Borovets, Bulgaria. 9 p. on CD and P. 55-56.

© Е.С. Подольская, 2006

УДК 528.915 + 528.425

Я.Г. Пошивайло

СГГА, Новосибирск

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ МАСШТАБОВ 1 : 250, 1 : 200 И 1 : 100

При строительстве, эксплуатации и реконструкции промышленных предприятий в основном используются топографические планы масштабов 1 : 500 и 1 : 1 000. При высокой насыщенности промышленных площадок и городских территорий, особенно центральных районов крупных городов, различными коммуникациями точности и информативности топографических планов даже масштаба 1 : 500 часто является недостаточным.

В этих случаях, согласно нормативного документа [2], топографическая съемка может выполняться в масштабе 1 : 200, но при этом технические требования к точности выполнения съемки данного масштаба должен устанавливать заказчик, так как в вышеназванном нормативном документе этих требований нет. Учитывая это, авторами работы [1] выполнен расчет точности создания съемочного обоснования для ведения тахеометрической съемки масштаба 1 : 200. В целом, поддерживая подход авторов работы [1], к обоснованию точности геодезических измерений, считаем необходимым остановиться на некоторых аспектах создания топографических планов масштаба 1 : 500 и крупнее с учетом современного высокого технического уровня геодезических приборов и цифровых камер и появившейся в связи с

этим возможности более полно удовлетворять потребности различных отраслей промышленности в соответствующей геодезической информации.

Применительно к выполнению топографических съемок крупных масштабов эти изменения относятся к повсеместному использованию электронных тахеометров, а в некоторых случаях и трехмерных лазерных сканеров. При этом средняя квадратическая ошибка серийно применяемых тахеометров равна 3 – 5" при угловых измерениях и 2 – 3 мм при измерении расстояний до 300 м, что значительно превышает точностные характеристики применяемых ранее для съемки приборов. Точность измерений с помощью трехмерных лазерных сканеров практически равна точности тахеометров. Все это дает возможность значительно увеличить точность определения положения объекта в пространстве. Это особенно важно при съемке участков со значительной насыщенностью коммуникациями, например нефтеперерабатывающих заводов, станций приема, очистки и перекачки нефти, где трубы располагаются в несколько ярусов. Отобразить такие объекты на топографическом плане масштаба 1 : 500 невозможно. Поэтому возникает необходимость создания топографических планов более крупного масштаба с целью реализации полученной точности измерений. Рекомендуемые документом [2] масштаб 1 : 200 позволяет в некоторой степени решить эту задачу, но отметим еще раз, в нем отсутствуют требования к точности соответствующих геодезических измерений.

При создании топографических планов крупнее 1 : 500 кроме обоснования требуемой точности измерений необходимо введение разграфки их листов. Для сохранения единства общей разграфки считаем необходимым ее продолжение на основе топографического плана (планшета) масштаба 1 : 500, который, как известно, имеет размер 50 × 50 см. С целью получения кратности линейных размеров последующих планшетов их масштаб должен быть 1 : 250 и 1 : 100. Тогда планшет масштаба 1 : 500 будет состоять из 4 планшетов масштаба 1 : 250 и 25 планшетов масштаба 1 : 100 (рис. 1). Их номенклатура будет складываться из номенклатуры листа плана масштаба 1 : 500 с добавлением арабских цифр, заключенных в квадратную рамку (для масштаба 1 : 250) и в кружок (для масштаба 1 : 100). Размер изображенной на них территории будет равен, соответственно, 125 × 125 м и 50 × 50 м.

Топографическую съемку масштаба 1 : 200 нецелесообразно привязывать к планшету масштаба 1 : 500. Для сохранения единства общей разграфки план масштаба 1 : 200 целесообразно получать на основе топографического плана 1 : 1 000 путем деления его на 25 планшетов. Тогда номенклатура топографического плана масштаба 1 : 200 будет складываться из номенклатуры листа плана 1 : 1 000 с добавлением арабских цифр, помещенных в кружок (рис.2). Размер изображаемой территории на плане масштаба 1 : 200 будет равен 100 × 100 м. Необходимо также отметить, что при выполнении строительно-монтажных работ локального характера съемку масштабов 1 : 250, 1 : 200 и 1 : 100 можно и не привязывать к соответствующим планшетам и производить их в условной системе.

Топографические планы масштабов 1 : 100 и 1 : 200 необходимо применять для детального отображения взаимного расположения элементов строительных конструкций и оборудования. В связи с этим топографические планы масштабов 1 : 100 и 1 : 200 имеет смысл называть **промышленными топографическими планами**, так как они сочетают в себе элементы топографической съемки и чертежа проектной документации. Например, фундамент под турбоагрегат мощностью 500 МВт имеет размеры 52 м × 15 м, а с фундаментами вспомогательного оборудования эта площадь увеличивается до 80 м × 40 м. При возведении нулевого цикла происходит регулярная привязка элементов фундамента, которые отображены на чертежах проектной документации, к элементам (осям) других строительных конструкций, которые уже возведены (колонны главного корпуса) и отображены, как правило, на исполнительных съемках масштаба 1 : 500. В этих случаях довольно часто происходят грубые промахи при детальных разбивочных работах.

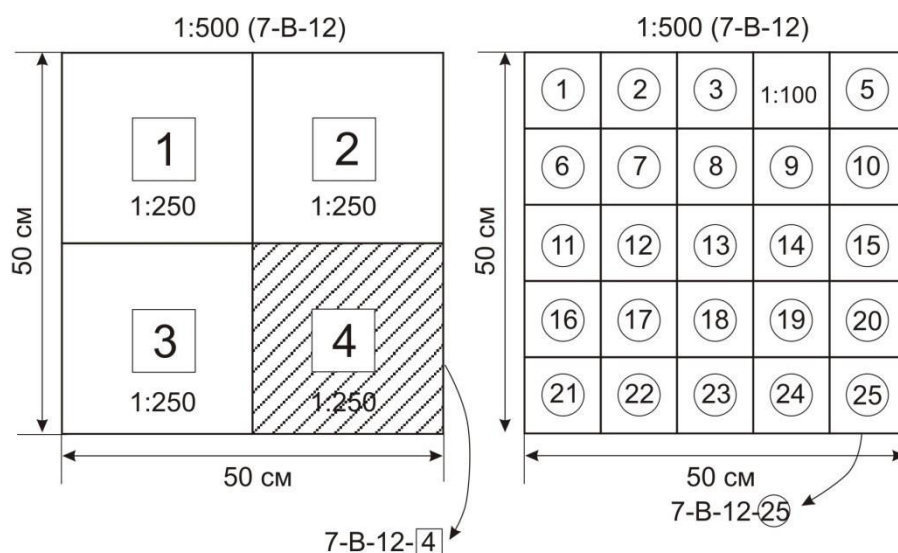


Рис. 1. Прямоугольная разграфка листа топографического плана масштаба 1 : 500

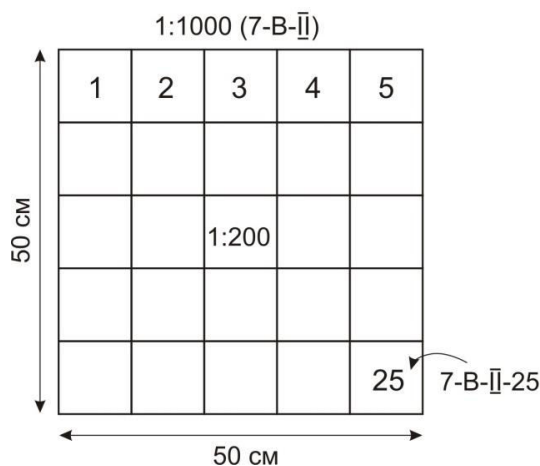


Рис. 2. Прямоугольная разграфка листа топографического плана масштаба 1 : 1 000

Если съемку производить в масштабе 1 : 100, то точность чертежа проектной документации и геодезических измерений значительно сблизятся, и в этом случае следует ожидать значительного уменьшения грубых промахов, так как появляется возможность взаимного контроля. Точность геодезических измерений при составлении плана масштаба 1 : 100 будет сопоставима с точностью детальных разбивочных работ.

Учитывая такую высокую точность определения высотного положения точек, имеет смысл каждую их них на планшете сопровождать высотной отметкой с точностью до 1 – 2 мм. Число таких точек может достигать 200. Так, например, при выполнении нулевого цикла во время строительства турбоагрегата на Томской ТЭЦ-3 число таких точек превышало 120. При этом одновременно со съемкой масштаба 1 : 100 параллельно производилось отображение положения анкерных болтов в масштабе 1 : 10. После завершения строительства исполнительная съемка турбоагрегата с подходящими к нему коммуникациями также была выполнена в масштабе 1 : 100.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михелев Ю.Д., Лобанов А.А. О точности топографической съемки в масштабе 1 : 200 // Изв.вузов.Сер.Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №1. – С. 21 – 28.
2. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства.

© Я.Г. Пошивайло, 2006

УДК 528.4

К.Б. Хасенов, Т.А. Куимова

ВКГТУ, Казахстан, Усть-Каменогорск

К ВОПРОСУ СОСТАВЛЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПЛАНОВ ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

На современном этапе развития городского строительства возникает необходимость в качественном топографическом материале, который в свою очередь зависит от качества созданного геодезического обоснования на застроенных территориях.

В настоящее время при выполнении широкого спектра геодезических работ используется современное геодезическое оборудование, которое обеспечивает оперативность, экономичность, точность выполнения измерений. При этом следует отметить несоответствие между используемым современным геодезическим оборудованием и нормативными инструкциями по выполнению геодезических работ, разработанными еще в 80-е годы прошлого столетия. В настоящей статье выполнена попытка сравнительного анализа соответствия

применяемого геодезического оборудования по развитию планово-высотного обоснования на застроенных территориях к современным требованиям, предъявляемым к созданию крупномасштабных топографических планов.

Городская полигонометрия, благодаря ряду преимуществ является одним из основных методов построения планового геодезического обоснования в городах. Качественно созданная полигонометрия 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов является первичной геодезической основой для построения съемочной сети, которая должна удовлетворять требованиям создания крупномасштабных топографических планов на территории городов, включая и масштаб 1 : 200.

Полигонометрия 4-го класса, создаваемая в городах, существенно отличается от полигонометрии 4-го класса государственной геодезической сети. Ее развивают в соответствии со специальными требованиями, изложенными в «Инструкции по топографической съемке в масштабах 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000, 1 : 500: ГКИНП-02-033-82».

Согласно действующим инструкциям, для угловых измерений в городской полигонометрии в основном применяют точные оптические теодолиты: Т2, 2Т2, Т5, 2Т5К, Theo010А, ТеВ1, Theo020А и т. д. Данные теодолиты обеспечивают среднюю квадратическую ошибку измерения горизонтального угла от 1" до 5".

В современных условиях повсеместно используемые электронные тахеометры обеспечивают необходимую угловую точность. Для полигонометрии 4-го класса рекомендуется использовать электронные тахеометры Topcon GPT-3002LN, Topcon GPT-3003N, Leica TC1101, обеспечивающие среднюю квадратическую ошибку измерения горизонтального угла 2-3", а для полигонометрии 1-го, 2-го разряда – Trimble 3605 DR, Pentax 325N, Topcon GPT-3007N, Sokkia SET-530R, Topcon GPT-3007 дают точность 5-7".

Электронные тахеометры и электронные дальномеры обеспечивают измерения длин линий от 2,5 км до 19 км. В настоящее время наиболее известными высокоточными электронными дальномерами являются приборы фирмы LEICA, а именно: LEICA DI2002, LEICA DI3000S/DIOR 3002S. Средняя квадратическая ошибка таких дальномеров варьируется от 1 мм + $1 \times 10^{-6}D$ до 3 мм + $1 \times 10^{-6}D$.

Предельная относительная ошибка хода для полигонометрии 4-го класса, как это следует из инструкции, должна составлять не более 1 : 25 000, для 1-го разряда – 1 : 10 000 и для 2-го разряда – 1 : 5 000.

Последнее поколение электронных тахеометров обеспечивает относительную ошибку измерения сторон от 1 : 30 000 до 1 : 40 000, что превышает заявленную в инструкции точность для полигонометрии 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов.

Существующее многоступенчатое построение геодезического обоснования вызывает заметные искажения в последней стадии построения инженерно-геодезического обоснования за счет накопления ошибок исходных данных. С целью получения качественного планового материала, предназначенного для проектирования инженерного строительства, возможно, следует пересмотреть количество стадий развития геодезического обоснования. Так, ограничиться

полигонометрией 4-ого класса и 1-ого разряда для застроенных и незастроенных территорий населенных пунктов. Съемочные сети могут быть представлены полигонометрией 2-ого разряда с предельной относительной ошибкой 1 : 5 000. Такая точность позволит составлять крупномасштабные топографические планы 1 : 200. В современных рыночных условиях только переход на масштаб 1 : 200 позволит полноценно обеспечить потребности городского кадастра для престижных районов населенных пунктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 и 1 : 500. – М.: Недра, 1985.
2. Михелев Д.Ш., Лобанов А.А., Михелев Ю.Д. О требованиях к топографической съемке в масштабе 1 : 200 // Геопрофи. – № 6 (2004). – С. 46-48.

© К.Б. Хасенов, Т.А. Куимова, 2006

УДК 528/915+528/425

В.И. Райх

ЗАО «НПК ГЕО», Омск

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЦИФРОВЫМ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛОМ НА ОПЫТЕ ТАВРИЧЕСКОГО РАЙОНА ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Реализация положений ФЗ-131 "Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации", связанных с решением вопросов местного значения, изложенных в статьях 14 и 15, невозможна без наличия актуальных и постоянно обновляемых картографических данных о состоянии территории в целом или локальных объектах.

Основными задачами предприятий, работающих в сфере обеспечения потребителей картографической продукцией, являются:

- Оперативное получение данных, обеспечивающих инструктивную точность;
- Оперативное обновление информации и ее дальнейшая актуализация.

Очевидно, что традиционными наземными геодезическими методами решать эти задачи не эффективно с экономической стороны и по срокам выполнения работ, особенно при больших объемах.

В настоящее время широкое распространение получили методы создания картографической основы, использующие данные дистанционного зондирования земли – аэрофотосъемка, космическая съемка, воздушное лазерное сканирование.

На нашем предприятии уже на протяжении 6 лет используется апробированная на практике технология получения цифровой

картографической продукции различных масштабов на основе материалов аэрофотосъемки и ее оперативного обновления на основе космической съемки.

Выполненные нашей компанией такие крупные проекты как:

– Обеспечение цифровыми ортофотопланами территорий СНП Азовского, Нововаршавского, Таврического и Черлакского районов Омской области – 139 населенных пунктов – на деле доказали полную состоятельность технологии, экономичность и качество выпускаемой продукции.

Основная цель применения технологии – обеспечение территорий цифровым топографо-геодезическим материалом для решения различных задач управления.

Основные элементы технологии, основанной на методах обработки данных дистанционного зондирования:

Аэрофотосъемка. Выбор параметров АФС зависит от того, каково назначение конечной продукции и ее желаемая точность.

Планово-высотная привязка опознаков. Полевые работы выполняются с помощью спутниковых геодезических приемников, что позволяет обеспечить наиболее рациональное и эффективное практическое определение координат и высот.

Аналитическая фототриангуляция, создание стереомодели. Это один из самых важных процессов технологии. На этом этапе закладывается основа качества всех производных продуктов. Выполняется создание единой стереомодели территории с однородной точностью.

Стереотопографическая съемка. Подразделяется на два вида, в зависимости от технологической цепочки получения того или иного выходного материала. Стереотопографическая съемка рельефа – процесс создания цифровой модели рельефа для изготовления цифровых ортофотопланов и матрицы высот. При стереотопографической съемке контуров выполняется векторизация элементов ситуации местности для дальнейшего получения цифровой модели контуров и изготовления цифровых топографических планов.

Дешифрирование. Если конечным результатом обработки материалов АФС является изготовление цифровых топографических планов, то обязательной составной частью технологии является дешифрирование фотографического изображения, заключающееся в распознавании объектов на снимке, установлении их характеристик и дальнейшем вычерчивании в условных знаков того или иного масштаба.

Мониторинг по материалам космических съемок. Как говорилось ранее, технология обеспечивает оперативное и недорогое обновление планового картографического материала.

Основные виды продукции и направления их применения:

– Цифровые ортогональные фотопланы по материалам АФС и космической съемки – представляют собой трансформированное, масштабированное фотографическое представление местности и является самодостаточной топоосновой для решения различных задач. Являясь, по сути, растровой картой соответствующего масштаба и точности, они служат основой

для проектирования границ территориальных образований и земель поселений, проекта границ земельных участков, территориального землеустройства и проектов межевания.

– Матрица высот или цифровая модель рельефа местности. Матрица обеспечивает получение третьей координаты – абсолютной отметки в любой точке и, при совместном использовании с цифровыми ортофотопланами, обеспечивает решение различных прикладных задач эксплуатационных служб, связанных с предпроектными проработками, проектированием и реконструкциями при строительстве. Матрица высот позволяет с достаточной точностью в режиме реального времени определять продольные и поперечные профили объектов, обеспечивает получение абсолютной отметки высот в любой точке местности, с помощью нее можно определять площади полигонов с учетом рельефа, а так же является основой для создания 3D моделей местности и отдельных объектов.

– Цифровая модель контуров. Векторное представление ситуации местности, представленное тремя типами объектов – площадные, линейные и точечные, является метрической основой для создания цифровых топографических планов соответствующих масштабов, создания баз (банков) данных различного назначения.

– Цифровые топографические планы. Изготавливаются с использованием результатов фотограмметрических работ и материалов дешифрирования и представляют отображение топографических элементов местности в соответствие с принятыми условными знаками. Топографические планы являются основой для проектирования объектов промышленного и гражданского строительства.

– Картографическая основа для создания и ведения ГИС различного назначения. Так же рассматривается как один из видов продукции. Совокупность полученной по данной технологии видов продукции позволяет обеспечить любую ГИС информацией о пространственном местоположении объектов учета ГИС и начальной семантической информацией, позволяющей однозначно идентифицировать эти объекты на карте. Растровая подложка в виде цифровых ортофотопланов обеспечивает преимущества при визуальном анализе территории или объекта, так как является фотоизображением. Векторные данные служат основой для наполнения объектов атрибутивной информацией и обеспечивают функционирование связей между семантикой и графикой, различных логических операций, запросов, выборки и поиска.

– Мониторинг текущих изменений состояния местности по материалам космических съемок. Технология обеспечивает быстрое и сравнительно недорогое получение актуальных данных о территории в виде цифровых ортофотопланов по данным космосъемки высокого разрешения. При этом в качестве ЦМР при трансформировании исходного изображения, используется матрица высот, полученная на этапе выполнения работ по обработке материалов АФС. Используя матрицу высот, полученную ранее, выполняется ортотрансформирование исходных изображений и изготовление ортофотоплана.

Дальше выполняется векторизация, или съемка текущих изменений или принимается вариант растрового плана. Актуализированный материал интегрируется в существующую базу данных.

Технология на сегодняшний день реализована в 4 муниципальных районах Омской области. Азовский, Таврический, Нововаршавский и Черлакский.

Материалы находят свое применение для решения задач, связанных с землеустройством, кадастром объектов недвижимости, градостроительством, ЖКХ и др.

Пример практического использования продукции для целей землеустройства. Принципиальная схема работы специалиста-землеустроителя – по ортофотоплану или при необходимости по материалам стереотопографической съемки выполняется подготовка кадастрового плана земельного участка или градостроительного плана земельного участка. План оформляется соответствующим образом.

Далее идет определение и формирование границ земельного участка. Заносится первичная семантическая информация о нем, формируется файл экспорта метрических данных.

Данные из обменных форматов Панорамы органично вливаются в электронную базу данных кадастрового учета. Отлаженная процедура позволяет в реальном времени обеспечить юридические и физические лица необходимыми документами для операций с землей.

Второе практическое применение цифрового топографо-геодезического обеспечение состоит в использовании полученных материалов для изготовления цифровых топографических планов различных масштабов для проектирования объектов промышленного и гражданского строительства. Например, газификация. Применение нашей продукции для этих целей имеет опыт использования при подготовке топографических планов для проектирования газопроводов по населенным пунктам Азовского района – Привальное, Пришиб, Звонарев Кут, Березовка. Использование имеющихся материалов позволило в несколько раз снизить стоимость изготовления топоосновы для проектирования сетей газоснабжения по сравнению с применением наземных геодезических методов.

На первом этапе работ, имея такую топооснову, как цифровой ортофотоплан и матрицу высот эксплуатирующие организации и проектировщики получают широкие возможности для анализа территории, предпроектных проработок места прохождения проектируемых трасс газопроводов с возможностью получения в реальном времени продольных профилей проектируемой трассы, определения длины трассы, в том числе с учетом рельефа местности, а, следовательно, предварительного прогноза объемов работ при проектировании и строительстве, расчетов длины трубопроводов и стоимости материала.

Оформленные проектные решения в виде технического задания ГИПа на инженерно-геодезические изыскания с приложением схемы газопроводов поступают в изыскательскую организацию. В границах съемки производится

формирование цифровой модели контуров по ортофотоплану, или если есть повышенные требования к точности масштаба, то, используя стереотопографическую съемку контуров и рельефа. Геодезические полевые работы в этом случае сводятся только к дешифрированию с досъемки по специальным требованиям. Конечная продукция – цифровые топографические планы полосы прохождения проектных трасс газопроводов в электронном или бумажном видах. Это лишь одно из направлений использования – для газификации. То же самое применимо и к тепло-, водо-, электроснабжению, созданию инженерно-топографических планов на локальные площадки под строительство того или иного объекта. Для работы по созданию или корректировке генеральных планов, предварительных проработок до выдачи разрешений на строительство и т. д.

Еще одно направление – использование полученной продукции как картографической основы для создания и ведения геоинформационных систем (ГИС) различного назначения, в частности муниципальных ГИС.

Объекты учета в ГИС – имущественные комплексы, здания, сооружения, конструкции, земельные участки, помещения, объекты незавершенные строительством и другие.

Для успешной реализации ГИС-проекта имущественного комплекса необходима информация о пространственном местоположении объектов учета ГИС и начальная семантическая информация, позволяющая однозначно идентифицировать эти объекты на карте. Для владения, пользования и распоряжения имуществом, находящимся в муниципальной собственности, нужно как минимум иметь представление о пространственном расположении этого имущества.

Например, отобразив на растровой подложке – цифровом ортофотоплане объекты жилого и нежилого фонда муниципального имущества, внося необходимую первичную семантику, характеризующую объект учета, можно говорить о наличии тематической карты для создания ГИС имущественного комплекса территориальной единицы.

Картографическая основа обеспечивает принятие управленческих решений по вопросам местного значения поселения, поставленных ФЗ-131. Такие вопросы как организация в границах поселения тепло-, водо-, электроснабжения. Обеспечение освещенности улиц. Для оценки ситуации по этим направлениям в населенных пунктах, необходимо иметь достоверные схемы. Дополнив графику атрибутивной информацией о диаметрах, материале, глубине заложения, годе ввода в эксплуатацию, напряжении, данные по фидерам для ЛЭП и другую, можно говорить об основе ГИС, ГИС инженерных сетей, коммуникаций.

Основные аргументы за использование технологии цифрового топографо-геодезического обеспечения территорий:

- Высокая производительность, существенное сокращение сроков получения продукции равнозначной точности по сравнению с традиционными наземными методами;

– Единое координатное пространство, обеспечивающее однородную точность, единую систему координат, исключая неизбежные ошибки, вызванные локальными системами координат, проложением привязочных ходов к исходным пунктам и ходов, при создании сетей сгущения традиционными методами;

– Универсальность продукции, исходная продукция, начиная от материалов АФС и их производные, на различных этапах обработки находят свое применение в различных областях;

– Минимум полевых работ при создании картографического материала;

– Обеспечивает возможность оперативного обновления данных по материалам космосъемки и органичную интеграцию актуальных сведений о территории или локальных объектах в существующую базу данных.

– Экономичность – сокращение финансовых и временных затрат по сравнению с наземными геодезическими методами получения продукции, ведет к существенному снижению стоимости.

© В.И. Райх, 2006

УДК 528.915+528.425

В.В. Носырев

ФГУП «Забайкальское АГП», Чита

ОПЫТ РАБОТЫ ФГУП «ЗАБАЙКАЛЬСКОЕ АГП» ПО КАРТОСОСТАВЛЕНИЮ И ПОДГОТОВКЕ К ИЗДАНИЮ ЦИФРОВЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ (ЦТК) ГОСУДАРСТВЕННОГО МАСШТАБНОГО РЯДА 1 : 25 000 – 1 : 50 000 НА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «ЦИФРОВАЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ»

ФГУП «Забайкальское АГП» в 2002 году приступила к изучению и освоению аппаратно-программного комплекса ЦФС разработки ЦНИИГАиК по картосоставлению и подготовке к изданию цифровых топографических карт на масштабный ряд от 1 : 25 000 до 1 : 500 000 по объектам госзаказа. За истекший период нашим предприятием выполнено и отправлено на картфабрику 607 листов карт масштаба 1 : 25 000, 105 листов – масштаба 1 : 50 000, 12 листов – масштаба 1 : 100 000, 3 листа – масштаба 1 : 200 000, 2 листа – масштаба 1 : 500 000.

Этапы создания и обновления ЦТК масштаба 1 : 25 000

1. Сканируем совмещенные издательские оригиналы карт масштаба 1 : 25 000 на широкоформатном картографическом сканере Cougar 25.

2. Ориентируем растр карты в программе Models:

а) Набиваем координаты углов рамки карты в блокноте и загружаем в опору;

б) Выполняем внешнее ориентирование растра карты.

3. Открываем шаблон классификатора и условных знаков карты масштаба 1 : 25 000 в программе Digitals, разработанный ЦНИГАиК и доработанный специалистами нашего предприятия, шаблоны на все масштабы дорабатывались специалистами нашего предприятия.

4. Подгружаем растр карты.

5. Создаем ЦТК путем векторизации по классификатору и условным знакам масштаба 1:25 000; Порядок создания:

а) Гидрография;

б) Контур;

в) Заливки площадные (лес, низкорослая растительность, пашни, степь и т.д.);

г) Рельеф.

6. Обновляем ЦТК по аэро- или космическим снимкам:

а) Космический снимок центральной проекции, отсканирован на фотограмсканере СКФ-ЦМ разработки ЭОМЗ с точностью 8 мк;

б) Плано-высотное обоснование взято с карт более крупного масштаба, выполнялась привязка и уравнивание снимка в подпрограмме Models;

в) Обновление карты выполняем по контурам.

7. Редактируем, создаем рамку и зарамочное оформление, выполняем просмотр и контроль;

а) За основу зарамочного оформления берем разработку ЦНИИГАиК, доработанное специалистами нашего предприятия;

б) Редакторский контроль выполняется как в цифровом так и в бумажном виде, автоматический контроль пока не доработан.

8. Подготавливаем ЦТК к изданию, делим слои по цветам печати:

а) Гидрография;

б) Контур;

в) Рельеф;

г) Маска лес + низкорослая растительность;

д) Заливка дорог + сетка кварталов;

е) Черный совмещенный.

9. Создаем PS – файлы;

10. Выводим позитивы на фотонаборном автомате ESRM Stingray 63;

11. Проводим дополнительный редакторский контроль позитивов карты;

12. Отправляем позитивы на картфабрику.

Создание ЦТК масштаба 1 : 50 000

1. В программе Digitals соединяем 4 листа обновленной ЦТК масштаба 1 : 25 000 без зарамочного оформления;

2. Экспортируем в формат *.bmp;

3. Ориентируем полученный растр по той же технологии, что и масштаб 1 : 25 000;

4. Открываем шаблон классификатора и условных знаков ЦТК 1 : 50 000 в программе Digitals;

5. Подгружаем полученный растр карт масштаба 1 : 25 000;

6. Делаем картосоставление с одновременной генерализацией используя классификатор, условные знаки и руководство для масштаба 1 : 50 000;
7. Навешиваем рамку и зарамочное оформление;
8. Выполняем контроль и просмотр;
9. Выполняем подготовку к изданию по той же технологии, что и для масштаба 1 : 25 000.

Создание и составление ЦТК масштабов 1 : 100 000 и 1 : 200 000 проводим по той же технологии, что и для масштаба 1 : 50 000. Используем шаблоны классификатора и условных знаков для этих масштабов. Для масштаба 1 : 200 000 дополнительно создается справка о местности и схема грунтов.

Создание и составление ЦТК масштаба 1 : 500 000 производим из 9 карт масштаба 1 : 200 000. Разработали шаблон классификатора и условных знаков, за основу приняли шаблон ЦТК масштаба 1 : 200 000. Технология создания и составления ЦТК масштаба 1 : 500 000 отличается от других масштабов составлением рельефа. Из-за сложности в составлении рельефа высокогорных районов (переходная шкала – 100 м.), отсутствия на экране монитора общего обзора всех форм рельефа в общей структуре орографии, по опыту ранее выполненных работ, было принято решение использовать старую технологию. По шкале сечения поднимаем и интерполируем вручную горизонтали на синих копиях, далее склеиваем листы и сканируем на картографическом широкоформатном сканере Cougar 25. Ориентируем в программе MODELS, составляем рельеф с одновременной векторизацией в масштабе 1 : 500 000. Позитив отмывки рельефа оставили старый, слой гипсометрической окраски цифровали по новому. Рамку и зарамочное оформление также разрабатывали самостоятельно. Остальные этапы создания, составления и подготовки к изданию не отличаются от предыдущих масштабов.

По опыту работы нашего предприятия, представленного в этом докладе, можно сделать вывод, что аппаратно-программный комплекс имеет как преимущество перед традиционным карт составлением государственного масштабного ряда, так и недостатки, которые, можно со временем устранить.

Недостатки

- Нет общего обзора при составлении карт мелкого масштаба 1 : 200 000, 1 : 500 000.
- Недостаток технических указаний по созданию цифровых топографических карт государственного масштабного ряда, множество условных знаков приходится дорабатывать самим, по опыту работы в программе ПАНОРАМА существует редакционно-технические указания по правильному описанию каждого условного знака.
- Некоторые условные знаки стали более трудоемкими, например отрисовка скал, по УЗ скалы отрисовываются сложной конфигурацией

разработанной еще для старой технологии гравирования, в некоторых программах этот условный знак является площадным.

- Не все используемые топошрифты созданные для ЦТК без искажений переходят в PS формат.

- Недоработан редакционный контроль ЦТК в электронном виде, очень много ручных настроек.

Преимущества

- Улучшение условий труда.

- Уменьшение времени создания, составление и подготовки к печати ЦТК;

- Есть предпосылки для автоматической генерализации ЦТК от масштаба 1 : 50 000 до 1 : 500 000.

Предложения

- Пересмотреть подход к условным знакам для ЦТК.

- Рассмотреть изменения шрифтов совместимых с программным обеспечением ПЭВМ.

- Изменить подход к отображению форм рельефа (заменить отмывку на аналог цифровой отмывки).

© В.В. Носырев, 2006

УДК 528.4

В.И. Лялков, Т.А. Хлебникова, В.М. Втюрина, Т.Л. Кара
ФГУП центр «Сибгеоинформ», Новосибирск

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ ЦТК МАСШТАБА 1 : 50 000 ПО ЦТК МАСШТАБА 1 : 25 000, СОЗДАНЫХ НА ЦФС ЦНИИГАИК

По разработанной в ФГУП центр «Сибгеоинформ» технологии автоматизированной генерализации (далее Технология) получения цифровых карт масштабов 1 : 50 000 по ЦТК масштаба 1 : 25 000, собранным в программной среде Digital (далее ПО Digital) цифровой фотограмметрической станции ЦНИИГАиК, г. Москва (далее ЦФС) в 2005 году проводилась опытная эксплуатация с целью:

- Проверить работоспособность Технологии в части получения НЛ ЦТК масштаба 1 : 50 000 по НЛ ЦТК масштаба 1 : 25 000 на производственных материалах ФГУП ПО «Инжгеодезия», ФГУП Восточно-Сибирское АГП, ФГУП Красноярское АГП, ФГУП Новгородское АГП, ФГУП центр «Сибгеоинформ»;

– Провести предварительную оценку технико-экономической эффективности технологии;

– Сформулировать замечания и предложения о доработке технологии перед передачей в эксплуатацию в производственных условиях.

Опытная эксплуатация проводилась с использованием программного обеспечения ПО Digitalis ЦФС, программы Topwin 4.0, базы данных цензов масштаба 1 : 50 000 информационного обеспечения для масштабов 1 : 25 000, 1 : 50 000. В результате проведения опытной эксплуатации подготовлено 14 НЛ ЦТК масштаба 1 : 50 000.

Исходные НЛ ЦТК большинства предприятий собраны по правилам, разработанным предприятиями для своих технологий. По этой причине затрачено дополнительное время на проведение входного контроля исходных НЛ ЦТК масштаба 1 : 50 000 и устранение замечаний, что и сказалось на эффективности использования Технологии. Трудоемкость в дальнейшем указана без учета времени на доработку НЛ ЦТК по устранению замечаний входного контроля.

В процессе опытной эксплуатации Технологии выполнены следующие производственные процессы:

1. Подготовительные работы для создания производного НЛ ЦТК масштаба 1 : 50 000 в автоматическом режиме.

2. Процесс автоматической генерализации.

3. Интерактивная доработка автоматически созданного НЛ ЦТК масштаба 1 : 50 000 согласно нормативным документам и РТУ на район работ.

4. Контроль и приемка НЛ ЦТК (составительского оригинала) масштаба 1 : 50 000.

Трудоемкость подготовительных работ

Перед проведением автоматической генерализации были установлены параметры и цензы характеристик района картографирования, по которым производится обработка объектов алгоритмами программы ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ.

Программа ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ позволяет устанавливать параметры только для слоёв: рельеф, гидрография, растительность, автодороги, исходя из особенностей географических характеристик района картографирования.

Все слои НЛ ЦТК преобразовываются одновременно и перед автоматической генерализацией необходимо производить согласование метрики смежных объектов.

Этап автоматической генерализации проходил в пакетном режиме.

В процессе автоматической генерализации выполнялась автоматическая модификация метрики объектов (исключение, сглаживание, утрирование), согласно установленным правилам и цензам отображения картографических объектов для карты масштаба 1 : 50 000.

Правильность такой модификации различна для различных слов и зависит от: категории сложности исходных НЛ, соблюдения правил сбора объектов, и т. д. По полученным результатам наибольшая правильная модификация согласно цензам достигается для рек: производится сглаживание меандров,

преобразование площадных рек в линейные, рек в две линии в реки в одну линию, отбор водохранилищ и озер. Использование автоматической генерализации для слоя «Населенные пункты» эффективно для поселков сельского типа (достаточно достоверно производится отбор строений и расширение кварталов).

Далее интерактивное редактирование проводилось в соответствии с РТУ для создания производного НЛ ЦТК масштаба 1 : 50 000.

Продолжительность интерактивной доработки автоматически созданного НЛ масштаба 1 : 50 000 согласно нормативным документам и РТУ на район работ (создание составительского оригинала) приведена в табл. 1. Продолжительность автоматической генерализации указана в таблице 2.

Контроль выполнения работ по технологии автоматизированной генерализации осуществлялся на всех этапах, начиная с входного контроля ЦТК масштаба 1 : 25 000, редакторских консультаций в процессе работ и проверки графических копий.

Трудоемкость контроля и приёмки НЛ ЦТК (составительского оригинала) масштаба 1 : 50 000 приведена в табл. 1.

Замечания, полученные по опытной эксплуатации, разбиты на две группы. К первой группе отнесены замечания по ПО Генерализации. Ко второй группе отнесены замечания по ПО ЦФС Digitalis. Выработаны рекомендации по учету замечаний, и разработан план мероприятий по их устранению.

Предварительная оценка технико-экономических показателей технологии автоматизированной генерализации

В Технологию в состав подготовительных работ вошли дополнительные процессы, необходимые для автоматизированной генерализации:

- Полная или частичная перекодировка объектов и характеристик объектов ЦТК (если это необходимо);
- Редактирование ЦТК в соответствии с правилами ввода для цели автоматизированной генерализации (если это необходимо).

Таблица 1. Трудозатраты по процессам получения составительского оригинала ЦТК М 1 : 50 000 по технологии автоматизированной генерализации

Трудозатраты по процессам (чел.\час.)	ФГУП «ПО Инжгеодез ия»	ФГУП Восточно- Сибирское АГП	ФГУП Красно- ярское АГП	ФГУП Новго- родское АГП	ФГУП центр «Сибгео- информ»
Категория сложности исходных ЦТК	7,5	2,75	5,0	7,5	7,5
Перекодирование 4 НЛ М 1 : 25 000	4	8,0	0,5	2,5	6
Сводка и сшивка 4 НЛ М 1 : 25 000 для автоматической генерализации	12	8,0	8,0	0,2	6
Контроль СКК и исправление ошибок	6	8,0	8,0	-	5
Контроль сшитой базы	-	4,0	7,0	3,8	0

перед автоматической генерализацией					
Автоматическая генерализация	3,5	1,0	1,0	2,3	2,0
Интерактивное редактирование и составление ЦТК после автоматической генерализации	144	16,0	24,0	102	51,0
Создание составительского оригинала	-	15,0	-	-	8,0
Контроль и приёмка НЛ масштаба 1 : 50 000	36,0	8,0	8,0	7,5	8,0
Всего трудозатрат: (чел./час.)	205,5	60,0	56,5	118,3	80,0

Примечание. Трудозатраты даны за исключением:

1. Времени на обучение технологии автоматизированной генерализации.
2. Времени, затраченного на составление таблиц перекодировки объектов и характеристик из классификатора ПО Digitalis ЦФС в классификатор ПО Генерализация (таблицы перекодировки составляются один раз на весь объем НЛ ЦТК).
3. Времени на входной контроль и исправление замечаний.
4. Времени, затраченного на конвертирование из формата ДМ ГИС «Нева» в формат DMF ПО ЦФС.
5. Времени, затраченного на доработку НЛ ЦТК масштаба 1 : 25 000 в интерактивном режиме средствами ПО ЦФС, в соответствии с требованиями сбора цифровой информации для выполнения автоматической генерализации.

Другие технологические процессы такие же, как и в других технологиях, используемых в АГП, в том числе выполняемые средствами интерактивного редактирования в электронном виде.

Автоматическая генерализация может быть выполнена от 0,5 – 5 часов работы ПЭВМ (в зависимости от категории сложности исходной НЛ ЦТК и мощности ПЭВМ).

По результатам анализа отчетов, полученных от участников опытной эксплуатации, составлена сводная таблица трудозатрат (табл. 2). В таблице приведены трудозатраты по процессам на создание 1 НЛ масштаба 1 : 50 000.

Таблица 2. Трудозатраты на получение 1 НЛ ЦТК масштаба 1 : 50 000 по 4 НЛ ЦТК масштаба 1 : 25 000 по технологиям, используемым в предприятиях и технологии автоматизированной генерализации

Пред-приятие	Используе-мое ПО	Вид работы	Категория сложности	Трудозатраты используемой технологии, час.	Трудозатраты технологии автоматизир. генерализ., час.

ФГУП ПО Инжгеодези я	ГИС «Нева»	Получение состави- тельного оригинала	7,5	133,25	205,5
ФГУП Восточно- Сибирское АГП	ГИС «Нева»	Получение состави- тельного оригинала	4,5	91,7	60,0
ФГУП Красноярск ое АГП	ЦФС ЦНИИГАиК	Получение состави- тельного оригинала	7,0	53,0	56,5
ФГУП Новгородск ое АГП	ЦФС ЦНИИГАиК	Получение состави- тельного оригинала	8,0	128,4	118,3

Затраты труда по перекодировке семантической информации, включая редактирование, составили от 0,5 до 8 час. Существенный разброс значений трудоемкости зависит от степени отличия исходного классификатора от классификатора, используемого в генерализации.

Во всех предприятиях на процесс интерактивного редактирования и составления ЦТК после автоматической генерализации приходится основная часть трудозатрат – от 24 до 144 часов для сложных категорий.

Основные научно-технические решения, позволяющие существенно повысить экономический эффект от использования технологии автоматизированной генерализации.

1. Унификация информационного обеспечения (классификатора, условных знаков, правил ввода) ПО Digital ЦФС, используемых при создании НЛ ЦТК базовых масштабов различными предприятиями Роскартографии.
2. Автоматическая сшивка НЛ ЦТК исходного масштаба.
3. Совершенствование функций интерактивного редактирования ЦТК производного масштаба средствами в ПО Digital ЦФС по замечаниям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: технология автоматизированной генерализации создания НЛ ЦТК масштаба 1 : 50 000 по НЛ ЦТК масштаба 1 : 25 000, собранных в программной среде ЦФС работоспособна и уже на этапе опытной эксплуатации эффективна.

Анализ трудозатрат традиционных технологий создания НЛ ЦТК масштаба 1 : 50 000 по НЛ ЦТК масштаба 1 : 25 000, применяемых в предприятиях Роскартографии; и трудозатрат, определенных по результатам опытной эксплуатации создания НЛ ЦТК масштаба 1 : 50 000 по НЛ ЦТК масштаба 1 : 25 000 с использованием технологии автоматизированной генерализации, позволяет сделать следующий вывод, что трудозатраты на этапе опытной эксплуатации (табл. 2), равнозначны или меньше трудозатрат создания традиционными технологиями НЛ ЦТК масштаба 1 : 50 000 по НЛ ЦТК масштаба 1 : 25 000.

Значительный экономический эффект будет получен при массовом использовании предприятиями Роскартографии предложенной технологии автоматизированной генерализации создания ЦТК масштаба 1 : 50 000 по ЦТК масштаба 1 : 25 000, собранных в программной среде ЦФС.

Технология автоматизированной генерализации создания ЦТК масштаба 1 : 50 000 по ЦТК масштаба 1 : 25 000, собранных в программной среде ЦФС готова для передачи в промышленную эксплуатацию в предприятия Роскартографии.

Считаем целесообразным технологию автоматизированной генерализации разработать для всего масштабного ряда 1 : 25 000 – 1 : 200 000.

© В.И. Ляльков, Т.А. Хлебникова, В.М. Втюрина, Т.Л. Кара, 2006

ЦИФРОВЫЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И МУНИЦИПАЛЬНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ – КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ТЕРРИТОРИЯМИ

В настоящее время для управления территориями на первый план выдвигаются новые компьютерные технологии, связанные с комплексным использованием цифровой топографической информации и созданием географических информационных систем.

Географическая информационная система (ГИС) – это система, которая базируется на совместном использовании пространственной информации о территории, представленной в виде электронных карт (топографических, тематических: экологических, природных ресурсов, климатических и т. п.), и связанной с ней информацией об объектах окружающей среды или явлениях и используется для целей управления.

Муниципальная ГИС призвана обеспечить органы власти любого муниципального образования инструментом для принятия эффективных административных и правовых решений. Пользователи муниципальной ГИС получают комплексную информацию о территории, что позволяет эффективно управлять, рационально использовать бюджетные средства, четко планировать предполагаемые виды работ и их стоимость.

ФГУП центр «Сибгеоинформ» разработал ряд ГИС-проектов, которые могут быть использованы для решения задач, стоящих перед муниципальными органами управления. *Перечень решаемых задач* (по информационно-тематическим блокам) следующий:

- Народонаселение и социальная сфера (демографическая ситуация, медицинское обслуживание, жилой фонд, коммунальное хозяйство и т. д.).
- Промышленный потенциал (производственные и социальные показатели, сырьевая база, водные и лесные ресурсы и т. д.).
- Сельское хозяйство и производство населения (урожайность, валовой сбор, кормовые ресурсы и т. д.).
- Минерально-сырьевая база (месторождения полезных ископаемых и их характеристики, горнодобывающие предприятия и т. д.).
- Лесное хозяйство и лесная промышленность (характеристики лесного фонда, размещение лесосырьевой базы, размещение лесозаготовительных предприятий т. д.).
- Водные ресурсы и водное хозяйство (запасы водных ресурсов, размещение гидромелиоративных систем, водопотребление и водоотведение и т. д.).
- Экономические связи (производственная кооперация, инвестиции и т. д.).

При разработке геоинформационных систем использованы цифровые топографические карты (ЦТК) Роскартографии.

Основой большинства проектов геоинформационных систем является базовая разработка центра «Сибгеоинформ» – *Многофункциональная адаптируемая геоинформационная система (МАГИС)*.

МАГИС – инструментальная оболочка, выполненная на платформе WIN 32 и предоставляющая пользователю необходимые средства для создания собственных целевых ГИС-приложений.

Некоторые ГИС-проекты, разработанные в центре:

1. Геоинформационная система недвижимости Новосибирской области (ГИС НЕДВИЖИМОСТЬ).
2. Электронная база данных автомобильных дорог федерального значения на территорию Российской Федерации (РФ).
3. Электронный экологический атлас Новосибирской области.
4. Технология создания геомультимедийных информационно-справочных систем.

1. *ГИС НЕДВИЖИМОСТЬ* разрабатывалась в соответствии с Федеральной целевой программой «Создание автоматизированной системы ведения государственного земельного кадастра и государственного учета объектов недвижимости (2002 – 2007 годы)» в 2003 – 2004 годах. Разработка закончилась созданием опытного образца ГИС НЕДВИЖИМОСТЬ для Департамента имущества и земельных отношений Новосибирской области (далее Департамент).

Основные функции:

- Ввод, накопление и визуализация базовых цифровых топографических слоев информации различных масштабов.
- Импорт цифровой тематической (кадастровой) информации из разных исходных форматов во внутренний формат базовой ГИС-оболочки и создание в единой системе координат цифровых тематических карт.
- Обновление цифровой топографической информации.
- Автоматизированное связывание баз семантических данных об объектах с пространственной основой.
- Оперативный поиск объектов по различным критериям с отображением результатов на карте.
- Измерения и пространственный анализ по картографическому изображению.
- Автоматизированный контроль.
- Выдача информации в цифровом и картографическом виде.
- Формирование отчетных документов в заданных форматах и структурах.
- Защита информации от несанкционированного доступа.

Единую пространственную основу опытного образца ГИС НЕДВИЖИМОСТЬ составили:

- Обзорная цифровая топографическая карта базового масштаба 1:200 000 на всю территорию НСО;
- Цифровые топографические карты масштабов 1 : 10 000 – 1 : 25 000;
- Цифровая топографическая карта масштаба 1 : 2 000 с земельными участками на город Тогучин.

Разработан механизм автоматического связывания объектов недвижимости, таких как здания, сооружения, постройки и т. п., и земельных участков по кадастровым или внутренним идентификационным номерам и привязки объектов недвижимости к соответствующей пространственной основе, апробация которого на реальных данных будет осуществляться в процессе проведения опытной эксплуатации.

Проведенные в конце 2004 года на базе Департамента предварительные испытания опытного образца ГИС НЕДВИЖИМОСТЬ подтвердили работоспособность системы, и руководством Департамента и в 2006 году проводится её опытная эксплуатация.

Целью опытной эксплуатации является проверка работоспособности системы на реальных объемах информации в части создания баз пространственных данных и связывания их с реестром недвижимого имущества Департамента. Эти работы выполняет ФГУП центр «Сибгеоинформ».

Проверка готовности ГИС НЕДВИЖИМОСТЬ к постоянной эксплуатации в части совместного использования пространственной и связанной с ней атрибутивной информации об объектах недвижимого имущества в условиях функционирования системы находится целиком в компетенции Департамента.

Круг задач по управлению недвижимостью на основе пространственной информации и с использованием возможностей ГИС-технологий включает, в частности:

- а) Поиск объектов по заданным параметрам с отображением результатов запроса на карте;
- б) Оперативное получение информации о местоположении объектов недвижимости на электронной карте, геодезических координатах их границ;
- в) Автоматизированный контроль границ земельных участков;
- г) Метрические операции (определение длин, площадей);
- д) Топологические операции:
 - Отношения пересечения (определить, например, какие объекты инженерной инфраструктуры пересекают данный участок), сервитуты;
 - Включения (определить, какие здания, сооружения, строения и т. п. расположены на данном земельном участке или в заданной зоне – функциональной, экономической, экологической и т. п.);
 - Принадлежности (определить, на каком земельном участке расположено строение);

- Примыкания (определить, какие (чьи) земельные участки примыкают к данному земельному участку);

- Удаленности (определить, какие земельные участки находятся, например, от инженерных коммуникаций не более чем на заданном расстоянии).

2. В 2002 г. в центре завершена разработка электронной базы данных автомобильных дорог федерального значения на территорию Российской Федерации (РФ), которая может использоваться при создании всевозможных маршрутных сетей (автодорожных, железнодорожных, водных); цифровых карт и атласов на различные территории.

Выполнены следующие работы:

- Сформирована цифровая топографическая основа дорожной сети масштаба 1 : 1 000 000 в единой геодезической системе координат;

- Включены схемы транзитного проезда по основным городам РФ;

- Создана навигационная модель дорожной сети РФ масштаба 1 : 1 000 000;

- Разработана программа визуализации и средства ведения базы данных;

- Реализована эффективная поисковая система;

- Разработана функция построения оптимального маршрута по дорожной сети между заданными пользователем населенными пунктами;

- Реализована возможность создания маршрутной сети из объектов различных тематических слоев, в частности автомобильные дороги, железные дороги, водные артерии и т. д.

Картографическая визуализация базы данных представлена на двух масштабных уровнях. В качестве обзорного уровня используется карта Российской Федерации масштаба 1 : 7 500 000, а в качестве рабочего уровня используется единая топографическая основа масштаба 1 : 1 000 000, созданная на базе цифровых топографических карт Роскартографии. Кроме того, для ряда крупных городов имеются схемы транзитного проезда по городу масштабов 1 : 25 000, 1 : 10 000, включающие основные магистрали и улицы, соединяющие автомобильные дороги федерального значения.

База данных о дорожной сети зарегистрирована в Государственном регистре баз и банков данных России.

3. В центре разработана геоинформационная система о природных ресурсах и об охране природы – это Электронный экологический атлас Новосибирской области.

Электронный атлас содержит базу данных цифровой картографической основы и 15 информационно-тематических блоков.

Все цифровые тематические карты электронного атласа согласованы между собой и объединены в единый банк пространственных данных, основу которого составляют цифровые общегеографические карты масштабов 1 : 1 000 000, 1 : 500 000, 1 : 200 000 на Новосибирскую область и масштабов от 1 : 100 000 до 1 : 10 000 на отдельные участки области.

Банк данных атласа создан на основе более двухсот различных тематических карт, планов, схем, статистических сборников, отчетов и материалов обследования территории области.

Электронный атлас обеспечивает:

- Ведение и оперативное обновление банка данных;
- Мониторинг источников антропогенного воздействия на окружающую природную среду и мониторинг животного и растительного мира;
- Определение природно-ресурсного потенциала и экологической ситуации заданной территории с использованием пространственного анализа;
- Прогнозирование экологической ситуации;
- Создание производных цифровых тематических карт на основе семантических характеристик объектов;
- Интеграцию с внешними системами.

При создании атласа была разработана геоинформационная технология проектирования, создания и ведения региональных электронных атласов, которая обеспечивает возможность формирования многоцелевых информационно-справочных систем о природных ресурсах, экологической, социальной, медико-демографической ситуации и об охране природы.

4. С использованием современных WEB-технологий разработана *Технология создания геомультимедийных информационно-справочных систем*).

Особенностями технологии создания геомультимедийных информационно-справочных систем на компакт-дисках и созданного на ее основе ГИС-проекта являются:

- Предоставление пользователю большего набора ГИС-функций для работы с геоинформацией по сравнению с существующими отечественными и зарубежными аналогами подобных ГИС-проектов на компакт-дисках (в частности, наличие редактора условных знаков, картографического редактора, позволяющего моделировать пространственные объекты пользователя, поисковые операции);
- Возможность ввода собственных пространственных и связанных с ними текстовых или иллюстративных данных;
- Выбор имеющейся в системе информации об объекте и получение картографического изображения объектов, имеющих пространственную привязку;
- Получение семантической информации к выбранному объекту на карте;
- Получение необходимой информации и картографического изображения объекта по ссылкам из текстовой информации;
- Поиск необходимого объекта по заданным семантическим параметрам;
- Определение географических координат, геометрических характеристик и расстояний между объектами;
- Создание и редактирование новых пространственных объектов с необходимой семантической информацией.

На основе разработанной специалистами центра технологии создания геомультимедийных информационно-справочных систем выпущены компакт-диски: «Сибирь - неизвестный континент», «Республика Алтай», «Новосибирск - город - улица - дом».

Геомультимедийные информационно-справочные системы могут использоваться при создании представительских, информационно-познавательных и пр. дисков.

В состав компакт-диска можно включить обширную и разностороннюю текстовую, табличную, картографическую, фото и видеоинформацию. Например, в состав компакт-диска «Республика Алтай» входит информация следующего содержания:

- История;
- Общие сведения;
- Природа;
- Административно-территориальное деление;
- Экономика;
- Культура и искусство;
- Достопримечательности и пр.

На компакт-диске «Сибирь – неизвестный континент» размещена разнообразная информация о Сибири и всех входящих субъектах Федерации.

На компакт-диске «Новосибирск – город – улица – дом» можно выбрать информацию о любом здании, предприятии, организации, магазине и пр.

Накопленный опыт в разработке отдельных ГИС-проектов позволяет сделать вывод о возможности комплексной реализации геоинформационных систем любого уровня, включая МГИС, с использованием апробированных ГИС технологий. При этом, МГИС рассматривается как интегрированная геоинформационная система, включающая банк разнородной пространственной топографической и тематической информации по различным предметным областям и программно-технологические средства решения прикладных задач для различных категорий пользователей.

Начальным этапом разработки ГИС различного уровня является организационный этап, в ходе которого определяются цели, задачи, укрупненные этапы разработки (по исполнителям, срокам, источникам финансирования), назначается круг лиц, контролирующих реализацию стратегических направлений ГИС и т. д.

В состав организационных мероприятий, на наш взгляд, необходимо включить разработку и ввод в действие нормативно-правовых документов, касающихся:

а) Состава сторон, участвующих в создании и использовании ГИС, их прав, обязанностей, разделения полномочий и функций, условий взаимодействия;

б) Организации информационного обмена между различными ведомствами - владельцами определенной части данных об объектах

управления, на основе разработанных и утвержденных протоколов обмена данными, где оговаривается порядок обмена, состав передаваемых данных, структура, форматы передачи данных;

в) Использования всеми участвующими субъектами *единых классификаторов*, справочников, адресных реестров;

г) Единых правил присвоения и учета идентификационных (кадастровых) номеров или иных определяющих ключевых атрибутов объектов управления, если информация о них готовится разными структурами;

д) Разграничения информации по уровням доступа, порядка и правил работы с конфиденциальной информацией.

Следует также обратить внимание на проблемы геоинформационного обеспечения ГИС.

Должна быть обеспечена возможность создания единой пространственной основы на управляемую территорию в единой системе координат для всей территории на основе цифровой топографической информации соответствующего масштаба (это задача структур Роскартографии), находящихся на подведомственной территории).

Что же касается цифровой топографической информации крупных масштабов (1 : 500 – 1 : 5 000) на муниципальные образования СФ, которая создается, как правило, организациями, не подведомственными Роскартографии, а тем более цифровой тематической информации, которая готовится специализированными организациями, по одним, только им известным правилам и технологиям, зачастую в местных и условных системах координат, то возникают проблемы, связанные:

а) С конвертацией этой информации в выбранную ГИС-оболочку;

б) С восстановлением корректной геометрической модели местности,

в) С приведением введенной информации к единой системе координат базового проекта с тем, чтобы можно было обеспечить совместное использование топографической и разноаспектной тематической пространственной информации;

г) С формированием семантики к пространственным объектам в виде связанных с объектами записей в таблицах баз данных, которое в большинстве случаев требует ручного ввода, так как информация об объекте зачастую представлена только в виде надписи на электронной карте, и др.

Таким образом, чтобы исключить или свести к минимуму обозначенные выше проблемы, в структуре Роскартографии должна быть разработана соответствующая нормативно-правовая база на уровне государственных стандартов с целью обеспечения тех, кто собирается создавать ЦТК и ЦТП для ГИС, едиными унифицированными правилами и требованиями.

Но поскольку в настоящий момент такие требования отсутствуют, при разработке ГИС для органов власти СФ следует четко согласовать между всеми участвующими сторонами выходной формат пространственных данных, используемых в ГИС, его структуру, необходимость обязательного включения

паспортных данных (система координат, проекция и т. п.), семантики к пространственным объектам, разработать конвертор(ы) для ввода информации в ГИС.

Очень актуально стоит вопрос обновления геоинформации.

Речь идет не только о традиционных методах обновления карт и планов, соответственно ЦТК и ЦТП, в определенные интервалы времени, но и о постоянном дежурстве всех изменений на местности с целью получения актуальной информации, необходимой для управления и принятия решений. Вопрос актуализации топографической информации непосредственно связан с вопросом выбора средств и методов доведения актуальной информации до всех потребителей ЦТК, ЦТП на территории СФ.

Выбор оптимального решения вышеуказанных проблем и учет опыта создания различных ГИС будет способствовать более эффективному использованию ГИС для органов государственной власти федерального, регионального уровня и муниципального уровня.

© В.И. Ляльков, С.П. Нефедов, 2006

УДК 528.4

С.В. Колосков

ФГУП центр «Сибгеоинформ», Новосибирск

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ ЦТП И ЦТК. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Одним из основных научно-технических направлений ФГУП центр «Сибгеоинформ» (Роскартографии) является разработка и совершенствование технологии автоматизированной генерализации при создании ЦТП, ЦТК производных масштабов (далее Технология Генерализации).

К настоящему времени завершены ОКР по созданию ЦТП, ЦТК масштабов 1 : 2 000, 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000 по ЦТК и ЦТП базовых (более крупных) масштабов.

Технология Генерализации представляет собой совокупность производственных процессов, математических методов, вычислительных программ, технических средств, организационных положений. Критериями эффективности использования Технологии Генерализации являются:

- Уменьшение стоимости автоматизированного создания производных масштабов ЦТП, ЦТК по сравнению с традиционными методами картосоставления при создании ЦТП, ЦТК;
- Повышение производительности труда, сокращение сроков создания номенклатурного листа ЦТП, ЦТК производного масштаба.

Одной из основных проблем при разработке технологии автоматизированной генерализации являлась проблема формализации процесса картографической генерализации в целом (получение модели производного масштаба). Т. е. не автоматизация отдельных действий картографа-составителя, а насколько это возможно, исключение из процесса генерализации действий картографа, которые, как правило, носят субъективный характер.

Для этого была разработана **модель автоматизированной генерализации** цифровых топографических карт, которая инкапсулировала в себе ЦТП, ЦТК и методы автоматической генерализации.

Одной из проблемой автоматизированной генерализации является проблема **формализации структуры данных** исходных ЦТП, ЦТК, поскольку структура ЦТП, ЦТК, как правило, не содержит информации, необходимой для автоматической генерализации, а представлена в виде последовательного и, как правило, не структурированного списка объектов.

Для формализации структуры исходных ЦТП, ЦТК используется подсистема **распознавания структуры данных**. Функцией этой подсистемы является идентификация объектов ЦТК или их совокупностей, их пространственные отношения (определение топологических отношений) и определение степени важности (приоритетов). На процесс распознавания структуры воздействуют управляющие параметры – масштаб производной карты, особенности территории и т. д.

В основе информационного обеспечения технологии автоматизированной генерализации лежат действующие отраслевые нормативные документы (руководства, наставления, условные знаки), классификаторы топографической и картографической информации, правила цифрового описания объектов и таблицы цензов по отбору топографических объектов масштабов 1 : 500 – 1 : 200 000.

В ФГУП центр «Сибгеоинформ», по заказу Роскартографии разработаны «Таблицы цензов по отбору объектов при составлении карт масштабов в автоматизированной генерализации» на картах и планах масштабов от 1 : 500 до 1 : 200 000 (далее – Таблицы цензов). Таблицы цензов включены в состав документации Технологии Генерализации по каждому масштабу и содержат конкретные числовые цензы показа на каждый топографический объект карты или плана.

На основе Таблиц цензов разработан интерфейс для настройки (изменения) формализованных правил и цензов, в зависимости от редакционных указаний и характера местности составляющей ЦТК.

Исходными данными для производных цифровых топографических планов и карт, являются ЦТП, ЦТК базового масштаба в формате следующих систем сбора:

- ТопоWin – (PTS, TWS, TXT), масштабы 1 : 500 – 1 : 100 000;
- АРМ Растр2 – (INF), масштабы 1 : 10 000 – 1 : 100 000;
- ПО Digitals ЦФС – (DMF), масштабы 1 : 2 000 – 1 : 50 000;
- ГИС «Панорама» – (SXF, TXF), масштабы 1 : 10 000 – 1 : 100 000;

- ГИС «Нева» – (SXF, TXF), масштабы 1 : 25 000 – 1 : 50 000.

Кроме того, в ближайшее время предполагается завершить работы по разработке программного обеспечения обеспечивающего импорт в технологию Генерализации ЦТП, ЦТК масштабов 1 : 10 000, 1 : 100 000 из ГИС «Нева».

Следует иметь в виду, что при импорте данных из ГИС «Нева» в форматах SXF, TXF (форматы обмена информации ГИС «Панорама») используются семантические коды объектов непосредственно ГИС «Нева», а не ГИС «Панорама». Это позволяет максимально учесть особенности описания объектов ЦТП, ЦТК ГИС «Нева» в той части, где они имеют различия в описании объектов с ГИС «Панорама».

На сегодняшний день результаты работы Технологии Генерализации (ЦТП, ЦТК производных масштабов) могут быть получены в форматах следующих систем:

- ТороWin – (TWS, TXT), масштабы 1 : 2 000 – 1 : 200 000;
- АРМ Растр2 – (INF), масштабы 1 : 10 000 – 1 : 200 000;
- ПО Digitals ЦФС – (DMF), масштабы 1 : 2 000 – 1 : 100 000;

Кроме того, в ближайшее время предполагается завершить работы над программным обеспечением, обеспечивающим экспорт ЦТП, ЦТК масштабов 1 : 10 000 – 1 : 200 000 непосредственно из Технологии Генерализации в форматах SXF, TXF в ГИС «Панорама» и ГИС «Нева».

Технология Генерализации включает следующие основные этапы:

1. Подготовительные работы, входной контроль и исправление исходных данных.
2. Автоматическая генерализация.
3. Контроль и редактирование результатов автоматической генерализации.
4. Выдача результатов автоматической генерализации.

Подготовительный этап предусматривает:

- Подготовку редакционно-технических указаний;
- Конвертирование исходной цифровой топографической информации в оперативную базу данных программы автоматизированной генерализации, её контроль и редактирование;
- Сводку и сшивку исходных ЦТП, ЦТК.

Возникает естественный вопрос – какова цель дополнительного входного контроля и при необходимости редактирования исходных данных, если ЦТП, ЦТК исходного (базового) масштаба уже принималась ОТК предприятия?

Дело в том, что существуют разные требования к качеству (содержанию) ЦТП, ЦТК для решения разных задач. Как правило, системы контроля качества (СКК) существующих систем сбора ориентированы на контроль корректного отображение ЦТП, ЦТК в условных знаках согласно нормативно технической документации (НТД), а топологию объектов ЦТП, ЦТК рассматривают только в

контексте, насколько это не вредит правильному отображению объектов ЦММ в условных знаках.

Поэтому в Технологии Генерализации предусмотрен режим «Верификации» данных исходных ЦТП, ЦТК. Результат работы подпрограммы «Верификации» заключается не только в диагностики ошибок сбора исходных ЦТП, ЦТК с точки зрения Технологии Генерализации, но и насколько это возможно автоматическое их исправление.

Следует отметить, что степень «некорректности» исходных ЦТП, ЦТК с точки зрения Технологии Генерализации разная:

1. При использовании ЦТП, ЦТК созданными системой АРМ Растр2 в последней версии ни каких проблем с точки зрения Технологии Генерализации не возникало.

2. При использовании ЦТП, ЦТК созданными в ГИС «Панорама» и ГИС «Нева» в некоторых случаях возникали проблемы рассогласования метрики смежных объектов.

3. Хуже всего, с точки зрения Технологии Генерализации ситуация обстоит с данными собираемыми средствами ПО Digital ЦФС. Как следствие этого в Технологии Генерализации предусмотрена при приёме данных из ЦФС принудительная верификация ЦТП, ЦТК.

Основные ошибки исходных ЦТП, ЦТК, которые могут пагубно повлиять на процесс автоматической Генерализации, и которые подпрограмма «верификации» не только диагностирует, но и при возможности исправляет следующие:

1. Дублирование точек протяжённых объектов (линейных и площадных). Поскольку это очень серьёзно может повлиять на процесс автоматической Генерализации подпрограмма «верификации» устраняет эти проблемы автоматически.

2. Самопересечение и не замкнутость площадных объектов. В некоторых случаях подпрограмме «верификации» удаётся исправить ЦТП, ЦТК, но чаще всего происходит только диагностика некорректности, которую необходимо устранять при интерактивном редактировании.

3. Нарушение топологии сложных площадных объектов (все ниже перечисленные ошибки подпрограммой «верификации» исправляются автоматически):

- Направление для всех внутренних контуров сложного площадного объекта должно быть одинаково;

- Внешний контур сложного площадного объекта должен быть первым при описании метрики объекта;

- Примыкание внутреннего контура сложного площадного объекта «дырки» к внешнему контуру объекта.

Стадии автоматической генерализации:

- Ввод и установка начальных параметров программы автоматической генерализации для производных ЦТП, ЦТК (масштаб, высота сечения рельефа, характер местности – залесённость, обеспеченность водой, и т. д.);
- Процесс автоматической генерализации.

Этап контроля и редактирования результатов автоматической генерализации предусматривает:

- Контроль результатов автоматической генерализации: выполняется визуально по графической копии ЦТП, ЦТК производного масштаба;
- Редактирование цифровых данных после процесса автоматической генерализации в интерактивном режиме средствами графического редактора программы.

Выдача результатов автоматической генерализации:

- Формирование файла ЦТП, ЦТК производного масштаба на номенклатурный лист в заданном формате;
- Формирование ЦТП, ЦТК для выдачи бумажной копии, соответствующей по содержанию составительскому оригиналу;
- Формирование рамочного и зарамочного оформления НЛ.

В 2005 году была проведена опытная эксплуатация технологии автоматизированной генерализации (получения) ЦТК масштаба 1 : 50 000 по ЦТК масштаба 1 : 25 000. Опытная эксплуатация технологии проводилась на следующих предприятиях:

- ФГУП ПО «Инжгеодезия», г. Новосибирск.
- ФГУП Восточно-Сибирское АГП, г. Иркутск.
- ФГУП Красноярское АГП, г. Красноярск.
- ФГУП Новгородское АГП, г. Новгород.
- ФГУП Центр «Сибгеоинформ», г. Новосибирск.

© С.В. Колосков, 2006

УДК 528.915+528.425

Н.Ф. Василькова

ФГУП центр «Сибгеоинформ», Новосибирск

АНАЛИЗ РАБОТ ПО КАРТОСОСТАВЛЕНИЮ И ОБНОВЛЕНИЮ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ И ИХ СООТВЕТСТВИЕ НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ

Цифровая топографическая карта (ЦТП) в отличие от цифровой модели местности (ЦММ) предполагает графическое отображение топографических

объектов и подписей для обеспечения наглядности карты согласно существующим условным знакам и дальнейшему графическому выводу.

Перечислим лишь некоторые трудности при построении алгоритмов для отображения геометрии объектов карты.

Наиболее трудоёмким является отображение площадей скал. Для их отображения необходимо рисунок скалы разбить на несколько составных частей:

- Площади теневых склонов скал и скалистых обрывов;
- Площади осветлённых склонов скал и скалистых обрывов;
- Хребты скал и скалистых обрывов;
- Вертикальные штрихи скалистого обрыва;
- Горизонтальные штрихи скалистого обрыва;

и затем с помощью алгоритмов связать между собой в единый комплекс, построить и вывести условный знак рисунка скалы.

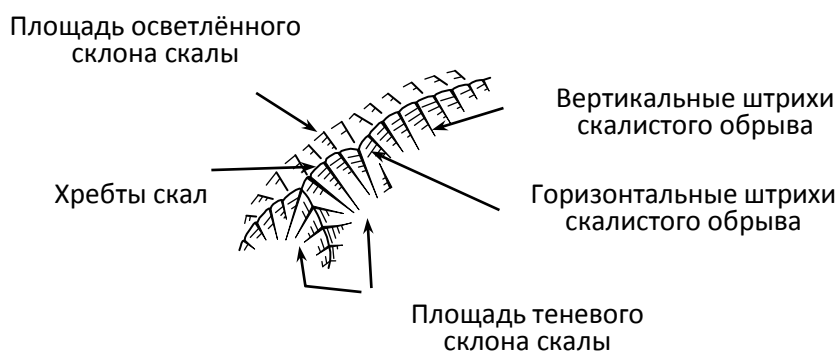


Рис. 1

То же самое предстоит и с условными знаками осыпей: так же нужно разбить условное изображение осыпи на составные части. Приведём пример отображения осыпи твёрдых пород, которую необходимо разделить на:

- Осыпь твёрдых пород (площадь всего объекта);
- Граница осыпи твёрдых пород;
- Вертикальные штрихи осыпи твёрдых пород;
- Отдельный камень осыпи;

и далее с помощью алгоритмов связать в единый комплекс, построить и вывести данный рисунок.

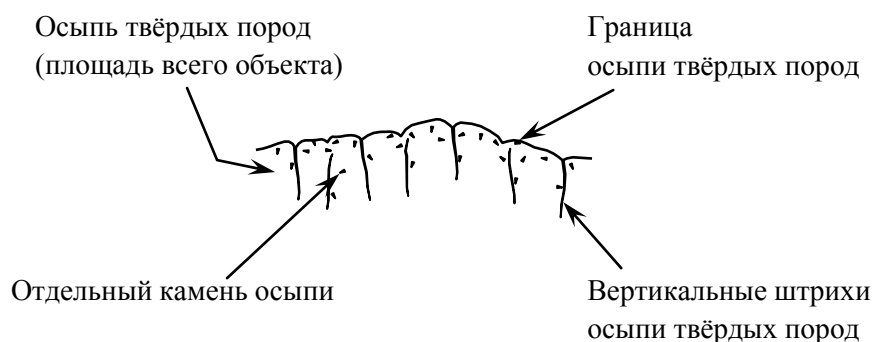


Рис. 2

Таких сложных условных площадных изображений объектов немало, которые в зависимости от формы, расположения, рисунка — имеют индивидуальную неповторяющуюся больше никогда форму. Для того, чтобы запустить такой алгоритм необходима трудоёмкая ручная подготовительная работа оператора по отработке разделения этих объектов на составные части. И если представить горную территорию Алтая, состоящую из сплошных скал, то трудно даже подсчитать затраты времени на подготовку такого номенклатурного листа.

К трудоёмким объектам можно отнести:

- Ледяные обрывы и скалистые берега;
- Ледники и фирновые поля с множеством трещин и морен на их поверхности;
- Комплексы оврагов и промоин;
- Районы распространения карста с выраженными и невыраженными в масштабе карты карстовыми и термокарстовыми воронками;
- Оползни;
- Лавовые потоки;
- Курганы и бугры (площадные);
- Площади береговых отмелей и мелей;
- Площади опасных берегов;
- Площади осыхающих берегов (приливно-отливные полосы) всех типов (илистые, песчаные, песчано-каменистые, галичничково-гравийные);
- Рифы (осыхающие и подводные) замкнутой формы или линейной;
- Пороги;
- Комплексы шлюзов с воротами;
- Комплексы отстойников;
- Комплексы терриконов и отвалов;
- Комплексы карьеров и угольных разрезов;
- Комплексы промышленных территорий;
- Комплексы ГЭС, ГРЭС и ТЭЦ;
- Территории аэродромов с взлетно-посадочными полосами;

- Культовые строения с отрисовкой куполов различной символики в зависимости от вероисповедания;
- Государственные границы с пограничными знаками и копцами.

Данные объекты невозможно включить в автоматическую обработку, при картсоставлении, так как они составляют сложные комплексы, требующие совместной интерактивной и далее автоматической (или полуавтоматической) обработки на конкретный объект или часть объекта.

В связи с возникновением новых видов продукции – ЦТК и ЦТП необходимы пересмотр таблиц существующих условных знаков и замены их на более упрощённые изображения.

Так же при разработке алгоритмов генерализации необходимо учитывать традиционные отображения многих линейных объектов, «перекочевавших» с бумажных карт в цифровые, изображающихся линией определённой ширины. Так в масштабе 1 : 50 000 ширина линий автомобильных дорог увеличена до 1мм, что в масштабе карты составляет 50 метров; ширина автомагистралей увеличена до 1,4 мм, что соответствует 70 метрам на местности. Железные дороги изображаются толщиной 0,5 мм, что на местности соответствует 25 метрам. Чаще всего эти дороги идут по насыпям или выемкам, для условного отображения применена линия с «зубчиками», ширина которых на карте составляет 0,5мм, что соответствует 25 метрам. Как правило, эти дороги (железная и автомобильная) располагаются рядом, и железная дорога в большинстве случаев проходит по насыпи или выемке, как на данном фрагменте карты исходного масштаба 1 : 25 000 (рис. 3.).

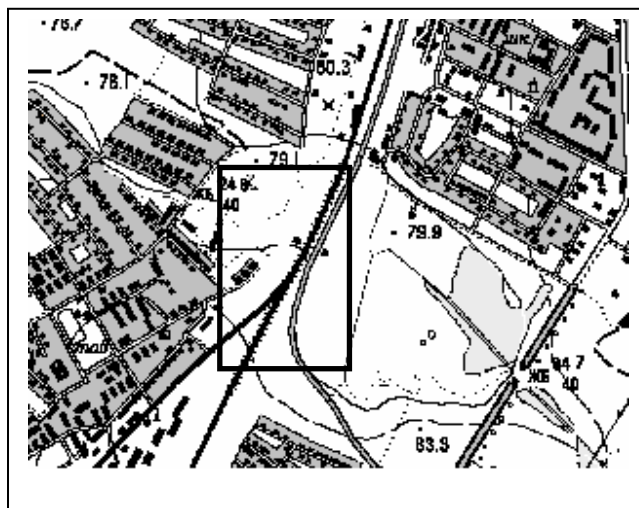


Рис. 3. Фрагмент ЦТК исходного масштаба 1 : 25 000

Ниже приведён фрагмент цифровой модели карты масштаба 1 : 50 000, полученной после автоматической генерализации. Он включает помимо железной и автомобильной дорог и дискретные строения, расположенные по

обе стороны от них. Расстояние между данными строениями на цифровой модели составляет 1,65 мм на карте или 82,5 м на местности (рис. 4.).

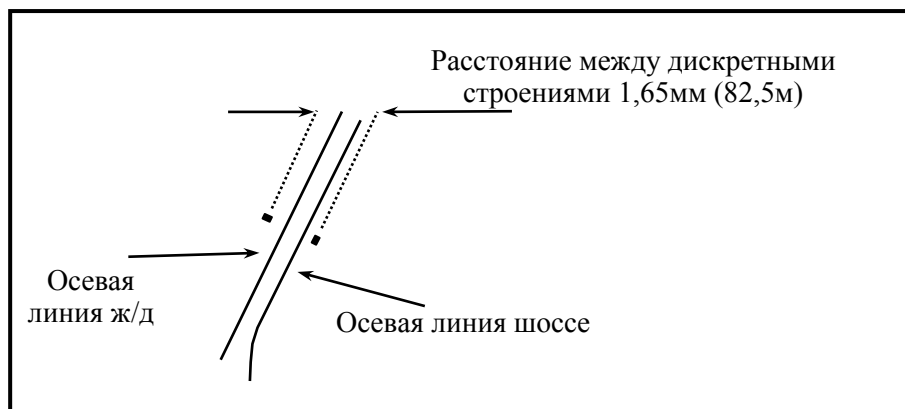


Рис. 4. Фрагмент цифровой модели масштаба
1 : 50 000

Проанализируем сдвиг этих строений относительно друг друга после отображения данного участка карты в существующих условных знаках (рис. 5).

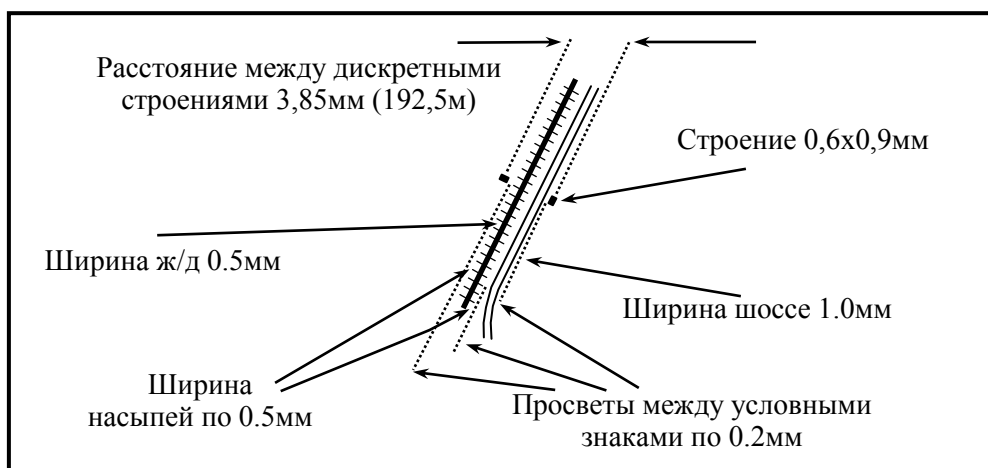


Рис. 5. Фрагмент ЦТК производного масштаба
1 : 50 000

Расстояние между строениями в общей сумме составило 3,85 мм (192,5 м) вместо 1,65 мм (82,5 м), т. е. он увеличился на 2,2 мм (110 м) (см. таблицу расчётов).

Согласно Руководству по картографическим и картоиздательским работам Часть I (стр. 5): «Средние ошибки в плановом положении на картах изображений предметов и контуров относительно ближайших обозначений опорных пунктов и линий прямоугольной (километровой) сетки не должны превышать 0,5 мм». То есть допустимый сдвиг составляет 25 м для данного масштаба, в который картографы по объективным причинам в данной ситуации не укладываются.

Таблица расчётов

Название условного знака (УЗ)	Размеры УЗ	Общая сумма УЗ
Железная дорога	0,5 мм (25 м)	0,5 мм (25 м)
Насыпь	0,5 мм (25 м)	1 мм (50 м)
Шоссе	1 мм (50 м)	1 мм (50 м)
Дискретные строения (одно расположено вдоль дороги по длине, другое – по ширине)	0,3 мм + 0,45 мм (до центра УЗ) 0,6 x 0,9 мм – размер УЗ	0,75 мм (37,5 м)
Просвет между УЗ	0,2 м (10 м)	0,6мм (30 м)
Расстояние между строениями		3,85 мм (192,5 м)

Искусственно расширенные линейные объекты автомобильных дорог с заливкой (и без заливки) могут быть заменены тонкими линиями определённого цвета, от чего читаемость карты не пострадает, а точность и достоверность выиграет.

Так же не выдерживается точность карты при отображении объектов гидрографии: рек и каналов, не выраженных в масштабе карты по ширине и изображающихся в две линии. То есть при определённой ширине линейные реки (каналы) искусственно расширяются и показываются с заливкой. Ширина условного знака составляет 0,5 мм на карте (25 м для 1 : 50 000). Это условное расширение рек никакой информации, кроме как для картографов, знающих эти цензы, никому ничего не даёт; для пользователя значимы только характеристики рек, расставленные через определённые интервалы, согласно нормативным документам.

В случае, когда рядом с данными объектами гидрографии будут располагаться валы, дамбы, дороги или строения, а чаще всего на обжитых территориях присутствует полный комплекс этих объектов, то не трудно подсчитать их суммарный сдвиг и точность карты.

Необходимо пересмотреть и исключить это необоснованное расширение линейных рек и каналов.

Тот же принцип применён и к линейным просекам, только со своими интервалами ширины, которые тоже различаются от масштаба карты. Не каждый картограф помнит все эти цензы, а для пользователя выноска условных знаков на стандартных топографических картах вообще не предусмотрена.

Более всего карта загружена на застроенных территориях городов и прочих населённых пунктов. Вряд ли кто подсчитывал суммарный вынужденный сдвиг объектов для отображения их условных форм.

При выполнении автоматической или интерактивной генерализации возникает необходимость доработки шрифтов (меняется кегель) при переходе с одного масштаба на другой, размерами которых указывается:

- Градация населённых пунктов по числу жителей;
- Важность объекта;

- Судосходность рек и т. п.

Шрифт показывает:

- Тип поселения (город, посёлок городского типа, посёлок сельского типа, посёлок при промышленном предприятии, железнодорожной станции, пристани и т. п.)
- Политико-административное значение населённых пунктов (столицы, центры районов, краёв, областей, республик);
- Основное или второе название объекта.

Эти вариации с кеглями шрифтов были необходимы для тиражного оттиска, теперь же при появлении цифровой продукции данные требования не актуальны, так как все характеристики могут быть введены в семантическое описание объекта. Так же неактуальна и градация по числу жителей, если рядом с названием населённого пункта даётся число жителей. Необходимо также пересмотреть значимость шрифтов и их количество вообще и особенно смену кеглей при переходе от одного масштаба к другому, что усложняет работу при автоматической и интерактивной генерализации карт.

Также существующие ограничения по семантике на тиражных оттисках из-за невозможности отобразить их на графической карте, не должны быть обязательными на ЦТК при переходе от крупного масштаба к более мелкому (теряется часть характеристик). Так, например, на цифровой карте могут сохраняться ценные характеристики, особенно необходимые для пользователя: адрес здания, его характеристики по огнестойкости, наличия жилья, административная принадлежность и т. п.

Так из-за исключения характеристики наличия жилья (жилой или нежилой) в масштабе 1 : 10 000 и мельче при отборе строений невозможно учесть это преимущество, и может быть удалено строение жилое, а рядом расположенное нежилое может остаться, так как они все уже точечные и по размерам не отличаются.

Более всего карта загружена на застроенных территориях городов и прочих населённых пунктов. Здесь требуется более детально рассмотреть каждый условный знак и право его на площадное изображение. Тут необходимы эксперименты с множеством сочетаний различных ситуаций.

Ранее составленные карты 1 : 25 000 – 1 : 200 000 масштаба традиционным ручным способом включили ошибки монтажа синек, уменьшенных до производного масштаба и наклеенных на жёсткую основу; точность монтажа составляла 0,2 мм на чётких контурах до 0,7 мм на контурах растительности и грунтов.

Разбивка рамок листов карт также производилась ручным способом с допустимой ошибкой 0,2 мм по сторонам и 0,3 мм по диагонали. Пункты ГГС в этом случае наносились по координатам, которые сдвигались в плане от фактического положения, все же остальные объекты карты оставались на своих местах.

Накопление ошибок в плановом положении составило недопустимые пределы, что выявилось при проведении работ по обновлению (невозможно произвести плановую привязку жёстких контуров с нужной точностью). Обновление можно проводить лишь на материалах полученных по современным компьютерным технологиям, неподверженным ещё каким-либо картографическим изменениям, где исключены ошибки монтажа и разбивки углов рамок трапеций и координатных сеток, которые производятся сейчас в автоматическом режиме, и где при работе необходимо исключить сдвиг объектов, перечисленных выше, требующих для отображения их условного отображения.

Это лишь часть проблем затронутых в данном докладе.

В результате вышеперечисленного и анализа вынужденных сдвигов объектов при получении их геометрии по требованиям нормативных документов можно сделать вывод, что на цифровой топографической карте теряется точность и достоверность и возникает ряд дополнительных работ и затрат времени по доработке отображения объектов.

В связи с возникновением новых видов продукции (ЦТК, ЦТП, ЦММ и т. п.), необходим пересмотр требований к картам и условным отображениям объектов. Для чего предлагается в рамках Роскартографии провести НИИР, а затем ОКР с целью анализа всех существующих требований и их изменению по отношению к цифровой продукции и пересмотреть таблицы существующих условных знаков.

Проект «Единых согласованных условных знаков для топографических планов и карт масштабов 1 : 500 – 1 : 1 000 000», разрабатываемый ЦНИИГАиК, полностью повторяет все условные знаки тиражного оттиска, для цифровой продукции он не решает данных проблем.

Также хочется отметить факт, касающийся понятия цифровой модели местности и цифровой топографической карты; того, как они получаются на сегодняшний день.

Полученные цифровые модели местности с ДПХ оригиналов карт путём цифрования с них не являются таковыми, так как в процессе создания оригиналов производилась генерализация и картосоставление как во время дашефрирования исходного масштаба, так и во время составления последующих производных масштабов со всеми сдвигами, перечисленными выше, для отображения требуемого условного знака и существующих требований. Данный вид продукта можно назвать только цифровой моделью издательского оригинала карты (по ГОСТ).

Цифровую модель местности можно получить только с новых аэро- или космо-снимков, неподверженных ещё каким-либо картографическим изменениям согласно существующим требованиям к топографическим объектам.

© Н.Ф. Василькова, 2006

ОПЫТ ОБНОВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ МАСШТАБА 1 : 100 000 ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

В настоящее время по заявке ООО «Лукойл – Западная Сибирь» в ФГУП «Уралгеоинформ» выполнено обновление топокарт масштаба 1 : 100 000 на территории Ямало-Ненецкого автономного округа в объеме 11 номенклатурных листов. Год состояния местности обновляемых карт 1988.

При обновлении использовались панхроматические космические снимки Spot4 с разрешением 10 м. Заказ съемки выполнен в июле 2005 года, снимки получены в начале сентября.

Обновление выполнялось по стандартной технологии по ортофотопланам. Построение ортофотопланов выполнялось в программном комплексе РСІ Geomatica. В качестве опорных точек использовались четкие контура, определенные по топокартам масштаба 1 : 25 000. Дальнейшее обновление проводилось в программе Panorama Editor 7.50.

Опыт работ показал, что практически все обновляемые объекты с необходимой точностью читаются по данным снимкам. Неуверенно распознаются следующие элементы: количество трубопроводов, назначение и их развязка, линии электропередач и связи, взлетно-посадочные площадки. Для отображения подобных объектов и определения семантических данных использовались ведомственные материалы: координированные схемы взлетно-посадочных площадок, магистральных нефтегазопроводов и т. д.

Результаты обновления представлены на рис. 1, 2

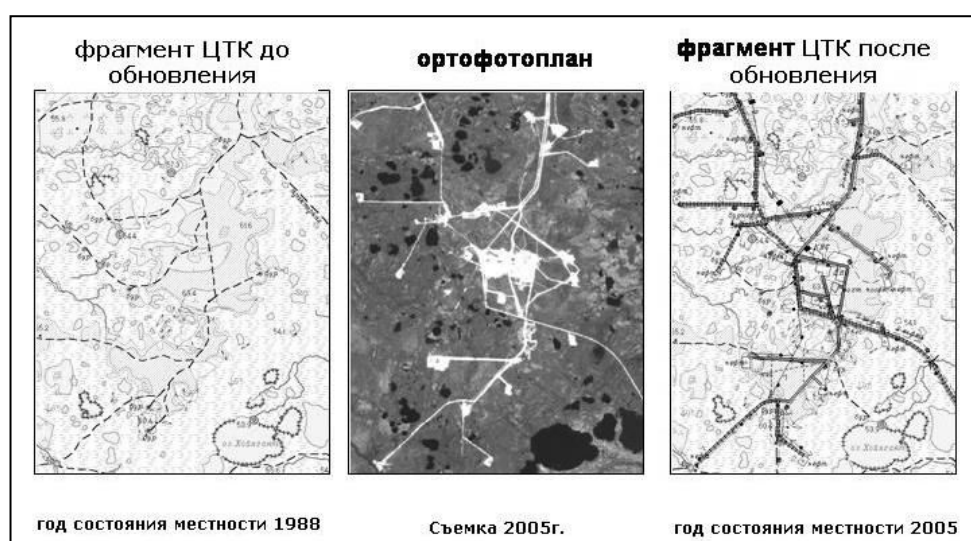


Рис. 1. Обновление ЦТК м-ба 1 : 100 000 по ортофотоплану SPOT 4

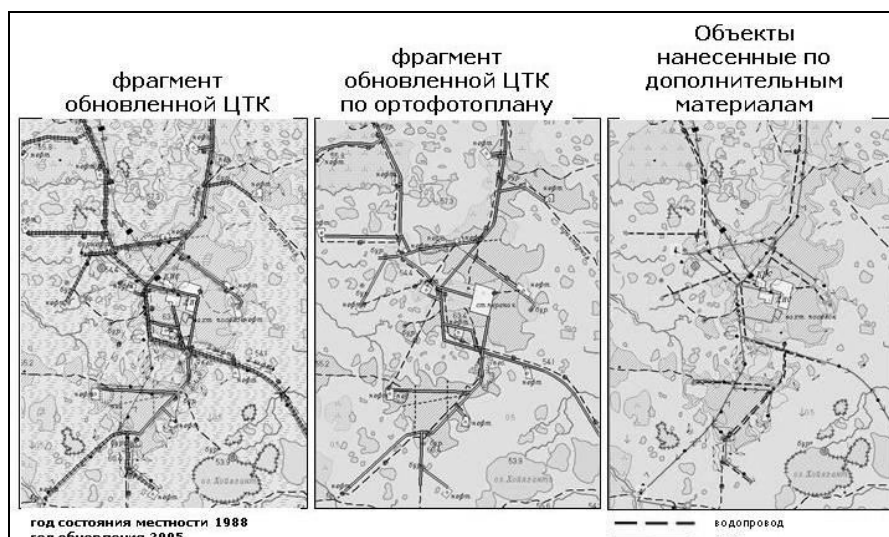


Рис. 2. Фрагменты ЦТК, обновленные по разным материалам

Экспериментальная работа по сравнительному анализу космических снимков SPOT4 и Landsat7, выполненная в «Уралгеоинформ» (см. табл.1), показала, что для обновления топокарт масштаба 1 : 100 000 можно использовать также космические снимки Landsat7 с разрешением 15 м. Однако с мая 2003 года нет качественной съемки Landsat7 из-за неполадок в съемочной системе, поэтому применение данных снимков ограничено (рис. 3, 4).

Таблица 1. Таблица сравнительного анализа читаемости объектов космическим снимкам Landat 7 с разрешением 15 метров и Spot 4 с разрешением 10 метров

№	Объекты	Распознавание объектов	
		Landsat7	Spot4
Населенные пункты			
1.	Граница населенного пункта	При подстройке фотоизображения читается хорошо	Хорошо читается
2.	Квартальная застройка	Отработать невозможно, т.к. вся площадь нп читается неровным серым тоном, квартальная застройка не прослеживается	Хорошо читаются кварталы при высотной застройке территории, хуже дешифрируется частная застройка
3.	Отдельные строения	Не читаются	Читаются наиболее крупные
4.	Район жилого строительства	Не читается	Возможно распознавание по редко расположенным строениям в новых кварталах, расположенных в плотную к старым
Дорожная сеть			
5.	Шоссе	Хорошо читаются, класс дороги определяется по косвенным признакам: прямолинейным участкам и характерный радиус	Хорошо читаются все шоссейные дороги

		поворота дорог	
6.	Улучшенная грунтовая	Читаются хорошо	Читаются хорошо
7.	Полевые и лесные дороги, зимники	При определённой подстройке фототона читаются полевые, полевые и лесные дороги. Зимники читаются не всегда	Полевые, лесные дороги хорошо дешифрируются по космическим снимкам. Зимники – не всегда прослеживается след по болоту
Растительность			
8.	Леса	Читаются контуры леса только на сухих местах	Читаются контуры леса только на сухих местах
9.	Садовые участки	Читается граница участка, определить вид растительности сложно.	Хорошо читается граница участков, садовые дорожки
Промышленные объекты			
10.	Промышленные объекты (на нефте-, газопромыслах: ДНС, КС, ЦТП и др.)	При определенной подстройке фотоизображения читается граница пром. объекта	Хорошо читается граница пром. объекта, крупные строения и цистерны (баки)
11.	Цистерны (баки)	Не читаются	Цистерны (баки) большого диаметра хорошо читаются на пром. объектах
12.	Добывающие скважины	Читается граница добывающего куста, при определённой подстройке фото тона можно определить характер добываемого продукта (нефть, газ)	Читаются хорошо, чётко видны границы участка, можно определить продукт добычи (нефть, газ)
13.	Трубопроводы	Читаются при определённой подстройке фото тона	Читаются хорошо, при хорошем качестве космического снимка можно определить количество трубопроводов
14.	Карьеры	Читается граница карьера	Хорошо читается граница карьера, внутри карьера хорошо читаются изрытые участки
15.	Взлетно-посадочная площадка	Читается граница при определённой подстройке фото тона	Хорошо читается граница площадки
Элементы гидрографии и гидротехнические сооружения			
16.	Озера, водохранилища, реки (выраженные в масштабе карты)	Хорошо дешифрируются все озера, водохранилища, реки (выраженные в масштабе карты)	Хорошо дешифрируются все озера, водохранилища, реки (выраженные в масштабе карты)
17.	Мосты, выраженные в масштабе карты	При достаточно большой длине, читаются слабо заметными серыми линиями на темном фоне воды; при незначительной длине мосты не читаются.	Хорошо читаются светлыми линиями на темном фоне воды

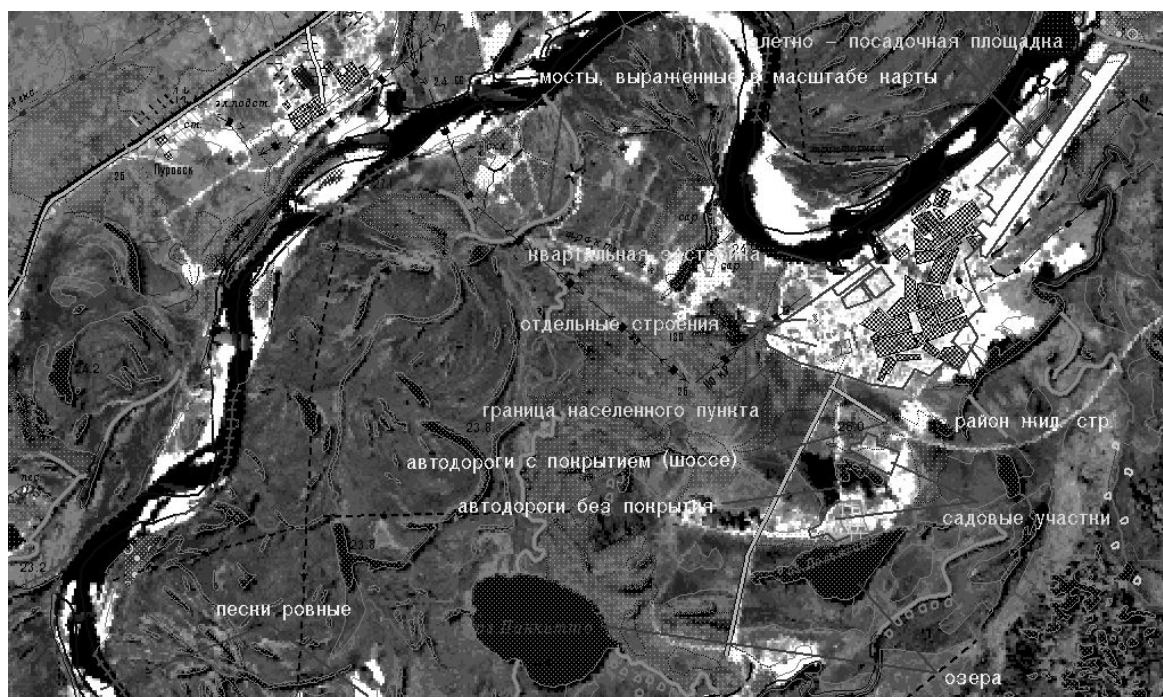


Рис. 3. Элементы дешифрирования населенного пункта по снимку Landsat 7 при обновлении ЦТК м-ба 1 : 100 000

В табл. 2 приведены сравнительные характеристики космических систем, использование которых возможно при обновлении топографических карт масштаба 1 : 100 000.

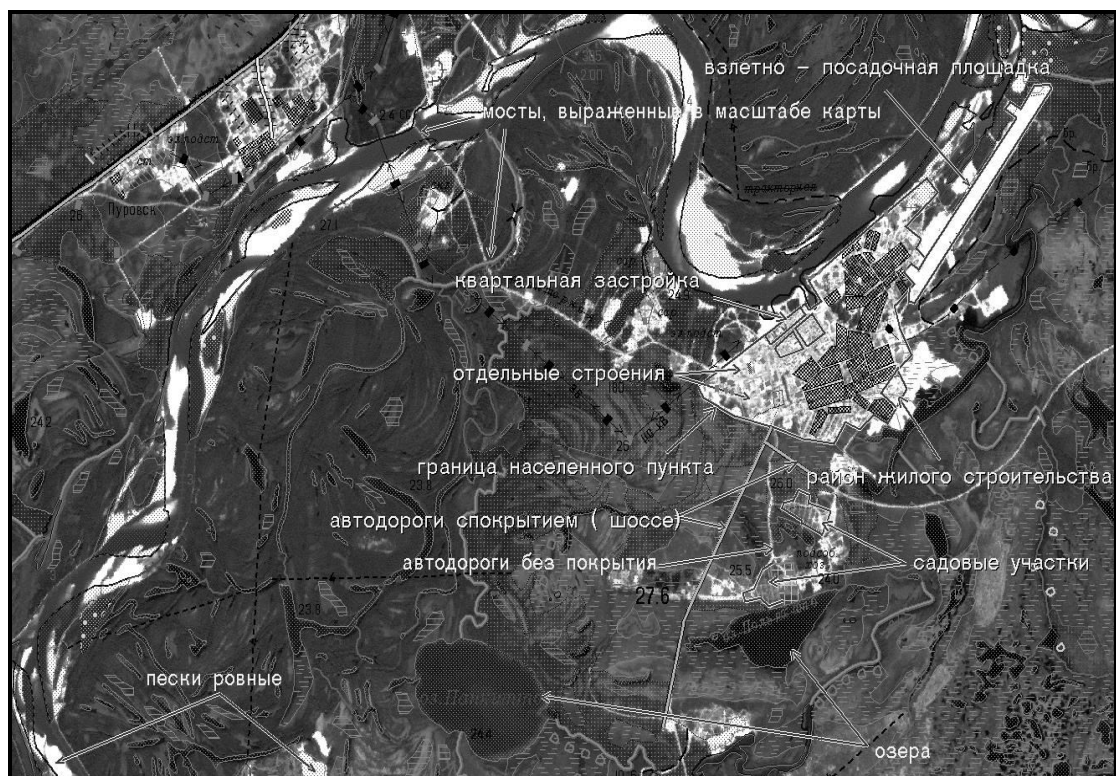


Рис. 4. Элементы дешифрирования населенного пункта по снимку SPOT 4 при обновлении ЦТК м-ба 1 : 100 000

Таблица 2. Сравнительные стоимостные характеристики на космические снимки

Съемочная система	Страна	Разрешение съемочной системы, м	Размер снимка, км	Стоимость 1 кв.км, руб
Landsat 7	США	15	185*185	0.97
Aster	США	15	60*60	9
Spot 4	Франция	10	60*60	54
IRS-1C/1D	Индия	5.8	70*70	17

С августа 2005 года на орбите функционирует российский аппарат «Монитор-Э». Его характеристики – разрешение 8 м в панхроматическом диапазоне и 20 м в спектральнозональном – позволяют применять эти снимки для обновления топокарт масштаба 1:100 000, но пока аппарат работает в экспериментальном режиме, с весны планируется его коммерческое использование.

© А.А. Алябьев, С.В. Серебряков, 2006

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС

Анализ научной и технической литературы за последние 10 лет показывает неуклонное возрастание интереса как со стороны специалистов различного профиля, так и рядовых потребителей к использованию трехмерного представления данных для решения широкого круга задач в различных отраслях и сферах человеческой деятельности (геология, геофизика, нефтяная и газовая отрасли, архитектура и дизайн и др.).

В ФГУП центр «Сибгеоинформ» рамках НИР проводятся научно-исследовательские и экспериментальные работы по разработке технологии построения трехмерной цифровой модели местности по материалам аэрофотосъемки для решения задач навигации с использованием ГИС.

До настоящего времени задачи навигации, такие, например, как прокладка маршрутов в соответствии с заданными критериями по существующим транспортным коридорам (наземным, воздушным, морским), прокладка новых транспортных коридоров, контроль местоположения движущегося транспортного средства по маршруту, повсеместно решаются с использованием двумерных цифровых карт. Однако возможности трехмерного представления данных в ГИС, во-первых, позволяют решать задачи сетевого анализа с учетом рельефа, что позволяет получать параметры маршрутов или новых транспортных коридоров, учитывающие реальную обстановку на местности, и, во-вторых, обеспечивают визуализацию полученных результатов в привычной для пользователя трехмерной среде.

Поскольку собственно решение сетевых задач, обеспечивающих построение минимальных или оптимальных маршрутов и прокладку новых, и их визуализация в трехмерной среде обеспечивается программными средствами конкретной ГИС, то основной задачей НИР являлась задача комплексного согласования на информационном уровне трехмерных моделей местности, создаваемых средствами цифровых фотограмметрических станций (ЦФС), используемых в отрасли, и трехмерных моделей местности, построение которых осуществляется во внутренних структурах 3D-ГИС на основе входных трехмерных пространственных данных ЦММ, полученных экспортом из ЦФС, и проверка реализации этой задачи с помощью разрабатываемой экспериментальной технологии.

Под трехмерной цифровой моделью местности (территории) – 3D ЦММ понимается модель, включающая в себя цифровую модель рельефа ЦМР и трехмерную цифровую модель объектов местности ЦМОМ.

Технология включает в себя следующие основные этапы:

- Создание 3D ЦММ по материалам аэрофотосъемки на ЦФС, включая экспорт ЦМР, ЦМОМ в выходные форматы, совместимые с 3D-ГИС;
- Конвертация ЦМР, ЦМОМ в 3D-ГИС и создание трехмерных сцен, включающих в себя: создание модели земной поверхности и создание трехмерных моделей объектов местности.

Сбор трехмерной пространственной информации осуществлялся средствами двух ЦФС (ЦФС ЦНИИГАиК, г. Москва, ГНПП «Геосистема», г. Винница, далее ЦФС ЦНИИГАиК; цифровая фотограмметрическая система PHOTOMOD компании Ракурс, г. Москва, далее PHOTOMOD) по производственным материалам в объеме одного маршрута аэрофотоснимков. Характеристики аэрофотоснимков: масштаб залета – 1 : 8 000, фокусное расстояние АФА – 153.44 мм, формат кадра 23 × 23 см. Территория объекта представляет собой равнинную местность с застройкой сельского типа, имеются луговые массивы, болото, небольшие лесные участки. Гидрография представлена одной рекой и мелкими озерами.

Поскольку предполагалось использование в качестве трехмерных ГИС – ГИС КАРТА 2005 и ARCGIS, то выходная информация была представлена в двух форматах: внутреннем формате ГИС КАРТА 2005 Vector и SHP.

Технологическая схема создания трехмерной цифровой модели местности по материалам аэрофотосъемки аналогична схеме создания двумерной модели. Особенности заключаются в выработке дополнительных требований, определяющих специфику работы с трехмерной информацией.

Эти требования относятся к подготовке информационного обеспечения:

- К подготовке классификатора и его содержанию;
- К правилам сбора цифровой информации о рельефе и объектах местности на ЦФС.

Во-первых, в классификатор должны быть внесены дополнительные слои, обеспечивающие формирование объемного вида элементов конструкции сооружений, например, основание крыши, конек крыши, боковая сторона крыши, навес (коньки крыш и грани кровли необходимы для воссоздания трехмерной модели крыш сложной конфигурации).

Во-вторых, требуется включение дополнительных характеристик, обеспечивающих передачу высотной составляющей объекта в виде абсолютного значения.

Наряду с этим семантическая информация к объектам должна включать в себя в обязательном порядке сведения о материале и других характеристиках, отражающих внешний вид объектов (количество повторяющихся элементов, порода, тип поверхности и т. п.), что позволит в последующем при моделировании трехмерных сцен в 3D-ГИС обеспечить относительно фотореалистичное отображение трехмерных объектов с использованием стандартных библиотек текстур, не прибегая к дополнительному и затратному как по времени, так и по средствам процессу получения детальных фототекстур для каждого объекта или группы типовых объектов на заданную территорию,

если последнее не диктуется спецификой решаемой задачи (например, создание трехмерных моделей уникальных, исторических, археологических и т. п. памятников). Следует отметить, что при создании трехмерных сцен для решения задач навигации фотореалистичное представление трехмерных объектов не требуется – достаточно использовать либо стандартную библиотеку текстур 3D-ГИС, либо закрашивание объектов в соответствии с предоставляемыми 3D-ГИС возможностями.

Требования к правилам сбора цифровой информации об объектах местности, в части специфики создания 3D ЦММ, заключаются в следующем:

а) Для объектов «Здания, строения» должны быть собраны границы контуров оснований, границы контура крыш, контуры всех необходимых пристроек (с типом локализации – площадной), которые должны быть отображены по техническим условиям заказчика.

б) Для крыш строений следует собрать контур основания крыши, определить и внести в семантическую информацию высоту основания крыши и высоту конька от основания крыши в семантике, если крыша имеет вид призмы. В случае, если крыша имеет иную форму, собрать контур основания крыши, собрать дополнительными трапециями (или треугольниками) боковые стороны.

в) Для отображения стен зданий, сооружений, которые не видны на стереоскопической модели, необходимо получить наземные фотоснимки. Так как эти фотоснимки будут использованы в качестве основного источника цифровой текстурной информации, желательно использование цифровой камеры. Применение цифровой камеры исключит фотохимическую обработку и сканирование фотоснимков. Фотоснимки, полученные в результате наземной съемки, например, фототеодолитом, следует использовать для определения и уточнения вертикальных размеров моделируемых объектов.

г) Для получения координат и высот точек объектов, закрытых на данной стереомодели тенью, изображением других объектов (крона деревьев, забор и т.д.), перспективой изображения, в среде ЦФС должна быть предусмотрена разработка дополнительных программных модулей.

Формирование ЦМР по аэроснимкам на ЦФС в зависимости от характера территории должно осуществляться:

а) По пикетам в виде регулярной сетки (GRID-модель) для территорий со сглаженным рельефом;

б) По пикетам в виде нерегулярной триангуляционной сети (TIN – модель) для территорий с сильно выраженным рельефом.

В случае формирования GRID-модели величина шага сетки зависит от требуемого масштаба представления территории.

Основным представлением ЦМР в ЦФС PHOTOMOD является TIN-модель, представляющая собой кусочно-линейную интерполяционную модель поверхности. При необходимости возможно преобразование TIN в регулярную матрицу высот.

TIN строится по набору пикетов, которые используются в качестве узлов триангуляционной сети, и структурных линий – 3D векторных линий вдоль характерных вытянутых форм рельефа, таких, например, как хребты и тальвеги.

Набор пикетов для ЦМР может производиться как вручную, так и в автоматическом режиме.

ЦФС ЦНИИГАиК обеспечивает создание ЦМР в виде TIN-модели и регулярной матрицы высот.

ЦМОМ формируется на ЦФС обоих типов в виде совокупности цифровых данных о контурах объектов местности, в которых информация о высотной составляющей объектов должна быть представлена в виде абсолютного значения и отражена в семантической информации к объекту в качестве одной из характеристик.

При разработке экспериментальной технологии ЦМОМ и ЦМР, полученная на ЦФС в виде матрицы высот, конвертировались в ГИС КАРТА 2005.

По введенной матрице высот программными средствами ГИС, реализующими основные методы интерполяции, формировалась новая матрица высот, по которой осуществлялось построение трехмерной модели рельефа земной поверхности.

Проверка степени идентичности модели рельефа, полученной на ЦФС, модели рельефа, полученной в среде ГИС КАРТА 2005, осуществлялась путем анализа метрической точности трехмерной модели.

Анализ метрической точности 3D ЦММ проводился по следующей методике:

1. Оценка точности выполнялась по высотной составляющей метрической информации контрольных точек, так как плановые координаты точек ЦМОМ и ЦММ, полученные на ЦФС, не изменяются при импорте их в 3D ЦММ.

2. В качестве контрольных точек были приняты четко опознаваемые точки, измеренные опытным оператором на стереофотограмметрических моделях двух стереопар аэрофотоснимков. Стереофотограмметрические модели строились по результатам фотограмметрического сгущения, результаты которого характеризуются следующими оценками:

- Средние погрешности по расхождению на опознаках не превышали: в плане – 0.08 м, по высоте – 0.09 м; на общих точках: в плане – 0.08 м, по высоте – 0.08 м;

- Максимальные погрешности по расхождению на общих точках смежного маршрута не превышали в плане – 0.16 м, по высоте – 0.18 м.

3. Исходные данные для построения поверхности рельефа на ЦФС были подготовлены в двух вариантах:

- Набор пикетов по узлам сетки 20×20 метров на местности и характерным формам рельефа;

- Набор пикетов по узлам сетки 10×10 метров на местности и характерным формам рельефа.

4. Модель земной поверхности строилась средствами ГИС КАРТА 2005.

Модель земной поверхности в ГИС КАРТА 2005 представлена матрицей высот, являющейся регулярной структурой, содержащей элементы, значения которых – высоты рельефа местности.

Элемент матрицы соответствует квадратному участку местности, размер стороны которого соответствует точности матрицы.

Основными параметрами матрицы высот являются:

- Масштаб матрицы, предназначенный для согласования совместного отображения матрицы и векторной карты;
- Размер матрицы, состоящий из ширины и высоты матрицы в метрах;
- Точность матрицы, отражающая размер в метрах стороны квадратного участка местности, соответствующего элементу матрицы.

Размер элемента матрицы для двух вариантов исходных данных задавался значениями: 1 м, 5 м, 10 м, 20 м.

Результаты оценки точности для ГИС КАРТА 2005 в виде расхождений высот на контрольных точках представлены в табл. 1, 2, где ϑ – значение средней ошибки, m – значение средней квадратической ошибки.

Таблица 1. Результаты оценки точности высот точек, полученных средствами ГИС КАРТА 2005 по узлам сетки 20 × 20 метров

Номера контрольных точек	Z ЦФС (м)	3D ЦММ (20 м)			
		1 м	5 м	10 м	20 м
1	2	3	4	5	6
1	32,75	32,91	32,75	32,79	32,91
2	33,24	33,13	33,28	33,29	33,13
3	32,47	32,67	32,68	32,46	32,67
...	...	...	...	...	...
15	31,66	31,78	31,66	31,66	31,78
16	30,92	30,92	30,92	30,92	30,92
17	31,65	31,46	31,65	31,73	31,46
ϑ m		0,16	0,11	0,09	0,16
		0,21	0,17	0,14	0,21

Таблица 2. Результаты оценки точности высот точек, полученных средствами ГИС КАРТА 2005 по узлам сетки 10 × 10 метров

Номера контрольных точек	Z ЦФС (м)	3D ЦММ (10 м)			
		1 м	5 м	10 м	20 м
1	2	3	4	5	6
1	32,75	32,9	32,91	32,75	32,35
2	33,24	33,20	33,17	33,28	32,87
3	32,47	32,68	32,32	32,42	32,42
...	...	...	...	...	...
15	31,66	31,72	31,74	31,63	31,78
16	30,92	31,00	30,99	30,99	30,99
17	31,65	31,55	31,50	31,50	31,50

g m		0,09	0,12	0,14	0,42
		0,11	0,19	0,21	0,82

По данным, приведенным в таблицах 1,2, сделаны следующие выводы:

1. Полученные значения средних погрешностей высот не превышают 0.20 м, что удовлетворяет требованиям «Инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов» для масштабов 1 : 2 000, 1 : 1 000 с сечением рельефа 1 м.

2. Средние погрешности высот точек, полученные по узлам сетки 10 × 10 м, незначительно меньше, чем средние погрешности, полученные по узлам сетки 20 × 20 м. При этом объем измерений значительно возрастает.

3. Для равнинной территории достаточно выполнять сбор ЦМР по узлам сетки не плотнее чем 20 × 20 м.

4. Полученные значения средних погрешностей высот точек для равнинной местности позволяют считать точность 3D ЦММ, полученной в среде ГИС, сопоставимой с точностью ЦМР, полученной на ЦФС.

5. Таким образом, разработанная экспериментальная технология позволяет создавать на ЦФС по материалам аэросъемки ЦМР и ЦМОМ для последующего получения трехмерных моделей в ГИС.

© Т.А. Хлебникова, С.П. Нефедов, Н.И. Шушлебина, 2006

УДК 528.915+528.425

С.В. Гориков

ФГУП «ПО Инжгеодезия», Новосибирск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМОФОТОСЪЁМКИ ПРИ СОЗДАНИИ И ОБНОВЛЕНИИ КАРТ

Очередной всплеск активности использования космофотосъёмки (КФС) пришёлся на начало 2000-х годов с получением материалов с аппарата «Ресурс Ф1М», где использовалась камера КФА – 1000 с разрешением на местности (по паспорту) 3,5 – 7,0 м, масштаб снимков около 1 : 235 000. КФС была рекомендована для обновления топокарт масштаба 1 : 25 000. На практике оказалось, что дешифровать фотоизображение, которое в 9,4 раза мельче обновляемой карты очень сложно. Относительно неплохо распознавались линейные объекты (железные дороги, высококлассные автодороги, просеки, гидрография), в крупных населённых пунктах очертания многоэтажных домов; частный сектор и садовые участки можно было опознать по косвенным признакам. При увеличении снимков до масштаба обновляемой карты сильно «размывалось» фотоизображение. Мы настойчиво пытались добиться положительных результатов. Были созданы ортофотопланы на довольно сложные в плане фотограмметрии территории: это Кузбасс и Горный Алтай. Всего изготовлено более 50 ортофотопланов на локальные участки обновления

топокарт в масштабе 1 : 25 000. Точность изготовления фотопланов в аналоговом виде (чаще на пластике) в то время была удовлетворительная, но дешифрируемость низкая. Приходилось использовать изображение с монитора, весьма осторожно и ограничено. Дешифрировались линейные объекты (дороги, просеки, гидрография) и их изменения, площадные – свежие и зарастающие вырубки леса, частично населённые пункты. Всем известно, что рельеф в горно-таёжной местности на вырубках леса открывается более детально, и по формам он совпадает, а по высоте нет. Исправить это было невозможно.

Космосъёмка позволила выявить изменения на территории, которая более 40 лет не обновлялась, принять решение о необходимости исправления ситуации и контуров, в каждом конкретном случае. Исполнителям было дано указание о бережном отношении к обновляемой топооснове.

Дешифрирование космических сканерных цифровых изображений имеет свои особенности. Изображение, как правило, имеет пониженную разрешающую способность и при этом отсутствует возможность стереопросмотра. После материалов аэрофотосъёмки, с которыми мы традиционно работаем, каким бы ни было прорывом применение космосъёмки, остаётся ощущение того, что в качестве дешифрирования все мы сделали шаг назад. К сожалению теряется многое.

Предлагаемые фирмами – поставщиками «Совзонд», «Скан Экс», «ПРАЙМ ГРУП» и др. материалы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) нас не удовлетворяют либо по разрешению на местности, либо по цене. Это зачастую дороже аэрофотосъёмки. КФС приемлемого разрешения с аппаратов Quick Bird (0,6 м), Ikonos (1,0 м) предлагаются по цене от 22 до 18,5 долларов за 1 кв. км, архивные – по 7,0 долларов. Демофрагменты на интересующую нас территорию предоставить не могут, так как информация с разрешением лучше 2-х метров – секретна. Ситуация выглядит забавно, поскольку съёмка выполняется с иностранных спутников. Наиболее доступной по цене и разрешению для обновления карт масштаба 1 : 50 000 является съёмка французским аппаратом SPOT 5 с разрешением 2,5 м. Размер кадра 3 600 кв. км, цена одного чёрно-белого кадра 8 100 €. Возможно на неё сейчас и нужно делать ставку.

Централизованная поставка материалов ДЗЗ для госбюджетных работ значительно выгоднее по цене, так как стоимость КФС существенно изменяется в зависимости от заявляемой площади.

При выполнении госконтракта 2006 года по обновлению ЦТК масштаба 1 : 100 000 (Панорама) мы привлекли из Интернет программу Google Earth. Качество космосъёмки позволяет опознавать и наносить железные и автомобильные дороги различных классов, дешифрировать и исправлять кварталы в населённых пунктах. Технология апробирована на Новосибирской области и имеет положительный результат. Обновлению подлежат ЦТК на Республику Алтай, Алтайский край, Кемеровскую, Омскую и Томскую области. Учитывая объём, масштабность и значимость начатой работы, а это 862 листа карты масштаба 1 : 100 000 на всю зону ответственности «ПО Инжгеодезия», мы должны обновить в 2006 году 80% топокарт и выполнить разгрузку ситуации, чтобы карта была доступна для открытого пользования. Обновленная

ЦТК будет представлять большой интерес для пользователей. А одна из главных задач – создание навигационных карт на основе ЦТК масштаба 1 : 100 000 на территорию России – реализуется.

© С.В. Горшков, 2006

ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЦТК И ЦТП, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ФГУП ЦЕНТР «СИБГЕОИНФОРМ», ОСОБЕННОСТИ И СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В настоящее время в предприятиях Роскартографии и других организациях, занимающихся изготовлением цифровой картографической продукцией, используются различные технологии и программные продукты, позволяющие выполнять полный комплекс работ по созданию современных, достоверных цифровых топографических карт и планов. ФГУП центр «Сибгеоинформ» не является исключением.

За время своего существования, начиная с 1992 года, в центре «Сибгеоинформ» применялись различные технологии и программные продукты для создания цифровых топографических карт и планов масштабов от 1 : 500 до 1 : 2 500 000, а именно:

- Технологии создание цифровых топографических карт по растровой информации, по ортофотопланам, с использованием информации, полученной из разных форматов, путем конвертации и с использованием технологии автоматизированной генерализации;

- Использовались следующие программные обеспечения: РАСТР, РАСТР-2, РАСТР-ТП, ЦФС (ЦНИИГАиК), Нева, MapInfo, PHOTOMOD, ПАНОРАМА.

В течение последних шести лет основной объем работ (3090 НЛ масштабов 1 : 10 000 – 1 : 2 500 000) по созданию цифровых топографических карт и планов по растровой информации, полученной путем сканирования издательских оригиналов, выполнялся средствами программного обеспечения «ПАНОРАМА».

Ввиду необходимости приведения к общему формату хранения *.SXF всех ранее созданных номенклатурных листов в формате ОФИФ, в центре разработан конвертор из формата ОФИФ в формат *.SXF, позволяющий использовать метрическую и семантическую информацию с незначительным объемом интерактивной доработки для дальнейшего обновления цифровых карт как по картографическим источникам, так и по цифровым ортофотопланам средствами программного обеспечения «ПАНОРАМА».

Для создания цифровых планов городов масштабов 1 : 10 000 и 1 : 25 000 доработан классификатор (файл ресурсов) к программному обеспечению ПАНОРАМА. Разработаны таблицы цензов отображения объектов на топографических картах масштабов 1 : 500 – 1 : 200 000. Данные таблицы цензов используются при создании цифровых топографических карт и планов по технологии автоматизированной генерализации. Кроме того, в ФГУП центр «Сибгеоинформ» разработаны алгоритмы и программы пересчета координат из одной системы координат в другую (из СК 42 г. в местные системы, местные кадастровые системы координат на основе СК 63 г. и др.).

Несмотря на многолетнее использование для работы по созданию цифровых карт и планов утвержденных технологий, в последнее время приходится выполнять работы, требующие нестандартного решения вопроса.

В 2005 г. в ФГУП центр «Сибгеоинформ» созданы и подготовлены для получения графических копий, приближенных к издательскому оригиналу, цифровые топографические планы масштаба 1 : 2 000 на территорию 15 населенных пунктов Республики Саха (Якутия) по следующей технологической схеме:

- Фотограммсгущение, стереотопографическая рисовка в ПО PHOTOMOD;
- Экспорт информации в ПО ПАНОРАМА;
- Интерактивная доработка и оформление информации для получения графической копии в условных знаках, приближенных к издательскому оригиналу в ПО ПАНОРАМА.

Кроме того, выполнялись работы по созданию цифровых топографических планов масштаба 1 : 5 000 по другой технологической схеме:

- Фотограммсгущение, создание ортофотопланов, стереорисовка рельефа и промышленных объектов в ПО PHOTOMOD;
- Экспорт информации в ПО ПАНОРАМА;
- Дополнение цифровой топографической информации векторизацией объектов гидрографии и контуров растительности в ПО ПАНОРАМА;
- Экспорт информации в ПО MapInfo;
- Оформление цифрового плана в условных знаках для вывода на печать.

Использование различных технологий и программных средств связано: во-первых, с требованиями заказчика о получении информации в определенном формате; во-вторых, поиск более экономичных технологий, позволяющих выполнять работы с наименьшими трудозатратами, в-третьих, применение наиболее широко используемых в производстве технологий и программных продуктов, по которым накоплен большой опыт; в-четвертых, с отсутствием одного программного продукта, позволяющего выполнять полный комплекс работ по созданию цифровых карт начиная от фотограмметрического сгущения и заканчивая получением издательского оригинала.

Опыт работы показал, что существующие программные средства можно сочетать в различных комбинациях в зависимости от имеющихся возможностей (технические средства, квалификация работников и т. д.), но решение различных задач требует тщательной технологической проработки.

Сравнивая результаты работы по различным технологическим схемам можно сказать, что в нашей работе использование ПО Mapinfo повлекло за собой немалый объем дополнительных затрат:

- Структурирование данных при конвертации из ПО ПАНОРАМА,
- Оформление объектов в условных знаках, специально разработанных для выполнения данной работы.

В то время работа по подготовке графической копии, приближенной к издательскому оригиналу в ПО ПАНОРАМА, заключалась лишь в единовременной доработке классификатора (файла ресурсов) в соответствие с условными знаками.

Несмотря на это, применяемые в ФГУП центр «Сибгеоинформ» технологии и программное обеспечение позволяют выполнять полный цикл камеральных работ от сбора, обработки и автоматизированной генерализации данных с использованием материалов аэрофотосъемки, картографических материалов разных масштабов до получения графических копий, приближенных к издательскому оригиналу, цифровых моделей местности, цифровых топографических карт и планов в различных форматах и для использования в географических информационных системах (ГИС).

© В.И. Ляльков, И.В. Осинцева, 2006

УДК 528:9

А.Ю. Матерук

СГГА, Новосибирск

ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Происходящие процессы информационной глобализации всё более настойчиво требуют взаимодействия на новом уровне между Операторами сферы ГИС (АКС)-моделирования, когда обеспечивается свободный обмен смысловым содержанием карт (моделей). Налоговики желают постоянно получать верные сведения от кадастра, экологи от промышленников, власть от метеорологов и ещё много от кого и так далее и тому подобное. При этом речь идёт именно о смысловом содержании и, в идеале, от произвольного абонента.

Обмен пространственными данными (к которому пока сводится нынешнее состояние интеграции различных ГИС (АКС)-Операторов), уже достаточно отработан в практике и, на сегодняшний день, является организационной и технологической задачей. Кроме того, пространственный обмен (по определению) не может решить вопросы точного понимания и правильного восприятия семантики сторонних данных в случаях понятийной (да и просто лексической) нестыковки разных систем, которые отнюдь не редки.

Сегодня, в лучшем случае, Операторы вынуждены подстраиваться под семантические правила, заложенные у Источника данных в его системе классификации и кодирования (организации и выражения), что имеет место, в частности, в лучших картографических системах общего доступа, существующих в Интернете. Это, естественно, является сковывающим ограничением, которое далеко не всегда, приемлемо для Получателя. Кроме того, в чужой понятийной системы действуют другие представления и, при

лобовом переключении, существо сведений может быть просто искажено. В худшем же случае, задача понимания и восприятия, по-прежнему, целиком выносится на Получателя - он сам должен заботиться: своими силами расшифровывать и толковать данные или создавать дорогостоящие разовые переходники.

Семантические расхождения могут быть и значительны и труднопреодолимы (нуждаются в их подробном разборе). Цена же ошибок в трактовке чужих данных может быть очень высока. Ко всему прочему, даже одна семантическая ошибка способна принести тяжело исправимый ущерб.

Приведенные рассуждения, говорят о том, что, сейчас, в данном направлении стоит ряд задач (обещающих стать неотложными уже в ближайшем будущем), которые, в совместном рассмотрении с обоснованиями по главным пунктам и разработанными контурами возможных подходов к их решению (всё в тезисном изложении) состоят в следующем.

1. Рассматриваемая проблема целиком лежит в семантической плоскости. При этом вначале, акцент придётся делать на её теоретико-методическую разработку, без чего не появятся необходимые действенные инструменты. Вопрос осложняется ещё тем, что в сферах фундаментальных наук, там, где исследуются семантические аспекты, пока нет набора подходящих решений.

2. Ключевым звеном решаемой проблемы является нахождение единой семантической базы для любых Операторов процесса, различающихся по основным признакам, а именно: предмету (теме) моделирования, потребителю (назначению), языковой среде и так далее, вплоть до такого практического признака как системная организация (конкретика реализации). Если такая основа будет определена, то она, как раз, и обеспечит искомую понятийно-смысловую совместимость произвольных партнеров – через неё, в принципе, станет возможным наладить каналы прямого взаимодействия: правильного соотнесения чужого смысла к своей понятийной среде, то есть адекватного (без искажений) использования существа потребляемых сторонних данных. Решение же этой задачи откроет дорогу к полнокровному (лёгкому, быстрому и точному) обмену смысловым содержанием между любыми парами партнеров и, таким образом, и станет предпосылкой интеграции любых (всех) ГИС (АКС)-Операторов в единое глобальное пространство моделирования.

3. Точная семантическая стыковка, естественно, происходит на простейших смыслах, то есть в атомарной смысловой среде. К сожалению, многие признаки (выражающие их слова), которые мы обычно считаем простейшими, на самом деле, представляют составные понятия, которые, нередко, оказываются достаточно сложными. Глубинное их исследование ведёт в лексические семантические дебри, которые отнюдь не в полной мере изучены специалистами. Поэтому, говоря об этом горизонте (якобы) неделимых по смыслу, то есть простейших деталей, которым мы пользуемся, следует помнить, что, по сути, он является условно (квази) атомарным, но образующие его признаки способны давать единое однозначное, точное понимание при практически допустимых отклонениях (смысловых нюансах). Таким образом, возникает задача выделения этого уровня атомарных объектных признаков.

4. Однако эта теоретическая задача должна сразу же получать и практическое выражение – выделенный массив признаков следует немедленно отражать в виде соответствующего Словаря, который, желательно, делать толковым. Следует заметить, что это будет не просто ещё один Словарь терминов в сфере ГИС- и картографического моделирования, которые успешно плодятся и безуспешно воюют за внимание исследователей (разработчиков), поскольку мало чего им не дают. Напротив, предлагаемый Словарь должен стать, не только справочным изданием, но программно-информационным средством, выполняющим функции единого узла взаимодействия (открытой площадки обмена), где производится семантическая стыковка данных любых Операторов.

5. Этот же Словарь обязан стать и многоязычным, поскольку международные проекты в сфере ГИС (АКС)-моделирования уже не редкость и их доля непрерывно растёт. При этом никакой, даже самый развитый язык (в том числе, и английский) не может претендовать на роль исчерпывающего словника и всеобщей языковой платформы, поскольку всё разнообразие смыслов, присутствующих даже в схожих словах лексических массивов отдельных языков можно считать неисчерпаемым. Априори можно надеется, что такая задача создания многоязычного (как и много предметного) Словаря окажется выполнимой, поскольку простейшие понятия, такие как, «дорога», «дом» и так далее и тому подобное, существуют у всех: от норвежцев до зулусов и от итальянцев до туркмен (как, впрочем, и от нефтяников до экологов).

6. Ограничится созданием этого общего связующего звена (словаря) не удастся, так как необходимо ещё совершенствовать методику и организацию представления и обработки семантической составляющей в системах (технологиях). Для этого необходима разработка моделей соответствующих структур и процессов (состояния и действия семантики). Можно сразу сказать, что в первой части (в строении семантики) придётся уходить от обычных регулярных (табличных) схем организации (классификации) информации, которые плохо пригодны для моделирования реальных семантических комплексов, имеющих выраженный нерегулярный (индивидуализированный по объектам и предметам) и спутанный (не древовидный, но со сросшимися ветвями) характер. Практические, да и теоретические проработки таких структур пока отсутствуют. Не лучше обстоит дело и в части функционирования семантики.

7. Все упомянутые работы нуждаются в собственном языковом обеспечении, то есть в создании специализированного (проблемно-ориентированного) формализованного метаязыка семантики, который позволял бы строго и всесторонне отразить строение и действие объектных семантических свойств в картографическом отображении (ГИС-построениях). В этом направлении уже имеются различные наработки, которые, хотя и не ставят перед собой задачу в настоящей постановке, но частично могут быть использованы.

8. Все получаемые результаты по перечисленным направлениям просто обязаны сразу же оформляться (инициативной группой) в виде проекта некоторого (рабочего, постоянно поддерживаемого и обновляемого) соглашения об единой семантической основе и соответствующих процедурах для того, чтобы новые идеи в этой сфере не залёживались и были доступны всем, проводимые работы не расползались, исследователи спорили и искали лучшие подходы, тёмные места в разработках пораньше выявлялись, а все заинтересованные Операторы знали о состоянии дел и перспективах.

9. Нахождение теоретических основ, идущая за ним разработка конструктивно-методического инструментария и дальнейшее создание и отработка производственных технологий и нормативных документов нового поколения в области семантических процессов ГИС (АКС)-моделирования, вообще, и для решения задачи семантической интеграции, в частности, займут какое-то (скорее немалое) время. Однако непозволительно откладывать совершенствование этих процессов и решение данной задачи до появления всей такой новой научно-практической базы. Ничто не мешает улучшать существующие технологии через введение свежих (но уже понятных и опробованных), современных представлений о строении семантики и семантических операциях в действующие инструктивные материалы (используемую нормативную основу).

© А.Ю. Матерук, 2006

SURVEY IN A WATER RESOURCES MANAGEMENT PROJECT OF AN UNDERGROUND RIVER IN INDONESIA

The district of Gunung Kidul in the Yogyakarta Special Province in middle Java is known as one of the poorest regions in Indonesia. One of the essential reasons is the acute water scarcity during the dry season. This karst area is composed of hundreds of networked caves. Due to these cave structures there is a total exchange of the surface run off and an infiltration through wide branched underground flow systems. Since 2003 the Federal Ministry of Education and Research (BMBF), Germany, is funding an interdisciplinary pilot project at the University of Karlsruhe comprising a water resources management in one of the caves, Gua Bribin. The basic idea is a partial damming up of the underground water flow by means of a barrage with an integrated micro hydro power plant. The main objective of the project is a strongly increased water supply of the population combined with a general improvement of the living conditions especially in the dry season.

The paper describes, in addition to the interdisciplinary aspects of the project, the geodetic contribution, the surveying work and the data processing. The single topics are the basic survey for the installation of the drilling and the underground construction site, the control measurements for the vertical drilling of the shaft of 100 m depth, the surveying of the cave geometry in detail (1,5 km length) and the presentation of the cave within a three dimensional model as the basis for further applications such as navigation through the cave, simulation of constructions, special calculations (for example profiles and volumes) etc. The paper ends with an outlook to a new project under application concerning a comprehensive water resources management in the whole region, in the frame of a new research funding program of the BMBF.

1 Project survey

1.1 Background

The District of Gunung Kidul in the Yogyakarta Special Province is supposed to be one of the poorest regions in Java and the whole of Indonesia. One of the essential reasons is the acute water shortage during the months of the dry season. On the fissured karst soil the harvest in agriculture is poor and the drinking water supply is strongly impaired. As a consequence of the poor living conditions the most active people of the population are migrating away and the regions development is stagnating. The karst area at the south cost of Java is internally composed of hundreds of networked caves, in which the quickly oozing away surface run off is collected. These flow systems finally end up as natural springs at the coastline.

On the one hand, it is necessary to improve the living conditions of the Gunung Kidul population during the dry seasons. On the other hand, the existing diesel pumping systems for the water supply should be shut down because of economical

and ecological reasons. To realize both objectives, the installation of an underground water reservoir is aspired, using appropriate technologies and regenerative energies. The intention is to use the underground water resources by partially damming up the water flow by means of a barrage with an integrated micro hydro power plant (figure 1). A feasibility study supported by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) found the cave Gua Bribin in the region of Wonosari as suitable for a pilot project (Nestmann and Oberle 2002). The cave guarantees a storage volume of roughly 400.000 m³ with a minimal available flow of 2000 l/s during the dry season and a potential water height after damming of about 15 m.



Figure 1: Schematic section through the cave and the barrage

1.2 Joint project structure and partners

The joint project, funded by the BMBF from 2003 to 2005 under the name “Water Resources Management of an Underground River in a Karst Area, Yogyakarta Special Province, Indonesia” shall realize the targets under the condition of appropriate technologies. The necessary interdisciplinary approach involved the fields of hydraulic engineering, water management, geodesy, geochemistry, material engineering as well as timber engineering – all represented by institutes of the faculty of Civil Engineering, Geo- and Environmental Sciences of the Universität Karlsruhe (TH). One additional partner comes from the Universität Gießen, responsible for socio-economic studies and the industrial partners are the firms Herrenknecht AG, Schwanau, with the sub project “Vertical drilling machines for karst”, KSB, Frankental, with the sub project “Appropriate turbine and pumping technologies” and Walcher Wasserkraft with the sub project “Steering and regulation techniques”.

The essential partners on the Indonesian side are the government of the Yogyakarta Special Region, several ministries and authoritative institutions, state and private universities in Yogyakarta, Bandung, Solo and Jakarta and the local speleological club. The central industrial partner is the firm Wijaya Karya, Jakarta, which is responsible for all construction activities inside and outside the cave. Further informations can be found in Nestmann and Oberle (2006) and in the internet under BMBF-joint-project: <http://www.hoehlenbewirtschaftung.de>.

2 Geodetic sub project

2.1 Object in view

The general task of the joint project implicated a geodetic sub project, which should be responsible to make geometric fundamentals available to several other sub projects by geodetic activities. The most important target within the whole project was the destination of the drilling point on the surface, from which the shaft of 2,5 m diameter should be brought down to the cave in 100 m depth. The staking out should be within an accuracy of 20 cm for the break through point, because the shaft was planned at the border of the cave. Such a border position guaranties a convenient entrance to the cave without hindering any construction activities.

The conception was to look at Gua Bribin as a demonstration cave in which different strategies of energy production and water supply should be studied respectively simulated. Because the tightness of the karst has been estimated critically three different variants have been discussed:

- Partial damming of the water flow system by a reinforced concrete dam with an integrated micro hydroelectric power plant,
- Energy production for water supply through the construction of a weir and pressure pipeline,
- Energy production for water supply through a cascade of weir systems with open channel flow.

All these variants require an extensive planning, for which a complete three dimensional measurement of the cave with a sufficient accuracy was necessary. As result of this survey a three dimensional model of the cave has been produced, which allows a virtual flight through the shaft and the complete cave up to the old entrance.

2.2 Conception

At the Geodetic Institute in Karlsruhe (GIK) different tests have been carried out to choose the measurement techniques, with which the postulated accuracies might be realized in a rational way. An important criterion was to analyse the reliability, that means the possibility of detecting gross errors in the observations.

Techniques such as compass or gyro measurements were dropped out because of to low accuracy and to long measurement duration. Because in the cave it can be mostly worked with tripods, a polygon simulation has been carried out (see fig. 2). The polygon covered in the design phase a length of about 3 km with 65 points and a shortest distance between two points in the critical cave entrance area of only 3,5 m. The analysis with the GIK software package NETZ2D (Oppen and Jäger 1991) brought as result, that an independent double measurement was necessary to fulfil the

postulations, when a tachymeter is used with an accuracy of 2 mm for the distances and 0,6 mgon for the directions, supposing a centring accuracy of 0,5 mm. Therefore a tachymeter Leica TCR 1102 was elected for these measurements.

2.3 Further works

Additional tasks resulted partly during the progress of the project. The precise underground course of the cave was transferred into the existing topographical maps after corresponding measurements with GPS handheld receivers. The geographical coordinates of the cave entrance and the drilling point were estimated and those of several prominent points such as street crossings as pass points. The firm Herrenknecht developed in the frame of the project a new vertical drilling machine. For this machine was at first no effective navigation technique available. Therefore a simple and cheap method was developed at the GIK which guarantees the vertical navigation of the machine over a depth of 100 m with an appropriate accuracy.

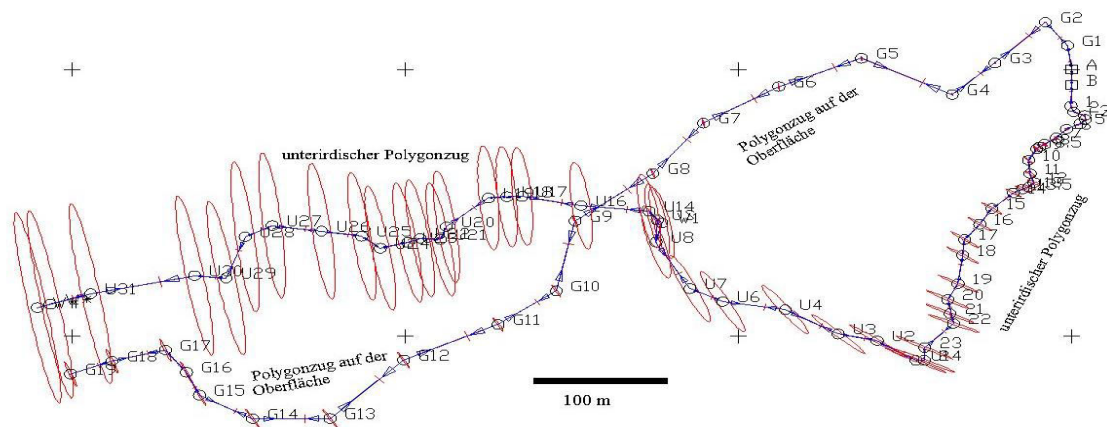


Figure 2: Polygon design

3 Detailed survey of the cave

3.1 Main purpose

During the campaign in 2003 a detailed three dimensional survey of the cave was carried out as the basis for the production of a spatial model. The cave is divided into a 1,7 km long course with the actual river and a 300 m long entrance, connecting the main course with the surface (fig. 3). The main course is closed at both ends by a siphon. In the main course of the cave near the entrance a weir is located, which has been constructed by the Indonesian administration.



Figure 3 : Course of the cave Gua Bribin

The spatial model region of the cave is beginning at the existing weir and follows the river course over a distance of about 1 km and ends short before the lower cave end. Here the river is dammed up to a lake of 400 m length. The newest reconnaissance has proved that this lake after the discharge siphon is continued for further 600 m.

In the region of the planned new barrage seven cross sections have been fixed. Additionally several kernel drillings for geological studies have been brought down. Both the cross sections and the drilling points had to be integrated into the cave model. The underground cross sections had to be transferred geometrically to the surface. Then a well suited place for the shaft drilling had to be fixed and a number of trigonometric points for the securing of the building site had to be installed.

3.2 Implementation

The polygon points for the detailed survey in the cave could be mostly fixed by plug marks in the rock. In the middle and at the end of the cave seven special consoles were screwed in the cave walls (fig. 4). As indicated in the design phase (see chapter 2.2) two independent polygon measurements were carried out in order to secure reliability.



Figure 4: Console measurements in the lake areas

Illumination problems in the close region could be solved by carbide helm lamps and waterproof halogen pocket lamps. For the underground construction area preliminary coordinates were calculated and transferred by the over ground polygon in the direction of the outside drilling area. In this part of the polygon also two independent measurements were carried out and adjusted. For the detailed measurements in the cave the tachymeter TCR 1102 was used in the reflector less modus. Because of visibility problems for the observer at the instrument the single points were marked by a second person with halogen lamps.

3.3 Particularities

The high air humidity of 100 % at a temperature of 26° rendered the measurements more difficult. The covering of the instrumental optic with damp often prevented a fast measurement. For the centring of the tripods a laser plumb would be of advantage against the classical optical plumbs. Severe problems came up at points with muddy underground and at the console points, where the measurements had to be carried out standing in the water or from a rubber dinghy. Often black manganese deposits at the walls reduced the laser impulse in such a way, that a distance measurement was nearly impossible. But corresponding to the information of Leica this problem can be solved in future campaigns by using the R300 module of the new 1200-series. Additional problems came up with a high material wear of all mechanical components, with the corrosion of the radio sets etc.

3.4 Results

The final polygon existed of 12 over ground and 66 underground points. A very important result is the relative accuracy between the underground end of the polygon in the construction area and the drilling point at the surface as the end of the outside polygon (fig. 5). The calculations with the adjustment software NETZ2D proved a relative error ellipse with semi axes of 19,5 cm in lateral direction and 1,6 cm in longitudinal direction. It follows that the drilling point at the surface can be traced out so, that with a probability of about 40% the deviation from the break through point in the underground is less than 20 cm.

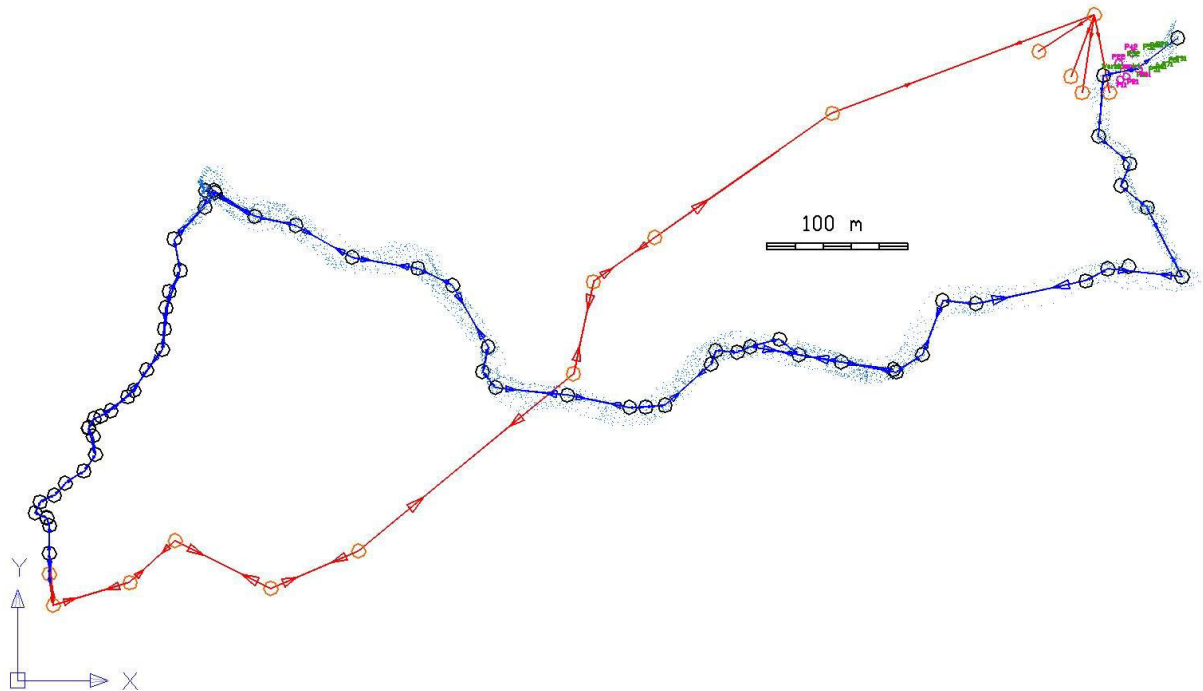


Figure 5: The polygon

For the three dimensional modelling of the cave altogether 5500 single points were measured. In comparison: This amount of points corresponds to more than 500 cross profiles over a cave length of 1 km, if one profile is existing of about 10 points.

4 Technical surveys

4.1 Fixing the shaft point

After Gua Bribin had been chosen as experimental cave and after first recognitions and measurements it came out that for the construction of the barrage, the material transport and the future maintenance of the installations a shaft at the end of the cave to the surface is indispensable. Concept and results of the polygon measurements for the connection between the underground construction site and the surface have been explained in the previous chapter.

The Indonesian administration constructed a new access road to the construction site in the middle of the hilly country. The project coordinators decided the following concerning the exact position of the drilling shaft. The centre of the shaft should lie 0,5 m out of the cave in one of the profiles, with a radius of 1,25 m it should have an

overlapping with the cave of only 0,75 m. This position was marked out on the construction site in order to concrete the starting shaft for the vertical drilling machine VSM 2500 of the firm Herrenknecht (fig. 6).



Figure 6: Vertical drilling machine VSM 2500

4.2 Shaft drilling

The drilling of a vertical shaft was a completely new ground for the firm Herrenknecht, wherefore no experiences concerning the steering of the machine during the drilling were available. Therefore at the GIK a concept was developed - once more taking into consideration appropriate technologies – under the principle to be simply to maintain and to be as cheap as possible. After thorough studies it was decided to use laser plumbs of the firm Leica, normally used for the centring of tripods, and to install screen targets on the machine (fig. 7). Additionally the machine operator had a big circular bubble to control the verticality of the 13 m high drilling machine (fig. 8).



Figure 7: Screen target



Figure 8 : Circular bubble

To control the movements of the machine in an optimal way, two laser plumbs and two corresponding targets were needed. The plumbs were installed on steel girders in the foundation after the machine was working completely in the underground. The situation of the plumbs was estimated by tachymetric measurements from the points of the local network on the construction site. The biggest problem was the fact that the lasers are normally used for short distances up to 3 m, but here up to 50 m depth. Both the levelling of the plumbs and the precise estimation of the foot points had to be carried out very careful. Over a height difference of 50 m the laser point has a blurred form of about 6 cm diameter and describes a circle around the exact foot point because of the remaining non-verticality, if the plumb is turned, from which the centre is representative. The whole depth of the shaft amounts to 100 m, what means that the whole construction had to be removed down, after the drilling had reached a depth of 50 m. Despite of all difficulties this simple and cheap system has proved extraordinary. The break through difference in the cave compared with the starting position at the surface was only 1,4 cm and 7 cm. After the completion of the shaft the accuracy of the polygon system and the marking out could be controlled finally by a plumbing over the whole 100 m. It came out that the difference between the measurements inside and outside the cave amounted only to 2,1 cm in both coordinate directions. That means that both dead polygons with nearly 80 points over a total length of 3 km had a deviation at the ends of less than 3 cm, a result which exceeded all expectations.

4.3 Building axes and deformation network

The construction area in the cave lies in a lake which is discharging by a siphon into another big lake. Therefore it was necessary to construct blocking dams in order to drain the working area. It was necessary to signalize several building axes for further outbreak and concreting works. All the axes of the planning have been transferred to the cave walls and marked by special screws. The construction is still lasting and should be finished in 2006.

An additional task was the installation of a network of control points for a future deformation surveying of the barrage. This was realized by special screws with plastic spheres in the cave ceiling. By tachymetric measurements from the existing

consoles the coordinates of these eight points could be estimated with an accuracy of better than 1 mm. So the assumptions for future deformation measurements are given.

5 Production of the 3D-Model

The three dimensional survey of the cave was carried out with reflector less distance measurements (see chapter 3.4) with a point cloud of about 5500 single points. This can be compared in principle with a 3D terrestrial laser scanning, the principle difference is the distance between the measured points, which lies in the order of magnitude of several meters instead of a few cm. The advantage of a small expenditure in hardware and time lead necessarily to a very rough recording of the geometry of the cave and to severe complications during the data processing with software packages principally outlined for laser scanning data. The use of a laser scanner was not taken into consideration because of the extreme climatic conditions of nearly 100% air humidity, under which a faultless operating of the scanner technique could not be guaranteed.

5.1 Triangular meshing

After the elimination of errors in the data material, the point cloud was brought to a triangular meshing in order to generate more or less automatically a 3D surface model. Two different software concepts have been applied: the so called two dimensional meshing with the product Autodesk Land Desktop and a three dimensional meshing with the software Wrap from the firm Geomagic. Wrap has been written for the data processing of laser-scanning point clouds mainly. The problem of great distances within the point cloud requires sometimes the use of the one or the other software. So for example the modelling of continuous shells for the floor and the ceiling using a two dimensional meshing was realized with Land desktop. On the contrary, for big pillars a three dimensional meshing was preferred which is connecting both shells together, a technique which is not to recommend for the whole cave because of discrepancies between point distances in the same shell and between the two shells, leading to an incorrect meshing. In such cases the manual correction takes more time than the time which is saved by a completely automatic meshing. The hybrid use of both systems is therefore the best processing technique in the present constellation.



Figure 9: Model of the existing weir

5.2 Modelling

All together it can be stated that an automatic generating of a 3D-model is still insufficient, a big part of the corrections of incorrect meshing was done using AutoCAD Map. In addition to these problems the existing weir in the upper part of the cave and the planned installations at the lower end had to be modelled and to be integrated. This modelling was realized by use of the clear geometrical forms of the installations (see fig. 9 and 10). The entire three-dimensional model of the cave and the artificial constructions could then be used for any further analyses.

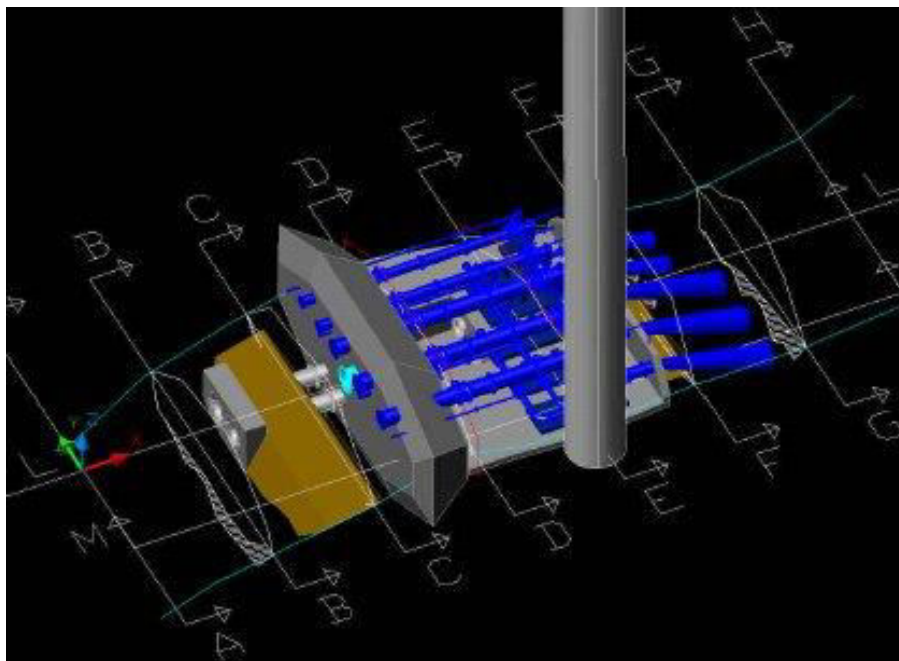


Figure 10: Planned barrage with micro power plant and access shaft

5.3 Visualisation

The software Discreet 3D Studio Max (version 5) was used for presentation and simulation purposes. This software allows to import existing models in DXF format and to visualise them. The program has indeed functions for modelling and treating bodies in the three dimensional space, but it is suited more for a free hand modelling than for working with fixed geometrical constraints. Therefore it is in the most cases cleverer from the geodetic point of view, to import the complete model and to do the pure visualisation with this software. The visualisation potential is extremely extensive. Nevertheless the model has to be partitioned first in single objects, because most of the functions can be applied only to elements such as points, lines, surfaces etc. These objects can be derived during the import directly from layers or colours of the CAD-model. As functions for example materials can be attributed to the objects. These materials must not only represent colours or bitmaps, it can be worked also with shadows, transparency, reflections, brilliance and many others more. For the visualisation such an attribution of materials is not sufficient. The model has to be illuminated individually by light sources, otherwise, it remains during the rendering, the proper visualisation, in the dark. This perspective is fixed by the occasional position of a camera.

In order to get movements and not only standing pictures, it is possible to animate not only the model objects but also the camera itself. The animation of the camera is made possible for example by flying through or over the model, the objects can be moved by animation relatively to each other. In the visualisation of the cave so called particle effects can be useful, with which flowing water, damp or smoke can be simulated. The work on the visualisation of the model of Gua Bribin in Indonesia is not yet completed.

6 Outlook

After the successful break trough of the shaft drilling in December 2004, the construction works have been initiated since the end of the rainy season in the springtime of 2005. Geological, geotechnical and water leakage studies near the underground construction site promise a successful damming up of the cave. Hopefully the whole installation can be put into operation in the year 2006.

In the meantime the ministry BMBF has initiated a new research program: integrated water resources management (IWRM) including a technology and know how transfer (capacity building). The partners of the running project, intensified by capacity from the Research Centre Karlsruhe (FZK), took part at a competition of ideas. They will present a new proposal "IWRM for the region middle-Java in Indonesia" (see Oberle et al. 2005) with the following targets:

- Reconnaissance of water resources in the karst region their development with regenerative and sustainable technologies,
- Improvement and optimization of the partly existing water supply system,
- Development of appropriate water preparation and waste water technologies,
- Installation of effective GIS-based Water management tools and socio economical and political realization strategies.

The geodetic sub project in preparation will be concentrated on the installation of a spatial information system (GIS), open for all project partners, and on a general survey-technical attendance of the whole project.

Acknowledgement

The authors thank the BMBF for the financial support of this project and the project partners for the excellent cooperation.

Literature

1. Nestmann, F. and P. Oberle (2002): Erkundung und Grenzen der Wasser- und Energie Bewirtschaftung großer unterirdischer Wasservorräte in Wonosari, Yogyakarta, Java, Indonesien. Feasibility study by order of the BMBF, Institute for Water Resources Management, Hydraulic and Rural Engineering, Universität Karlsruhe (TH).
2. Nestmann, F. and P. Oberle (2006): Erschließung und Bewirtschaftung unterirdischer Wasservorkommen in Karstgebieten auf Java, Indonesien. *Fridericiana*, Journal of the Universität Karlsruhe (TH), Heft 65 (in preparation).
3. Oberle, P., Kappler, J. and B. Unger (2005): Integriertes Wasserressourcen-Management (IWRM) in Gunung Kidul, Java, Indonesien. Final report for the feasibility study in order of the BMBF, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Universität Karlsruhe (TH).
4. Oppen, S. and R. Jäger (1991): Das Softwarepaket NETZ2D. *Mitteilungen des DVW-Landesvereins Baden-Württemberg* 38, 190-209.
5. BMBF-Verbundprojekt : <http://www.hoehlenbewirtschaftung.de>.

© Günter Schmitt, Martin Vetter, 2006

УДК 528.9

Florina Grecu, Laura Comanescu, Robert Dobre
University of Bucharest
Faculty of Geography
Roumania

THE CASIMCEA TABLELAND – GEOMORPHOLOGICAL CONSIDERATIONS

Casimcea overlaps the green schist between the Peceneaga-Camena fault (Alorman and Slava Rusa Valleys) to the north and Topalu-Tasaul fault to the south. The Alorman and Slava Rusa Valleys flow in opposite directions separating Casimcea from Babadag. The southern limit is sinuous, and its represented by the Carasu Basin.

Morphology, Casimcea is formed of wide plateaus which incline towards south-west, south and south-east, in this same direction the plateaus grow wider and their fragmentation decreases. The valleys have wide headwaters, their middle course is much deepened and their inferior course is strongly alluviated.

A special image is given by the pediments and inselberg-like outliers. The pediment formation is due to thermo-pedimentation, and their development takes places in arid environment.

On the loess-like deposits which follow perfectly the preexisting landforms there are pipping steep slopes, the crumbling glacis.

The landforms mould on the green schist, typical for the intensely folded structures, is not obvious in the landscape due to the intense leveling erosion.

These landforms are almost horizontal, fragmented by symmetrical and asymmetrical valleys and general massive. On the contact line between limestone and schist formed limestone dammed depressions such as: Mireasa and Targusor.

© Florina Grecu, Laura Comanescu, Robert Dobre, 2006

УДК 528.9

Florina Grecu, Catalina Raboj, Laura Comanescu, Robert Dobre

University of Bucharest

Faculty of Geography

Romania

GEOGRAPHIC RISK PHENOMENA THREATENING THE JIULUI DEFILE

The Jiului Defile is located in the Meridional Carpathians, being cut between the Parang Mountains (east) and the Valcan Mountain (west). It develops on 33 km between Livezeni (556 m) and Bumbesti – Jiu (305 m) descending 251 m with an average slope of 7.6 m/km.

The risk phenomena manifested in this area are determined by: geologic structure (sediments, granite, and schist), geomorphologic factors (drainage density – over 2 km/km², relief energy – over 200 km/km², and present-day geomorphologic processes – collapses, gullies, land slides), climatic factors (at the Petrosani meteorological station the calculated annual average is of 7.60 C, with a January average of -4.50 C and a July average of 18.50 C; the annual average precipitations vary between 920 mm as registered at the Bumbesti – Jiu station and 1270 mm at the Parang station located at 1585 m), biogeographic (*Fagus* forests) and anthropic factors (forest clearings, the road and the railway).

The most destructive types of geographic risk affecting this area are: geomorphologic (collapses, gullies, land slides, rollings) and climatic (fog and frost)

Taking into account the intensity and frequency of risk we distinguished areas of great risk (Lainici – Pietrele Albe – Polatistea – Strambuta), areas with average risk (Bumbesti-Jiu – Lainici) and areas of low risk (Strambuta – Livezeni).

© Florina Grecu, Catalina Raboj, Laura Comanescu, Robert Dobre, 2006

БАЗИСНАЯ КАРТА САКСОНИИ

Резюме

„Базисная карта Саксонии“ (далее по тексту „БКС“) – это объединение информационных служб, которое представляет круглосуточный доступ к геодезической информации Федеральной земли Саксонии (ФРГ) через Интернет.

Большим объёмом геодезической информации можно пользоваться бесплатно. Однако определённые блоки информации предоставляются за оплату. Пользователь не нуждается в дополнительном программном обеспечении для просмотра и обработки получаемой информации через картовый просмотрщик (view).

Другой способ визуализировать получаемую информацию состоит в возможности подключения к пользовательским просмотрным программам.

„БКС“ имеет также бесплатную службу поиска адресов.

Общие сведения

Доступ к „БКС“ через Интернет открывает широкий спектр прикладных возможностей для пользователя. Получаемую информацию можно визуализировать через предоставляемый „БКС“ картовый просмотрщик. Наибольшая эффективность использования получаемой информации достигается в том случае, если геоданные интегрируются в решения производственных задач. При этом службы геоданных связаны с программами пользователя. Это могут быть как Интернет-ГИС-программы, так и геоинформационные системы (ГИС).

Использование Интернет-технологии имеет следующие преимущества:

- Отпадает необходимость в хранении и предварительной обработки геобазисных данных,
- Постоянный доступ к самым актуальным данным,
- Просмотрщик карт прост в использовании с любого персонального компьютера со стандартным браузером,
- Число пользователей не ограничено.

Основными элементами „БКС“ являются службы геоданных.

Службы геоданных – это геоданные, тесно связанные с программными компонентами, которые постоянно доступны в Интернете. В зависимости от рода данных службы геоданных можно разделить на платные и бесплатные.

Бесплатные службы геоданных

К бесплатным службам геоданных относятся:

топографические карты, аэрофотоснимки, аэрофотоснимки наводнения 16.08.2002, а также службы поиска адресов. Ввод данных доступа не требуется.

b@sis karte sachsen

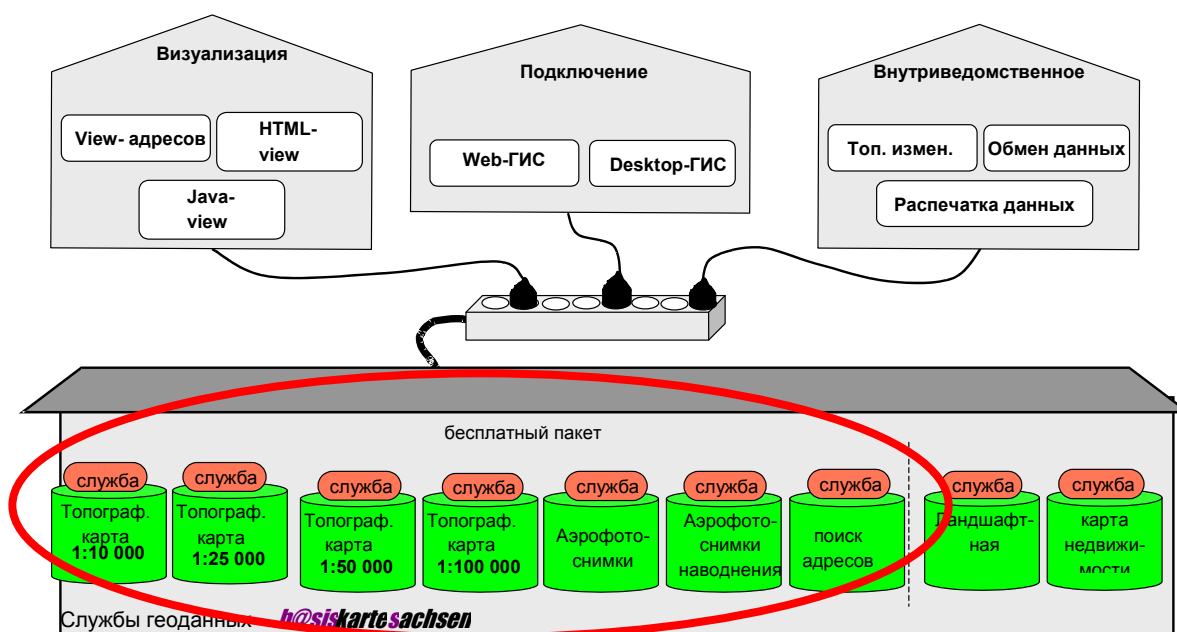


Рис. 1 - Основной пакет служб геоданных (бесплатный)

Платные службы геоданных

К платным службам геоданных относятся: цифровые ландшафтмодели и карты недвижимостей. На платный пакет служб геоданных можно подписаться ежегодно за определённую плату. Стоимость, а также возможные скидки сведены в таблице пошлин. Для получения доступа к платному пакету необходимо подать заявление, после чего пользователь получает данные доступа.

b@sis karte sachsen

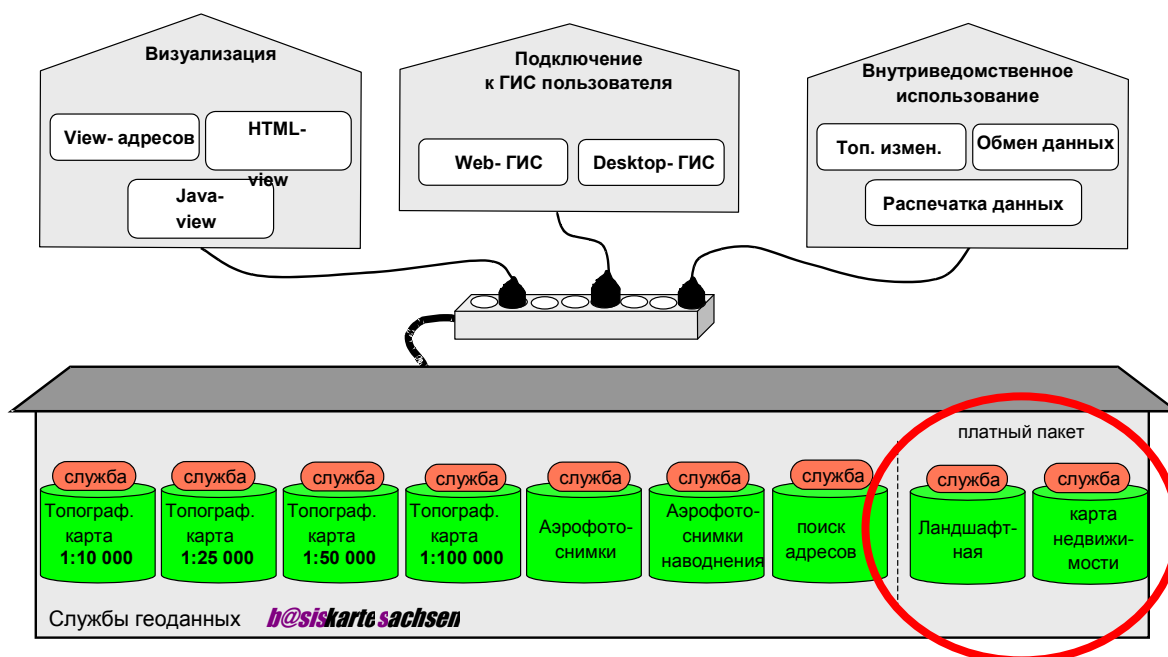


Рис. 2 - Расширенный пакет данных (платный)

Описание служб геоданных

Общие характеристики служб

Сервис: WMS

Версия: 1.1.0

Программы: GetCapabilities, GetMap

Поддерживаемые координатные системы(SRS):

– DHDN (основная сеть триангуляции Германии), географические координаты

– DHDN, Гаусс-Крюгер Зона 4

– DHDN, Гаусс-Крюгер Зона 5

– ETRS89, географические координаты

– ETRS89, UTM Зона 33N

– WGS84, географические координаты

– WGS84, UTM Зона 33N

Интернет-адрес бесплатных служб геоданных:

www.landesvermessung.sachsen.de/ias/basiskarte/service/register

Другими специфически служебными качествами являются:

Служба геоданных	Краткое описание
Аэрофотоснимки - бесплатно-	- аэрофотоснимки, сканированные и дифференциально откорректированные - по всей территории, без разрезов, чёрно-белые - разрешение: примерно 0,4 m - компримированные растровые снимки - рекомендуемое увеличение : не больше чем 1 : 1 000 - цифровые электронные карты - актуальность и доступность
Аэрофотоснимки сделанные во время наводнения 16.08.2002 - бесплатно-	-аэрофотоснимки, сканированные и дифференциально откорректированные - район реки Эльбы, без разрезов, чёрно-белые - облёт районов управления по водным путям и судоходству „Восток“ - компримированные растровые снимки - разрешение: примерно 0,2 m - рекомендуемое увеличение: не более чем 1 : 1 000
Топографическая карта 1:100 000 (ТК 100) - бесплатно-	- карта местности в масштабе 1 : 100 000 - по всей территории, без разрезов - компримированные растровые снимки топографической карты - Layer: план, имя, водные ресурсы, рельеф, вегетация - топографические карты - растровые снимки топографических карт - актуальность и доступность
Топографическая карта 1 : 50 000 (ТК 50) - бесплатно-	- карта местности в масштабе 1 : 50 000 - по всей территории, без разрезов - компримированные растровые снимки топографической карты - Layer: план, водные ресурсы, рельеф, вегетация - топографические карты - растровые снимки топографических карт - актуальность и доступность
Топографическая карта 1 : 25 000 (ТК 25) - бесплатно-	- карта местности в масштабе 1 : 25 000 - по всей территории, без разрезов - компримированные растровые снимки топографической карты - Layer: план, водные ресурсы, рельеф, вегетация - топографические карты - растровые снимки топографических карт - актуальность и доступность
Топографическая карта 1 : 10 000 (ТК 10) - бесплатно-	- карта местности в масштабе 1 : 10 000 - по всей территории, без разрезов - компримированные растровые снимки топографической карты - Layer: план, водные ресурсы, рельеф, вегетация - топографические карты - растровые снимки топографических карт - актуальность и доступность
Цифровая ландшафтная модель	- вектор-базированная, объектно-структурированная

Описание ландшафта	информационная система - по всей территории, без разрезов - презентация выбранных видов объекта из фонда векторных данных в реальном режиме времени - ATKIS-DLM - актуальность и доступность
Автоматизированная карта недвижимости (ALK) Изображённая часть кадастра недвижимости	- описывает земельные участки со своими границами, их действительное использование, а также здания - вектор-базируемая, объектно-структурированная информационная система - презентация из фонда векторных данных в реальном режиме времени - без разрезов - по техническим причинам в настоящее время ещё не интегрирована: автоматизированная карта недвижимости саксонских геодезических ведомств Лейпцига, Кемница и Дрездена - автоматизированная карта недвижимости Layer в службе геоданных: согласно плёнке автоматизированной карты недвижимости - актуальность данных в службе геоданных: временное отклонение минимум 24 часа по отношению к состоянию в государственном геодезическом ведомстве

Карточный просмотрщик - view

Для визуализации получаемой информации пользователю «БКС» предлагается два вида просмотрщика (Java или HTML). При помощи этих Интернет-ГИС-приложений пользователь имеет возможность сохранять и распечатывать полученные изображения (тексты, карты), а также комбинировать (тренировать) одни геоданные другими. Полученная информация может быть использована только для личного некоммерческого назначения.

Источники

www.landesvermessung.sachsen.de

© Аксель Польшманн, Уве Цехендорф, 2006

TERRAIN SUITABILITY FOR A RAILWAY CONNECTION BETWEEN BUCHAREST AND ITS INTERNATIONAL TERMINAL

The easiest and least time consuming way to travel from one place to another is definitely by plane. But due to specific matters airports are situated quite far from the city center, where in fact one needs to be. So an important question would be: which is the best way to travel from the airport on? Big cities seem to have found it: known as Leonardo Express in Rome and even simpler in Paris RER, the high speed trains are nowadays the easiest, most economic and comfortable means of transport from the airport to the city center.

Bucharest is by all means a big city. It has over 2 300 000 inhabitants, a diverse cultural patrimony, good hotels and an increasing number of places to spend time in. But, all these possibilities are less luring if you take into consideration traveling by car. The traffic is really chaotic in Bucharest, due to the poor and underrated infrastructure. The main airport of the city is located 14 kilometers north from the city along the DN 1, one of the busiest roads possible. Taking into consideration the fact that Bucharest is presently developing along this road also used as access gate towards Transylvania and Moldova, great regions of Romania, we can better understand the traffic conditions in the area. Therefore it is easy to infer that the traveling time to and from the *Henri Coanda* airport is doubled or even tripled by these circumstances.

Considering all these facts we must ask ourselves the following question: “why is there no rail connection between Bucharest and its airport?” The project of a subway train that will connect the airport to the underground system was already developed. But such a project is extremely expensive and building the infrastructure would take several years.

There is always the possibility though to develop a rail connection between the airport and the city following the example of others. Such a project would definitely be less expensive since it could be accomplished by making use of the already existing infrastructure. It would only be necessary to build the missing links - Bucharest – Urziceni railway passes at only 2 kilometers from the airport. Such a project would definitely improve the access from the airport and it will also increase the quality standards of the trip.

A rail connection Bucharest - airport offers several advantages. The traveler benefits because the mentioned solution is safer, more comfortable and less polluting and intrusive for the environment if compared to other similar projects. The traveling time is very much reduced, less than 20 minutes from the North Railway Station which is very well connected with the urban transport facilities; in the near future this train station would become an important transport terminal. On the other hand the

administration has much to gain since this investment is less expensive as compared to the subway project and the time necessary to build it is shorter, 6-10 months are enough to build the lacking 19.6 km. Another strong point would be the relief's suitability and the possibility to upgrade the existing infrastructure.

© Florina Grecu, Robert Dobre, Laura Comanescu, Catalina Raboj, 2006

УДК 528.9

Florina Grecu, Nicolle Mathys, Ion Zavoianu, Laura Comanescu

University of Bucharest

Faculty of Geography

Romania

THE DRAINAGE NETWORK AND THE EROSION VULNERABILITY IN THE MORPHOHIDROGRAPHICAL BASINS IN ALPIN MOUNTAINS

Le réseau de drainage et la vulnérabilité à l'érosion en bassins-versants alpins (Draix – Alpes, Françaises; Slanic – Carpates Roumaines)

Ce travail se propose de présenter le rôle de l'érosion linéaire dans l'évaluation de la vulnérabilité des terrains au niveau de deux bassins versants situés dans des aires d'orogène, en utilisant des méthodes complexes (morphométriques, quantitatives, SIG, cartographie géomorphologique de terrain).

On y présente des résultats de la recherche menée dans le cadre du Programme d'Actions Intégrées (PAI) Brâncuși Les bassins versants expérimentaux de Draix englobent cinq petits bassins versants de taille et taux de végétation variés: Laval, Brusquet, Moulin, Roubine et Francon (Alpes de Haute-Provence; des marnes noires jurassiques, extrêmement érodables et très favorables au ravinement) et sont intégrés dans le bassin hydrographique de Bouinenc (ordre 6 en système Horton – Strahler, à l'échelle 1 : 25 000). Le bassin hydrographique de Slănic (433km², ordre de grandeur 6) est situé dans la région de la Courbure de l'Arc Carpatique et Subcarpatique, formée des roches appartenant au flysch carpatique et subcarpatique. C'est une région sismique avec une néotectonique active et intense. L'analyse quantitative (Grecu et all., 2004) indique dans ce bassin-versant une vulnérabilité différente à l'érosion en fonction du type de la roche. Le bassin de Laval (86 ha) a l'ordre 6 (à l'échelle 1 : 5 000) et 4 (à l'échelle 1 : 25 000). On y a déterminé des indices morphométriques qui indiquent l'état de non-équilibre du bassin versant et la forte vulnérabilité à l'érosion linéaire et régressive: le rapport de confluence général $R_C = 4,3$; les rapports de confluence partiels $R_{C1} = 7,00$ $R_{C2} = 6,5$; l'indice d'état du bassin versant pour l'ordre de grandeur $I_{Rn} = 47\%$ (valeur indiquant un système en état de non-équilibre); la fréquence et la densité moyenne des ravines etc. L'érosion spécifique moyenne varie de 91 à 270 t/ha.an dans Laval et est de 20 t/ha.an environ dans le Slanic. La carte de la vulnérabilité à l'érosion hydrique pour le bassin de Laval montre que les surfaces les plus vulnérables sont celle sans végétation et dépôts superficiels qui correspond aux aires avec les organismes d'ordre 1, 2 et 3.

© Florina Grecu, Nicolle Mathys, Ion Zavoianu, Laura Comanescu, 2006

УДК 528.9

U. Sarangerel (Ph.,D), e-mail: cartography_mongolia@yahoo.com

Mongolian Association of Geodesy & Cartography

Общество Геодезии и Картографии Монголии,

Mongolian Academy of Sciences, Institute of Information & Remote Sensing

Институт Информатики и Дистанционного зондирования Академии Наук Монголии

Ch. Saynbayar, e-mail: Erel_cement@mongol.net

EREL cement factory, Darkhan city, Mongolia

Цементный завод, город Дархан, Монголия

G. Batbayar, e-mail: batbayar@arvis.ac.mn

G. Bulgan, e-mail: bulgan@arvis.ac.mn

Mongolian Academy of Sciences, Institute of Information & Remote Sensing

Институт Информатики и Дистанционного зондирования Академии Наук Монголии

THE BASE FOR NATIONAL GEOGRAPHIC INFORMATION NETWORK- TOPOGRAPHIC INFORMATION DATABASE MONGOLIA AT SCALE 1 : 500,000

**Типовая основа для национальной географической информационной сети-
топографическая информационная база Монголии в масштабе 1 : 500 000**

Introduction

Map Viewer v2005.1.0 (Fig. 1) developed by Naranchuluun Narankhuu, student from Institute Mathematic & Computer Sciences, National University Mongolia in June 2005. It should be mentioned that the monitoring system for information database **Map Viewer v2005.1.0** is linked to **Topographic Information Database Mongolia (TIDM)** at scale 1:500,000, next to **Topographic Information Database** (Fig. 2) of Ulaanbaatar capital (**UBTID**) at scale 1:10,000 for the first time. **Map Viewer v2005.1.0** is very easy to use & possible to manage with different software products such as ESRI, LICA, and ERDAS.

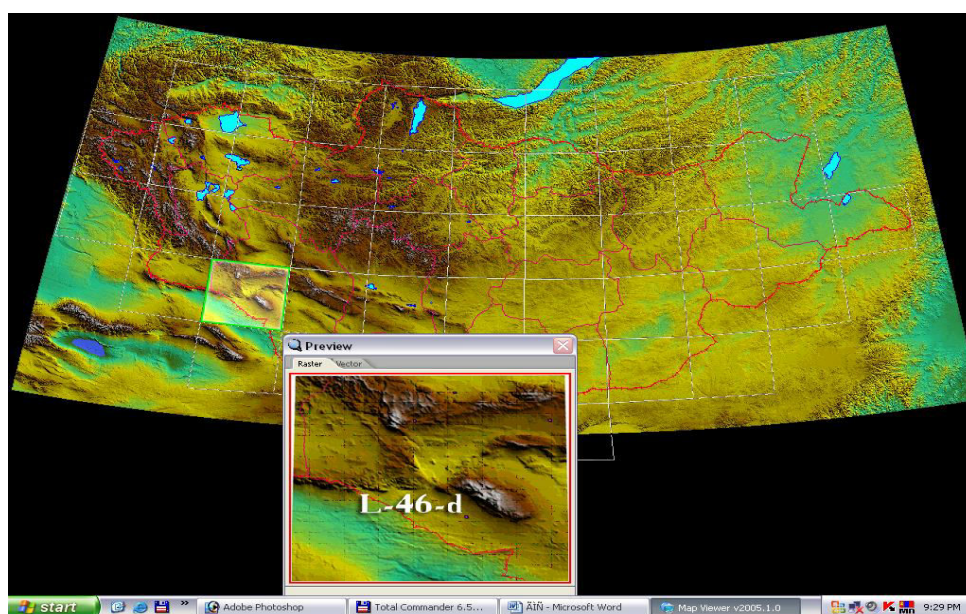


Fig.1. TIDM Manager-Map Viewer v.2005.1.0. (©N. Narankhuu-2006)

Actually **Map Viewer v2005.1.0** managing **TIDM** at scale 1:500000, **UBTID** at scale 1 : 10,000 jointly with Map Info Professional (48+21 wor. files) & Arc View (48 apr. files).

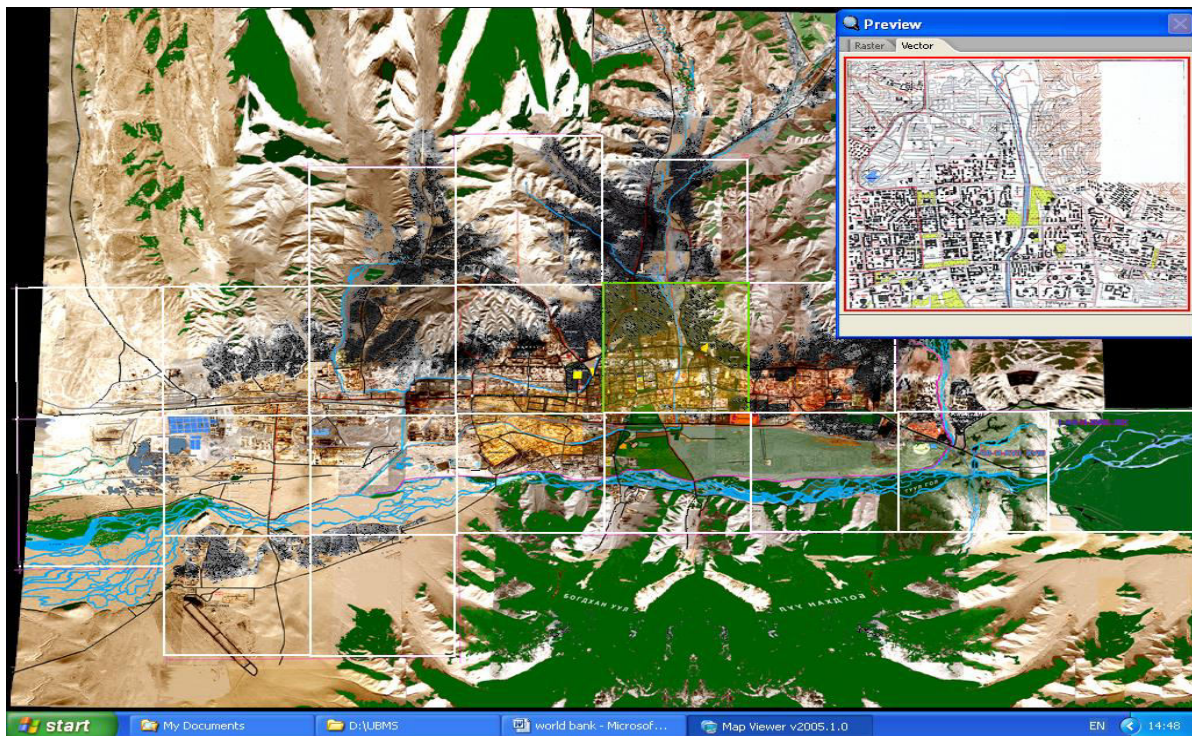


Fig.2. UBTID Manager-Map Viewer v.2005.1.0. (©N. Narankhuu-2006)

Mongolian base mathematic functions for topographic maps analogous at scale from 1 : 500,000 to scale 1:1000. Our country covered by 48 sheets of topographic maps at scale 1:500,000, Ulaanbaatar city covered by 21 sheets of topographic maps at scale 1:10,000. The mathematic systems of Mongolian topographic maps goes from small scale 1 : 500,000 to large scale 1 : 5,000, that conformal projection Gauss-Kruger zones of 6° & scales 1:2,000-1:1,000 conformal projection Gauss-Kruger zones of 3°, datum Pulkovo-1942. Therefore, the 48 lists of digital topographic maps Mongolia at scale 1:500,000 can be served as a basic **Topographic Information Database for National Geographic Information Network** (Fig. 3) Mongolia.

Accordingly 21 lists of digital topographic maps Ulaanbaatar city at scale 1 : 10'000 can be served as a basic **Topographic Information Database for Urban Information Database Ulaanbaatar City**.

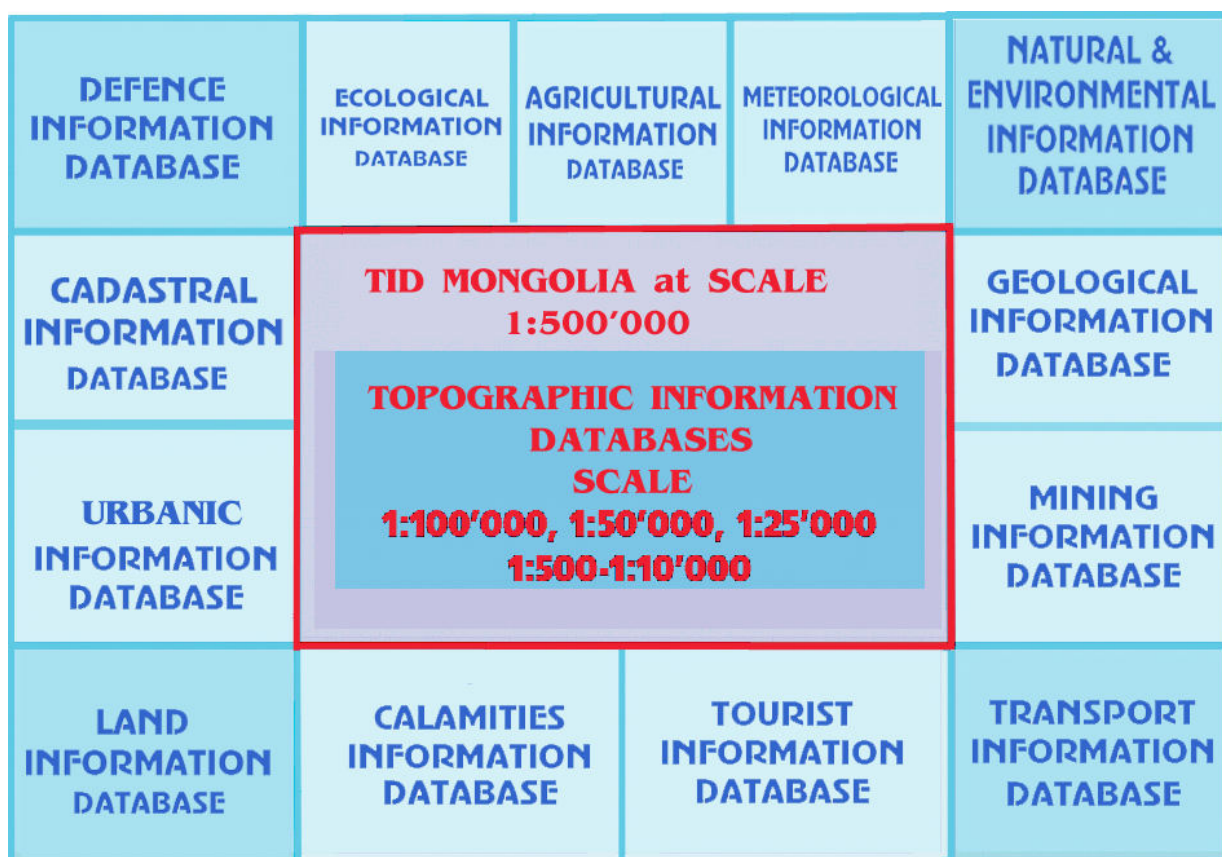


Fig.3. Review of National Geographic Information Network Mongolia

TID Mongolia at scale 1:500,000 includes 4727 files, 2933 folders, 48 topographic information databank (48 workspace file Map Info), which bank includes 6-8 Sub bank, size on dick 1,388,614 K (Fig. 4). Digital maps for topographic elements geocoded at GK projection zones 16-19 & figured as the matrixes, attributes for each topographic element correctly compiled. Before translating Map Info tab. files into Arc View shp format the projection is transformed to UTM projection 16-19 zones, datum WGS-84. Project files of Arc View including 48 databank, 4222 files, 984 folders, and size on dick 211,634 K.

UBTID at scale 1:10,000 includes 1071 files, 40 folders, 21 topographic information databank, size on dick 619,998 K. Digital maps for each topographic elements geocoded at GK projection zones 16-19 & figured as the matrixes, attributes for each topographic elements correctly compiled.

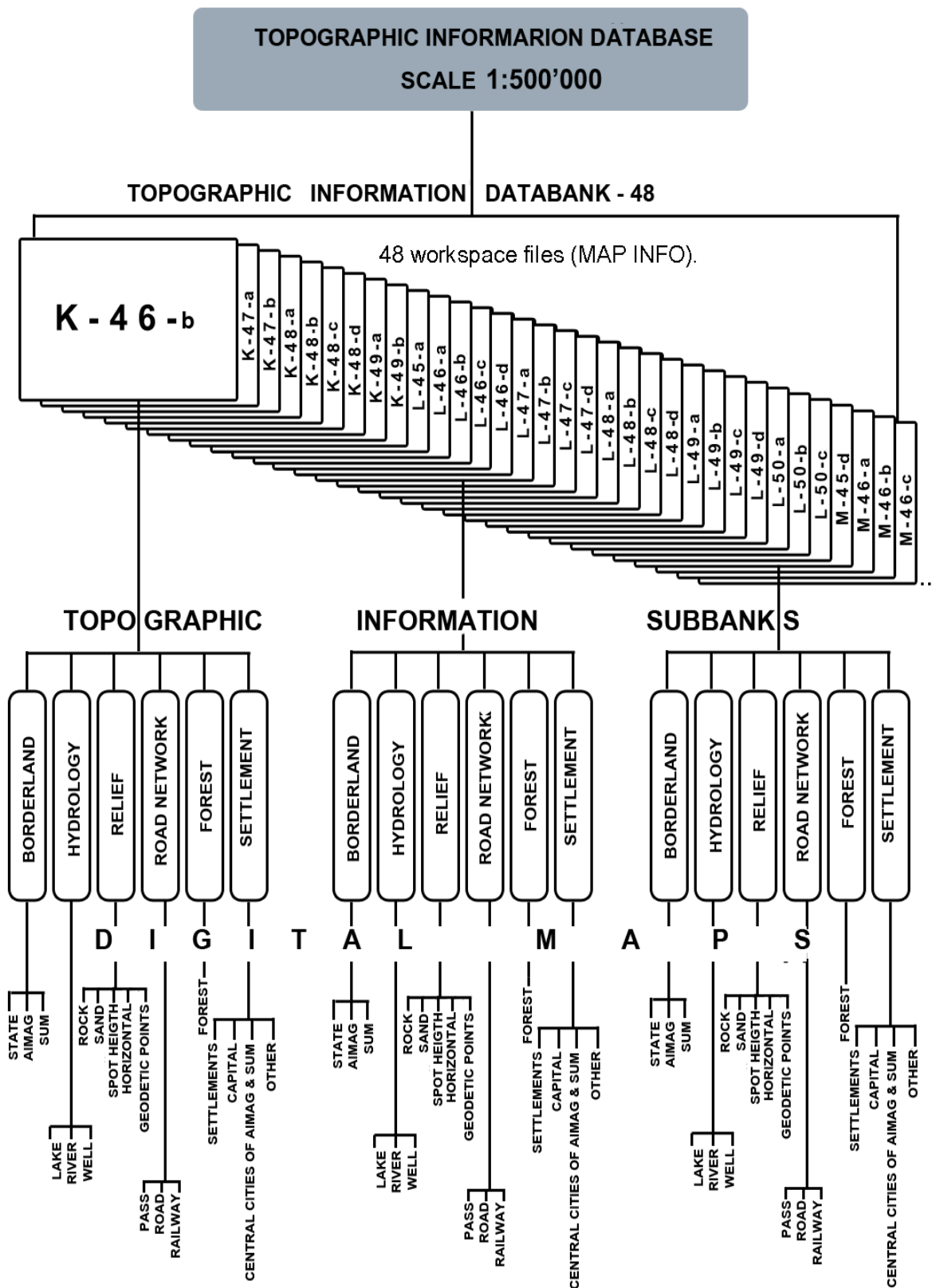


Fig. 4. Structure of TIDM at scale 1 : 500 000

References

1. Иванников А. Д. и др. (2001): Геоинформатика, 30-55,198-200, Макс Пресс, Москва.

2. Sarangerel U, Galsan P. (2002): Converting from 3 phases to 4 in automated mapping. International conference-Geographical study of central Asia and Mongolia, 67-68, September, Ulaanbaatar.

3. Sarangerel U, Enkhtovshin B. (2005): The base for Mongolian Geographic Information Network-Topographic Information Database at scale 1:500,000. International conference-Natural resources & sustainable development in surrounding regions of the Mongolian Plateau, 206-207, August, Ulaanbaatar.

© U. Sarangerel (Ph.,D), Ch. Saynbayar, G. Batbayar, G. Bulgan, 2006

УДК 528.9

Ch. Bolorchuluun

National University of Mongolia, email: bolorchuluun@num.edu.mn

D. Tuvshinbayar

Mongolian University of Agriculture

Ulan Bator, Mongolia, email: dtuvshinbayar@yahoo.com

SYSTEMS FOR INTEGRATED 3D GEOINFORMATION

Introduction

The basic idea of integrating DTM-TIN and 2D GIS data has already been mentioned by Peucker ET AL. (1976). Since then various authors have worked on this topic. As an important property of an integration process, stipulated that the shape of the DTM-TIN should not be altered while adding nodes and edges of the 2D GIS data to it.

One main focus of current geographic information systems (GIS) research is the extension of traditional 2D data structures to incorporate height information (Goodchild, 1997), thus, to integrate digital terrain models (DTM) or products derived from them into GIS. These sloppy words already lead to the first clarification that is required.

The restriction of this research to 2.5D models has several reasons. Firstly, real 3D models are already discussed by numerous authors who work on 3D city models. Details of these approaches may hence be found there. Secondly, the existing national core geospatial data bases are mainly 2.5D, i. e. they provide a unique height value for a position in the horizontal plane in contradistinction to real 3D applications where a multitude of height values may exists at each position. It is one major intention of this article to discuss procedures which use as input the existing data sets. This will allow for upward compatibility of the existing data sets with new methods and thus will save investments that have been made.

A 3D geoinformation system (3D GIS) that integrates all the necessary elements into a 3D spatial model, and provides functions efficiently to create and utilize the 3D spatial model, must be constructed to fulfill several needs from the earth science community. Using a tool set provided by a 3D GIS, a 3D spatial model can be constructed to permit the virtual performance of many tasks that would otherwise be

carried out in reality, or may be too difficult, expensive, or destructive to carry out at all.

In general, a 3D GIS should aim to integrate all the necessary elements of the spatial model and functions to create and utilize the spatial model efficiently. This chapter therefore analyses the architectures of GIS's in order to assess their present status and development trend, to assist the definition of the direction of the related research and stimulate the development of 3D GIS that can readily be used. The first part of this chapter reviews some general aspects of systems for integrated 3D geoinformation, their functional components, and some related and available technological developments to support their functionality with respect to the user's perspective. The main concern is system usage, investment, maintenance, and productivity and the reliability of information. With respect to an integrated 3D spatial model as a basis of 3D GIS, besides taking into account present developments in information and communication technology, four evolutionary stages of system architecture for 3D GIS are distinguished, ranging from loosely to well-constructed systems. It is also helpful to identify the technological developments to which the present thesis contributes. The last part of the chapter reviews current attempts in conceptual design aiming at a robust 3D spatial model with the potential to be the basis of a 3D GIS. This review helps evaluate the necessity for further development of the more integrative data model.

1. General Aspects

The different stages of the design explained in chapter 2 lead to the actual implementation of a geoinformation system used to produce a 3D geo-spatial model in the form of a database which contains a selected set of aspects of the reality. In addition to the production role of spatial model, a GIS should also play an interface role between human users and the database. This role includes data entry, information query and processing, and presentation. Data entry translates human knowledge into a component of the model conforming to the data model and data structure. Information query performs the reverse operation, by translating the electronic components into information made understandable to users by the presentation mechanism.

Another important role of the GIS is the maintenance and management of the database. The GIS should make updating the database possible. The management role is the handling of various requests from users and the activation of the appropriate operation on the database in response to a user's request.

Effective exploitation of the technological development requires the spatial model to:

- Include three-dimensional (3D) aspects of reality;
- Allow both direct and indirect representation of the determinate and indeterminate spatial objects respectively, at the desirable level of abstraction;
- Be capable of accommodating data from various sources and seamlessly integrating them into one spatial model.

The first requirement results from the fact that only limited spatial analysis of our 3D real world was possible until we had a 3D model. The direct representation referred to in the second requirement is suitable for determinate spatial objects. The original observations must be maintained by the model, so that knowledge about the reality is not degraded. Such a postulate favors the vector structure as a suitable basis of the model because the vector structure is resolution independent. Regarding the indeterminate spatial objects, their geometry cannot be directly represented in the model. An indirect representation must be provided through the spatial units formed from the proximal neighbours (which are, in fact, the direct representations of determinate spatial objects). Information about the indeterminate spatial objects can be obtained from the model by means of the classification or interpolation of property values of the neighbours, using those spatial units. Various forms of the (direct) representation of determinate spatial objects (that is to say, in the form of points, lines, surfaces, bodies) should contribute to the derivation of the spatial extent of the indeterminate spatial objects. The relationships between the neighbours given by the direct representation must be used as constraints to make the derivation result accurate.

The next requirement points out the necessity of multiple representation in semantic terms (an object may have different meanings to different observers) and dimensionality (ranging from OD to 3D). The spatial database of a GIS should have the capability of storing and maintaining multiple representations. Integrating data from various sources implies that redundancy must be minimized, and human intervention is probably required to decide how uncertainty should be resolved. Moreover, to achieve a spatial model that represents well the relationships between real world objects, the underlying data structure must permit the unification of various types and components of representation of spatial objects {Pilouk and Tempfli 1994, Pilouk et al 1994}.

2. Functional Components

The requirements listed above are supported by the five major functional components of a system for integrated geoinformation outlined below. This outline may be derived from existing 2D CISs and other systems that deal with 3D spatial modelling, such as CAD, DTM.

(1) Data acquisition

As a result of the limited capability of each sensor and for economic reasons, different sensors are used to acquire different types of data where georeferencing systems may not be the same and accuracy can vary. Problems of uncertainty arise when data from different sources have to be integrated.

There are different stages of data acquisition:

- Primary; the acquisition of raw data taken from the real world directly, for example, from terrestrial surveys, aerial photography, satellite imagery by remote sensing, synthetic images by radar, GPS, laser profiles

- Secondary; the extraction of information from the raw data or other existing documents, for example, by 2D map digitizing, or 3D digitizing in a stereo model, automated object recognition and reconstruction, interpretation, and classification.

Data input may be on-line if the data acquisition device can directly transmit data to the system database during acquisition, or off-line if the data is recorded in temporary storage and transmitted to the system database at a later stage. The system should provide adequate input channels for the different types of data acquisition.

The collection of attribute data must also be included at this stage. Such compilation may be possible during the information extraction from raw data if there is some prior knowledge about the objects; otherwise, field work may be necessary for collecting thematic data directly from the reality.

3D data may be obtained by means of measurement for example, terrestrial surveys, GPS, laser profiles, stereo digitizing, or by computation, for example, image matching, and monoplotted and should be georeferenced.

If the geometric measurements are carried out by a human operator, it is beneficial to use a topological structure for data storage. A topological structure provides an opportunity for the operator to acquire directly the spatial relationships between the spatial objects, and also to verify these relationships with the representation in the database at the time of data acquisition. Direct recording topology is more reliable than creating the relationships in a later stage. One thing for certain is that the creation of 3D spatial relationships based, for example, on metric computation is rather complicated. As yet, there are few algorithms available to automate this process; some are still in the process of research and development. The studies of 3D data acquisition by Bric (1993) show that a systematic approach that also captures some of the initial spatial relationships realized by a human operator during the time of data acquisition can significantly simplify the creation of a more complete topology at a later stage.

(2) Data structuring

Regardless of the data format, the data set obtained from the data acquisition must be transferred to this component for structuring in a proper format. The database management system must be able to recognize this format. It must also comply with the conceptual, logical, and internal design.

(3) Data storage and management

Data organized in the required structure must be maintained in the storage media as a database. Many databases may be stored within one system. A subset of real world aspects is represented by a database in which the relationships between the data elements created during data structuring must be kept valid and up to date. The overall management of each database and its elements is the responsibility of the DBMS. This should provide the tools to deliver data to the client and ensure the validity and consistency of the database, especially when the state of the database has been changed by such operations as insertion, deletion, or modification of data elements. 3D GIS, this management task is one of the most important, because many

functions, for example, hidden line and surface removal, and shading, exploit specific data structures to speed up the operations. The typical solution is to perform data conversion to reorganize the data into the required structure for each operation.

(4) Data processing

Data processing with respect to 3D modelling is far more complex than in 2D. A large number of data processing tasks, spatial and non spatial analyses, must be handled by this component of the system. Such simple tasks as the searching of data components using certain criteria and retrieving them from the database are known as query. Other processes might involve complex computation or classification, for example, coordinate transformation, computation of slope from DTM, interpolation of contour lines or surfaces, computation of mean population per unit area, cartographic generalization, flow accumulation, or shortest path determination.

(5) Data output and information presentation

After obtaining the results from data processing, the information needs to be sent on as output to other media, or presented in an appropriate way. This output component of the system should provide a high quality cartographic and presentation capability to portray the information to users. The information may be in the form of graphics, tables, or reports. The graphic presentation of 3D geoinformation usually needs further processing to obtain an acceptable level of realism. These processes include perspective transformation, surface illumination, hidden line-surface removal, or texture mapping. Since the display media are still limited to 2D- paper, or a monitor screen- the final display still has to operate in a 2D manner, for example, by drawing pixels, line segments, and filling polygons.

Each of these output components of a system has been separately developed in the past and somehow many of these components have become disciplines of their own. The next section reviews the pertinent technologies related to each component.

3. Technological Supporting Functionality of 3D GIS

The emerging technologies related to 3D GIS are reviewed in this section. Those needed for common operations or routine tasks should be regarded as 'core components' of GIS. The others that strengthen and extend the functionality of a component GIS for special tasks may be regarded as 'supplementary components'. Justifying which of the following should be considered core components and which supplementary depends on the major application of GIS.

- Map digitizing, although only providing 2D information, is still an important technology for data acquisition provided. The completion of 3D coordinates for an object represented by a surface may be achieved by interpolating height from the DTM at every planimetric location. In many representations, especially in the case of man made objects of regular shape, like buildings, the 2D components like the footprints of the buildings, or their roof outlines shown on the 2D map, are still crucial

information requiring further, but rather simple 3D completion by supplementing data in the form of height and elevation (Gruen et al 1993, Bric 1993).

- Terrestrial surveys make the acquisition of 3D information possible. State-of-the-art surveying instruments are supported by portable computers for recording field data that can be directly transferred to the GIS workstation.

- Global Positioning Systems (GPS) provide another means of 3D data acquisition. GPS is based on NAV star satellites that help determine positions in the WGS coordinate system.

- Borehole and seismic surveys provide the means for 3D data acquisition specific to geological applications. This type of data acquisition is rather expensive and cannot provide comprehensive data to represent the real situation.

- Photogrammetry, in many cases, provides the means to obtain 3D information. Measurements can pass directly into a stereo model of photographs or images taken from the aircraft or satellite, and simultaneous interpretation of some spatial relationships may also be possible. The indirect approach to producing 3D information is usually based on such digital techniques as object recognition and image matching. A digital photogrammetric workstation that exploits computer graphics also makes it possible to overlay vector data with raster images, providing 3D visualization in stereo mode that helps verify the data contents. This is very convenient for change detection.

- Digital Terrain Model is used for the representation of relief. Two forms of DTM are typically used: regular-grid (also known as raster DTM); triangular irregular network (TIN). DTM supports various computation-based analyses in GIS, such as slope, aspect, visibility, volumes, contour lines, surface area, the derivation of a morphological feature.

- Remote sensing is a technology for primary data acquisition producing images, mostly in digital form, from sensors on satellites such as LANDSAT, SPOT, ERS1, MOSS, or sensors mounted on aircraft which provide images with higher resolution. Information can be extracted by interpreting the raw image using manual digitizing, or digital image processing techniques, if images are provided in a digital form.

- Digital Image Processing (DIP) is used for information extraction and spatial analysis. Raw images can be processed by certain operators and the results classified into themes. DIP is increasingly applied to enhance the functionality of digital photogrammetry for visualization enhancement to improve image interpretation.

- Computer Graphics are used mainly for graphic presentation. During the last decade, considerable advances have been made in the hardware development known as the 'graphic accelerator'. Its use for drawing operations, 2D and 3D transformations, rendering engine, graphic user interfaces (GUI), and so forth to support CG, has become affordable. A number of programming standards, such as GKS, PHIGS, OpenGL, have been made available which makes the implementation of realistic visualization easier.

- Computer Aided Design is typically applied in engineering. CAD provides many 3D editing capabilities that can be utilized by 3D GIS, for example, during 3D digitizing or editing in a later stage. ArcCAD (ESRI), which is the combination of

Arc/Info and AutoCAD (Autodesk, inc.) is an example of exploiting 3D capability in CAD for GIS. For 3D GIS, CAD should be strengthened with better 3D topology. Adjustment of user-interface towards requirements in geoinformation, for example, terminology, additional functions and their operational sequence, would make it more suitable for 3D GIS. Examples of CAD that adapt to 3D GIS are MicroStation and MGE (Intergraph).

- Virtual Reality (VR) is a highly interactive and realistic 3D graphic display of information that allows the system to interact with the human user in a more natural way, thereby offering fast, intuitive understanding of information. This technology exploits highly sophisticated CG in both software and hardware, as a result of the fact that a large number of data elements have to be displayed in a very short period of time (30 frames per second) to achieve a high degree of continuation. VR techniques allow users to modify the virtual environment navigate from place to place to match their analyses and receive more natural feedbacks and responses from the virtual objects residing in the database.

- Database Management Systems have been continuously developed over a long period. Progress has been made in adding the capability of handling spatial data by both relational and object-oriented DBMSs in, for example, ORACLE, PostCres, ILLUSTRATE, O2. The ease of handling spatial objects in GIS seems very promising.

- Expert systems and artificial intelligence add the capability of storing human knowledge about how to deal with complex problems based on known facts and rules in, for example, data processing and spatial analysis. Such a capability would be useful where no human expert is available.

- Computational geometry is used to compute the spatial relationships between the objects using metric computation, for example, the intersection between two lines, point-in-polygon tests, the angle between two vectors, or the circumference of a triangle. Algorithms for computational geometry are now mostly available for 2D. Further development for full 3D computational geometry would ease the topological structuring of 3D data.

In summary, we can relate each technology with the functional components of 3D GIS as shown in the table below.

	Acquiring	Structuring	Storing & Managing	Processing	Presenting
Map digitizing	*	*			
Terrestrial Survey	*				
GPS	*				
Borehole & seismic	•				
Photogrammetry	*	*		*	*
RS	*				
DTM		*		*	
DIP	*			*	
CG				*	
CAD		*			

VR				*	*
DBMS		*	*	*	
Expert System			*	*	
Computational geometry		*		*	

The construction of 3D GIS brings together the above technologies into its functional components. The different approaches found at the time of writing are outlined in the next section.

4. Evolution Stages of System Architecture

The composition of a system for integrated geoinformation always depends on the state of the art, policy and economic constraints. Technology develops, and we can consider various system architectures as stages of evolution in the handling of geoinformation. We use the following fourteen criteria to analyse the different evolutionary stages.

1. Compactness of the system
2. Common operating system (OS) or hardware platform
3. Functional access
4. Data access
5. Relationships between components of the spatial model
6. Commonness of user-interface
7. Investment cost
8. Maintenance
9. Data redundancy
10. Handling of uncertainty
11. Productivity of geoinformation
12. Potential towards automation
13. Supporting personnel
14. Size of user organization

4.1. Evolution Stage 1: Independent Subsystems

A GIS can be composed from a set of subsystems, as shown in Figure 1. Although this would seem to be an easy (but expensive) approach to constructing a GIS, it can only be regarded as a low level of integration with a low degree of unification. Each subsystem offers only a subset of all the functions of a GIS to carry out some specific tasks along the geoinformation production line. With respect to the above defined criteria, this kind of system has the following characteristics.

1. The system is composed of several subsystems, either in the form of hardware or software. Therefore, it is not compact
2. Different subsystems may need different hardware and OSs, for example, VMS, Unix, MSDOS, MacOS.
3. The system cannot provide a central control panel. The functions of a subsystem can only be reached from the respective local control panel.
4. The data cannot be accessed from a single entry point Data transfer from one subsystem to another may need to be done manually, for example, by using floppy disks, if the subsystems used for the consecutive operations are not connected on line.

Data conversion is likely to be required because typically each subsystem will use its own data structure.

5. Components of information are usually stored separately in the local database of each subsystem. For example, data representing man made objects may be stored in the CAD subsystem, data of terrain relief in the DTM subsystem, and data of other terrain objects in the 2D geoinformation subsystem. This segregation means that metric computation must be used to integrate data from different subsystems before topological relationships can be created.

6. The system does not provide a common user-interface. The user-interface is locally provided and depends on each subsystem. Elaborate user training is needed and operation is liable to mistakes.

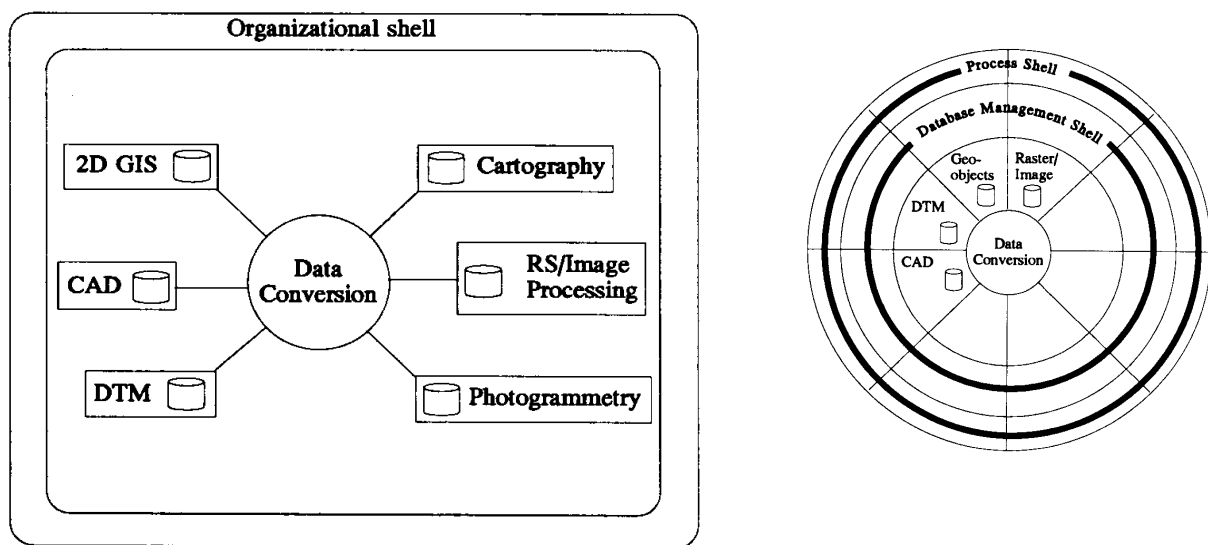


Figure 1: 3D GIS by Independent sub-systems

7. Investment costs are high because each subsystem has to be purchased separately. Several subsystems are required to achieve the required functionality.

8. Maintenance is difficult and expensive. Different vendors may be responsible for different subsystems.

9. Data redundancy will be high, because of the separate and independent storage.

10. Dealing with uncertainty is necessary in operations that involve data sets from different subsystems.

11. Users have to cope with many problems, so the productivity is not likely to be very high.

12. The production line is difficult to automate because of the limitations mentioned.

13. This approach requires various supporting personnel, for example, an OS specialist an application specialist application programmer to ensure operation.

14. The size of the user organization is quite large in terms of number of personnel and space required for placing the subsystems.

Figure 1 is a graphical illustration of this approach. Data conversion plays a central role in integrating the components of the spatial model stored separately and independently as databases in various subsystems.

4.2.Evolution Stage 2: Functional Integration

A system based on this architecture combines all the necessary functions into one software package. Figure 2 illustrates this approach. Below are listed the characteristics of the system. It:

1. Is compact, because all subsystems are shrunk into functions or software modules implemented within the system
2. Is based on one OS and hardware platform
3. Provides a central control panel
4. Accesses data from a single entry point; data transfer between software modules can take place as a background process
5. Has separate data structure to store data in each module; for example, coverage data and TIN data in Arc/Info are stored in separate data sets with different data structures. Topological relationships between data elements across different data sets do not exist.
6. Provides a common user-interface
7. Is less expensive than the independent subsystems and the client/server, because it is based on only one software package
8. Is easy to maintain, having fewer pieces of hardware and software and only one vendor to deal with
9. Still has data redundancy from different data sets
10. Has problems in handling uncertainty similar to evolution stage 1
11. Has better productivity than the client/server approach, because all processes are locally performed under one system shell, requiring less time for data transfer and message translation
12. Has many operations which can be automated, making it more feasible to automate the whole production line. When familiar with the system, the user can optimize and streamline the operation, for example, by using script or macro language, usually provided by this kind of system, to combine basic functions, so reducing many inter-processes requiring manual operation
13. Requires fewer support personnel than evolution stage 1
14. Requires a smaller sized user organization in terms of number of personnel and space for accommodating the system. The vendors' organization, however, becomes larger because the design and implementation of the system require personnel from many disciplines.

Although this approach represents most of the present attempts of development of GISs, it turns out that no single system can offer all required functions yet. An example is that most of the GISs still use 2D spatial models as bases and cannot offer a 3D modelling capability. Users still have to adopt the architecture of evolution stage 1 to achieve the required functionality.

4.3.Evolution Stage 3: Client/Server Architecture

This approach is based on the communication between a 'client' and a 'server'. The client is a module provided to interface with the end-user. The server provides operations to process requests from, and gives feedback to, the client. The server and the user can only communicate via the client module. Typically, the client/server approach:

1. Does not attempt to improve the compactness of the system; it is still composed of several independent subsystems, as in stage 1.

2. Is able to carry out tasks on different hardware platforms and OSs by using a standard communication protocol. The role of the OSs on different platforms are suppressed, so the user only needs to deal with the OS and the hardware platform of the client module.

3. Provides the client with a central control panel. Necessary functions can be reached from the client module. Each client function turns a user action into an appropriate request message which is sent to the server. On receiving the message, the server evaluates the request and triggers a process, if the request is valid. The client can attach to the request message data to be processed by the server. The server processes the data and sends back the result to the client. The user may not have the freedom to explore the functionality of each server unless better access to the functions of the server is provided through a mechanism called 'object link and embedding' (OLE). This mechanism maintains the link between each data set and its specific server application. More than one application server can be attached to a data set, and a choice of servers may be provided. On selecting the data set and server, OLE activates and transfers all control and the user-interface to the server, which allows the user to access all functions provided by the server. The user returns to the client by quitting the server. The OLE approach works well on a single OS platform. The client/server approach does not require the user to move around and enter several OS shells to reach functions that are available on different subsystems.

4. Accesses data through the client whose database is a container embedding and encompassing different data sets which may have different data structures native to specific servers. Each data set embedded in the client database may only be recognizable by a specific server. The data is transferred from one server to another server on-line. The client application may have to provide a data conversion function locally if the destination server cannot recognize a nonnative data structure.

5. Stores components of information separately in different embedded data sets. client database can be regarded as a collection of different data sets. There are no topological relationships across different data sets.

6. Has a common user interface with an intuitive graphical user interface (GUI) provided by the client; however, this is limited by the extent to which the client knows the functions of the different servers.

7. Has investment costs as high as the independent subsystems approach, with the additional cost of the client application and the network connection to all server applications.

8. Must have the client application upgraded in accordance with the upgrading

of one of the servers or communication protocol.

9. Fails to minimize data redundancy caused by the independency of the embedded data sets.

10. Has to deal with uncertainty every time relationships between data elements across different data sets have to be created.

11. Requires users to deal with fewer problems in functional access and data access and transfer, thereby improving productivity.

12. Facilitates automation of the production line through eliminating some manual processes.

13. Requires fewer supporting personnel, because users need not deal with many low level operations.

14. Has smaller sized organization than the independent subsystems approach with respect to personnel, but not with respect to the space accommodating the subsystems.

This approach was developed after evolution stage 2 in response to demands from the user community. It can be regarded as an intermediate solution because complete functionality is not yet available on a single system. The client/server approach can be a good solution for providing access to all the required functions on the different independent subsystems. The client may be provided by a third party experienced in assisting in interfacing users with systems from various vendors (for example, training, design of process flow), or systems provided through cooperation between the vendors (see Intergraph 1995).

4.4.Evolution Stage 4: Structural Integration

Creating a spatial model that better represents reality requires more closely related geoinformation components. Relationships between data elements need to be well defined by means of topology, which is likely to be difficult without an appropriate unified data structure (UNS). The proposed architecture is based on UNS as described in Pilouk and Tempfli (1994), Pilouk et al (1994).

4.4.1 General Consideration

This approach aims at a better representation of real world objects and relationships between them while maintaining the good aspects of evolution stages 1 to 3. The major considerations for the structural integration are:

- All components of the 3D spatial model must be stored in one database, so that topology can be applied to represent the spatial relationships of the real world objects. The use of topology avoids metric computation and speeds up many operations.

- Both direct and indirect representation must be possible within the system. Direct and indirect representations need different processes to present the information to the user. Allowing both representations in one database requires the system to use appropriate data structure.

- Data redundancy must be minimized. Redundancy is usually introduced by a lack of awareness of existing data. Storing redundant data provides no additional

information; it consumes storage space and may lead to conflicts whose resolution requires additional operations.

- The frequency of handling of uncertainty must be minimized and be taken away from the end-user as much as possible by converting uncertainty into a data quality attribute beneficial to the end-user. The database creator has better access to the original sources and is in a better position to resolve the uncertainty.

4.4.2. A Proposed System Architecture

The proposed architecture for a GIS is illustrated by Figure 3. There are various layers of the system encompassing the integrated database based on UNS. The integrated database contains a spatial model accommodating both direct and indirect representations of real world objects. The database management shell embraces this database, on which various indices or database views exist. Spatial access to some specific data elements can be speeded up by a database index. This can be regarded as a specific view of the earth that is closer to the application domain or operation requirement. The existence and status of each index and view depend on the integrated database. All indices and views are updated according to the changes in the integrated database. Any changes must be directed first to the integrated database and subsequently to the indices and views. The database management shell provides functions and rules to access and update the integrated database or views. The process shell is the outer level next to the database management shell. It contains various functions to process the integrated database or views by using database management functions provided by the database management shell.

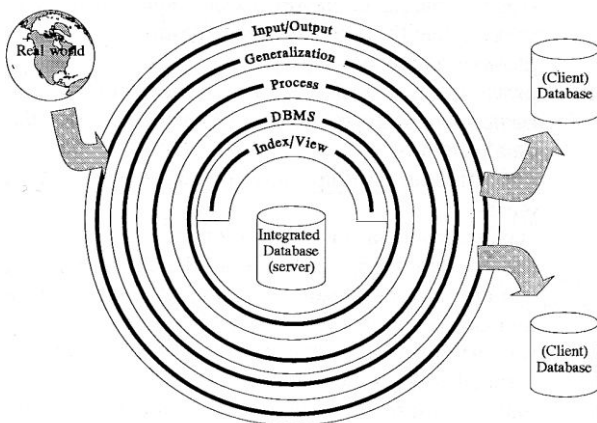


Figure 3: Overview of the structural integration architecture.

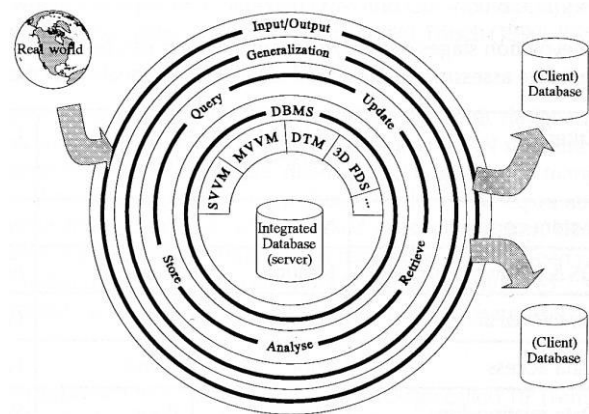


Figure 4: Different data structures can be used at the view level in the structural integration.

The next outer shell is the generalization shell which simplifies the input from the real world to the GIS and provides the means for presenting or delivering the information stored in the GIS to the users or to the client databases (see also Richardson 1993, Peng and Molenaar 1995, Peng et al 1996).

Figure 4 shows a more elaborate architecture of a 3D GIS. The focus is on the views of the integrated database. The suggestion here is to use already existing data

models, for example, SWM, MWM, TIN-DTM, 3D FDS, as the underlined structures of the views. The reason is that those data models in fact represent different views of the reality. The integrated database can be regarded as the integration of views, so it may contain over extensive data for an individual application, resulting in bad access and response time.

5. Comparison of Different System Architectures

The evolution stages of the system architectures can be compared as in the table below. The qualitative assessments presented result from the analysis in the previous section.

Criteria	Independent subsystems	Functional Integration	Client/Server	Structural Integration (Expected)
System compactness	No	Yes	No	Yes
OS & hardware platform	Multiple	Single	Multiple	Single
Functional access	Poor	Good	Good	Good
Data access	Poor	Good	Fair	Good
Data relationships	Poor	Poor	Poor	Good
User-interface	Poor	Good	Fair	Good
Investment cost	High	Low	High	Low
Maintenance	Complicate	Simple	Complicate	Simple
Data redundancy	High	High	High	Low
Handling of uncertainty	Frequent	Frequent	Frequent	Good
Productivity	Poor	Good	Fair	Good
Automation	Poor	Possible	Poor	Potential
Supporting personnel	Many	Fewer	Fewer	Fewer
User organisation	Urge	Small	Small	Small

When comparing the four evolution stages, we can say the performance of structural integration is better or at least equal to any other form of system architecture with respect to all fourteen criteria.

6. Attempts at Structural Integration

Efforts to establish 3D CIS start from the 'Integration of DTM and GIS' reported in Males (1978), Ebner et al (1990), Mark et al (1989), Fritsch (1990), Pfannenstien and Reinhardt (1993), Pilouk and Tempfli (1993). The aim is to tackle the aspect of dimensionality of geoinformation, focusing especially on the integration of 2D-GIS and DTM. Early researches divide into two groups.

Fritsch (1990) investigated different approaches at the level of the data model, suggesting an object-oriented approach. The discussion of the conceptual aspects of data models and data structure is reviewed by Pfannenstien and Reinhardt (1993). Pilouk and Tempfli (1993, 1994) have reported the formalization of the data model and data structure for the integration of DTM and GIS, proposing an integrated data model and a unified relational data structure. All the basic topological relationships between data elements and between simplices and complexes are clearly defined and used as a basis for the data model for 3D CIS developed here (see chapter 4 for details).

6.1. '2.5D' Approach

The 2.5D approach can be regarded as a first integration step seeking to combine the separated data sets of 2D geoinformation and DTM. The separation of these two components of spatial objects has been inherited from 2D map production, where DTM was used to automate the production of contour lines for relief representation in a 2D map. DTM has merely been a matrix storage of height information which helps speed up the contouring process. DTM has become more important because it facilitates the derivation of a wide range of information products serving various applications, for example, contours, slope and aspect maps, relief shading, perspective view, cross-section and profile, visibility, volume and surface area. DTM can be used as a reference (mapping) surface for other terrain features, for example, for draping terrain features on a (DTM) surface and display in a perspective view, which gives a more naturalistic visualization requiring less map-reading skill.

The most traditional attempt in 2.5D integration is the 'height attributing' approach (Fritsch and Pfannenstein 1992a) that considers height as thematic information. In the case of point objects, this approach seems to be adequate. For a line or surface object the representation of height can only be done if there is an assumption that the object is on a horizontal flat plane, or every part of the object has the same elevation. This approach can only solve problems for a limited number of applications (Ebner and Eder 1992, Fritsch and Pfannenstein 1992b). Figure 5 demonstrates the approach.

This approach is dictated by the fact that most commercial GISs do not allow the user to have direct access to the geometric data elements kept in a fixed structure. Although the system may provide ways to retrieve this data into a database table and allow the user to utilize it, or add additional attribute columns, possibly one containing height information (z coordinate), the table is only regarded as external and is not part of the geometric components.

Besides the height attributing approach, Fritsch (1990) has suggested an object oriented alternative for handling a hybrid database that embraces three separate data sets: two for geometry (terrain data and situation data); one for non graphical data (attributes).

Figure 6 Hybrid database (after Fritsch 1990, Kufoniya and Bouloucos (1994) suggested a model using the multiple theme approach by taking DTM as a thematic layer and the database maintaining the links to DTM via triangle edges and vertices that are respectively isomorphic to the primitive arcs and nodes of the multi-theme 2D FDS.

6.2.3D Approach

For applications that need to model solid objects, the 3D FDS, proposed by Molenaar (1990), offers a data model with 3D topology. This data model permits the representation of spatial objects in the different dimensions 0D, 1D, 2D and 3D, that is the point line, surface and body features respectively. It is therefore possible to

model terrain as a surface feature. Figure 7 is the graphical illustration of this data model.

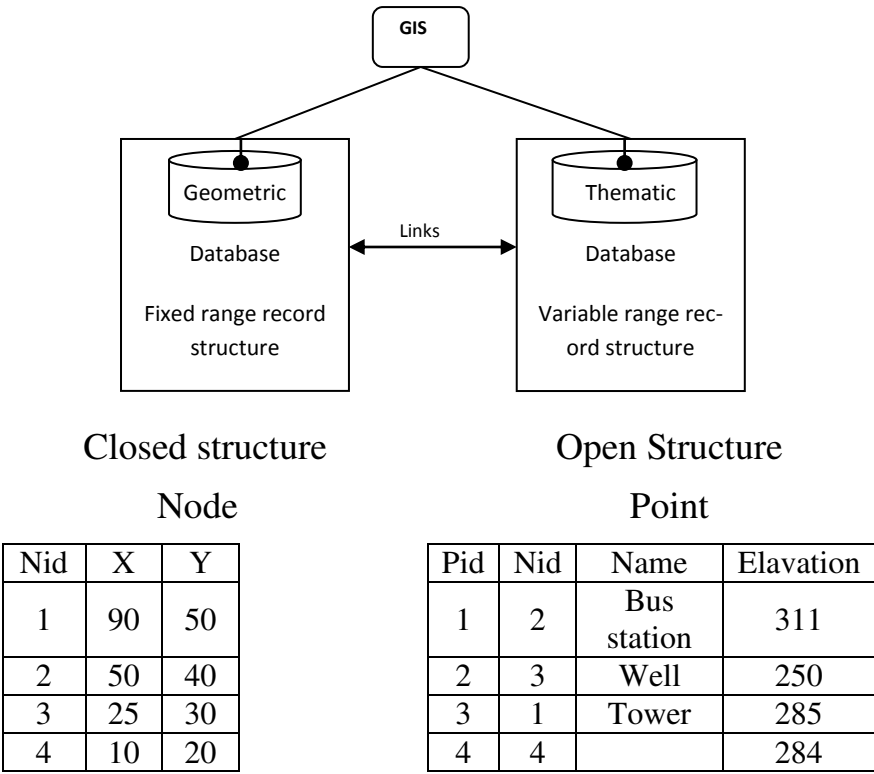


Figure 5: Height attributing approach maintain elevation in a thematic table.

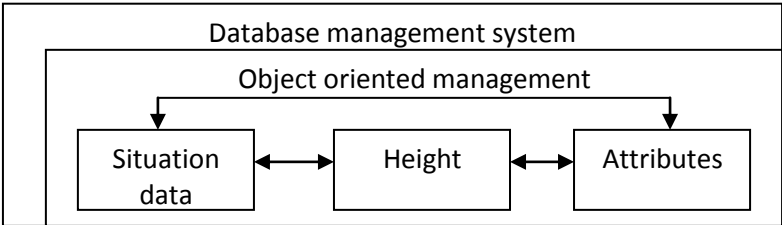


Figure 6: Hybrid database (after Frisch 1990)

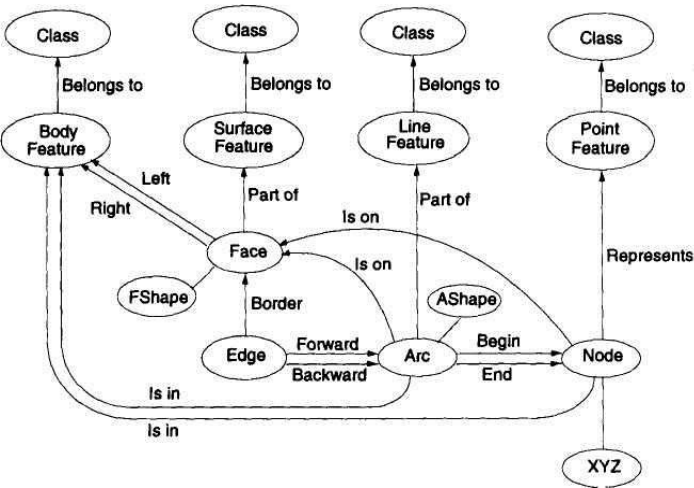


Figure 7: Formal data structure for 3D vector map (after Molenaar 1990).

The conceptual design of the 3D FDS is the same as for SWM or 2D FDS. The design is based on the decomposition of a feature into identifier, geometry, and theme. Components for representing a spatial object are grouped into three levels, namely the geometric, feature and class levels, in the same way as in 2D FDS. Faces are 2D geometric primitives in addition to nodes and arcs, respectively of 0 and 1 dimension. Edges are additional geometric primitives providing the link between arcs and faces and so permitting the unique reference to /eftand r/ghtbodies that are 3D features. Figure 10 illustrates this concept.

The 3D FDS is suitable for direct representation and query-based spatial analysis; it does not, however, provide the 3D primitive data type and is therefore less suited to solving problems for applications that involve complex computation, for example, using the finite element method, where a 3D primitive is crucial because it is needed as a computation unit. The 3D FDS is based on single-valued concepts; however, it can readily be extended to accommodate spatial coincidence, or multi-valued aspects.

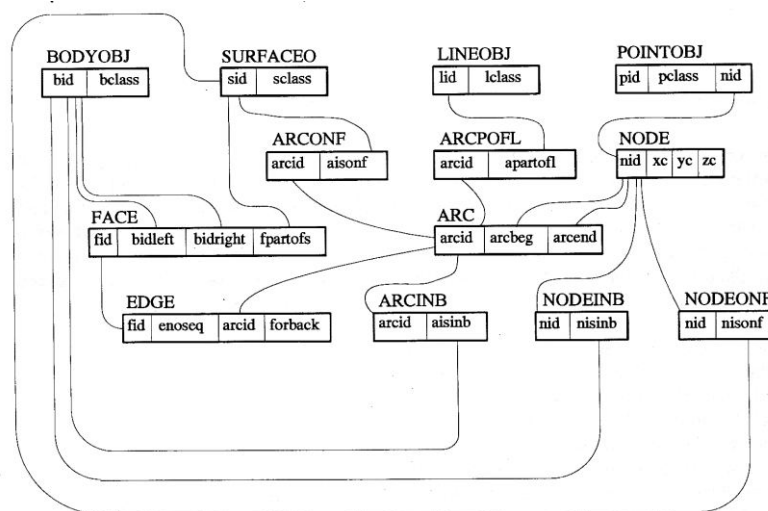


Figure 8: Relational database structure based on 3D FDS (adapted from Rijkers et al 1993).

Discussion

Many technological developments have to be incorporated into the functional aspects of 3D GIS. Many different approaches to the construction of a 3D CIS can be used, ranging from loosely to well-constructed systems. These approaches are differentiated into four evolution stages of system architecture; independent subsystems, functional integration, client/server architecture, and structural integration. The proposed structural integration involves considerable effort in designing and constructing the system. This effort, however, is transferred to the vendor rather than left to the user, as in evolution stage 1. The expected superiority lies not only in the handling of uncertainty, but also in the benefits accruing from explicit relationships and minimized redundancy, with all the consequences for the user.

Current systems are in evolution stage 1, with increasing attempts concerning stage 2. There is a trend towards evolution stage 3 as a result of commercial driving forces that prefer to keep proprietary developments from the public while offering improved user-friendliness, partially fulfilling user demands. This trend is evidenced by the adoption of specifications for OLE extensions for computer-aided-design (CAD), computer-aided-manufacturing (CAM), computer-aided-engineering (CAE) and CIS by a group of vendors related to spatial information industries, namely the Design & Modelling Application Council (DMAQ, which includes ANSYS Inc., Autodesk, Bentley System Inc., Cadence Design Systems Inc., Crisis in Perspective Inc., Intergraph, Microsoft, Ray Dream, SDRG, Shapeware Corp. and Spatial Technology, since the beginning of 1995 (Intergraph 1995). The evolution stage 4 promises to be an ideal system, but it can only be achieved if there is a consensus on the formal design of the spatial data model. Such a consensus could also result in the adoption of the client/server architecture on top of the structural integration.

The state of progress towards structural integration through current attempts shows that further investigation and extension of the existing data models are looked for. The essence of the matter is to be able to accommodate both direct and indirect 3D representations of real world objects within an integrated 3D spatial model, similar to the normal situation in reality, which would allow the representation and analysis of spatial relationships between the two types of objects. A 3D spatial data model with this capability should be further developed to serve as a basis for a 3D GIS adopting structural integration architecture.

Bibliography

1. Bric,V., and Pulouk.M.,1994, Computation of topologic space. ITC, Enschede, The Netherlands
2. Bric,V., and Pulouk.M., and Tempfli, K., 1994 Towards 3D-GIS: experimenting with a vector data structure, International Archives of Photogrammetry and Remote sensing., Vol. XXX., Part 4, Athens, Georgia, USA, pp. 634-640
3. Bric,V., 1993, 3D vector data structures and modeling of simple objects in GIS, Master thesis, ITC, Enschede, The Netherlands
4. Ebner,H. and Eder, K., 1992, State-of the art in digital terrain modeling, proceeding 3rd European conference on geographical information systems (EGIS'92)Vol1, Munich, Germany, pp.681-690
5. Fritsch,D., 1990, Towards three-dimensional data structures in geographic information systems, Proceeding first European conference on Geographical information systems (EGIS'90),vol 1, Amsterdam, The Netherlands, pp.335-345
6. Fritsch,D., and Pfannenstein, A., 1992a, Integration DTM data structures into GIS data models, International Archives of Photogrammetry and Remote sensing, Vol. XXIX, PartB3, commission III, Washington, D.C., USA, pp.497-503
7. Fritsch,D., and Pfannenstein, A., 1992b, Conceptual models for efficient DTM integration into GIS, proceeding 3rd European conference on geographical information systems (EGIS'92)Vol. 1, Munich, Germany, pp.701-710
8. Goodchild, M. F., 1997: What Next? Reflections from the Middle of the Growth Curve. In: FORES-man, 1997, 369-381.
9. Gruen, A., Streilein, A., Stallman, D., and Dan, H., 1993, Automation of house extraction from aerial and terrestrial images, Conference ASIA, Wuhan, China

10. Intergraph, 1995, New OLE extensions for CAD/CAM/CAE and GIS adopted, press releases Intergraph corp., Huntsville
11. Males, R.M., 1979, ADAPT-a spatial data structure for use with planning and design models, In: Dutton, G., (Ed.), First international symposium on advance study on topological data structures for geographic information systems, Vol. 3, 19pp
12. Mark, D.M., Lauzon, J.P., and Cebrian, J.A., 1989, A review of quadtree-based strategies for interfacing coverage data with digital elevation models in grid form, International journal of GIS, Vol.3, No. 1, Taylor&Francis, London, pp3-14
13. Peucker, T. K., Fowler, R. J., Little, J. J. & Mark, D. M., 1976: Digital Representation of Three-Dimensional Surfaces by Triangulated Irregular Networks (TIN) (Revised). Technical Report Nr. 10, Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, Canada & Office of Naval Research, Geography Programs, Arlington, Virginia, USA.
14. Pfannenstien, A., and Reinhardt, W., 1993, Data analysis in GISs in combination with integrated digital terrain models, Proceedings 4th European conference on geographical information systems (EGIS'93), pp. 1341-1349
15. Pilouk, M., Tempfli, K., Molenaar, M., 1994, A tetrahedron-based 3D vector data model for geoinformations, In: Molenaar, M., and De Hoop, S., (Eds.), Advanced geographic data modeling: spatial data modeling and query languages for 2D and 3D applications, Netherlands Geodetic Commission, No. 40, Delft, The Netherlands, pp. 129-140
16. Pilouk, M., Tempfli, K., 1994, An object oriented approach to the unified data structure, GIS'94, Vol. 1, Vancouver, Canada, pp/ 163-169
17. Pilouk, M., Tempfli, K., 1993, An integrated DTM-GIS data structure: a relational approach, Proceedings 11th international symposium on computer assisted cartography (Autocarto 11), Minneapolis, Minnesota, USA, pp. 279-287
18. Pilouk, M., Tempfli, K., An digital image processing approach to creating DTMs from digitized contours, international archives of photogrammetry and remote sensing, Vol. XXIX, Part B4, Commission IV, Washington, D.C., USA, pp 956-961

© Ch. Bolorchuluun, D. Tuvshinbayar, 2006

СОДЕРЖАНИЕ

Jäger R., Kälber S. (Ягер Р., Калбер С.). Precise transformation of classical networks to itrf by copag and precise vertical reference surface representation by DFHRS – general concepts and realisation of databases for GIS, GNSS and navigation applications (Точное преобразование классических сетей в систему отсчета ITRF с использованием программного продукта CoPaG и высокоточное представление опорной высотной поверхности методом конечных элементов (DFHRS) – основные понятия и реализации баз данных для ГИС, GNSS и навигационных применений)	3
Jäger R., Kälber S., Oswald M. (Ягер Р., Калбер С., Освальд М.). GNSS/GPS/LPS based online control and alarm system (GOCA) mathematical models and technical realisation of a system for natural and geotechnical deformation monitoring and analysis (Интерактивная система контроля и оповещения - GOCA с применением GPS/GNSS/LPS. Математические модели и техническая реализация системы для мониторинга за техногенными и геотехническими деформациями и анализа).....	32
Антонович К.М. Тенденции в развитии ГНСС технологий	44
Рассказов А.С. Метод множественных базовых станций	49
Антонович К.М., Яхман В.В. Контроль качества спутниковых наблюдений	54
Антонович К.М., Яхман В.В. Стохастические модели уравнивания сети ..	59
Прихода А.Г., Лапко А.П. Спутниковые фазовые измерения в залесенных условиях	64
Антонович К.М., Фролова Е.К. Обзор современных методов получения метеорологической информации для использования в ГНСС технологиях.....	70
Клепиков А.Н. Сравнительный анализ компонентов пространственных векторов, полученных по результатам обработки сеансов различной продолжительности.....	75
Сурнин Ю.В. Математическая модель внешнего гравитационного поля на ограниченном участке земной поверхности по спутниковым и традиционным геодезическим данным.....	79
Гиенко Е.Г. Некоторые вопросы использования математических моделей локального гравитационного поля Земли	91
Ротова Н.В. Проверка замкнутых формул вычисления нормального ускорения силы тяжести в трехмерном пространстве	95
Елагин А.В. Уравнения поправок для определения возмущающего потенциала в узлах конечных элементов спутникового шарового слоя по измеренным дальностям и радиальным скоростям.....	98
Елагин А.В. Связь градиентометрических измерений с возмущающим потенциалом в узлах конечных элементов спутникового шарового слоя	103

Ir. Hans Visser, Ing. Cor de Kuijper (Ганс Виссер И., Корнелис Куйипер). OmniSTAR HP worldwide positioning service service (OmniSTAR HP – служба высокоточного глобального позиционирования в реальном масштабе времени).....	108
Яхман В.В. Методика относительного определения высотных параметров фазового центра разнотипных спутниковых антенн	116
Жидов В.М. Геодезическая съемка железнодорожных путей с использованием АПК «Профиль»	121
Щербаков В.В., Попов Д.А., Круглов В.М. Динамический метод мониторинга состояния верхнего строения пути по геометрическим параметрам.....	122
Евстафьев О.В. Презентация нового GPS оборудования компании Leica Geosystems.....	125
Мирмахмудов Э.Р., Fazilova D. Предварительный анализ дрейфа GPS пунктов в Узбекистане	127
Широкова Т.А., Комиссаров Д.В. Перспективы развития и внедрения трехмерных ГИС	132
Медведев Е.М., Пестов К.А. Программный комплекс ALTEXIS – средство обработки воздушных лазерно-локационных данных	135
Ковров А. Совместное использование наземных лазерных сканеров и цифровых камер	139
Середович А.В. Построение цифровых топографических планов объектов нефтедобычи с применением наземного лазерного сканирования	145
Комиссаров А.В. Исследование точности построения цифровой модели рельефа по данным наземного лазерного сканирования	150
Гуненко И.В., Салтыкова Ю.С., Середович В.А., Комиссаров Д.В. Технология построения трехмерных моделей городов на основе топографических планов	153
Загородний В.В., Деговцов А.А., Комиссаров Д.В. Разработка подпрограмм в программной среде 3D Studio Max	158
Середович А.В., Иванов А.В. Разработка методики определения геометрических параметров РВС по данным лазерного сканирования	160
Прокопьева С.А. Применение технологии трехмерного наземного лазерного сканирования при решении задач археологии	164
Деговцов А.А., Загородний В.В., Комиссаров Д.В. Создание видеотренажера по данным наземного лазерного сканирования.....	167
Середович А.В. Методика выбора программных продуктов для решения конкретных задач по данным лазерного сканирования.....	170
Дементьева О.А., Середович В.А., Комиссаров Д.В. Построение трехмерной модели Новосибирского областного театра кукол.....	175
Батуев А.Р. Атласная информационная система устойчивого развития регионов Сибири	179

Клевцов Е.В., Пластинин Л.А. Научно-методические основы формирования образовательных программ бакалавров и магистров географии и картографии в ИрГТУ	189
Ротанова И.Н. Российское экологическое картографирование на рубеже веков: анализ основных направлений и подходов и опыта.....	193
Курепина Н.Ю. Современное медико-географическое картографирование Алтайского края.....	198
Атоян Л.В. Интернет-картографирование для целей туризма.....	201
Горожанкина О.В., Гаврилов Ю.В. К вопросу о распознавании картографического изображения	206
Обуховский Ю.М., Каждан Е.Н. Индикационное картографирование лесных ландшафтов, болот и заболоченных земель.....	210
Радченко Л.К. Технология создания цифровых карт и планов коммуникаций.....	214
Котельникова Н.В., Корюгин Р.В., Олзоев Б.Н. Электронная карта рекреационно-туристического зонирования национального парка «Тункинский» (Южное Прибайкалье)	218
Владыкина А.В., Ротанова И.Н. Разработка специализированной картодиаграммы для оперативно-справочных социально-экономических и экологических карт	222
Евдокимова Н.М. Город как объект геоинформационного картографирования.....	227
Сухорукова С.А. Создание электронного варианта карты природных очагов клещевого энцефалита в Маслянинском районе Новосибирской области.....	229
Карпик А.П., Комиссарова Е.В., Писарев В.С. Методика создания интерактивно-обучающей системы.....	233
Гаврилов Ю.В., Николаева О.Н., Ромашова Л.А. О теоретическом и практическом опыте применения картографического метода в экологических исследованиях окружающей среды.....	238
Гаврилов Ю.В., Николаева О.Н., Ромашова Л.А. К вопросу о картографировании радиоэкологической обстановки Новосибирской области.....	241
Сухорукова С.А. Природноочаговые карты – одно из основных направлений медико-географического картографирования	243
Касьянова Е.Л. Электронные туристские карты	246
Данченко О.В. Проблемы набора и учебно-воспитательной работы со студентами картографо-геодезической специальности в ИРГТУ	249
Кокорина И.П. К вопросу о применении ГИС-технологий в медико-географическом картографировании.....	252
Елшина Т.Е. Преимущества и особенности ГИС-технологий для геоморфологического картографирования	256
Радченко Л.К. Разработка структурной модели нефтегазодобывающего комплекса для целей картографирования	258

Подольская Е.С. Программное обеспечение методики картографической генерализации населенных пунктов на обзорно-топографических картах.....	260
Пошивайло Я.Г. К вопросу создания промышленных топографических планов масштабов 1 : 250, 1 : 200 и 1 : 100.....	265
Хасенов К.Б., Куимова Т.А. К вопросу составления крупномасштабных планов застроенных территорий	268
Райх В.И. Реализация программы обеспечения муниципальных образований цифровым топографо-геодезическим материалом на опыте Таврического района Омской области.....	270
Носырев В.В. Опыт работы ФГУП «Забайкальское АГП» по картосоставлению и подготовке к изданию цифровых топографических карт (ЦТК) Государственного масштабного ряда 1 : 25 000 – 1 : 50 000 на аппаратно-программном комплексе «Цифровая фотограмметрическая станция»	275
Ляльков В.И., Хлебникова Т.А., Втюрина В.М., Кара Т.Л. Результаты проведения опытной эксплуатации технологии автоматизированной генерализации создания ЦТК масштаба 1 : 50 000 по ЦТК масштаба 1 : 25 000, созданных на ЦФС ЦНИИГАиК.....	278
Ляльков В.И., Нефедов С.П. Цифровые топографические карты и муниципальные географические информационные системы – комплексный подход к управлению территориями	283
Колосков С.В. Технология автоматизированной генерализации ЦТП и ЦТК. Проблемы и решения	290
Василькова Н.Ф. Анализ работ по картосоставлению и обновлению топографических карт и их соответствие нормативным документам	294
Алябьев А.А., Серебряков С.В. Опыт обновления цифровых топографических карт масштаба 1 : 100 000 по материалам космических съемок.....	301
Хлебникова Т.А., Нефедов С.П., Шушлебина Н.И. Экспериментальная технология создания трехмерной цифровой модели местности по материалам аэрофотосъемки для решения задач навигации с использованием ГИС	306
Горшков С.В. Использование космифотосъёмки при создании и обновлении карт	311
Ляльков В.И., Осинцева И.В. Технологии создания ЦТК и ЦТП, применяемые в ФГУП центр «Сибгеоинформ», особенности и сравнительные характеристики	313
Матерук А.Ю. Пути обеспечения семантической совместимости	315
Günter Schmitt, Martin Vetter. Survey in a water resources management project of an underground river in Indonesia	319
Florina Grecu, Laura Comanescu, Robert Dobre. The Casimcea tableland – geomorphological considerations	331

Florina Grecu, Catalina Raboj, Laura Comanescu, Robert Dobre. Geographic risk phenomena threatening the Jiului Defile	332
Аксель Польманн, Уве Цехендорф. Базисная карта Саксонии	333
Florina Grecu, Robert Dobre, Laura Comanescu, Catalina Raboj. Terrain suitability for a railway connection between Bucharest and its international terminal.....	338
Florina Grecu, Nicolle Mathys, Ion Zavoianu, Laura Comanescu. The drainage network and the erosion vulnerability in the morphohidrographical basins in alpin mountains	339
Sarangerel U., Saynbayar Ch., Batbayar G., Bulgan G. The base for national geograhpic information network-topographic infirmation database Mongolia at scale 1 : 500,000 (Типовая основа для национальной географической информационной сети-топографическая информационная база Монголии в масштабе 1 : 500 000).....	340
Bolorchuluun Ch., Tuvshinbayar D. Systems for integrated 3d geoinformation	344