

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

ГЕО-СИБИРЬ-2011

Т. 1

ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ

ч. 1

Сборник материалов
VII Международного научного конгресса

Новосибирск
СГГА
2011

УДК 528:528.9:622.1
С26

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, профессор, ректор СГГА, Новосибирск
А.П. Карник

Доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой картографии и геоинформатики СГГА, Новосибирск
Д.В. Лисицкий

Экс-президент Международной картографической ассоциации, вице-президент
Международного общества «Цифровая Земля», доктор наук, Чешская
Республика
Милан Конечны

Генеральный директор ФГУП центр «Сибгеоинформ», Новосибирск
В.И. Обиденко

С26 ГЕО-Сибирь-2011. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография,
маркшейдерия. Ч. 1 : сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-
2011», 19–29 апреля 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2011. – 254 с.

ISBN 978-5-87693-443-7 (т. 1, ч. 1)

ISBN 978-5-87693-442-0 (т. 1)

ISBN 978-5-87693-437-6

В сборнике опубликованы материалы VII Международного научного
конгресса «ГЕО-Сибирь-2011» направления «Геодезия, геоинформатика,
картография, маркшейдерия».

Печатается по решению Редакционно-издательского совета СГГА
Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 528:528.9:622.1

ISBN 978-5-87693-443-7 (т. 1, ч. 1)

ISBN 978-5-87693-442-0 (т. 1)

ISBN 978-5-87693-437-6

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная
геодезическая академия», 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Карпик А.П., Решетов А.П., Струков А.А., Карпик К.А. Определение координат пунктов сети базовых станций Новосибирской области в общеземной системе координат.....	9
Мурзинцев П.П., Буренков Д.Б., Полянский А.В., Пупков Ю.А., Сердаков Л.Е. Исследование точностных характеристик дальномеров API Laser Tracker 3.....	16
Басаргин А.А. Вариограммный и ковариационный анализ результатов наблюдений за осадкой фундаментов инженерного сооружения	21
Басаргин А.А. Методика построения цифровых моделей для пространственно-временного анализа деформационных процессов ..	26
Вовк И.Г. Статистический анализ пространственно-временного состояния систем	31
Лесных Н.Б., Лесных Г.И., Малиновский А.Л. Предельные ошибки измерений.....	34
Соболева Е.Л., Рябова Н.М., Сальников В.Г. Исследование влияния рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами....	40
Олейник А.М. Выбор мест закладки грунтовых реперов с учетом прогнозного изменения геоэкологической обстановки от техногенной деятельности	46
Егорова С.А. О принятии решения при статистическом анализе геодезических данных	51
Барлиани А.Г. Вычисление обратной матрицы на основе характеристического многочлена матрицы и присоединенной матрицы	56
Вдовин А.И., Титов С.С., Мурзинцев П.П. Методика повышения точности пересчета координат на основе применения моделей деформации ГГС	61
Биндер И.О., Мурзинцев П.П. Применение спутниковых технологий в инженерно-геодезических изысканиях магистрального газопровода .	67
Хорошилов Е.В., Хорошилов В.С. Анализ опыта исследования состояния зданий на основе косвенных характеристик деформаций	73
Гуляев Ю.П., Хорошилов В.С., Родионова Ю.В. Методика выявления по геодезическим данным степени аварийности высотных зданий и направление повышения эффективности оценки их состояния.....	77
Елагин А.В. Преобразование прямоугольных координат в геодезические с использованием направления силовой линии нормального гравитационного поля.....	83
Малков А.Г. Исследование точности измерения превышений нивелиром AP-124 фирмы «PENTAX»	86
Тетерин Г.Н., Синянская М.Л. Угловые и линейные меры измерений в древнее время	89
Павловская О.Г., Хорошилов В.С. Методика выделения однородных оползневых зон по результатам геодезических наблюдений.....	94

Астраханцев В.Д., Золотарев И.И. Контроль геометрических параметров железных дорог с использованием современных средств позиционирования.....	99
Афонин К.Ф. Технология редуцирования измеренных величин на плоскость для расширенных зон проекции Гаусса – Крюгера.....	102
Скрипников В.А., Скрипникова М.А. Совершенствование схем планового обоснования для определения горизонтальных смещений гидротехнических сооружений.....	107
Зверев Л.А. Сравнительный анализ результатов определения относительных наклонов различными методами	111
Гринь Г.А., Мурзинцев П.П. О применении современных технических средств для высокоточной съемки рельефа дна и подводных объектов	113
Дударев В.И. Уравнивание геодезических сетей по результатам относительных GPS-измерений.....	119
Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Взаимосогласованное движение твердого ядра и Луны.....	127
Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Глобальный широтный эффект при распространении деформационных волн ядра Земли	133
Гордеев В.Ф., Малышков С.Ю., Поливач В.И., Шталин С.Г. Оценка напряженно-деформированного состояния горных пород по трассам магистральных газопроводов методом регистрации радиошумов Земли в ОНЧ диапазоне	138
Гордеев В.Ф., Шталин С.Г., Поливач В.И., Малышков С.Ю., Задегилова М.М. Оценка устойчивости оползневого склона по параметрам естественного импульсного электромагнитного поля Земли в системе АСК-ГП	144
Кабанов М.М., Капустин С.Н., Колтун П.Н., Милованцев П.Б. Интернет портал системы контроля геодинамических процессов	149
Арнаутов Г.П., Бунин И.А., Калиш Е.Н., Носов Д.А., Стусь Ю.Ф., Смирнов М.Г., Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г. Оценка скоростей вертикальных смещений земной поверхности и изменений плотности земной коры на юго-западе Байкальской рифтовой зоны и в горном Алтае по данным гравиметрического мониторинга	154
Ефимов С.А. Спектральный метод обработки данных для вибросейсмического мониторинга земной поверхности	158
Бугакова Т.Ю. К вопросу оценки риска геотехнических систем по геодезическим данным	163
Каленицкий А.И., Соловицкий А.Н. Оценка изменений во времени деформаций блоков земной коры при освоении угольных месторождений Кузбасса.....	169
Канушин В.Ф., Вахрушев А.Г., Румянцева Е.Д. Решение краевой задачи динамической геодезии типа Дирихле методом вейвлет-анализа	173
Канушин В.Ф., Ганагина И.Г., Голдобин Д.Н. Моделирование аномального гравитационного поля в арктическом бассейне.....	178

Канушин В.Ф. Применение метода вириала для решения задач динамической геодезии	182
Суздаев А.С. Метод математического моделирования эволюции геофизического поля земли по результатам обобщенного сферического гармонического анализа на участке	186
Падве В.А. Преобразование необходимых измерений в случайные приближённые значения параметров при МНК-оптимизации геопространственных данных.....	190
Телеганов Н.А. Уравнивание вновь присоединённых геодезических сетей	193
Костына Ю.Г. Оценка изменений силы тяжести, вызываемых снежным покровом	199
Дорогова И.Е. Интерпретация наблюдений за движениями земной коры на техногенном полигоне	203
Некрасова О.И. Аппроксимация гравитационного влияния конуса на геодезические измерения численным методом.....	208
Дементьев Ю.В., Кулик Е.Н., Акулич Е.С. Оптимизация планетарной цифровой модели рельефа Земли для выполнения полной топографической редукции гравитационного поля.....	214
Лисицкий Д.В., Утробина Е.С., Колесников А.А., Комиссарова Е.В. Проектирование интерфейса мультимедийного блока инструментальной справочно-аналитической ГИС	217
Елшина Т.Е. Картографирование охраняемых природных объектов Новосибирской области для размещения на геопортале СГГА	223
Сухорукова С.А., Дышлюк С.С. Природопользование как объект картографирования.....	225
Курепина Н.Ю. Опыт картографирования антропогенной нагрузки на водосборную территорию и водные объекты.....	230
Архипенко О.П., Мандругин В.В. Принципы организации работ по внедрению геопортала	236
Каретина И.П., Альхимович А.А. Проектирование и составление ономастического атласа Восточно-Казахстанской области	241
Касьянова Е.Л., Кикин П.М. К вопросу о создании ГИС в сфере инженерных коммуникаций	246
Кацко С.Ю. ГИС для непрофессиональных пользователей как один из современных инструментов работы с геоинформацией	249
Кокорина И.П. Применение методов интерполяции в зоогеографических исследованиях на базе ГИС-технологий.....	254
Колганова Е.Ю. Картографирование историко-культурного наследия переселенцев по столыпинской аграрной реформе в Иркутской области.....	259

CONTENTS

Karpik A.P., Reshetov A.P., Strukov A.A., Karpik K.A. Determination of coordinates the continuous operating reference stations points of the Novosibirsk region in the common terrestrial system of coordinates	9
Murzincev P.P., Burenkov D.B., Polyanskiy A.V., Pupkov Y.A., Serdakov L.E. Research of the accuracy characteristics interferometer and turbo adm modules API Laser Tracker 3.....	16
Basargin An.A. Variogram and covariance analysis of engineering structure foundation settlement observation	21
Basargin An.A. Techniques of digital models development for time-space analysis of deformation processes.....	26
Vovk I. G. Statistical analysis of space-time state of systems	31
Lesnykh N.B., Lesnykh G.I., Malinovsky A.L. Limiting errors of measurement	34
Soboleva E.L., Ryabova N.M., Salnikov V.G. Investigation of refraction effect on digital leveling results	40
Oleynik A.M. Choice of places of the bookmark of soil reference points taking into account the abm-gnoznogo of change of geokriologichesky conditions from technogenic activity.....	46
Egorova S.A. About acceptance of decision at the statistical analysis geodetic data	51
Barliany A.G. Computation of the inverse matrix on the basis of the characteristic polynomial and the adjoint matrix.....	56
Vdovin A.I., Titov S.S., Murzintsev P.P. Method of increasing the accuracy of coordinates conversion based on the use of CSCS-models	61
Binder I.O., Murintsev P.P. GPS application in engineering geodetic survey of gas mains	67
Khoroshilov Ye.V., Khoroshilov V.S. Analysis of the expierience in building state investigation on the basis of indirect deformations characteristics....	73
Gulyayev Yu.P., Khoroshilov V.S., Rodionova Yu.V. Methods of determining high rises safety degree and improvement of their state estimation efficiency on the basis of geodetic data	77
Yelagin A.V. Rectangular coordinates transformation into geodetic ones using the direction of the normal gravitational field force line	83
Malkov A.G. Level AP-124 by PENTAX: investigation of elevation difference measurement accuracy	86
Teterin G.N., Sinyanskaya M.L. Rotary and linear measures in ancient time measurement.....	89
Pavlovskaya O.G., Khoroshilov V.S. Techniques for homogeneous landslides zones determination by the results of geodetic observations.....	94
Astrakhantsev V.D., Zolotaryov I.I. Control of railways geometric parameters by modern positioning techniques	99
Afonin K.F. Technology of reducing measured values on the plane for the expanded zones of Gauss – Kruger projection	102

Skripnikov V.A., Skripnikova M.A. Improvement of horizontal control schemes for determining horizontal displacements of hydraulic structures.....	107
Zverev L.A. Comparative analysis of relative inclination determination results by different methods.....	111
Grin G.A., Murzintsev P.P. Current technologies application for high precision survey of the bottom relief and underwater objects.....	113
Dudarev V.I. Equalizing of geodetic networks by results of relative GPS-measurements	119
Malyshkov Yu.P., Malyshkov S.Yu. Interconsistent movement of the earth solid core and the Moon.....	127
Malyshkov Yu.P., Malyshkov S.Yu. Global latitude effect at propagation of the Earth core deformation waves.....	133
Gordeev V.F., Malyshkov S.Yu., Polivach V.I., Shtalin S.G. Assessment of rocks' deflection mode along gas-main pipelines using method of recording of Earth VLF noise	138
Gordeev V.F., Shtalin S.G., Polivach V.I., Malyshkov S.Yu., Zaderigolova M.M. Assessment of landslide slope stability based on parameters of natural pulsed electromagnetic field of the Earth using ASM-GP.....	144
Kabanov M.M., Kapustin S.N., Koltun P.N., Milovantsev P.B. Internet portal for automated system for monitoring of geodynamic processes	149
Arnautov G.P., Bunin I.A., Kalish E.N., Nosov D.A., Stus Yu.F., Smirnov M.G., Timofeev V.Yu., Ardyukov D.G. Estimate of the rate of vertical displacements of the earth's surface and changes in the density of the crust in the south-west of the Baikal rift zone and the Altai mountains according to gravimetric monitoring	154
Efimov S.A. Spectral method of data processing for vibroseismic monitoring of a terrestrial surface	158
Bugakova T.Yu. The problem of risk assessment for geotechnical systems by geodetic data.....	163
Kalenizkij A.I., Solowizkij A.N. The evaluation of the changes of the deformation of the blocks of the earth's crust at the Kusbass coal interior development	169
Kanushin V.F., Vakhrushev A.G., Rumyantseva Ye.D. Solution of the dynamic geodesy boundary problem of Dirichlet by wavelet-analysis.....	173
Kanushin V.F., Ganagina I.G., Goldobin D.N. Modeling anomalous gravitational field in Arctic basin	178
Kanushin V.F. Application of virial method for solving dynamic geodesy problems	182
Suzdalev A.S. The techniques for mathematical simulation of the earth geophysical field evolution on the basis of the generalized spherical harmonic analysis on the site	186
Padve V.A. Transformation of necessary measurements into random approximate parameters values for least-squares optimization of geospatial data	190
Teleganov N.A. Adjustment of newly adjoined geodetic networks.....	193

Kostyna Yu.G. Estimation of gravity changes caused by snow cover.....	199
Dorogova I.Ye. Interpretation of the earth's crust movements observation on the technogenic test area	203
Nekrasova O.I. Approximation of the gravitational influence cone on the geodetic measurements numerical method	208
Dementiev Yu.V., Kulik E.N., Akulich E.S. Optimization of global digital elevation model for performing the complete topographic reduction of gravity corrections.....	214
Lisitsky D.V., Utrobina Ye.S., Kolesnikov A.A., Komissarova Ye.V. Development of multimedia block interface for reference analytical GIS tool.....	217
Yelshina T.Ye. Nature conservation mapping of Novosibirsk region for SSGA portal.....	223
Sukhorukova S.A., Dyshlyuk S.S. Nature management as an object of mapping	225
Kurepina N.Yu. Experience in mapping of anthropogenic load on catchment area and water objects.....	230
Arkhipenko O.P., Mandrugina V.V. Principles of the organization of work for geoportal implementation	236
Karetina I.P., Alhimovich A.A. Designing and drawing up onomastic atlas of the East Kazakhstan area.....	241
Kasyanova Ye. L. Kikin P. M., Development of GIS for engineering communications	246
Katsko S.Yu. GIS for non-professional users as one of the modern tools for dealing with geoinformation	249
Kokorina I.P. Application of interpolation methods in zoogeographic research on the basis of GIS-technologies	254
Kolganova E.Y. Mapping of historical and cultural heritage of migrants by stolypin agrarian reform in the Irkutsk region	259

УДК 528.063.1

А.П. Карпик, А.П. Решетов, А.А. Струков, К.А. Карпик
СГГА, Новосибирск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПУНКТОВ СЕТИ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ В ОБЩЕЗЕМНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Приводятся результаты исследований по определению координат активных базовых станций Новосибирской области в общеземной системе координат различными способами уравнивания. Выполнен мониторинг положения активных базовых станций с июня по сентябрь 2010 г.

A.P. Karpik, A.P. Reshetov, A.A. Strukov, K.A. Karpik
SSGA, Novosibirsk

DETERMINATION OF COORDINATES THE CONTINUOUS OPERATING REFERENCE STATIONS POINTS OF THE NOVOSIBIRSK REGION IN THE COMMON TERRESTRIAL SYSTEM OF COORDINATES

Results of investigations of determining coordinates of the continuous operating reference stations of the Novosibirsk region in the Common Terrestrial System of coordinates by means of different adjustments are presented in the article. Monitoring of the continuous operating reference stations location from June to September 2010 has been carried out.

С 2007 года, согласно Указу Президента РФ, активизировались работы по развитию системы ГЛОНАСС в России. ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия» выступила с инициативой по развертыванию на территории Новосибирской области сети активных базовых станций. Предложения по данному проекту, представленные губернатору НСО, получили его поддержку.

В результате, в рамках государственного контракта в Новосибирской области были выполнены работы по созданию наземной инфраструктуры для обеспечения эффективного использования глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС [1]. Для успешной реализации такой инфраструктуры была создана сеть активных базовых станций (АБС) на территории области.

Целью исследования являлось определение координат базовых станций в ОЗСК двумя способами уравнивания («по секторам» и «лучевым» уравниванием), а также сравнение результатов уравниваний, полученных по наблюдениям в различные периоды времени, а именно, в июне 2010 г. и в сентябре 2010 г.

В настоящее время наиболее точной реализацией общеземной системы координат является Международная земная координатная основа (ITRF). Для определения координат наземного пункта в этой общеземной системе необходимо выполнить его привязку к пунктам ITRF. Такими пунктами являются постоянно действующие станции Международной ГНСС-службы (IGS). С 1988 г. Международная служба вращения Земли (IERS) выполняет регулярную обработку наблюдений со станций ITRF и публикует полученные решения в технических отчетах «IERS annual report» и «IERS technical note». Обслуживанием и предоставлением информации занимается IGS, которая входит в состав IERS. Погрешность взаимного положения этих станций составляет 5-6 мм. Координаты станций вычисляются с учетом различных возмущающих факторов, таких как: лунно-солнечные приливы, деформации из-за океанических приливных нагрузок, атмосферные нагрузки на земную кору и др. Модели этих факторов представлены в [2].

Для определения координат пунктов сети АБС Новосибирской области в системе координат ITRF2005 сначала были определены координаты исходного пункта сети, и затем распространены на остальные станции. В данном случае для территории Сибири ближайшими пунктами IGS являются Арти (ARTU), Норильск (NRIL), Бишкек (POL2) и Иркутск (IRKJ). Выбор этих станций обусловлен не только относительной близостью к Новосибирской области, но и геометрией расположения, стабильностью работы и качеством измерительной информации.

Для определения координат исходной базовой станции, находящейся в Новосибирске, на ней было накоплено 10 суточных сеансов наблюдений. Начало наблюдений в 0 часов 0 минут Всемирного времени UTC, дискретность записи наблюдений 30 секунд, угол отсечки по высоте 13° . Файлы наблюдений с пунктов сети IGS были взяты из общедоступного интернет-ресурса [3] за аналогичный десятисуточный период времени. Обработка синхронных спутниковых наблюдений выполнялась с привлечением дополнительных продуктов IGS в виде точных эфемерид и продуктов IERS в виде скоростей движения литосферных плит по модели NOVEL 1A [4]. Использование таких продуктов связано с большими расстояниями до пунктов сети IGS (более 1,5 тысяч километров).

Математическая обработка спутниковых наблюдений выполнялась в программных обеспечениях (ПО) Trimble Geomatics Office (TGO) и Leica Geo Office Combined (LGO) и состояла из следующих этапов:

- Обработка базовых линий между исходным пунктом сети базовых станций и пунктами IGS с привлечением дополнительных продуктов IGS и IERS;
- Оценка точности полученных после обработки результатов;
- Определение координат исходного пункта сети базовых станций от пунктов IGS посредством ограниченного уравнивания;
- Оценка точности результатов уравнивания;

- Обработка базовых линий внутри секторов от исходного пункта к ближайшим пунктам и далее к краям сети АБС за период с 1 по 25 июня 2010 г.;
- Определение координат остальных базовых станций посредством уравнивания «по секторам» от исходного пункта к ближайшим пунктам и далее к краям сети АБС за период с 1 по 25 июня 2010 г.;
- Оценка точности результатов уравнивания;
- Обработка базовых линий внутри секторов от исходного пункта к ближайшим пунктам и далее к краям сети АБС за период с 1 по 13 сентября 2010 г.;
- Определение координат остальных базовых станций посредством уравнивания «по секторам» от исходного пункта к ближайшим пунктам и далее к краям сети АБС за период с 1 по 13 сентября 2010 г.;
- Оценка точности результатов уравнивания;
- Обработка базовых линий от исходного пункта на все остальные пункты сети («бесконтрольная») 1, 8, 27, 28, 29 июня 2010 г.;
- Определение координат пунктов через уравнивание полученного «лучевого» построения 1, 8, 27, 28, 29 июня 2010 г.;
- Оценка точности результатов уравнивания;
- Обработка базовых линий от исходного пункта на все остальные пункты сети («бесконтрольная») 1, 2, 4 сентября 2010 г.;
- Определение координат пунктов через уравнивание полученного «лучевого» построения 1, 2, 4 сентября 2010 г.;
- Оценка точности результатов уравнивания;
- Сравнение полученных результатов.

Обработка базовых линий между исходным пунктом сети АБС и станциями IGS была выполнена в ПО TGO. В обработку были включены только независимые базовые линии. В результате обработки все базовые линии удовлетворяли установленным производителем ПО TGO допускам для получения качественного решения. Максимальная среднеквадратическая погрешность одного измерения составила 22 мм, минимальная – 13 мм. На рис. 1 приведена схема сети.

Ограниченное уравнивание было выполнено при следующих критериях:

- Пересчет координат пунктов сети IGS на заданную эпоху $T = 2010.4548$ с использованием модели движения литосферных плит NOVEL 1A;

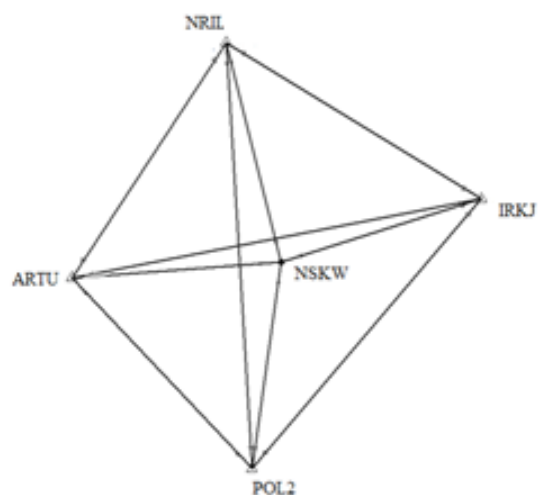


Рис. 1. Схема исходных пунктов IGS и определяемого пункта NSWK в Новосибирске – исходного пункта сети АБС

- Априорные ошибки в плане 10 мм и по высоте 15 мм;
- Доверительный интервал $\alpha = 95 \%$.
- Координаты пунктов сети IGS были взяты как исходные.

Всего в уравнивание было включено 40 независимых базовых линий.

Координаты определяемого пункта NSKW определены с погрешностью 6 мм в плане и 10 мм по высоте на эпоху 15 июня 2010 г. (T = 2010.4548, эпоха 1).

Следующим этапом была выполнена обработка наблюдений на пунктах сети АБС в период с 1 июня 2010 г. по 25 июня 2010 г. в ПО LGO с использованием точных эфемерид для орбит спутников ГЛОНАСС [5] и GPS [6]. На этом этапе сеть АБС была разбита на секторы, в каждом из которых 3-6 пункта. Координаты передавались последовательно от исходного пункта NSKW. Схема разбиения сети АБС на секторы приведена на рис. 2.

Уравнивание выполнялось последовательной передачей координат от исходного пункта в Новосибирске на восток, запад и юг, т. е. к границам сети. В табл. 1 показаны номера секторов, базовые станции сети АБС, входящие в секторы и количество базовых линий (БЛ), обработанных и включенных в первое уравнивание «по секторам» за период наблюдений с 1 по 25 июня 2010 г. (эпоха 1).

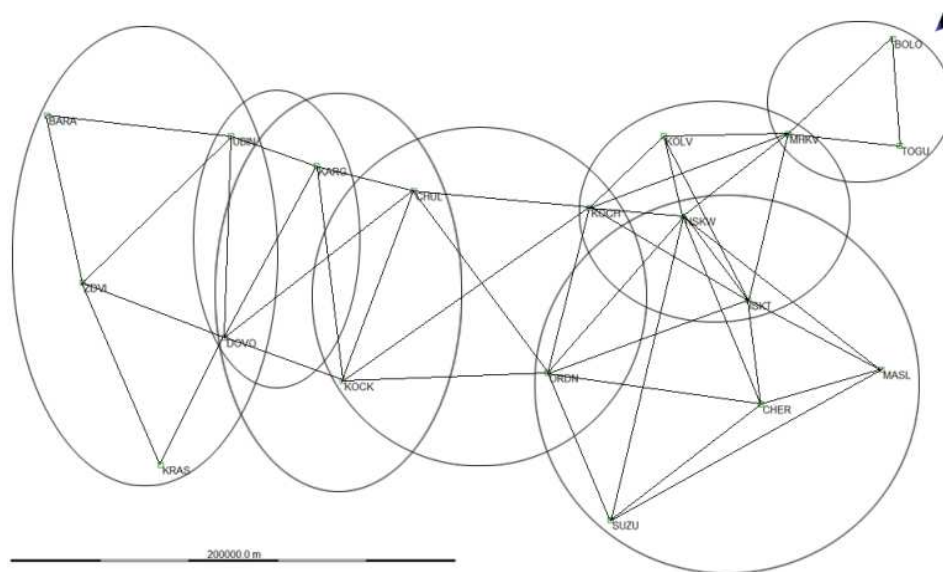


Рис. 2. Схема разбиения сети АБС на 7 секторов

Таблица 1. Количество БЛ и пункты в секторах на эпоху 1

Номер сектора	Базовые станции в секторе	Количество БЛ
1	NSKW(ИП), KOLV, KOCH, MHKV, ISKT	64
2	NSKW(ИП), ISKT(ИП), MASL, CHER, ORDN	116
3	MHKV(ИП), BOLO, TOGU	47
4	KOCH(ИП), ORDN(ИП), CHUL, KOCK	85
5	CHUL(ИП), KOCK, KARG, DOVO	69
6	KARG(ИП), DOVO(ИП), UBIN	48
7	UBIN(ИП), DOVO(ИП), BARA, ZDVI, KRAS	95

Уравнивания выполнялись при следующих критериях:

- Априорные ошибки в плане 3 мм и по высоте 5 мм;
- Доверительный интервал $\alpha = 95\%$.
- За исходные приняты координаты пункта NSKW, определенные от пунктов сети IGS на эпоху T1 = 2010.4548 (эпоха 1).

На следующем этапе была выполнена обработка базовых линий за период с 1 по 13 сентября 2010 г. Эпоха наблюдений 7.09.2010 (T2 = 2010.6845, эпоха 2). Уравнивание выполнялось по тем же секторам, что и на предыдущем этапе. За исключением того, что количество базовых линий было меньше, а 6 и 7 секторы объединены (табл. 2).

Таблица 2. Количество БЛ и пункты в секторах на эпоху 2

Номер сектора	Базовые станции в секторе	Количество БЛ
1	NSKW(ИП), KOLV, KOCH, MNKV, ISKT	52
2	NSKW(ИП), ISKT(ИП), MASL, CHER, ORDN	65
3	MNKV(ИП), BOLO, TOGU	17
4	KOCH(ИП), ORDN(ИП), CHUL, KOCK	37
5	CHUL(ИП), KOCK, KARG, DOVO	39
6	KARG(ИП), DOVO(ИП), UBIN, BARA, ZDVI, KRAS	70

Третьим видом уравнивания была «лучевая» передача координат от исходного пункта на все остальные станции сети АБС. Всего в уравнивание были включены 52 базовые линии. Период наблюдений включал 1, 8, 27, 28, 29 июня 2010 г. В этот период сеть АБС еще находилось в отладочном режиме и поэтому не все станции работали стабильно. Схема передачи координат показана на рис. 3.

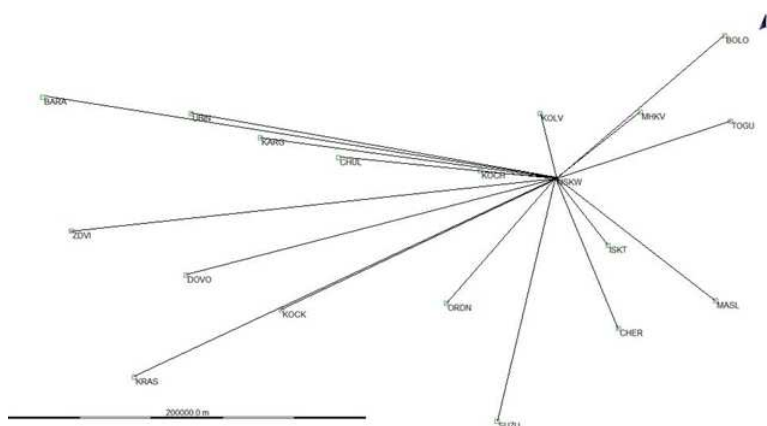


Рис. 3. Схема передачи координат от исходного пункта NSKW на остальные пункты сети АБС «лучевым» способом

Критерии уравнивания были заданы такими же, что и на предыдущих этапах при уравнивании «по секторам».

Четвертым видом уравнивания была такая же «лучевая» передача координат от исходного пункта на все остальные пункты сети АБС, но с

использованием наблюдений 1, 2, 4 сентября 2010 г. Общее количество базовых линий, включенных в уравнивание, составило 54.

Получены результаты:

1) В уравнивании «по секторам» максимальное расхождение в уравненных координатах приходится на наиболее удаленные от исходного пункта станции АБС по координатам Y и Z. Они составляют на станциях BARA – $\Delta Y = 22$ мм, $\Delta Z = 32$ мм; ZDVI – $\Delta Y = 20$ мм, $\Delta Z = 27$ мм; UBIN – $\Delta Y = 19$ мм, $\Delta Z = 27$ мм по абсолютной величине. По координате X это отклонение не превышает 5 мм на всех станциях;

2) При уравнивании «лучевым» способом максимальное расхождение в уравненных координатах приходится на станции MASL – $\Delta Y = 23$ мм, $\Delta Z = 30$ мм; SUZU – $\Delta Y = 18$ мм, $\Delta Z = 24$ мм по абсолютной величине. По координате X это отклонение не превышает 8 мм на всех станциях;

3) Максимальная разность уравненных координат между «лучевым» и «по секторам» на эпоху 1 составила на станциях KRAS – $\Delta Y = 26$ мм, $\Delta Z = 25$ мм; КОСК – $\Delta Y = 19$ мм, $\Delta Z = 23$ мм. На эпоху 2 UBIN – $\Delta Y = 15$ мм, $\Delta Z = 32$ мм; KARG – $\Delta Y = 13$ мм, $\Delta Z = 27$ мм, ZDVI – $\Delta Y = 12$ мм, $\Delta Z = 26$ мм;

4) Среднеквадратическая погрешность определения координат станций после уравнивания «по секторам» составила порядка 1-2 мм. Но следует отметить, что такие небольшие погрешности являются результатом большого числа включенных в уравнивание базовых линий внутри сектора и их осреднением результатами уравнивания;

5) Среднеквадратическая погрешность определения координат станций после «лучевого» уравнивания составила порядка 3-9 мм. Наибольшие погрешности (8-9 мм) получены при втором уравнивании по координатам Y и Z.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <http://fcp.vpk.ru/cgi-bin/cis/fcp.cgi/Fcp/Passport/View/2011/117/> - Федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система», паспорт программы;
2. 1996 IERS Annual report – Paris: Central Bureau of IERS – Observatoire de Paris July 1997.
3. <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/> - ресурс Информационной системы данных о динамике земной коры.
4. <http://itrf.ensg.ign.fr/> - информация о Международной земной координатной основе.
5. <http://www.oaoeka.ru:81/getdata.php> - сайт Системы высокоточного определения эфемерид и временных поправок.
6. <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products> - ресурс с эфемеридами для спутников GPS.
7. Trimble Geomatics Office. Руководство пользователя программного обеспечения, Том 1, Том 2. Trimble Navigation Limited, октябрь 2001 года.
8. Trimble Geomatics Office. Wave Baseline Processing. Руководство пользователя. Trimble Navigation Limited, октябрь 2001 года.

9. Leica Geo Office v.7.0 Online Help Manual, Copyright©2008, Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland.

© *А.П. Карник, А.П. Решетов, А.А. Струков, К.А. Карник, 2011*

УДК 528.4

П.П. Мурзинцев

СГГА, Новосибирск

Д.Б. Буренков, А.В. Полянский, Ю.А. Пупков, Л.Е. Сердаков

ИЯФ СО РАН, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАЛЬНОМЕРОВ API LASER TRACKER 3

В статье приведены результаты исследования точностных характеристик дальномеров API Laser Tracker 3 на компараторе ИЯФ СО РАН.

P.P. Murzincev

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

D.B. Burenkov, A.V. Polyanskiy, Y.A. Pupkov, L.E. Serdakov

Budker Institute of Nuclear Physics (BINP)

RESEARCH OF THE ACCURACY CHARACTERISTICS INTERFEROMETER AND TURBO ADM MODULES API LASER TRACKER 3

The results of research of accuracy characteristics rangefinders API Laser Tracker 3 to comparator BINP.

Высокоточная координатно-измерительная машина – лазерный трекер, фирмы API (рис. 1), используется в Институте Ядерной Физики для широкого спектра инженерных задач. С целью проверки соответствия заявленных точностных характеристик прибора, были произведены измерения на компараторе института.

Лазерный трекер дает возможность получать координаты точек измеряемого объекта в трехмерном пространстве, сканировать поверхности объекта, для их дальнейшего контроля с проектными значениями и многое другое.

Основной принцип работы лазерного трекера – измерение расстояния и двух углов до специального отражателя, слежение за которым осуществляется за счет лазерного луча и сервоприводов, встроенных в контрольно-измерительную часть машины. Все



Рис. 1. Общий вид API Laser Tracker 3

калибровочные характеристики трекера хранятся на контроллере, который вынесен отдельным блоком. Контроллер связан через Ethernet соединение с ноутбуком. Управление прибором осуществляется оператором, через специальную программу Spatial Analyzer.

Лазерный трекер оснащен двумя типами дальномеров. Первый режим – интерферометрии (IFM). В нем, трекер измеряет изменение расстояния от некоего базового значения. Второй режим – абсолютного дальномера (ADM). В случае прерывания лазерного луча в режиме интерферометра, прибор автоматически переходит в режим абсолютного дальномера. Встроенный абсолютный дальномер необходимо калибровать относительно интерферометра трекера, в диапазоне измеряемых расстояний.

API Laser Tracker 3

Технические характеристики

Абсолютная погрешность трехмерного координатного устройства:	
Статическая	$\pm 5 \text{ ppm}$ (25мкм) на 5 метрах
Динамическая	$\pm 10 \text{ ppm}$ (50мкм) на 5 метрах
Характеристики лазерного интерферометра (IFM):	
Разрешение	1 мкм
Точность	лучше чем 1ppm
Характеристика абсолютного дальномера (ADM):	
Разрешение	1 мкм
Точность	$\pm 15 \text{ мкм}$ или 1,5 ppm 15мкм на 5 метрах 30 мкм на 20 метрах

Для поверки инварных жезлов, рулеток, проволок и других линейных измерительных устройств в ИЯФе используется интерферометр 5529А, фирмы Hewlett-Packard (рис. 2).

Интерферометр Hewlett-Packard 5529А

Технические характеристики:

Предел измеряемой длины	80 м
Дискретность отсчета	0,1(0,01) мкм
Относительная погрешность измерений	0,5 мкм
Допустимая скорость перемещения	18 м/мин



Рис. 2. Общий вид HP 5529A

Для совместных измерений длин линий, трекер установили, насколько это было возможно, в створе с интерферометром HP 5529A. На каретку, которая перемещается по направляющей, с обратной стороны от призмы интерферометра, был закреплен отражатель трекера (рис. 3).

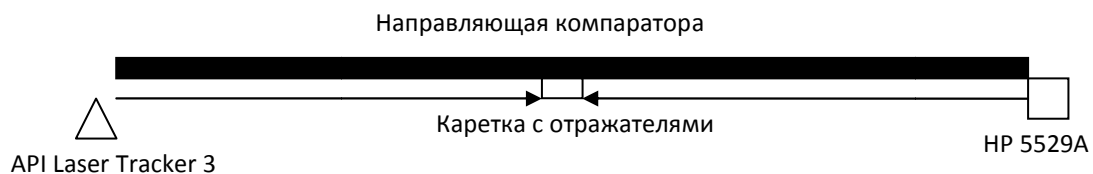


Рис. 3. Схема измерений

Производились следующие измерения: в режиме IFM на длину ~ 25 м с шагом 3 м.; в режиме ADM: на длину ~ 25 м. с шагом 3 м.

Измерения в режиме IFM.

На рис. 4 представлен график разниц длин линий полученных лазерным трекером и интерферометром HP.

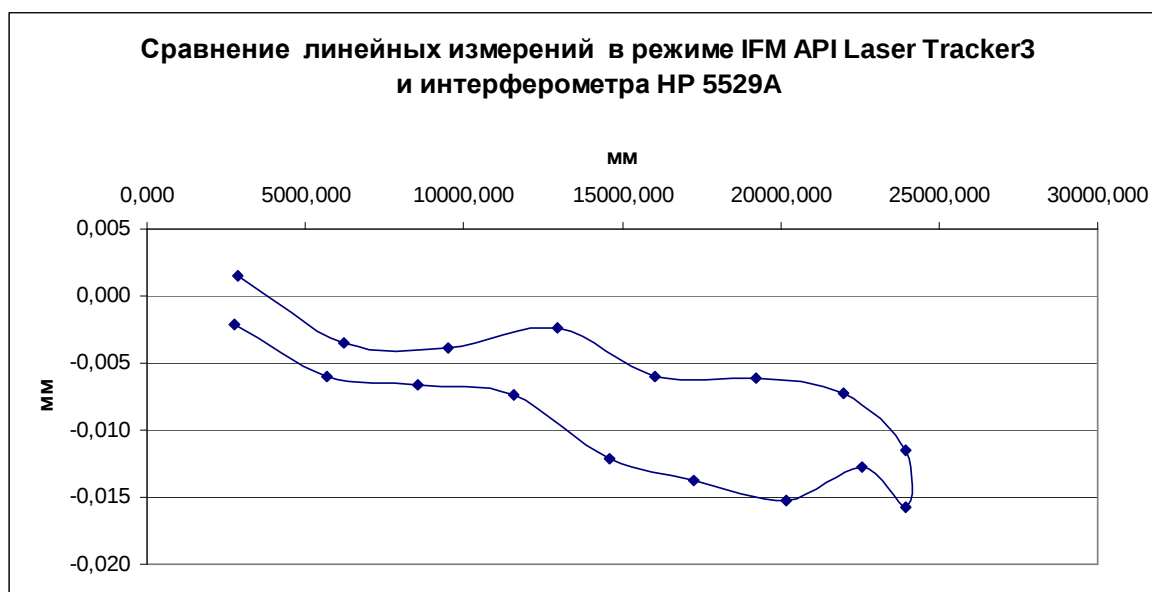


Рис. 4

Разница прямого и обратного хода составила не более 10 мкм, что удовлетворяет паспортным требованиям. На расстоянии 24 м. максимальная разница с интерферометром составила 16 мкм, что так же хорошо укладывается в заявленные характеристики производителя.

Следует отметить, что все измерения производились в не термостатированном помещении. Перепад температур на длине направляющей компаратора достигал 1,5 градуса. Так же не достигнута точная установка измеряющей головки трекера в створ с интерферометром HP, по причине конструктивных особенностей трекера и направляющей дороги компаратора. Поэтому общую точность полученных данных трекером следует рассматривать как погрешность трехмерного координатного устройства.

Измерения в режиме ADM.

На рис. 5 показан график разниц линейных измерений на длину 24 м.

Сравнение ADM режима с интерферометром является наиболее важной, так как большинство измерений производится в этом режиме.

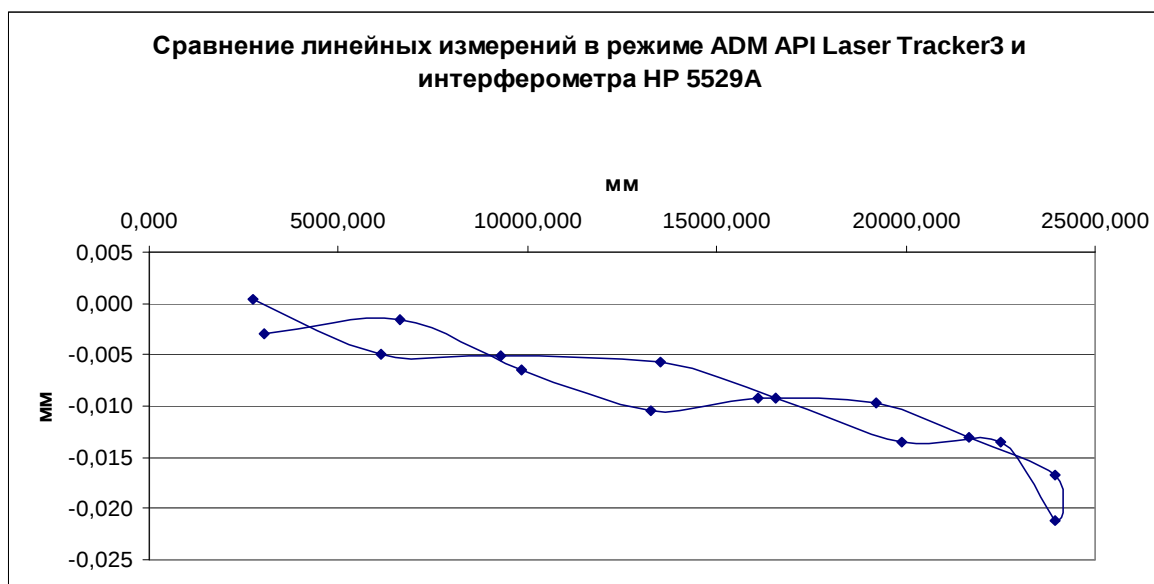


Рис. 5

Полученные данные укладываются в погрешности абсолютного дальномера указанные в паспорте. Так на 20 м. разница с интерферометром составила около 15 мкм, при допустимых 30.

На основе произведенных измерений можно сделать вывод: интерферометр и абсолютный дальномер лазерного трекера API Laser Tracker3 соответствуют паспортным характеристикам производителя. Измерения предпочтительнее производить в режиме IFM для достижения лучшей точности. Стабилизация температуры в помещении (до $0,1^{\circ}\text{C}$) значительно улучшает результаты измерений.

© П.П. Мурзинцев, Д.Б. Буренков, А.В. Полянский,
Ю.А. Пупков, Л.Е. Сердаков, 2011

УДК 528.482

А.А. Басаргин

СГГА, Новосибирск

ВАРИОГРАММНЫЙ И КОВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСАДКОЙ ФУНДАМЕНТОВ ИНЖЕНЕРНОГО СООРУЖЕНИЯ

В статье анализируются основные параметры вариограммного и ковариационного анализа для интерполяции геодезических данных. Вариограммный и ковариационный анализ позволяет выявить более полную информацию о техническом состоянии фундаментов и здания в целом, а также определить области неравномерных осадок, построить цифровые модели осадки сооружения, кроме того, используя различные методы интерполяции, смоделировать ошибки модели.

An.A. Basargin

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

VARIOGRAM AND COVARIANCE ANALYSIS OF ENGINEERING STRUCTURE FOUNDATION SETTLEMENT OBSERVATION

The author analyses basic parameters of variogram and covariance parameters for interpolating geodetic data. Variogram and covariance analysis allows for acquiring complete information on the technical state of the foundation and the building as a whole, detecting relative settlement areas, developing digital models of the structure settlement as well as simulating model errors by different interpolation methods.

Одним из важных моментов при моделировании и пространственно-временном анализе деформаций является вариограммный и ковариационный анализ. Пространственно-временной анализ позволяет выявить территориальное распределение объектов пространства, их устойчивые сочетания, строить и прогнозировать оптимальную модель территориальной организации. Система методов пространственно-временного анализа обеспечивает комплексную оценку статистики, динамики и прогноза развития в виде его пространственно-временных моделей, отображаемых в цифровом виде [3].

Функции вариограмм и ковариации помогают определить степень статистической корреляции в зависимости от расстояния. Геостатистические методы предоставляют средства предварительного просмотра вариограммы и ковариационной зависимости. Это облегчает и повышает эффективность

процедуры подбора параметров модели, включая анизотропию и моделирование ошибок измерений [1].

Вариограмма и функции ковариации определяют количественно предположение, что осадочные марки, расположенные поблизости, имеют большую связь, чем те, которые расположены дальше. Функции вариограмм измеряют силу статистической корреляции от расстояния.

При росте расстояния вероятность взаимосвязи между значениями в точках измерений уменьшается. Вариограмма определяется как [2]:

$$\gamma(S_i, S_j) = \frac{1}{2} \text{var}(Z(S_i) - Z(S_j)), \quad (1)$$

где var – разность между значениями осадки в местоположении i и j .

Если две марки S_i и S_j находятся близко друг к другу, меры расстояния $d(s_i, s_j)$, как ожидается, имеют большую связь, т. е. различие в их значениях $Z(s_i) - Z(s_j)$ будет небольшим. А если S_i и S_j находятся на значительном расстоянии, они будут иметь меньшую связь, и различие в их значениях $(Z(s_i) - Z(s_j))$ станет большим.

При увеличении различия с расстоянием вариограмму можно представить как функцию несходства. Высоту, которую вариограмма достигает, когда выравнивается, в терминах геостатистики, называют «пластом». Он часто состоит из двух частей: 1) неоднородность в происхождении, которую называют остаточной дисперсией (ОД), и 2) частичный пласт (ЧП). Остаточная дисперсия может быть разделена на ошибку измерения и изменение микромасштаба и так как компонент может быть нулевой, остаточная дисперсия может быть включена полностью. Расстояние, на котором вариограмма выравнивается, называется диапазоном. Принцип вариограммы изображен на (рис. 1).

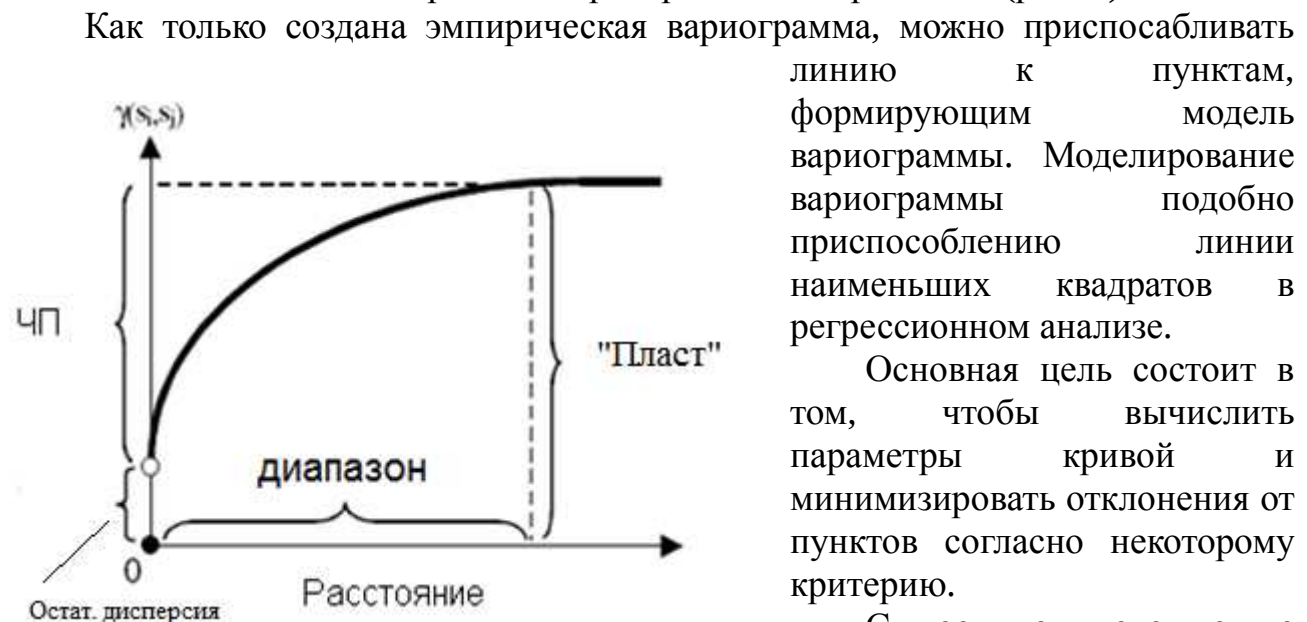


Рис. 1. Принцип вариограммного анализа

линию к пунктам, формирующим модель вариограммы. Моделирование вариограммы подобно приспособлению линии наименьших квадратов в регрессионном анализе.

Основная цель состоит в том, чтобы вычислить параметры кривой и минимизировать отклонения от пунктов согласно некоторому критерию.

Существуют следующие модели вариограммы [1]:

1. Круговая

$$\gamma(d; \theta) = \begin{cases} \frac{2\theta_s}{\pi} \left[\frac{\|d\|}{\theta_r} \sqrt{1 - \left(\frac{\|d\|}{\theta_r} \right)^2} + \arcsin \frac{\|d\|}{\theta_r} \right], & \text{для } 0 \leq \|d\| \leq \theta_r; \text{ для } \theta_r < \|d\|, \\ \theta_s & \end{cases}$$

(1)

где $\theta_r > 0$ – параметр диапазона;

d – расстояние между пунктами.

2. Сферическая

$$\gamma(d; \theta) = \begin{cases} \theta_s \left[\frac{3}{2} \frac{\|d\|}{\theta_r} - \frac{1}{2} \left(\frac{\|d\|}{\theta_r} \right)^3 \right], & \text{для } 0 \leq \|d\| \leq \theta_r; \text{ для } \theta_r < \|d\|, \\ \theta_s & \end{cases} \quad (2)$$

где d – расстояние между пунктами.

3. Тетрасферическая

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} \frac{2\theta_s}{\pi} \left(\arcsin \left(\frac{\|h\|}{\theta_r} \right) + \frac{\|h\|}{\theta_r} \sqrt{1 - \left(\frac{\|h\|}{\theta_r} \right)^2} + \frac{2}{3} \frac{\|h\|}{\theta_r} \left(1 - \left(\frac{\|h\|}{\theta_r} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}} \right) \\ \theta_s \end{cases}$$

для $0 \leq \|d\| \leq \theta_r$; для $\theta_r < \|d\|$, (3)

где d – расстояние между пунктами.

4. Пентасферическая

$$\gamma(d; \theta) = \begin{cases} \theta_s \left[\frac{15}{8} \frac{\|d\|}{\theta_r} - \frac{5}{4} \left(\frac{\|d\|}{\theta_r} \right)^3 + \frac{3}{8} \left(\frac{\|d\|}{\theta_r} \right)^5 \right], & \text{для } 0 \leq \|d\| \leq \theta_r; \text{ для } \theta_r < \|d\|, \\ \theta_s & \end{cases} \quad (4)$$

5. Экспоненциальная

$$\gamma(d; \theta) = \theta_s \left[1 - \exp \left(-\frac{3\|d\|}{\theta_r} \right) \right], \text{ для всех } d. \quad (5)$$

Отметим что, ковариация – это вычисленная версия корреляции. Когда два пункта расположены ближе друг к другу, следует ожидать их большего сходства, поэтому их ковариация (соизмеримость) возрастает. При увеличении расстояния между пунктами сходство между ними уменьшается, вследствие чего их ковариация стремится к нулю.

Функция ковариации определяется как [98]:

$$C(S_i, S_j) = \text{cov}(Z(S_i) - Z(S_j)), \quad (6)$$

где cov – ковариация.

Принцип ковариации изображен на (рис. 2).

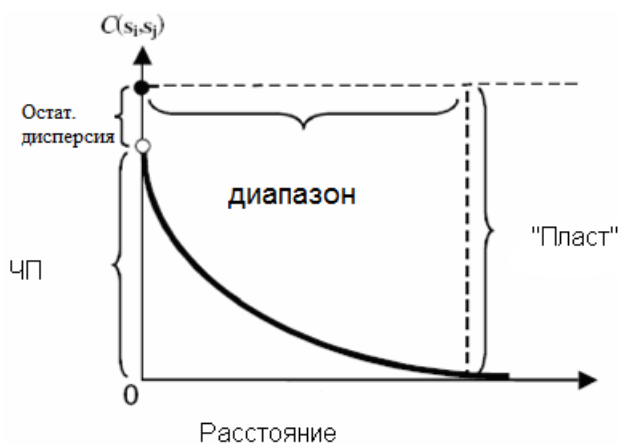


Рис. 2. Принцип ковариации

Ковариация функционирует, уменьшаясь с расстоянием, так что о ней можно судить как о функции подобия.

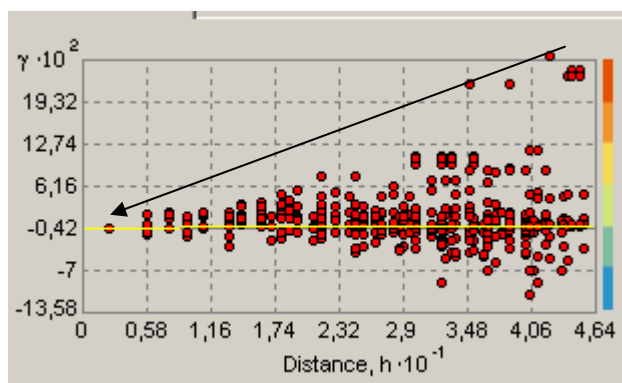
Ковариация представляет статистическую тенденцию (тренд) переменных разного типа изменяться в зависимости от взаимосвязей друг с другом. Положительная ковариация возникает, когда обе переменные имеют общую тенденцию быть больше их среднего значения, а

отрицательная ковариация – в случае, когда одна из переменных стремится быть больше своего среднего, а другие – меньше их среднего значения [3].

В данной работе выбор модели осуществлялся на основе наблюдений за осадками фундамента строящегося административного здания. Мониторинг осадок выполнялся каждый месяц в течение 2007 г. и один раз в два месяца в течение 2008 г. В результате получены значения осадок контрольных марок по каждому циклу наблюдений.

Для вариограммного и ковариационного анализа использовались лабораторные исследования физико-механических свойств грунтов на площадке строительства. На основании этих данных было выполнено исследование корреляционной зависимости между значениями осадки и плотностью грунтов; осадками и коэффициентами водонасыщения.

На (рис. 3) приведена графическая интерпретация корреляционной зависимости.



Теоретическая линия вариограммы

Рис. 3. Графическая интерпретация корреляционной зависимости между осадками и плотностью грунтов

На (рис. 3) по оси X откладывают расстояния между марками (в метрах), а по оси Y находятся вычисленные значения вариограммы, соответствующие каждой марке. Чтобы ускорить вычисление значений вариограммы расстояния между всеми парами марок группируются в интервальные группы. Весь диапазон расстояний разбивается на ряд равных интервалов до максимального

значения расстояния между марками. Для каждой пары контрольных марок вычисляется расстояние и квадрат разности функции вариограммы. Эта пара точек включается в соответствующий интервал расстояний и для каждого из них накапливается общая дисперсия. После обработки всех пар марок фундамента для каждого интервала расстояний подсчитывается средняя дисперсия, представляющая среднее различие между осадками в двух любых марках, находящихся на расстоянии g друг от друга.

Моделирование на основе ковариации используется для определения локальных характеристик пространственной корреляции между двумя наборами данных и для поиска локальных сдвигов во взаимной корреляции.

Наличие и учет корреляционной зависимости между исследуемыми данными позволяет выбрать более точную и адекватную модель осадки. Чем плотнее массив точек к теоретической линии вариограммы, тем больше корреляция между осадками, плотностью грунтов и коэффициентами водонасыщения.

Для данного сооружения получена цифровая модель осадок на основе экспоненциальной модели вариограммы с учетом параметров грунтов, карты распределения ошибок интерполяции и взаимной и перекрестной проверки, со средней квадратической ошибкой 0,7 мм. Установленная модель вариограммы и ковариации, применительно к анализу осадок фундаментов реального инженерного сооружения, может быть использована и при анализе деформаций промышленных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ArcGIS™ 3D Analyst™: Three-Dimensional Visualization, Topographic Analysis, and Surface Creation ESRI 380 New York St. – Badlands, 2002. – 20 с.
2. Гитис, В.Г. Основы пространственно временного прогнозирования в геоинформатике / В.Г. Гитис, Б.В. Ермаков. – М.: Физматлит, 2004.
3. ArcGIS™ 3D Analyst™: Using_Geostatistical_Analyst ESRI 380 New York St. [Текст]. - Badlands, 2002, 307 с.

© А.А. Басаргин, 2011

УДК 528.482:528.91

А.А. Басаргин

СГГА, Новосибирск

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

В статье предлагается использовать пространственно-временной анализ для интерполяции результатов наблюдений за осадками инженерных сооружений и создания цифровых моделей поверхностей. На основе современной измерительной техники и ГИС-технологий можно ставить вычислительные задачи итеративного характера, то есть проверять ряд альтернативных гипотез и оценивать конечные результаты.

An.A. Basargin

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

TECHNIQUES OF DIGITAL MODELS DEVELOPMENT FOR TIME-SPACE ANALYSIS OF DEFORMATION PROCESSES

The time-space analysis is offered to be used for interpolating observations of engineering structures settlements and digital surface models development. Modern measurement- and GIS-technologies may be used for setting iterative type computational problems, i.e. for checking a number of alternative hypotheses and estimating final results.

Неполная информация, которая используется при решении задач пространственно-временного анализа деформаций фундаментов, не позволяет остаться в рамках чисто математических методов. В этих условиях наилучшее решение задачи может быть получено за счет комплексного использования всей имеющейся информации. Эта информация включает в себя исходные данные, знания предметной области, экспертные решения и некоторые предположения о связи рассматриваемого свойства с характеристиками исследуемой среды, сформулированные в виде причинно-следственной модели. Задача состоит в том, чтобы в рамках цифровой модели деформации найти зависимость исследуемого свойства от характеристик среды и ее картографическое представление. При этом каждая версия формального решения представляет собой гипотезу, которая порождается в результате совместной обработки всех имеющихся знаний и данных [1].

Применение математических критериев для оценки качества версии решения требует выполнения ряда предположений, которые чаще всего трудно

считать обоснованными. Компромиссное решение состоит в проверке условий соответствия полученного результата причинно-следственной модели.

Решение не опровергает модель, если выполняются следующие условия [2, 4]:

- 1) Совместимость: результат не опровергается на имеющихся данных;
- 2) Значимость: критерий качества решения на контрольных примерах показывает на наличие причинно-следственной связи;
- 3) Непротиворечивость: результат может быть объяснен и обоснован с помощью имеющихся знаний и данных.

Однако трехмерная цифровая модель вместе со средствами информационного моделирования позволяет объединить всю доступную информацию об изучаемом процессе деформации.

При решении задачи могут изменяться все составляющие модели. Модель развивается и уточняется по мере получения дополнительных данных и появления новых гипотез о причинно-следственных связях [35, 90].

Построение модели пространственно-временного анализа деформаций фундаментов выполняется итеративно. Для решения задачи анализа надо многократно выполнять обработку данных, проверять ряд альтернативных гипотез и оценивать результаты с точки зрения возможности построения их интерпретации в терминах исследуемой предметной области. В процессе решения могут вводиться новые наблюдения. В результате итераций версии решения модифицируются и уточняются. Общая схема методики построения цифровых моделей для пространственно-временного анализа деформаций фундаментов инженерных сооружений представлена на (рис. 1).

Первым этапом является формализация задачи. На этом этапе решаются две задачи: построение и формализация причинно-следственной модели для исследуемого процесса деформации фундамента и формализация понятий объекта и признаков, на основании которых производится анализ.

Причинно-следственная модель описывает связь между анализируемой величиной и состоянием, свойствами и историей развития. Эта модель может формализоваться в виде некоторой схемы районирования изучаемой территории и в виде некоторого набора логических правил. Причинно-следственная модель

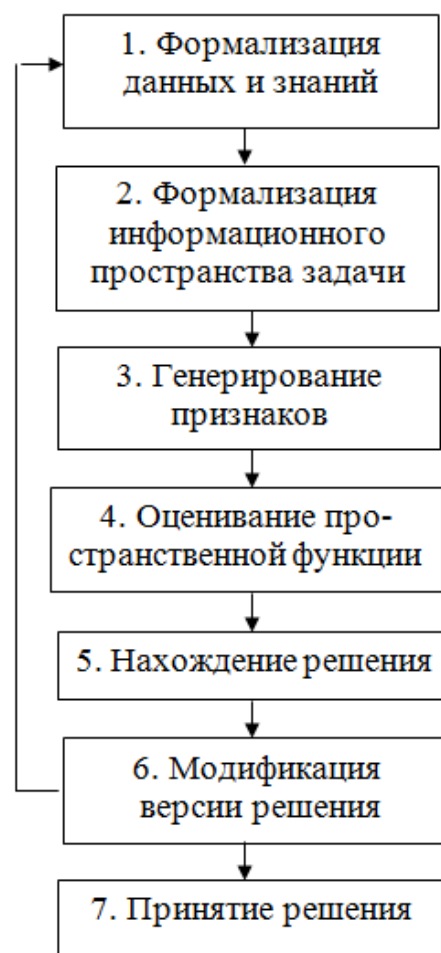


Рис. 1. Схема методики построения цифровых моделей деформаций фундаментов инженерных сооружений

используется для выбора исходных геодезических и геолого-геофизических данных, для выбора методов преобразования исходных данных в признаки, более адекватно описывающие анализируемую величину, для объяснения и обоснования результатов [4].

При формализации анализа деформации фундамента требуется определить способ представления исследуемого объекта или его свойства с помощью анализируемой величины.

Нетривиальность формализации процесса деформации фундаментов и признаков анализа связана с тем, что обычно анализируемый процесс может представляться с заранее неизвестной формой. Математические методы распознавания таких форм связаны с перебором. Компромиссное решение состоит в замене объекта на некоторое подмножество точек раstra. При этом каждая точка раstra должна принимать значение анализируемого объекта или прогнозируемого свойства объекта, а признаки каждой точки раstra должны нести информацию, достаточную для определения этого значения [1].

Вторым этапом анализа деформации фундаментов является формализация информационного пространства задачи. Важнейшую роль в задачах анализа играет пространственная функция. Обычно пространственная функция ищется по некоторой выборке прецедентов, в которой представлены значения признаков и оценки значений анализируемой величины. Можно выделить два способа формирования выборки прецедентов.

Способ прямого оценивания использует в качестве выборки множество точек, для которых значения анализируемой величины оценены в результате инструментальных измерений, а при невозможности прямых измерений – в результате экспертного оценивания [3].

Способ зонального оценивания основан на использовании предварительно составленной карты анализируемого свойства. Эта модель может быть получена в результате прямых измерений анализируемой величины, выполненных для части исследуемого региона, либо может представлять собой экспертное решение задачи районирования. В этом случае координаты контрольных марок выборки порождаются по закону случайных чисел, а значения анализируемой величины считываются с соответствующей модели. Обычно выборка прецедентов относительно невелика. В связи с этим при оценивании пространственной функции используются параметрические методы. Применение этих методов требует формализовать экспертные гипотезы: определить класс функций, в котором ищется интерполяция зависимости анализируемой величины от признаков, и ввести ограничения на область допустимых параметров. Из общих соображений зависимость предполагается нелинейной. Кроме того, в задачах оценивания значений числовых характеристик эта зависимость предполагается непрерывной. Если при изменении свойства не происходит качественного изменения состояния среды, то вероятнее всего малому изменению значений признаков соответствует малое изменение параметров функции.

Важным элементом оценивания пространственной функции является использование экспертных гипотез о характере зависимости, которые определяются как анализируемым свойством, так и типом изучаемого региона.

Исходные данные инженерно-геодезических задач для пространственного анализа обычно имеют вид карт, схем линейных структур, каталогов точек и растровых данных [2].

Третьим этапом анализа деформации фундаментов является генерирование системы признаков. На этом этапе производится преобразование данных в цифровые поля, адекватные причинно-следственной модели деформационного процесса. Для полей могут выполняться операции двумерной фильтрации, могут вычисляться элементарные функции от значений нескольких полей, вычисляться произвольные алгебраические и логические функции от нескольких исходных полей.

Четвертым этапом анализа деформации фундаментов является оценивание пространственной функции. Этот этап является основным при решении задачи пространственного анализа. Целью этапа является нахождение версии решения задачи и проверка версии на совместимость и значимость.

Недостаточное обоснование статистических моделей в практических задачах пространственно-временного анализа делает невозможным построение доверительных интервалов оценок анализируемых величин растрового поля. В этих условиях для оценки точности цифровой модели можно исходить из того, что пространственная функция находится из условий наилучшей аппроксимации точек выборки. Точность интерполяции уменьшается пропорционально увеличению расстояния в пространстве признаков. Результаты вычислений представляют собой растровое поле расстояний. Функцию близости, принимающую значение единицы на нулевых расстояниях до точек выборки и линейно убывающую до нуля при увеличении расстояния до некоторой пороговой величины, интерпретируют как уверенность в качестве анализа. Нормировка пространства признаков позволяет выбирать пороговую величину в долях средней квадратической ошибки [3].

Пятым этапом анализа деформации фундаментов является интерпретация и обоснование решения. Цель этапа состоит в проверке решения на непротиворечивость. Для этого необходимо на основании имеющихся данных и знаний подтвердить результаты анализа, представить возможные причины его неточности, принять решение о необходимости изменения цифровой модели и найти возможный способ её коррекции. Интерпретация и обоснование в задачах пространственно-временного анализа опирается на методологию, основу которой составляют [4]:

- 1) Картографическая форма представления данных;
- 2) Использование принципа прецедента при анализе и обосновании;
- 3) Построение объяснения результатов анализа на языке логических конструкций.

Использование при обосновании результатов анализа данных по принципу прецедента реализует метод экспертного рассуждения по аналогии. При анализе по аналогии имеются две опции [1]:

1) Сравнить по некоторому комплексу признаков анализируемую точку со всеми точками изучаемого региона и отобразить в географических координатах сеточное поле значений функции сходства;

2) Построить вокруг анализируемой точки произвольную область в пространстве признаков и отобразить сеточное поле, выделив на нем группы точек, находящиеся внутри и вне построенной области.

В результате картографически выделяются зоны, похожие по комплексу признаков на анализируемую точку. Объяснение качества пространственно-временного анализа в терминах предметной области является одной из важных компонент цифровой модели осадок. Сложность этого объяснения состоит в следующем. Пространственная функция обычно интерполирует некоторую физическую закономерность. В связи с этим интерполяция ищется в классе непрерывных функций многих переменных.

Содержательное объяснение такого решающего правила, в терминах, использованных в нем признаков, может быть основано на построении текстового описания зависимости анализируемой величины от каждого из признаков в отдельности при фиксированных значениях остальных признаков [2].

Шестым этапом анализа деформации фундаментов является модификация версии решения.

На этом этапе принимается решение о выполнении следующей итерации или об окончании процесса решения задачи. Версия цифровой модели считается удовлетворенной, если выполняется условие совместимости, значимости и непротиворечивости [3].

Результатом решения могут быть несколько альтернативных моделей. Версии моделей могут отличаться по набору признаков, по значению средней ошибки интерполяции оценок на контрольной выборке и по разбросу ошибок интерполяции, обусловленному неточностью измерений признаков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Non-stationary geostatistics. CFSG course notes by Renard D., Fontainebleau, 2001.
2. Chiles, J. and Delfmer, P. 1999. Geostatistics. Modeling Spatial Uncertainty. John Wiley and Sons, New York. 695 c.
3. Chilès J.-P., Delfiner P. Geostatistics: modeling spatial uncertainty. N.Y.: Wiley, 1999.
4. Гитис, В.Г. Основы пространственно временного прогнозирования в геоинформатике / В.Г. Гитис, Б.В. Ермаков. – М.: Физматлит, 2004.

УДК 502.22 517:519.8

И.Г. Вовк

СГГА, Новосибирск

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ

Результаты оценки пространственно-временного состояния и эволюции состояния систем имеют случайный характер, и поэтому возникает необходимость их статистического анализа с целью ответа на вопрос, является ли полученная эмпирически совокупность данных набором наблюдений одной случайной величины или смесью случайных величин, различающихся только средними значениями. В статье рассматривается решение этой задачи.

I.G. Vovk

SSGA, Novosibirsk

STATISTICAL ANALYSIS OF SPACE-TIME STATE OF SYSTEMS

The results of the systems space-time state and its evolution estimation are of a random character. Statistical analysis is likely to answer the question, if the data set, acquired empirically, is just a set of observations of a single random quantity or it is a mixture of random quantities differing only in their averages. This problem solution is considered.

Для оценки риска неблагоприятных последствий изменения пространственно-временного состояния (ПВС) систем выполняют повторные циклы измерений и по результатам измерений определяют координаты точек системы /1/. По этим данным оценивают ПВС и эволюцию состояния системы и принимают решение о мерах обеспечения безопасности системы. Эффективность и надёжность принимаемых решений явным образом зависит от качества оценки ПВС системы. Результаты определения координат в каждом цикле есть случайная выборка из генеральной совокупности их возможных значений. Следовательно, результаты оценивания ПВС по этим данным также случайны и поэтому возникает необходимость статистического анализа результатов оценки ПВС исследуемой системы. Цель статистического анализа ПВС системы состоит в выявлении закономерностей изменения этого состояния.

Одним из статистических методов анализа результатов наблюдений, зависящих от различных одновременно действующих факторов, является дисперсионный анализ [2]. Для проведения дисперсионного анализа требуется, чтобы результаты наблюдений были независимыми случайными величинами, имели нормальное распределение и одинаковую дисперсию. Результаты оценки

ПВС системы в отдельных циклах независимы, на основании центральной предельной теоремы теории вероятностей можно считать, что они имеют нормальное распределение, а постоянство дисперсии обеспечивается методикой выполнения измерений. Один из первых вопросов статистического анализа ПВС системы – является ли полученная эмпирически совокупность данных набором наблюдений одной случайной величины или смесью случайных величин, различающихся только средними значениями. Для ответа на этот вопрос общую вариацию случайной величины разделяют на независимые слагаемые, характеризующие влияние факторов и их взаимодействия. В зависимости от числа факторов различают однофакторный, двухфакторный и многофакторный анализ. В данной работе выполнен однофакторный дисперсионный анализ повторных циклов определения ПВС системы.

Пусть имеем данные о ПВС системы, приведённые в матрице H . Каждый столбец в этой матрице соответствует одному из $M = 8$ циклов наблюдений для определения ПВС системы, а каждая строка, кроме последней, соответствует результатам наблюдений одной из $N = 6$ точек определения ПВС, в последней строке – среднее значение результатов наблюдений в каждом цикле.

$$H := \begin{pmatrix} 12.2 & 7.3 & 10.4 & 6.4 & 6.1 & 4.6 & 5.3 & 2.7 \\ 8.4 & 12.0 & 8.9 & 8.8 & 8.6 & 6.1 & 3.3 & 3.7 \\ 9.5 & 9.8 & 8.0 & 9.3 & 7.5 & 6.9 & 3.8 & 2.3 \\ 10.9 & 11.3 & 7.2 & 7.5 & 6.7 & 7.2 & 2.9 & 1.9 \\ 8.2 & 6.6 & 9.5 & 10.4 & 5.6 & 4.9 & 4.9 & 2.9 \\ 12.0 & 8.8 & 11.2 & 8.0 & 8.1 & 5.7 & 4.4 & 3.3 \\ 10.2 & 9.3 & 9.2 & 8.4 & 7.1 & 5.9 & 4.1 & 2.8 \end{pmatrix}$$

По этим данным необходимо выявить изменяется ли состояние системы между циклами определения ПВС, т.е. являются ли изменения средних значений в отдельных циклах оценки ПВС системы закономерными или они есть следствие случайности выборки. Для этого по данным, приведённым в матрице H , вычислим рассеивание $s1$ результатов за счёт неучтённых факторов и рассеивание $s2$ за счёт исследуемого фактора.

$$s1 = 78.3 \quad s2 = 296.85$$

Справедливость гипотезы о случайности изменений средних значений оценки ПВС системы проверим на основании критерия Фишера. Для этого вычислим значение величины

$$F = \frac{s2 \cdot M \cdot (N - 1)}{s1 \cdot (N \cdot M - 1)} \quad F = 3.227$$

и сравним его с критическим значением χ_α уровня $\alpha = 0.00015$ критерия Фишера $\chi_\alpha = 3.171$. Если $F > \chi_\alpha$, то гипотезу о случайности изменения средних значений следует отклонить. Это значит, что с вероятностью не меньшей

$$p = 1 - \alpha = 0.99985$$

результаты определения ПВС системы, приведённые в матрице H , характеризуют эволюцию ПВС системы, а вероятность ошибочности этого

вывода не более α . Приведём решение такой же задачи по последним пяти и последним трём циклам наблюдений.

$$F(M = 5) = 3.65 \quad \alpha(M = 5) = 0.0015 \quad \chi\alpha = 3.35 \quad F(M = 5) > \chi\alpha$$

$$F(M = 3) = 2.149 \quad \alpha(M = 3) = 0.08 \quad \chi\alpha = 2.082 \quad F(M = 3) > \chi\alpha$$

Таким образом, данные приведённые в матрице H характеризуют эволюцию ПВС системы, надёжность оценок равна $1 - \alpha(M)$.

Чтобы оценить ту часть вариации исходных данных, которая обусловлена эволюцией ПВС системы, оценим коэффициент детерминации rd равный отношению вариаций средних по циклам к общей вариации исходных данных. В рассмотренных вариантах оценки эволюции ПВС системы получено

$$rd(M = 8) = 0.791; \quad rd(M = 5) = 0.809; \quad rd(M = 3) = 0.709.$$

Коэффициент детерминации показывает, какая часть вариации данных в матрице H обусловлена эволюцией ПВС системы.

Таким образом, дисперсионный анализ повторных циклов определения ПВС системы позволяет выявлять эволюцию ПВС и оценивать надёжность и точность полученных выводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вовк И.Г. Системный анализ и моделирование пространственно - временного состояния технических систем. Сб. матер. IV Международной конференции. ГЕО - Сибирь 2008 т.3 Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. Ч.2 : СГГА, 2008. - Т. 2., с 132-135.

2. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. авт. Н.Ш. Кремер. - Москва : ЮНИТИ-Диана, 2006.

© И.Г. Вовк, 2011

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Рассмотрен вопрос обоснования предельных ошибок измерений для логистического закона распределения. Представлены результаты статистических исследований рядов случайных чисел и невязок рядов треугольников триангуляции 1-го класса.

N.B. Lesnykh, G.I. Lesnykh, A.L. Malinovsky
SSGA, Novosibirsk

LIMITING ERRORS OF MEASUREMENT

The limiting errors of measurement are substantiated as concerns the logistic distribution law. The statistical investigations of random numbers series and the first-order triangulation misclosures are presented.

Считается, что результат ряда наблюдений СВ X , наиболее уклоняющийся от среднего значения, может являться элементом генеральной совокупности значений этой случайной величины, но возможно и наличие в нем грубой ошибки. Для обнаружения грубой ошибки используют соответствующие критерии согласия или правило три сигма: если случайная величина распределена нормально, то абсолютная величина ее отклонения от математического ожидания не превосходит утроенного среднего квадратического отклонения

$$P\{|X - M_X| < 3\sigma\} = 0,997. \quad (1)$$

Вероятность $P = 0,997$ близка к единице, это вероятность практически достоверного события. Соответственно вероятность $1 - P = 0,003$ – мала. Поэтому ошибки, превышающие по абсолютной величине значение 3σ , а также $2,5\sigma$ с вероятностью $P = 0,988$, 2σ ($P = 0,954$) или $3m$, $2,5m$, $2m$ считаются грубыми.

$$\Delta_{\text{пред}} = 3m \quad (2)$$

$\Delta_{\text{пред}}$ – предельная ошибка измерения,

m – средняя квадратическая ошибка результата измерения.

Таким образом, обоснование предельной ошибки измерения связано с законом распределения результатов измерений. Принимаемые в геодезии допуски основываются на предположении о нормальном законе распределения случайных ошибок измерений и их функций.

Однако, статистический анализ геодезических данных [1] не всегда однозначно оценивает закон распределения случайной величины. Часто

эмпирическое распределение некоторой СВ X может быть идентифицировано двумя или несколькими законами.

Приведем результаты наших статистических исследований двух законов распределения – нормального и логистического.

Параметры логистического распределения $a = M_X$ – математическое ожидание (совпадает с параметром нормального закона), $\lambda = \sigma\sqrt{3}/\pi$ – масштабный параметр. Функция логистического распределения имеет вид:

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-z}}, \quad (3)$$

$$\text{где } z = \frac{x - a}{\lambda}.$$

Асимметрия логистического распределения $S = 0$ (как и для нормального закона), полностью совпадают два из четырех свойств случайных ошибок измерений: положительные и отрицательные случайные ошибки, равные по абсолютной величине, равновозможны; среднее арифметическое случайных ошибок при неограниченном возрастании числа наблюдений стремится к нулю.

Формируем ряд случайных чисел (ошибок измерений), имеющих логистическое распределение [2] по формуле

$$X = a + \lambda \ln \left[\frac{1 - Y}{Y} \right], \quad (4)$$

где вектор Y – имеет равномерное распределение с параметрами $[0, 1]$ табл. 1.

Таблица 1. Логистическое распределение

Случайные числа x_i , распределенные по логистическому закону									
- 1,62	- 0,91	- 1,63	- 0,31	0,21	- 1,20	0,32	- 1,23	0,36	- 1,21
0,38	1,24	1,11	0,61	1,27	- 0,29	0,60	- 0,56	0,42	0,89
- 0,06	- 1,38	1,15	0,12	- 0,57	- 0,32	0,77	1,60	1,38	- 0,65
1,36	- 0,96	- 1,94	0,92	- 0,57	- 0,19	- 0,14	- 0,72	- 0,87	- 0,22
- 0,92	0,73	0,38	- 1,47	- 0,25	0,70	- 0,34	1,23	0,57	0,08
0,01	0,72	- 1,08	- 0,85	- 0,92	3,52	0,76	1,05	0,88	- 0,72

Проверим соответствие распределения этого ряда случайных чисел нормальному закону [3]. По результатам анализа получены следующие оценки параметров и числовых характеристик:

$$\bar{a} = \bar{M}_X = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 0,0013; \quad \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2,134.$$

Оценка асимметрии: $\bar{S} = - 0,041$; $\bar{\sigma}_S = 0,32$; $2\bar{\sigma}_S = 0,64$; $3\bar{\sigma}_S = 0,96$.

Так как $\bar{S} < 2\bar{\sigma}_S$, асимметрия не существенна.

Оценка эксцесса $\bar{E} = 0,233$; $\bar{\sigma}_E = 0,63$; $2\bar{\sigma}_E = 1,26$; $3\bar{\sigma}_E = 1,89$.

Так как $\bar{E} < 2\bar{\sigma}_E$, эксцесс не существенный.

Критерий Пирсона χ^2 : вычисленное значение хи квадрат $\chi^2 = 4,57$, $P(\chi^2 > \chi^2_{\alpha}) = 0,206$ для числа степеней свободы $r = 3$ превышает уровень значимости $\alpha = 0,05$. Критерий не противоречит гипотезе о нормальном законе распределения ряда случайных чисел табл. 1.

Три свойства случайных ошибок измерений проверяем критерием равенства вероятностей [1]:

$$P(|n p - k| < t\sigma) = \beta, \quad (5)$$

где $\beta = \Phi(t)$ – доверительная вероятность; k – число ошибок в заданном интервале; n – число всех ошибок, подлежащих исследованию; p – теоретическая вероятность попадания ошибки в заданный интервал; $\sigma = \sqrt{npq}$, $q = 1 - p$.

Если неравенство (5) выполняется, можно считать, что данное свойство имеет место.

Количество элементов выборки, попадающее в заданные интервалы представим виде вектора $K = (43 \ 56 \ 60 \ 29 \ 13 \ 4)$ с элементами: $k(|x| < \bar{\sigma}) = 43$; $k(|x| < 2\bar{\sigma}) = 56$; $k(|x| < 3\bar{\sigma}) = 60$; $k(x > 0) = 29$; $k(\bar{\sigma} < |x| < 2\bar{\sigma}) = 13$; $k(2\bar{\sigma} < |x| < 3\bar{\sigma}) = 4$. Ни одно значение не превышает $3\bar{\sigma}$.

$|Pn - K| = (2,02 \ 1,24 \ 0,18 \ 1 \ 3,26 \ 1,42)$ – вектор абсолютных значений разностей теоретического и эмпирического числа ошибок в интервалах. Для нормального закона распределения вектор вероятностей попадания случайных ошибок в заданные интервалы $P = (0,683 \ 0,954 \ 0,997 \ 0,5 \ 0,271 \ 0,043)$.

$2\sigma = (7,20 \ 3,24 \ 0,84 \ 7,74 \ 6,88 \ 3,14)$ – допустимые значения разностей $|p_i n - k_i|$.

Четвертое свойство проверяем критерием равенства средних:

$$t = \frac{|\bar{x} - M_X|}{\bar{\sigma} / \sqrt{n}}, \quad (6)$$

$t_3 = 0,0048$ – вычисленное значение статистики критерия равенства средних;

$P(t > t_3) = 0,996$ близка к единице. Все свойства выполняются.

Таким образом, результаты исследований не противоречат гипотезе о *нормальном* распределении ряда значений случайной величины X , сформированному по *логистическому* закону с параметрами $a = 0$ и $\lambda = 1$ ($\bar{a} = 0,0013$, $\bar{\lambda} = 1,177$).

Исследуем на *логистический закон* распределения ряд из $n = 60$ случайных, *нормально* распределенных чисел – ошибок измерений с параметрами $[0,1]$ табл. 2.

Таблица 2. Нормальное распределение

Случайные, нормально распределенные числа x_i									
- 1,62	- 0,91	- 1,63	- 0,31	0,21	- 1,20	0,32	-1,23	0,36	-1,21
0,38	1,24	1,11	0,61	1,27	- 0,29	0,60	- 0,56	0,42	0,89
- 0,06	- 1,38	1,15	0,12	- 0,57	- 0,32	0,77	1,60	1,38	-0,65
1,36	- 0,96	- 1,94	0,92	- 0,57	- 0,19	- 0,14	-0,72	- 0,87	-0,22
- 0,92	0,73	0,38	- 1,47	- 0,25	0,70	- 0,34	1,23	0,54	0,08
0,01	0,72	- 1,08	- 0,85	- 0,92	3,52	0,76	1,05	0,88	-0,72

Оценки параметров и числовых характеристик получили следующие значения: $\bar{a} = 0,020$; $\bar{\lambda} = 0,558$; $\bar{\sigma} = 1,013$.

Оценка асимметрии $\bar{S} = 0,475$; $\bar{\sigma}_S = 0,316$; $2 \bar{\sigma}_S = 0,63$; $3 \bar{\sigma}_S = 0,95$.

Так как $\bar{S} < 2 \bar{\sigma}_S$, асимметрия не существенна. Оценка эксцесса $\bar{E} = 0,637$; $\bar{\sigma}_E = 0,632$; $2 \bar{\sigma}_E = 1,264$; $3 \bar{\sigma}_E = 1,896$. Эксцесс кривой логистического распределения $E \approx 1,2$. Это значение попадает в доверительный интервал $\bar{E} - 2 \bar{\sigma}_E < E < \bar{E} + 2 \bar{\sigma}_E$; $- 0,627 < E < 1,901$.

Следовательно, можно считать, что вычисленная оценка эксцесса несущественно отличается от теоретического эксцесса логистической кривой.

Критерий Пирсона χ^2 не противоречит гипотезе о логистическом распределении СВ X: $\chi^2_{\alpha} = 5,97$, $P(\chi^2 > \chi^2_{\alpha}) = 0,094$ – превышает уровень значимости $\alpha = 0,05$.

Для логистического закона распределения вероятности попадания случайных ошибок в интервалы, устанавливаемые при проверке их свойств, заданы вектором $P = (0,720 \ 0,948 \ 0,991 \ 0,5 \ 0,228 \ 0,043)$.

$K = (41 \ 59 \ 59 \ 30 \ 18 \ 0)$; $|Pn - K| = (0,02 \ 1,76 \ 0,82 \ 0 \ 1,74 \ 2,58)$.

При допусках $2\sigma = (7,21 \ 3,24 \ 0,85 \ 7,75 \ 6,89 \ 3,14)$.

Одно $x_i = 3,52$ превышает $3\bar{\sigma}$, что считается недопустимым для нормального закона распределения. Для логистического закона это значение с той же вероятностью $P = 0,997$ попадет в интервал $|\Delta| < 3,6 \bar{\sigma}$ ($3,6 \bar{\sigma} = 3,64$).

Статистика критерия равенства средних: $t_3 = 0,154$; $P(t > t_3) = 0,875$ – высока. Все свойства случайных ошибок измерений для логистического закона распределения выполняются.

Таким образом, результаты исследования ряда случайных нормально распределенных чисел не противоречат гипотезе о логистическом распределении этих данных. Случайная ошибка $\Delta_{36} = x_{36} = 3,52$, превышающая $3\bar{\sigma} = 3,04$, проходит по допуску $3,6\bar{\sigma}$ логистического закона распределения.

Выполнен аналогичный анализ невязок рядов треугольников триангуляции 1-го класса Омск – Семиарское в количестве $n = 61$ [1] и Акмолинск – Успенский ($n = 29$) табл. 3.

Таблица 3. Невязки ряда триангуляции Акмолинск – Успенский

Невязки ряда триангуляции Акмолинск – Успенское									
- 1,45	- 1,79	0,80	0,51	1,28	0,87	- 0,54	- 1,97	- 0,72	0,82
- 0,65	- 1,07	4,14	1,10	- 0,78	- 0,76	1,00	- 0,83	2,15	- 0,67
- 0,30	0,36	0,80	- 1,23	1,62	2,15	- 0,32	- 0,54	- 1,18	

Результаты статистического анализа (табл. 4) не противоречат гипотезам о нормальном и логистическом законах распределения невязок.

Таблица 4. Результаты анализа невязок

Критерии	Омск – Семейское		Акмолинск – Успенский	
	Нормальный	Логистический	Нормальный	Логистический
$\bar{a} = \overline{M}(x)$	0,130		0,097	
σ	0,903		1,375	
$\bar{\lambda}$	-	0,498..	-	1,758
$\bar{S}, \bar{\sigma}_S, 2\bar{\sigma}_S$	0,325; 0,31; 0,62.		0,83; 0,42; 0,84	
$\bar{E}, \bar{\sigma}_E, 2\bar{\sigma}_E$	0,405; 0,63; 1,26.		0,475; 1,90.	
χ^2_3	4,36	5,57	5,11	6,39
$P(\chi^2 > \chi^2_3)$	0,225 (r = 3)	0,144	0,024 (r = 1)	0,012
K	45 58 60 33 13 2		22 28 28 13 6 0	
$ P_n - K $	3,3 0,2 0,8 2,5 3,5 0,6	1,1 0,2 0,4 2,5 0,9 0,6	2,2 0,3 0,9 1,5 1,9 1,2	1,1 0,5 0,7 1,5 0,6 1,2
$2\sigma = 2\sqrt{npq}$	7,3 3,3 0,9 7,8 6,9 3,2	7,0 3,5 1,5 7,8 6,5 3,2	5,0 2,3 0,6 5,4 4,8 2,2	4,8 2,4 1,0 5,4 4,5 2,2
t_3	1,126		0,378	
$P(t > t_3)$	0,264 (r = 60)		0,708 (r = 28)	

Вероятности $P(\chi^2 > \chi^2_3)$ выше для нормального закона, разности $|p_i n - k_i|$ меньше для логистического закона. Для невязок ряда Акмолинск – Успенский вероятность $P(\chi^2 > \chi^2_3)$ не велика – на уровне значимости 0,02 для нормального закона и 0,01 для логистического закона, что можно объяснить небольшим объемом исследуемой выборки.

Теоретическое значение эксцесса $E = 1,2$ попадает в интервал

$$(\bar{E} - 2\bar{\sigma}_E < E < \bar{E} + 2\bar{\sigma}_E),$$

для ряда Омск – Семейское ($- 0,86 < E < 1,66$), для ряда Акмолинск – Успенский ($- 1,42 < E < 2,38$).

Одна невязка ряда Омск – Семейское превышает допуск нормального закона распределения 3 m, $2,99 > 2,71$, но не превосходит возможный допуск логистического закона распределения, равный 3,6 m ($3,6 \sigma = 3,25$).

Одна невязка ряда Акмолинск – Успенский (табл. 3) превышает предельное для нормального закона значение: $4,14 > 4,12$, но также не превосходит допуск логистического закона распределения, равный 3,6 m ($3,6 \sigma = 4,95$).

Таким образом, логистический закон распределения ошибок геодезических измерений и их функций может иметь место наряду с нормальным и это также объясняет наличие уклонений отдельных значений от принятых допусков нормального закона.

Очевидно, если случайные ошибки измерений распределены по логистическому закону, абсолютная величина ошибки может достигать $3,6 \sigma$ с вероятностью

$$P(|\Delta| < 3,6 \sigma) = 0,997.$$

Тогда предельная ошибка измерения $\Delta_{\text{пред}} = 3,6 m$.

Превышение допусков нормального закона в рассмотренных примерах находит свое теоретическое объяснение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесных, Н.Б. Законы распределения случайных величин в геодезии: монография – Новосибирск: СГГА, 2005. – 128 с.
2. Лемешко Б.Ю. Статистический анализ одномерных наблюдений случайных величин: Программная система. – Новосибирск: НГТУ, 1995. – 125 с.
3. Лесных Н.Б. Некоторые аспекты алгоритма статистического анализа геодезических данных. – V межд. научный конгресс «ГЕО – СИБИРЬ» 2009. – С. 16 – 19.

© Н.Б. Лесных, Г.И. Лесных, А.Л. Малиновский, 2011

УДК 528.422 (094.7)

Е.Л. Соболева, Н.М. Рябова, В.Г. Сальников

СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕФРАКЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫМИ НИВЕЛИРАМИ

В статье приведены результаты исследования влияния вертикальной рефракции на нивелирование с помощью цифровых нивелиров. Результаты исследований показывают, что при выполнении высокоточного нивелирования с применением цифровых нивелиров наблюдается гораздо меньшее влияние вертикальной рефракции на отсчеты по рейкам, чем при выполнении нивелирования нивелиром с оптическим микрометром даже при высоте визирного луча над подстилающей поверхностью 50 см.

E.L. Soboleva, N.M. Ryabova, V.G. Salnikov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

INVESTIGATION OF REFRACTION EFFECT ON DIGITAL LEVELING RESULTS

The paper presents the results as concerns investigation of vertical refraction effect on digital leveling. According to the research the effect of vertical refraction on the rod reading is less in case of high-precision digital leveling as compared with that of optical micrometer, even with the collimating ray height over the surface being 50 cm.

Одним из основных источников ошибок при выполнении высокоточного нивелирования является влияние вертикальной рефракции. Исследованию этого влияния посвящен целый ряд работ зарубежных и отечественных авторов, в том числе и сотрудников ЦНИИГАиК [2,3]. Степень и характер влияния вертикальной рефракции на одиночный визирный луч при геометрическом нивелировании с применением нивелира с оптическим микрометром достаточно хорошо изучены. Для уменьшения этого влияния на результаты высокоточного нивелирования в нормативном документе [1] оговорены требования для выполнения нивелирования. Так при нивелировании I класса высота визирного луча над подстилающей поверхностью должна быть не менее 0,8 м, а при длине визирного луча до 25 м она может быть уменьшена до 0,5 м. При нивелировании II класса высота должна быть не менее 0,5 м, а при длине визирного луча до 30 м она может быть уменьшена до 0,3 м. При этом необходимо отметить, что регламентируемая высота визирного луча над подстилающей поверхностью установлена из расчёта того, что нивелирование

выполняется, в основном, в солнечную погоду, когда влияние рефракции проявляется в большей степени.

Кроме высокоточного государственного нивелирования I и II классов, выполняемого в чисто полевых условиях, оно также выполняется в городах и на промышленных площадках, где общие условия его производства часто существенно отличаются между собой. Например, высокоточное нивелирование в городах производится в условиях влияния вибрации на нивелир от движущегося транспорта, а визирный луч может проходить над разной подстилающей поверхностью даже на одной нивелирной станции: твёрдый грунт, травяной покров, асфальт, бетонное покрытие. На промышленных площадках визирный луч также проходит над разной подстилающей поверхностью, включая различные трубопроводы и элементы строительных конструкций.

Указанные условия выполнения измерений имеют место и при выполнении нивелирования цифровыми нивелирами. Кроме того, с учётом принципа работы этих нивелиров влияние вертикальной рефракции на получаемые результаты следует ожидать несколько иным, чем при выполнении измерений оптическими нивелирами. В цифровом нивелире понятие визирного луча несколько иное, чем в оптическом нивелире.

При выполнении нивелирования оптическими нивелирами отсчитывание по рейке P (рис. 1,а) производится горизонтальной визирной осью Ob.

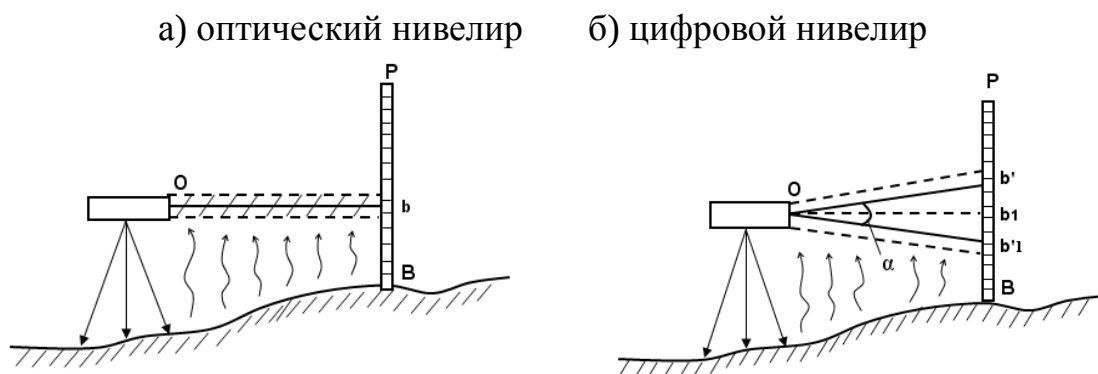


Рис. 1. Принцип взятия отсчета по рейке

В этом случае влияние вертикальной рефракции на отсчет «b» по рейке будет происходить слоем воздуха, расположенным по направлению визирной оси и ниже нее. Если нивелирование выполняется цифровыми нивелирами, то отсчитывание (считывание штрих-кода) производится угловым d полем зрения (рис. 1,б). В этом случае если предположить, что высота Bb визирного луча оптического нивелира и Bb₁ цифрового будут одинаковы, то тем не менее во втором случае лучи Ob' и Ob'₁, образующие угол α , будут находиться на разных высотах относительно подстилающей поверхности. Следовательно, при одинаковом горизонте инструмента и равных условиях влияние рефракции на луч Ob и на пучок лучей в угловом секторе α будет разным.

В связи с этим считаем необходимым привести результаты наших исследований по влиянию вертикальной рефракции на результаты

нивелирования, выполняемого цифровыми нивелирами, которые, на наш взгляд, будут способствовать внесению дополнений в существующий нормативный документ [1].

Для определения степени этого влияния нами были выполнены исследования для следующих характеристик подстилающей поверхности: травяной покров высотой 5-10см и твёрдое покрытие в виде смеси песка и щебня. Исследования выполнялись в июне-сентябре 2008-2010гг. при следующих метеорологических условиях: *в солнечную погоду, при переменной облачности, в пасмурную погоду иногда при небольших кратковременных дождях*. Температура воздуха находилась (изменялась) в пределах $+6^{\circ}\text{C} \div +28^{\circ}\text{C}$; резкие порывы ветра отсутствовали. Для выполнения измерений применялись нивелиры Dini 12.

Перед началом исследований были предприняты меры по ослаблению основных ошибок нивелирования, таких как влияния перемещения наблюдателя на положение системы «цифровой нивелир-штрих-кодовая рейка», ослабления влияния наклона штрих-кодовых реек, исключения попадания засветок от лучей Солнца в объектив нивелира и др.

Профиль подстилающей поверхности был равнинный, а также имеющий уклон (подъём в сторону рейки). Исследования включали в себя две программы.

Первая программа. При реализации первой программы определялось влияние рефракции на изменения отсчёта по штрих-кодовой рейке в течение всего дня при расстоянии до неё 15, 30 и 50м и высоте визирного луча над подстилающей поверхностью для каждого из этих расстояний 50 и 70 см. Ежедневно, перед началом измерений и по их окончании определялось значение угла i .

Исследования при солнечной погоде и переменной облачности.

Измерения при солнечной погоде и переменной облачности выполнялись в июне и июле и начинались спустя 10-15 мин после восхода Солнца и заканчивались также за 10-15 мин до его захода. Температура в утренние часы была равна $10 \div 16^{\circ}\text{C}$, а в вечерние $20 \div 27^{\circ}\text{C}$. Осадки в данный период были кратковременными и незначительными. Общий период выполнения измерений 18 дней (10 дней травяной покров и 8 дней твёрдое покрытие). Высота визирного луча над подстилающей поверхностью устанавливалась подбором формы рельефа и изменением горизонта нивелира. Отсчёт по рейке состоял из трёх последовательных отсчётов с последующим их осреднением, интервал между получением осреднённых отсчётов был равен 6-7мин. Первый осреднённый отсчёт принимался как исходный. Результаты исследований следующие.

1. *Расстояние 15 м.* На равнинном участке (превышения между нивелиром и рейкой были в пределах 0,2-0,3 м) для обоих типов подстилающей поверхности при высоте визирного луча 50 см после восхода Солнца в течение 1,0-1,5 часа наблюдается увеличение отсчётов по рейке на 0,04-0,15 мм. Затем увеличение отсчётов прекращается и в течение дня наблюдаются изменение отсчётов практически симметрично относительно среднего положения. Перед заходом Солнца наблюдается уменьшение отсчётов практически на такую же

величину. При высоте визирного луча 70 см для обоих типов подстилающей поверхности увеличения отсчётов по рейке не превышало 0,12 мм. Затем также в течение дня наблюдаются изменения отсчётов практически симметрично относительно среднего положения. Перед заходом Солнца также наблюдается уменьшение отсчётов практически на такую же величину.

На наклонном участке (превышения между нивелиром и рейкой были в пределах 1,2-1,4 м) изменения отсчётов по рейке были практически такими же.

2. *Расстояние 30 м.* При данном расстоянии для травяного покрова на равнинном участке увеличение (в дальнейшем и уменьшение) отсчётов по рейке в периоды восхода и захода Солнца было в пределах 0,18-0,26 мм, а для твёрдого покрытия 0,24-0,32 мм. Для наклонного участка в утренние и вечерние часы наблюдалось изменение отсчётов примерно на 20-30% больше, чем на равнинном участке. В течение дня также наблюдалось практически симметричное изменение отсчётов по рейке относительно среднего положения. Увеличение высоты визирования до 70 см практически не приводит к изменению характера и величины изменения отсчётов.

3. *Расстояние 50 м.* При данном расстоянии для травяного покрова и для твёрдого покрытия на равнинном участке увеличение (уменьшение) отсчётов по рейке в периоды восхода и захода Солнца было в пределах 0,46-0,68 мм, а на наклонном участке 0,52-0,76 мм. Также в течение дня наблюдалось практически симметричное изменение отсчётов по рейке относительно среднего положения. Увеличение высоты визирования до 70 см также практически не приводит к изменению характера и величины изменения отсчётов. Осреднённый график изменения отсчётов для интервалов в 1 час при солнечной погоде и переменной облачности для всех дней наблюдений приведен на рис. 2.

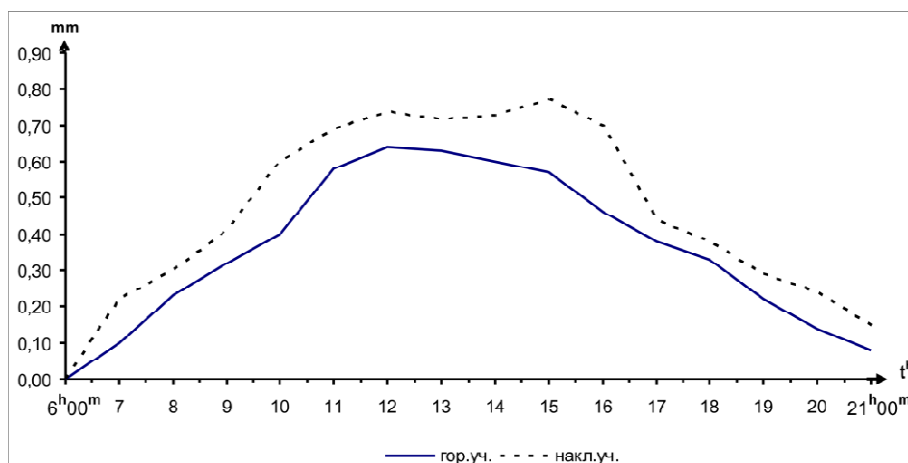


Рис. 2. Влияние вертикальной рефракции на цифровое нивелирование

Исследования при пасмурной погоде.

Измерения при пасмурной погоде выполнялись в июле-сентябре, они начинались сразу после восхода Солнца и заканчивались практически с его заходом. Общий период выполнения измерений 12 дней (7 дней травяной покров и 5 дней твёрдое покрытие.). Температура в утренние часы была равна

$8 \div 16^{\circ}\text{C}$, а в вечерние $18 \div 24^{\circ}\text{C}$. Осадки в данный период иногда были в виде мелкого дождя и периодическими.

Результаты исследований следующие.

На расстояниях 15, 30 и 50 м в течение дня изменение отсчётов по рейке относительно среднего положения было небольшим (примерно на 20% меньше, чем при солнечной погоде) и симметричным.

Вторая программа. Во второй программе исследований определялась величина изменения превышения на станции также при расстояниях до реек 15, 30 и 50 м и высоте визирного луча над подстилающей поверхностью 50 и 70 см. Реализация второй программы выполнялась параллельно с первой программой для тех же условий производства измерений: внешних условиях, длине и высоте визирного луча, травяном покрове и твёрдом покрытии.

Исследования выполнялись следующим образом. Спустя 15-20 мин после восхода Солнца 15 раз измерялось превышение, среднее из которых для данного дня принималось за исходное. Затем в течение всего дня с интервалом 8-10 мин превышение измерялось три раза и из них находилось среднее. Исследования заканчивались перед заходом Солнца или сразу после его захода. Величина влияния вертикальной рефракции оценивалась по разности превышений, измеренных в течение всего дня и исходным превышением.

Результаты исследования при солнечной погоде и переменной облачности.

1. *Расстояние 15 м.* На равнинном и наклонном участках, а также при двух высотах визирования изменение превышений в течение всего дня является незначительным и оно находится в пределах 0,03-0,08 мм.

2. *Расстояние 30 м.* В течение всего дня изменение величины превышения относительно исходного составляет 0,07-0,10 мм.

3. *Расстояние 50 м.* В течение всего дня изменение величины превышения относительно исходного составляет 0,08-0,18 мм (с учётом ошибок собственно измерения превышения). Это изменение для всех расстояний носит случайный характер.

Исследования при пасмурной погоде.

Для расстояний 15, 30 и 50 м. На равнинном и наклонном участках, а также при двух высотах визирования изменение превышений в утренние и вечерние периоды наблюдений является незначительным, носит случайный характер и находится в пределах 0,05-0,14 мм (с учётом ошибок собственно измерения превышения). Кратковременные осадки не влияют на величину измеряемого превышения.

На основании выполненных исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Влияние вертикальной рефракции на изменение отсчётов по штрих-кодовой рейке цифровым нивелиром меньше чем при отсчитывании оптическим нивелиром по штриховой рейке даже при высоте визирного луча над подстилающей поверхностью 50 см.

2. В связи с этим считаем необходимым при выполнении нивелирования I и II классов максимальной длиной луча уменьшить высоту визирного луча над

пяткой рейки, соответственно, до 0,5 и 0,4 м. Это будет способствовать увеличению продвига выполнения нивелирования без потери точности измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по нивелированию I,II,III и IV классов. - М.: ЦНИИГАиК, 2004.-226 с.
2. Соболева, Е.Л. Разработка и совершенствование методики высокоточного нивелирования I и II классов с применением цифровых нивелиров: дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук.- Новосибирск, 2008.- 186 с.
3. Труды ЦНИИГАиК.- М., 1937.-Вып. 23. - 92 с.
4. Труды ЦНИИГАиК.- М., 1956.-Вып. 111. - 339 с.

© *Е.Л. Соболева, Н.М. Рябова, В.Г. Сальников, 2011*

УДК 528.015
А.М. Олейник
ТюмГНГУ, Тюмень

ВЫБОР МЕСТ ЗАКЛАДКИ ГРУНТОВЫХ РЕПЕРОВ С УЧЕТОМ ПРОГНОЗНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ОТ ТЕХНОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В статье рассмотрены рекомендации по выбору мест закладки реперов в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов. Показано влияние техногенной деятельности на территории Бованенковского месторождения на геокриологическую обстановку и высотное положение реперов.

A.M. Oleynik
Tyumen state Oil and Gas University

CHOICE OF PLACES OF THE BOOKMARK OF SOIL REFERENCE POINTS TAKING INTO ACCOUNT THE ABM-GNOZNOGO OF CHANGE OF GEOKRIOLOGICHESKY CONDITIONS FROM TECHNOGENIC ACTIVITY

The article deals with guidelines for choosing a bookmark frame in permafrost soils. Shows the influence of anthropogenic activities on the territory of the Bovanenkovo field on permafrost conditions and the altitudinal frames.

Освоение Бованенковского, Харасавэйского, Ленинградского и др. газоконденсатных месторождений на территории полуострова Ямал требует взвешенного подхода к сохранению сложившейся природной обстановки, т.к. даже незначительное увеличение нагрузки на природную среду (концентрация энергетического производства, увеличение населения) может нарушить ее устойчивое существование и привести к необратимым последствиям. Особенно это касается изменения состояния многолетнемерзлых пород (ММП), которые являются основанием промысловых инженерных сооружений. Под действием внешних природных и техногенных факторов ММП могут проявлять свойства необратимости деформирования в зависимости от геологического типа, содержания влаги, минералогического состава и временных условий нагружения [1, 2].

Продвижение газодобывающего комплекса на северные территории требует развитой геодезической сети, которая служит основой при создании изыскательских топографических планов, выполнения разбивочных работ и контроля состояния инженерных сооружений, зданий и оборудования во время эксплуатации. Особая роль принадлежит обеспечению плановой и высотной устойчивости геодезических центров и реперов. Заложенные в верхние слои ММП геодезические центры и реперы должны сохранять свою устойчивость во

времени и не подвергаться влиянию криогенных процессов и изменению свойств ММП [3, 4, 5]. Достижение устойчивости грунтовых реперов и геодезических центров возможно применением рациональных их конструкций и правильным выбором мест закладки, где воздействие на них внешних дестабилизирующих факторов было бы минимальным.

Разработка рекомендаций по выбору мест закладки реперов должна осуществляться на основе инженерно-геокриологических изысканий территории месторождений. Инженерно-геокриологические изыскания включают сбор, систематизацию и обобщение материалов изысканий прошлых лет и других сведений о природных условиях территории, космо- и аэрофотосъемку и дешифрирование снимков, инженерно-геокриологическую съемку мест закладки центров и реперов. В процессе изысканий устанавливается общая геокриологическая обстановка территории, распространение мерзлых толщ в плане и по глубине, естественный температурный режим мерзлых и талых пород, состав и льдонасыщенность пород, распространение и интенсивность развития криогенных процессов, динамика глубины сезонноталого слоя и др. [6].

Для выбора мест закладки реперов в условиях распространения ММП необходимо придерживаться следующих рекомендаций [3, 5, 7]:

- Избегать мест, где наблюдается развитие деструктивных геокриологических процессов: термокарст, солюфлюкция, оползни, морозобойные трещины, бугры пучения («булгуннях») и других нежелательных мерзлотных явлений и процессов;

- Места закладки должны находиться на участках со сливающимися многолетнемерзлыми грунтами при небольшой мощности глубины сезонноталого слоя. В этом случае анкерное устройство репера будет всегда находиться в многолетнемерзлом грунте и оказывать сопротивление силам выпучивания;

- Увлажненность многолетнемерзлых грунтов должна быть ниже чем объем заполнения пор горных пород. Должно соблюдаться требование, чтобы в месте закладки репера не было значительного скопления воды участки и затопления весенними паводками;

- В местах закладки реперов должны располагаться слабопучинистые грунты (пески, супеси). Необходимо избегать мелкодисперсные и глинистые грунты, обладающие большой поглощаемостью и капиллярностью, и как следствие, пучинистостью;

- Реперы должны располагаться вне зоны теплового взаимодействия с инженерными сооружениями. Радиус зоны взаимодействия должен определяться из теплофизических расчетов. Возможно закрепление реперов вблизи не отапливаемых помещений с проветриваемыми подпольями, под которыми и вокруг их появляются новообразованные многолетнемерзлые грунты («мерзлое ядро»);

- Необходимо избегать мест для закладки реперов: на открытых южных склонах повышений рельефа, где мощность сезонноталого слоя значительна, а

температура мерзлого слоя высокая; подветренных склонов, где скапливается мощный слой снегового покрова, который повышает температуру многолетнемерзлых грунтов и мощность сезонноталого слоя.

Выбор мест закладки реперов должен осуществляться с учетом прогнозного изменения природной среды и ММП на нарушенных площадях под влиянием техногенной деятельности, т.к. первоначально сложившаяся природная геокриологическая обстановка территории месторождения существенно изменяется в зависимости от жизненных этапов геотехнических систем добычи и транспорта нефти и газа: проектирование, строительство и эксплуатация. Изменения геокриологических условий проявляются в повышении или понижении температуры ММП, увеличении или уменьшении глубины сезонноталого слоя и развитии криогенных процессов. Прогнозная составляющая при закладке становится актуальной, так как от предвидения увеличения сезонноталого слоя и негативных последствий возможной активизации криогенных процессов во многом зависит устойчивость и сохранность реперов во времени.

Основными факторами, влияющими на формирование сезонноталого слоя на территории месторождений Ямала, являются: рельеф, литологический состав и свойства грунтов, мощность торфяного горизонта, растительный покров, дренированность поверхности.

Зависимость глубины протаивания от состава и свойств грунтов проявляется однозначно: увеличение дисперсности и влажности приводит к уменьшению глубины сезонного протаивания. Наиболее типичные мощности сезонноталого слоя составляют 0,3-0,8м (слабо дренированные, часто оторфованные поверхности водоразделов и пойм с осоково-моховой растительностью, торфяники) и 0,8-1,2м (дренированные участки водоразделов и пологих склонов морских и аллювиальных террас с кустарничково-мохово-лишайниковой растительностью).

Следует учитывать, что растительный покров обладает теплоизоляционными свойствами. Торфяной и моховый покров, в зависимости от его мощности и влажности может почти в два раза уменьшить глубину сезонного оттаивания почвы и понижать температуру многолетнемерзлых грунтов. По расчетам А.П. Чернядзева мощный покров мха-сфагнума понижает среднегодовую температуру пород на 0,5-1,5°C в тундре и до 2-3°C в лесотундре и северной тайге. Мхи зеленые, лишайники менее влияют на среднегодовую температуру пород тундровых комплексах: в лесотундре понижение температуры составляет 0,5-1°C, а южнее 1-1,5°.

Уже на начальном этапе освоения Бованенковского месторождения зафиксировано появление очагов «техногенного» термокарста, развивающихся под воздействием нарушения условий теплообмена при различных видах техногенных нарушений, таких как частичное или полное уничтожением напочвенного покрова, обводнении поверхности и снежными надувами в тени зданий. За 4-5 лет воздействие этих факторов привело к повышению средней годовой температуры грунтов на 0,5-1,0°C и увеличению глубины

сезонного протаивания грунтов на 30-50% [8]. Прогнозируется дальнейшее активное развитие термокарстовых процессов и оползней при техногенных нарушениях с последствиями, приближающимися к катастрофическим.

Происходит нарушение теплового равновесия при отсыпке песчаных призм высотой 0,5-2,5м под автомобильные дороги и до 1,5м под производственные базы, площадки УКПГ, КС, кусты эксплуатационных скважин и др. на растительный покров в зимний период, в связи с чем, увеличивается глубина сезонноталого слоя на открытых участках до 2,5-3,0м. Под сооружениями с проветриваемыми подпольями понижается температура грунтов и через 3-5 лет приложения техногенной нагрузки наблюдается поднятие кровли ММГ к основанию песчаной призмы, а через 20-25 лет образовывается «мерзлое ядро».

Вокруг подземных трубопроводов образуются ореолы протаивания грунтов [9], радиусы которых зависят от температуры транспортируемого газа и могут колебаться от 0,6 до 4м.

Промысловые здания представляют препятствие для ветрового переноса снега. С наветренной стороны надувы образуются на расстоянии до 10м от здания, с подветренной стороны они могут вообще не образовываться. Средневзвешенное значение мощности снежного покрова для застроенной территории примерно в 1,5-2 раза больше, чем в естественных условиях. Увеличение мощности снежного покрова влияет на повышение среднегодовой температуры. Мощность слоя равная 0,2-0,3м может увеличить среднегодовую температуру на 2-3°C.

Следовательно, добиться необходимой стабильности реперов в неблагоприятных условиях распространения многолетнемерзлых грунтов с развитыми мерзлотно-геологическими процессами и явлениями возможно не только правильным выбором мест закладки, но с учетом возможного прогнозного изменения мерзлотно-геологических условий территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрианов, В.Н. Условия развития и распространения криогенных геологических процессов и явлений [Текст]/ В.Н. Андрианов, И.В. Войцеховская, С.Е. Гречищев, Л.Н. Крицук, В.Л. Невечеря, А.Я. Стремяков, Ю.Т. Уваркин, И.И. Шаманова, Ю.Л. Шур//В кн. Геокриология СССР. Западная Сибирь/Под ред. Э.Д. Ершова. - М.: Недра, 1989. - С. 135-155.

2. Афанасенко, В.Е. Изменения геокриологических условий на участках газовых месторождений на севере Западной Сибири [Текст]/В.Е. Афанасенко, С.Н. Булдович, Л.С. Гарагуля, Е.Н. Оспенников//Геоэкология.- 1997.-№3.-С. 50-55.

3. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов [Текст]. – М.: Недра, 2001. – 178 с.

4. Олейник, А.М. Применение грунтовых реперов с подвижной маркой для определения деформаций промышленных сооружений в северных широтах [Текст] / А.М. Олейник, Г.А. Уставич // Геодезия и картография. – 2010. - № 3. – С. 10-15.

5. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей [Текст]. – М.: Картгеоцентр – Геоиздат, 1993. – 104 с.
6. Гречищев, С.Е. Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз [Текст] / С.Е. Гречищев, Л.В. Чистотин, Ю.Л. Шур. - М.: Недра, 1980. – 381 с.
7. Богданов, Б.Г. Закладка геодезических центров в районах многолетней мерзлоты [Текст] / Б.Г. Богданов. – М.: Недра, 1990. – 160 с.
8. Криосфера нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал [Текст] / Под общей ред. Ю.К. Васильчука, Г.В. Крылова, Е.Е. Подборного: В 3 т. – Тюмень: ООО «ТюменьНИИгазпрогаз, СПб.: Недра, С. – Петерб. отд.-ие, 2006.
9. Столбов, Ю.В. Влияние подземных трубопроводов на устойчивость реперов, закладываемых на строительных площадках с вечномерзлыми грунтами [Текст] Ю.В. Столбов // Сб. Инженерная геодезия. – Киев: Будівельник, 1980. – С. 3-6.

© А.М. Олейник, 2011

УДК 519.2:528.1

С.А. Егорова

СГГА, Новосибирск

О ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЯ ПРИ СТАТИСТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Представлена методика принятия решения статистического анализа геодезических данных с использованием обобщенного показателя качества.

S.A. Egorova

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

ABOUT ACCEPTANCE OF DECISION AT THE STATISTICAL ANALYSIS GEODETIC DATA

The technique of acceptance of the decision of the statistical analysis of the geodetic data with use of the generalized parameter of quality is submitted.

В силу того, что истинное значение измеряемой величины, а, следовательно, и истинные ошибки¹ измерений практически не известны, то для изучения их свойств применяют косвенные методы исследований с использованием положений математической статистики и теории ошибок. Согласно этим положениям на основании предельной теоремы Ляпунова погрешности высокоточных измерений должны подчиняться нормальному закону распределения, а, следовательно, их математическое ожидание должно быть равно нулю [1]. При относительно небольшом числе наблюдений, присущих геодезическим измерениям, нацеленным, в частности, на построение нивелирных сетей, выполнение этих условий практически не возможно. Поэтому при проведении вероятностно-статистического анализа использование закона распределения ошибок, отличного от нормального, но близкого к нему по свойствам, способствует более корректному принятию решения в процедурах:

- 1) Установления допусков, как критериев для обнаружения грубых результатов (выбросов);
- 2) Поиска наиболее точного по вероятности значения определяемой величины;
- 3) Характеристики точности окончательных значений определяемых величин.

¹. В терминологии, принятой в метрологии, погрешностей.

Исследования, представленные в [2] и выполненные с использованием специализированной программной системы (ПС) [3], позволили расширить представления о законах распределения геодезических данных и сформировать направления использования ряда методов для их вероятностно-статистического анализа. На основе анализа невязок, поправок, разностей двойных измерений и разностей функций двойных измерений обращено внимание на целесообразность:

- Применения помимо нормального закона, так же двухпараметрических законов Лапласа, логистического, экстремальных (минимальных и максимальных) значений;
- Проверки свойств случайных ошибок измерений с использованием критериев равенства вероятностей и равенства средних, оценки значимости этих критериев для целей анализа.

Характеристики законов распределения, использование которых целесообразно при статистическо-вероятностном анализе геодезических данных иллюстрирует рис. 1.

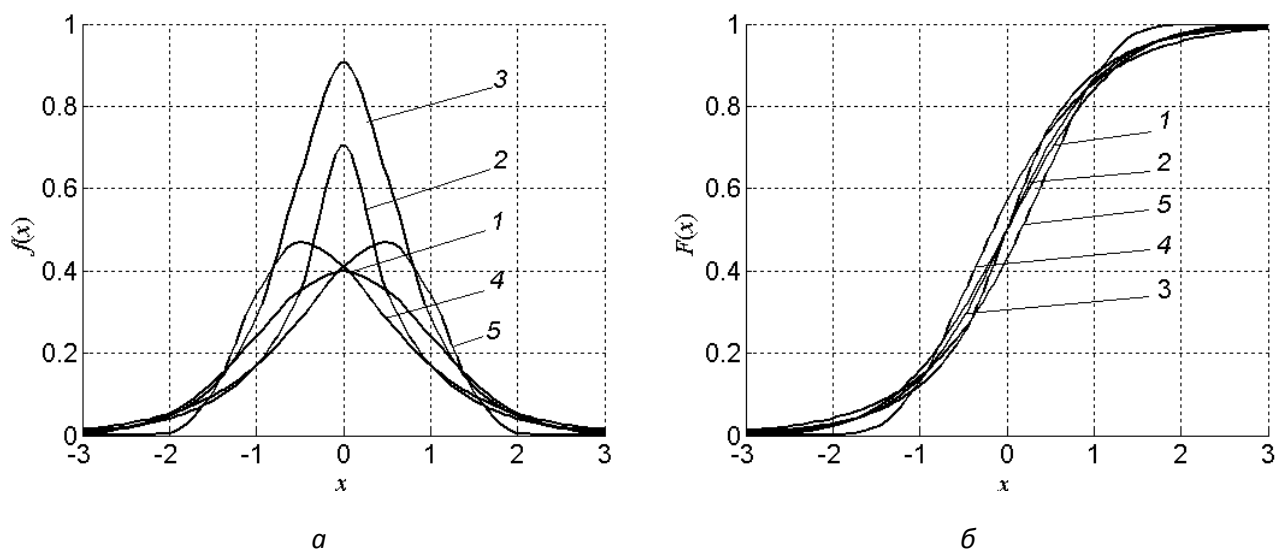


Рис. 1. Плотность а) и функция б) распределения законов:

- 1 – нормального (Гаусса); 2 – Лапласа; 3 – логистического;
4 – максимальных значений; 5 – минимальных значений

Оценивание геодезических данных с применением современных информационных технологий в настоящее время выполняется без использования законов распределения, близких к нормальному закону [4]. Для статистической обработки в форме, приемлемой для применения в практике инженерных расчетов с использованием распределений Лапласа, логистического и экстремальных значений автором разработан программно-методический комплекс (ПМК) [5], позволяющий успешно решать задачи

анализа без затруднений восприятия специфических для математической статистики терминов и определений. Схему основных процедур вычислений ПМК иллюстрирует рис. 2.

Для создания ПМК было выполнено многоцелевое исследование, основными задачами которого служили:

- Систематизация теоретических положений математической статистики и теории ошибок для вероятностно-статистического оценивания геодезических данных, подготовки информационного обеспечения этого оценивания с использованием целесообразных законов распределения (нормального, Лапласа, логистического и двух экстремальных);

- Разработка алгоритма и методики автоматизированного анализа геодезических данных в форме, пригодной для разработки ПС и её практического использования, а так же обучения пользователей на стадии освоения;

- Разработка структуры ПС ПМК с учетом её реализации в вычислительной среде MatLab и возможности оценивания результатов выполнения автоматизированных процедур по разным показателям качества в процессе вариантных вычислений доставляющей информацию в форме, приемлемой для принятия решения в зависимости от большого числа факторов, влияющих на результаты.

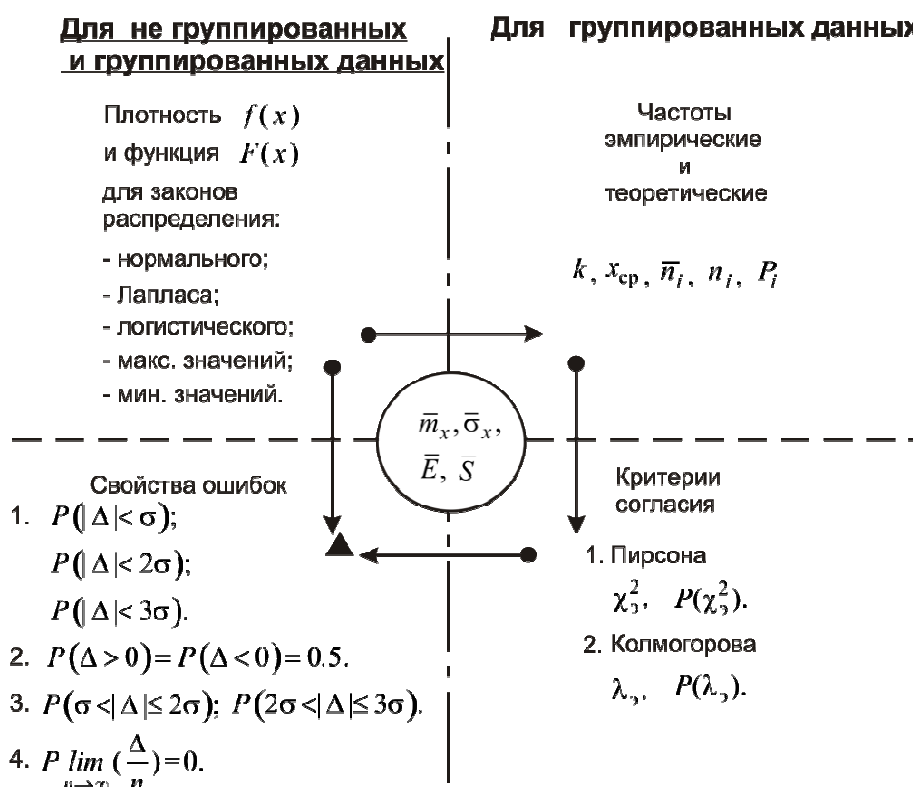


Рис. 2. Эволюционная схема процедур ПМК

Методическое обеспечение в части проверки гипотез применимости распределений Лапласа, логистического либо экстремальных значений обусловлена:

- Ориентацией на форму характеристик плотности их распределения;
- Указанием того обстоятельства, что их функции в границах, оцененных рассеянием $\pm \sigma$, $\pm 2\sigma$ и $\pm 3\sigma$ совпадают с функцией нормального распределения с точностью до одной либо двух значащих цифр, однако при этом модули допустимого отклонения от математического ожидания (допуска) $|\varepsilon_d| = t\sigma$ при конкретной доверительной вероятности β различаются существенно (например, при $\beta=0.997$ для нормального распределения $t = 3$, для логистического распределения $t = 3.6$, а для распределений Лапласа и экстремальных значений $t = 4.1$);
- Объяснением того, что, корректный выбор закона распределения для анализируемых данных служит основой для выявления сомнительных (аномальных) результатов, определения доверительной вероятности попадания в заданный интервал либо расчета доверительного интервала по заданной вероятности.
- Формированием понимания, что принятие гипотезы нормального закона распределения случайных ошибок измерений по критериям согласия не исключает возможного наличия систематических влияний в ряду наблюдений, что и обуславливает целесообразность исследования применимости других законов распределения.

В разработке программного обеспечения ПМК для надежных выводов о согласии эмпирического и теоретических характеристик конкретных законов распределения необходимо рассматривать влияние группирования данных, объединять малочисленные (число данных меньше пяти) интервалы с соседними интервалами [3, 4]. В первом приближении для принятия решения о выборе закона распределения можно воспользоваться гистограммой, построенной без объединения малочисленных интервалов, а затем – с группированием.

Расчет выполняется для двух типов данных: для не группированных и для группированных (последнее оправдано при относительной большом размере выборки). Для всех типов данных вычисляются основные числовые характеристики, плотности и функции распределений, и выполняется проверка четырех свойств ошибок, а для группированных данных выполняется и проверка критериев согласия Пирсона и Колмогорова.

Принятие решения в процессе статистического анализа геодезических данных целесообразно выполнять с применением приемов и способов формализации, исследования и интерпретации описания свойств ошибок и критериев согласия при различных законах распределения. Весьма перспективным для оценки комплексного показателя качества представляется использовать безразмерную среднегеометрическую величину $D = \sqrt[k]{d_1 d_2 \dots d_k}$ (обобщенную функцию желательности) [6].

Для построения этой функции необходимо преобразовать размерные значения конкретных свойств y (8 показателей, характеризующих свойства

ошибок, и 4 показателя, характеризующего критерии согласия) в безразмерные по шкале желательности d , рис. 3.

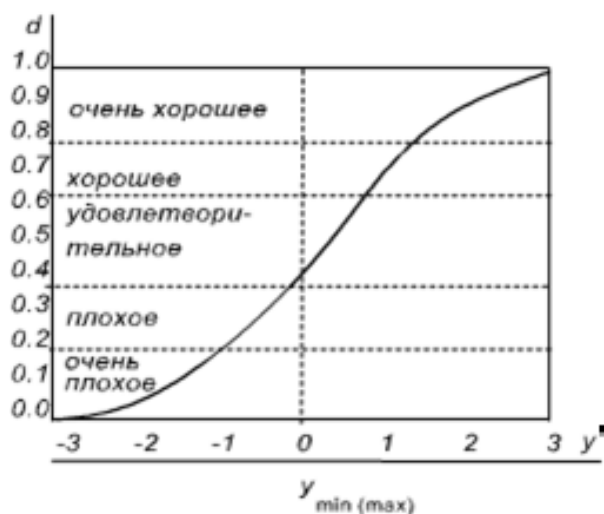


Рис. 3. Функция желательности

$y \leq y_{\max}$ или $y \geq y_{\min}$.

Таким образом, безразмерная шкала d позволяет любое свойство преобразовать так, чтобы его можно было интерпретировать в терминах полезности или желательности D для обеспечения цели анализа.

Сопоставляя между собой значения D для разных непараметрических атрибутов (в данном случае – законов распределения) можно выбрать вариант, при котором наиболее объективно оценены результаты анализа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большаков, В.Д. Теория математической обработки геодезических измерений / В.Д. Большаков, П.А. Гайдаев. – М.: Недра, 1977. – 367 с.
2. Лесных, Н.Б. Законы распределения случайных величин в геодезии: Монография / Н.Б. Лесных. – Новосибирск: СГГА, 2005. – 129 с.
3. Лемешко, Б.Ю. Статистический анализ одномерных наблюдений случайных величин. Программная система / Б.Ю. Лемешко. – Новосибирск: НГТУ, 1995. – 125 с.
4. Иглин, С.П. Математические расчеты на базе *MATLAB* / С.П. Иглин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 640 с.
5. Егорова, С.А. Программно-методический комплекс статистического оценивания геодезических данных / С.А. Егорова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 1. – С. 12-15.
6. Карташова, Т.М. Обобщенный критерий оптимизации – функция желательности / Т.М. Карташова, Б.И. Штаркман // Информационные материалы. – М.: Изд. Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР. – 1979. – №8 (45). – С. 55-63.

© С.А. Егорова, 2011

Расчет выполняется по формуле

$$d = \exp[-\exp(-y')],$$

где $y' = b_0 + b_1 y$ – результат интерполяции в окрестности значения рассматриваемого свойства.

Преобразование является субъективным и отражает отношение расчетчика к рассматриваемым свойствам.

Эти же соображения используются при выборе двух реперных точек для определения коэффициентов b_0 и b_1 при влиянии на свойство одностороннего ограничения

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБРАТНОЙ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО МНОГОЧЛЕНА МАТРИЦЫ И ПРИСОЕДИНЕННОЙ МАТРИЦЫ

В статье рассмотрены уравнивание и оценка точности геодезических сетей на основе вычисления обратной матрицы нормальных уравнений посредством характеристического многочлена присоединенной матрицы.

A.G. Barliany

SSGA, Novosibirsk

COMPUTATION OF THE INVERSE MATRIX ON THE BASIS OF THE CHARACTERISTIC POLYNOMIAL AND THE ADJOINT MATRIX

Adjustment and accuracy evaluation of geodetic networks are considered. The operations can be based on the computation of the inverse matrix of normal equations by characteristic polynomial of the adjoint matrix.

Приведем алгоритм обращения квадратной невырожденной матрицы, которая опирается на определение коэффициентов характеристического многочлена этой матрицы и присоединенной матрицы.

Для квадратной матрицы A размеров $n \times n$ характеристической матрицей называется матрица $\lambda I - A$. Здесь I - единичная матрица соответствующих размеров. Определитель характеристической матрицы:

$$\Delta(\lambda) = \det(\lambda I - A) = \lambda^n - p_1 \lambda^{n-1} - p_2 \lambda^{n-2} - \dots - p_n \quad (1)$$

представляет собой скалярный многочлен относительно λ и называется характеристическим многочленом матрицы A . Здесь $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ - скалярные коэффициенты характеристического многочлена.

Матрица:

$$B(\lambda) = \begin{vmatrix} b_{11}(\lambda) & b_{12}(\lambda) & b_{13}(\lambda) & \dots & b_{1n}(\lambda) \\ b_{21}(\lambda) & b_{22}(\lambda) & b_{23}(\lambda) & \dots & b_{2n}(\lambda) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1}(\lambda) & b_{n2}(\lambda) & b_{n3}(\lambda) & \dots & b_{nn}(\lambda) \end{vmatrix} \quad (2)$$

называется присоединенной матрицей для матрицы A .

Присоединенную матрицу (2) можно записать в виде матричного ряда:

$$B(\lambda) = I\lambda^{n-1} + B_1\lambda^{n-2} + B_2\lambda^{n-2} + B_3\lambda^{n-3} + \dots + B_{n-1}, \quad (3)$$

где матрицы $B_1, B_2, B_3, \dots, B_{n-1}$ можно вычислить из рекуррентных соотношений:

$$B_n = AB_{n-1} - p_n I. \quad (4)$$

Если коэффициенты характеристического многочлена (1) известны, то присоединенную матрицу B_n определим по формуле (4). Если квадратная матрица неособая с рангом n то обратную к этой матрице получим по выражению:

$$A^{-1} = p_n^{-1} B_{n-1}. \quad (5)$$

Теперь рассмотрим метод одновременного определения скалярных коэффициентов $p_1, p_2, \dots, p_n$ характеристического многочлена (1) и матричных коэффициентов $B_1, B_2, \dots, B_{n-1}$ присоединенной матрицы (4), предложенный в [1].

Для изложения данного метода введем понятие о следе матрицы. Под следом матрицы A (trA) будем понимать сумму ее диагональных элементов:

$$trA = \sum_{i=1}^n a_{ii}.$$

В работе [1, 2] доказывается, что след матрицы равняется сумме характеристических чисел этой матрицы, то есть:

$$trA = s_1 = \sum_{i=1}^n a_{ii} = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (6)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ - характеристические числа матрицы A .

Так как степень матрицы A^k имеет своими характеристическими числами степени $\lambda_1^k, \lambda_2^k, \lambda_3^k, \dots, \lambda_n^k$ ($k = 0, 1, 2, 3, \dots, n$), то:

$$trA^k = s_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i^k. \quad (7)$$

Таким образом, если $k=1$, то $s_1 = trA$, если же, $k=2$ то $s_2 = trA^2$ и т.д. Известно, что суммы s_k степеней корней многочлена (1) связаны с коэффициентами этого уравнения формулами Ньютона:

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= s_1 \\ s_1 p_1 + 2p_2 &= s_2 \\ s_2 p_2 + s_1 p_2 + 3p_3 &= s_3 \\ &\dots\dots\dots \\ s_{n-1} p_1 + s_{n-2} p_2 + s_{n-3} p_3 + \dots + n p_n &= s_n \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Решают данную систему уравнений и получают вектор коэффициентов характеристического многочлена p . Затем по формуле (4) последовательно вычисляют матричные коэффициенты $B_1, B_2, B_3, \dots, B_{n-1}$.

вычисляются присоединенные матрицы $B_1, B_2, B_3, \dots, B_{n-1}$, по формулам:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= A, \quad s_1 = trA_1, \quad B_1 = A_1 - s_1 I; \\ A_2 &= AB_1, \quad s_2 = 2^{-1} trA_2, \quad B_2 = A_2 - s_2 I; \\ \\ A_n &= AB_{n-1}, \quad s_n = n^{-1} trA_n, \quad B_n = A_n - s_n I = 0. \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

матрицу A^{-1} .

Для этого запишем систему нормальных уравнений, которая имеет вид:

$$R\tilde{\Delta}-b=0.$$

Вектор столбец к приближенным параметрам найдем по формуле:

$$\tilde{\Delta} = -R^{-1}b. \quad (10)$$

Адаптируем итерационный алгоритм вычисления обратной матрицы (6) к вычислению R^{-1} . Для этого выражение (9) перепишем следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R, & s_1 &= \text{tr}AR_1, & B_1 &= R_1 - s_1I; \\ R_2 &= R_1B_1, & s_2 &= 2^{-1}\text{tr}R_2, & B_2 &= R_2 - s_2I; \\ & \dots\dots\dots \\ R_k &= R_1B_{k-1}, & s_k &= k^{-1}\text{tr}R_k, & B_k &= R_k - s_kI = 0. \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

После установления s_k и B_{k-1} по формулам (11), обратную матрицу

рассчитаем по выражению:

$$R^{-1} = s_k^{-1} B_{k-1}. \quad (12)$$

Выполним уравнивание нивелирной сети представленной на рисунке 1.

На данном рисунке A - это исходный репер с отметкой $x_A = 126,425$ м.

Результаты измеренных превышений приведены в табл. 1.

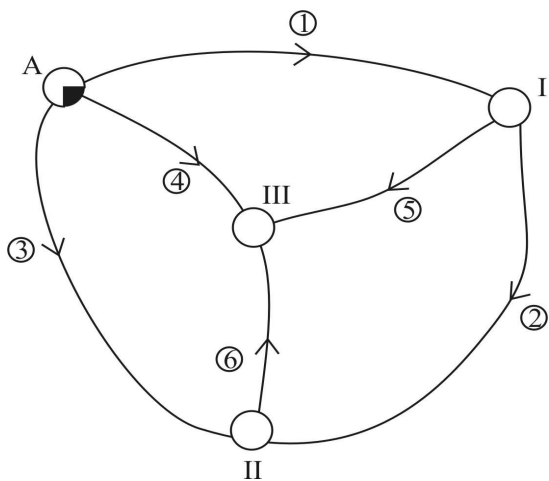


Рис. 1. Несвободная нивелирная сеть

Таблица 1. Результаты измеренных превышений и их веса

Номера превышений	Измеренные превышения (м) y_i	Веса измеренных превышений P_i
1	9,853	0,16
2	5,017	0,25
3	14,839	0,36
4	28,276	0,49
5	18,439	0,64
6	13,411	0,81

Для данной нивелирной сети матрица нормальных уравнений равна:

$$R = \begin{vmatrix} 1,05 & -0,25 & -0,64 \\ -0,25 & 1,42 & -0,81 \\ -0,64 & -0,81 & 1,94 \end{vmatrix}.$$

Приближенные значения параметров равны:

$$x_1^0 = x_A + y_1 = 209,978 \text{ м}; \quad x_2^0 = x_A + y_3 = 214,996 \text{ м}; \quad x_3^0 = x_A + y_4 = 228,401 \text{ м}.$$

Чтобы найти обратную матрицу R^{-1} по формулам (11) нужно построить цепочки матриц:

$$R_1 = \begin{vmatrix} 1,05 & -0,25 & -0,64 \\ -0,25 & 1,42 & -0,81 \\ -0,64 & -0,81 & 1,94 \end{vmatrix}, \quad s_1 = 4,41, \quad B_1 = \begin{vmatrix} -3,36 & -0,25 & -0,64 \\ -0,25 & -2,99 & -0,81 \\ -0,64 & -0,81 & -2,47 \end{vmatrix};$$

$$R_2 = \begin{vmatrix} -3,0559 & 1,0034 & 1,1113 \\ 1,0034 & -3,5272 & 1,0105 \\ 1,1113 & 1,0105 & -3,7261 \end{vmatrix}, \quad s_2 = -5,1546, \quad B_2 = \begin{vmatrix} 2,0987 & 1,0034 & 1,1113 \\ 1,0034 & 1,6274 & 1,0105 \\ 1,1113 & 1,0105 & 1,4285 \end{vmatrix};$$

$$R_3 = \begin{vmatrix} 1,241553 & 0 & 0 \\ 0 & 1,241553 & 0 \\ 0 & 0 & 1,241553 \end{vmatrix}, \quad s_3 = 1,241553, \quad B_3 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Так как $B_3 = 0$, поэтому согласно формуле (12) обратную матрицу найдем по выражению:

$$R^{-1} = s_3^{-1} B_2 = \begin{vmatrix} 1,6904 & 0,8082 & 0,8951 \\ & 1,3108 & 0,8139 \\ & & 1,1506 \end{vmatrix}.$$

Вектор столбец параметрических уравнений и нормальных уравнений поправок найдем по формулам:

$$l^T = \varphi(x^0)^T - y^T = (0 \ -0,031 \ 0 \ 0 \ -0,016 \ 0,026);$$

$$b^T = (A^T P l)^T = (0,01799 \ -0,02881 \ 0,01082).$$

По формуле (10) определим вектор столбец к приближенным параметрам и он равен:

$$\tilde{\Delta}^T = [-0,0168 \ 0,0144 \ -0,0051] \text{ м.}$$

Наконец найдем вектор уравнированных отметок, для этого воспользуемся следующей формулой:

$$\tilde{x}^T = (x^0 + \tilde{\Delta})^T = [209,9612 \ 214,9784 \ 228,3959] \text{ м.}$$

Таким образом, решается задача уравнивания геодезических построений предложенным итерационным алгоритмом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барлиани А.Г. Разработка алгоритмов уравнивания и оценки точности свободных и несвободных геодезических сетей на основе псевдонормального решения: монография / А.Г. Барлиани. - Новосибирск: СГГА, 2010. - 135 с.
2. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. - М.: Наука, 1967. - 576 с.

© А.Г. Барлиани, 2011

УДК 528: 629.723+528.063.1

А.И. Вдовин, С.С. Титов

ВЕАГП, Минусинск

П.П. Мурзинцев

СГГА, Новосибирск

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПЕРЕСЧЕТА КООРДИНАТ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ГГС

В статье рассмотрена возможность использования данных спутниковых наблюдений, собранных в ходе выполнения работ по развитию СГС-1, для создания моделей, позволяющих учитывать деформации ГГС, при обработке любых последующих спутниковых наблюдений.

A.I. Vdovin, S.S. Titov

Verhneeniseyskoe Aerogeodesic Enterprise (VEAE)

Tuvinskaya 22, Minusinsk, 662605, Russian Federation

P.P. Murzintsev

SSGA, Novosibirsk, Plahotnogo 10, Russian Federation

OF INCREASING THE ACCURACY OF COORDINATES CONVERSION BASED ON THE USE OF CSCS-MODELS

Article describes the possibility of using data collected during the development of new Russian national high-precision satellite network for CSCS-model making.

В связи с широким распространением и активным использованием спутниковых технологий в геодезии, при решении задач проектирования и строительства возникает вопрос о сходимости результатов традиционных геодезических измерений с ГНСС данными. Проблему решают путем установления взаимосвязей между локальными, региональными и глобальными системами координат. Практика показывает, что для достижения хороших результатов, обычно недостаточно осуществить классическое трехмерное преобразование по семи параметрам при переходе из системы в систему. При получении высотных отметок в традиционной системе высот из спутниковых наблюдений ограничиться вышеупомянутым подходом будет ещё и методически неверно, поскольку спутниковые приборы позволяют определять эллипсоидальные высоты, а классические геодезические инструменты работают в системе нормальных высот. Этот вопрос можно считать отчасти решенным для нашей страны с появлением достаточно подробных моделей геоида, таких как EGM2008, однако вопрос точного пересчета плановых координат между глобальными, локальными, местными, различными реализациями государственных систем координат в России решен не в полном объеме, с

недостаточной точностью. Предлагаемые нормативно-технической документацией методы, к сожалению, не позволяют получать удовлетворительные результаты, при пересчете из WGS84 в СК42, из СК42 в СК95, и другие системы. Суть проблемы кроется в поэтапном развитии системы координат 1942 года, проводившемся по мере выполнения работ по топографо-геодезическому обеспечению территории СССР с запада на восток. И, несмотря на высокую точность выполненных наблюдений при создании сети триангуляции, сам по себе метод поэтапного блочного уравнивания привел к появлению значительных региональных деформаций в практической реализации СК42.

Проблема детального учета расхождений между различными системами координат или реализациями одной системы координат, по сути своей, не нова. Выходом является применение массивов поправок в координаты, по аналогии с применением моделей геоида. И эта задача решена во многих странах мира уже более 20 лет назад. Например, в США ещё в 1990 году разработан массив поправок NADCON для пересчета из старой системы NAD 1927 в новую (тогда ещё) систему NAD 1983. Созданы подобные модели в Великобритании, Франции, Швеции, Дании, Австралии, Новой Зеландии и в других странах.

Остановимся более подробно на пересчете координат из WGS84 в СК42, как на одном из самых востребованных на сегодняшний день типов преобразований, выполняемых при обработке спутниковых наблюдений на территории России. Подавляющее большинство местных систем координат образовано от системы координат 1942 года, поэтому переход на эллипсоид Красовского, сориентированный в теле Земли согласно параметрам СК42, является обязательным этапом преобразования координат между WGS84 и местной системой координат.

Возникает вопрос, где взять исходные данные для создания моделей деформации ГГС на большую часть территории России? Самым очевидным представляется использование для этих целей активно развиваемой последние годы сети СГС-1. Подавляющее большинство пунктов СГС-1 совмещено с пунктами триангуляции. Таким образом, у нас имеются координаты одних и тех же пунктов ГГС, полученные различными методами: блочным уравниванием триангуляции в СК42, уравниванием триангуляции в СК95, уравниванием спутниковых наблюдений сети СГС-1 в системе координат WGS84. Поскольку уже проведены наблюдения на значительном количестве пунктов СГС-1, ничто не мешает использовать эти спутниковые данные для анализа существующих государственных сетей, разработки методик и рекомендаций по переходу из системы в систему.

Выделим, основные этапы создания модели деформации сети пунктов СК42 по данным наблюдений СГС-1 для уточненного пересчёта из WGS84 в СК42.

- 1) Уравниваем наблюдения СГС-1 в системе WGS84.
- 2) Пересчитываем уравненные координаты по ГОСТ Р 51794-2008 из WGS84 в СК42.

3) Вычисляем расхождения между вычисленными координатами пунктов триангуляции и взятыми из каталогов СК42;

4) На основании полученных расхождений, отдельно строим регулярные матрицы для поправок в координаты X и Y.

5) Объединяем матрицы для X и Y в один файл, если это необходимо, и сохраняем в необходимом формате для дальнейшего использования.

Рассмотрим применение такой модели на примере ПО Leica GeoOffice. В LGO модели деформации ГГС называются CSCS-models (Country Specific Coordinate System Models).

Ниже приведен фрагмент файла обменного формата GenericASCII для программы CscsModelConvert.exe, которая входит в состав LGO и позволяет конвертировать различные типы файлов в бинарный формат «*.csc»:

```
Minusinsk      * имя модели
2;0;0          * тип модели; метод интерполяции; тип координат
1;2;180;164    * начальный угол; направление; число строк; столбцов
343500;5873500;1000;1000 *начальная L/E; B/N; шаг по строкам;
столбцам
1              * число матриц
3.302;4.649    * собственно массив поправок E; N
3.300;4.649
3.297;4.648
3.293;4.648
3.289;4.647
3.285;4.647
3.280;4.646
```

Полученный в результате конвертирования файл необходимо «подключить» к заранее определенной в LGO на основе ГОСТ Р 51794-2008 системе координат. Теперь наши данные будут сначала проходить этап трехмерного преобразования по 7-ми параметрам, а затем в результаты вычисления будут вводиться поправки, для получения окончательных значений координат. Таким образом, мы можем использовать при наблюдениях в качестве базовой станции любой пункт, попадающий в зону покрытия матрицы поправок ГГС, при этом результаты будут получаться такие, как если бы наблюдения выполнялись с ближайших к району работ пунктов триангуляции.

Для того чтобы оценить преимущества применения модели деформации ГГС в виде регулярной сетки поправок, сравним результаты обработки спутниковых наблюдений сети пунктов, совпадающих с пунктами триангуляции. Вычислим координаты всех пунктов сети, используя известные координаты только 1 исходного пункта, применяя СК42 определенную ГОСТ Р 51794-2008. Найдём разницу между измеренными координатами и указанными в каталоге. Затем повторим те же операции в СК42 по ГОСТ Р 51794-2008, с применением CSCS-модели.

$$\Delta X = X_{\text{выч}} - X_{\text{кат}};$$

$$\Delta Y = Y_{\text{выч}} - Y_{\text{кат}};$$

где $X_{\text{выч}}$ – вычисленное значение X , $X_{\text{кат}}$ – значение X взятое из каталога, $Y_{\text{выч}}$ – вычисленное значение Y , $Y_{\text{кат}}$ – значение Y взятое из каталога.

В таблице ниже приведены значения ΔX и ΔY , для каждого пункта триангуляции участвующего в выборке с применением модели деформации ГГС и без применения.

Пункт	Без CSCS-модели		С CSCS-моделью	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
Балычева	-0.2467	-0.0150	-0.0146	0.0017
Березовское	0.0780	0.2001	0.0122	0.0000
Большая	0.1121	-0.1656	-0.0134	-0.0055
Борки	-0.0647	-0.1278	-0.0096	-0.0058
Бузулушенская	-0.0145	0.1467	0.0123	-0.0126
Букашка	-0.0491	0.2272	0.0056	0.0067
Вост.Базисный	0.0495	-0.0569	-0.0118	-0.0066
Горево	-0.2401	-0.2330	-0.0151	-0.0036
Григорьевка	-0.1707	0.5133	0.0002	0.0210
Грязнушка	0.0374	0.0796	-0.0066	0.0062
Демкин Мыс	0.1132	0.1387	0.0066	-0.0004
Диссос	0.2072	0.0042	0.0094	-0.0070
Знаменка	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Казинетка	-0.0792	0.4071	0.0075	0.0144
Карасуг	0.1160	-0.2973	0.0151	-0.0254
Кокса	0.0879	-0.0032	0.0053	-0.0104
Колмаково	0.0268	0.0824	0.0078	0.0018
Котлянский	0.0646	0.1766	0.0059	0.0127
Кочергино	-0.0781	0.1493	-0.0071	0.0011
Логовой	0.0809	0.0595	0.0218	-0.0135
Необходимый	0.0820	-0.2187	-0.0120	-0.0108
Ниж.Буланка	-0.0615	0.2328	0.0033	0.0148
Пермячья Дорога	0.1123	0.2364	0.0096	0.0106
Плоский	0.0956	-0.0088	0.0048	-0.0090
Полежаева	0.0333	-0.0667	-0.0096	-0.0026
Ручейный	-0.0101	0.1486	0.0016	0.0103
Совхоз№8	0.0442	-0.3387	-0.0083	-0.0215
Тигрицкое	0.0138	0.0963	0.0072	0.0052
Широкий	0.1394	-0.4086	0.0058	-0.0203
Ызых Абаканский	0.0387	-0.1995	-0.0060	-0.0090
Южн.Базисный	-0.0108	-0.0527	0.0108	-0.0249
Среднее	0.0164	0.0228	0.0012	-0.0027
СКО	0.1043	0.2101	0.0099	0.0118

Результаты сравнения расхождений между вычисленными и известными значениями координат пунктов в СК42 отражены на рисунках 1 и 2.

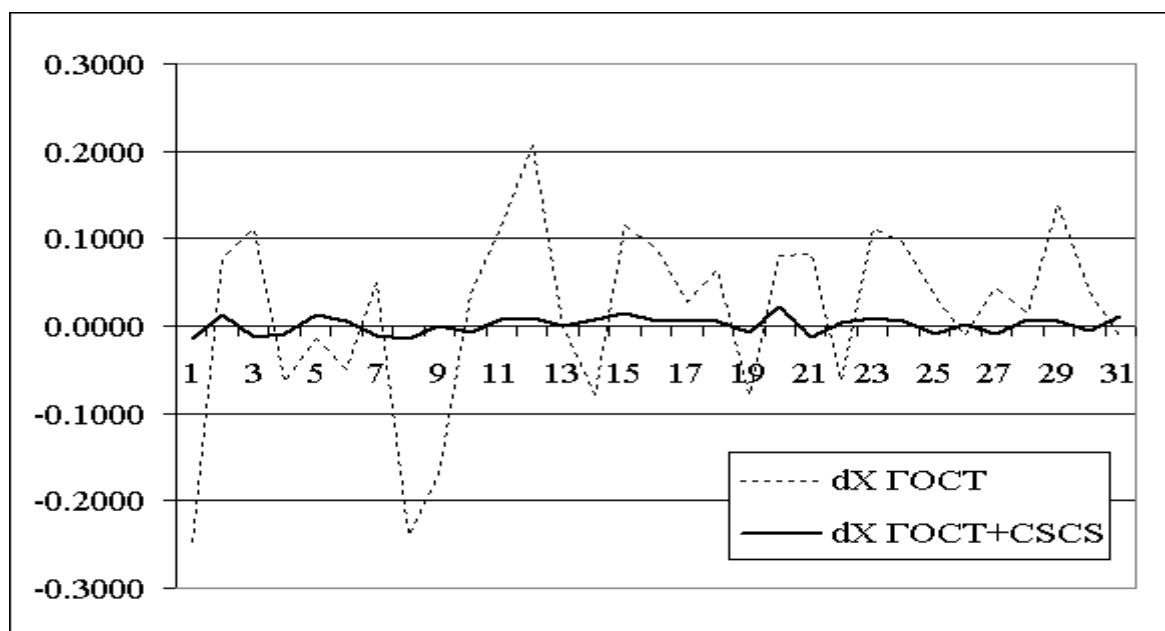


Рис. 1. Сравнение точности определения координат по оси X с применением модели деформации ГГС и без применения

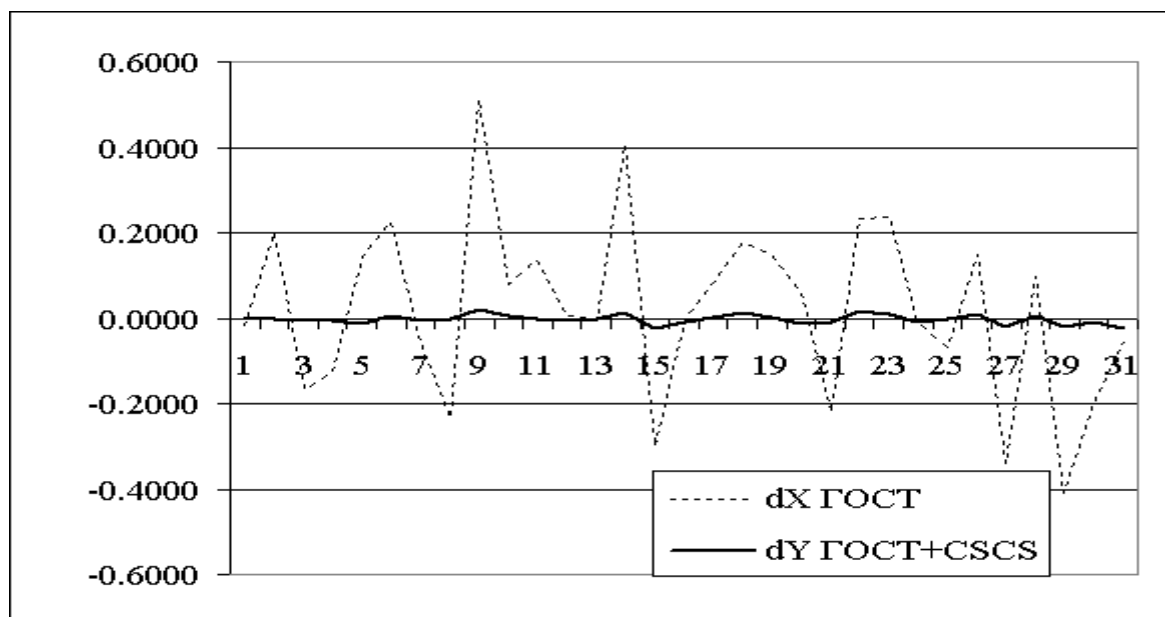


Рис. 2. Сравнение точности определения координат по оси Y с применением модели деформации ГГС и без применения

Из полученных диаграмм видно, что значения координат, полученные с применением CSCS модели, демонстрируют лучшую сходимость с известными из каталогов значениями координат. При этом точка номер 13 (Знаменка) зафиксирована как исходная при обработке, поэтому имеет нулевое значение для обоих случаев. Среднеквадратическое отклонение вычисленных координат от каталожных без применения модели деформации ГГС составляют 0,160м и

0,097м, а для координат вычисленных с применением модели деформации ГГС – 0,011м и 0,010м.

Таким образом, применение модели деформации ГГС, построенной на основании наблюдений СГС-1, позволяет, в данном конкретном примере, на порядок повысить сходимость результатов при вычислении координат в СК42. При этом обработка результатов спутниковых измерений существенно упрощается для исполнителя.

Ещё одним важным моментом является возможность использования CSCS-моделей непосредственно во внутреннем ПО спутниковых приемников. Эта возможность значительно упрощает многие задачи, выполняемые в режиме кинематики реального времени, например вынос в натуру в локальной системе координат.

С другой стороны предлагаемая методика – фактически является, по сути своей, внесением погрешностей в заведомо более точные спутниковые измерения, поэтому применять её нужно грамотно, четко осознавая достоинства и недостатки технологии.

© А.И. Вдовин, С.С. Титов, П.П. Мурзинцев, 2011

УДК 528:629.783; 528.48

И.О. Биндер

ЗАО «ГИДРОМАШСЕРВИС» «ГМС-Инжиниринг», Тюмень

П.П. Мурзинцев

СГГА, Новосибирск

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Планово-геодезическое обоснование, созданное спутниковыми технологиями позволило достичь точности в плане, соответствующей 3 классу сети ГГС, а по высоте IV классу нивелирования. Показано, что важным этапом выбора варианта трассы является проектирование на карте инженерно-геологических условий.

I.O. Binder

Close corporation «Gidromashservis» «HMS-engineering», Tyumen

P.P. Murintsev

SSGA, Novosibirsk

GPS APPLICATION IN ENGINEERING GEODETIC SURVEY OF GAS MAINS

The GPS-based horizontal control made it possible to achieve planimetric accuracy corresponding to the third order of the National Geodetic Network and the vertical one - to the fourth-order leveling. It is shown that depicting engineering and geological conditions on the map is a significant stage in choosing the route.

Линейный участок магистрального газопровода «Сахалин-Хабаровск-Владивосток» расположен в Приморском крае в районе г. Артем. Особенности инженерно-геодезических изысканий по выбору различных вариантов проложения трассы газопровода рассмотрены в [1]. В данной статье отражаются некоторые аспекты спутниковых измерений при создании геодезического обоснования на район изысканий. Перед тем как приступить к созданию или сгущению планово-высотного геодезического обоснования прорабатываются несколько вариантов прохождения трасс.

В камеральных условиях при проектировании магистрального трубопровода в качестве исходных материалов, как правило, служат топографические, геологические, климатические и гидрологические карты различных масштабов. На рисунке 1 показан вариант трассы нанесенный на карту инженерно-геологических условий масштаба 1: 25 000.

В процессе изысканий должны быть выбраны и согласованы площадки перекачивающих или компрессорных станций, также подходов к ним трасс

трубопроводов. Указанные площадки располагаются на трассах через интервалы, определяемые на основе технологических расчетов.

При подходе трубопроводов к действующим или проектируемым, станциям, проектируемые трассы должны размещаться в заданном коридоре, строго соответствуя разработанному ранее генеральному проекту или общей генеральной схеме сбора данного района.



Рис. 1. Вариант трассы на карте инженерно-геологических условий

Прокладка трасс газопроводов должна производиться строго по нормам минимальных допустимых расстояний между осью трубопровода и различными строениями и сооружениями. Вышеуказанные вопросы могут быть успешно решены только в том случае, если на район проектирования создано качественное планово-высотное геодезическое обоснование. В настоящее время для этих целей, как правило, используются ГНСС технологии. На первоначальном этапе, при проведении рекогносцировочных работ в районе проектирования трассы магистрального газопровода было обследовано 9 пунктов триангуляции. Координаты базовых станций определялись с помощью статического метода относительных спутниковых измерений, осуществлялась одновременная регистрация двумя и более приемниками сигналов от спутников системы GPS. С целью последующей совместной обработки один или несколько приемников устанавливались на пункты с известными координатами в местной системе координат.

Спутниковые наблюдения производились с использованием двухчастотных спутниковых геодезических приемников Trimble 5700, Измерения выполнялись при следующих установках приемников:

1. Угол отсечки по возвышению спутника – 10°;
2. Интервал записи измерений – 5 сек.;
3. Максимальная величина PDOP – 6;
4. Запись измерений осуществляется в приемник.

Время наблюдений определялось в зависимости от условий наблюдений. Под условиями наблюдений понималось:

- Количество спутников;
- Наличие электромагнитных помех (отношение сигнал/шум, характеризующее уровень полезного радиосигнала);
- Геометрия пространственной засечки (геометрический фактор);
- Наличие многолучевости и затухания сигнала вследствие переотражения от подстилающей поверхности, близлежащих зданий, деревьев других предметов мешающих уверенному приему сигнала;
- Расстояние между определяемым и исходным пунктами.

Во время производства наблюдений приемники осуществляли синхронный сбор данных в течение не менее 2.5 часов. В сеансе наблюдений сбор данных осуществлялся одновременно от 4 спутниковых приемников, расположенных на базовых станциях и ближайших к базовым станциям пунктах триангуляции ГГС [2].

Для размещения оборудования на исходных геодезических пунктах и БС, использовались специальные переходные устройства для установки спутниковых антенн в трегер, который устанавливался над центром пункта, с использованием геодезического штатива. Центрирование и нивелирование антенн выполнялись с использованием оптического центрира ЦО-30 с точностью 5 мм. Так как спутниковые измерения выполняются относительно фазового центра антенны, то для вычисления отметки центра пункта получаемой из сеанса измерений, измерялась высота установки антенны над центром пункта. Измерение высоты производилось с точностью 1 мм с использованием металлических рулеток.

При производстве работ были выполнены наблюдения на 9 пунктах триангуляции ГГС, и на 3 вновь заложенных базовых станциях, в результате чего было получено 20 векторов.

Обработка результатов производилась с использованием многофункционального программного обеспечения Trimble Geomatic Office ver. 1.63 (TGO 1.63), фирмы Trimble Navigation Ltd.

Процесс обработки был разделен на этапы:

- Предварительная обработка и анализ качества измерений;
- Уравнивание сети и получение координат базовой станции.

При предварительной обработке были вычислены все вектора образованные в результате проведенных наблюдений, с использованием ПО Baseline Processor входящего в состав TGO [3].

Далее для оценки качества полученных векторов был произведен анализ измерений с использованием невязок в треугольниках, составленных из этих векторов, величины невязок и относительные ошибки определения длины треугольников представлены в таблице № 1.

Из полученных результатов видно, что относительные ошибки определения длин периметров треугольников имеют величины не хуже 1 / 1 100 000, что меньше допустимой ошибки определения базисной стороны при построении триангуляции 1 класса, являющейся исходным построением при развитии государственной сети, следовательно, ошибки измерений оказывают минимальное влияние на ошибки положения вновь определяемых пунктов.

Сгущение опорной геодезической сети выполнялись одновременно 4-мя спутниковыми геодезическими приёмниками фирмы JNS – Javad Navigation Systems. Таким образом, пункты спутниковой сети 1 и 2-го порядков определены геодезическими четырехугольниками с двумя диагоналями, что привело к повышенной жесткости и надежности определений.

Таблица 1. Ведомость невязок треугольников

№ п/п	Название треугольника	Периметр (км)	f_x (м)	f_y (м)	f_h (м)	PPM	1/N
1	Ангальский - Паричи - БС1	76913	-0.001	0.001	-0.001	0.02	1 / 50085776
2	Ангальский - Паричи - Полуй	132644	0.001	0.000	0.003	0.03	1 / 37356412
3	Ангальский - Полуй - БС1	133073	0.001	0.000	0.000	0.01	1 / 139142897
4	Б.Епседей - Полуй - Центральный	121033	0.000	-0.001	0.005	0.04	1 / 24797046
5	Б.Епседей - Хавыто - Ярудей	194538	-0.021	0.025	0.012	0.18	1 / 5678581
6	БС Надым - Хавыто - Янгота	182888	0.018	0.083	-0.006	0.47	1 / 2150745
7	БС3 - БС Надым - Хавыто	187066	-0.040	0.151	0.058	0.89	1 / 1119759
8	БС3 - БС Надым - Янгота	181566	-0.018	0.035	-0.014	0.23	1 / 4374567
9	БС3 - Хавыто - Янгота	96939	0.041	-0.034	-0.079	0.98	1 / 1019878
10	Паричи - Полуй - БС1	62194	0.003	-0.001	0.004	0.08	1 / 12315613

Все спутниковые наблюдения выполнялись в режиме «статика», интервал записи 5 секунд. На относительно длинных сторонах наблюдений в спутниковой сети 1-го порядка длительность приема на определяемых пунктах сети составляла в среднем 1 час времени, на пунктах сети 2-го порядка - от 15 до 30 минут в зависимости от условий и расположения спутникового созвездия. Заранее определялись неблагоприятные временные интервалы и наблюдения продлялись на необходимое время.

Все файлы полевых наблюдений были отредактированы, так что высота антенны над центром пункта везде приведена к фазовому центру антенны.

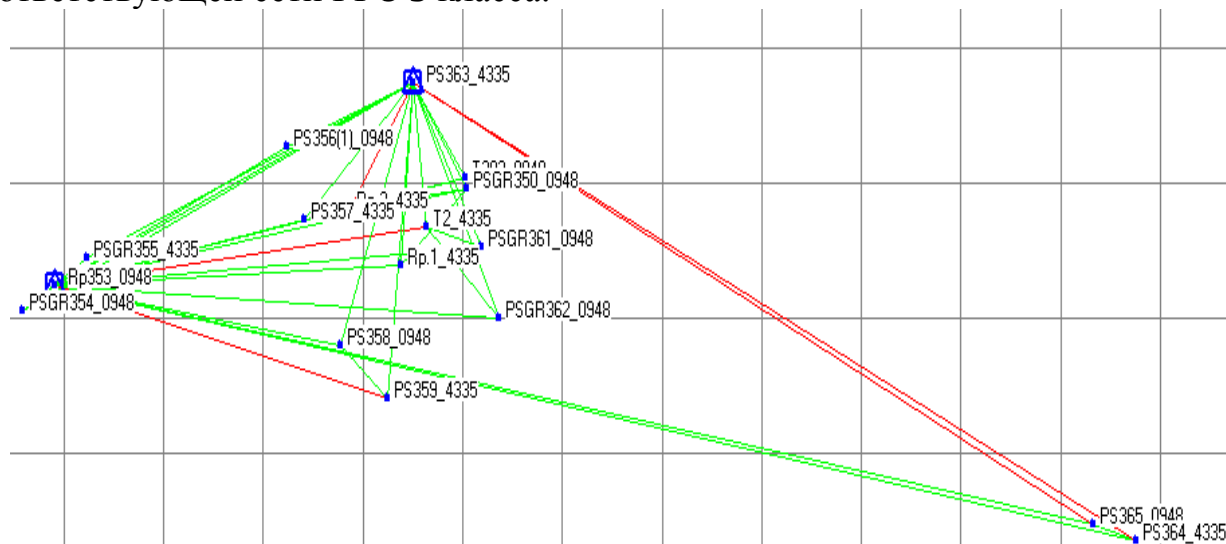
Уравнивание выполнено программой «Pinnacle v1.0» фирмы JNS – Javad Navigation Systems. В сети 1-го порядка определён локальный геоид по 4-м исходным по высоте пунктам: пт. Артем-нив. II кл., PSGR353 – нив. II кл., пт. Грива – геодез. нив. и пт. Панкит – геодез. нив.

Контролем надежности служил единственный пт. Зимник, отметка которого из геодезического нивелирования совпадает с определенной из спутниковых наблюдений – 43.69 (СКО=0.04м.) и 43.7 – геодезическая из выписки. Полученный локальный геоид можно считать надежным. Он записан в отдельный файл и использовался в проекте уравнивания сети 2-го порядка.

Сеть 2-го порядка (рисунок 1) уравнена от двух исходных пунктов сети 1-го порядка с использованием полученного локального геоида.

Максимальная средняя квадратические ошибки не превышают в плане 0.03 м и по высоте 0.05 м.

Результаты исследований показали, что от исходных пунктов сети 1 порядка примерно в радиусе до 3 км можно работать двухчастотными спутниковыми приемниками лучом-вектором и при хороших условиях наблюдений достигать точности нивелирования IV класса, а в плане точности, соответствующей сети ГГС 3 класса.



Треугольник + Четырехугольник – исходный пункт в плане и по высоте – 2 пункта спутниковой сети 1-го порядка.

Кружок-точка - определяемые в плане и по высоте пункты спутниковой сети 2-го порядка.

Сторона квадрата сетки координат равна на местности 1000 метров.

Рис. 1. План-схема уравнивания спутниковой сети 2-го порядка

Отметки исходных пунктов триангуляции Грива, Зимник и Панкит получены с точностью не ниже нивелирования IV Кл.

Систематическое расхождение 0.1 метра вполне допустимо для топосъемок незастроенной территории с сечением рельефа через 1.0 метр.

В дальнейшем созданное планово-высотное геодезическое обоснование успешно использовалось для организации воздушного лазерного сканирования района работ и выбора вариантов трасс линейного участка магистрального газопровода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Биндер И.О., Мурзинцев П.П. Особенности инженерно-геодезических изысканий линейного участка магистрального газопровода «Сахалин-Хабаровск-Владивосток». Геодезия и картография.-2011.-1.-С.9-12.
2. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS ГКИНП 02-262-02.
3. Подопряхин Р.В. Технический отчет на выполнение аэросъёмочных работ методом лазерной локации и обработку аэросъёмочных материалов для

строительства автомобильной дороги «Надым-Салехард» участки: 1000-1060 км. 1060-1120 км. 1120-1191 км. 1191-1241 км и трассы железнодорожной линии «Лабытнанги(Обская)-Салехард-Надым(Пристань) ООО «ГЕОКОСМОС ЗД», М. 2007г. 38 с.

© *И.О. Биндер, П.П. Мурзинцев, 2011*

УДК 528.482

Е.В. Хорошилов

Строительный трест № 36, Новосибирск

В.С. Хорошилов

СГГА, Новосибирск

АНАЛИЗ ОПЫТА ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ КОСВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМАЦИЙ

В статье рассмотрены вопросы применения косвенных характеристик деформаций, вычисленных по непосредственно измеренным значениям осадки при изучении качественных изменений наблюдаемых деформационных процессов контролируемых зданий или других видов инженерных сооружений.

Ye.V. Khoroshilov

Building trust № 36, Novosibirsk

V.S. Khoroshilov

SSGA, Novosibirsk

ANALYSIS OF THE EXPIERIENCE IN BUILDING STATE INVESTIGATION ON THE BASIS OF INDIRECT DEFORMATIONS CHARACTERISTICS

The problems of indirect deformations characteristics are considered. They were calculated by the direct measurements of settlement while examining qualitative changes of deformation processes in buildings or engineering structures under study.

Основные идеи применения косвенных характеристик деформаций для исследования деформационных процессов оснований зданий и сооружений заложены в работе [1]. Косвенными характеристиками деформаций оснований принято считать различные количественные параметры наблюдаемых деформационных процессов, вычисленные по непосредственно измеренным значениям осадки контролируемых зданий или других видов инженерных сооружений. Установлено, что значения ряда косвенных характеристик отражают на определённых этапах изменение свойств и особенностей качественного состояния сооружений. В первую очередь по значениям осадки характерных марок вычисляются конкретные виды деформаций: прогибы и крены фундаментов, величины которых характеризуют состояние сооружений и имеют критериальные ограничения. Широко используются для оценки состояния сооружений величины значений средней осадки и скорости развития осадки; от скорости осадки существенно зависит прочность и устойчивость сооружений. Косвенной характеристикой деформации основания и фундамента, которое отражает свойство пространственной жёсткости сооружения в конкретных условиях, является отношение разности

максимального и минимального значений осадки к её средней величине. Расчёт этой характеристики базируется на том, что при одинаково сжимаемых грунтах жёсткие сооружения выравнивают осадку основания, а гибкие – следуют за ней. Величина характеристики пространственной жёсткости вычисляется по значениям стабилизировавшейся осадки и используется для совершенствования проектирования. При этом пространственную жесткость F_d практически жёстких и практически гибких сооружений целесообразно оценивать по формуле:

$$F_d = \frac{x_{\min}}{x_{\max}};$$

где $x_{\min}$ и $x_{\max}$ – соответственно минимальные и максимальные значения стабилизировавшейся осадки. Значения F_d изменяются в пределах от 0 до 1, возрастая с повышением жёсткости. Очевидно, изменения значений F_d во времени t в процессе роста нестабилизировавшейся осадки будут отражать особенности совместной работы основания и сооружения.

Наряду с изменениями во времени средней осадки важные особенности развития процесса деформации основания представляют такие косвенные статистические характеристики как стандарт осадки $\tilde{\sigma}_x(t)$, коэффициент вариации осадки $\vartheta_x(t)$ и математическое ожидание разности значений осадки симметричных марок сооружения $\tilde{M}_s(t)$. Очевидно, что стандарт процесса осадки является характеристикой её неравномерности, обобщённой по площади всего основания или по его исследуемой части. Коэффициент вариации представляет собой отношение стандарта к математическому ожиданию и является общей для всех возможных условий мерой, выражающей соотношение между неравномерностью осадки и средней осадкой, сходной по структуре с принятой характеристикой пространственной жёсткости сооружения. В работе [1] показано, что значения $\vartheta_x(t)$ критериально отражают степень деформированности зданий, возникающей из-за неравномерности осадки. При этом для зданий, находящихся в предельном состоянии по непригодности нормальной эксплуатации, значения коэффициентов вариации изменяются от 0,3 до 0,7, а предельному состоянию по непригодности к эксплуатации соответствуют коэффициенты, равные единице.

Разность значений осадки симметричных марок сооружения $S(t)$ характеризует неоднородность основания, если на его симметричные участки действует одинаковое давление от массы сооружения. Значения разностей осадки симметричных марок на время t вычисляются по формуле:

$$S_i(t) = x_{\text{л}i}(t) - x_{\text{п}i}(t);$$

где $x_{\text{л}i}, x_{\text{п}i}$ – значения осадок i -ой пары марок, расположенной симметрично относительно продольной или поперечной, или диагональных осей контура сооружения. Можно анализировать проявление рассматриваемой

неоднородности по одной из осей симметрии или совместно по всем осям, используя в последнем случае модули значений $|S|$.

Геодезические наблюдения за осадкой 12-ти этажного 6-ти секционного кирпичного здания дугообразной формы по продольным осям протяжённостью 217 м начаты сразу после его возведения [2]. Фундаментная плита здания состоит из трёх шарнирно-скреплённых железобетонных блоков толщиной 1 м, опирающихся на бетонную подушку и песчаную отсыпку суммарной мощностью слоёв 60 см. По площади фундаментной плиты равномерно заложены 21 осадочная марка. В таблице 1 приведены результаты вычисления параметров осадки по всей фундаментной плите (П) и по её первому блоку (Б), где к 3-му циклу наблюдений появились трещины в кирпичной кладке над уровнем чистого пола на участке дугового сгиба секции 2.

Изменения приведённых в таблице 1 параметров осадки интерпретируются нами следующим образом. Все параметры отражают с инерционным запаздыванием неодновременность возведения отдельных секций здания и неравномерность роста нагрузки на фундамент каждой из них. После третьего цикла параметры осадки всей фундаментной плиты сглажены в сравнении с её отдельными блоками. Параметры осадки первого блока, вычисленные для третьего цикла, отражают возрастание коэффициентов вариации разностей осадки симметричных марок $\vartheta_s(t)$ и самой осадки, увеличение её скорости $M_v(\tau)$, снижение совместной жёсткости основания и фундамента $F_d(t)$. Эти изменения параметров объясняют причины неблагоприятного развития процесса осадки здания, вызвавшего появление трещин в кирпичной кладке. Уменьшение рассматриваемых параметров в последующих циклах соответствует прекращению трещинообразования. Так ещё раз подтверждается эффективность предлагаемой оценки состояния зданий с помощью параметров осадки фундаментов.

Таблица 1. Значения параметров процесса осадки 12-ти этажного здания

№ циклов	t, сутки	M _v (τ), мм\сутки		$\vartheta_x(t)$		$\vartheta_s(t)$		F _d (t)	
		П	Б	П	Б	П	Б	П	Б
2	49	0,43	0,51	0,35	0,15	0,28	0,12	0,13	0,70
3	70	0,73	0,69	0,21	0,22	0,15	0,18	0,44	0,58
4	111	0,28	0,36	0,16	0,13	0,12	0,12	0,57	0,67
5	199	0,28	0,34	0,16	0,06	0,13	0,07	0,57	0,83
6	293	0,04	0,03	0,14	0,05	0,12	0,05	,61	0,88

Косвенные статистические характеристики процессов деформации основания, вычисляемые по непосредственно измеренным значениям осадки, отражают важные особенности изменения качественного состояния зданий. Данные представленные в таблице 1 свидетельствуют, что наиболее эффективными оказались коэффициенты вариации осадки и разностей осадки, симметричных марок, а также математическое ожидание изменения скорости осадки. В связи с детерминированно-вероятностной природой развития процесса осадки зданий и сооружений правомерно считать значимыми даже

небольшие величины косвенных статистических характеристик деформаций оснований, вычисленных по ограниченному числу реализаций процесса. Прогнозирование изменений рассматриваемых косвенных характеристик позволяет оценивать ожидаемое качественное состояние исследуемых зданий и сооружений.

Значимость косвенных характеристик деформации основания можно не оценивать по известным статистическим критериям, исходя из детерминировано-вероятностной природы развития процесса осадки здания и высокого класса геодезических наблюдений за ней. При этом следует отметить, что небольшие величины и малые диапазоны изменения рассматриваемых коэффициентов вариации могут вызвать сомнения в их значимости. Однако в данном случае соотношения между оценками стандартов и математических ожиданий изменяются, как правило, в пределах от 0 до 1, поэтому даже малые колебания коэффициентов вариации отражают реальные особенности развития деформации основания. Подтверждением этого служат как логичность вышеприведенных выводов, так и зарегистрированные факты изменения состояния фундаментов различных инженерных сооружений [1]. В строительный период косвенные характеристики отражают реакцию фундамента на быстрый неравномерный рост нагрузки и соответствующее ей уплотнение грунтов основания. Значение средней осадки и скорости ее изменения во времени характеризует общую для строительного и эксплуатационного периодов закономерность развития наблюдаемого процесса. Анализ изменения этих и других косвенных характеристик деформации основания расширяет возможности содержательной интерпретации контролируемых зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев Ю.П. Прогнозирование деформаций сооружений на основе результатов геодезических наблюдений [Текст] / Ю.П. Гуляев. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
2. Гуляев Ю.П. Параметры осадок фундаментов как характеристики состояния зданий [Текст] / Ю.П. Гуляев, Е.В. Хорошилов. – Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка, № 5, 2009. – С. 44-48.

© *Е.В. Хорошилов, В.С. Хорошилов, 2011*

УДК: 528.482

Ю.П. Гуляев, В.С. Хорошилов

СГГА, Новосибирск

Ю.В. Родионова

Департамент строительства и архитектуры мэрии, Новосибирск

МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ СТЕПЕНИ АВАРИЙНОСТИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЦЕНКИ ИХ СОСТОЯНИЯ

На примере высотного здания показана методика выявления по геодезическим данным предвестников аварийных ситуаций с помощью предложенных физико-технических параметров; намечено направление повышение эффективности оценки деформационно-прочностного состояния контролируемых инженерных объектов.

Yu.P. Gulyayev, V.S. Khoroshilov

SSGA, Novosibirsk

Yu.V. Rodionova

Department of construction and architecture of Novosibirsk mayor's office,
Novosibirsk

METHODS OF DETERMINING HIGH RISES SAFETY DEGREE AND IMPROVEMENT OF THEIR STATE ESTIMATION EFFICIENCY ON THE BASIS OF GEODETIC DATA

By the example of the high rise the authors present the methods for predicting accidents by means of the offered physical-and- technical parameters on the basis of the geodetic data. The ways of improving the efficiency of deformation-resistance state estimation of the engineering structures under study are offered.

Актуальность геодезической оценки деформационно-прочностного состояния зданий и других сооружений бесспорна. Она возрастает в условиях точечной застройки городов высотными зданиями. При правильно организованном пространственно-временном геодезическом контроле за изменением состояния здания результаты наблюдений объективно отражают в количественной форме последствия сложного взаимодействия конструкции с его грунтовым основанием и внешней средой.

Существующая методика оценки близости состояния здания к предельному по деформациям и по несущей способности базируется на сравнении измеренных геодезическими методами прогибов и кренов несущих конструкций с их нормативно допустимыми значениями. При этом критерии

предельно допустимых значений прогибов и кренов являются обобщенными, полученными расчетными способами безотносительно конкретных типов зданий. Кроме того, нормативно предусматривается оценивать безопасность развития процесса осадки фундаментов в эксплуатационный период по характеру изменений во времени её средней величины и средней скорости. Если эти параметры изменяются равномерно, без скачков, то можно считать, что процесс осадки развивается нормально и не вызывает опасений возникновения аварийных ситуаций.

Идея введения других параметров для разработки методики выявления по геодезическим данным степени аварийности зданий базируется на известном подходе к проектным расчетам оснований зданий по деформациям способом предельно допустимой средней осадки. Сущность способа заключается в том, что в результате опыта геодезических наблюдений за осадкой различных типов зданий в разных условиях была выявлена закономерность пропорционального роста во времени величины средней осадки и её неравномерности. Неравномерность осадки фундамента, представляющая деформацию грунтового основания, вызывает большинство видов деформаций несущих и ограждающих конструкций каждого здания.

В качестве физико-технического параметра, отражающего соотношение между неравномерностью осадки и её средней величиной, нами предложено использовать коэффициент вариации осадки, представляющий в каждом цикле геодезических наблюдений отношение стандарта осадки к её средней величине [1]. Стандарт осадки, т.е. её среднеквадратическое отклонение, рассматривается здесь как мера неравномерности осадки. Для объективной и точной оценки деформационно-прочностного состояния здания по коэффициентам вариации должна быть обеспечена необходимая пространственно-временная достаточность и измерительная точность геодезического контроля, а также однородность исходных данных. Значимость небольших по величине параметров в виде коэффициентов вариации обусловлена преобладающей детерминированной природой развития процесса осадки.

Выполненные нами исследования по результатам геодезических наблюдений за осадками фундаментов значительного ряда аварийных зданий показали, что значения коэффициента вариации осадки определённо отражают степень приближения к аварийному состоянию и его уровень. У зданий, находившихся в предельном состоянии по непригодности к нормальной эксплуатации, значения коэффициентов вариации осадки изменялись в пределах от 0,3 до 0,7, а предельному состоянию по непригодности к эксплуатации эти коэффициенты превышали величину 0,7 и были близкими к 1.

Виды аналогичных физико-технических параметров были нами расширены, наиболее эффективным из них оказался коэффициент вариации разностей значений осадки симметричных марок. Изменения этого коэффициента отражают влияние неоднородности сложения и состава грунтов основания на неравномерность осадки при условии симметричного действия нагрузки на основание и соответствующего размещения контролируемых марок по площади фундамента.

Демонстрация опыта применения разработанной методики раннего выявления времени возникновения и степени деформируемости зданий показывается нами ретроспективно по материалам геодезических наблюдений за осадкой нижней плиты коробчатого фундамента сложного архитектурного сооружения – высотного здания МГУ. Материалы наблюдений, выполненных в период с 1949 г. по 1971 г., любезно предоставлены в своё время НИИОснований Госстроя СССР Гуляеву Ю.П. [1].

Использование высотного здания МГУ в качестве демонстрационного объекта связано с тем, что имело место образование волосяных трещин в стенах жесткости коробчатого фундамента. Трещины были обнаружены визуально в межцикловом интервале геодезических наблюдений продолжительностью 6,6 года, к которому перешли после ежегодного геодезического контроля в связи с формально выдержанным соблюдением нормативных критериев по изменению средней осадки и её средней скорости. Нами показано, что предлагаемая методика оценки состояния здания по коэффициентам вариации позволила бы своевременно обнаружить предвестники неблагоприятного развития процесса осадки (см. табл. и рис.).

Таблица. Значения параметров процесса осадки высотного здания МГУ

№ циклов	t, годы	$\tilde{M}_x(t)$, мм	$\tilde{M}_v(\tau)$, мм/год	$\tilde{v}_x(t)$	$\tilde{M}_f(t)$, мм	$\tilde{v}_f(t)$	$\tilde{M}_s(t)$, мм	$\tilde{v}_s(t)$	Периоды
2	0,48	8,19	17,1	0,32	1,62	1,13	1,53	0,89	Строительный
3	1,48	18,58	10,4	0,24	3,90	0,92	2,73	0,56	
4	2,48	39,45	20,9	0,18	6,92	0,86	3,07	0,45	
5	3,40	46,48	7,8	0,18	8,67	0,86	2,67	0,61	
6	4,52	49,52	2,8	0,18	9,43	0,86	2,33	0,66	Эксплуатационный
7	5,48	51,16	1,6	0,18	10,01	0,87	2,80	0,65	
8	6,48	51,58	0,4	0,19	10,33	0,86	2,80	0,70	
9	13,07	56,68	0,8	0,20	12,09	0,86	3,33	0,55	
10	16,80	61,29	1,2	0,19	12,75	0,86	3,40	0,48	
11	19,79	63,87	0,9	0,19	12,87	0,86	3,80	0,47	
12	22,76	68,22	1,4	0,18	12,90	0,86	3,87	0,50	
прогноз	50	99,5	0,04	0,13	12,14	0,97	5,60	0,34	

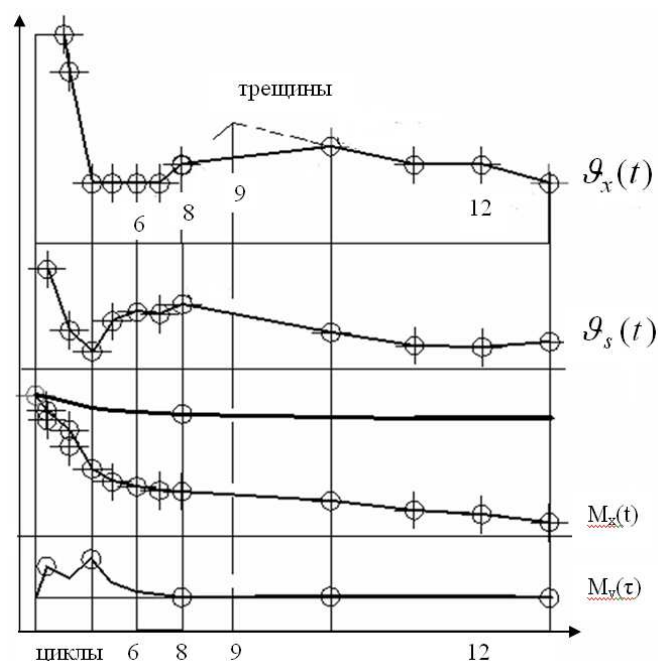


Рис. График изменения во времени параметров осадки здания МГУ

В таблице представлены изменения параметров осадки высотного здания МГУ, а на рисунке — их график. Параметры вычислялись по модулю значений осадки 31 марки, которые были заложены преимущественно в центральной части нижней плиты фундамента, наиболее подверженной деформациям от неравномерно сосредоточенной нагрузки. Результаты 12 циклов высокоточных геодезических наблюдений за осадкой, охватывают период 22,8 лет, считая от завершения бетонирования плиты фундамента. Представлены традиционно контролируемые параметры средней осадки $M_x(t)$, средней скорости осадки $M_v(\tau)$, обобщенной характеристики прогиба фундаментной плиты $M_f(t)$ и введенные нами параметры — коэффициент вариации осадки $V_x(t)$ и коэффициент вариации разностей значений осадки симметричных марок $V_s(t)$. Здесь через t обозначено текущее время, через τ — межцикловые интервалы времени. Масштаб графиков различен для каждого из параметров, чтобы нагляднее отражались особенности их изменения.

Плавное возрастание значений средней осадки и снижение её средней скорости в период после завершения строительства до 8-го цикла включительно позволили в соответствии с нормативными требованиями прекратить ежегодные геодезические наблюдения за осадкой. Значение обобщенной характеристики прогиба фундаментной плиты уменьшалось, что согласуется с теоретическими положениями. Геодезические наблюдения были возобновлены лишь через 6,6 года в связи с обнаружением трещин. Очевидно, что традиционные нормативные критерии не позволили выявить предвестники трещинообразования.

Выявлено, что коэффициент вариации разностей значений осадки симметричных марок возрастает сразу после окончания основной части строительного периода. Это отражает имевшееся неблагоприятное влияние

неоднородности грунтов основания на развитие деформационных процессов в эксплуатационный период. Возрастание коэффициента вариации осадки между 7 и 8 циклами наблюдений представляет собой её реакцию на проявившееся ранее влияние неоднородности грунтов, которая произошла с инерционным запаздыванием в 3,1 года. Впоследствии, после почти 7-летнего отсутствия геодезического контроля между 9 и 10 циклами, проявилось снижение коэффициента вариации осадки. Выполнив аналитическую засечку по направлениям изменений значений коэффициентов вариации осадки между циклами 7-8 и 10-9, мы установили, что максимальное значение $V_x(t) \approx 0,21$ возникло через 2,3 года после 8 цикла наблюдений и за 4,3 года до выполнения 9 цикла (на рис. показано пунктиром).

Представленный демонстрационный пример применения предлагаемой нами методики показывает, что предвестники возникшего трещинообразования можно было бы выявить по изменениям значения $V_s(t)$ за 5,4 года до возникновения максимального значения коэффициента вариации $V_x(t)$ и не допустить бесконтрольности наблюдений протяженностью в 6,6 года.

К рассматриваемой методике можно также отнести решения прогнозных задач, позволяющих находить ожидаемые перемещения каждой наблюдаемой деформационной марки и оценивать точность прогноза. Приводим результаты решения прогнозных задач процесса осадки высотного здания МГУ [1]. Вначале прогнозная кинематическая модель была построена по результатам наблюдений, охватывающим 6,7,8 циклы наблюдений, а контрольное прогнозирование выполнялось на 12-й цикл, т.е. с упреждением 16,3 года. Прогнозное значение максимальной осадки получилось равным 93,7 мм при её фактическом значении 93 мм и предвычисленной среднеквадратической ошибке прогноза 2,1 мм. Прогноз значения максимальной неравномерности осадки составил 42,7 мм при фактической величине 43 мм. На следующем этапе был выполнен долгосрочный прогноз, периодом основания которого служили 9,10,11,12 циклы наблюдений, а период упреждения равнялся 27 годам. Прогнозное значение максимальной осадки марки получилось равным 125,2 мм при среднеквадратической ошибке прогноза 2,3 мм. Прогноз максимальной неравномерности осадки равнялся 44,6 мм, т.е. его значение увеличилось за 27 лет на 2,3 мм. Это позволило сделать вывод об ожидаемой через 50 лет с начала строительства стабилизации неравномерности осадки высотного здания МГУ.

Проведение экспертной сессии «Безопасность строительства и эксплуатации объектов», состоявшейся в г. Новосибирске в апреле 2010 года на IV открытом градостроительном форуме «Город завтра», показало остроту проблемы оценки поведения и состояния высотных зданий, влияния их осадочных воронок на окружающие здания прежней застройки. При этом обозначилось направление повышения эффективности решения этой проблемы. Основной недостаток существующей системы оценки деформационно-прочностного состояния высотных зданий заключается в разобщенности разнообразных контрольных наблюдений и обследований, выполняемых производственными и научными организациями, в отсутствии комплексного

анализа всех полученных результатов. Такое положение во многом обусловлено отсутствием персональной ответственности заказчиков и исполнителей работ, формальным перекалыванием этой ответственности друг на друга. Негативную роль играет частная заинтересованность исполнителей в освоении большинства выделенных средств только на свои работы.

По нашему мнению, в департаменте строительства и архитектуры мэрии или в МЧС следует создать координационный аналитический центр, который может потребовать от исполнителей всех работ, связанных с обеспечением надёжности, долговечности, безопасности строительства и эксплуатации инженерных объектов, предоставление копий технических и научных отчетов, сдаваемым заказчикам. Тогда появится возможность систематизации, комплексного анализа и повышения эффективности оценки деформационно-прочностного состояния контролируемых объектов.

Повышать эффективность геодезической оценки деформационно-прочностного состояния контролируемых объектов предлагается осуществлять на основе технических экспертных систем, содержащих базу данных и базу знаний, в которых заложен алгоритмический инструментарий для решения систематизационных, оптимизационных и ряда различных инженерных задач [2]. В частности, при решении рассмотренных задач по высотным зданиям следует систематизировать исследуемые объекты по инженерно-геологическим, гидрогеологическим условиям, по типам зданий и условиям их размещения в инфраструктуре города, оптимизировать системы инструментального контроля и обследования, использовать в базе знаний рассмотренную методику оценки степени аварийности зданий и прогнозирования деформационных процессов и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев Ю.П. Прогнозирование деформаций сооружений на основе результатов геодезических наблюдений [Текст] / Ю.П. Гуляев. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
2. Хорошилов, В.С. Методология применения экспертной системы оптимального выбора методов и средств измерений для монтажа технологического оборудования [Текст] / В.С. Хорошилов. – Изв. ВУЗов «Горный журнал», № 6, 2005. – С. 23-28.

© Ю.П. Гуляев, В.С. Хорошилов, Ю.В. Родионова, 2011

УДК 528.23

А.В. Елагин

СГГА, Новосибирск

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ В ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАПРАВЛЕНИЯ СИЛОВОЙ ЛИНИИ НОРМАЛЬНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

Получены формулы преобразования прямоугольных координат в геодезические с использованием направления силовой линии нормального гравитационного поля. Для вычислений не требуется итерационный процесс.

A.V. Yelagin

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo U1, Novosibirsk, 630108, Russian Federation

RECTANGULAR COORDINATES TRANSFORMATION INTO GEODETIC ONES USING THE DIRECTION OF THE NORMAL GRAVITATIONAL FIELD FORCE LINE

The formulas of rectangular coordinates transformation into geodetic ones using the direction of the normal gravitational field force line have been derived. The iterative process is not needed for the calculations.

В настоящее время опубликовано множество способов перевычисления прямоугольных координат в геодезические координаты. Предлагается ещё один способ, в котором используется направление силовой линии, проходящей через заданную точку.

Долгота точки по прямоугольным координатам находится просто. Например, если точка расположена в первой четверти, тогда

$$L = \arctg\left(\frac{y}{x}\right).$$

Для определения геодезической широты и высоты через заданную точку вне эллипсоида проведём меридианный эллипс, у которого фокусы совпадают с фокусами земного эллипсоида (рис. 1). Воспользуемся системой координат меридианного эллипса. Ось x проведём из центра эллипса по направлению большой полуоси $\tilde{a}$, ось z по направлению малой полуоси $\tilde{b}$. Параметры софокусного эллипсоида $\tilde{a}$, $\tilde{b}$, $\tilde{e}^2$ и приведённая широта $\tilde{u}$ определяются по прямоугольным координатам x и z и параметрам земного эллипсоида a и e^2 из выражений:

$$c^2 = a^2 + e^2, r^2 = x^2 + z^2 - c^2, D = \sqrt{r^4 + 4c^2 z^2}, \tilde{b}^2 = 0.5 \cdot (r^2 + D),$$

$$\tilde{a}^2 = \tilde{b}^2 + c^2, \tilde{e}^2 = \frac{c^2}{\tilde{a}^2}, \tilde{u} = \arctg \frac{z}{x\sqrt{1-\tilde{e}^2}}.$$

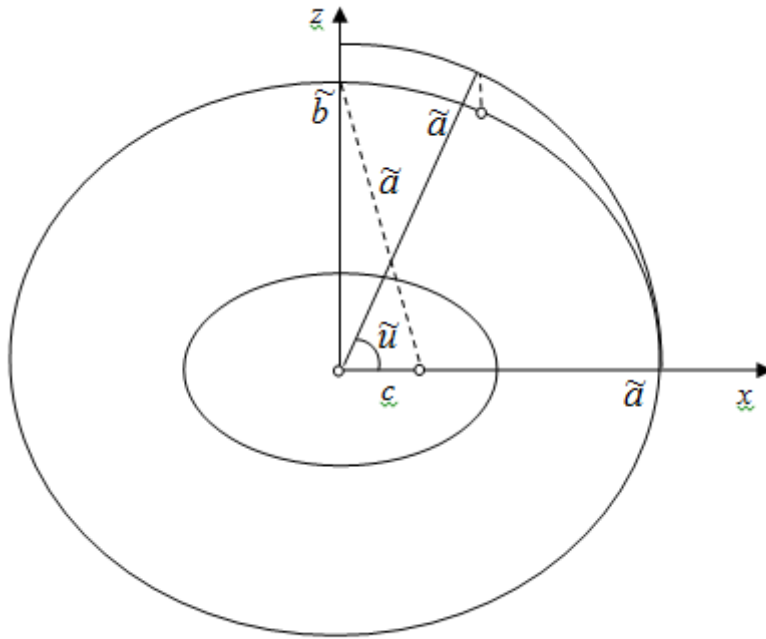


Рис. 1

Из дифференцирования общеизвестной формулы Молоденского М.С., предназначенной для определения нормального потенциала эллипсоида, получены выражения для вычисления составляющих ускорения нормального поля силы тяжести по осям x и z в виде:

$$\begin{bmatrix} \gamma_x \\ \gamma_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{d\tilde{b}}{dx} & \frac{d\tilde{u}}{dx} & \frac{dq}{dx} \\ \frac{d\tilde{b}}{dz} & \frac{d\tilde{u}}{dz} & \frac{dq}{dz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\frac{fM}{\tilde{a}} + \omega^2 \tilde{b} \cos^2 \tilde{u} \\ \left(a^2 \frac{q}{q_0} - \tilde{a}^2\right) \omega^2 \sin \tilde{u} \cos \tilde{u} \\ \frac{\omega^2 a^2}{2q_0} \left(\sin^2 \tilde{u} - \frac{1}{3}\right) \end{bmatrix},$$

где

$$\frac{d\tilde{b}}{dx} = \frac{x}{2\tilde{b}} \left(1 + \frac{r^2}{D}\right), \quad \frac{d\tilde{b}}{dz} = \frac{z}{2\tilde{b}} \left(1 + \frac{r^2 + 2c^2}{D}\right),$$

$$\frac{d\tilde{u}}{dx} = -\left(1 + \frac{\tilde{a}}{\tilde{b}} \tilde{e}^2 \cos \tilde{u} \frac{d\tilde{b}}{dx}\right) \frac{\sin \tilde{u}}{\tilde{a}}, \quad \frac{d\tilde{u}}{dz} = \left(1 - \tilde{e}^2 \sin \tilde{u} \frac{d\tilde{b}}{dz}\right) \frac{\cos \tilde{u}}{\tilde{b}},$$

$$\begin{bmatrix} \frac{dq}{dx} \\ \frac{dq}{dz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{d\tilde{b}}{dx} \\ \frac{d\tilde{b}}{dz} \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{c} \left(\frac{3}{c} \tilde{b} \arctg \frac{c}{\tilde{b}} - \frac{\tilde{b}^2}{\tilde{a}^2} - 2 \right),$$

$$q = \frac{1}{2} \left[\left(1 + 3 \frac{\tilde{b}^2}{c^2} \right) \operatorname{arctg} \frac{c}{\tilde{b}} - 3 \frac{\tilde{b}}{c} \right], \quad q_0 = \frac{1}{2} \left[\left(1 + 3 \frac{b^2}{c^2} \right) \operatorname{arctg} \frac{c}{b} - 3 \frac{b}{c} \right],$$

fM - гравитационный параметр Земли,

ω - угловая скорость вращения Земли.

По составляющим ускорения силы тяжести определяется нормальная широта

$$B_n = \operatorname{arctg} \frac{\gamma_z}{\gamma_x}.$$

Нормальная широта позволяет записать уравнение прямой, совпадающей с касательной к силовой линии в заданной точке. По уравнениям земного эллипса и прямой, находятся координаты точки их пересечения из выражений:

$$k = z - \operatorname{tg} B_n x,$$

$$\alpha = b^2 + a^2 \operatorname{tg}^2 B_n, \quad \beta = 2 a^2 k \operatorname{tg} B_n, \quad \gamma = a^2 k^2 - a^2 b^2,$$

$$x_e = \frac{-\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha}, \quad z_e = \operatorname{tg} B_n \cdot x_e + k.$$

По координатам заданной точки и точки пересечения определяется геодезическая высота

$$H = \sqrt{(x - x_e)^2 + (y - y_e)^2}.$$

Переход к геодезической широте может быть выполнен с учетом кривизны силовой линии по формуле:

$$B = B_n - 0,171'' H^{KM} \sin 2B_n.$$

Для проверки полученных формул был выполнен численный эксперимент.

В системе координат меридианного эллипса (эллипсоид ПЗ-90) заданы геодезические координаты города Новосибирска

$$B = 55^\circ 00' 00.00000'', \quad H = 1000.000 \text{ м}.$$

По ним получены прямоугольные координаты меридианного эллипса

$$x = 3667166.50687302 \text{ м},$$

$$z = 5202201.90786058 \text{ м}.$$

Далее по предложенным формулам обратного перехода были вычислены следующие значения геодезической широты и геодезической высоты:

$$B = 55^\circ 00' 00.000147'', \quad H = 1000.00000000162 \text{ м}.$$

Если погрешность широты, выраженную в радианах умножить на радиус Земли, то получим погрешность положения точки на земной поверхности не превышающую пяти миллиметров. Следовательно, представленные формулы могут быть использованы в геодезической практике.

УДК 528.422

А.Г. Малков

СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЙ НИВЕЛИРОМ AP-124 ФИРМЫ «PENTAX»

В статье приведены результаты исследования точности измерения превышений в полевых условиях точным нивелиром AP-124 фирмы «PENTAX» и их оценки по внутренней сходимости на станциях нивелирования с постоянно закрепленными реперами, сравнением с результатами измерений высокоточным нивелиром Н05 и сравнением с постоянным фиксированным значением разности превышений для разных длин плеч.

A.G. Malkov

SSGA, Novosibirsk

LEVEL AP-124 BY PENTAX: INVESTIGATION OF ELEVATION DIFFERENCE MEASUREMENT ACCURACY

The author presents investigation results as concerns field measurements of elevation difference by precise PENTAX level AP-124 as well as their inner convergence estimation at leveling stations with fixed bench-marks. The results are compared with those of high-precision H05 level measurements and with the fixed value of the elevation difference for different level line lengths.

Как известно одним из точных методов определения высот пунктов геодезических сетей является геометрическое нивелирование горизонтальным лучом соответствующего класса точности. Для определения превышений между пунктами широко используются разные типы нивелиров, различных между собой по функциональным возможностям и точностным характеристикам, выпускаемых различными фирмами.

В России нашли широкое применение нивелиры с компенсатором углов наклона серии AP фирмы «PENTAX», как наиболее дешевые по стоимости, точные и удобные в работе, обеспечивающие, согласно прилагаемым техническим характеристикам, измерение превышений на 1 км двойного хода со средней квадратической ошибкой, соответственно равной: 2.5 - 2.0 - 1.5 мм. Для подтверждения указанной точности нами были выполнены следования нивелира AP-124, основные характеристики которого приведены ниже:

Допуск С.К.О. измерения превышения на 1 км двойного хода ± 2.0 мм;

Прямое $\Gamma = 24^x$;

$D_{\text{вк.}} = 30$ мм;

Наименьшее расстояние визирования 0.4 м

$$K_d = 100;$$

Компенсатор $\pm 15'$;

Точность установки $0.5''$;

Цена круглого уровня $10^{1/2}$ мм;

Цена деления ГК 1° ;

Масса 1.3 кг.

Для подтверждения заявленной точности были выполнены исследования по измерению превышения нивелиром АР – 124 № 147259 на длинах плеч, равных 20. 40 и 60 м.

Контроль измеренных превышений и оценка точности были выполнены с использованием костыля с двумя головками, смещёнными относительно друг друга на 25мм [2] и нивелирной рейки РНЗ. Каждое превышение измерялось 10 приёмами и по формуле

$$m_h = \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}, \quad (1)$$

где $d = h_{изм} - h_{ист}$; n – число приёмов, была произведена их оценка.

Полученные значения средних квадратических ошибок измерения превышений составили соответственно:

$$m_{h_{20}} = 1.30 \text{ мм}; m_{h_{40}} = 0.50 \text{ мм}; m_{h_{60}} = 0.33 \text{ мм}.$$

Из этого следует, что точность измерения превышений указанным нивелиром не превышает ошибки отсчитывания по рейке РНЗ, равной ± 1 мм и подтверждает декларированное значение ошибки для данного типа нивелира.

Для получения более полной информации о точности указанного нивелира были выполнены дополнительные исследования по измерению превышений данным нивелиром между двенадцатью фиксированными точками, закреплёнными костылями и расположенными по замкнутому полигону длиной 860 м.

Средняя длина плеча была около 35 метров. Измерения выполнялись в облачную погоду с 10 до 16 часов в течение 3-х дней в прямом и обратном направлениях. Величина полученных невязок по замкнутому полигону не превышала допустимой величины для III-го класса нивелирования. Их значения представлены в таблице 1.

Значения полигональных невязок, полученных при измерении превышений нивелиром АР-124.

Таблица 1

№ ходов	1	2	3	4	5	6
Невязки f_h мм	-4	0	+8	+6	+4	+2

Оценка точности измерения превышений нивелиром АР-124 была также выполнена на станциях нивелирования из 6-ти кратных измерений между 12 закреплёнными реперами по формуле

$$m_h = \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}}, \quad (2)$$

где V – уклонение от среднего значения;

n – число измерений.

Полученные значения m_h представлены в таблице 2.

Таблица 2

№ станции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
m_h мм	1.7	1.6	0.9	1.9	2.0	1.5	1.5	1.6	1.4	1.5	2.2	1.2	1.6

Приведённые значения « m_h » подтверждают заявленную точность измерения превышений нивелиром AP-124.

Для получения более полной и достоверной информации о точности измерения превышений указанным нивелиром было выполнено сравнение средних значений превышений на каждой станции нивелирования со средним результатом измерений, выполненных нивелиром Н05 в прямом и обратном ходах в облачную погоду в те же временные периоды, как и нивелиром AP-124.

Полученные значения отклонений $d = h_{AP} - h_{H05}$, приведены в таблице 3.

Сравнительные характеристики величин отклонений d .

Таблица 3

№ станции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
d мм	-2.5	+2.5	-1.2	-1.0	+2.1	+0.7	+0.2	+0.7	-1.5	-1.5	+1.5	-0.7	-1.0

По данным таблицы вычислено значение средней квадратической ошибки по формуле

$$m_h = \sqrt{\frac{[d^2]}{n}} = 1.45 \text{ мм}$$

Полученное значение m_h подтверждает высокую точность измерения превышений нивелиром AP-124, а результаты исследования предполагают широкую возможность применения этих типов нивелиров при проложении высотных ходов в нивелировании III и IV классов точности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов.- М: Недра, 1004. – С.226.
2. Малков А.Г. О контроле измерения превышений цифровыми нивелирами. Геодезия и картография.-2009.- № 9. С. 14-15.

УДК 528 (091)

528 (092)

Г.Н. Тетерин, М.Л. Синянская

СГГА, Новосибирск

УГЛОВЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ МЕРЫ ИЗМЕРЕНИЙ В ДРЕВНЕЕ ВРЕМЯ

В данной статье рассматриваются образцовые и рабочие меры, преимущественно прямого угла, в том числе, связанные с египетским треугольником.

G.N. Teterin, M.L. Sinyanskaya

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

ROTARY AND LINEAR MEASURES IN ANCIENT TIME MEASUREMENT

This article describes the model and operating measures, mostly direct angle, including the Egyptian triangle.

Положение объекта в 3-мерном пространстве в древнее время определялось по расстоянию, удалению и с помощью углов ориентации в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В определении двух углов ориентации фактически использовались два принципа влияния: «принцип вертикаль-горизонталь» и «принцип 4-х направлений» (ПВГ и П4Н) [1]. В основе этих принципов лежит прямой угол. Таким образом, положение объекта в пространстве определялось путем измерения расстояний и построения прямого угла.

Использование прямого угла в деятельности людей осуществлялось не только в целях ориентации в пространстве, но и в целях его в организации, в создании вторичной среды – среды обитания, которая была «прямоугольной».

Измерять расстояние человек стал, как только научился считать (около 50 тыс. лет назад). Столь же давно, в глубокой древности, человек стал использовать прямой угол в ориентации в пространстве и в хозяйственной деятельности. Важнейшими геометрическими фигурами, использовавшимися в геодезических работах, в древнее время были прямой угол и прямоугольный треугольник, а также прямая линия. Материальным воплощением этих трех фигур были геодезические измерительные устройства: мерная веревка, землемерный крест и ватерпас. Геодезическая технология вполне отвечала геометрии отмеченных фигур и геодезических инструментов, поэтому являлась прямолинейно-прямоугольной [2]. Следует заметить, что прямой угол (ПУ) стал рассматриваться как величина ($\pi/2$, 90°) примерно с середины первого тысячелетия до н.э.

В древнее время единицы измерений были преимущественно антропного происхождения (локоть, шаг, пядь). В отдельных случаях меры устанавливались с учетом циклических процессов (смена суток, погодные условия и т.п.). Такого рода циклы и ритмы природы способствовали изготовлению некоторых средств измерений.

При большой потребности в прямом угле (в измерениях, в хозяйственной деятельности) была необходимость в изготовлении образцовых и рабочих мер этого угла.

Источниками и средством построения прямого угла был как сам человек (его фигура [1,3,4]), так и внешняя среда. Требовались, очевидно, в то время не только образцовые и рабочие меры измерений, но и шаблоны – в сфере мелких хозяйственных работ (строительных и др.).

Все, что касается прямого угла (истории его использования и применения в историческом плане, в том числе в геодезии), фактически не рассматривалось. Ниже исследуется эта проблема.

На первом этапе (до V тыс. до н.э.), точность всех измерений, проводившихся им была невысокой, в пределах 10^{-2} (1:100). Поэтому мерами измерений служили средства (в плане прямого угла), предоставлявшиеся окружающей средой или фигурой человека. Последнее достаточно подробно описано в работах [1, 3, 4].

Поскольку фигура человека «прямоугольна», то она позволяет строить прямые углы (в пределах точности 1:100), в частности, при межевании земель, как это описано в работах [1,3]. Из внешней среды образцы прямого угла можно было получить путем использования принципов влияния ПВГ и П4Н. На основе ПВГ получали прямой угол в вертикальной плоскости (ватерпас), а на основе П4Н – прямой угол в горизонтальной плоскости (землемерный крест). Прямой угол с учетом П4Н можно было также получить или по движению Солнца, или по линиям равноденствий и солнцестояний. На основе этих 2-х принципов можно было получить достаточно точное значение ПУ, хотя в нем еще не было особой необходимости.

Требования к точности пространственного положения объекта в строительстве, сельском хозяйстве резко возросли (на порядок) в 5-4 тысячелетиях до н.э. Пространственное положение в данном случае характеризуется точностью определения расстояния, а также такими геометрическими параметрами, как горизонтальность, вертикальность, перпендикулярность и построением прямого угла (как фигуры). Во всех перечисленных измерениях и построениях нужны были соответствующие геодезические устройства, измерительные системы, инструменты. Кроме этого требовались соответствующие образцовые и рабочие меры.

При формировании государственной общественной системы управления потребовался единый подход в соответствующих сферах деятельности, а вместе с тем образцы мер, единые в данной системе управления (город, государство).

Линейные образцовые меры были введены в крупных древних государствах (Египет, Вавилон и др.). В Вавилоне в качестве единой меры (образцовой) использовался куб, длины ребер которого определяли

общепринятую систему линейных мер (локоть и др.), а вес заполненного водой куба определял единицу веса (мина).

На рис.1 изображен древнеегипетский сановник с линейной образцовой мерой в руке. У древних германских народов (у Кимвров и Тевтонов, до н.э.) использовалась линейная мера – мерный шток, длиной 1,2м (пара шагов). Кстати, дороги в древней Греции и Риме размечались шагами (одна миля равна 1000 пар шагов). На коленях статуи короля Гудеа (Месопотамия) была выбита мера длины.

Мера ПУ в геодезических работах в литературе, применительно к древнему времени, не рассматривалась. Соответственно, не излагались требования и применяемые меры при построении и выполнении геометрических условий: горизонтальности, вертикальности и перпендикулярности. Создание рабочих мер, в плане осуществления и выполнения перечисленных геометрических параметров и условий, осуществлялось с учетом принципов влияния ПВГ и П4Н. Принцип ПВГ позволял контролировать и осуществлять условие вертикальности и горизонтальности (ватерпас и др.), а принцип П4Н позволял создавать образцовые и рабочие меры построения ПУ (простейшим из такого рода устройств являлся землемерный крест). На основе принципов ПВГ и П4Н в древнее время вполне могли получать как образцовые, так и рабочие меры. Образцовые меры устанавливались в определенном месте, например на ровной горизонтальной площадке, где мог устанавливаться достаточно длинный отвес (гномон) или проведены линии равноденствий и солнцестояний (или линии движения теней Солнца в течении суток).

Прототип ПУ мог представляться как в деревянном, так и в веревочном исполнении. В «веревочном варианте» в отличие от образцов, полученных на основе принципов ПВГ и П4Н (как описано выше) легко выполняется путем построения «египетского треугольника» со сторонами 3, 4, 5 единиц длины – Пифагорова тройка чисел. Эта тройка определяет прямоугольный треугольник (ПУ между катетами в 3, 4 ед. дл.). Если обозначить стороны треугольника через a , b , c , где a , b – катеты, c – гипотенуза, то согласно теореме Пифагора, для прямоугольного треугольника: $a^2 + b^2 = c^2$.

В египетском треугольнике использовались различные наборы троек пифагоровых чисел, в том числе 3, 4, 5. Эти тройки чисел можно определить по формуле: $a=2n+1$, $b=2n(n+1)$, $c=2n^2+2n+1$, где n – целое число. В другом варианте некоторый ряд пифагоровых троек чисел можно обозначить как pa , pb , pc , т.е.: 3, 4, 5; 6, 8, 10; 9, 12, 15... Египетский треугольник широко использовался в древнем Египте при строительстве пирамид. В частности, в архитектуре древнемесопотамских надгробий встречается равнобедренный треугольник, составленный из двух прямоугольных со сторонами 9, 12 и 15 локтей. Пирамиды фараона Снофру (XXVII век до н.э.) построены с использованием треугольников со сторонами 20, 21 и 29, а также 18, 24 и 30 десятков локтей. Египетский треугольник использовался также в Вавилоне.

«Веревочный» шаблон ПУ в качестве рабочей меры использовался как в сельском хозяйстве (при межевании), так и при строительстве.

Для получения образцовых мер в древнее время могли применяться гномоны. В качестве таких вполне подходили обелиски, воздвигавшиеся в древнем Египте достаточно часто. Обелиск (гномон) играл роль отвеса, а площадка служила горизонтальной плоскостью. С другой стороны, обелиск мог вполне подходить для реализации П4Н с учетом суточного движения Солнца или построения линий равноденствий или солнцестояний.

Существует два «теоретических» метода построения ПУ, не зависящих от внешней среды и от принципов влияния. Эти методы определяются теорией геометрии (планиметрии) и суть их такова:

1. С помощью циркуля и линейки можно построить вписанный треугольник в окружность, одна из сторон которого является диаметром этой окружности. Тогда при вершине треугольника противолежащей диаметру получится прямой угол ($\pi/2$), т.е. получится прямоугольный треугольник (рис. 2).

2. Второй метод построения ПУ сводится к построению прямоугольного треугольника на местности, стороны которого характеризуются одной из групп пифагоровых троек чисел, например, 6, 8, 10 ед.дл. (рис. 3). «Веревочный» вариант прямоугольного треугольника может быть получен и вне рамок пифагоровых чисел. Это могло быть осуществлено по трафарету, шаблону двух перпендикулярных линий.

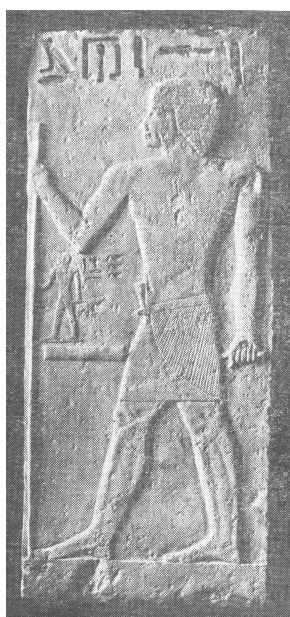


Рис. 1

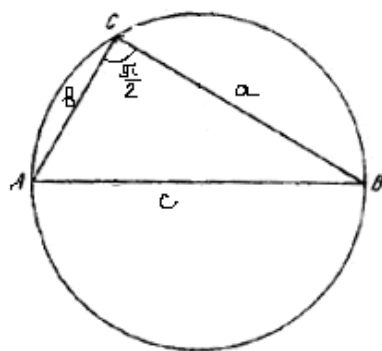


Рис. 2

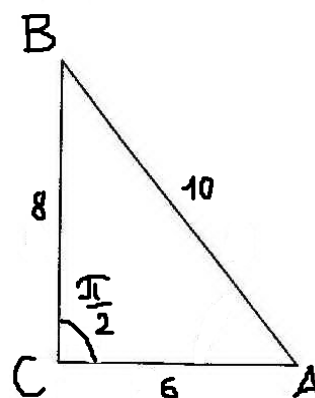


Рис. 3

Точность вынесенного прямого угла (его построения) могла вполне соответствовать точности измерений древнего времени ($10^{-2} - 10^{-4}$), особенно при возведении сложных сооружений, таких как египетские пирамиды, храмы, дворцы. Оба метода «циркульный» и «пифагоровых троек» использовались при «разбивке» сооружений и при межевании.

Интересно отметить, что геометрию древнего времени часто характеризовали как геометрию циркуля и линейки. Аналогично и геодезию

этого времени можно определять как геодезию мерной веревки, землемерного креста и ватерпаса, или точнее можно определить геодезию как науку о построении (измерении) прямых линий и прямых углов. Позднее, в Новое время, геодезия стала наукой о линейно-угловых измерениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тетерин Г.Н. Феномен и проблемы геодезии. - Новосибирск: СГГА, 2009. – 96с.
2. Тетерин Г.Н. История геодезии (до XXв.). - Новосибирск: Альянс Регион, 2008. – 300 с.
3. Тетерин Г.Н. Древние измерительные системы и два принципа влияния (ПВГ и П4Н) [Текст] / Тетерин Г.Н., Тетерина М.Л. // «ГЕО-Сибирь-2009» V Междунар. Выставка и науч. конгр. Т. 1, ч. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 123-124.
4. Тетерин Г.Н. Феномен прямого угла и прямоугольности в геодезии [Текст] / Тетерин Г.Н., Синянская М.Л. // «ГЕО-Сибирь-2010» VI Междунар. Выставка и науч. конгр. Т. 1, ч. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 48-51.

© Г.Н. Тетерин, М.Л. Синянская, 2011

УДК528.48:551

О.Г. Павловская, В.С. Хорошилов

Новосибирск, СГГА

МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ ОПОЛЗНЕВЫХ ЗОН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

В статье рассматривается методика выделения статистически однородных оползневых зон по результатам многолетних геодезических наблюдений за перемещениями оползневых склонов правого берега реки Ангары в зоне примыкания строящейся каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС.

O.G. Pavlovskaya, V.S. Khoroshilov

SSGA, Novosibirsk

TECHNIQUES FOR HOMOGENEOUS LANDSLIDES ZONES DETERMINATION BY THE RESULTS OF GEODETIC OBSERVATIONS

The paper deals with the techniques for homogeneous landslide zones determination by the results of the long-term geodetic observations of the Angara right bank slope displacement in the joining zone of Boguchan power project rockfill dam.

Особенности развития оползневых процессов определяются многочисленными факторами, основными из которых являются: геологическое строение и рельеф склона, гидрогеологические и климатические условия, тектонические движения, характер растительности, хозяйственная деятельность человека и ряд других. Однако, при изучении существующего оползневого процесса в зоне строительства Богучанской ГЭС, пришлось столкнуться с проблемой недостаточности информации не только о климатических и гидрогеологических факторах, влияющих на развитие оползней в период наблюдений, но и о времени и местах проведения взрывных работ, как основных техногенных воздействий на оползневые склоны [1]. Вследствие неполноты информации об оползневом процессе возникают определённые несоответствия разрабатываемых моделей и реального объекта, что вносит некоторый элемент неопределённости при прогнозировании.

В работе [2] на основании данных многолетних геодезических наблюдений представлены результаты раздельного формирования разнознаковых групп перемещений оползневого склона, отражающих различную природу реакции склона на взрывы и разгрузку; центрирование каждой из этих частей процесса с выделением плюсовой и минусовой трендовой составляющей.

Для дальнейшего выявления особенностей сложного развития оползневых процессов и возможности построения прогнозных математических моделей необходимо решить следующие задачи:

- Формирование по геодезическим данным статистически однородных групп перемещений оползневых масс;
- Выявление изменений в составах этих статистически однородных групп в различные периоды наблюдений, так как именно эти изменения позволяют судить об изменении силы и характера факторов, воздействующих на оползневой процесс.

Так как полученная исходная совокупность перемещений оползневого склона, как правило, является неоднородной, то ставится задача научно обоснованного установления границ между однородными частями данной совокупности. В качестве инструментария для формирования статистически однородных групп оползневых перемещений в нашем случае использовался параметр – коэффициент вариации V_x , характеризующий в относительной мере степень рассеивания значений исследуемого признака [3].

Допустим, имеется совокупность данных перемещений оползневого склона. Объём этой совокупности – n единиц; средняя арифметическая величина – $\bar{x}$; среднее квадратическое отклонение – $\sigma_{\bar{x}}$; коэффициент вариации – V_x . Статистические данные расположены в ранжированный ряд. Требуется определить объём их совокупности, включающей некоторые значения x_i , начиная с x_{min} или x_{max} . Обозначим объём этой совокупности данных через n_1 , его долю в объёме общей совокупности – k_1 , а статистические характеристики – $\bar{x}_1, \sigma_1, V_1$.

Один из вариантов решения вопроса при определении величины интервалов при формировании статистически однородных групп показан в работе [4]. В данной работе автор для определения интервалов при группировке принял следующие условия:

- Групповые средние должны существенно отличаться от общей средней;
- Выделяемая часть совокупности должна быть однородной в отношении рассматриваемого признака x_i ;
- Внутригрупповая дисперсия по выделяемой части совокупности не должна быть большой по своей величине;
- Внутригрупповые дисперсии в статистическом смысле должны быть примерно равны между собой, то есть при соответствующих степенях свободы дисперсии существенно не отличаются друг от друга.

По устанавливаемому пределу коэффициента вариации V_x определяется наиболее целесообразное число групп путём вычисления количества элементов, входящих в неё, и таким образом, исходная неоднородная совокупность разбивается на ряд однородных частей. Совокупность признаков считается однородной при $0,25 \leq V \leq 0,33$ [3].

Основные этапы формирования по геодезическим данным статистически однородных групп перемещений оползневых масс реализованы нами в следующей последовательности.

1. По значениям коэффициента вариации V_x и объёма n исходной совокупности определяется верхняя граница коэффициента вариации V_1 , значение которого согласно [4] вычисляется по формуле:

$$V_1 < \frac{V[n\sqrt{\alpha} - Vt\sqrt{n\alpha(1+0,5\alpha)}]}{n - V^2t^2(1+0,5\alpha)}, \quad (1)$$

где $\alpha = 1 - \left(\frac{\sqrt{n+4t^2} - \sqrt{n}}{2t} \right)^2$, $\beta' = V^2V_1^2t^2$ – промежуточные

коэффициенты, используемые для упрощения вида формулы (1);

t – коэффициент, соответствующий принятому уровню вероятности в различии средних, рассчитываемый по формуле:

$$t = \frac{|\bar{x} - \bar{x}_1|}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n} + \frac{\sigma_1^2}{n_1}}} > 3. \quad (2)$$

При этом величина коэффициента t согласно [3] должна быть $t \geq 3$; в наших расчётах принимаем $t = 4$, что обеспечивает вероятность равную 0,999.

Если вычисляемое по формуле (1) значение коэффициента вариации в группе $V_1 > 0,33$, то принимаем значение V_1 равным 0,33. Если $V_1 \leq 0,33$, то принимаем значение V_1 равным величине, не превышающей верхней границы (это может быть значение из полученного интервала (0,25; 0,32)).

2. Вычисляем значение величины k_1 (долю в объёме общей совокупности) в первой выделяемой группе согласно [4] по формуле:

$$k_1 = \frac{\alpha\beta'}{n(V_1 - V\sqrt{\alpha})^2 - \beta'}. \quad (3)$$

3. Определяем объём совокупности данных n_1 , представляющей первую группу:

$$n_1 = k_1n. \quad (4)$$

4. Для оставшейся части совокупности в количестве $(n - n_1)$ элементов определяем коэффициент вариации: если он больше 0,33, то повторяем операции с 1 по 3, пока не будет исчерпана первоначальная совокупность. Если полученная величина коэффициента вариации $V_1 \leq 0,33$, то образование однородных групп считаем законченным.

Перед началом исследований предварительно было выполнено группирование вычисленных ранее значений вертикальных перемещений наблюдаемых реперов на группы с отрицательными и положительными значениями, показывающими реакцию оползневого процесса в условиях проведения взрывных работ и последующую разгрузку оползневого склона. В

отдельную группу выделены реперы, для которых значение перемещений равны нулю.

Нормальность распределения всей исходной совокупности исследуемого оползневого процесса выполнялась приближенным методом с использованием критериев асимметрии и эксцесса [5]. Убедившись в нормальности распределения, осуществляем этапы (с 1 по 4) формирования по геодезическим данным статистически однородных групп перемещений оползневых масс. В каждой вновь образованной группе вычисляем статистические характеристики: среднее значение, стандарт, коэффициент вариации (табл. 1).

Таблица 1. Этапы вычисления статистических характеристик для первых двух выделяемых групп

	Этапы вычислений, i	
	1	2
сумма x	-51,00	-16,00
$\tilde{0}$	-3,643	-1,778
дисперсия	8,709	1,194
$\sigma_{\tilde{0}}$	2,951	1,093
V_x	0,81	0,61
n	14	6
t	4	4
α	0,595	0,520
$V_i <$	0,31	0,23
$V_{i, \text{пред}}$	0,25	0,21
β'	0,656	0,242
k_i	0,298	0,433
n_i	4	4

В табл. 2 представлены результаты формирования статистически однородных групп. По данным таблицы видно, что фактическая средняя величина в каждой группе близка к середине соответствующего интервала, а это возможно лишь при условии достаточной однородности данных частей совокупности. О том, что такая однородность достигнута, свидетельствуют фактические значения коэффициентов вариации, полученные в каждой группе. Средние арифметические величины по каждой группе существенно отличаются от общей средней.

Таблица 2. Результаты окончательной группировки статистически однородных групп

№ группы	№ реперов	$\bar{x}$	Середина интервала	σ_x	V	Число реперов
1	22, 21, 23, 24, 67	- 7,00	-7,00	2,000	- 0,29	5
2	69,68, 28, 61	- 2,75	-3,00	0,957	- 0,35	4
3	27, 29, 62, 64, 65	- 1,00	-1,00	-	-	5
4	25,26,30,35,36,37,63,66	0	0	-	-	8
5	38, 56, 32, 57, 31	1,60	1,50	0,548	0,34	5
6	39,60, 46, 47, 58, 59, 33, 40	4,75	4,50	1,165	0,25	8
7	43, 48, 49, 50, 51, 42, 41, 44, 52, 34, 53, 54, 45, 55	8,29	9,50	2,007	0,25	14

Результаты реализованной методики выделения статистически однородных групп в различные периоды наблюдений позволяют в дальнейшем выявить изменения в составах этих групп, так как именно по характеру этих изменений можно судить о вариации силы и характера факторов, воздействующих на оползневой процесс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев, Ю.П. Прогнозирование деформаций сооружений на основе результатов геодезических наблюдений [Текст] / Ю.П. Гуляев. – Новосибирск:СГГА, 2008. – 256 с.
2. Васильев, Е.А. О повышении эффективности геодезических исследований динамики оползневых склонов [Текст] / Е.А. Васильев, Ю.П. Гуляев, О.Г. Павловская // Геодезия и картография. – 2010. – № 9. – С .6-9
3. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений [Текст] / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин и др. – М.: Наука, 1969. – 512 с.
4. Сиськов, В.А. Об определении величин интервалов при группировках [Текст] / В.А. Сиськов // Вестник статистики. – 1971. – № 12. – С. 3-11.
5. Румшинский, Л.З. Элементы теории вероятностей [Текст] / Л.З. Румшинский. – М.: Наука, 1971. – 256 с.

© О.Г. Павловская, В.С. Хорошилов, 2011

УДК 528.48:625.1

В.Д. Астраханцев, И.И. Золотарев

СГГА, Новосибирск

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Обоснована возможность повышения эффективности геодезических работ, сокращения сроков их выполнения на основе автоматизации. Рассматриваются возможности использования спутниковых технологий для пространственного позиционирования объектов железнодорожного транспорта.

V.D. Astrakhansev, I.I. Zolotaryov

SSGA, Novosibirsk

CONTROL OF RAILWAYS GEOMETRIC PARAMETERS BY MODERN POSITIONING TECHNIQUES

The possibility of geodetic works efficiency increase and their execution period reduction due to automation is substantiated. Satellite technologies application is considered.

Динамичное развитие железнодорожного транспорта РФ предопределяет необходимость использования самых современных технологий по всем направлениям деятельности и всем технологическим процессам, включая безопасность движения, регулирование движения поездов, управление процессом перевозок. Полная компьютеризация предполагает создание комплексной системы интеллектуального железнодорожного транспорта. Базовым элементом системы является пространственное позиционирование объектов железнодорожного транспорта на основе использования спутниковых технологий.

На российских железных дорогах для определения геометрических параметров и пространственного положения рельсовой колеи применяют стандартные геодезические приборы, обеспечивающие инструментальную съемку пути, путеизмерительные вагоны ЦНИИ-2, ЦНИИ-4, КВЛП, путеизмерительные тележки и специальные средства измерения единичных геометрических параметров (уровни, шаблоны). Методика измерений и технические возможности аппаратуры по паспортным данным обеспечивают относительную точность измерений 3 мм +1 мм / км в плане и 4,5 мм + 1 мм / км по высоте.

Геодезическая съемка железнодорожных станций и перегонов выполняется в соответствии с методическими указаниями по составлению масштабных

планов железнодорожных станций № ЦПТ-54/26 и методическими указаниями по составлению продольных профилей станционных путей и перегонов № ЦПТ-54/27 от 17 декабря 2008 года. Контроль положения станционных путей выполняется один раз в десять лет, а для отдельных категорий путей – один раз в три года. За год в России выполняется геодезическая съемка более 600 станций средней протяженностью путей 20 км. Только на эти работы затраты ежегодно составляют более 800 млн. руб.

Повысить качество работ, их общую эффективность, многократно сократить сроки выполнения на основе автоматизации позволяет применение спутниковых технологий. Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS используются на железных дорогах РФ уже около 20 лет. Первым регламентирующим документом, определяющим применение приёмников радионавигационных сигналов (ПРНС) ГНСС на железнодорожном транспорте, является (1). С 2005 года ведется внедрение маневровой и горочной автоматических локомотивных сигнализаций (МАЛС/ГАЛС) с интегрированными средствами спутниковой навигации. Они позволяют осуществлять определение местоположения маневровых локомотивов на путях станции с погрешностью не более 1 м в местной системе координат.

В 2007 г. разработана «Концепция внедрения глобальных навигационных спутниковых систем (ГЛОНАСС, GPS, GALILEO) на железнодорожном транспорте». Решить все пространственные задачи, опираясь непосредственно на координатно-временные параметры, получаемые со спутников ГЛОНАСС/GPS, невозможно. Прямые спутниковые измерения позволяют получить точности определения местоположения порядка 15 м. Достичь необходимых точностных характеристик можно только с помощью корректирующих поправок, вырабатываемых с помощью дифференциальных глобальных навигационных спутниковых систем (ДГНСС). Такая система включает глобальные навигационные спутниковые системы, базовые наземные референсные станции (РС), оснащенные высокоточными спутниковыми приемниками и сетевой центр обработки спутниковой информации.

В настоящее время на российских железных дорогах в соответствии с распоряжением МПС России №С-493у от 27.04.98 г. создается специальная реперная сеть как составная часть реперной системы. По современной классификации реперные системы относятся к геодезическим сетям специального назначения, развиваемым согласно руководствам и техническим требованиям, разрабатываемым в Министерстве транспорта Российской Федерации, для решения задач железнодорожного транспорта. Реперная система состоит из дифференциальных глобальных навигационных спутниковых систем (ДГНСС), опорной (или каркасной) геодезической сети (ОГС) и рабочей сети (РС). Пункты рабочей сети (РС) закладываются обычно в опорах контактной сети.

ОАО «НИИАС» реализовало на Октябрьской железной дороге пилотный проект по внедрению спутниковых технологий и систем ДГНСС на опытном участке Москва – Клин. В соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» на опытном участке протяженностью 64 км был создан опытный образец

дифференциальной глобальной навигационной спутниковой системы (ДГНСС), учитывающий требования стандартов Европейской системы спутникового позиционирования (EUPOS). Опытная система включает в себя четыре постоянно действующие спутниковые референчные станции (РС), размещенные на Ленинградском вокзале, железнодорожных станциях Подсолнечная, Дмитров и Манихино, и соединенные в вычислительную сеть сбора и обработки данных. Система стоимостью порядка 16 млн. руб. обеспечивает пользователям точность определения координат 2-3 см в режиме реального времени и 2-3 мм в режиме «постобработки». Координаты самих референчных станций известны с точностью до 2-3 мм и постоянно обновляются. Таким образом, ДГНСС такого типа обеспечивают решение практически всех задач в области капитального строительства и путевого хозяйства, а также последующей эксплуатации железной дороги.

Еще одна, значительно большая сеть таких базовых наземных станций была создана на территории Новосибирской области. Научное обеспечение проекта создания сети выполнили ученые Сибирской государственной геодезической академии при поддержке Администрации Новосибирской области и при активном участии Новосибирского управления внутренних дел. Поскольку эта сеть построена на пространстве вдоль значительного участка Западно-Сибирской железной дороги, вполне целесообразно совместное использование сети в научных и практических целях. Научное сотрудничество может обеспечить совместную разработку таких проектов, как переход на железных дорогах от линейной системы координирования на единую пространственную систему координат, совершенствование технологии закрепления пунктов реперной сети, обеспечивающей их устойчивость и т.д.

Эффективное использование спутниковых систем и технологий на железнодорожном транспорте невозможно без надежного научного обеспечения как со стороны отраслевых НИИ, так и геодезических научных центров. На основе кооперации целесообразно создание некоторого центра по координации разработок в области спутниковых систем и технологий. Таким образом, могут быть открыты широкие перспективы по использованию спутниковых технологий не только на железнодорожном транспорте, в геодезии, но и во многих отраслях хозяйства и в сфере управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВСН 208-89 «Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог», Минтрансстрой СССР, М., 1990.

© В.Д. Астраханцев, И.И. Золотарев, 2011

УДК 528.236.3

К.Ф. Афонин

СГГА, Новосибирск

ТЕХНОЛОГИЯ РЕДУЦИРОВАНИЯ ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН НА ПЛОСКОСТЬ ДЛЯ РАСШИРЕННЫХ ЗОН ПРОЕКЦИИ ГАУССА – КРЮГЕРА

При использовании расширенных зон проекции Гаусса – Крюгера придется по-новому решать две старые задачи. Первая заключается в выборе формул вычисления поправок в измеренные величины, которые можно использовать для перехода с поверхности эллипсоида вращения на плоскость проекции, и обосновании технологии такого перехода. Вторая состоит в исследовании существующих формул связи двух систем координат (плоских прямоугольных Гаусса – Крюгера и геодезических), позволяющих решать задачи с заданными погрешностями, и выработки технологий этих преобразований. Данная статья посвящена решению первой задачи.

K.F. Afonin

SSGA, Novosibirsk

TECHNOLOGY OF REDUCING MEASURED VALUES ON THE PLANE FOR THE EXPANDED ZONES OF GAUSS – KRUGER PROJECTION

When using the expanded zones of Gauss – Kruger projection the two old problems have to be solved in a different way. The first problem is choosing the formulas for calculating the measured values corrections, which may be used for transition from the ellipsoid of rotation plane to that of the projection and for this transition technology substantiation. The second problem involves investigation of the existing formulas connecting the two coordinate systems (plane rectangular Gauss – Kruger coordinates and the geodetic ones), which permit solving the problems with the given corrections and developing these transformations technologies. The article presents the solution of the first problem.

В работе [2] была показана возможность и целесообразность использования зон произвольной ширины при вводе региональных и местных систем плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера. Предпосылкой к этому служит практически полная автоматизация работ по сбору и математической обработке измерительной информации. В идеальном случае на территории региона можно будет образовать только одну зону и тогда исчезнет необходимость в преобразовании координат Гаусса – Крюгера из одной зоны в другую.

Однако при использовании таких зон придется по-новому решать две старые задачи. Первая заключается в выборе формул вычисления поправок в измеренные величины, которые можно использовать для перехода с поверхности эллипсоида вращения на плоскость проекции, и обосновании технологии такого перехода. Вторая состоит в исследовании существующих формул связи двух систем координат (плоских прямоугольных Гаусса – Крюгера и геодезических), позволяющих решать задачи с заданными погрешностями, и выработки технологий этих преобразований. Данная статья посвящена решению первой задачи.

Наиболее полные формулы для редуцирования измеренных величин на плоскость проекции Гаусса – Крюгера приведены в учебнике [1]. Для редуцирования расстояний с поверхности эллипсоида на плоскость автором [1] рекомендована формула

$$S_{12} = s_{12} \left(1 + \frac{y_{cp}^2}{2R^2} + \frac{\Delta y_{12}^2}{24R^2} + \frac{y_{cp}^4}{24R^4} + \frac{y_{cp}^6}{720R^6} \right), \quad (1)$$

где s_{12}, S_{12} – расстояния на поверхности эллипсоида вращения и на плоскости соответственно;

R – средний радиус кривизны, который можно вычислить с помощью известных соотношений [1], например, через полярный радиус s , квадрат второго эксцентриситета e'^2 и геодезическую широту B .

Средняя ордината y_{cp} и разности координат $\Delta x_{12}, \Delta y_{12}$ двух точек должны вычисляться по их приближенным значениям.

В учебнике [1] приведена следующая формула поправки δ_{12} за кривизну изображения геодезической линии 1-2 на плоскости

$$\delta_{12} = -f \Delta x_{12} \left(y_{cp} - \frac{\Delta y_{12}}{6} - \frac{y_{cp}^3}{3R^2} \right) - \frac{\rho e'^2 \sin 2B y_{cp}^2 \Delta y_{12}}{2R^3}, \quad (2)$$

в которой

$$f = \frac{\rho}{2R^2}. \quad (3)$$

Для исследования влияния различных членов формул (1), (2) на величины полных поправок представим эти формулы в виде

$$S_{12} = s_{12} + \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4, \quad (4)$$

$$\delta_{12} = -\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \delta_4. \quad (5)$$

Слагаемые формул (4), (5) соответственно равны

$$\Delta S_1 = \frac{y_{cp}^2}{2R^2} s_{12}, \quad (6)$$

$$\Delta S_2 = \frac{\Delta y_{12}^2}{24R^2} s_{12}, \quad (7)$$

$$\Delta S_3 = \frac{y_{cp}^4}{24R^4} s_{12}, \quad (8)$$

$$\Delta S_4 = \frac{y_{cp}^6}{720R^6} s_{12}, \quad (9)$$

$$\delta_1 = f \Delta x_{12} y_{cp}, \quad (10)$$

$$\delta_2 = \frac{f\Delta x_{12}\Delta y_{12}}{6}, \quad (11)$$

$$\delta_3 = \frac{f\Delta x_{12}y_{cp}^3}{3R^2}, \quad (12)$$

$$\delta_4 = \frac{\rho e^{i^2} \sin 2B\Delta y_{12}y_{cp}^2}{2R^3}. \quad (13)$$

В таблице 1 приведены результаты вычисления поправок для зон разной ширины и расстояний в 10 км при широте 50°. Размеры зоны в 12° можно использовать в таких регионах, как Новосибирская и Вологодская области, Алтайский и Приморский края. Зоны шириной в 18° могут найти применение в Томской, Амурской, Читинской областях и Хабаровском крае. Зональный размер в 24° применим в Иркутской и Камчатской областях, а 30° зоны можно реализовать, например, в Архангельской и Тюменской областях.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. В результаты высокоточных и точных классических геодезических измерений необходимо вводить все поправки и вычислять их по формулам (1), (2) или (4)-(13);
2. В результаты геодезических измерений технического класса точности, а также при проложении тахеометрических ходов и выполнении съемки необходимо учитывать только поправки в измеренные расстояния;
3. При использовании зон шириной менее 24° и расстояниях до десяти километров поправку ΔS_4 можно не учитывать.

Таблица 1

Размер зон	12°	18°	24°	30°
B	50°	50°	50°	50°
$ y_{cp} $ (км)	430	645	860	1075
S_{12} (км)	10	10	10	10
ΔS_1 (м)	22	51	91	142
ΔS_2 (м)	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
ΔS_3 (м)	0,0086	0,0435	0,1376	0,3360
ΔS_4 (м)	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003
δ_1 (сек)	11	16	22	27
δ_2 (сек)	0,042	0,042	0,042	0,042
δ_3 (сек)	0,016	0,056	0,132	0,258
δ_4 (сек)	0,005	0,011	0,019	0,030

Однако для вычисления поправок (6)-(13) необходимо знать плоские прямоугольные координаты Гаусса-Крюгера, которые для определяемых пунктов не известны. Оценим погрешности, с которыми должны вычисляться приближенные координаты этих пунктов, по известным формулам высшей геодезии. Для редуцирования расстояний с поверхности эллипсоида вращения

на плоскость необходимо знать ординаты определяемых пунктов с погрешностями m_y , которые можно оценить по формуле

$$m_y = \frac{R^2}{y_{cp}} \left(\frac{m_{\Delta S}}{S} \right), \quad (14)$$

где $\frac{m_{\Delta S}}{S} = \frac{1}{2000000}$ допустимая относительная погрешность редуцирования.

Погрешности m_{xy} , с которыми нужно знать координаты определяемых пунктов для вычисления поправок δ в горизонтальные направления за кривизну изображения геодезической линии эллипсоида на плоскости, можно определить с помощью соотношения

$$m_{xy} = \frac{2R^2 m_{\delta}}{\rho y_{cp}}. \quad (15)$$

Здесь $m_{\delta} = 0,01''$ допустимая погрешность вычисления данной поправки.

Результаты расчетов по формулам (14), (15) для зон разной ширины приведены в таблице 2. С другой стороны не учет поправок в расстояния ΔS будет приводить к ошибкам Δx_{yS} в вычислении координат на величины порядка ΔS_1 . Не учет поправок в направления δ также будет приводить к погрешностям в вычисленных приближенных координатах на величины $\Delta x_{y\delta}$.

Таблица 2

Размер зон	12°	18°	24°	30°
$m_y(\text{м})$	47	31	23	18
$m_{xy}(\text{м})$	9	6	4	3
$\Delta x_{yS}(\text{м})$	22	51	91	142
$\Delta x_{y\delta}(\text{м})$	0,6	0,8	1,1	1,4

Таким образом, при редуцировании измеренных величин вблизи границ 12° зоны приближенные координаты определяемых пунктов необходимо вычислять с погрешностями порядка 9 метров. В 18°, 24°, 30° зонах эти погрешности составят 6, 4, 3 метра соответственно. Такой точности определения приближенных координат нельзя достичь без учета поправок в результаты измерений.

Поэтому технология решения редуccionной задачи в зонах указанной ширины, на наш взгляд, должна содержать пять этапов:

1. Вычисление грубых поправок ΔS_1 по известным координатам только исходных пунктов и введение их в результаты линейных измерений.

2. Вычисление грубых значений приближенных координат определяемых пунктов с использованием грубо редуцированных (линейных) и нередуцированных (угловых) измеренных величин.

3. Вычисление величин приближенных поправок и введение их в результаты измерений.

4. Вторичное вычисление приближенных координат определяемых пунктов с необходимыми погрешностями.

5. Вычисление окончательных поправок и введение их в результаты измерений.

Конечно, при расположении объекта вблизи осевых меридианов зон данная технология может упрощаться до стандартной технологии редуцирования, которая используется в настоящее время при производстве работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозов, В. П. Курс сфероидической геодезии. Учебник для вузов. Изд. 2, перераб. и доп. [Текст] / В.П. Морозов. - М.: Недра, 1979. - 296 с.
2. Афонин, К.Ф. О выборе размеров зон в проекции Гаусса-Крюгера [Текст] / К.Ф. Афонин // «ГЕО-Сибирь»: сб. науч. тр. V междунар. науч. конгр. – Новосибирск, 2009. – С. 155-159.

© К.Ф. Афонин, 2011

УДК 528.48:626

В.А. Скрипников, М.А. Скрипникова

СГГА, Новосибирск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМ ПЛАНОВОГО ОБОСНОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Рассматривается методика измерения горизонтальных смещений. Точность определения координат опорных пунктов предлагается повысить применением для измерений спутниковых геодезических приёмников и высокоточных электронных тахеометров.

V.A. Skripnikov, M.A. Skripnikova

SSGA, Novosibirsk

IMPROVEMENT OF HORIZONTAL CONTROL SCHEMES FOR DETERMINING HORIZONTAL DISPLACEMENTS OF HYDRAULIC STRUCTURES

The techniques for horizontal displacement measurement are considered. The accuracy of reference points position determination is suggested to be improved by means of satellite geodetic receivers and total stations.

В развитии предложений по изменению традиционных схем определения горизонтальных смещений гидротехнических сооружений, приведённых в [1] следует отметить следующее. Во-первых, при применении технологий ГНСС для определения планового положения опорных пунктов на гидротехнических сооружениях, если существует возможность закладки куста плановых знаков вокруг исходных пунктов, то необходимо использовать эту возможность. Поскольку существующая взаимная видимость между исходными пунктами даёт возможность контролировать масштабный коэффициент спутниковых измерений относительно наземных измерений. Кроме того, проверенная годами устойчивость исходных пунктов позволит им быть исходными в кусте пунктов и при измерении спутниковыми приёмниками. Координаты дополнительных пунктов, заложенных в кусте на расстояниях от 10 метров до нескольких десятков метров, могут быть определены проложением замкнутых линейно-угловых построений с применением высокоточных электронных тахеометров. Контроль устойчивости пунктов в кусте может быть без затруднений выполнен повторными измерениями. На рисунке 1 приведена примерная схема измерений на пунктах сети при определении координат опорных пунктов I и II, расположенных в местах, обеспечивающих наиболее благоприятные условия для спутниковых измерений. В данном случае рассматривается наиболее

неблагоприятный вариант, когда на ранее заложенных опорных пунктах створа невозможно выполнить качественные спутниковые измерения. Следует отметить, что конструкция пунктов I и II, при необходимости, может предусматривать возможность их демонтажа после выполнения измерений. Для получения максимально равной точности измерений рекомендуется выполнять измерения спутниковыми приёмниками на всех пунктах сети одновременно. С пунктов I и II передача координат на опорные пункты створа выполняется с применением высокоточных электронных тахеометров.

В данной схеме измерения погрешность определения координат опорных пунктов створа складывается из точности измерений спутниковыми приёмниками и точности измерений электронными тахеометрами. Рассмотрим первую составляющую. Паспортная точность спутниковых приёмников при измерении расстояний до 1 километра составляет 3-5 мм. Данная схема измерений позволяет, при одном сеансе наблюдений, выполнить девятикратное вычисление координат каждого из пунктов I и II из линейной или биполярной засечки с пунктов кустов А и Б. Повышение точности будет достигнуто за счёт осреднения инструментальных погрешностей приёмников и погрешностей из-за возможных небольших различий в топографии мест расположения исходных пунктов, влияющих на точность измерений.

Для повышения точности измерения отдельной базисной линии предлагается использовать приведённое в работе [2] предложение об определении чувствительности спутниковых приёмников при метрологической аттестации. Известно, что потенциально, наивысшей точностью обладает отдельное измерение, выполненное при максимально возможных благоприятных условиях или при учёте всех источников влияния на момент измерения. Поэтому при выполнении высокоточных спутниковых измерений для инженерно- геодезических задач, всегда стоит проблема, выполнять измерения при меньшем интервале времени, при наиболее благоприятных формальных условиях измерений (PDOP, количество высоких спутников и т.д.) или выполнить измерения при большем интервале времени, но менее благоприятных условиях, например, для того, чтобы обеспечить повторяемость результатов измерений. В данном случае для выбора интервалов времени для комплекта из двух приёмников, обеспечивающих минимальное различие в измеряемых длинах предлагается использовать на определяемых опорных пунктах центрировочный столик, позволяющий перемещать на заданную величину антенну приёмника. Выполнив несколько сдвигов между приёмами измерений, можно определить положения антенны, обеспечивающие максимально точное измерение приращение длины измеряемой линии.

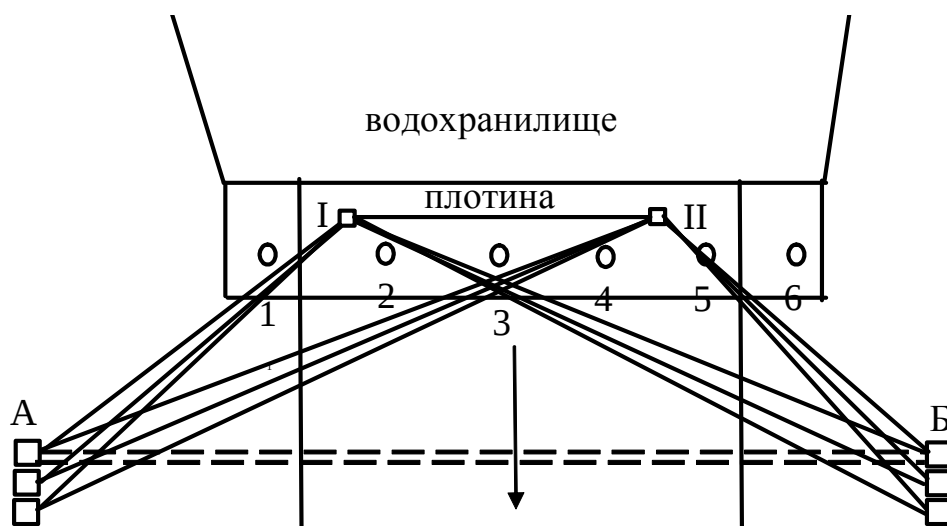


Рис. 1. Схема определения координат опорных пунктов

В дальнейшем, используя шкалу центрировочного столика, выставляем унифицированную подставку антенны в выбранное положение для установки тахеометра. Таких установок должно быть две, для контроля определения координат опорных пунктов.

Выполненные исследования показали, что расхождения в измерениях приращений длин для двух приёмников при измерениях по схеме – три приёмника на исходных пунктах и один перемещается на центрировочном столике, при расстоянии 500 метров, составили, в среднем, для разных пар приёмников, от 0,5 мм до 1,5мм. Такая методика позволит выбрать комплект из двух приёмников, обеспечивающий минимальные расхождения в измеряемых параметрах базисных линиях и исключить из вычислений длины линий в засечках, измеренные менее стабильно работающими приёмниками. Таким образом, точность измерения длин линий по предложенной схеме, оценённая по внутренней сходимости измеренных длин линий до 500 метров не будет превышать 1 мм.

Точность определения координат опорных пунктов, выполненных по методике, приведённой в [3], для определённого типа высокоточного тахеометра, даже при наличии существенной конвекции воздуха, не превысит, для расстояний в 30 метров до определяемых пунктов, 0,2 мм.

Исходя из вышеизложенного следует, что методика измерений горизонтальных смещений по схеме, предусматривающей заложение отдельных кустов исходных пунктов, может быть, после выполнения дополнительных исследований для определённых длин линий, применена на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скрипников, В.А. Скрипникова, М.А. К вопросу проектирования схем планового обоснования для определения горизонтальных смещений гидротехнических // ГЕО - Сибирь-2010.Т.1: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч.1:сб. матер. VI Междунар. науч. конгр. «ГЕО-

Сибирь-2010», 19-29 апр. 2010 г., Новосибирск.- Новосибирск: СГГА, 2010.- С. 60-62.

2. *Скрипников, В.А.* Особенности выполнения проверки спутниковых геодезических приёмников при выполнении инженерно-геодезических работ // Вестн. Сиб. гос. геодез. акад. / СГГА.- Новосибирск, 2000.- Вып. 5. - С. 19-24.

3. *Скрипникова, М.А.* Возможности применения автоматизированных высокоточных электронных тахеометров при измерении деформаций инженерных сооружений // ГЕО- Сибирь-2010.Т.1: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч.1:сб. матер. VI Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010», 19-29 апр. 2010 г., Новосибирск. - Новосибирск: СГГА, 2010. - С. 131-134.

© *В.А. Скрипников, М.А. Скрипникова, 2011*

УДК 528

Л.А. Зверев

СГГА, Новосибирск

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ НАКЛОННОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

В статье изложено практическое применение метода позиционирования (ГНСС - измерений) - по третьей компоненте вектора - и убедительно доказана состоятельность применения этого метода в место выполнения геометрического нивелирования IV класса.

L.A. Zverev

SSGA, Novosibirsk

COMPARATIVE ANALYSIS OF RELATIVE INCLINATION DETERMINATION RESULTS BY DIFFERENT METHODS

Practical application of positioning (GNSS-measurements) by the third vector component is presented. This method application instead of the fourth-order geometric leveling is substantiated.

Нивелирование - определение относительной наклонности между двумя объектами (реперы, пункты, точки) с известными высотными отметками (H). В общепринятом понимании разностью высотных отметок является превышение (h), которое вычисляют или, чаще всего, получают различными приборами и методами.

Различают нивелирование: геометрическое, тригонометрическое, гидростатическое, барометрическое и другие. Кроме того, в последнее время высотные отметки получают на основе современных и перспективных технологий, а именно, ГНС С - измерений. Метод позиционирования дает впечатляющие результаты геодезических измерений (x , y , z) и с самого рождения этого метода (80-е годы XX века) начались исследования на предмет точности получаемых результатов этих измерений. Большая армия инженеров и ученых (американских и советских), а так же современники этих исследований отмечают, что в последнее время точность данного метода достигла, (с повторяемыми измерениями) результатов относительной ошибки в $2 \cdot 10^{-8}$ - $5 \cdot 10^{-8}$ в плане, а вектор по высоте - в 1,5-2 раза ниже [5] из- за многочисленных факторов (гидрометеорологических, макроявлений природы и других непознанных человечеством факторов).

Это подтвердилось реальными работами на геодинамических полигонах в районе нефтегазоконденсатных месторождений в 2005 году [1] и [2], где проводился ряд основных работ по программам [3] и [4], а также [6], [7], [8]

(геометрическое нивелирование I, II, и IV классов, гравиметрические на пунктах каркасной сети и, конечно, ГНС С-измерения по всем реперам и пунктам, закрепленным на геодинимических полигонах).

Сравнительный анализ этих работ показал, что при максимальных расстояниях в 15 км (вектор от базовой станции до пунктов каркасной сети), допустимые значения измеренных векторов по высоте в полигонах составили – 16 мм (по внутренней сходимости $\pm(5+1 \cdot 10^{-6}D)$ и с учетом повторных измерений). Для допустимых значений и с учетом исследований необходимо эти значения увеличить в 2-3 раза, тогда получим $16 \text{ мм} \cdot 2,5 = 40 \text{ мм}$. Данная точность измерений по высоте соответствует (при максимальном расстоянии-векторе -15 км) III классу геометрического нивелирования.

Поэтому, при дальнейших мониторинговых исследованиях на геодинимических полигонах можно уверенно применять ГНСС - измерения, вместо геометрического нивелирования IV класса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Научно-технический отчет по результатам 1-го цикла геодезических и гравиметрических работ на Спорышевском геодинимическом полигоне». Договор №1705 от 24.10.05; НИС СГГА. Новосибирск 2005 г.
2. «Научно-технический отчет по результатам 1-го цикла геодезических и гравиметрических работ на Западно-Сутарминском геодинимическом полигоне» - договор № 1706 от 24.10.05; НИС СГГА.Новосибирск 2005.
3. Инструкция по нивелированию I II III и IV классов. Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. М. Недра.1990.
4. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых сетей ГЛОНАСС/GPS. №84.пр. ГКИНП №01-211-03.
5. К.М. Антонович. «Развитие методов съемки GPS и проблемы метрологического обеспечения» /текст/ Антонович К.М. Вестник СГГА. - вып.8- Новосибирск.2003. с. 54-59.
6. «Инструкция о построении государственной геодезической сети» М.; 1998(проект).
7. «Программа геодезических и гравиметрических работ по созданию Западно-Сутарминского геодинимического полигона». НИС, СГГА. Новосибирск.2005.
8. «Программа геодезических и гравиметрических работ по созданию Спорышевского геодинимического полигона. НИС СГГА. Новосибирск. 2005.

© Л.А. Зверев, 2011

УДК 528.645

Г.А. Гринь

ООО ПТФ «Возрождение», Сургут

П.П. Мурзинцев

СГГА, Новосибирск

О ПРИМЕНЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ СЪЕМКИ РЕЛЬЕФА ДНА И ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье рассматриваются достоинства и недостатки однолучевого и многолучевого эхолотов, гидролокатора бокового обзора особенности и рекомендации по их применению.

G.A. Grin

Public corporation Underwater technical firm «Vozrozhdeniye», Surgut

P.P. Murzintsev

SSGA, Novosibirsk

CURRENT TECHNOLOGIES APPLICATION FOR HIGH PRECISION SURVEY OF THE BOTTOM RELIEF AND UNDERWATER OBJECTS

Advantages and disadvantages of a single-beam and multi-beam echo-sounders and side looking sonar, their features and application guidelines are considered.

Концепция развития отрасли геодезии и картографии до 2020 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 декабря 2010 г. № 2378-р, направленная на коренную модернизацию системы геодезического обеспечения Российской Федерации, предусматривает коренные изменения, во всех отраслях геодезической и картографической деятельности.

Отечественные морская геодезия и гидрография так же должны быть модернизированы по различным направлениям. Например: «с целью создания морских пространственных данных Российской Федерации и обеспечения потребителей актуальной картографической информацией необходимо обеспечить морские зоны, находящиеся под юрисдикцией Российской Федерации, и акватории Мирового океана высокоточной съемкой рельефа дна с использованием современных технических средств», а также «создать базу батиметрических и других морских пространственных данных о морских зонах, находящихся под юрисдикцией Российской Федерации» [1].

К «современным техническим средствам для высокоточной съемки рельефа дна» на сегодняшний день можем отнести такие средства, как многолучевые эхолоты и батиметрические гидролокаторы.

Многолучевые эхолоты используют единый подход при определении глубин. Производится акустическое освещение некоторой полосы обзора,

ширина которой прямо пропорциональна глубине. Расчет глубин внутри полосы обзора выполняется на основе эхосигналов по наклонным лучам с известными углами приема. Время распространения акустического сигнала по каждому лучу пересчитывается в наклонную дальность, а затем с учетом угла луча и данных профиля скорости звука рассчитываются глубина и расстояние от центра антенны каждого пятна акустического контакта луча с поверхностью дна [2].

Многолучевая батиметрия получила новый импульс в своем развитии и распространении в конце прошлого века, с выходом в свет Стандарта Международной Гидрографической организации (МГО) на гидрографические съёмки (IHO Standards for Hydrographic Survey) – SP-44, 1998 г. [3].

В настоящее время многолучевые эхолоты все более активно внедряются в различные области морской геодезии и гидрографии, как высокоточный инструмент, позволяющий выполнять не только промеры глубин, но и служить эффективным средством для обследования подводных объектов.

Область применения многолучевого эхолотирования достаточно широка – от обследования подводных трубопроводов в местах пересечения ими относительно неглубоких рек, озер и водохранилищ до глубоководных съемок с целью определения границ континентального шельфа Российской Федерации [4]. В период 2010 года подобные работы в Арктике были выполнены на научно-экспедиционном судне «Академик Федоров», оснащенного глубоководным многолучевым эхолотом Kongsberg Simrad EM122.

Рассмотрим некоторые преимущества технологии использования многолучевого эхолотирования, которые выгодно отличают ее от традиционной технологии промеров, основанной на использовании однолучевого эхолота и гидролокатора бокового обзора.

Для работ, связанных с поиском и координированием различных подводных объектов, необходимых как для обеспечения безопасности плавания, так и для безопасной эксплуатации объектов подводной инфраструктуры, включая подводные трубопроводы, можно выделить два основных этапа работ:

- Поиск и обнаружение потенциально опасных объектов или объектов, требующих контроля.
- Измерение геометрических параметров обнаруженных объектов и прилегающей поверхности, с необходимым уровнем точности.

Типы искомых подводных объектов могут быть классифицированы по четырем типам:

- Точечные;
- Линейные;
- Площадные;
- Комбинированные.

На рисунке 1 приведены примеры четырех типов объектов, снимки получены многолучевыми эхолотами Kongsberg (Норвегия) и Reson (Дания).

Точечными объектами (а) являются расположенные вертикально мачты и вертикальные опоры инженерных конструкций небольшого диаметра, затопленные бревна, строительный мусор. Точечные объекты представляют собой частный случай площадных объектов.

Линейные объекты (б) представляют собой трубопроводы, кабели и шлейфы, линейно протяженные и расположенные горизонтально на поверхности дна.

Площадные объекты (в) представляют собой затопленные баржи, элементы техногенного рельефа и другие объекты, имеющие достаточно простые геометрические формы.

Комбинированные объекты (г) представляют собой сложные объекты, которыми являются затопленные суда и подводные части гидротехнических сооружений, включающие в себя комбинации типов перечисленных выше объектов.

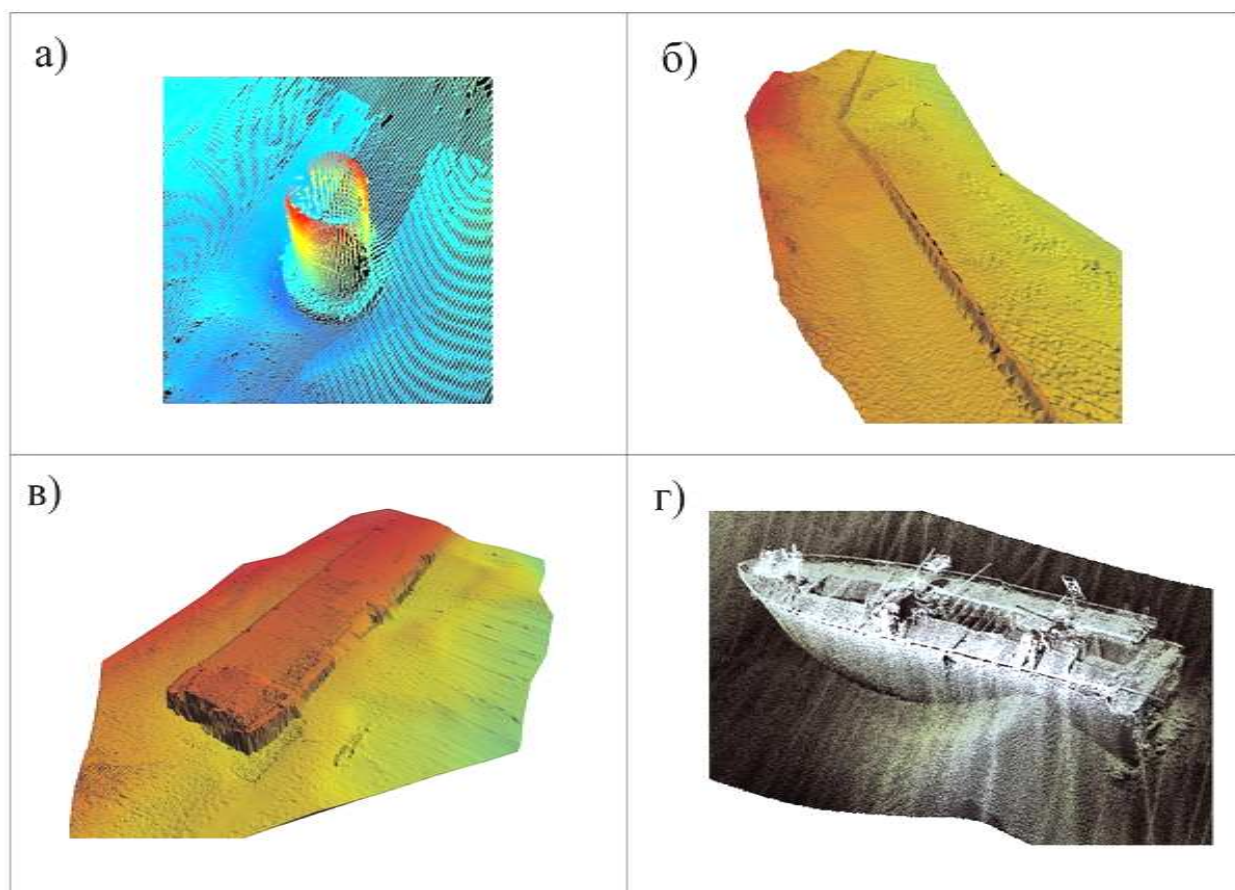


Рис. 1. Типы подводных объектов, подлежащих выявлению

Отметим, что раньше, задача поиска и обнаружения объектов на поверхности дна решалась с помощью гидролокаторов бокового обзора. В настоящее время, гидролокатор бокового обзора не утратил актуальности и продолжает оставаться надежным инструментом для поиска и обнаружения объектов, при условии относительно ровной поверхности дна. Но измерение геометрических параметров объектов гидролокатором бокового обзора возможно лишь частично, так как с помощью гидролокационного снимка

значение глубины определяется лишь приблизительно, и поэтому построение полной 3D модели объекта невозможно.

Отсюда, для измерения геометрических параметров обнаруженного гидролокатором объекта и прилегающей поверхности необходимо использовать эхолот.

Измерение геометрических параметров объектов точечного и комбинированного типа с помощью однолучевого эхолота не представляется возможным, в связи с вертикальной направленностью сигнала и низкой плотностью точек измерений.

Измерение геометрических параметров объектов площадного типа с помощью однолучевого эхолота теоретически возможно, при условии достаточно большого числа точек измерений на промерных галсах, расположенных над поверхностью объекта.

При измерении линейно протяженных объектов с использованием однолучевого эхолота, основным условием также является увеличение количества точек путем сгущения сетки съёмочных галсов. Одиночные галсы позволяют обеспечить надёжное обнаружение только для таких объектов, размеры которых соизмеримы с размерами междугалсового расстояния. Для подводных трубопроводов и прочих объектов поиска, имеющих протяженность менее, чем шаг междугалсового расстояния, вероятность их обнаружения оказывается крайне низкой.

Таким образом, технология, измерения геометрических параметров объектов, выполняемых при помощи однолучевого эхолота трудоемка, не эффективна и не применима для всех без исключения типов объектов.

Многолучевые эхолоты обладают способностью практически полного акустического освещения дна, что открывает возможности для более детального представления дна, чем это было возможно при использовании однолучевых эхолотов. Кроме того, с помощью многолучевых систем, возможно надежное обнаружение объектов на поверхности дна.

Отсюда, многолучевой эхолот является эффективным инструментом не только для поиска, но и для уверенного измерения геометрических параметров любых типов подводных объектов.

Что касается высокоточной съемки рельефа дна для задач обеспечения безопасности плавания, многолучевой эхолот, также более производителен, чем однолучевой эхолот, оставляющий на планшете «белые пятна», представляющие собой интервалы между промерными галсами, устранить неопределенность на которых, может только гидролокатор.

Батиметрические гидролокаторы (интерферометры) являются альтернативой многолучевым эхолотам, и настоящее время находятся в стадии интенсивного совершенствования. Преимущество в отношении многолучевых систем в более простой конструкции антенн и, соответственно меньшему весу и большей компактности устройств, что позволяет монтировать их на телеуправляемых подводных аппаратах и даже на надувных лодках. Кроме того, ширина полосы обзора батиметрических гидролокаторов достигает значения более 12 глубин, в отличие от ширины в 4 – 5 значений глубины у многолучевых

эхолотов, что дает интерферометрам ощутимое преимущество при русловых съемках. Но этим системам присущи недостатки обычных гидролокаторов бокового обзора, касающиеся работы на сложном, расчлененном рельефе дна [2].

Подводно-техническая фирма «Возрождение», г. Сургут, в числе первых отечественных компаний начала использовать многолучевой эхолот для геодезического контроля подводных объектов.

Для реализации поставленной задачи, комплекс на основе многолучевого эхолота был смонтирован на борту специально изготовленного малого промерного судна Селенга 620 (рисунок 2).



Рис. 2. Катер Селенга 620 с промерным комплексом на борту

Гидроакустическая антенна многолучевого эхолота Kongsberg Simrad EM3002 устанавливается в технологическую шахту, расположенную в центральной части корпуса.

В течении ряда лет фирмой «Возрождение» выполнялись работы по диагностике подводных переходов трубопроводов приборным комплексом на основе многолучевого эхолота Kongsberg Simrad EM3002 на объектах Сибири и Дальнего Востока, включая реки Обь, Иртыш, Тазовскую губу, пролив Невельского.

Использование многолучевого эхолота способствовало выявлению как крупных неисправностей в виде обнажений и провисаний трубопроводов, так и относительно небольших неисправных участков в диапазоне глубин от 5 до 25 метров [5].

В качестве примера на рисунке 3 представлен неисправный участок трубопровода на подводном переходе через Тазовскую губу. Длина неисправного участка составляет 5 метров, и он расположен на дне траншеи, глубина которой 7 метров. Выявление данного участка с помощью традиционной технологии, основанной на использовании однолучевого эхолота и гидролокатора бокового обзора, представляло значительные трудности.

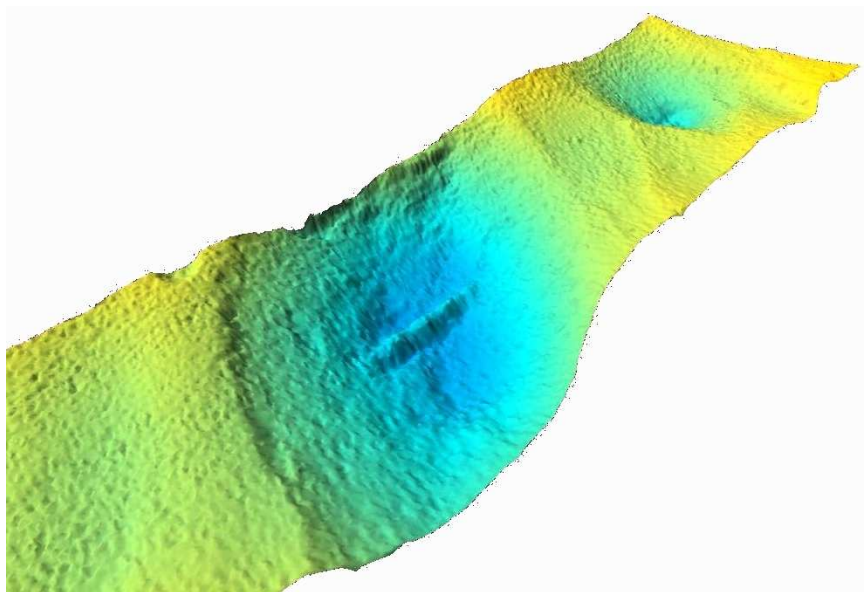


Рис. 3. Неисправный участок подводного перехода трубопровода

В заключении необходимо отметить, что в настоящее время, остро стоит вопрос о разработке отечественных методик и нормативных документов, отражающих инновационные решения в морской геодезии и геодезическому контролю инженерных сооружений, как на внутренних водоемах, так и в шельфовой зоне. В этих нормативных документах наряду с технологиями площадной съемки рельефа дна должны найти отражение и другие, актуальные в сегодняшнее время вопросы, которые включают в себя GNSS – технологии и методы, построения 3-D моделей подводных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распоряжение Правительства РФ от 17.12.2010 № 2378-р "Об утверждении концепции развития отрасли геодезии и картографии до 2020 года" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / <http://www.to86.rosreestr.ru/kartografia/normotekhnicheskie/>
2. Фирсов, Ю.Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров [Текст] / Ю.Г. Фирсов. – СПб.: Нестор-История, 2010. – 303 с.
3. IHO Standards for Hydrographic Survey. Special Publication SP-44, 4th Edition [Текст]. Monaco, 1998.
4. Фирсов, Ю.Г. К вопросу качества батиметрической съемки Северного Ледовитого океана в интересах определения внешней границы континентального шельфа России [Текст] / Ю. Г. Фирсов, В. Н. Баландин, И. В. Меньшиков // Геодезия и картография. – 2010. – N 2. – С. 28 – 33.
5. Гринь, Г.А. Методические решения и технологическая реализация комплексного геодезического контроля подводных переходов магистральных трубопроводов [Текст] / Г.А. Гринь. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Новосибирск, 2010. – 27 с.

УДК 528.22:551.24

В.И. Дударев

СГГА, Новосибирск

УРАВНИВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ

Рассматривается метод уравнивания геодезических сетей, использующий результаты относительных GPS-измерений. Подробно описывается процесс формирования системы уравнений поправок: матрицы коэффициентов и вектора правой части. Этот метод позволяет получать координаты неизвестных пунктов в системе координат начальных пунктов.

V.I. Dudarev

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

EQUALIZING OF GEODETIC NETWORKS BY RESULTS OF RELATIVE GPS-MEASUREMENTS

The method of equalizing of the geodetic networks, using results of relative GPS-measurements is considered. Process of formation of correction equations system is in detail described: matrixes of factors and vector of the right-hand part. This method allows to receive coordinates of unknown points in system of coordinates of initial points.

Определение координат наземных пунктов (НП) с использованием GPS-технологий может выполняться либо абсолютным, либо относительным методами. Первый метод по причине своей низкой точности применяется для решения задач навигационного класса. Второй метод обеспечивает высокие точности, поэтому применяется в задачах высокоточного определения пространственных координат как отдельных НП, так и пунктов геодезических сетей различного назначения.

При использовании абсолютного метода спутниковый приемник устанавливается на определяемом НП и выполняет синхронные GPS-измерения нескольких космических аппаратов (КА) (не менее четырех). В результате математической обработки этих измерений вычисляется радиус-вектор определяемого пункта $\mathbf{R}=[XYZ]^T$ в той общеземной системе координат (ОХУЗ), в которой задаются пространственные положения навигационных КА используемой на момент работы спутниковой радионавигационной системы (СРНС). В настоящее время для пространственно-временного обеспечения проводимых навигационных и топографо-геодезических работ наиболее активно используется СРНС NAVSTAR. Пространственное положение

спутников этой СРНС задается в общеземной системе координат WGS-84. Поэтому под общеземной системой далее будем понимать систему координат WGS-84.

Чтобы получить пространственные координаты НП (радиус-вектор $\mathbf{R}_\Gamma = [X_\Gamma Y_\Gamma Z_\Gamma]^T$) в некоторой референцной системе $(OXYZ)_\Gamma$ (обычно СК-42), необходимо выполнить известное матричное преобразование геоцентрического радиус-вектора $\mathbf{R}$ НП из общеземной системы координат в референцную

$$\mathbf{R}_\Gamma = (1 - k) \cdot \mathbf{R}^T(\omega) \cdot \mathbf{R} - d\mathbf{R}. \quad (1)$$

В этом преобразовании матрица $\mathbf{R}(\omega)$ малых поворотов координатных осей референцной системы координат является итогом последовательного перемножения трех матриц вращения и имеет вид [1, 2]

$$\mathbf{R}(\omega) = \mathbf{R}_3(\omega_Z) \cdot \mathbf{R}_2(\omega_Y) \cdot \mathbf{R}_1(\omega_X) = \begin{bmatrix} 1 & -\omega_Z & \omega_Y \\ \omega_Z & 1 & -\omega_X \\ -\omega_Y & \omega_X & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) обозначено: T – здесь и далее знак транспонирования; k - поправка к масштабу референцной системы координат; $\omega = [\omega_X \ \omega_Y \ \omega_Z]^T$ - трехмерный вектор-столбец малых углов поворота координатных осей референцной системы координат относительно осей общеземной системы; $d\mathbf{R} = [dX \ dY \ dZ]^T$ - трехмерный вектор-столбец смещения начала референцной системы координат относительно начала общеземной системы.

При использовании относительного метода один спутниковый приемник устанавливается на пункте с известными координатами (исходный или опорный пункт), второй – на определяемом пункте. При этом, как правило, пространственное положение исходного пункта задается (известно) в референцной системе координат. Во время рабочего сеанса приемники синхронно отслеживают несколько КА СРНС. В процессе математической обработки измеренных дальностей по линиям КА - НП определяется вектор-столбец $D\mathbf{R}_{i,i+1} = [DX \ DY \ DZ]_{i,i+1}^T$ ($i = 1, 2, \dots, n$ – число измерений) относительного положения (базовый вектор) определяемого НП к исходному НП в системе координат $(OXYZ)$. Если бы было известно пространственное положение $\mathbf{R}_i$ исходного НП в общеземной системе координат, то пространственное положение $\mathbf{R}_{i+1}$ определяемого НП в этой же системе можно было бы найти как

$$\mathbf{R}_{i+1} = \mathbf{R}_i + D\mathbf{R}_{i,i+1}. \quad (3)$$

Если будет известно пространственное положение $\mathbf{R}_{\Gamma i}$ исходного НП и вектор $D\mathbf{R}_{\Gamma i,i+1} = [DX \ DY \ DZ]_{\Gamma i,i+1}^T$ относительного положения наземных пунктов в референцной системе координат, то пространственное положение $\mathbf{R}_{\Gamma i+1}$ определяемого НП в этой же системе можно найти как

$$\mathbf{R}_{\Gamma i+1} = \mathbf{R}_{\Gamma i} + D\mathbf{R}_{\Gamma i,i+1}. \quad (4)$$

Применив матричное преобразование (1) при $k=0$, вектор $D\mathbf{R}_{\Gamma i,i+1}$ здесь может быть найден следующим образом [4]

$$D\mathbf{R}_{\Gamma i,i+1} = \mathbf{R}^T(\omega) \mathbf{C} \mathbf{R}_{i+1} - d\mathbf{R} - \mathbf{R}^T(\omega) \mathbf{C} \mathbf{R}_i + d\mathbf{R} = \mathbf{R}^T(\omega) \mathbf{C} (\mathbf{R}_{i+1} - \mathbf{R}_i). \quad (5)$$

Откуда

$$\Delta \mathbf{R}_{\Gamma i,i+1} = \mathbf{R}^T(\omega) \cdot \Delta \mathbf{R}_{i,i+1}. \quad (6)$$

Выполнив перемножение матрицы $\mathbf{R}^T(\omega)$ на вектор $\Delta \mathbf{R}_{i,i+1}$ в (6) и выделив при этом вектор ω , можно записать следующее матричное выражение [3, 4]

$$\Delta \mathbf{R}_{i,i+1} = \Delta \mathbf{R}_{\Gamma i,i+1} + \mathbf{D} \cdot \omega. \quad (7)$$

В нем матрица $\mathbf{D}$ составлена из координат вектора $\Delta \mathbf{R}$ и имеет вид

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & \Delta Z & -\Delta Y \\ -\Delta Z & 0 & \Delta X \\ \Delta Y & -\Delta X & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

С учетом (4) равенство (7) можно записать как

$$\Delta \mathbf{R}_{i,i+1} = \mathbf{D} \cdot \omega + \mathbf{R}_{\Gamma i+1} - \mathbf{R}_{\Gamma i}. \quad (9)$$

При формировании матрицы $\mathbf{D}$ следует учитывать направление вектора $\Delta \mathbf{R}$, оно должно совпадать с направлением вектора $\Delta \mathbf{R}_{\Gamma}$ из (4).

Выражение (9) является математической моделью измерений и может быть представлено в общем виде

$$\Delta \mathbf{R}_{i,i+1} = \Delta \mathbf{R}(\omega, \mathbf{R}_{\Gamma i}, \mathbf{R}_{\Gamma i+1}). \quad (10)$$

Разложим его правую часть в ряд Тейлора в малой окрестности априорных значений векторов ω , $\mathbf{R}_{\Gamma i}$ и $\mathbf{R}_{\Gamma i+1}$, ограничившись при этом первыми членами разложения. В итоге имеем

$$D\mathbf{R}_{i,i+1} = D\mathbf{R}(\omega', \mathbf{R}'_{\Gamma i}, \mathbf{R}'_{\Gamma i+1}) + \left. \frac{\partial D\mathbf{R}}{\partial \omega} \right|_{\substack{\omega=\omega' \\ \mathbf{R}_{\Gamma}=\mathbf{R}'_{\Gamma}}} \mathbf{C} \omega + \left. \frac{\partial D\mathbf{R}}{\partial \mathbf{R}_{\Gamma i}} \right|_{\substack{\omega=\omega' \\ \mathbf{R}_{\Gamma}=\mathbf{R}'_{\Gamma}}} \mathbf{C} \mathbf{R}_i + \left. \frac{\partial D\mathbf{R}}{\partial \mathbf{R}_{\Gamma i+1}} \right|_{\substack{\omega=\omega' \\ \mathbf{R}_{\Gamma}=\mathbf{R}'_{\Gamma}}} \mathbf{C} \mathbf{R}_{i+1}, \quad (11)$$

где ω' , $\mathbf{R}'_{\Gamma i}$ и $\mathbf{R}'_{\Gamma i+1}$ - априорные значения векторов ω , $\mathbf{R}_{\Gamma i}$ и $\mathbf{R}_{\Gamma i+1}$.

Величины $\delta \omega$, $\delta \mathbf{R}_i$ и $\delta \mathbf{R}_{i+1}$ являются поправками к априорным значениям векторов ω' , $\mathbf{R}'_{\Gamma i}$ и $\mathbf{R}'_{\Gamma i+1}$ и определяются как

$$\delta \omega = \omega - \omega', \quad \delta \mathbf{R}_i = \mathbf{R}_{\Gamma i} - \mathbf{R}'_{\Gamma i}, \quad \delta \mathbf{R}_{i+1} = \mathbf{R}_{\Gamma i+1} - \mathbf{R}'_{\Gamma i+1}. \quad (12)$$

Для нахождения частных производных в выражении (11) воспользуемся равенством (9). Можно записать

$$\frac{\partial D\mathbf{R}}{\partial \omega} = \mathbf{D}, \quad \frac{\partial D\mathbf{R}}{\partial \mathbf{R}_{\Gamma i}} = -\mathbf{E}, \quad \frac{\partial D\mathbf{R}}{\partial \mathbf{R}_{\Gamma i+1}} = \mathbf{E}, \quad (13)$$

где $\mathbf{E}$ – единичная матрица размерности 3×3 .

Подставив зависимости (13) в (11), получим

$$D\mathbf{R}_{i,i+1} = D\mathbf{R}(\omega', \mathbf{R}'_{\Gamma i}, \mathbf{R}'_{\Gamma i+1}) + \mathbf{D}' \mathbf{C} \omega - \mathbf{E} \mathbf{C} \mathbf{R}_i + \mathbf{E} \mathbf{C} \mathbf{R}_{i+1}. \quad (14)$$

Здесь матрица $\mathbf{D}'$ вычисляется с использованием априорных (приближенных) значений векторов $\Delta \mathbf{R}_{\Gamma}$ и ω' по формулам:

$$\mathbf{D}' = \begin{bmatrix} 0 & \Delta Z' & -\Delta Y' \\ -\Delta Z' & 0 & \Delta X' \\ \Delta Y' & -\Delta X' & 0 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$D\mathbf{R}'_{i,i+1} = D\mathbf{R}(\omega', \mathbf{R}'_{\Gamma i}, \mathbf{R}'_{\Gamma i+1}) = \mathbf{R}(\omega') \mathbf{C} D\mathbf{R}'_{\Gamma i,i+1}, \quad (16)$$

$$\mathbf{R}(\omega') = \begin{bmatrix} 1 & -\omega'_Z & \omega'_Y \\ \omega'_Z & 1 & -\omega'_X \\ -\omega'_Y & \omega'_X & 1 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

Теперь можно записать уравнение поправок для одного измерения

$$\mathbf{D}' \boldsymbol{\omega} - \mathbf{E} \boldsymbol{\Phi} \mathbf{R}_i + \mathbf{E} \boldsymbol{\Phi} \mathbf{R}_{i+1} = \mathbf{D} \mathbf{R}_{i,i+1}^0 - \mathbf{D} \mathbf{R}_{i,i+1}' + \mathbf{V}, \quad (18)$$

в котором $\mathbf{D} \mathbf{R}_{i,i+1}^0$ - трехмерный вектор-столбец результатов относительных GPS-измерений в общеземной системе координат (измеренный базовый вектор, проекции которого выбираются из протокола работы утилиты “Baselines” либо программного комплекса “GPSurvey”, либо “Trimble Geomatics Office” и т.п.); $\mathbf{D} \mathbf{R}_{i,i+1}'$ - трехмерный вектор-столбец (вычисленный базовый вектор), определяемый по формуле (16) с использованием приближенных значений векторов ω' и $\mathbf{D} \mathbf{R}_{i,i+1}'$; $\mathbf{V}$ - трехмерный вектор-столбец поправок к измеренному вектору $\mathbf{D} \mathbf{R}_{i,i+1}^0$. В уравнении поправок (18) матрицы $\mathbf{D}'$ и $\mathbf{E}$ будут матрицами коэффициентов, векторы $\delta \omega$, $\delta \mathbf{R}_i$ и $\delta \mathbf{R}_{i+1}$ - неизвестными поправками к приближенным (вычисленным) значениям векторов ω' , $\mathbf{R}_{Gi}'$ и $\mathbf{R}_{Gi+1}'$, а разность $\mathbf{D} \mathbf{R}_{i,i+1}^0 - \mathbf{D} \mathbf{R}_{i,i+1}'$ - вектором правой части.

Для n относительных GPS-измерений уравнение (18) образует систему линейных уравнений поправок

$$\begin{aligned} \mathbf{D}_1' \boldsymbol{\omega} - \mathbf{E} \boldsymbol{\Phi} \mathbf{R}_1 + \mathbf{E} \boldsymbol{\Phi} \mathbf{R}_2 &= \mathbf{D} \mathbf{R}_{1,2}^0 - \mathbf{D} \mathbf{R}_{1,2}' + \mathbf{V}_1, \\ \mathbf{D}_2' \boldsymbol{\omega} - \mathbf{E} \boldsymbol{\Phi} \mathbf{R}_2 + \mathbf{E} \boldsymbol{\Phi} \mathbf{R}_3 &= \mathbf{D} \mathbf{R}_{2,3}^0 - \mathbf{D} \mathbf{R}_{2,3}' + \mathbf{V}_2, \end{aligned} \quad (19)$$

.....

$$\mathbf{D}_n' \boldsymbol{\omega} - \mathbf{E} \boldsymbol{\Phi} \mathbf{R}_{p-1} + \mathbf{E} \boldsymbol{\Phi} \mathbf{R}_p = \mathbf{D} \mathbf{R}_n^0 - \mathbf{D} \mathbf{R}_n' + \mathbf{V}_n,$$

где p – число определяемых пунктов.

Систему уравнений поправок (19) можно представить в виде системы линейных алгебраических уравнений

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{X} = \mathbf{F} + \mathbf{V}. \quad (20)$$

В ней матрица коэффициентов $\mathbf{A}$ является блочной матрицей и в общем случае может быть записана как

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \mathbf{D}_1' & -\mathbf{E} & \mathbf{E} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{K} & & & & & \mathbf{E} \\ \mathbf{D}_2' & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{K} & & & & & \mathbf{E} \\ & \cdot & \cdot & \cdot & & \mathbf{E} \\ \mathbf{D}_n' & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & -\mathbf{E} & \mathbf{E} \\ \mathbf{K} & & & & & \mathbf{E} \end{pmatrix} \quad (21)$$

где $\mathbf{0}$ – нулевая 3×3 матрица; $\mathbf{E}$ – единичная 3×3 матрица.

Вектор-столбец неизвестных $\mathbf{X}$ в (20) составлен из поправок к приближенным значениям малых углов поворота ω' , координатам определяемых НП $\mathbf{R}_{Gi}'$, $\mathbf{R}_{Gi+1}'$ и имеет вид

$$\mathbf{X}^T = \begin{pmatrix} \delta \omega^T & \delta \mathbf{R}_1^T & \delta \mathbf{R}_2^T & \dots & \delta \mathbf{R}_{p-1}^T & \delta \mathbf{R}_p^T \end{pmatrix}. \quad (22)$$

Поправки к приближенным значениям малых углов поворота здесь выступают только в роли согласующих параметров. Вектор правой части $\mathbf{F}$ является вектором-столбцом размерности $3 \times n$ и определяется как разность измеренных базовых векторов $D\mathbf{R}_{i,i+1}^0$ и их вычисленных значений $\Delta\mathbf{R}_{i,i+1}'$

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} D\mathbf{R}_{1,2}^0 - D\mathbf{R}_{1,2}' \\ D\mathbf{R}_{2,3}^0 - D\mathbf{R}_{2,3}' \\ \dots \\ D\mathbf{R}_n^0 - D\mathbf{R}_n' \end{pmatrix} \quad (23)$$

Если за приближенные значения малых углов поворота принять нулевые значения $\omega' = 0$, то в (12) будет $\delta\omega = \omega$. Тогда вектор неизвестных (22) примет вид

$$\mathbf{X}^T = \begin{pmatrix} \omega^T & \delta\mathbf{R}_1^T & \delta\mathbf{R}_2^T & \dots & \delta\mathbf{R}_{p-1}^T & \delta\mathbf{R}_p^T \end{pmatrix} \quad (24)$$

Решение задачи, рассмотренное выше, можно выполнить иначе. Сначала определить малые углы поворота ω , а затем уже после решения системы уравнений поправок (19) – пространственные положения определяемых НП. При таком подходе данная система уравнений упрощается, так как из нее исключается вектор неизвестных $\delta\omega$. Чтобы найти вектор-столбец ω , нужно для m измеренных базовых векторов $D\mathbf{R}_j^0$ ($j = 1, 2, \dots, m$) между исходными пунктами сформировать на основании равенства (7) систему линейных уравнений [4]

$$\begin{aligned} D_1 \omega &= D\mathbf{R}_1^0 - D\mathbf{R}_{G1}, \\ &\dots \\ D_j \omega &= D\mathbf{R}_j^0 - D\mathbf{R}_{Gj}, \\ &\dots \\ D_m \omega &= D\mathbf{R}_m^0 - D\mathbf{R}_{Gm}. \end{aligned} \quad (25)$$

В ней базовые векторы $D\mathbf{R}_{Gj}$ вычисляются в референционной системе $(OXYZ)_G$ по известным пространственным положениям $\mathbf{R}_{Gj}$ этих же исходных пунктов. После решения системы уравнений (25) находятся углы малых поворотов ω .

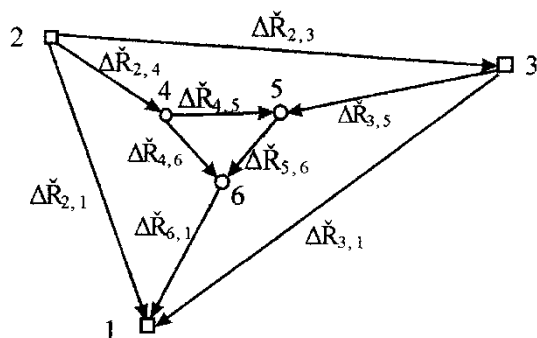
Для определения вектора ω в (25) можно применить один из двух приемов. Первый - измерить базовые векторы между опорными НП. Например, векторы $D\mathbf{R}_{2,1}^0$, $D\mathbf{R}_{2,3}^0$ и $D\mathbf{R}_{3,1}^0$ (см. рис.1). Но такой подход приводит к увеличению затрат на выполнение полевых работ. Второй - вместо непосредственно измеренных базовых векторов между опорными НП взять замыкающие векторы, полученные из суммы измеренных базовых векторов по векторным ходам, проложенными между опорными и определяемыми НП. Например, базовые векторы $D\mathbf{R}_{2,1}^0$, $D\mathbf{R}_{2,3}^0$ и $D\mathbf{R}_{3,1}^0$ (рис.1) могут быть найдены как

$$\begin{aligned} D\mathbf{R}_{2,1}^0 &= D\mathbf{R}_{2,4}^0 + D\mathbf{R}_{4,6}^0 + D\mathbf{R}_{6,1}^0, \\ D\mathbf{R}_{2,3}^0 &= D\mathbf{R}_{2,4}^0 + D\mathbf{R}_{4,5}^0 + D\mathbf{R}_{3,5}^0, \\ D\mathbf{R}_{3,1}^0 &= D\mathbf{R}_{3,5}^0 + D\mathbf{R}_{5,6}^0 + D\mathbf{R}_{6,1}^0. \end{aligned} \quad (26)$$

Следует иметь в виду, что в равенствах (26) алгебраическое сложение векторов нужно выполнять с учетом их направленности. На основе измеренных либо вычисленных (как замыкающие векторы) значений базовых векторов формируется система линейных уравнений (25). После ее решения находится вектор ω .

Представленный метод уравнивания дает высокие точности определения координат определяемых пунктов в геодезических сетях, создаваемых с использованием GPS-технологий. Он может применяться при развитии локальных и региональных геодезических сетей сгущения. Для достижения хороших результатов желательно, чтобы геодезические построения содержали в себе не менее 4 исходных НП [4]. Соблюдение этого условия приводит к тому, что система линейных уравнений (19) будет хорошо обусловлена и мало чувствительна к ошибкам исходных данных: к ошибкам координат исходных пунктов и результатов измерений [5].

Ниже в качестве примера на простой схеме геодезической сети (рис.1) рассмотрим последовательность формирования системы линейных уравнений поправок вида (19). Будем полагать, что в этой сети измерены базовые векторы $DR_{2,4}^0$, $DR_{3,5}^0$, $DR_{6,1}^0$, $DR_{4,5}^0$, $DR_{4,6}^0$ и $DR_{5,6}^0$.



□ — исходный НП; ○ — определяемый НП

Рис. 1. Схема геодезической сети

Для этой сети система линейных уравнений поправок будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 D_1' \omega + 0 \omega R_4 + 0 \omega R_5 - E \omega R_6 &= DR_{6,1}^0 - DR_{6,1}' + V_1, \\
 D_2' \omega + E \omega R_4 + 0 \omega R_5 + 0 \omega R_6 &= DR_{2,4}^0 - DR_{2,4}' + V_2, \\
 D_3' \omega + 0 \omega R_4 + E \omega R_5 + 0 \omega R_6 &= DR_{3,5}^0 - DR_{3,5}' + V_3, \\
 D_4' \omega - E \omega R_4 + E \omega R_5 + 0 \omega R_6 &= DR_{4,5}^0 - DR_{4,5}' + V_4, \\
 D_5' \omega + 0 \omega R_4 - E \omega R_5 + E \omega R_6 &= DR_{5,6}^0 - DR_{5,6}' + V_5, \\
 D_6' \omega - E \omega R_4 + 0 \omega R_5 + E \omega R_6 &= DR_{4,6}^0 - DR_{4,6}' + V_6.
 \end{aligned} \quad (27)$$

Приближенные значения измеренных значений базовых векторов для данной сети можно получить следующим образом. Сначала вычисляются приближенные значения пространственных координат определяемых НП (геоцентрические радиус-векторы $R'_{Г4}$, $R'_{Г5}$ и $R'_{Г6}$ в референцной системе) по

известным координатам опорных НП и измеренным значениям $D\mathbf{R}_{2,4}^0$, $D\mathbf{R}_{3,5}^0$ и $D\mathbf{R}_{6,1}^0$ базовых векторов (с учетом их направленности) по формулам

$$\mathbf{R}'_{\Gamma 4} = \mathbf{R}_{\Gamma 2} + D\mathbf{R}_{2,4}^0, \quad \mathbf{R}'_{\Gamma 5} = \mathbf{R}_{\Gamma 3} + D\mathbf{R}_{3,5}^0, \quad \mathbf{R}'_{\Gamma 6} = \mathbf{R}_{\Gamma 1} + D\mathbf{R}_{6,1}^0. \quad (28)$$

Затем при $\omega'=0$ вычисляются значения базовых векторов $D\mathbf{R}'_{i,i+1}$ как

$$D\mathbf{R}'_{6,1} = D\mathbf{R}_{6,1}^0, \quad D\mathbf{R}'_{3,5} = D\mathbf{R}_{3,5}^0, \quad D\mathbf{R}'_{2,4} = D\mathbf{R}_{2,4}^0, \quad (29)$$

$$D\mathbf{R}'_{4,5} = \mathbf{R}'_{\Gamma 5} - \mathbf{R}'_{\Gamma 4}, \quad D\mathbf{R}'_{4,6} = \mathbf{R}'_{\Gamma 6} - \mathbf{R}'_{\Gamma 4}, \quad D\mathbf{R}'_{5,6} = \mathbf{R}'_{\Gamma 6} - \mathbf{R}'_{\Gamma 5}.$$

Далее формируются матрицы $\mathbf{D}'_1, \dots, \mathbf{D}'_5, \mathbf{D}'_6$ как

$$\mathbf{D}'_1 = \begin{bmatrix} 0 & \Delta Z'_{6,1} & -\Delta Y'_{6,1} \\ -\Delta Z'_{6,1} & 0 & \Delta X'_{6,1} \\ \Delta Y'_{6,1} & -\Delta X'_{6,1} & 0 \end{bmatrix},$$

.....

$$\mathbf{D}'_5 = \begin{bmatrix} 0 & \Delta Z'_{5,6} & -\Delta Y'_{5,6} \\ -\Delta Z'_{5,6} & 0 & \Delta X'_{5,6} \\ \Delta Y'_{5,6} & -\Delta X'_{5,6} & 0 \end{bmatrix}, \quad (30)$$

$$\mathbf{D}'_6 = \begin{bmatrix} 0 & \Delta Z'_{4,6} & -\Delta Y'_{4,6} \\ -\Delta Z'_{4,6} & 0 & \Delta X'_{4,6} \\ \Delta Y'_{4,6} & -\Delta X'_{4,6} & 0 \end{bmatrix}.$$

После решения системы линейных уравнений (27) по формулам (12) находятся уточненные численные значения радиус-векторов $\mathbf{R}_{\Gamma i}$ определяемых НП, то есть

$$\mathbf{R}_{\Gamma 4} = \mathbf{R}'_{\Gamma 4} + \delta \mathbf{R}_4, \quad \mathbf{R}_{\Gamma 5} = \mathbf{R}'_{\Gamma 5} + \delta \mathbf{R}_5, \quad \mathbf{R}_{\Gamma 6} = \mathbf{R}'_{\Gamma 6} + \delta \mathbf{R}_6. \quad (31)$$

С целью уменьшения численных значений поправок $\mathbf{V}$ к измеренным значениям базовых векторов можно по формуле (6) измеренные базовые векторы $\Delta \tilde{\mathbf{R}}_{i,i+1}$ преобразовать из общеземной системы координат в референцную и получить базовые векторы $\Delta \tilde{\mathbf{R}}_{\Gamma i,i+1}$

$$D\mathbf{R}_{\Gamma i,i+1}^0 = \mathbf{R}^T(\omega) D\mathbf{R}_{i,i+1}^0. \quad (32)$$

Затем эти векторы использовать в формулах (18), (19), (21), (23) и (27 - 29) в качестве измеренных, то есть вместо векторов $D\mathbf{R}_{i,i+1}^0$. В этом случае необходимо предварительно определить вектор-столбец ω малых углов поворота координатных осей как это было сказано выше. Здесь следует иметь в виду, что определение вектора ω по трем исходным пунктам дает плохие результаты. Лучше решать эту задачу по четырем исходным НП [5].

В заключение следует отметить, что рассмотренный метод был реализован на основе параметрического способа уравнивания с учетом ошибок исходных данных [6] и хорошо зарекомендовал себя при проведении производственных и научно-исследовательских работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лунквист, К. Стандартная Земля [Текст] / К. Лунквист, Г. Вейс. - М.: Мир, 1969. - 277 с.
2. Czobor, A. Preliminary results of Finnish - Hungarian Doppler observation campaign [Текст] / A. Czobor, J. Adam, S. Mihaly, T. Vass // Publ. Astron. Inst. Czechosl. Acad. Scin. - 1984. - N 58. - P. 529 - 548.
3. Дементьев, Ю.В. К вопросу развития опорных геодезических сетей спутниковыми методами [Текст]/ Ю.В. Дементьев //46 научн.- техн. конф. преподавателей СГГА.- Тез. докл., ч.1. - Новосибирск, 15 - 18 апреля 1996 г. - 114 с.
4. Дударев, В.И. Планирование задач оценивания элементов ориентирования геодезических систем координат [Текст] / В.И. Дударев //Четвертый Сибирский конгресс по прикладной и индустриальной математике (ИНПРИМ-2000), посвященный памяти М.А. Лаврентьева (1900 - 1980): Сб. статей/СГГА. - Новосибирск, 2001.- С. 3 -11.
5. Дударев, В.И. Влияние ошибок расчета матрицы коэффициентов и вектора правой части на решение СЛАУ в некоторых задачах космической геодезии [Текст] / В.И. Дударев //Вестник Сибирской государственной геодезической академии/СГГА.- Вып.7. - Новосибирск, 2002. - с.21 - 25.
6. Маркузе, Ю.И. Алгоритмы для уравнивания геодезических сетей на ЭВМ [Текст] / Ю.И Маркузе. - М.: Недра, 1989. – 248 с.

© В.И. Дударев, 2011

ВЗАИМОСОГЛАСОВАННОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ЯДРА И ЛУНЫ

Неожиданным результатом выполненного нами анализа стало отсутствие лунных компонент гравитационного воздействия в спектрах естественных радиошумов Земли, сейсмичности и многих других геофизических полей. По нашей гипотезе пространственно временные вариации этих процессов обусловлены эксцентричным вращением ядра земли и ее оболочки. Создавалось впечатление, что ядро Земли не реагирует на гравитационное притяжение Луны.

Для объяснения такого парадокса в работе проведен тщательный анализ спектральных характеристик вышеуказанных временных рядов на участках, где следовало ожидать наличие лунных компонент. Оказалось, что во всех случаях процессы генерации импульсов радиошума и сейсмической активности на основных частотах гравитационного воздействия Луны подавлены каким-то дополнительным фактором. Процессы подавления гравитационного воздействия Луны носят глобальные масштабы и характерны для земли в целом.

Такое подавление возможно при наличии двух процессов, происходящих одновременно, но действующих в противофазе друг другу.

Если предположить, что такими взаимно компенсирующими процессами являются вращение ядра Земли и вращение Луны, то в этом случае ядро земли обязано отслеживать местоположение Луны за счет взаимосогласованного перемещения. Тогда притяжение к Луне в некоторой точке поверхности Земли может компенсироваться притяжением к ядру в результате его смещения относительно геометрического центра планеты. В работе приводятся результаты анализа временных рядов электромагнитного шума земли подтверждающие наличие взаимосогласованного перемещения Луны и внутреннего твердого ядра Земли. При этом ядро Земли в течение лунного месяца вращается в направлении обратном направлению вращения Луны.

Yu.P. Malyshkov, S.Yu. Malyshkov

Institute of Monitoring of Climate and Ecosystems,

Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Tomsk, Russia

INTERCONSISTENT MOVEMENT OF THE EARTH SOLID CORE AND THE MOON

Analysis carried out of spectra of natural radio noise of the Earth, seismicity and many other geophysical fields has shown that in these spectra there are no

components related to gravitational effect of the Moon. It seemed that Earth core does not react to Moon gravitation. According to our hypothesis, spatiotemporal variations of these fields are caused by eccentric rotation of the Earth core and its mantle.

To explain this phenomenon, we carried out thorough analysis of spectral characteristics of the above-mentioned series within those ranges where Moon components might be located. It is appeared that generation of radio noise and seismic activity were suppressed at frequencies of gravitational effect of the Moon. Suppression of gravitational effect of the Moon acts on the global scale and specific for the whole Earth.

Such suppression is possible, if two antiphase processes occur simultaneously.

We suppose that these two compensating processes are the Earth core and the Moon rotation. If so, Earth core should follow Moon position due to interconsistent movement. If this is the case, for some point on the Earth attraction to the Moon might be compensated by attraction to the Earth core resulting from its displacement relative to geometric center of the planet. In the paper we present results of analysis of time series of Earth electromagnetic noise, which confirm our hypothesis on interconsistent movement of the Moon and the Earth solid core. At that during lunar month the Earth core rotates opposite to the Moon rotation.

Сохраняется устойчивое мнение, что естественные импульсные электромагнитные поля Земли (ЕИЭМПЗ) в диапазоне очень низких частот преимущественно связаны с грозовыми атмосферными процессами. Считают, что импульсы поля возникают в момент электрического разряда молнии и приходит из точки разряда в точку наблюдения в волноводе земля-ионосфера. Такие импульсы обычно называют «атмосфериками». В любой точке земной поверхности регистрируются две составляющие ЕИЭМПЗ: шумовая и импульсная. Шумовую составляющую связывают с мелкими грозовыми разрядами и импульсами, многократно обошедшими вокруг Земли. Импульсную компоненту с более мощными грозовыми разрядами.

Мы отстаиваем совершенно другой механизм формирования ЕИЭИМПЗ. По нашим представлениям возмущения в земной коре и связанные с ними потоки электромагнитных импульсов вызваны эксцентричным вращением внутреннего твердого ядра, смещенного относительно геометрического центра планеты. Вращение земли и наличие смещенного ядра приводит к появлению зон повышенного и пониженного давления в расплаве жидкого ядра. Растяжение мантии и оболочки в момент прохождения над зоной повышенного давления расплава ослабит силы сцепления соседних плит, блоков и других структурных элементов коры. Усилятся процессы взаимного перемещения этих элементов, как за счет влияния самой зоны возмущения, так и за счет всегда существующих тектонических напряжений. Активизируются процессы механоэлектрических преобразований энергии в земной коре и генерация импульсов. При приближении зоны разряджения, элементы земной коры начнут втягиваться и сближаться. Уменьшится их относительная подвижность. Снизится интенсивность потока импульсов [1].

Неожиданным результатом спектрального анализа, представленного в [1], стало отсутствие лунных компонент гравитационного воздействия в спектрах ЕИЭМПЗ и сейсмичности. В работе [1] выявлены основные полосы спектральных характеристик ЕИЭМПЗ и сейсмической активности, полученные на основе анализа многолетних временных рядов. Отсутствие лунных компонент в спектральных характеристиках этих и многих других геофизических полей создавало впечатление, что ядро Земли не реагирует на гравитационное притяжение Луны.

Для объяснения такого парадокса проведен более тщательный анализ спектральных характеристик вышеуказанных временных рядов на участках, где следовало бы ожидать наличие лунных компонент. Рассмотрим спектральные характеристики ЕИЭМПЗ вблизи наиболее значимых суточных, и полусуточных компонент лунных приливов.

На рис. 1 приведены результаты расчетов спектров ЕИЭМПЗ вблизи полусуточных периодичностей лунных приливов. Штриховыми стрелками под рисунками и цифрами указаны лунные компоненты спектров, взятые из монографии Мельхиора [2]. Все значения амплитуды на рис. 1 и 2 уменьшены в 10^9 раз.

Мы видим, что все указанные Мельхиором (штриховые стрелки) полусуточные компоненты приливов луны расположились на нашем графике в областях с наиболее низкими значениями амплитудных значений спектральных характеристик ЕИЭМПЗ.

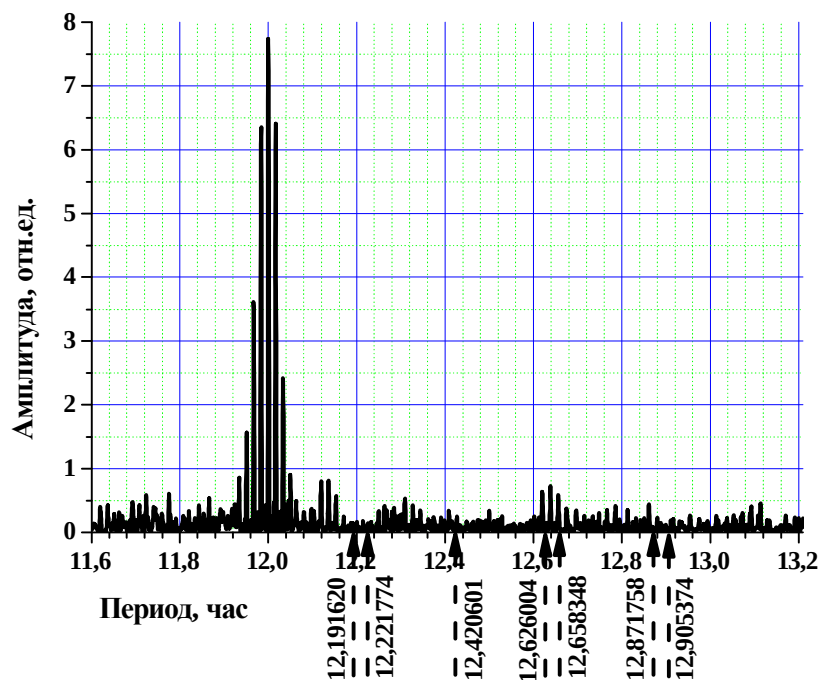


Рис. 1. Спектральные характеристики ЕИЭМПЗ в области расположения полусуточных компонент приливных волн Луны

Рассмотрим с максимально возможными для наших расчетов подробностями участки спектров ЕИЭМПЗ в областях, где казалось бы, должны обнаруживаться полосы, связанные с гравитационным воздействием Луны. Из рис. 2 видно, что все семь полусуточных компонент приливов Луны оказались

не просто на участках с малой амплитудой спектральных характеристик, а в глубоких провалах с минимальными значениями амплитуды.

Лунные компоненты расположились на графиках именно там, где на спектра ЕИЭМПЗ значения амплитуды значительно ниже даже достаточно низких окружающих значений. Налицо существования какого-то фактора, подавляющего гравитационное воздействие луны. Эти выводы убедительно подтверждаются и для других участков спектра, где, можно было ожидать проявление суточных, третьсуточных, долгопериодических компонент воздействия притяжения Луны.

Таким образом, все 15 наиболее значимых компонент приливного воздействия Луны, указанных Мельхиором, оказались в полученных нами спектрах в местах расположения предельно низких значений амплитуды спектров.

Представленные результаты анализа показывают, что процессы подавления гравитационного воздействия Луны носят глобальные масштабы и характерны, по-видимому, для земли в целом. Во всяком случае, для средних широт Северного полушария этот вывод выглядит достаточно убедительным.

В чем может заключаться причина такого явления?

Подавление воздействия Луны, на наш взгляд, возможно при наличии двух процессов, происходящих одновременно, но действующих в противофазе друг другу. При этом один процесс компенсирует воздействие другого процесса.

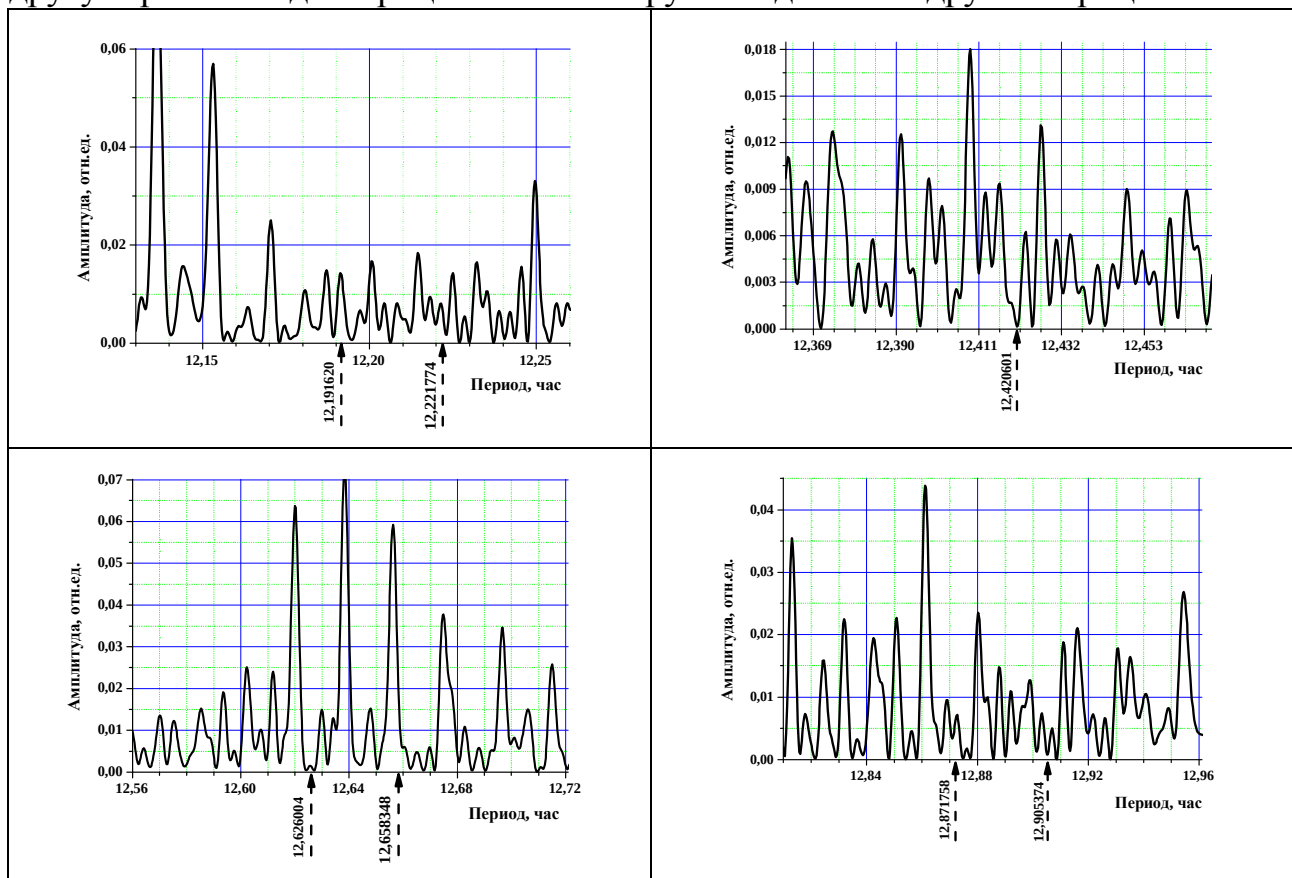


Рис. 2. Спектральные характеристики ЕИЭМПЗ в «окрестностях» полусуточных компонент приливных волн Луны

Если предположить, что такими взаимно компенсирующими процессами являются вращение ядра Земли и вращение Луны, то в этом случае ядро земли обязано отслеживать местоположение Луны за счет взаимосогласованного перемещения. Тогда притяжение к Луне в некоторой точке поверхности Земли может компенсироваться (частично или в значительной мере) притяжением к ядру в результате его смещения относительно геометрического центра планеты. Твердое ядро Земли в течение года, в этом случае, должно перемещаться не только по трассе показанной в работе [1] (на рис. 3 она показана пунктирной линией), но и двигаться вдоль этой трассы не прямолинейно, а по некоторой более сложной трассе, напоминающей спираль. Положение ядра на каждом витке такой спирали должно соответствовать положению Луны относительно планеты Земля, фазам Луны. При этом продолжительность каждого витка спирали движения ядра должна совпадать с продолжительностью лунного месяца.

Попытаемся отыскать признаки такой спирали по имеющимся в нашем распоряжении результатам натурных наблюдений характеристик ЕИЭМПЗ.

Обратимся к измерениям, выполненным в июне-июле 2010 г. вблизи пос. Богучаны Красноярского края. В этом эксперименте двадцать регистраторов «МГР-01» были относительно равномерно распределены по территории (40×80) км². В данном случае все антенны всех регистраторов были ориентированы для преимущественного приема сигналов в направлении север-юг. Так как каналы работают независимо друг от друга, то можно считать, что данный эксперимент был эквивалентен использованию сорока регистраторов ЕИЭМПЗ, расположенных в двадцати точках территории.

На рис. 3 показаны результаты этого эксперимента. В расчетах трассы движения ядра земли использованы показания 16 регистраторов, отработавших наибольшее количество дней. Показания регистраторов 01, 02, 04 и 10 не учитывались из-за перерывов в работе. Для расчета трассы находился средний суточный ход для пяти соседних суток. Так для нахождения точки за 12 июня

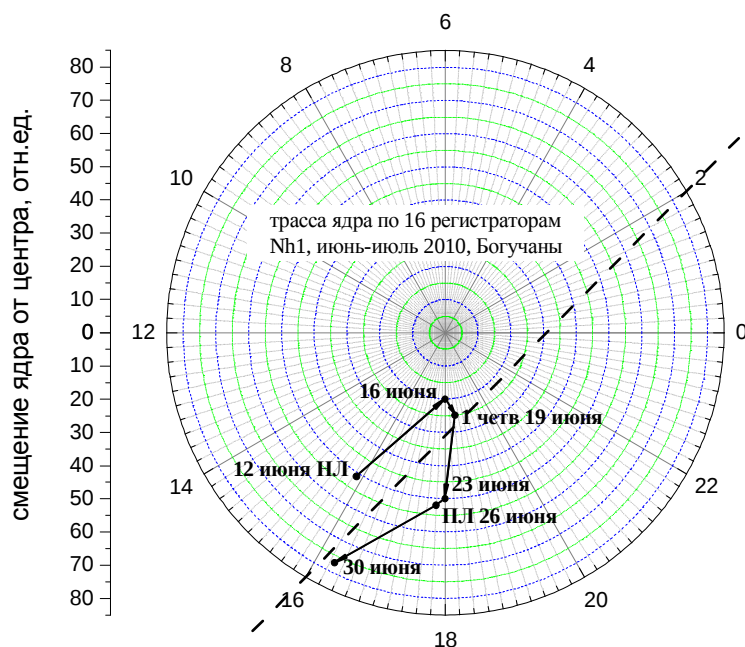


Рис. 3. Трасса перемещения ядра Земли, вычисленная на основании измерений ЕИЭМПЗ системой из 16 регистраторов в Красноярском крае (по каналам север-юг)

усреднялись суточные хода за 10, 11, 12, 13, 14 июня. Затем усредненный суточный ход строился в полярных координатах, нормировался по размерам и находился центр тяжести полученной фигуры, аналогично тому, как это было сделано в работе [1].

Мы видим перемещение ядра земли, по трассе напоминающей овал. Ядро, в отличие от луны, перемещается по часовой стрелке.

Рис. 3, а также другие аналогичные расчеты, выполненные для других территорий и других временных рядов, подтверждают наш вывод о вращении ядра в течение лунного месяца в направлении обратном направлению вращения Луны.

Мы понимаем, что этот весьма любопытный вывод требует дальнейшей дополнительной проверки. К сожалению, такая проверка трудоемка и требует длительных и кропотливых расчетов. Это дело будущего. Однако если он справедлив, становится понятным компенсация лунных компонент в спектрах ЕИЭМПЗ и многих других геофизических процессов. Взаимосогласованное вращение Луны и твердого ядра Земли в противоположных направлениях способно привести к подобному эффекту за счет взаимной компенсации друг друга двумя противофазными процессами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малышков, Ю.П. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли / Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков // Геология и геофизика. – 2009. – №2. – С. 152-172.
2. Мельхиор, П. Земные приливы / ред. А.М Парийский. – М.: Мир, 1968. – 482 с.

© Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков, 2011

УДК 550.3:551.1

Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

ГЛОБАЛЬНЫЙ ШИРОТНЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ВОЛН ЯДРА ЗЕМЛИ

Согласно разрабатываемой нами гипотезы, твердое внутренне ядро Земли сдвинуто относительно геометрического центра планеты. В этом случае, суточное вращение планеты приведет к тому, что твердое ядро окажется в потоке расплава жидкого ядра. Возникнет возмущение потока жидкости вблизи препятствия, создаваемого смещенным ядром. Линии тока жидкости вблизи ядра нарушатся. Возникнут зоны повышенного и пониженного давления. Выходя на поверхность земли, волны напряжений приведут в движение земную кору, и, как следствие, к повышению или понижению электромагнитного шума земной коры. Анализируя временные и пространственные вариации радиошума в различных точках Земли можно проследить за движением ядра и распространением волн напряжений.

Логично предположить, что наибольшие возмущения, создаваемые ядром, должны проявляться в непосредственной близости от препятствия (в нашем случае от внутреннего ядра Земли). Если считать, что ядро земли в любое время года находится вблизи плоскости эклиптики, то эффекты возмущения должны убывать по мере удаления на север и на юг от линии пересечения плоскости эклиптики с поверхностью Земли. Таким образом, следует ожидать уменьшение «размаха» внутрисуточных колебаний интенсивности радиошума, а так же запаздывание времени проявления характерных участков суточного хода по мере удаления точки наблюдения на север.

На основании статистического анализа многолетних наблюдений за вариациями радиошума показано существование предполагаемых выше широтных эффектов.

Yu.P. Malyshkov, S.Yu. Malyshkov

Institute of Monitoring of Climate and Ecosystems

Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Tomsk, Russia

GLOBAL LATITUDE EFFECT AT PROPAGATION OF THE EARTH CORE DEFORMATION WAVES

According to our hypothesis, solid core of the Earth is displaced relative to geometric center of the planet. In this case, diurnal planet rotation results in that the solid core will enter flow of the liquid core. A flow disturbance appears near the irregularity induced by the displaced solid core. Liquid flow strips broke. High-pressure and low-pressure zones appear. Going up to the Earth surface, deformation

waves will set in motion Earth crust and, as a consequence, will increase or decrease electromagnetic noise of the Earth crust. Analyzing spatiotemporal variations of radio noise at different points on the Earth, we can track the solid core motion and deformation waves' propagation.

It is obvious to assume, that the largest core-induced deformations should manifest themselves in the proximity of an irregularity (Earth solid core, in our case). If we suppose that at any time in a year the Earth core is near ecliptic plane, then deformations should decrease with moving off the intersection line between ecliptic plane and Earth surface. Thus, we could expect decrease of amplitude of diurnal variations of radio noise intensity with moving observation point to the north.

Statistical analysis of long-term observations of radio noise variations has shown that above-mentioned latitude effects do occur.

Согласно разрабатываемой нами гипотезы, твердое внутренне ядро Земли сдвинуто относительно геометрического центра планеты и находится в потоке расплава жидкого ядра. Линии тока жидкости вблизи препятствия в виде ядра нарушаются. Возникают зоны повышенного и пониженного давления, волны напряжений. Выходя на поверхность земли, волны напряжений перемещаются со скоростью суточного вращения земли, приводят в движение земную кору, и, как следствие, изменяют интенсивность электромагнитного шума земной коры с суточной периодичностью. Анализируя временные и пространственные вариации радишума в различных точках Земли можно проследить за движением ядра и распространением волн напряжений [1].

Если это так, то наибольшие возмущения, создаваемые ядром, должны проявляться в непосредственной близости от препятствия (в нашем случае от внутреннего ядра Земли) и будут убывать по мере удаления на север и на юг от линии пересечения плоскости эклиптики с поверхностью Земли. Таким образом, следует ожидать уменьшение «размаха» внутрисуточных колебаний интенсивности радишума, а так же запаздывание времени проявления характерных участков суточного хода по мере удаления точки наблюдения на север. Наличие в нашем распоряжении временных рядов наблюдений естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ), зарегистрированных в различных точках России, позволяет проверить существование подобных широтных эффектов, связанных с наличием смещенного ядра.

Обратимся к результатам, полученным в июле 2010 г. в шести регионах России. Для поиска широтных эффектов обработку будем осуществлять в следующей последовательности. Для всех регистраторов возьмем показания с 7 по 30 июня. Каждые отдельные сутки для каждого регистратора пронормируем на площадь под кривой, тем самым снизим разброс интенсивности для различных суток, приведем все сутки месяца к некоторому сопоставимому масштабу. Затем найдем некоторый средний для июня, нормированный суточный ход для данного регистратора (данного пункта наблюдения). Пронормированные и усредненные суточные хода, содержащие для каждого пункта наблюдения 1440 значений интенсивности ЕИЭМПЗ, сглаживали

скользящим окном шириной равной одному часу (60 значений). Сглаживание позволяло получать более удобные для сравнения зависимости. В то же время они достаточно точно отражали нюансы изменения интенсивности ЭИЭМПЗ в течение суток.

Так как амплитуда суточных колебаний ЕИЭМПЗ зависит от чувствительности станций и геофизических особенностей территории, то для выявления эффекта смещения суточных ходов в зависимости от широты точки наблюдения приводили все кривые к одинаковому масштабу. Для этого нормировали их еще раз, но уже на максимальные значения послеполуденного максимума суточного хода.

Полученные таким способом усредненные, сглаженные и пронормированные на максимум суточные хода ЕИЭМПЗ по каналу север-юг для шести пунктов наблюдения показаны на рис. 1, а. Название пунктов наблюдения указаны на рисунке, а также в табл. 1. Видна тенденция смещения суточного хода на более позднее время при возрастании широты пункта наблюдения.

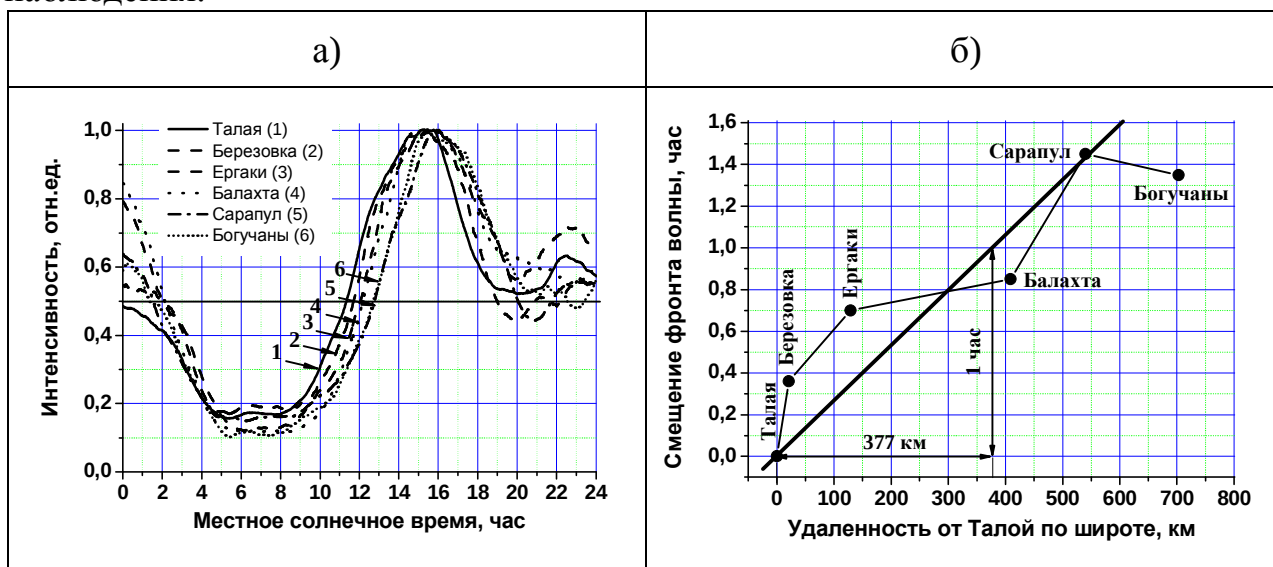


Рис. 1. Смещение переднего фронта послеполуденного максимума по мере смещения точек наблюдения на север; а) – усредненные и пронормированные суточные хода для июня 2010 г. в различных пунктах наблюдения; б) – смещение переднего фронта максимума суточного хода

Таблица 1. Исходные данные для расчета времени задержки фронта волны суточного хода в июне 2010 г.

Пункт измерения	Широта	Долгота	Смещение по широте, км	Задержка, час
Талая	51,68	103.64	0	0
Березовка	51,87	107.67	21	0,36
Ергаки	52,84	93,26	129	0,7
Балахта	55,36	91,1	409	0,85
Сарапул	56,53	53.79	540	1,45
Богучаны	58,03	96,96	703	1,35

Тенденцию к смещению кривых проще всего проследить по смещению переднего фронта послеполуденного максимума. Для этого проведем прямую линию, пересекающую все кривые на одной и той же высоте. Мы провели ее на рис. 1, а на уровне 0,5 от высоты максимума. Далее определялось время пересечения каждой кривой суточного хода с линией 0,5 и задержка суточных ходов по сравнению с суточным ходом самой южной регистратора в Талой (Прибайкалье). Полученные значения времени отставания переднего фронта послеполуденного максимума относительно регистратора в Талой представлены в таб. 1. Изменение времени задержки в зависимости от смещения регистраторов по широте показан на рис. 1, б.

Обратим внимание, что в табл. 1 и на рис. 1, б указаны не удаленность регистраторов друг от друга, а смещение по широте. Из рис. 1, б можно сделать вывод, что скорость распространения одной и той же фазы волны суточного хода на север составляет величину порядка 377 км/час. Эта оценка приближительна, так как при разбросе точек, какой мы видим на рис. 1, б, вряд ли имеет смысл производить более точные расчеты скорости.

При анализе формы суточных ходов ЕИЭМПЗ невольно складывается впечатление об их аналогии с волнами в жидкостях. Волны, создаваемые ядром, могут иметь нечто общее с «корабельными волнами» создаваемыми телом, движущимся по поверхности жидкости.

Отличительной особенностью корабельных волн, например, судна,двигающегося по морю, является характерное расположение гребней волн при наблюдении сверху (рис. 2). Наиболее характерно наличие двух лучей, двух линий волн, расходящихся от носа корабля в виде «усов» по обе стороны от корабля под некоторым углом к направлению движения судна (расходящаяся волна). Направление цуга расходящихся волн составляет угол $19,5^\circ$ (конус Кельвина) с направлением движения судна.

Величина этого угла постоянна, определяется соотношением фазовой и групповой скорости волн и не зависит от скорости и формы судна. Сзади за судном распространяется также система поперечных волн и турбулентный след.

В нашем случае станции регистрации ЕИЭМПЗ были достаточно далеко удалены от северного тропика. Даже самая южная станция Талая была удалена от северного тропика на 3000 км, что в два с половиной раза превышает радиус

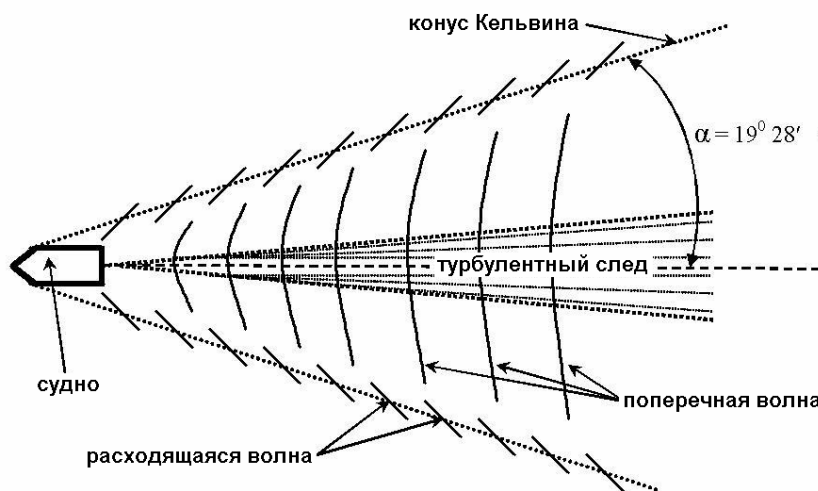


Рис. 2. Волны, создаваемые судном, движущимся по глубокой воде

твёрдого ядра земли. Поэтому на таком удалении могут, по-видимому, проявляться только поперечные и расходящиеся волны.

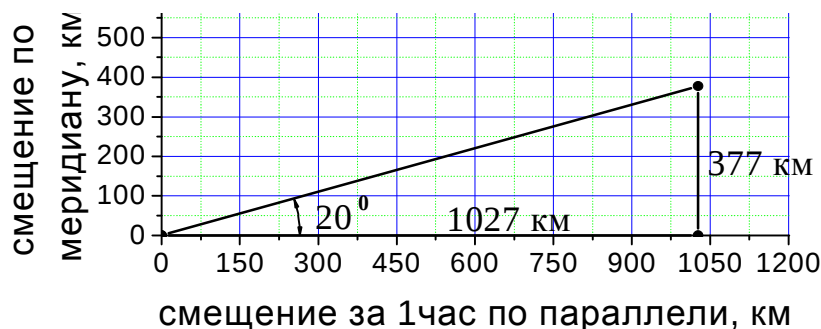


Рис. 3. Предполагаемый угол между лучом широтного распространения суточных волн ЕИЭМПЗ и трассой движения ядра земли

Зная задержку времени прихода волн в наши пункты наблюдения можно определить угол между предполагаемыми нами лучами расходящихся волн и направлением движения ядра.

Оценим этот угол, например, относительно станции

наблюдения в Талой по рис. 1, б.

Так как суточный ход повторяется ровно через сутки, то скорость перемещения суточной волны на широте Талой составляет 1/24 протяженности этой параллели и равен 1027 км. В то же время за один час наблюдений эта же волна смещается на север на 377 км (см. рис. 1, б). Следовательно, (рис. 3) угол между предполагаемым нами «северным» лучом распространения расходящихся волн и направлением движения ядра составляет 20° . Анализ результатов измерений, выполненных в июле 2010 г. показал также ожидаемые нами признаки снижения максимума суточных колебаний ЕИЭМПЗ по мере удаления точек наблюдения на север.

Аналогичные расчеты, выполненные нами для других временных интервалов и станций, расположенных в других точках России показали значения угла запаздывания волн 24° , 16° и 25° . Таким образом, найденные нами углы предполагаемых лучей волн, расходящихся сзади движущегося ядра земли, оказались достаточно близкими к значениям угла лучей, наблюдаемых для корабельных волн.

Случайно ли совпадение найденного нами угла с углом клина Кельвина? Является ли это следствием идентичности процессов, наблюдающихся в жидком расплаве с процессами движения тел в жидкостях?

Ответ на эти вопросы может быть получен только после более тщательных измерений характеристик ЕИЭМПЗ системой регистраторов, размещенных на достаточном удалении друг от друга, от крайних северных до крайних южных широт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малышков, Ю.П. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли/ Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков // Геология и геофизика. – 2009. – № 2. – С. 152-172.

© Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков, 2011

УДК 550.3:537.811

В.Ф. Гордеев, С.Ю. Малышков, В.И. Поливач, С.Г. Шталин

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТРАССАМ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ МЕТОДОМ РЕГИСТРАЦИИ РАДИОШУМОВ ЗЕМЛИ В ОНЧ ДИАПАЗОНЕ

В докладе представлены материалы площадных измерений параметров естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) вдоль магистральных газопроводов Северного Кавказа (Моздок-Казимагомед и Дзаурикау-Цхинвал) и в Пермском крае (ЧБС-1,2), общей протяженностью около 120 км. Выделены зоны с аномальными значениями параметров ЕИЭМПЗ, которые, подтверждены геофизическими исследованиями на предмет превышения деформаций земной поверхности.

Выделенные аномальные участки второй и третьей категорий опасности вынесены на картографическую основу, что является исходной информацией для проектирования участков мониторинга опасных геологических процессов (ОПГ) на трассах магистральных газопроводов.

V.F. Gordeev, S.Yu. Malyshkov, V.I. Polivach, S.G. Shtalin

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

ASSESSMENT OF ROCKS' DEFLECTION MODE ALONG GAS-MAIN PIPELINES USING METHOD OF RECORDING OF EARTH VLF NOISE

In the report we present results of the area measurements of parameters of natural pulsed electromagnetic field of the Earth (NPEFE) carried out along gas-main pipelines in Northern Caucasia (Mozdok–Kazimagomet and Dzaurikau–Tskhinval) and in Perm kray (ChBS-1,2). Total length of these gas-main pipelines is 120 km. Areas with anomalous NPEFE values have been determined. Our results were confirmed by geophysical researches aimed at definition of supernormal Earth surface deformations.

The anomalous areas of the second and the third danger classes have been mapped. These maps are initial information for designing sites for monitoring of hazardous geological conditions along gas-main pipelines.

Для решения задач геодинамической безопасности газотранспортных систем первостепенное значение имеет выбор и обоснование оперативного, достоверного и экономичного метода, технических средств, позволяющих изучать физические параметры и состояние горного массива в его естественном залегании, а также последствия техногенного воздействия на геосреду (карст, просадки, оползни и пр.).

В последнее время широкое практическое использование находят методы электромагнитного зондирования с помощью естественных источников – радиоволнового поля Земли – РПЗ (магнитотеллурическое зондирование). Эти поля применяются для краткосрочного прогноза геодинамических явлений. Задача применения метода регистрации РПЗ в геофизической разведке значительно усложняется наличием явно выраженного суточного хода. Причем несмотря на шумовой характер сигнала, в спектральных характеристиках РПЗ присутствуют шести-, восьми- часовые, полусуточные и суточные компоненты полугодовые и годовые периодичности [1]. Это создает дополнительные сложности при использовании метода.

При выполнении изысканий использован способ, когда на стадии регистрации и обработки полученной информации из регистрируемого потока импульсов удаляются импульсы атмосферного происхождения и импульсы, источники которых находятся за пределами интересующей территории. Выделение полезного сигнала от «посторонних» импульсов осуществляется несколькими способами:

- Использованием системы из нескольких разнесенных в пространстве маршрутных и стационарных регистраторов электромагнитных полей;
- Настройкой регистрирующих устройств на оптимальную чувствительность, тщательной регулировкой идентичности различных регистраторов;
- Сортировкой импульсов на импульсы от удаленных источников и импульсы «местного» происхождения.

Регистрируемый поток импульсов определяется пространственно-временными вариациями. В случае выполнения геофизических работ из зарегистрированного сигнала должны быть удалены временные вариации полей, все импульсы от удаленных источников и оставлены только пространственные вариации импульсов «местного» происхождения. Удаление временных вариаций полей и сортировку импульсов на импульсы местного и далекого происхождения осуществляли с помощью системы из нескольких синхронно работающих регистраторов РПЗ. Одни регистраторы являются неподвижными (реперными) и измеряют только временные вариации электромагнитных полей. С помощью других - маршрутных регистраторов, проводят измерения параметров импульсов, связанных как с временными, так и с пространственными вариациями РПЗ по профилям, пересекающим исследуемую территорию.

Такая методика позволяет получать хорошо воспроизводимые результаты профильных вариаций РПЗ, пригодные для геофизической разведки структурных и литологических неоднородностей земной коры и анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) горных пород. Точность выделения аномалий возрастает с увеличением числа используемых приборов. Эти различия в проявлении местных и удаленных источников поля положены в основу разработанной нами специализированной аппаратуры и методики измерений [2].

Далее приведены результаты полевых обследований некоторых трасс газопроводов Северного Кавказа и Пермского края.

Измерения пространственно – временных вариаций РПЗ с целью картирования активных геодинамических зон и их ранжирования по степени опасности производились по полке газопровода «с. Дзуарикау – г. Цхинвал», в местах крупных тектонических нарушений и оползней, выявленных по анализу инженерно-геологических материалов.

Профиль №3 захватывал участок 51-57 км газопровода (рис. 1.). На большей части профиля аномальные значения РПЗ. Первая положительная аномалия на 51,8 км приурочена к руслу ручья. Затем до 52,5 км геодинамически спокойный участок. Далее идет участок с чрезвычайно высокими значениями электромагнитных полей 52,5-53,5 км рис. 1, который сменяется резко отрицательной аномалией. Такая мозаичная структура поля говорит об активности оползня на этом участке газопровода. В месте резкой смены знака поля очень высокая вероятность схода оползня. На участке 56,5-58 км также существует вероятность развития оползневых процессов. Этот участок соответствует Нузальскому надвигу по данным, найденным в геологических фондах.

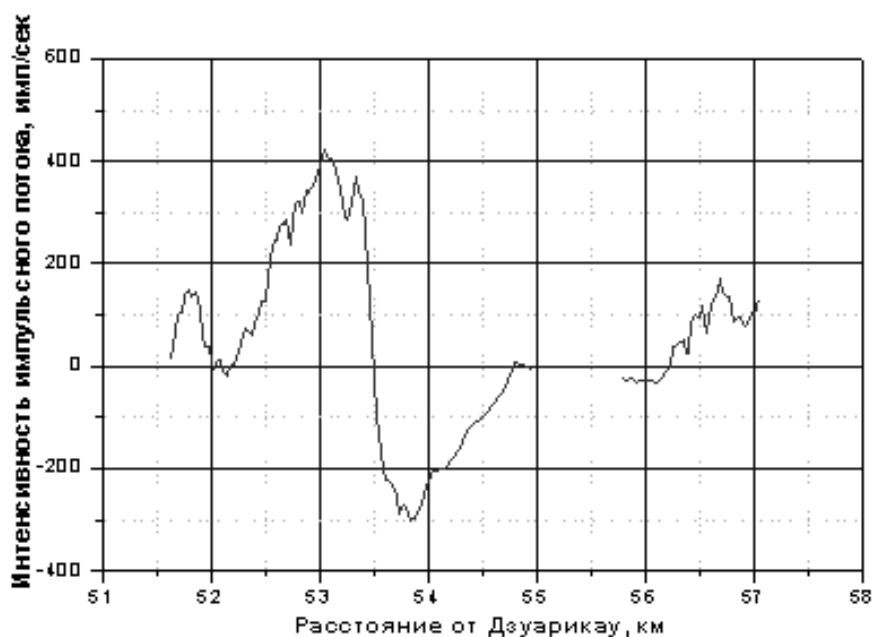


Рис. 1. Изменение интенсивности РПЗ вдоль профиля № 3

В итоге исследований трассы газопровода «Дзуарикау-Цхинвал» с применением методов РПЗ получены следующие результаты:

– Почти на всех участках, на которых проводились измерения, уровни РПЗ отличались от фоновых значений, зарегистрированных реперными станциями в месте удаленном от геотектонических нарушений и не затронутом оползневыми процессами. Это свидетельствует о сложном НДС грунтов в местах, выбранных для профилирования. Выявленные нами экстремумы РПЗ в большинстве случаев хорошо согласуются с геологическими разломами

различной кинематики, дешифрованными ранее, и данными настоящего морфоструктурного обследования.

– Наиболее опасным и требующим срочных мероприятий по организации мониторинга НДС грунтов по данным интерпретации результатов проведенных исследований является участок на 53,5 км. На этом участке зона растяжения резко сменяется зоной сжатия, что свидетельствует об активности оползня.

Проведена работа по организации пункта мониторинга геодинамических процессов грунтов в районе 607 км магистрального газопровода «Моздок-Казимагомед». Трасса газопровода проходит по склону юго-восточного направления. На отметке 607,3 км произошел отрыв горной массы, за счет активизации оползня, при этом образовался провал. По видимому, подземные воды активизировали оползневой процесс в непосредственной близости от магистрального газопровода. Газовая труба стала сдерживающим элементом грунтовых масс, что недопустимо с точки зрения безопасности эксплуатации газопровода.

Для выбора места установки пункта постоянного мониторинга напряженно-деформированного состояния грунтов, были проведены маршрутные вдоль газопровода от 607 км до 607,52 км включая провал оползня.

Маршрут был пройден дважды, результаты статистической обработки позволил получить диаграмму распределения напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтов по площади (рис. 2).

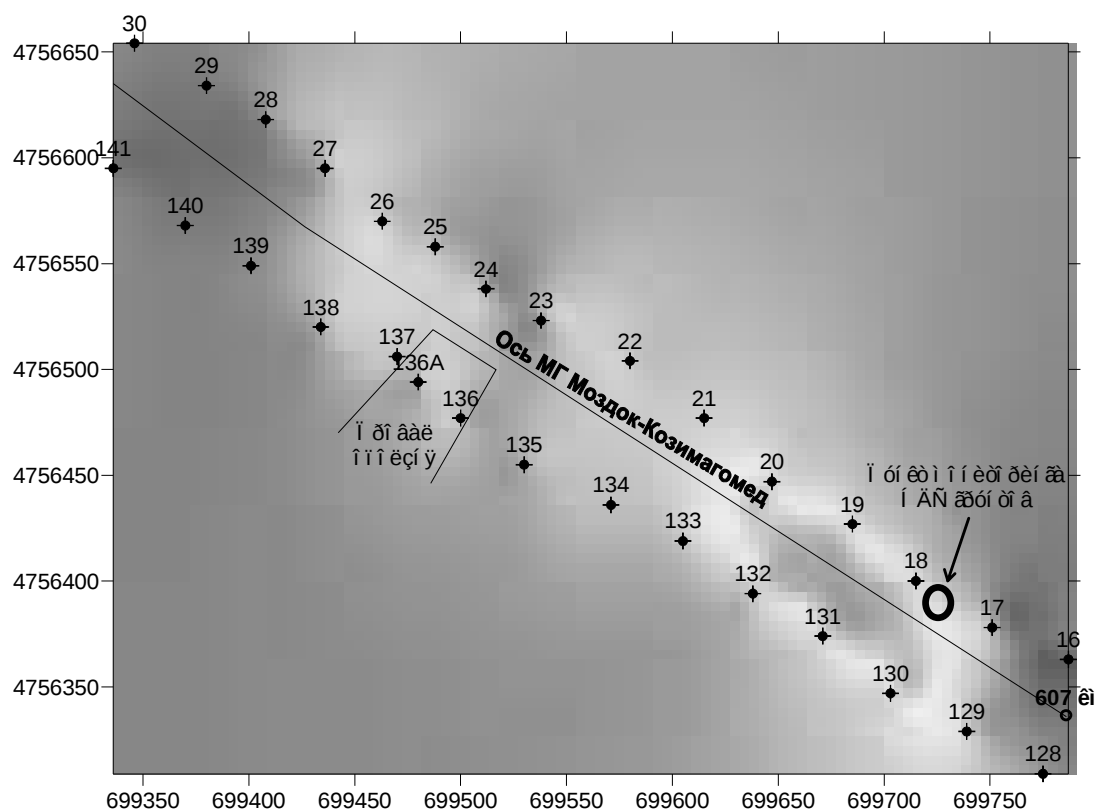


Рис. 2. Диаграмма распределения НДС грунта по трассе газопровода

На диаграмме точками обозначены пикеты измерений. Цветовая гамма определяет величину и знак НДС грунта. Из рис. 2 видно, что в районе 607 км

зона сжатия и это подтверждается рельефом местности (лог). От 607,08 км 100 м – аномальная зона растяжения. В районе провала оползня напряжения релаксировались ниже газопровода, однако выше трубы (пикеты 23-24) проявляется зона сжатия, что свидетельствует о сдерживании грунта трубой.

На наш взгляд самым опасным местом на данном участке трассы газопровода является зона длиной в 100 м от 607,08 км. Решено устанавливать пункт мониторинга НДС грунта в районе пикета 18.

В областях рудно-добывающей промышленности большие массивы на поверхности Земли оказываются над подработанными территориями, которые в любой момент могут не выдержать техногенных нагрузок и оказаться в эпицентре провалов. Одной из таких территорий является северный Урал, в районе городов Березники и Соликамск, где на протяжении многих лет добывается калийная соль и большие территории, включая города и промышленные предприятия, в настоящее время находятся над подработанными участками Земли.

В 2009 года, были проведены площадные измерения по трассе магистрального газопровода ЧБС пространственных вариаций ЕИЭМПЗ, с целью выделения мест с аномальными параметрами НДС грунтов и обоснованием структуры комплекса по мониторингу территорий, который бы обеспечил безаварийную работу газовых коммуникаций.

Проведя анализ всех измерений, нам удалось выделить зоны геодинамических аномалий и привязать их на местности, результаты представлены на рис. 3, черным цветом отмечены особо опасные области, серым – промежуточные.

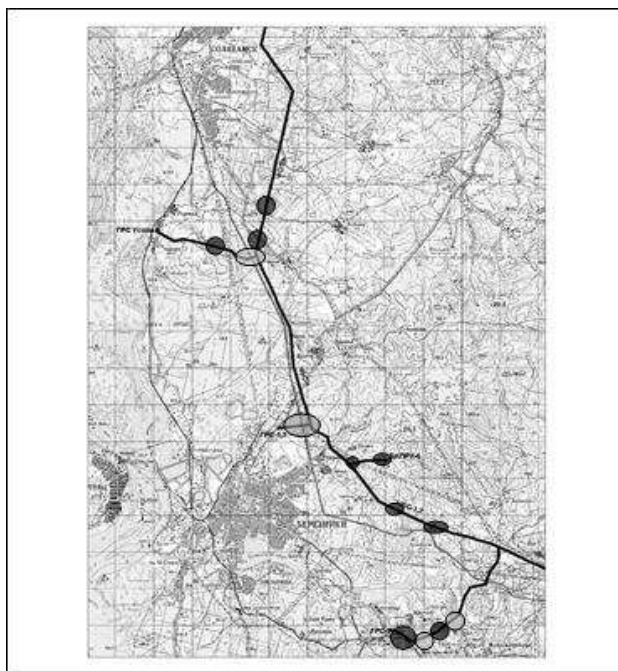


Рис. 3. Результаты структурного геодинамического картирования районов подрабатываемых территорий газопроводов ЧБС-1, 2

Как показано в наших работах характеристики ЕИЭМПЗ оказываются чрезвычайно чувствительными не только к границам структурных и

литологических неоднородностей земной коры, но что не менее важно (в плане практического применения) к напряженно-деформированному состоянию массивов горных пород. Предложены способы выделения как глобальных пространственно-временных вариаций ЕИЭМПЗ, так и региональных и мелкомасштабных вариаций. Выявляя вариации различного масштаба можно прогнозировать время энергию и координаты эпицентров готовящихся землетрясений, активизацию опасных оползневых процессов и провалов грунта на территориях бывших шахтных выработок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малышков, Ю.П. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли./ Ю.П. Малышков, С.Ю. Малышков // Геология и геофизика. – 2009. – №2. – С. 152-172.

3. Геофизическая разведка по параметрам естественного импульсного электромагнитного поля Земли /С.Ю. Малышков и др // ГЕО-Сибирь-2009: Сб. материалов V междунар. науч. конгр. Т. 2: Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки полезных ископаемых, 20-24 апреля 2009 г. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 54-59.

© В.Ф. Гордеев, С.Ю. Малышков, В.И. Поливач, С.Г. Шталин, 2011

УДК 550.3:537.811

В.Ф. Гордеев, С.Г. Шталин, В.И. Поливач, С.Ю. Малышков

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

М.М. Задегриголова

ООО «ГЕОТЭК», Москва

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА ПО ПАРАМЕТРАМ ЕСТЕСТВЕННОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В СИСТЕМЕ АСК-ГП

В докладе представлены результаты модификации принципа передачи данных с регистраторов «МГР-01», которая заключалась в том, что каждый регистратор передает данные в автономном режиме, что позволило исключить ошибки передачи данных в общем потоке данных всей системы АСК-ГП, через ограниченное количество передатчиков.

Разработана принципиальная электрическая схема платы сопряжения регистратора «МГР-01» с модемом (Nfora0107-01), зарядного устройства и контроля напряжения питания аккумулятора. Схема реализована на 32-разрядном ARM-контроллере AT91SAM7X256 с высоким быстродействием, что позволяет использовать коммуникационное программное обеспечение в режиме реального времени.

Представлен алгоритм и программное обеспечение для передачи данных с регистраторов на удаленный сервер по GPRS каналу в бинарном формате. Создана программа конвертирования бинарных данных в ASCII формат, для дальнейшей обработки и визуализации, получаемых данных.

V.F. Gordeev, S.G. Shtalin, V.I. Polivach, S.Yu. Malyshkov

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

M.M. Zaderigolova

GEOTEK, Ltd., Moscow

ASSESSMENT OF LANDSLIDE SLOPE STABILITY BASED ON PARAMETERS OF NATURAL PULSED ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE EARTH USING ASM-GP

In the report we present results of improvement of data transfer principle for the MGR-01 recorder. As a result of improvement, now every recorder transfers data in autonomous mode, which allows one to exclude data transfer errors appearing when common dataflow from the whole ASM-GP was transferred via limited number of transmitters.

A basic electric circuit was developed to interface MGR-01 recorder with Nfora0107-01 MODEM, as well as to couple it with charging unit and to control an accumulator's supply voltage. The circuit is based on the AT91SAM7X256 high-

performance 32-bit ARM-controller, which allows one to use communication software in real-time mode.

An algorithm and software are presented that were developed to transfer binary-format data from the recorders to a remote server via GPRS channel. Software was developed for data conversion from binary to ASCII format which is suitable for further data processing and visualization.

В конце 2007 года была запущена в опытную эксплуатацию первая очередь автоматизированной системы контроля геодинамических процессов (АСК-ГП) оползневого склона на трассе магистрального газопровода Уренгой – Помары – Ужгород в районе перехода через реку Кама [1]. Комплекс состоит из десяти многоканальных геофизических регистраторов «МГР-01», размещенных в антивандальных бункерах на территории склона и за его пределами. Места размещения бункеров выбраны на основании комплексных геофизических исследований в точках с явно выраженными аномалиями напряженно-деформированного состояния горных пород.

Для исключения помех от металлических труб с анодной защитой от коррозии, бункера установлены между нитками. Реперная станция (Треп), расположена на ровном участке в 80 метрах от склона и результаты всех остальных станций обрабатываются с учетом временных вариаций параметров ЕИЭМПЗ, полученных на ней.

Кроме регистраторов «МГР-01», на склоне оборудованы 4 специализированных скважины, в которых установлены тросовые датчики, регистрирующие горизонтальное смещение грунта на разных глубинах. Одновременно измеряется уровень и химический состав грунтовых вод.

Дополнительно на всех 9-ти трубах газопровода, в верхней и нижней части оползневого склона, установлены интеллектуальные вставки (ИВ), которые измеряют деформацию металла.

Все оборудование работает в автоматическом режиме, с передачей информации каждый час по GPRS на FTP сервер фирмы «Ритм» (г. Краснодар).

В 2010 году была проведена модификация принципа передачи данных с регистраторов «МГР-01». Суть модификации заключается в том, что каждый регистратор передает данные в автономном режиме, что позволило исключить ошибки передачи данных в общем потоке данных всей системы АСК-ГП, через ограниченное количество передатчиков. В последнем случае, при сбое одного передатчика, данные терялись от 3-4 регистраторов «МГР-01».

Разработана принципиальная электрическая схема платы сопряжения регистратора «МГР-01» с модемом, зарядного устройства и контроля напряжения питания аккумулятора, с автоматическим отключением при понижении напряжения ниже допустимого. Схема реализована на 32-разрядном ARM-контроллере AT91SAM7X256 с высоким быстродействием, что позволит использовать коммуникационное программное обеспечение в режиме реального времени. Внешний вид устройства представлен на фото (рис. 1).

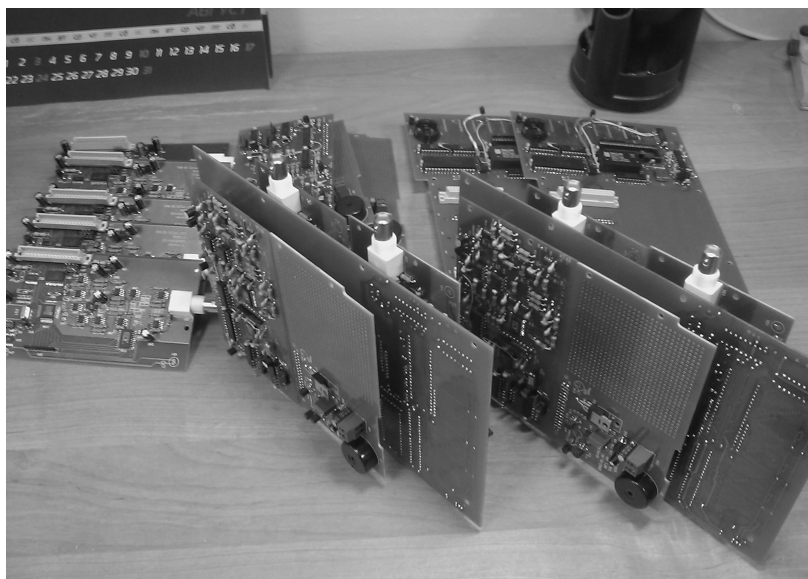


Рис. 1. Внешний вид устройств сопряжения регистратора «МГР-01» с модемом

Разработан алгоритм и программное обеспечение для передачи данных с регистраторов на удаленный сервер по GPRS каналу в бинарном формате. Создана программа конвертирования бинарных данных в ASCII формат, для дальнейшей обработки и визуализации, получаемых данных.

Однако качественные хорошо воспроизводимые результаты могут быть получены только с учетом ряда принципиально важных особенностей естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). К таким особенностям, прежде всего, следует отнести существование глобальных и региональных процессов, способных изменять интенсивность регистрируемого сигнала ЕИЭМПЗ, а также наличие импульсов, пришедших из-за пределов контролируемой территории.

На основании предварительной апробации системы был сформулирован алгоритм контроля геодинамических процессов по параметрам ЕИЭМПЗ. В качестве критерия предложено использовать превышение интенсивности импульсного потока ЕИЭМПЗ в каждой измеряемой точке (Т1, Т2, Т3, Т5, Т6, Т7, Т8, Т9, Т10) по отношению к реперной станции (Т4 реп.).

$$\hat{E} = \sqrt{\frac{\sum (N1_{T(i)}^2 + N2_{T(i)}^2)}{\sum (N1_{T(r)}^2 + N2_{T(r)}^2)}},$$

где $N1_{T(i)}$ – интенсивность импульсного потока ЕИЭМПЗ по направлению север-юг на i-й измерительной станции, кроме реперной;

$N2_{T(i)}$ – интенсивность импульсного потока ЕИЭМПЗ по направлению запад-восток на i-ой измерительной станции, кроме реперной;

$N1_{T(r)}$, $N2_{T(r)}$ – интенсивность импульсного потока ЕИЭМПЗ по направлению север-юг и запад-восток на реперной станции.

Предложенное применение обработки сигналов ЕИЭМПЗ и использование системы разнесенных в пространстве станций обеспечило высокоточные,

хорошо воспроизводимые результаты, отражающие активность геодинамических склоновых процессов с высокой достоверностью.

Применение методов регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли позволило выявлять в структуре склона зоны повышенной и пониженной активности оползневых процессов, зоны растяжения и относительного сжатия, пространственную ориентацию напряжений.

Важным результатом выполненных работ стали итоги экспериментальной проверки возможностей пространственно-временного мониторинга НДС склона реки в масштабе реального времени. Удалось показать, что различные участки берега являются динамически развивающимися структурами, причем ситуация на различных участках оползня может изменяться даже в течение одних суток.

В мае месяце 2010 года, нам стали доступны данные с интеллектуальных вставок (ИВ) на рис. 2 представлена схема расположения регистраторов «МГР-01» (Т1-Т10) и ИВ (1-12) на оползневом склоне р. Кама.

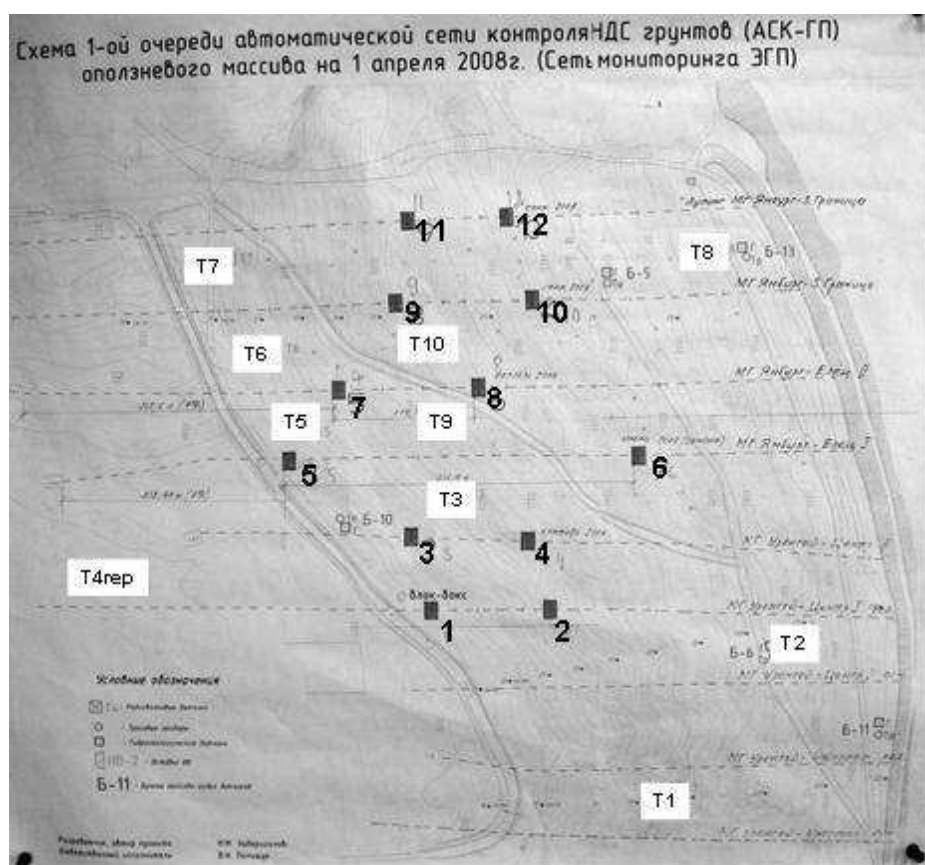


Рис. 2

Из рис. 3 видно, что 4-6 мая не наблюдалось суточного хода, это свидетельствовало о возникновении механических напряжений сжатия между 8 и 9 нитками газопровода.

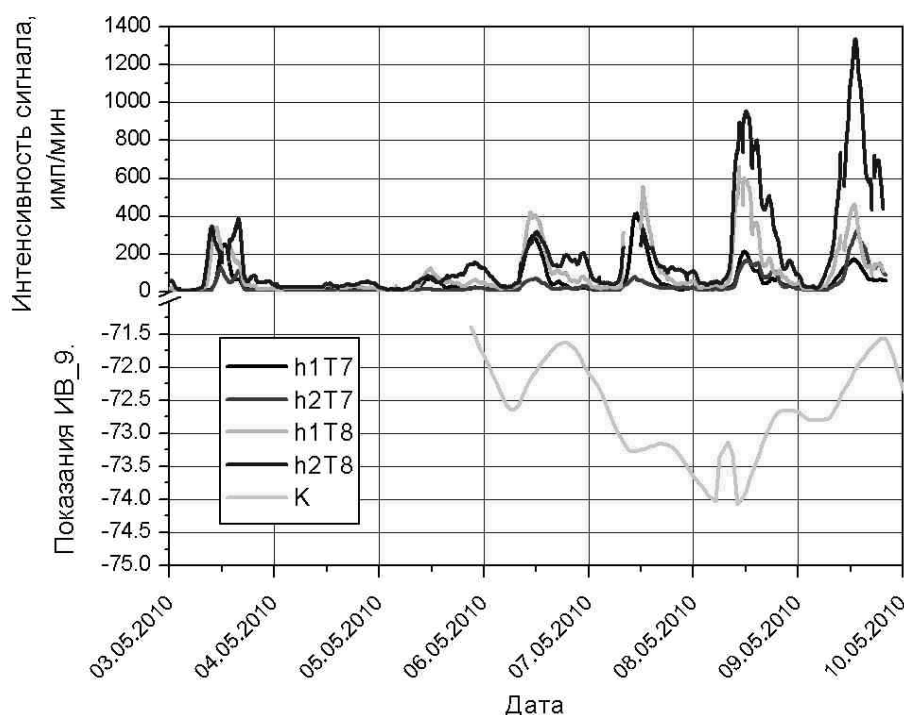


Рис. 3. Результаты мониторинга устойчивости грунтовых масс на участке оползневого склона р. Кама в период с 3 по 10 мая 2010 года

В качестве примера приведем результаты мониторинга НДС грунтов на оползневом склоне, когда значения деформаций на ИВ-9 достигли аномальных значений – выше 70 отн. ед. На рис. 3 представлены результаты измерений на станциях Т7 и Т8 которые находятся на одном уровне с ИВ-9.

Через 2 суток (8 мая) деформации на нитке 8 (ИВ9) достигли критических значений, однако с 7 мая суточный ход временных вариаций начал восстанавливаться и принимать стандартный вид, что означало релаксацию механических напряжений в грунте и следовательно уменьшение влияния на трубу и мы видим 10 мая деформации достигли своих нормальных значений.

Заключение

Результаты мониторинга напряженно-деформированного состояния оползневого склона в 2010 году по показаниям сети станций, регистрирующих естественное импульсное электромагнитное поле Земли, включенных в автоматизированную систему контроля геодинамических процессов (АСК-ГП), показали высокую эффективность оценки устойчивости оползневого склона и обеспечили безопасную эксплуатацию магистрального газопровода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мониторинг напряженно-деформированного состояния оползневого склона по параметрам ради шумов системой АСК-ГП / В.Ф. Гордеев, Ю.П. Малышков, С.Г. Шталин, С.Ю. Малышков, В.И. Поливач, М.М. Задедриголова // Гео-Сибирь-2010. – Новосибирск: СГГА, 2010. – Т. 1, ч. 2. – С. 8-12.

© В.Ф. Гордеев, С.Г. Шталин, В.И. Поливач,
С.Ю. Малышков, М.М. Задедриголова, 2011

УДК 550.3:537.811

М.М. Кабанов, С.Н. Капустин, П.Н. Колтун, П.Б. Милованцев

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

ИНТЕРНЕТ ПОРТАЛ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В рамках работ по созданию автоматизированной системы контроля геодинамических процессов (АСК-ГП) реализован программный продукт для аккумулирования, хранения и анализа данных измерений в составе единого интернет портала. Целью работы являлось объединение данных в рамках единого хранилища и обеспечение доступа к ним максимально простым образом для мониторинга и анализа без использования специализированного клиентского программного обеспечения. Данные измерений со всех многоканальных геофизических регистраторов «МГР-01» за весь период времени аккумулируются в единой централизованной базе данных в автоматическом режиме. Доступ к данным осуществляется через интернет, в качестве клиента используется стандартный веб-браузер. Система предоставляет оператору возможность мониторинга устойчивости оползневого склона и оперативной обстановки безопасной эксплуатации магистрального газопровода. Отдельный набор функциональности предусмотрен для исследователя и включает в себя возможность экспорта данных за произвольный период времени по любому из регистраторов для дальнейшей обработки, отображение графиков измерений, как по отдельной станции, так и по их произвольному набору, проведение расчетов над данными и построение графиков по результатам расчетов. Система реализована на платформе Java 2 EE + JBoss Application Server с использованием базы данных под управлением СУБД MySQL.

M.M. Kabanov, S.N. Kapustin, P.N. Koltun, P.B. Milovantsev

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3,

Akademicheskyy pr. Tomsk, Russia; e-mail: skm@imces.ru

INTERNET PORTAL FOR AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING OF GEODYNAMIC PROCESSES

The software product for accumulation, storage and analysis of the measurement data was developed within the work on Automated System for Monitoring of Geodynamic Processes (ASM-GP). The goal of the work was to merge the data into the unified storage system and to make an access to that data available in a most convenient way for monitoring and analysis without the necessity to use any specific client software. Measurement data of all the MGR-01 Multichannel Geophysical Recorders are accumulated in the unified central database automatically. Data access

is available via internet using any standard web-browser. System allows an operator to monitor the landslip stability. A separate functionality is offered for a researcher, including: data export feature filtered by time period and recorder for further processing, visualization of measurement graphs either by single recorder or by any subset of recorders, calculations over raw data and graphs based on calculated data. System is implemented in Java 2 EE + JBoss Application Server using MySQL database management system.

Работа, описанная в докладе, проводилась в рамках проекта по созданию автоматизированной системы контроля геодинамических процессов (АСК-ГП). Подробную информацию о проекте можно найти в публикациях [1, 2].

Для мониторинга измерений, а также анализа данных для исследования новых подходов к принятию решений по оценке рисков необходимо было разработать программную часть. Таким образом, было принято решение о создании единого банка данных с целью организации общего доступа. При планировании архитектуры системы приоритет отдавался следующим параметрам:

1. Надежность сбора данных с регистраторов.
2. Простота и универсальность доступа к данным.
3. Возможность интеграции базовых средств анализа в рамках платформы.

В процессе проектирования было принято решение разрабатывать программную часть на платформе Java 2 EE + JBoss Application Server, а хранилище данных организовать в базе данных под управлением СУБД MySQL.

Данные, поступающие с регистраторов в фиксированные промежутки времени, аккумулируются на ftp сервере в виде файлов формата XXXXX_DDDDD_TTTTTT.mgr, где XXXXX – дескриптор регистратора, DDDDD – дата измерений, TTTTTT – время выгрузки. На сегодняшний день выгрузка данных осуществляется раз в четыре часа. Система в автоматическом режиме импортирует результаты измерений, объединяя их в единую базу данных. В процессе импорта выполняются следующие манипуляции над данными:

1. Проверяется значение контрольного канала Е каждого регистратора, и некорректные данные исключаются из дальнейшего отображения и анализа. При этом они сохраняются в базе данных с целью отслеживания статистики по прибору – при превышении некоторого порога некорректных данных по регистратору рекомендуется произвести проверку аппаратной части.

2. Вычисляются и хранятся в базе отдельно среднечасовые значения по измерениям, поскольку этот тип данных часто используется для анализа и, таким образом, целесообразнее использовать заранее подготовленные записи базы данных, нежели вычислять эти значения каждый раз при каждом запросе.

При организации доступа к данным ключевым моментом было обеспечение простоты доступа в любых условиях. Поэтому, было принято решение использовать архитектуру с «тонким» клиентом – в качестве клиента

для доступа может быть использован любой компьютер с доступом в Интернет и веб-браузером. Управление осуществляется через специально разработанный веб-интерфейс. Возможности данного продукта позволяют по одной станции:

1. Вывести на экран данные измерений за произвольный период списком. Имеется возможность просматривать как исходные данные, так и усредненные по часовым интервалам.

2. Экспортировать данные измерений в текстовый файл формата tab-separated values для дальнейшего анализа в других программных пакетах.

3. Просмотреть графики измерений по станции – в исходном виде, либо усредненные по часовым интервалам.

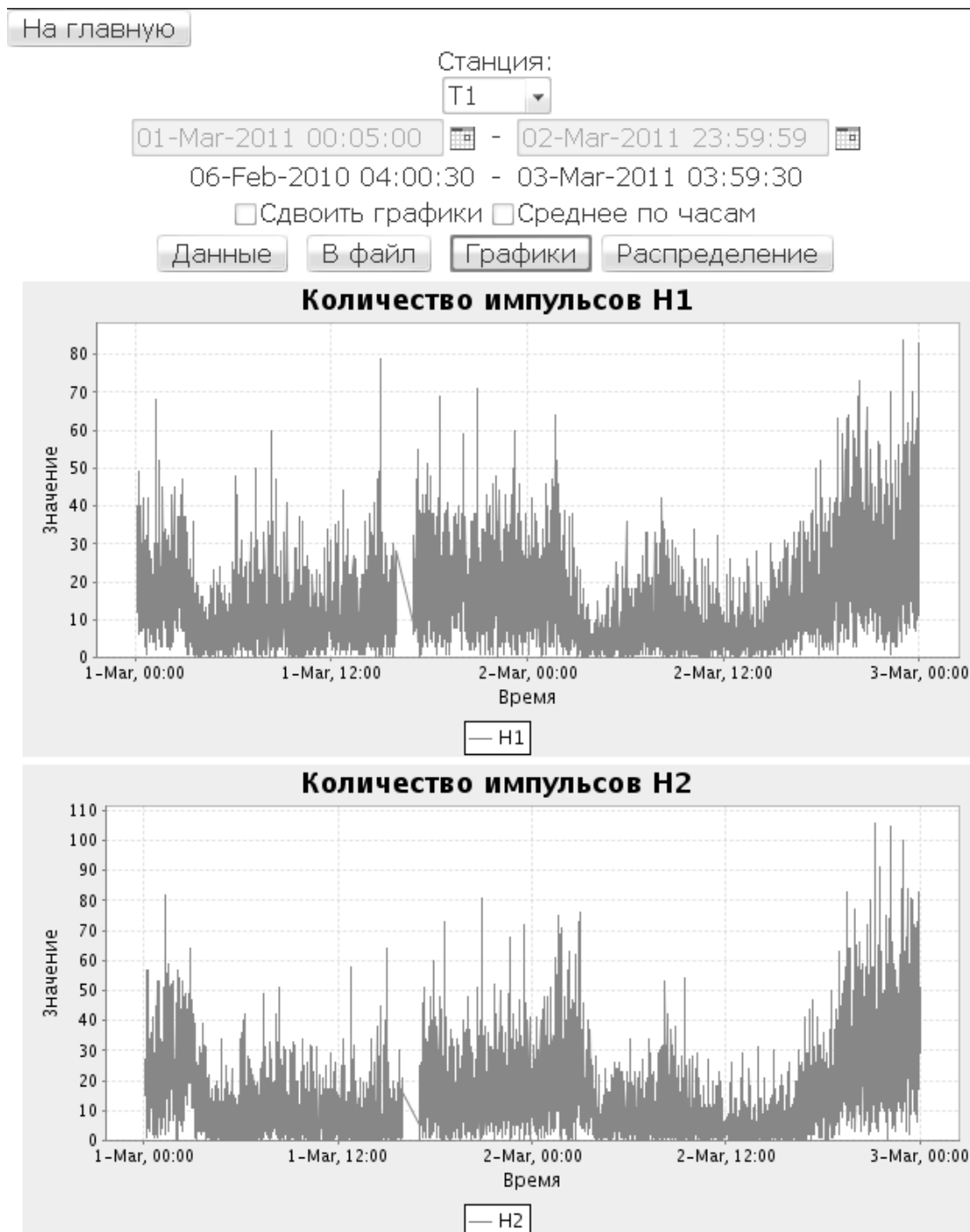


Рис. 1. Пример графика исходных данных по одному регистратору

По группе станций имеется возможность просмотра графиков по исходным данным и усредненным часовым значениям.

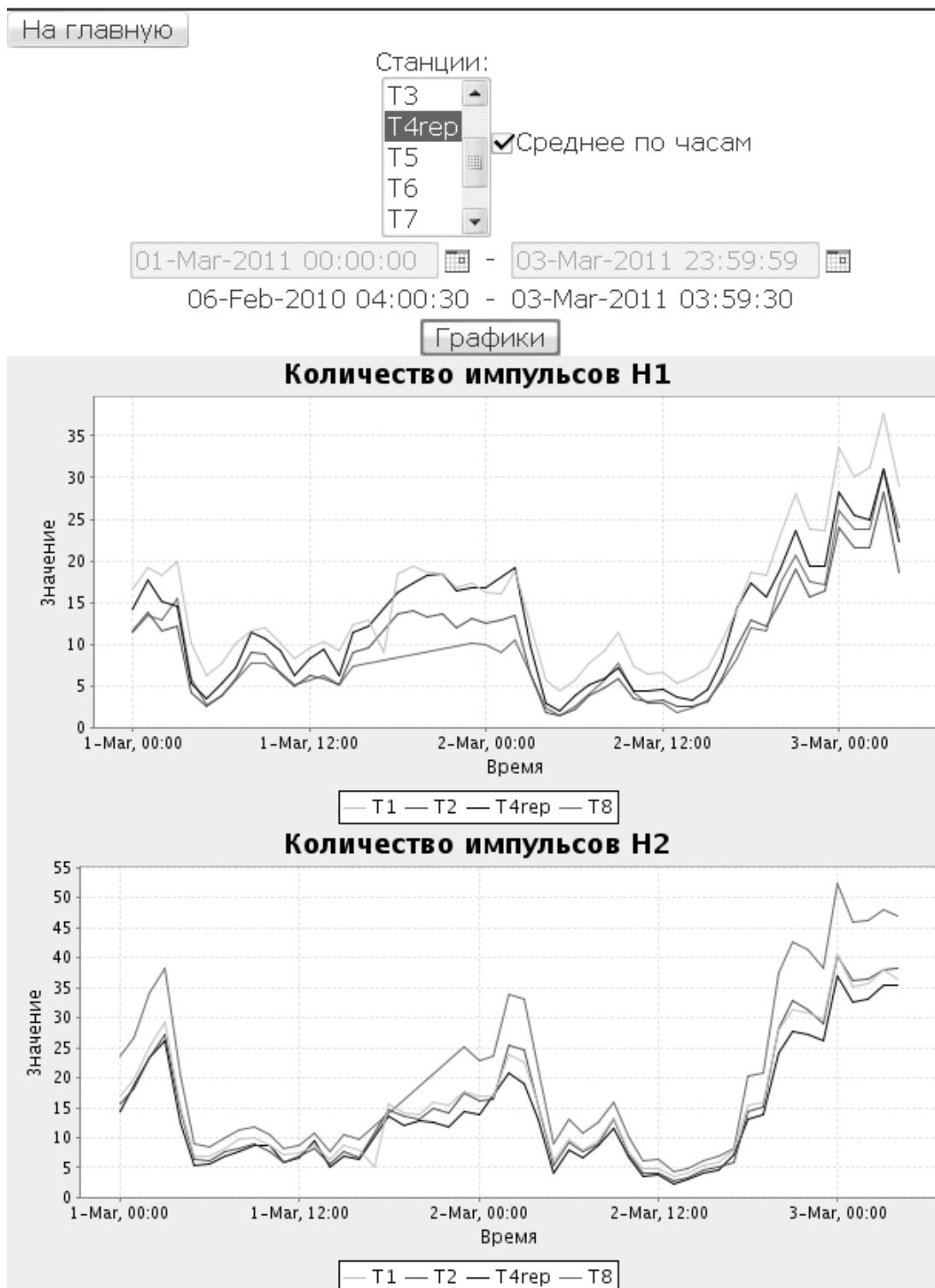


Рис. 2. Пример графика исходных данных, усредненных по часовому интервалу по четырем регистраторам

Кроме того, предусмотрен ряд служебных возможностей системы: административный интерфейс для настройки параметров отображения, указания реперной станции, контроля процесса импорта данных. Имеется

возможность просмотра статистики для контроля ошибок и неисправности оборудования по регистраторам за период.

Таким образом, данное решение предназначено для трех категорий пользователей:

1. Оператор, осуществляющий мониторинг устойчивости оползневого склона. В данной области запланирован ряд изменений для повышения наглядности текущего состояния и упрощения принятия решений.
2. Исследователь, анализирующий временные ряды накопленных данных для усовершенствования методики принятия решений и выявления новых закономерностей.
3. Администратор оборудования, осуществляющий контроль за состоянием регистраторов и их работоспособностью.

На сегодняшний день программный продукт соответствует базовым требованиям, выдвигавшимся при его разработке, ведутся постоянные работы по расширению его возможностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка напряженно-деформированного состояния горного массива по параметрам ЕИЭМПЗ / В.Ф. Гордеев и др. // ГЕО-Сибирь-2009 Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 2. Сб. матер. V Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2009», 20-24 апр. 2009 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 71-75.
2. Мониторинг напряженно-деформированного состояния оползневого склона по параметрам радиошумов системой АСК-ГП / В.Ф. Гордеев и др. // Гео-Сибирь-2010. Т. 1, ч. 2. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 8-12.

© М.М. Кабанов, С.Н. Капустин, П.Н. Колтун, П.Б. Милованцев, 2011

УДК 550.312

Г.П. Арнаутков, И.А. Бунин, Е.Н. Калиш, Д.А. Носов, Ю.Ф. Стусь, М.Г. Смирнов

ИАиЭ СО РАН, Новосибирск

В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков

ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

ОЦЕНКА СКОРОСТЕЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ЮГО-ЗАПАДЕ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ И В ГОРНОМ АЛТАЕ ПО ДАННЫМ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В работе на основе результатов повторных измерений вариаций ускорения силы тяжести в сейсмоактивных районах Байкальской рифтовой зоны и Горного Алтая оценены возможные скорости вертикальных смещений h земной поверхности и изменений плотности земной коры $\Delta\rho$. Показано, что измерения h могут достигать значений $h=10$ см в год, а $\Delta\rho = 8 \cdot 10^{-5}$ г/см³ в год и связаны они в основном со временем близлежащих землетрясений.

G.P. Arnautov, I.A. Bunin, E.N. Kalish, D.A. Nosov, Yu.F. Stus, M.G. Smirnov

Institute of Automation and Electrometry SB RAS, Novosibirsk;

V.Yu. Timofeev, D.G. Ardyukov

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk

ESTIMATE OF THE RATE OF VERTICAL DISPLACEMENTS OF THE EARTH'S SURFACE AND CHANGES IN THE DENSITY OF THE CRUST IN THE SOUTH-WEST OF THE BAIKAL RIFT ZONE AND THE ALTAI MOUNTAINS ACCORDING TO GRAVIMETRIC MONITORING

In this paper, based on the results repeated measurements of variations of gravity in seismically active areas of the Baikal rift zone and the Altai Mountains assessments have been the possible rate of vertical displacement h the earth's surface and changes in the density of the crust $\Delta\rho$. It is shown that measurements of h can reach values of $h = 10$ cm per year, and of $\Delta\rho = 8 \cdot 10^{-5}$ g/cm³ per year and they are associated mainly with the time of near earthquakes.

С помощью разработанных и созданных авторами статьи лазерных баллистических гравиметров [1, 2, 3] (по точности и надежности измерений находящихся на высшем мировом уровне [4]) проводится прецизионный мониторинг гравитационного поля Земли в областях современных сейсмических активизаций: начиная с 1992 года в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ), а с 2000 года в Горном Алтае. Одновременно с этими гравиметрическими измерениями проводятся аналогичные контрольные измерения в

платформенной области: на гравиметрических пунктах Новосибирской области и в г. Иркутске.

Результаты гравиметрического мониторинга на сейсмостанции «Талая» (БРЗ, Иркутская область, Слюдянский район) показаны на рис. 1 значения вариаций Δg , выраженных в микрогалах ($1 \text{ мкГал} = 10^{-8} \text{ м/с}^2 \approx 10^{-8} \text{ г}$). Здесь за нулевой отсчет принят первый результат измерений. В эти результаты внесены приливная поправка, приводящая результат измерения к уровню невозмущенного геопотенциала, а также, в соответствии с рекомендациями Международной гравиметрической комиссии [5], поправки, учитывающие влияние изменений атмосферного давления и положения полюса Земли.

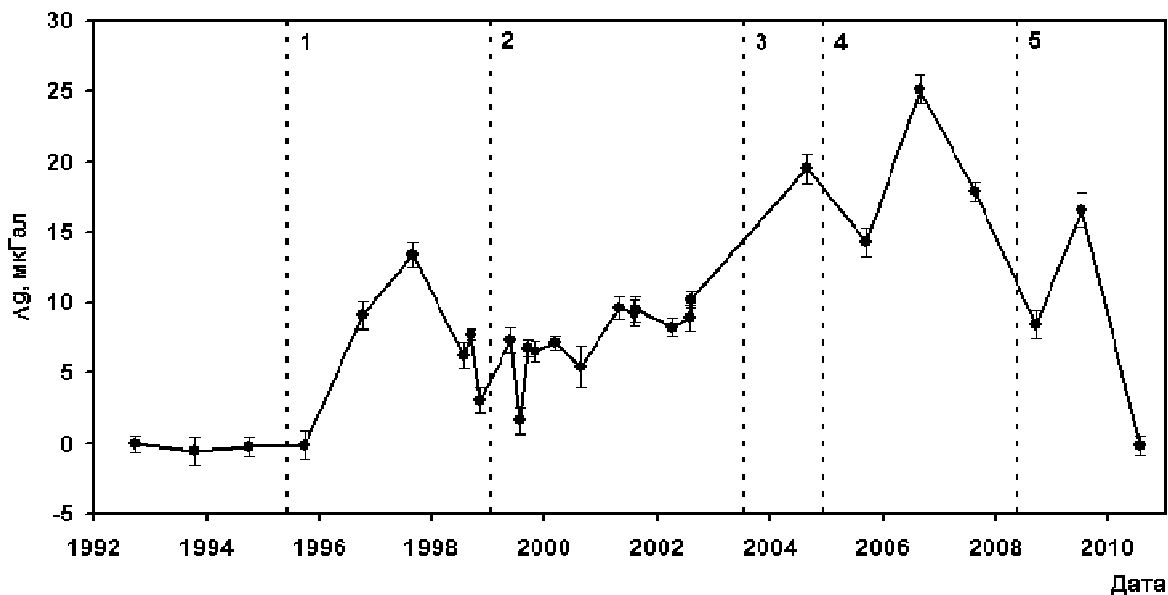


Рис. 1. Вариации ускорения силы тяжести на сейсмостанции «Талая»

- 1 - землетрясение 29.06.1995 ($M=5,5$; $L=50$ км);
- 2 - землетрясение 25.02.1999 ($M=5,9$; $L=90$ км);
- 3 - землетрясение 17.09.2003 ($M=5,3$; $L=155$ км);
- 4 - землетрясение 23.02.2005 ($M=5,3$; $L=160$ км);
- 5 - землетрясение 27.08.2008 ($M=6,3$; $L=30$ км);

L – удаление эпицентра землетрясения от пункта «Талая»

На основании этих результатов были оценены возможные изменения плотности земной коры (ЗК) и её вертикальных движений в районе гравиметрических наблюдений. При выводе оценки возможной зависимости вариаций Δg от изменений $\Delta \rho$ плотности ЗК в первом приближения была использована формула притяжения плоско-параллельного слоя:

$$\Delta g = 2\pi G \Delta \rho d \quad (1)$$

где $G = 6,67 \times 10^{-8} \text{ см}^3/\text{гс}^2$ – гравитационная постоянная, d – толщина деформированного слоя земной коры, $\rho = 2,67 \text{ г/см}^3$ – средняя плотность ЗК, $\Delta \rho$ – изменение ρ из-за её объёмной деформации.

Как следует из (1) при значении $d = 5$ км (одном из минимально возможных значений деформируемой толщи ЗК) вариации Δg , достигающие $1 \text{ мкГал} = 10^{-8} \text{ м/с}^2$, могут быть обусловлены изменением плотности $\Delta \rho = 5,4 \times 10^{-6} \text{ г/см}^3$. По данным деформографических наблюдений В.Ю. Тимофеева (Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН им. А.А. Трофимука) на сейсмостанции «Талая» наблюдались изменения объёмной деформации ЗК, достигающие 2×10^{-6} в год [6], т.е. при средней плотности ЗК, равной $2,67 \text{ г/см}^3$ изменения $\Delta \rho$ могли достигать значений, полученных по результатам приведённых выше оценок.

На основании этой оценки взаимосвязи вариаций Δg и изменений $\Delta \rho$ и по результатам измерений Δg можно заключить, что изменения $\Delta \rho$ могли достигать $8 \times 10^{-5} \text{ г/см}^3$ в год и происходили они преимущественно до и после землетрясения 27.08.2008 года.

Оценка возможной зависимости зарегистрированных вариаций Δg от изменений высоты пункта наблюдений, обусловленных вертикальными движениями Δh земной коры производилась, учитывая наличие вертикального градиента силы тяжести γ :

$$\Delta g = \gamma \Delta h \quad (2)$$

Для пункта «Талая» измеренное значение $\gamma = 1,8 \text{ мкГал/см}$, т.е. понижение уровня точки наблюдения на 1 см приводит к увеличению значения g на 2 мкГал. Из оценки (2) и рис. 1 следует, что максимальные изменения h , достигающие 10 см, произошли в промежутке времени перед и после землетрясения 27.08.2008 года.

На рис. 2 показаны результаты измерений вариаций Δg на пунктах Усть-Кан (старый пункт) и Кайтанак. В эти результаты внесены все поправки, учитывающие влияние на ускорение силы тяжести внешних факторов, как и для пункта «Талая». Вертикальной штриховой линией показан момент землетрясения 2003 года ($M = 7,5$; $L = 230 \text{ км}$).

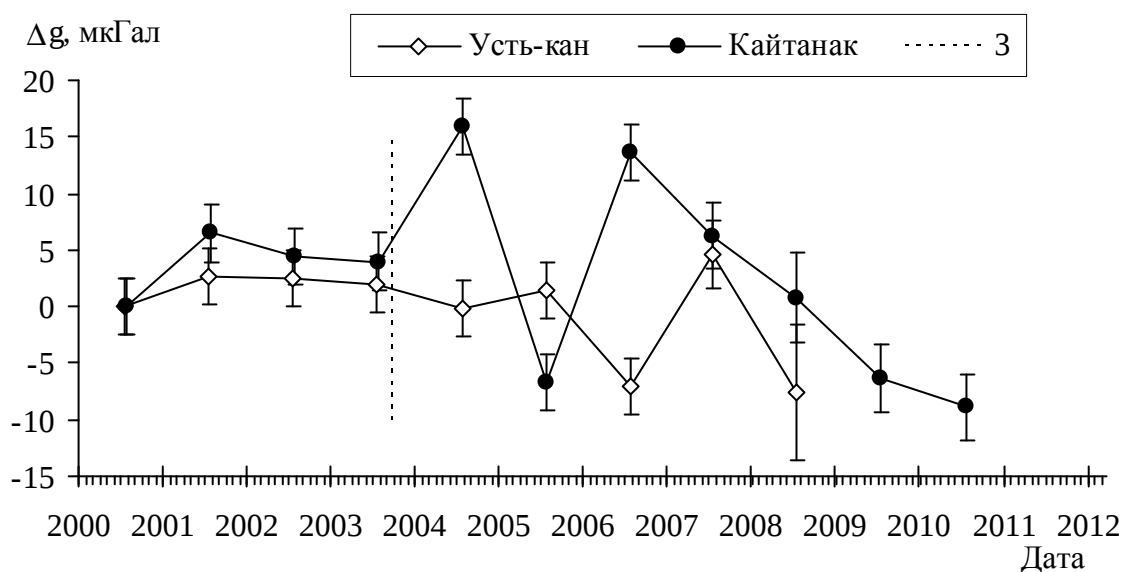


Рис. 2. Вариации ускорения силы тяжести на пунктах Горного Алтая

Из этих результатов, следуя оценкам по формулам (1) и (2), можно заключить, что максимальные изменения $\Delta\rho=1,3\times10^{-4}$ г/см³ в год и $h=8$ см в год наблюдаются до 2010 года на пункте «Кайтанак» после землетрясения 2003 года ($M=7,5$, $L=230$ км).

Контрольные гравиметрические наблюдения в платформенной области проводились в Новосибирской области (на пунктах ИАиЭ, «Боровое» и «Ключи») и в г. Иркутске (на пункте Восточно-Сибирского филиала НИИ физико-технических и радиотехнических измерений). Результаты этих измерений показывают, что вариации Δg , наблюдаемые в сейсмоактивных районах Байкала и Горного Алтая, имеют региональный характер и связаны с подготовкой и последствиями сильных близлежащих землетрясений.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН по проекту № 4.8 «Эволюция состояния среды в областях современных сейсмических активизаций юга Сибири по данным комплексного геофизического мониторинга».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высокоточный лазерный гравиметр / Г.П. Арнаутков и др. // Автометрия. – 1972. – № 5. – С. 29-38.
2. Лазерный баллистический гравиметр ГАБЛ-М и результаты наблюдений силы тяжести / Г.П. Арнаутков и др. // Автометрия. – 1994. – № 3. – С. 3-11.
3. Полевой абсолютный лазерный баллистический гравиметр / И.А. Бунин и др. // Автометрия. – 2010. – Т. 46, № 5. – С. 94-102.
4. Арнаутков, Г.П. Результаты международных метрологических сравнений абсолютных лазерных баллистических гравиметров / Г.П. Арнаутков // Автометрия. – 2005. – Т. 41, № 1. – С. 126-136.
5. Resolutions international gravity commission. International absolute gravity basestation network // Bull. Inform. BGI. Toulouse, France, – 1984. – N 58.
7. Тимофеев, В.Ю. Приливные и медленные деформации земной коры по экспериментальным данным: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук / В.Ю. Тимофеев. – Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 2004. – 32 с.

© Г.П. Арнаутков, И.А. Бунин, Е.Н. Калиш, Д.А. Носов, Ю.Ф. Стусь,
М.Г. Смирнов, В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, 2011

УДК 530.4

С.А. Ефимов

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Спектральные методы обработки данных имеют преимущества перед корреляционными методами по критерию соотношения сигнал – шум. Тем не менее, до настоящего времени в рамках вибросейсмической технологии для определения времени вступления волн используются только корреляционные методы. В данной работе предложен спектральный метод обработки для определения времени вступления вибросейсмических волн.

S.A. Efimov

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian
Branch Russian Academy of Sciences . Novosibirsk, 630090 Russian Federation

SPECTRAL METHOD OF DATA PROCESSING FOR VIBROSEISMIC MONITORING OF A TERRESTRIAL SURFACE

Spectral methods of data processing have advantages before correlation methods by criterion of a parity a signal – noise. Nevertheless till now in frameworks vibroseismic technologies for definition of an effective date of waves are used only correlation a method. In the given job the spectral method of processing for definition of an effective date vibroseismic waves is offered.

При исследовании геодинамики земной поверхности вибросейсмическими методами существует задача увеличения пространства исследования. Эта задача инициируют поиск новых подходов и методов для обработки данных экспериментов, направленных на изучение геологических структур. Активный метод вибросейсмического зондирования (ВЗ), позволяет получить «фотографию» земной коры в виде вибросейсмической сейсмограммы (виброграммы). Этот метод основан на применении искусственного источника волн, формирующего функционально определенный зондирующий сигнал (ЗС). В данной работе исследованы особенности корреляционной и спектральной обработки вибросейсмических данных и показана возможность увеличения пространства исследования путем использования спектрального метода обработки.

Основные аспекты технологии ВЗ земной коры базируются на представлении о земной поверхности в виде динамической модели, основанной на свертке [1]. Для этой модели справедливо выражение для сейсмограммы:

$$y(t) = \sum_{i=0}^{\infty} a_i \cdot s_i(t - \tau_i) + n(t), \quad (1)$$

где a_i – амплитудный весовой множитель; $s_i(t)$ – ЗС источника; $n(t)$ – аддитивная помеха; τ_i – временная задержка.

При импульсном источнике, формирующим достаточно широкополосный ЗС, модель по формуле (1) является достаточной для интерпретации сейсмограмм $y(t)$. Однако технология ВЗ использует узкополосный ЗС и специфические методы обработки для формирования виброграммы.

Традиционный способ формирования виброграммы

Технология вибросейсмического зондирования использует для просвечивания земли и формирования вибрационной сейсмограммы (виброграммы) зондирующий сигнал следующего вида:

$$s(t) = a(t) \cdot \{\hat{O}(t) - \hat{O}(t - T_0)\} \cos(\omega_0 \cdot t + \psi(t)), \quad (2)$$

где $a(t)$ – огибающая зондирующего сигнала; ω_0 – начальная частота зондирующего сигнала; $\Phi(t)$ – функция Хевисайда; α – скорость изменения частоты зондирующего сигнала; T_0 – время излучения зондирующего сигнала; $\psi(t) = (\alpha/2) \cdot t^2; t = 0 \dots T_0$.

В точке регистрации формируется сейсмограмма $X(t)$ в виде суммы сигналов $s_i(t - \tau_i)$, имеющих разное время прихода τ_i . Поскольку величины временных задержек τ_i значительно меньше времени излучения зондирующего сигнала T_0 , то в полученной сейсмограмме не выделены признаки времен вступления волн. Для их выделения и формирования виброграммы традиционно используется согласованный фильтр [2], реализующий процедуру свертки между $X(t)$ и $s(t)$. Для сигнала $s(t)$ автокорреляционная функция имеет вид [3]:

$$W(t - \tau_i) = \frac{T_0}{2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\Delta\omega \cdot (t - \tau_i)}{2}\right)}{\frac{\Delta\omega \cdot (t - \tau_i)}{2}} \cdot \cos(\omega_c \cdot (t - \tau_i)); \quad (3)$$

где T_0 – длительность ЗС; $\Delta\omega$ – девиация частоты; $\Delta\omega = \alpha \cdot T_0$; $\omega_c = \omega_0 + \Delta\omega/2$ – средняя частота ЗС.

Вибрационная сейсмограмма $vg(t)$ представляет собой сумму автокорреляционных функций излученного сигнала:

$$vg(t) = \sum_i a_i \cdot W(t - \tau_i) + n(t), \quad (4)$$

где a_i – амплитуды волн; τ_i – времена прихода; $n(t)$ – измерительный шум.

Операция свертки обычно реализуется при помощи быстрого преобразования Фурье (БПФ). На рис. 1 представлена структурная схема традиционной обработки сигнала. Она содержит аналого-цифровой преобразователь 1, блоки 2 и 5, реализующие операцию БПФ, умножитель 3 и

блок 4, реализующий процедуру обратного БПФ. Частота дискретизации f_0 является постоянной. На выходе блока 4 формируется виброграмма $vg(t)$. Опорный сигнал $Z(t)$ соответствует формуле (2).

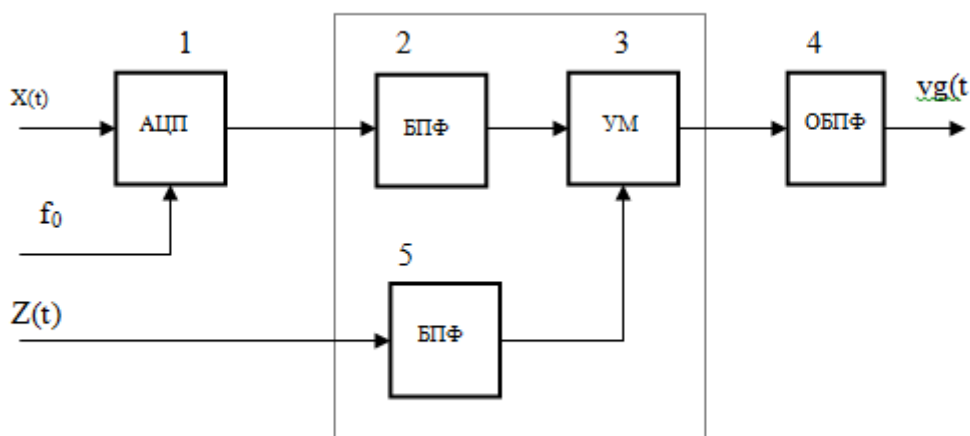


Рис. 1. Структурная схема традиционной обработки сигнала

Известно [4], что при таком алгоритме обработки увеличение отношения сигнал/шум по мощности G определяется формулой:

$$G = 2 \cdot BT \frac{1}{2 + 1/R_e}; \quad (5)$$

где T – время регистрации сигнала; B – частотный диапазон сигнала; R_e – отношение сигнал/шум по мощности до обработки сигнала.

Если $R_e \ll 1/2$, то $G = 2 \cdot B \cdot T \cdot R_e$.

Таким образом, увеличение отношения сигнал/шум по мощности G зависит от R_e – отношение сигнал/шум по мощности в точке регистрации (до обработки сигнала). При организации вибросейсмических экспериментов на расстояниях более 300 км это отношение может быть значительно меньше единицы, что существенно понижает качество результатов эксперимента.

Нетрадиционный способ формирования виброграммы.

Нетрадиционный способ формирования виброграммы представлен на рис. 2.

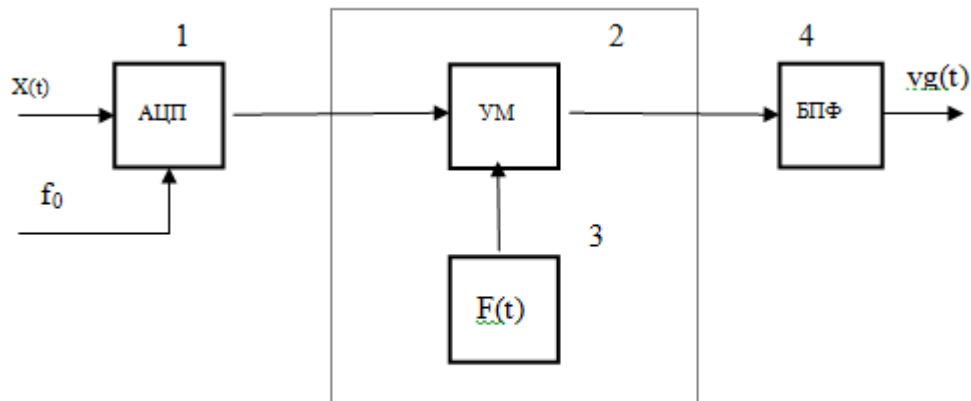


Рис. 2. Структурная схема нетрадиционной обработки сигнала

Рис. 2 содержит аналого-цифровой преобразователь 1; блок умножения 2; блок 4, реализующий быстрое преобразование Фурье; блок 3, формирующий сигнал $F(t)$. Сигнал $F(t)$ функционально определен функцией $\varphi(t)$ и равен:

$$F(t) = \exp(-j\varphi(t)); \quad \varphi(t) = 0.5\beta \cdot t^2. \quad (6)$$

На выходе умножителя 2 сигнал $x(t)$ преобразуется таким образом, что каждый узкополосный сигнал $s_i(t)$, приходящий в точку приема с задержкой τ_i , приобретает фазовую характеристику $\theta(t)$:

$$\theta(t, \tau_i) = (\psi(t) - \varphi(t + \tau_i)) = (\omega_0 + \beta \cdot \tau_i) \cdot t + \frac{(\alpha - \beta) \cdot t^2}{2} + \frac{\beta \cdot \tau_i^2}{2}; \quad (7)$$

При выполнении условия $\beta = \alpha$ совокупность узкополосных сигналов $x(t)$ превращается в совокупность монохроматических сигналов. При этом частота ω_i каждого сигнала $s_i(t)$ и время задержки τ_i будут определяться в соответствии с формулой:

$$\omega_i = \omega_0 + \beta \cdot \tau_i; \quad \tau_i = (\omega_i - \omega_0) / \beta; \quad (8)$$

Сигнал с выхода умножителя – совокупность монохроматических сигналов – в блоке 4 преобразуется посредством операции БПФ в частотный спектр. Выделенные из шума монохроматические сигналы являются идентификаторами наличия вибросейсмических волн, времена вступлений которых определяется по формуле (8). При этом алгоритме обработки данных увеличение отношения сигнал/шум по мощности G определяется формулой [4]:

$$G = 2 \cdot BT; \quad (9)$$

Таким образом, увеличение отношения сигнал/шум по мощности G не зависит от R_e – отношение сигнал/шум по мощности в точке регистрации (до обработки сигнала). Это обстоятельство дает очевидные преимущества спектрального метода обработки вибросейсмических данных при организации вибросейсмических экспериментов на расстояниях более 300 км.

Закключение

Вышеизложенный подход обработки данных позволяет формировать виброграммы на основе амплитудно-частотной характеристики сигнала $x(t)$, полученной после преобразования фазовой характеристики сигнала $x(t)$. Преобразование фазовой характеристики сигнала $x(t)$ позволяет получить из совокупности узкополосных сигналов, соответствующих формуле (2), совокупность монохроматических сигналов определенной частоты. Величина частоты каждого монохроматического сигнала связана со временем вступления сейсмической волны в соответствии с формулой (8). Анализ параметров совокупности монохроматических сигналов и формирование времен вступления сейсмических волн эффективнее проводить методами спектрального анализа, в данном случае процедурой быстрого преобразования Фурье (БПФ). Этот вывод вытекает из анализа и сравнения формул (5) и (9).

Известно [5], что пространство вибросейсмического эксперимента при формировании традиционных виброграмм, позволяющих проводить объективную интерпретацию структуры поверхности земли, ограничено расстоянием 300-400 км. С другой стороны, вибросейсмический монохроматический сигнал от источников типа ЦВ-100 выделяется спектральными методами на расстояниях более 1400 км. Эти экспериментальные обстоятельства подтверждают актуальность использования предлагаемого спектрального метода обработки при использовании узкополосных зондирующих сигналов. Рассмотренный спектральный метод обработки позволяет существенно увеличить расстояние между источником зондирующего сигнала и сейсмическими регистраторами.

Автор выражает благодарность участникам семинаров лаборатории геофизической информатики ИВМиМГ СО РАН, в атмосфере которых формировалась постановка решаемой задачи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сильвиа, М.Т. Обратная фильтрация геофизических временных рядов при разведке на нефть и газ / М.Т Сильвиа, Э.А. Робинсон. – М.: Недра, 1983. – 447 с.
2. Тихонов, В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
3. Шнеерсон, М.Б. Наземная сейсморазведка с невзрывными источниками колебаний / М.Б. Шнеерсон, В.В. Майоров. – М., Недра, 1980. – 205 с.
4. Макс, Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х т. / Ж. Макс. – М.: Мир, 1983.– 312 с. – Т. 1.
5. Особенности изменений во времени волновых полей при вибросейсмическом мониторинге земной коры / А.Ф. Еманов, В.С. Селезнев, В.М. Соловьев и др. // Сейсмология в Сибири на рубеже тысячелетий: материалы междунар. геофиз. конф. – Новосибирск: СО РАН, 2000. – 395 с.

УДК 502.22 517:519.8

Т.Ю. Бугакова

СГГА, Новосибирск

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ РИСКА ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

В статье приведен краткий аналитический обзор современного состояния проблемы оценки риска в техногенных геодинамических системах. Перечислен ряд задач, решение которых обеспечит снижение риска до минимального уровня.

T.Yu. Bugakova

SSGA, Novosibirsk

THE PROBLEM OF RISK ASSESSMENT FOR GEOTECHNICAL SYSTEMS BY GEODETIC DATA

The paper presents the review of the present state of risk assessment in technogenic geodynamic systems. The author puts forward the problems to be solved, which can result in risk minimization.

Интенсивное развитие новых технологий в XX веке привело к выдающимся результатам во всех сферах техногенной деятельности человечества: в электронной и атомной, космической и авиационной, энергетической и химической технике, в биологии и генной инженерии, продвинувшие человечество на принципиально новые рубежи жизнедеятельности. Однако, вместе с этим, созданы невиданные ранее потенциальные и реальные угрозы человеку, созданным им объектам, локальной и глобальной среде обитания [1].

Ежегодно в мире случается множество чрезвычайных ситуаций (ЧС). Только в России насчитывается более 45 тыс. опасных производств и множество сооружений, разрушение которых может привести к значительным материальным убыткам и потерям тысяч человеческих жизней. В результате событий последних десятилетий только в техногенной сфере (аварии на атомных и гидроэлектростанциях, разрушения инженерно-технических сооружений и т.д.) нанесен громадный ущерб окружающей среде, а число погибших людей измеряется тысячами. Так, например, по данным МЧС России лишь за 2009-2010 гг. произошло более 200 чрезвычайных ситуаций техногенного характера, в результате которых погибло 489 человек [2]. И сейчас речь идет не о выявлении возможных опасностей, а об определении и управлении техногенными рисками.

Источниками аварий и катастроф являются геодинамические процессы и неправильная эксплуатация человеко-машинных систем (ЧМС), состоящих из оборудования, компьютеров, программных средств и действий персонала. В совокупности геодинамические и техногенные системы представляют собой сложные системы, главной проблемой обеспечения безопасности которых, является невозможность полностью исключить риск возникновения чрезвычайных ситуаций в таких системах и необходимость свести этот риск к минимуму.

Данная проблема может быть решена только при условии системно-целевого подхода, включающего в себя прогнозирование геодинамических процессов и ряда мер, зависящих от разработчиков, производителей и потребителей ЧМС.

Одной из главных задач, связанных с обеспечением безопасности и снижением риска возникновения чрезвычайных ситуаций в сложных системах является определение их пространственно-временного состояния (ПВС), которое может быть обеспечено геодезическими методами.

В настоящее время появились новые технические возможности проведения геодезического контроля ПВС объектов. Речь идет об автоматизированных системах мониторинга, которые предполагают установку различных датчиков на элементах конструкций технических систем, например, зданий и сооружений, мостов, тоннелей, ГЭС, ТЭЦ и т.д. Главным достоинством автоматизированных систем контроля является непрерывное наблюдение в реальном режиме времени состояний объектов и своевременное предупреждение чрезвычайных ситуаций.

В настоящее время созданием информационно-измерительных систем занимаются большое количество как зарубежных, так и отечественных компаний, таких как National Instruments, Leica Geosystems, «Фирма Г.Ф.К», «Геотек» и т.д.

Общий принцип функционирования автоматизированных систем мониторинга (АСМ) изображен на рисунке 1.

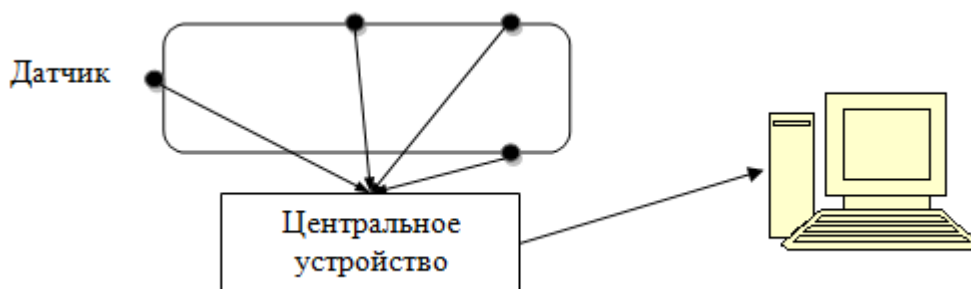


Рис. 1. Общий принцип функционирования автоматизированных систем мониторинга ПВС объекта

Система мониторинга должна обеспечивать передачу данных с контролируемых конструкций без визуального их осмотра. Данные измерений с датчиков могут передаваться к пользователю различным путем, например, через

интернет. Несколько датчиков объединяются в сеть, образуя «узлы», которые имеют источник питания и могут передавать самостоятельно сигналы только на небольшие расстояния. Поэтому на объекте устанавливается центральное устройство, которое собирает и хранит информацию в базе данных для анализа с различных узлов. Эти данные используются для оценки текущего состояния конструкций и, в случае наступления критической ситуации выдается сообщение в виде сигнала тревоги. Центральное устройство должно выполнять также калибровку датчиков и обеспечивать перепрограммирование узлов датчиков сохраняя в целом систему гибкой. Центральное устройство должно иметь, как правило, персональный компьютер с постоянным источником питания и соответствующими программами [3].

В системе АСМ существует два вида программного обеспечения.

1) Аппаратное программное обеспечение, используемое для организации работы устройства сбора - передачи данных различными программными модулями.

2) Дополнительное программное обеспечение, используемое для анализа полученных данных в центральном сервере, а также для управления системой мониторинга в целом, которая может включать много устройств сбора - передачи данных, выполняя связь с каждым устройством для сбора данных.

Для интерпретации полученных данных в [3] приведены алгоритмы, применяемые при мониторинге строительных конструкций. Все они основаны на предположении обнаружения повреждений в конструкциях зданий или сооружений в течение всего периода их эксплуатации. Методы, разработанные для обнаружения повреждений, могут быть классифицированы как частотные или временные.

В частотных методах обнаружение повреждений связывают с изменением жесткости конструкций. Первичным результатом обработки измерений являются спектрограммы, совмещающие выделенные частоты и соответствующие амплитуды колебаний на характерных точках объекта исследования.

При измерениях используется несколько датчиков, поэтому обработка требует совместной интерпретации многочисленных данных. Так называемые картограммы колебаний представляют одновременное изображение всех спектров по одной из осей конструкции. Классифицированные как частотные, эти методы успешно применяются для идентификации больших уровней повреждений в конструкциях, но они не способны установить момент возникновения повреждения. К тому же, по отношению к конструкциям зданий и сооружений окружающая среда или изменение режима эксплуатации могут также вызвать изменения в естественных частотах, что затрудняет использование частотного метода в случаях экстремальных повреждений.

Временные методы основаны на гипотезах о времени и области для обнаружения повреждений. В частности гипотеза, основанная на статистическом опознании образцов, влечет за собой использование техники статистического сбора сигналов на определенной временной истории

измерения данных для получения заключения о существовании повреждения в конструкции. Этот подход интенсивно использует линейные модели временных рядов. Полагая поведение конструкций стационарным, авторегрессионные модели временных рядов могут быть подогнаны к данным измерений, выполненные на определенном интервале времени:

$$x_k = \sum_{i=1}^p b_i^x x_{k-i} + r_k^x, \quad (1)$$

где x_{k-i} - поведение объекта на время $t = k\Delta t$ является функцией p предыдущих наблюдений поведения системы, r_k^x - остаточная ошибка, x_{k-i} - веса на предыдущих наблюдениях обозначаемые b_i .

Остаточная ошибка авторегрессионной модели является параметром, указывающим на наличие повреждения. Но на ошибку может влиять изменчивость конструкции в процессе эксплуатации. Поэтому следующим действием является устранение зависимости между остаточной ошибкой авторегрессионной модели r_k^x и измеренным поведением конструкции x_k . После чего коэффициенты подогнанной авторегрессионной модели сравниваются с коэффициентами вычисленными ранее для неповрежденной конструкции. Совпадение оценивается минимизацией разности (в Евклидовом смысле) между коэффициентами вычисленной авторегрессионной модели и авторегрессионной модели из базы данных. Если не обнаруживается повреждения объекта и условия эксплуатации двух моделей близки друг к другу, то выбранная из базы данных авторегрессионная модель должна аппроксимировать измеренное поведение. Если конструкция испытывает повреждения, то даже наиболее близкая авторегрессионная модель из базы данных не будет достаточно хорошо аппроксимировать измеренное поведение объекта [3].

К недостаткам АСМ относятся:

1. Высокая стоимость затрат на установку и содержание, из-за чего применение технологий мониторинга конструкций не находит широкого применения на практике. До сих пор, только конструкции, относящиеся к критическим подвергаются мониторингу. Однако сейчас, имеет место тенденция более широкого использования систем мониторинга вследствие возникновения новых технологий, снижающие затраты на их установку и последующую эксплуатацию.

2. Большинство вычислительных алгоритмов, которые разработаны для определения повреждений с использованием систем мониторинга являются излишне большими. Современные системы мониторинга имеют излишне высокую централизацию при сборе и анализе данных измерений. Количество сенсорных узлов в системах мониторинга постоянно возрастает, использование централизованного сервера данных будет приводить к увеличению потока данных измерений и способствовать перегрузке в процессе сбора данных с целью обнаружения повреждений.

3. Существует отсутствие интереса у разработчиков тратить больше денег на проект и заинтересованность владельцев скрыть истинные причины возможных аварий. К таким причинам относятся, например, неудовлетворительное качество доводочных испытаний систем в лабораторных условиях и условиях эксплуатации.

Анализ современного состояния проблемы оценки риска техногенных геодинамических систем (ТГС) позволил сделать следующие выводы.

АСМ с имеющимися алгоритмами обработки данных осуществляет первичный контроль состояний ТГС и на основе моделей частотного или временного анализа позволяет определить наличие повреждения объекта, локализовать место повреждения и время происхождения данного события.

Однако этого недостаточно для объективной оценки состояния и снижения риска в техногенной геодинамической системе. Задача будет решена, если установить соответствие между ПВС ТГС и мерой опасности состояния [4]. Поэтому главной целью исследования проблемы оценки риска технических геодинамических систем, является не определение повреждения объекта как уже свершившегося факта, а предупреждение опасной ситуации, поиск управления ПВС ТГС, обеспечивающее снижение риска до минимального уровня. Достижение сформулированной цели основывается на принципах системно-целевого подхода и осуществляется в результате решения следующей совокупности взаимосвязанных задач:

1. Разработка математической модели определения пространственно-временного состояния технических геодинамических систем и эволюции состояния по данным АСМ.

2. Разработка математической модели оценки риска перехода ТГС в опасное состояние по данным АСМ.

3. Разработка модели прогноза пространственно-временного состояния ТГС, возможность прогнозирования сценариев изменения состояния ТГС для уменьшения риска и выбора альтернативных вариантов.

4. Определение обратной связи между пространственно-временным состоянием ТГС и риском.

5. Разработка модели управления пространственно-временным состоянием технических геодинамических систем.

Усовершенствование имеющихся методов оценки риска по данным АСМ необходимо для повышения уровня безопасности ТГС, раннего предупреждения и своевременного устранения причин, влекущих за собой аварии и чрезвычайные ситуации. Создание АСМ в комплексе с мощным алгоритмом оценки и управления риском - это одна из актуальных научных задач, которая должна быть отнесена к разряду обязательных мер на уровне МЧС России по обеспечению безопасности и являться основополагающей по предупреждению чрезвычайных ситуаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артёмов, В.И. К вопросу о принципиальных подходах к оценке риска при принятии решений [Электронный ресурс]: электронный научный журнал "Современные проблемы науки и образования". – 2008. – № 1. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru>.
2. Сведения о чрезвычайных ситуациях, происшедших на территории Российской Федерации за 2010-2009 гг. [Электронный ресурс] Copyright «МЧС России», 2010. – Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru>.
3. Автоматизированная оценка состояний конструкций зданий и сооружений [Электронный ресурс]: «Геотек», 2000-2011. – Режим доступа: <http://www.geotek.ru>.
4. Вовк, И.Г. Теория определения техногенного геодинамического риска пространственно-временного состояния технических систем. [Текст] / И.Г. Вовк, Т.Ю. Бугакова // Геосибирь-2010. Т. 1, ч. 2: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия: сб. материалов V Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010», 19-29 апр. 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 21-24.

© Т.Ю. Бугакова, 2011

УДК 528.2/3

А.И. Каленицкий

СГГА, Новосибирск

А.Н. Соловицкий

КузГТУ, Кемерово

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВРЕМЕНИ ДЕФОРМАЦИЙ БЛОКОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПРИ ОСВОЕНИИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА

Предложен дальнейший этап развития прикладной геодинамической геодезии, который заключается в переходе к оценке изменений во времени деформаций блоков земной коры.

A.I. Kalenizkij

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

A.N. Solowizkij

Kuzbass State Technical University (KuzSTU)

28 Wesennaya Ul., Kemerowo, 650000, Russian Federation

THE EVALUATION OF THE CHANGES OF THE DEFORMATION OF THE BLOKS OF THE EARTH'S CRUST AT THE KUSBASS COAL INTERIOR DEVELOPMENT

The was offered the next stage of development of applied geodynamic geodesy, which means transition to the evaluation of changes of the deformation of blocks of the Earth's crust.

Предлагаемая новизна дальнейшего развития прикладной геодинамической геодезии заключается в переходе к оценке изменений во времени деформаций блоков земной коры. Данная оценка является закономерностью достигнутых успехов в исследовании движений и деформаций поверхности земной коры. Анализ влияния данных движений и деформаций показывает их обусловленность к определенной сфере человеческой деятельности, в первую очередь – это линейные объекты (железные дороги, газо- и нефтепроводы). Так на Транссибирской магистрали, эксплуатируемой свыше 100 лет, 62 % поврежденных труб приходится на зоны влияния разломов, 38 % – приходится на участки поднятия блоков земной коры, а на опускающихся участках – отсутствуют. 51 % повреждений мостов приходится на участки опускания блоков земной коры, 48 % – на участки разломов, и практически повреждения отсутствуют на участках равномерного поднятия. Просадки и провалы насыпей проявляются практически только в местах разломов, а также в них зарегистрировано до 70 % расстройств геометрии рельсовой колеи и до 90 %

сходов порожнего подвижного состава [1]. Приуроченность аварийных участков к зонам влияния разломов определяет методологию проводимых исследований. Результаты исследований в [2] подтверждают концентрацию аварийных участков в зонах влияния границ блоков земной коры:

- На Московской железной дороге (станция Бологое);
- На магистральных трубопроводах (Западная Сибирь);
- На зданиях (пос. Малино);
- На инженерных коммуникациях (г. Реутов);
- С формированием техногенных горизонтов подземных вод (Московская обл.);
- С активизацией суффозионных и оползневых процессов (Московская обл., Москва).

Открытая и подземная геотехнологии освоения недр являются не только иным видом техногенной деятельности, но и характеризуются особенностью проявления геодинамических явлений (ГДЯ) [3].

Естественное состояние блоков земной коры характеризуется геодинамическими процессами, а его состояние при подземной, открытой и строительной геотехнологии освоения недр – совместным влиянием этих процессов. Основой исследования закономерностей напряженно-деформированного состояния блочного массива горных пород месторождения является его единая теория, которая сформирована с учётом:

- Энергетической теории горных ударов;
- Энергетически-силовой теории выбросов.

В нетронutom состоянии массив горных пород представляет собой энергетически уравновешенную систему с определенным запасом накопленной упругой энергии. При освоении подземного пространства это равновесие нарушается, и могут образовываться энергетические очаги. Если такой очаг формируется вблизи поверхности обнажения, то появляется опасность хрупкого разрушения приконтурной породной области, т. е. горный удар. При формировании очага в глубине массива возможно геодинамическое явление большего масштаба – техногенное землетрясение [3].

Блочная структура массива горных пород отражает одно из устойчивых его состояний, а переход в иерархии от одного размера к другому означает переход от одного устойчивого состояния к другому [3]. Следовательно, необходим выбор не только соответственного блока земной коры горно-геологическому объекту, но и исследование изменений во времени его деформаций.

Однако, несмотря на отмеченные выше достигнутые успехи, закономерности деформаций блоков земной коры в современный период при освоении угольных и других месторождений Кузбасса не изучены: не определены кинематические и динамические параметры в зависимости от ранга, нет единого подхода проведения повторных наблюдений и построения сетей.

По нашему мнению, в первую очередь, при подземной геотехнологии освоения недр необходим переход от исследования деформаций поверхности земной коры к её отдельным блокам [3, 4], т.к. это связано:

- С ориентированием направления капитальных горных выработок;
- Раскройкой шахтных полей;
- Системами разработки;
- Порядком отработки.

А также с современными условиями ведения горных работ:

- Длиной лавы по простиранию до 6 км;
- Скоростью подвигания очистного забоя свыше 15 м в сутки;
- Средней глубиной шахт Кузбасса 300 - 400 м.

Данные условия не только обуславливают активизацию геомеханических процессов, создают угрозу внезапных выбросов, горных ударов, повышают аварийность и травматизм, но и по геометрии соизмеримы с размерами блоков земной коры низших рангов.

Кроме этого данный переход обеспечивает возможность разделить влияние природных и техногенных процессов, что регламентирует правовую ответственность.

Теоретической основой данного перехода являются следующие гипотезы [3, 4]:

- О действии и релаксации напряжений;
- О преемственности новейших движений в современный период;
- О пренебрегаемо малых скоростях деформаций земной коры, не приводящих к проявлению ГДЯ.

В рамках реализации первой гипотезы предложены динамические параметры блока земной коры (изменения во времени деформации, напряжения и потенциальной энергии деформирования, гравитационного потенциала). Данные параметры находятся в линейной зависимости от вертикальных и горизонтальных движений, изменений силы тяжести во времени и температуры структурно ориентированных пунктов ГДП и их координат в начальную эпоху.

Для реализации второй гипотезы предложен метод структурно ориентированных построений ГДП. Данные построения ГДП находятся в прямой зависимости от взаимодействия блоков земной коры месторождения по разломам, минимальное количество мобильных пунктов для каждого из них равно 4, с заложением в вершине и узлах их пересечения с учетом глубины проникновения (300 м при его размерах до 1 км) и трех стабильных пунктов – в условно-стабильном блоке.

Более 70 % блоков земной коры III-го ранга Кузбасса имеют форму полигона, образованного 4-мя узлами пересечения разломов. Таким образом, типовой фигурой построений ГДП будет центральная система из 5-ти пунктов. Форма данной системы будет определяться расположением наивысшей точки

блока земной коры и пересечением разломов, что накладывает ограничения на точностные характеристики. Основными рекомендациями по преодолению данных ограничений являются современные возможности геодезической техники.

Многоступенчатость структурно ориентированных построений ГДП в районе освоения месторождения определяется геодинамической активностью блоков земной коры рангов R и R+1 (их скоростью изменения во времени деформаций более $3 \cdot 10^{-6}$ в год).

А для реализации третьей гипотезы предложен метод регистрации развития природных и техногенных геодинамических процессов блоков земной коры на пунктах структурно ориентированные построения ГДП, основанный на прямо пропорциональной зависимости её средних квадратических погрешностей от скорости изменения во времени их деформаций в год, не приводящих к проявлению ГДЯ (менее $1 \cdot 10^{-6}$ в год), и, проводимый взаимно обусловленным комплексом высокоточных повторных геодезических и гравиметрических наблюдений наземными и космическими средствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Быкова, Н. М. Системный подход к оценке и учету геодеформационных воздействий на протяженные технические объекты [Текст]: автореф. дис. д-ра техн. наук 05. 13. 01 / Братский гос. ун-т. – Братск, 2009. – 52 с.

2. Батугин, А.С. Совершенствование методов оценки геодинамического состояния блочного массива горных пород в целях повышения экологической безопасности освоения недр и земной поверхности [Текст]: автореф. дис. д-ра техн. наук / А.С. Батугин // Москов. гос. горн. ун-т. – М., 2008. – 39 с.

3. Соловицкий, А. Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород [Текст] / А.Н. Соловицкий. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2003. – 260 с.

4. Соловицкий, А.Н. Мониторинг геодинамических явлений разрушительного характера при освоении месторождений [Текст] /А.Н. Соловицкий // ГЕО-СИБИРЬ-2010: материалы Междунар. науч. конгр., 19-29 апр. 2010 г. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 28–31.

© А.И. Каленицкий, А.Н. Соловицкий, 2011

УДК 551.24

В.Ф. Канушин, А.Г. Вахрушев, Е.Д. Румянцева

СГГА, Новосибирск

РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ ТИПА ДИРИХЛЕ МЕТОДОМ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

В работе рассмотрено решение краевой задачи динамической геодезии типа Дирихле в постановке, приведенной в работе, методами вейвлет преобразования.

V.F. Kanushin, A.G. Vakhrushev, Ye.D. Rumyantseva

SSGA, Novosibirsk

SOLUTION OF THE DYNAMIC GEODESY BOUNDARY PROBLEM OF DIRICHLET BY WAVELET-ANALYSIS

The solution of the dynamic geodesy boundary problem of Dirichlet by wavelet transform is considered.

Термин "вейвлет" (дословный перевод – маленькая волна) появился сравнительно недавно – его ввели Гроссман и Морле (Grossman & Morlet) в середине 80-х годов в связи с анализом свойств сейсмических и акустических сигналов [1].

Вейвлет-преобразование сигнала состоит в его разложении по базису, сконструированному из обладающей определенными свойствами солитоноподобной функции (вейвлета) посредством масштабных изменений и переносов. Каждая из функций этого базиса характеризует как определенную пространственную (временную) частоту, так и ее локализацию в физическом пространстве (времени) [2].

В отличие от традиционно применяемого для анализа сигналов преобразования Фурье вейвлет-преобразование обеспечивает двумерную развертку исследуемого одномерного сигнала, при этом частота и координата рассматриваются как независимые переменные. В результате появляется возможность анализировать свойства сигнала одновременно в физическом (время, координата) и в частотном пространствах.

В работе рассмотрено решение краевой задачи динамической геодезии типа Дирихле в постановке, приведенной в работе [5], методами вейвлет преобразования и Фурье-анализа.

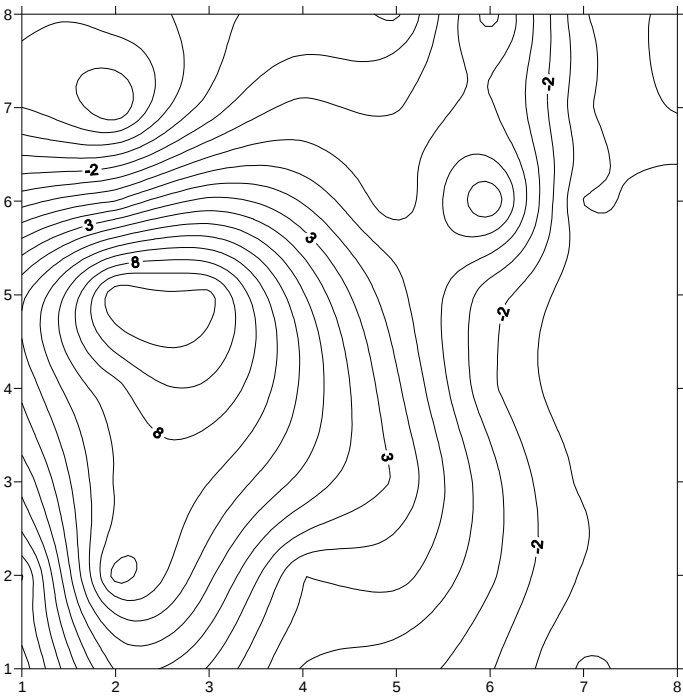
В качестве исходного граничного условия принята цифровая модель скоростей изменения высот h , полученная в работе [3] по результатам повторного высокоточного нивелирования на участке Западной Сибири, расположенном между параллелями с широтами 52°N и 68°N и меридианами с

долготами 60° Е и 90°Е. Эта модель приведена в виде картосхемы и матрицы на рисунке 1.

Для реализации вейвлет преобразования использован пакет Wavelet Toolbox [4] программного комплекса MatLAB.

Листинг кода вейвлет преобразования, используемый для решения краевой динамической задачи типа Дирихле имеет следующий вид:

```
%Исходные данные
x(1,1) = -1.50000;
x(1,2) = -1.10000;
x(1,3) = 2.30000;
x(1,4) = 4.20000;
```



Изолинии проведены через 1.0 мм/год

Матрица исходного поля

-1.5	-1.1	2.3	4.2	4.8	-0.4	-5.0	-4.7
4.1	8.5	7.1	7.6	10.8	1.0	-7.0	-4.4
2.9	5.2	7.0	8.8	10.3	3.3	-2.6	-3.3
-0.1	1.0	4.7	5.8	5.1	1.9	-0.7	-2.5
-0.4	1.4	2.9	2.2	1.3	-0.7	-1.1	-3.2
-1.9	-0.8	-0.6	-1.8	-1.6	3.0	0.1	1.5
-4.2	-3.1	-3.2	-3.8	-3.8	-4.1	-3.8	-3.9
-3.4	-3.6	-3.0	-4.0	-3.5	-3.1	-5.1	-5.3

Рис. 1. Картосхема скорости изменения высот земной коры, построенная по исходным данным, полученным по результатам многократных высокоточных нивелировок и матрица исходного поля

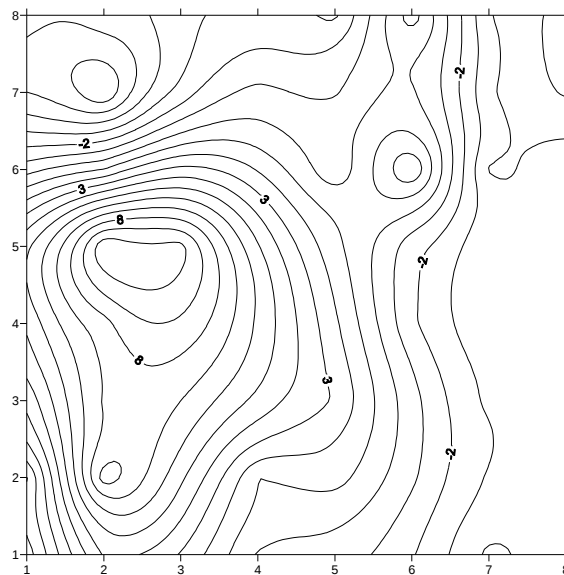
```
x(8,5) = -3.50000;
```

```

x(8,6) = -3.10000;
x(8,7) = -5.10000;
x(8,8) = -5.30000;
%Разложение вейвлетом Хаара
[D,S]=wavedec2(x,122,'haar');
%Полученные коэффициенты разложения
sa2 = appcoef2 (D, S, 'haar', 3);
sh2 = detcoef2 ('h', D, S, 3);
sv2 = detcoef2 ('v', D, S, 3);
sd2 = detcoef2 ('d', D, S, 3);
%Восстановление значений
xx=waverec2(D,S,'haar');
%Максимальный уровень разложения
lev = wmaxlev (length(x), 'haar');

```

На рис. 2 приведены результаты решения краевой задачи динамической геодезии типа Дирихле методом вейвлет-анализа.



Изолинии проведены через 1.0 мм/год

Матрицы восстановленного поля методом вейвлет – анализа

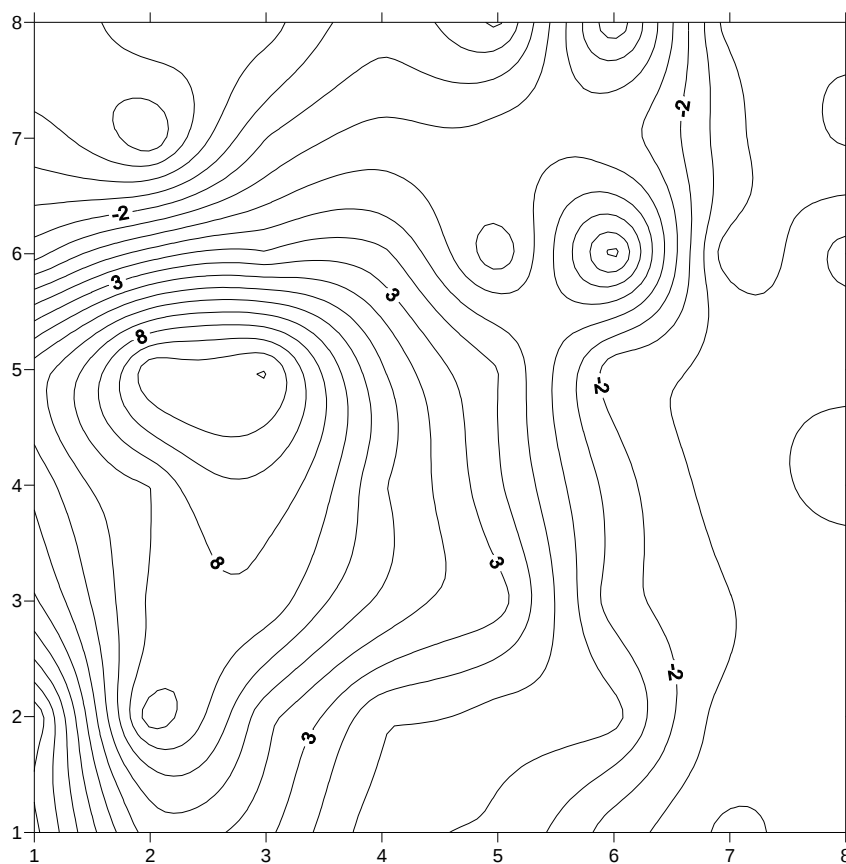
```

-1.5000000000000000 -1.0999999999999999 ... -4.7000000000000004
 4.1000000000000001 8.5000000000000004 ... -4.4000000000000003
 2.9000000000000003 5.2000000000000004 ... -3.3000000000000002
-0.0999999999999998 1.0000000000000002 ... -2.5000000000000002
-0.4000000000000001 1.4000000000000000 ... -3.2000000000000003
-1.9000000000000001 -0.8000000000000001 ... 1.4999999999999999
-4.2000000000000003 -3.1000000000000002 ... -3.9000000000000003
-3.4000000000000002 -3.6000000000000002 ... -5.3000000000000003

```

Рис. 2. Фрагмент матрицы восстановленного поля и картосхема скорости изменения высот земной коры, построенная по восстановленным данным вейвлет-анализом

Результаты решения краевой задачи динамической геодезии типа Дирихле с помощью программы CalPol, в которой реализован двумерный Фурье-анализ [5], приведены на рис. 3.



Изолинии проведены через 1.0 мм/год

Фрагмент матрицы восстановленного поля методом Фурье – анализа

-1.27344	-1.90156	2.86406 ...	-4.51094	-5.71406
4.48594	8.68906	7.14844 ...	-6.87656	-3.99844
3.25156	4.27344	7.68906 ...	-1.98594	-4.43906
0.34844	1.12656	4.81094 ...	-0.51406	-2.16094
-0.12344	0.54844	3.51406 ...	-0.56094	-4.26406
-2.53906	0.41406	-1.57656 ...	-0.80156	2.92656
-4.31094	-3.56406	-2.97344 ...	-3.64844	-4.57656
-3.17656	-3.24844	-3.11406 ...	-5.13906	-4.73594

Рис. 3. Матрица восстановленного поля и картосхема скорости изменения высот земной коры, построенная по восстановленным данным с помощью программы CalPol

Оценка точности моделирования выполнена по разностям исходного (рисунок 1) и восстановленного (рис. 2) поля с помощью вейвлет-анализа скорости изменения высот точек земной поверхности на территории Западной Сибири, средняя квадратическая ошибка составила $3 \cdot 10^{-15}$ мм/год при среднем абсолютном значении скоростей изменения высот земной поверхности 3.435 мм/год.

При выполнении оценки точности по разностям исходного (рис. 1) и восстановленного (рис. 3) поля с помощью Фурье-анализа скорости изменения высот точек земной поверхности на территории Западной Сибири, средняя квадратическая ошибка составила 0.657 мм/год при среднем абсолютном значении скоростей изменения высот земной поверхности 3.435 мм/год.

На рис. 4 представлено разностное поле по вейвлет-анализу и Фурье-анализу.

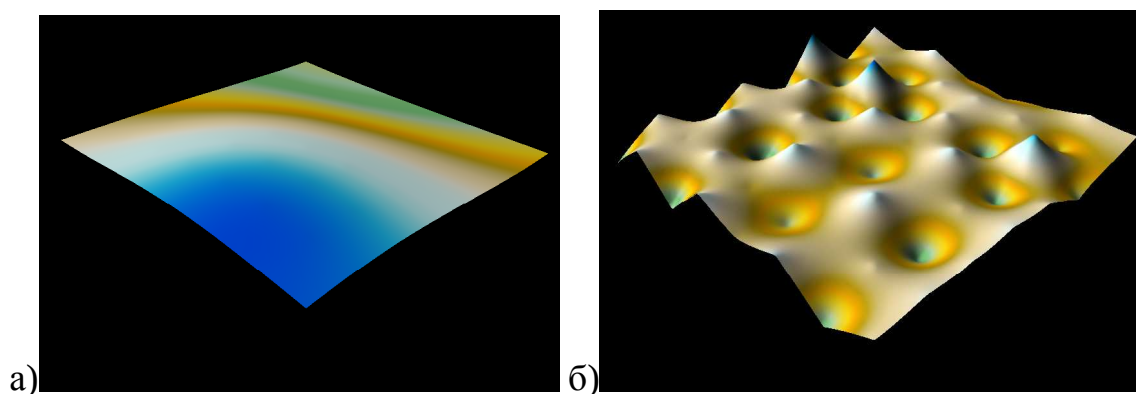


Рис. 4. Разностное поле по вейвлет-анализу и Фурье-анализу:

- а) Разность между исходным полем и восстановленным по вейвлет-анализу
- б) Разность между исходным полем и восстановленным по Фурье-анализу

Сравнивая два метода можно сделать вывод: вейвлет-анализ необходимо развивать для решения задач динамической геодезии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Астафьева, Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения [Текст] // Успехи физических наук обзоры актуальных проблем. – 1996. – Т. 166, № 11.
2. Смоленцев, Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab [Текст]. – М: ДМК Пресс.
3. Колмогоров, В.Г. Кинематика земной поверхности Западной Сибири по результатам экспериментальных методов [Текст] /В.Г. Колмогоров // Геология и геофизика. – Новосибирск, 1997. – Т.38. – С. 1538-1549.
4. 2005 Консультационный центр Matlab компании Softline [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/wavelet/>
5. Канушин, В.Ф. Определение когерентных составляющих физических полей Земли в представлении рядами Фурье / В.Ф. Канушин, И.Г. Ганагина, Д.Н. Голдобин // Сборник материалов IV междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2008» 22-24 апр. 2008 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГТА, 2008. – С.37-41.

УДК 528.2

В.Ф. Канушин, И.Г. Ганагина, Д.Н. Голдобин
СГГА, Новосибирск

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНОМАЛЬНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ

Предложен метод моделирования аномального гравитационного поля в условиях редкой гравиметрической съемки Арктического бассейна, основанный на учёте данных о рельефе дна океана.

V.F. Kanushin, I.G. Ganagina, D.N. Goldobin
SSGA, Novosibirsk

MODELING ANOMALOUS GRAVITATIONAL FIELD IN ARCTIC BASIN

The technique for modeling anomalous gravitational field under the conditions of infrequent gravimetric surveys of the Arctic basin based on the ocean bed relief records is offered.

Геофизическая изученность российского сектора арктического бассейна представлена в основном картами рельефа дна, потенциальных полей и их дериват масштаба 1:5000 000 и более крупных масштабов на отдельные районы.

Систематические гравиметрические наблюдения в Арктическом бассейне российского сектора начали проводить с 60-х годов прошлого столетия и носили в основном фрагментарный характер вплоть до 90-х годов [1]. В последние годы одним из основных видов исследований поля силы тяжести стала аэрогравиметрическая съемка [2].

Обобщенные сведения о гравиметрической изученности Арктического бассейна приведены в работе [4]. Наибольшее количество профильных измерений поля силы тяжести с судов было осуществлено в Баренцево-Карском районе. И незначительный объем выполнен в южных частях Восточно-Сибирского моря. Расстояние между профилями составляет 10 – 20 км. Средняя плотность точек измерений в пределах всего шельфа составляет 12×12 км. В северных областях моря Лаптевых, Чукотского моря и северо-восточной части Восточно-Сибирского моря плотность точек составляет 25×25 км. В глубоководной части Арктического бассейна расстояние между точками достигает сотни километров. Погрешность измерения гравитационного поля Арктического района колеблется в пределах $\pm(1-3)$ мгал и может достигать ± 5 мгал. На рисунке 1 приведена схема гравиметрической изученности Арктического бассейна по данным [4].

Зарубежная гравиметрическая изученность отдельных районов Арктического бассейна различна [3].

Рельеф дна подавляющей части Арктического бассейна представлен в виде цифровой карты ИВСАО v.1 [4] который приведен на рис. 2.

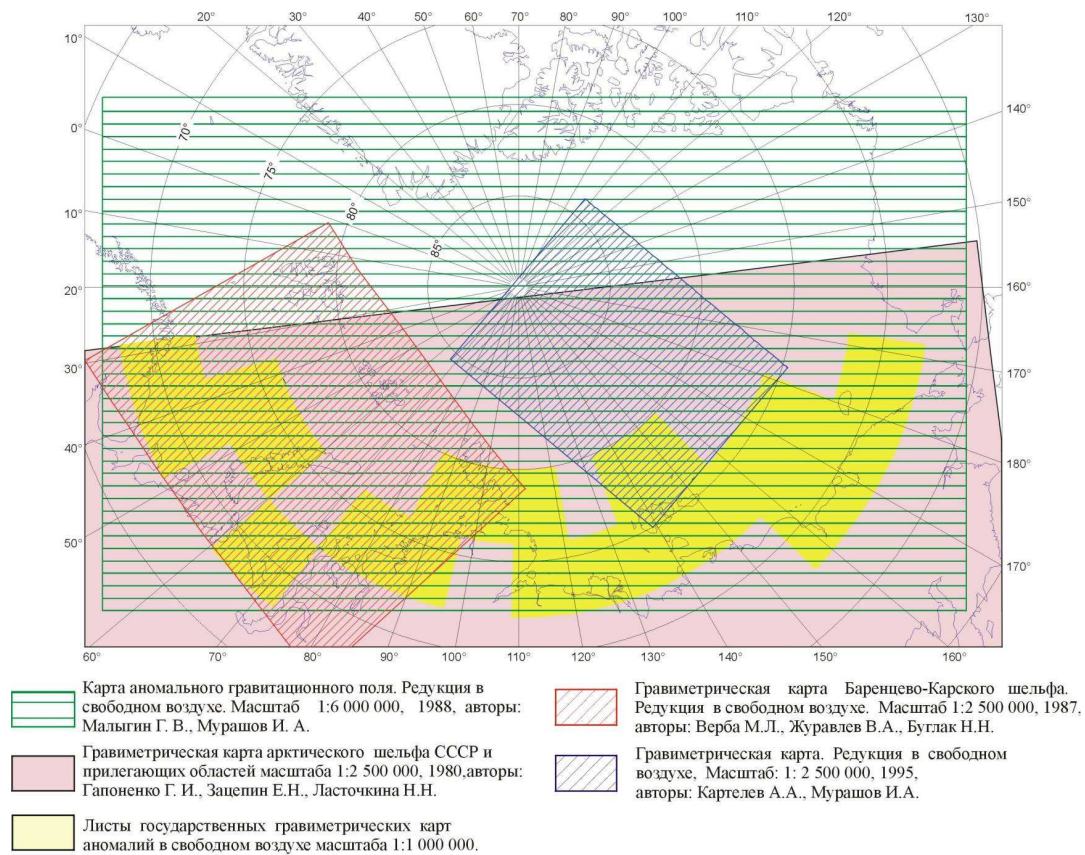


Рис. 1. Схема гравиметрической изученности Арктического бассейна

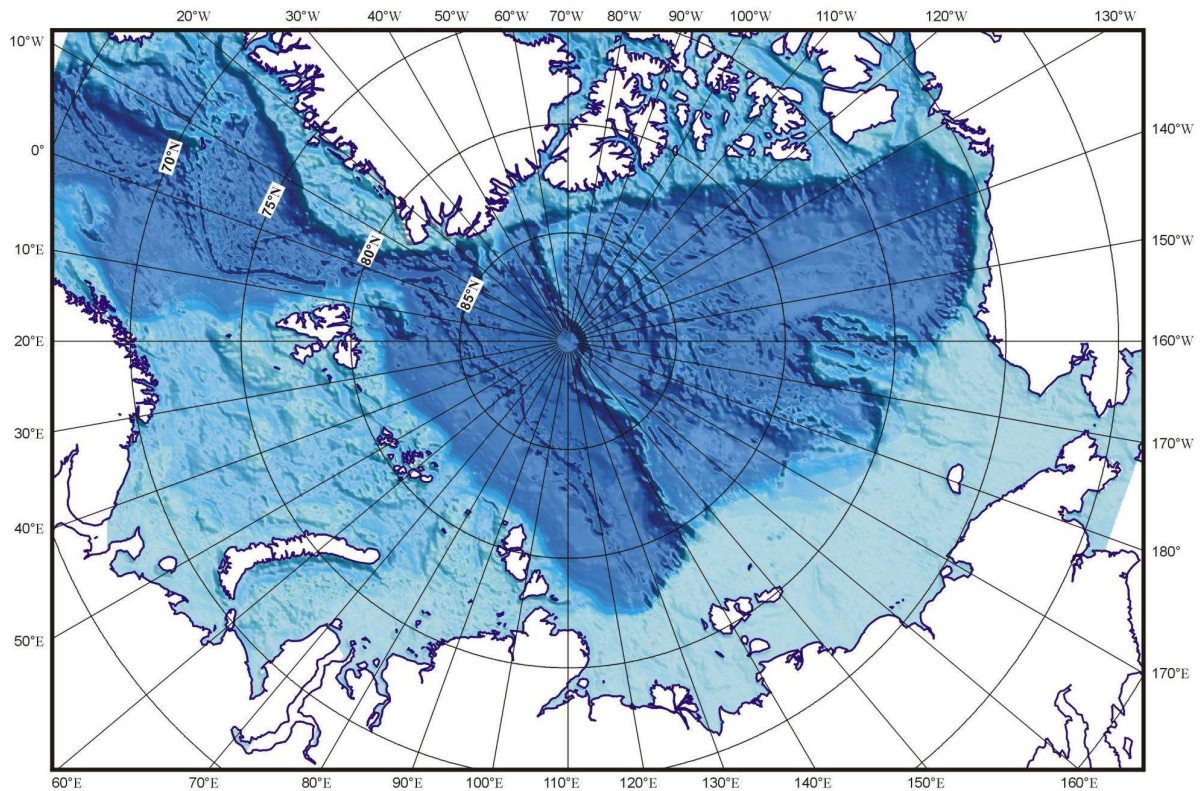


Рис. 2. Карта рельефа дна Арктического бассейна

Сводная карта аномалий силы тяжести в редукции в свободном воздухе составленная ВНИИОкеанологии и NRL [2] представлена на рис. 3.

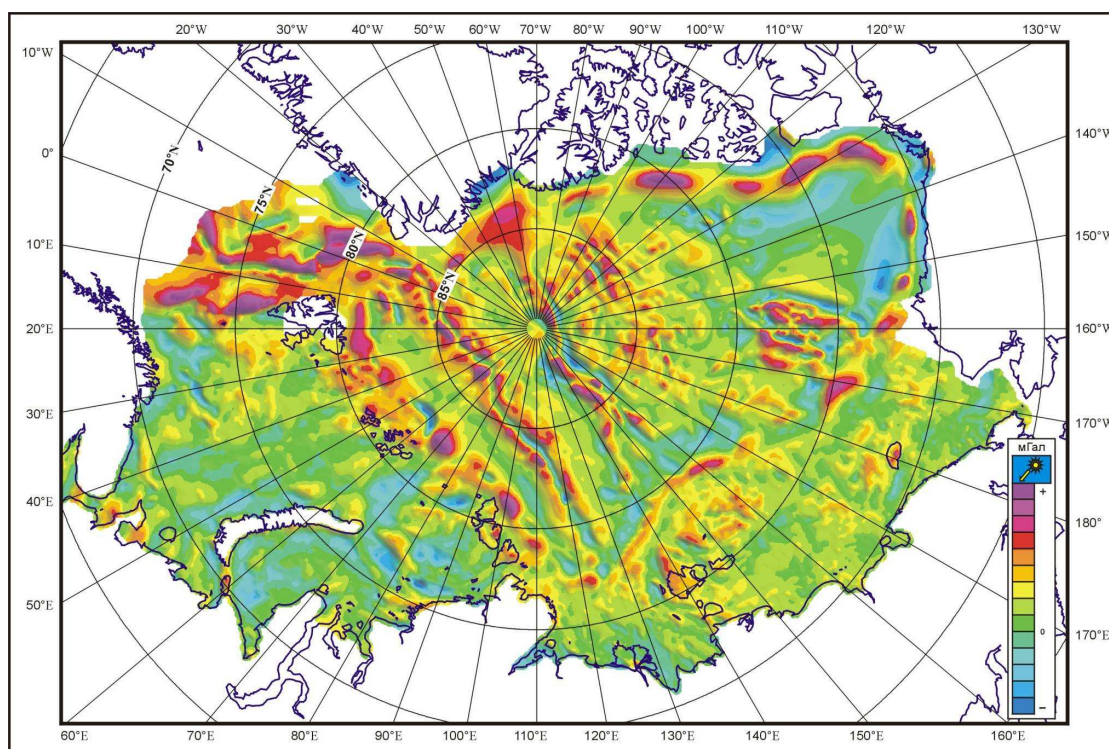


Рис. 3. Карта аномалий силы тяжести в редукции в свободном воздухе Арктического бассейна

На рис. 4 представлена карта аномалий силы тяжести в редукции Буге.

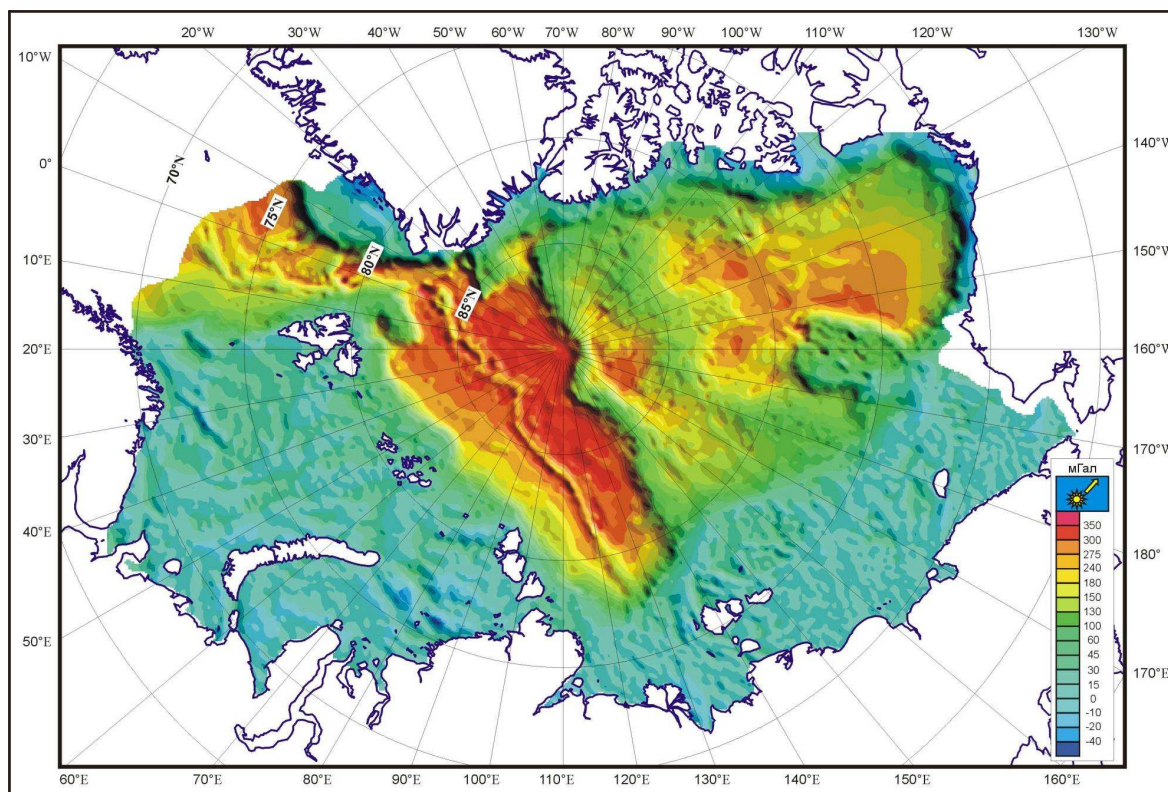


Рис. 4. Карта аномалий силы тяжести в редукции Буге Арктического бассейна

Сопоставление этих карт обращает на себя внимание прямая корреляция между рельефом дна Атлантического бассейна и аномалиями силы тяжести, что отмечено и другими исследователями [2]. Это обстоятельство позволяет в настоящее время применить для математического моделирования аномалий силы тяжести в недостаточно изученных районах Губернов, А. П. и др. х Арктического бассейна метод, основанный на учете корреляционной связи высокочастотной связи гравитационного поля Земли с рельефом дна океана. Метод был разработан в НИИГАиКе в середине 80-х годов прошлого века и приведен в работах [5, 6]. Применялся для интерполирования аномалий силы тяжести в узлах равномерной сети и при профильной съемке на морской поверхности. Точность интерполирования аномалий в свободном воздухе этим методом была примерно в 1.5 – 2.0 раза больше по сравнению с обычными методами без учета рельефа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Составление сводных геофизических и интерпретационных карт Арктического бассейна масштаба 1:6 000 000: отчет ВНИИОкеангеология / А.П. Губернов и др. – СПб., 1988. – 21 с.
2. Геолого-геофизическая изученность Северного Ледовитого океана и его континентальных окраин в свете проблемы определения положения границы континентального шельфа в Арктике / В.Д. Каминский, В.Ю. Глебовский, Ю.Г. Киселев и др. // Геологическое строение и геоморфология Северного Ледовитого океана в связи с проблемой ВГКШ Российской Федерации в Арктическом бассейне. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2000. – С. 17-30.
3. Нарышкин, Г.Д. Рельеф дна Арктического бассейна: дис. на соиск. учен. степ. д-ра географ. наук / Г.Д. Нарышкин. – М., 2001. – 151 с.
4. Maschenkov S.P., Glebovsky V.Yu., Zayonchek A.V. New Digital Compilation of Russian Aeromagnetic and Gravity Data over the North Eurasian Shelf // Polarforschung, ICAM III International Conference on Arctic Margins, 12-16 October 1998, Celle (Germany), – 2001. – V. 1.
5. Бузук, В.В. Метод интерполирования аномалий силы тяжести / В.В. Бузук, В.Ф. Канушин // Материалы VIII съезда ВАГО, 15-16 апр. 1986 г. – М., 1987. – С. 27-38.
6. Канушин, В.Ф. Моделирование аномалий силы тяжести с учетом данных о рельефе Земли в условиях неполной гравиметрической изученности: дис. на соиск. учен. степ. кандидата технических наук / В.Ф. Канушин. – Новосибирск, 1984. – 293 с.

© В.Ф. Канушин, И.Г. Ганагина, Д.Н. Голдобин, 2011

УДК 551.24

В.Ф. Канушин

СГГА, Новосибирск

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВИРИАЛА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИНАМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ

Получено новое решение задачи о динамике Земли в собственном силовом поле, которое генерируется самим телом Земли, представляющим как консервативную, так и диссипативную систему.

V.F. Kanushin

SSGA, Novosibirsk

APPLICATION OF VIRIAL METHOD FOR SOLVING DYNAMIC GEODESY PROBLEMS

A new solution has been found as regards the Earth's dynamics in eigenfield of force, generated by the Earth's body itself, the latter presenting both a conservative and dissipative system.

Регистрируемые с помощью современной техники измерений изменения гравитационного поля, неравномерность вращения Земли, движения блоков материковой коры и литосферных плит, глубинные геотектонические процессы свидетельствуют о необходимости развития новых подходов и решений задач динамической геодезии.

Земля – самогравитирующее тело, у которого гравитационные силы и силы инерции являются объемными величинами, действующими в пространстве 4π . Объемное силовое поле Земли, генерируемое гравитационным взаимодействием масс, вызывает объемное движение и объемные деформации тех же масс, а силовые поля Луны и Солнца лишь возмущают колебательное и вращательное движение Земли.

В работе [1] показано, что между гравитационными и инерционными силами у неоднородного по плотности тела Земли образуются неуравновешенные моменты инерции и возникает сжатие оболочек.

При исследовании гравитационного поля и фигуры Земли прибегают к гармоническому анализу указанного поля с представлением потенциала притяжения Земли разложением в ряд Фурье по системе шаровых функций

$$V = \frac{fM}{r} \left[1 - \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a_e}{r} \right)^n J_n P_n(\sin \varphi) + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=1}^n \left(\frac{a_e}{r} \right)^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\sin \varphi) \right], \quad (1)$$

где $P_n(\sin \varphi)$, $P_{nm}(\sin \varphi)$ - основные и присоединенные полиномы Лежандра; J_n и (C_{nm}, S_{nm}) - зональные и незональные гармонические коэффициенты,

являющиеся стоксовыми постоянными; fM и a_e – фундаментальные геодезические постоянные.

Стоксовы постоянные представляют собой линейные комбинации степенных моментов плотности земных недр вида

$$I_{pqr}(\delta) = \iiint_{\tau} \delta x^p y^q z^r d\tau \quad (2)$$

$$p + q + r = n$$

где x, y, z – геоцентрические координаты; τ – объем Земли; n – степень гармонического коэффициента геопотенциала.

Результаты определения с помощью искусственных спутников Земли гравитационных моментов I_n показали, что все четные моменты кроме второго, содержат члены равные квадрату сжатия [2].

Это позволяет при решении задач динамической геодезии использовать модель неоднородного самогравитирующего шара, гравитационный потенциал и полярный момент инерции которого можно разложить на нормальные (соответствующие однородной по массе плотности) и тангенциальные динамические эффекты неоднородного тела [1].

Выражения потенциальной U и кинетической энергии T неоднородного самогравитирующего шара имеет вид [3]

$$U = (\alpha_o^2 + \alpha_t^2) \frac{GM^2}{R}, \quad (3)$$

$$T = (\beta_o^2 - 2\beta_t^2) MR^2 \omega^2, \quad (4)$$

где $\alpha_o^2 = \beta_o^2$ – безразмерные структурные коэффициенты для законов распределения плотности в теле Земли,

$$2\alpha_t^2 = \beta_t^2,$$

индексы o и t означают радиальную и тангенциальную компоненты рассматриваемых величин.

Потенциальная и кинетическая энергии однородного шара равны между собой ($\alpha_o^2 = \beta_o^2 = 3/5$), то

$$U_o = T, \quad (5)$$

$$E_o = U_o + T_o = 2U_o \quad (6)$$

Для динамического равновесия между потенциальной и кинетической энергии взаимодействия неоднородностей с однородной массой из (3), (4) имеем

$$2U_t = T_t \quad (7)$$

$$E_t = U_t + T_t = 3U_t \quad (8)$$

$E_o, E_t, U_o, T_o, U_t, T_t$ – полная потенциальная и кинетическая энергия колебания и вращения соответственно.

Уравнения (5) – (8) представляют выражения теоремы вириалов для самогравитирующей однородной и неоднородной систем.

Из эффектов взаимодействия однородной и неоднородной по плотности массы вращательный момент сил N неоднородной гравитирующей системы относительно ее центра не равен нулю, угловой момент L системы величина не

постоянная, а энергия непрерывно расходуется при движении системы во внешнем пространстве на преодоление сопротивления трения и на поддержания равновесия, т.е.

$$N = \frac{dL}{dt} \neq 0, L \neq \text{const}, E \neq \text{const} > 0.$$

Так как результирующая гравитационного поля не равна нулю и динамическое равновесие системы определяется вириальным соотношением между потенциальной и кинетической энергией, то уравнение движения самогравитирующего тела может быть записано в вид [4]

$$\Phi = 2E - U, \quad (9)$$

где $\Phi = J_p / 2J_p$ – функция Якоби [4]; J_p – полярный момент инерции; $E = U + T$ – полная энергия; U и T – потенциальная и кинетическая энергия системы.

Строгое решение уравнения (9) с учетом (6) и (8) для радиальной и тангенциальной составляющей имеет вид

$$\Phi_o = \frac{1}{2} E_o - U_o \quad (10)$$

$$\Phi_t = \frac{1}{2} E_t - U_t \quad (11)$$

Учитывая (3) и (4) и связь между (5) и (7) можно написать

$$\Phi = -A + \frac{B}{\sqrt{\Phi}} \quad (12)$$

где A, B – постоянные величины.

Общим решением уравнения (12) в полярной системы отсчета будет [3]

$$\sqrt{\Phi} = \frac{A}{B} [1 - \varepsilon \cos(\xi - \varphi)] \quad (13)$$

где ε и φ – постоянные интегрирования зависящие от начальных значений функции Якоби Φ и ее первой производной в момент времени t_0 ; ξ – вспомогательная независимая переменная; $A = A_o = -I/2E$, $B = B_o = U_o \sqrt{\Phi_o}$ для радиальных колебаний; $A = A_t = \frac{1}{3} E_t$, $B = B_t = U_t \sqrt{\Phi_t}$ для вращения.

Рассмотренное решение задачи о вращении и колебании неоднородной по плотности шарообразного тела Земли в гравитационном поле, которое генерируется самим телом, представляющим как консервативную, так и диссипативную систему может найти приложение при решении краевых задач динамической геодезии в постановке данной в работе [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ferronsry V.I., Denisir D.A., Ferronsry S.V. Jacobi Dynamics. Dordrecht: Reidel, 1987. – 366 p.
2. Жарков, В.Н. Внутреннее строение Земли и планет /В.Н. Жарков. – М.: Наука, 1978. – 192 с.
3. Garcia Lambas D., Vosconi M.B., Sersic J.L.//Astrop. & Space Sci. 1985.VII3P 89-98.

4. Якоби, К. Лекции по динамике / К. Якоби – М., Л.: Техматиздат, 1936. – 252 с.
5. Постановка проблемы динамической геодезии, как решение геодезической краевой задачи М.С. Молоденского с краевыми условиями и граничной поверхностью изменяющейся во времени: отчет о НИР (промежуточ.) / Сиб. гос. геодез. акад., Бузук В.В. – Новосибирск: СГГА, 1997. – 47 с. – № ГР0196.00012360, ИНВ № 02.97.0005664.

© В.Ф. Канушин, 2011

УДК 528.24

А.С. Суздалев

СГГА, Новосибирск

МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБОБЩЕННОГО СФЕРИЧЕСКОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НА УЧАСТКЕ

В статье рассмотрен метод математического моделирования эволюции геофизического поля в фазовом пространстве с базисом из сферических функций. Разработана модель эволюции поля как явной функции координат и времени. При фиксированном моменте времени эта модель определяет состояние поля в каждой точке исследуемой области, а при фиксированных координатах – эволюцию поля в этой точке. Модель описывает эволюцию поля как вектор-функцию с временным параметром в фазовом пространстве с базисом из сферических функций и фазовыми координатами – функциями времени, характеризующими состояние поля. Фазовые координаты геофизического поля представлены гармоническими коэффициентами, полученными по результатам обобщенного сферического гармонического анализа в фазовом пространстве на ряд эпох. Процесс эволюции отображается фазовой траекторией. Данный метод применен для моделирования эволюции планетарного и локального гравитационного поля Земли.

A.S. Suzdalev

SSGA, Novosibirsk

THE TECHNIQUES FOR MATHEMATICAL SIMULATION OF THE EARTH GEOPHYSICAL FIELD EVOLUTION ON THE BASIS OF THE GENERALIZED SPHERICAL HARMONIC ANALYSIS ON THE SITE

The paper deals with the techniques for mathematical simulation of the geophysical field evolution in phase space with spherical functions basis. The model of the field evolution as an explicit function of coordinates and time has been developed. With the fixed time moment this model determines the state of the field in each point of the area under study, and with the fixed coordinates – the evolution of the field in this point. The model describes the field evolution as a vector-function with time parameter in phase space with spherical functions basis and phase coordinates – functions of time characterizing the field state. The phase coordinates of the geophysical field are presented by harmonic coefficients received from the results of the harmonic analysis in phase space on a series of epochs. The evolution process is given as a phase path. The present technique is applied for simulating the evolution of the terrestrial planetary and local gravitational field.

Для описания эволюции геофизического поля рассмотрим его состояние как функцию времени [1,2]. Состояние геофизического поля, изменяемое в результате внешних воздействий или внутренних процессов, определяется набором характеристик q_i ($i = 1, 2, \dots, L$). Каждая из этих характеристик принимает значения из некоторого множества Q_i , т. е. $q_i \in Q_i$. Следовательно, множество S возможных состояний геофизического поля – есть произведение множеств (1)

$$S = Q_1 \times Q_2 \times \dots \times Q_L. \quad (1)$$

Это множество есть пространство состояний геофизического поля или фазовое пространство. Каждая точка этого пространства с координатами $\{q_1, q_2, \dots, q_i\}$ называется фазовой точкой. Она характеризует одно из состояний геофизического поля.

В процессе эволюции геофизическое поле переходит из одного состояния в другое. Поэтому значения характеристик q_i меняются и могут рассматриваться как функции времени. Эти функции можно интерпретировать как фазовые координаты точки в L -мерном фазовом пространстве. Тогда процессу эволюции геофизического поля будет соответствовать фазовая траектория, уравнение которой определяется вектор-функцией

$$\vec{q} = \vec{q}(t) = \{q_1, q_2, \dots, q_i\}. \quad (2)$$

Вектор-функция (2) представляет собой математическую модель эволюции геофизического поля. Любая математическая модель описывает объект моделирования лишь приближенно, отображая те или другие его свойства. Модель эволюции геофизического поля (2) не является исключением. В ней отображаются лишь те его свойства, которые представлены фазовыми координатами. Эволюция геофизического поля может быть строго детерминированной или иметь стохастический характер.

Рассмотрим процесс моделирования эволюции геофизического на примере гравитационного поля. Состояние реального гравитационного поля в произвольный момент времени $t \in (\tau_0, \tau_k)$ для сферы или ее участка, обусловленное внутренними и внешними геодинамическими процессами, в точке $P(\varphi, \lambda)$ задается потенциальной функцией

$$\vec{W} = \vec{W}(P, t). \quad (3)$$

Одной из наиболее распространенных математических моделей гравитационного поля, представляющей его как явную функцию координат и времени, является ряд Фурье по системе сферических функций. Гармонические коэффициенты (4) этого ряда являются функциями времени

$$\left. \begin{aligned} a_{nm} &= a_{nm}(t) \\ b_{nm} &= b_{nm}(t) \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

В фазовом пространстве, с базисом из сферических функций, фазовые координаты гравитационного поля (3) – это гармонические коэффициенты $a_{nm}(t)$, $b_{nm}(t)$. Следовательно, моделью эволюции гравитационного поля (3) служит вектор-функция

$$\vec{W} = \vec{W}(t) = \{a_{nm}(t), b_{nm}(t)\};$$

$$n = 0, 1, 2, \dots; m = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Модуль вектор – функции (5) для любого момента времени t /101/ определяется по формуле

$$|\vec{W}(t)| = \left\{ \sum_n^N \sum_{m=0}^n (a_{nm}^2(t) + b_{nm}^2(t)) \right\}^{1/2}, \quad (6)$$

а направление задается орт – вектором (7)

$$\vec{W}^o(t) = \left\{ \frac{a_{nm}(t)}{|\vec{W}(t)|}, \frac{b_{nm}(t)}{|\vec{W}(t)|} \right\}. \quad (7)$$

В свою очередь, формулы (6)-(7) можно интерпретировать как фазовые координаты состояния гравитационного поля, представив его эволюцию моделью

$$\vec{W}(t) = \{|\vec{W}(t)|, \vec{W}^o(t)\}. \quad (8)$$

В формуле (8) можно положить

$$|\vec{W}(t)| = \left\{ \sum_{n=0}^N |\vec{D}_n(t)|^2 \right\}^{1/2}, \quad (9)$$

где

$$\vec{D}_n(t) = \{a_{nm}(t), b_{nm}(t)\} \quad (10)$$

– степенные дисперсии; а $m=0, 1, 2, \dots, n$; $n=0, 1, 2, \dots, N$.

В качестве фазовых координат моделей эволюции гравитационного поля можно принимать любые функции гармонических коэффициентов: порядковые дисперсии, моменты инерции и т.п.

Взаимное положение векторов $\vec{W}(t_i)$ и $\vec{W}(t_j)$ относительно друг друга определяется по формуле

$$\cos \alpha(t_i, t_j) = \{\vec{W}(t_i), \vec{W}(t_j)\} / \{|\vec{W}(t_i)| |\vec{W}(t_j)|\}, \quad j = 1, \dots, 5; i \in j. \quad (11)$$

Модель (6), (7) описывает эволюцию гравитационного поля. Для ее реализации необходимо определение стационарных моделей гравитационного поля методом обобщенного сферического гармонического анализа на ряд эпох $t_i = \tau_0 + \Delta \tau_i$ ($i=1, \dots, M$). По этим моделям составляются временные ряды гармонических коэффициентов, которые используются для построения моделей аппроксимации временных изменений коэффициентов.

В том случае, когда начало вектора $\vec{W}(P, t)$ помещено в фиксированную точку пространства, при изменении скаляра t он описывает в пространстве кривую. График этой кривой изображает модель эволюции гравитационного поля в соответствующем фазовом пространстве.

Исходя из формулы (11), найдем угол

$$\alpha(t_i, t_j) = \arccos(\cos \alpha(t_i, t_j)). \quad (12)$$

Итак, эволюцию как гравитационного, так и любого другого геофизического поля можно представить моделями (3)-(4) или (8). Модель (3), с учетом (4), описывает эволюцию поля как явную функцию координат и времени. При фиксированном моменте t эта модель определяет состояние поля в каждой точке исследуемой области, а при фиксированных координатах – эволюцию поля в этой точке. Модели (5) или (8) описывают эволюцию поля как вектор-функцию с временным параметром в фазовом пространстве с базисом из сферических функций и фазовыми координатами – функциями времени, характеризующими состояние поля.

Описанный метод математического моделирования эволюции гравитационного поля был применен для моделирования пространственно-временных вариаций астрономо-геодезических координат, обусловленных влиянием баростатической составляющей вариаций топографии океанической поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вовк, И.Г. Моделирование эволюции планетарного гравитационного поля Земли / И.Г. Вовк, А.С. Суздалев // Тез. докл. Научно.-техн. конф. СГГА. – Новосибирск: СГГА, 1996. – С. 161-162.
2. Вовк, И.Г. Математическое моделирование эволюции геофизических полей по результатам сферического гармонического анализа / И.Г. Вовк, А.С. Суздалев // Вестник СГГА. – 1997. – Вып. 2. – С. 97-99.

© А.С. Суздалев, 2011

УДК 528.3

В.А. Падве

СГГА, Новосибирск

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НЕОБХОДИМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СЛУЧАЙНЫЕ ПРИБЛИЖЁННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МНК- ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Предлагается модификация универсального синтезированного алгоритма МНК-оптимизации (уравнивания и оценки точности) геопространственных данных, принимающая в расчёт случайность приближённых значений параметров.

V.A. Padve

SSGA, Novosibirsk

TRANSFORMATION OF NECESSARY MEASUREMENTS INTO RANDOM APPROXIMATE PARAMETERS VALUES FOR LEAST-SQUARES OPTIMIZATION OF GEOSPATIAL DATA

The paper offers modification of the universal synthesized algorithm of least squares optimization (adjustment and accuracy estimation) of geospatial data taking into account randomness of the parameters approximated values.

Традиционная схема параметрической версии МНК-оптимизации (уравнивания) и оценки точности геопространственных данных предполагает приближённые значения « x_{k1} » параметров X_{k1} неслучайными величинами, точность которых не определена. Число линейно независимых параметров « k » обуславливается целью создания геодезического построения (ГП).

Реально величины « x_{k1} » вычисляются по измеренным данным « y_{n1} », являющимся случайными величинами и характеризующимися априорной ковариационной матрицей $K_y = \sigma_0^2 \cdot P^{-1}$. Такой подход к этой проблеме известен в геодезической литературе, например, в работах [1] и [2]. Мы предлагаем иное по форме решение той же задачи.

Если вычислять вектор « x_{k1} » строго по необходимым измерениям « y_{k1} », изымая их из вектора « y_{n1} » то, во-первых, приближённые значения станут случайными величинами, будучи функциями случайных аргументов:

$$X_{k1} = F_{k1}(Y_{k1}). \quad (1)$$

Во-вторых, используя соответствующий блок K_{kk} ковариационной матрицы K_y , мы можем найти ковариационную матрицу K_x уже *случайного* вектора « x_{k1} »:

$$K_x = f_{kk} * K_{kk} * f_{kk}^T. \quad (2)$$

Данная процедура приведёт к уменьшению объёма вектора измерений, в котором останутся только избыточные измерения « y_{r1} », число которых равно разности $r = n - k$. Одновременно уменьшится ковариационная матрица $K_y(n,n)$, сократившись на блок K_{kk} и став матрицей $K_y(r,r)$.

Такой алгоритм может быть получен как частный случай универсального синтезированного алгоритма [3], в котором блоки, учитывающие влияние ошибок координат исходных пунктов отсутствуют:

$$\begin{pmatrix} K_{rr}^{-1} & 0 & -I \\ 0 & K_x^{-1} & A^T \\ -I & A & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{V} \\ \tilde{X} \\ \Lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ L \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Здесь I_{rr} – единичная матрица; A_{rk} и L_{r1} – коэффициенты и свободные члены параметрических уравнений поправок; $\tilde{V}_{r1}$ и $\tilde{X}_{k1}$ – МНК-поправки в избыточные измерения и приближённые значения параметров, соответственно; Λ_{r1} – неопределённые множители Лагранжа (коррелаты).

Одношаговое решение системы (3) имеет вид:

$$\begin{pmatrix} \tilde{V} \\ \tilde{X} \\ \Lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{rr}^{-1} & 0 & -I \\ 0 & K_x^{-1} & A^T \\ -I & A & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ L \end{pmatrix}. \quad (4)$$

В результате такого решения мы сразу получаем:

1) Вектор МНК-поправок $\tilde{V}_{r1}$ к избыточным измерениям « y_{r1} », вектор МНК-поправок $\tilde{X}_{k1}$ к приближённым значениям параметров « x_{k1} » и вектор «коррелат» Λ_{r1} ;

2) Априорные ковариационные матрицы-блоки уравненных (МНК-оптимизированных) данных, параметров и «коррелат», являющиеся блоками обратной матрицы коэффициентов системы (4), т.е.

$$\begin{pmatrix} K_{rr}^{-1} & 0 & -I \\ 0 & K_x^{-1} & A^T \\ -I & A & 0 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} K_{\bar{Y}} & K_{\bar{Y}\bar{X}} & K_{\bar{Y}\Lambda} \\ K_{\bar{X}\bar{Y}} & K_{\bar{X}} & K_{\bar{X}\Lambda} \\ K_{\Lambda\bar{Y}} & K_{\Lambda\bar{X}} & K_{\Lambda} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Вектор коррелат Λ может быть востребован для контроля вычислений:

$$\tilde{V}_{r1} = K_{rr} * \Lambda; \quad \tilde{X}_{k1} = -K_x * A^T * \Lambda. \quad (6)$$

Показатель точности измерений оценивается апостериори по обоим векторам МНК-поправок:

$$\mu^2 = (\tilde{V}^T K_{rr}^{-1} \tilde{V} + \tilde{X}^T K_x^{-1} \tilde{X}) / r. \quad (7)$$

Апостериорную оценку точности уравненных измерений и параметров получим, умножив соответствующие блоки матрицы (5) на показатель точности:

$$\bar{K}_{\bar{Y}} = \mu^2 * K_{\bar{Y}} \quad \bar{K}_{\bar{X}} = \mu^2 * K_{\bar{X}}. \quad (8)$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wells, D.E., The Method of least squares. University of New Brunswick /D.E. Wells, E.J. Krakiwsky. – Canada, 1971.
2. Маркузе, Ю.И. Теория математической обработки геодезических измерений, Кн. 2. – М.: МИИГАиК, 2005. – С. 19 – 21.
4. Падве, В.А. Универсальный синтезированный алгоритм МНК-оптимизации геопространственных данных /В.А. Падве// ГЕО-Сибирь – 2005. – Новосибирск, СГГА, 2005. – Т. 1, ч. 2. – С. 24-29.

© В.А. Падве, 2011

УДК 528.063

Н.А. Телеганов

СГГА, Новосибирск

УРАВНИВАНИЕ ВНОВЬ ПРИСОЕДИНЁННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Рассматривается вопрос «последовательного уравнивания» и оценки точности двух последовательных очередей построения, основанного на общей теории обработки геодезических сетей с учетом ошибок исходных данных при коррелированных результатах измерений.

N.A. Teleganov

SSGA, Novosibirsk

ADJUSTMENT OF NEWLY ADJOINED GEODETIC NETWORKS

The problem of «single- point adjustment» and accuracy evaluation is considered as concerns the two successive queues of the construction based on the general theory of geodetic systems processing taking into account the original data errors in the correlated measurement results.

В настоящее время, в геодезической практике, очень часто возникает необходимость в расширении существующих сетей за счёт присоединения к ним новых построений. Такая задача возникает, например, в связи с ростом городов, расширением промышленных районов страны, строительством обширных гидротехнических сооружений и т.д.

В этом случае, при применении строгой классической теории математической обработки, возникает проблема переуравнивания ранее созданной геодезической сети совместно с вновь построенной.

Совершенно очевидно, что такая строгая математическая обработка, для достаточно обширной геодезической сети, превращается в очень сложную и громоздкую, с практической точки зрения задачу, требующую больших затрат труда и времени не только непосредственно на саму математическую обработку, но и на поиск и восстановление измерений прошлых лет.

Поэтому на практике в настоящее время очень часто применяется метод раздельного (поэтапного) уравнивания первой и второй очередей построения, без учета каких либо связей между ними. Понятно, что такой метод обработки будет нестрогим.

Однако эту задачу можно решить абсолютно строго и без совместного уравнивания непосредственно измеренных величин первого и второго участков сети, если воспользоваться теорией, так называемого, «последовательного метода» уравнивания, основанного на теории обработки зависимых величин с учетом ошибок исходных данных. Суть такого уравнивания заключается в том,

что при математической обработке второй очереди построения уравниванию подлежат не только результаты непосредственных измерений второго участка, но и уже уравненные параметры первой очереди построения. Такой метод математической обработки, теоретически являясь абсолютно строгим способом, практически оказывается в значительной степени проще классического, т.е. совместного способа уравнивания обоих участков сети.

К сожалению, в современной геодезической литературе, вопросу последовательного уравнивания геодезических сетей уделяется недостаточное внимание, особенно вопросам точности и эффективности применения этого метода на современном этапе [1],[2].

Целью настоящей статьи является экспериментально, на примере обработки небольшой геодезической сети, показать преимущества применения «последовательного метода» уравнивания в самом общем (строгом) его виде, т.е. с учётом коррелированности результатов непосредственных измерений второй очереди построения.

Эксперимент проводился на макете геодезической сети (рис.1), который имитирует сеть, состоящую из двух очередей построения. Первая очередь включает в себя пункты с номерами 1, 2, 3, ..., 13, а вторая очередь (присоединенная часть) пункты: 14, 15, 16, 17.

В качестве исходных данных при построении первой очереди сети приняты координаты пунктов с номерами: 1, 2, 12 и 13. Причем координаты этих пунктов принимались при дальнейшей математической обработке за безошибочные величины. Это было сделано с целью исключения влияния ошибок исходных данных на результаты эксперимента.

Моделирование («построение») геодезической сети, как первой так и второй очередей, производилось по специально составленной автором программе, как сетей триангуляции, т. е. моделировались «непосредственно измеряемые» углы с ошибкой 1".

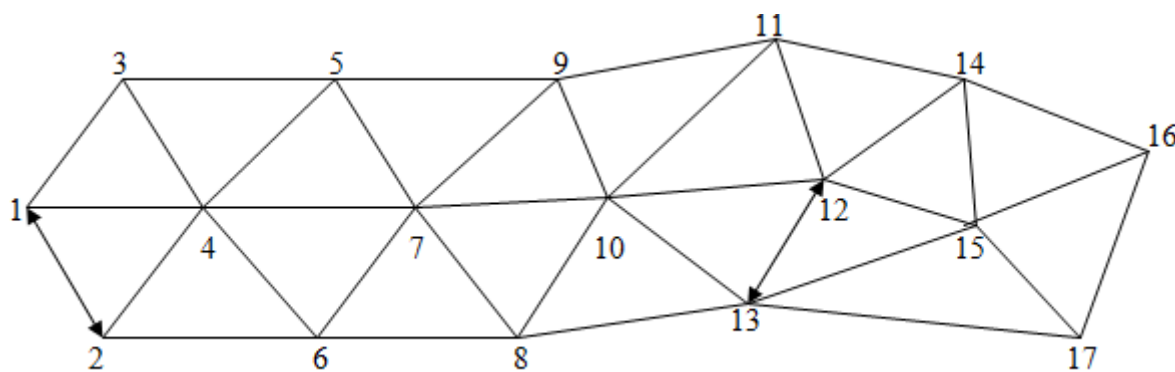


Рис. 1

Программа эксперимента помимо моделирования геодезической сети включала:

- Уравнивание результатов непосредственных измерений (углов) первого участка сети при наличии исходных пунктов 1,2,12,13, как самостоятельного

построения, с оценкой точности получения координат пункта 7, дирекционного угла и стороны 7-9;

- Уравнивание второго участка, также по углам и при наличии исходных пунктов 12 и 13, как самостоятельного построения, с оценкой точности получения координат пункта 16, дирекционного угла и стороны 16 -17;

- Совместное уравнивание двух очередей (как единой сети) построения по непосредственным измерениям (углам) с оценкой точности тех же элементов геодезической сети;

- «последовательное уравнивание» сети, т.е. уравнивание только результатов непосредственных измерений второй очереди построения, но с учетом уже ранее уравненных параметров первой очереди, с оценкой точности тех же элементов сети.

Раздельное уравнивание – по участкам и совместное, т.е. уравнивание и первой и второй очередей построения совместно, по непосредственно измеренным углам, выполнялось параметрическим способом при безошибочных исходных данных по хорошо известному алгоритму.

Алгоритм последовательного уравнивания заключался в следующем.

Обозначим:

$T_{n.1} = \{ \tau_{i.1} \}$ - вектор результатов непосредственных измерений (углов) второй очереди построения;

$Y_{t.1} = \{ y_{j.1} \}$ - вектор параметров (определяемых координат) второй очереди построения;

$\bar{X}_{q.1} = \{ \bar{x}_{k.1} \}$ - вектор уравненных параметров (координат определяемых пунктов) первой очереди построения.

При этом будем полагать, что результаты непосредственных измерений характеризуются корреляционной матрицей, известной с точностью до постоянного множителя - μ^2 :

$$Q_{T(n.n)} = P_{T(n.n)}^{-1/2} R_{T(n.n)} P_{T(n.n)}^{-1/2}, \quad (1)$$

а уравненные параметры первого участка сети, характеризуются корреляционной матрицей, полученной из уравнивания первой очереди построения:

$$Q_{\bar{X}(q.q)} = N_{q.q}^{-1}. \quad (2)$$

Здесь: P_T – матрица весов результатов измерений; R_T – матрица коэффициентов корреляции, при этом матрица Q_T определяется по результатам измерений, а $N_{q.q}^{-1}$ - обратная матрица коэффициентов нормальных уравнений первой очереди построения.

Уравнения поправок при параметрическом способе последовательного уравнивания второй очереди построения в векторной форме, будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} V_{\bar{X}(q.1)} &= \delta \bar{X}_{(q.1)}, \\ V_{T(n.1)} &= A_{2.1(n.q)} \delta \bar{X}_{(q.1)} + A_{2.2(n.t)} \delta Y_{t.1} + L_{T(n.1)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь $A_{2,1}$ и $A_{2,2}$ – матрицы частных производных результатов измерений второго участка (как функций параметров сети), соответственно по уравненным параметрам первого участка и определяемым параметрам второго участка сети.

Решая уравнения (3) под условием:

$$F = V_{\bar{X}}^T Q_{\bar{X}}^{-1} V_{\bar{X}} + V_T^T Q_T^{-1} V_T = \min,$$

сначала переходят к нормальным уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} (Q_{\bar{X}}^{-1} + N_{21,21}) \delta \bar{X} + N_{21,22} \delta Y + B_{21,T} &= 0, \\ N_{22,21} \delta \bar{X} + N_{22,22} \delta Y + B_{22,T} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где: $N_{21,21} = A_{21}^T Q_T^{-1} A_{21}$; $N_{21,22} = A_{21}^T Q_T^{-1} A_{22}$; $N_{22,21} = A_{22}^T Q_T^{-1} A_{21}$
 $N_{22,22} = A_{22}^T Q_T^{-1} A_{22}$; $B_{21,T} = A_{21}^T Q_T^{-1} L_T$; $B_{22,T} = A_{22}^T Q_T^{-1} L_T$

А затем, уже решая систему нормальных уравнений (4), напримр, с помощью обратной матрицы, получаем:

$$\left. \begin{aligned} \delta \bar{X}_{(q,1)} &= - (\beta_{11(q,q)} B_{21,T(q,1)} + \beta_{12(q,t)} B_{22,T(t,1)}), \\ \delta Y_{(t,1)} &= - (\beta_{21(t,q)} B_{21,T(q,1)} + \beta_{22(t,t)} B_{22,T(t,1)}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Здесь: $\beta_{22} = N_{22,22} - N_{22,21} (N_{21,21} + Q_{\bar{X}}^{-1})^{-1} N_{21,22}$,
 $\beta_{21} = - \beta_{22} N_{22,21} (N_{21,21} + Q_{\bar{X}}^{-1})^{-1}$,
 $\beta_{12} = - (N_{21,21} + Q_{\bar{X}}^{-1})^{-1} N_{21,22} \beta_{22}$,
 $\beta_{11} = (N_{21,21} + Q_{\bar{X}}^{-1})^{-1} - (N_{21,21} + Q_{\bar{X}}^{-1})^{-1} N_{21,22} \beta_{21}$.

Получив поправки, находят уравненные значения:

$\bar{\bar{X}}_{(q,1)} = \bar{X}_{(q,1)} + \delta \bar{X}_{(q,1)}$ - параметров первой очереди построения,

$\bar{\bar{Y}}_{(t,1)} = Y_{(t,1)}^o + \delta Y_{(t,1)}$ - параметров второй очереди построения,

$\bar{\bar{T}}_{(n,1)} = T_{(n,1)} + V_{T(n,1)}$ - результатов измерений второй очереди построения.

Если потребуется получить окончательно уравненные значения измеренных величин первой очереди построения - τ_i ($i=1,2,3,\dots,m$), то их можно получить по формуле:

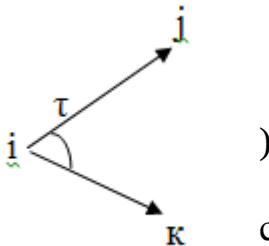


Рис. 2

$$\bar{\tau}_i = \tan^{-1}((\bar{y}_k - \bar{y}_i) / (\bar{x}_k - \bar{x}_i)) - \tan^{-1}((\bar{y}_j - \bar{y}_i) / (\bar{x}_j - \bar{x}_i))$$

Здесь $\bar{x}$ и $\bar{y}$ - окончательно уравненные координаты соответствующих точек (рис. 2).

Оценка точности при последовательном способе уравнивания выполняется в обычном порядке. Вначале вычисляется ошибка единицы веса по формуле:

$$\mu^2 = (\delta \bar{X}^T Q_{\bar{X}}^{-1} \delta \bar{X} + V_T^T Q_T^{-1} V_T) / (n - t) \quad (6)$$

Затем определяется корреляционная матрица вектора оцениваемых функций - $\bar{\Phi}_{S,1}$, который в линейном виде, в случае последовательного уравнивания, может быть представлен:

$$\bar{\Phi}_{S,1} = \Phi_{S,1}^o + F_{X(S,q)} (\delta X + \delta \bar{X})_{(q,1)} + F_{Y(S,t)} \delta Y_{(t,1)}, \quad (7)$$

где: Φ^o – вектор безошибочных значений оцениваемых функций;

$$\left. \begin{aligned} F_X &= \{ (\partial \Phi_i / \partial x_j)_{i,j} \}, (i=1,2,3,\dots,s; j=1,2,3,\dots,q) \\ &= \{ (\quad / \quad)_{i,k} \}, (k=1,2,3,\dots,t) \\ F_Y &= \{ \partial \Phi_i / \partial y_k \} \end{aligned} \right\} \text{ матрицы}$$

коэффициентов разложения вектора функций в ряд с целью его линеаризации;

∂X - вектор поправок в параметры первой очереди построения при первичном его уравнивании.

Подставив все необходимые данные в выражение (7), после несложных преобразований, окончательно получаем:

$$\begin{aligned} K_{\Phi} &= \mu^2 (\bar{F}_{xy} Q_T \bar{F}_{xy}^T + \bar{\bar{F}}_{xy} Q_T \bar{\bar{F}}_{xy}^T), \\ \text{где: } \bar{F}_{xy} &= (F_X \beta_{11} + F_Y \beta_{21}) A_{21}^T Q_T^{-1} + (F_X \beta_{12} + F_Y \beta_{22}) A_{22}^T Q_T^{-1}; \\ \bar{\bar{F}}_{xy} &= (F_X - \bar{F}_{xy} A_{21}) (N_{22,22})^{-1} A_{22}^T Q_T^{-1}. \end{aligned} \quad (8)$$

Анализ результатов *раздельного, совместного и последовательного* способов уравнивания выполним путем сопоставления (сравнения) непосредственно полученных результатов из этих способов уравнивания. В таблице № 1 приведены различные показатели результатов этих методов обработки геодезической сети (рис. 1).

Таблица 1

Параметры	Раздельное Уравнивание по участкам	Наибольшие расхождения между смежными способами уравнивания	Совместное уравнивание двух участков	Наибольшие расхождения между смежными способами уравнивания	«Последова тельное» уравнивание
Максимальные из поправок в углы $ V_{\tau} $	1.73'' (0.92'')		1.83''		1.83''
$ V_{\tau} - V_{\tau} $		0.51''		0.01''	
Максимальные из поправок в параметры $ \delta x $	1.013 м		1.340 м		1.340 м
$ \delta x - \delta x $		0.276 м		0.001 м	
Максимальные ошибки оцениваемых функций : - сторон - координат	0.023 м 0.026 м		0.050 м 0.060 м		0.043 м 0.052 м
$ m_f - m_f $ - сторон - координат		0.005 м 0.005 м		0.008 м 0.004 м	

Анализ результатов, полученных из различных способов уравнивания сети (рис.1), показал, что последовательный и совместный способы совершенно эквивалентны, в том смысле, что приводят к получению на практике одинаковых поправок из уравнивания как результатов непосредственных измерений, так и поправок в параметры сети. Практическое совпадение (в пределах точности вычислений) среднеквадратических ошибок определения различных элементов геодезической сети: координат, сторон и дирекционных

углов из уравнивания тем и другим способами, также подтверждают их эквивалентность.

Однако объёмы вычислительных работ различны. Они значительно меньше при « последовательном» способе уравнивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герасименко М.Я. К вопросу о последовательном уравнивании геодезических сетей // Изв. вузов, ГИА, 1979, № 4.

2. Маркузе Ю.И. Последовательное уравнивание геодезических сетей и способ Пранис – Праневича // Изв. вузов, ГИА, 1975. № 5.

3. Телеганов Н.А. Моделирование вектора зависимых псевдослучайных чисел в соответствии с наперед заданной корреляционной матрицей // Межвузовский сборник. Математическая обработка результатов геодезических наблюдений, Новосибирск, 1993.

© Н.А. Телеганов, 2011

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ, ВЫЗЫВАЕМЫХ СНЕЖНЫМ ПОКРОВОМ

Каждой точке на Земле соответствует некоторое определенное значение силы тяжести, которое создается, главным образом, неоднородным распределением плотностей Земли. Эти значения изменяются во времени в зависимости от положения Луны, Солнца, планет и других факторов. К таким факторам можно отнести и сезонные изменения силы тяжести обусловленные снежным покровом. В работе на модели выполнена оценка изменений силы тяжести вызываемых снежными покровами с различными характеристиками.

Yu.G. Kostyna

SSGA, Novosibirsk

ESTIMATION OF GRAVITY CHANGES CAUSED BY SNOW COVER

Each point on the Earth's surface is affected by the corresponding gravity value. It results mainly from the inhomogeneous distribution of the Earth's density. These values change in time, depending on the position of the Moon, the Sun, planets and other factors including seasonal gravity changes caused by the snow cover. The author presents the model for estimating the gravity changes caused by snow covers with different characteristics.

Ежегодно на поверхности земли в результате снегопадов образуется и сохраняется в течение длительного времени снеговой покров.

По условиям залегания снеговой покров различают [1]:

1) Области постоянного снегового покрова (приполярные и выше снеговой линии), где осадки не успевают растаять за лето;

2) Области временного снегового покрова (умеренные широты), где он полностью растаивает летом, делящиеся на районы устойчивого снегового покрова (формируется ежегодно и сохраняется не менее 1 месяца) и районы неустойчивого снегового покрова (образуется не каждый год и лежит менее 1 месяца);

3) Области лишённые снегового покрова (тропические и экваториальные), где он вообще никогда не образуется. Граница этой области лежит внутри материков между 25–35° северной и южной широт, смещаясь у побережий в обоих полушариях до 45 параллели.

Почти вся территория России находится в области временного снегового покрова, причём на крайнем юге покров неустойчив, а на крайнем севере залегает до 9–11 месяцев.

На земле максимальную площадь снеговой покров занимает к концу зимы северного полушария (99 млн. км²), а минимальную – к концу зимы южного полушария (47 млн. км²). При этом масса снега соответственно составляет 135 и 74 на 10¹⁷ грамм [2].

На количество накопленного снега, в частности на его высоту, влияет не только общая продолжительность периода с температурой ниже 0°C и интенсивность выпадающих твёрдых осадков, но и особенность подстилающей поверхности, заселённость территории, ветровые условия. Высота снегового покрова обуславливается погодными условиями того или иного года и при этом возрастает по мере накопления снега, но ближе к весне она начинает убывать за счёт процесса уплотнения.

Плотность снега определяется продолжительностью залегания и высотой снежного покрова, скоростью ветра и колебаниями температуры. Средняя плотность снежного покрова в Европейской части России в конце зимы на севере находится в пределах 220 – 280 кг/м³; в средней полосе – в пределах 240 – 320 кг/м³; на юге – в более широких пределах, 220 – 360 кг/м³, что объясняется наличием перемежающихся оттепелей. Наблюдения показывают, что в большинстве случаев плотность снега изменяется в начале таяния от 180 до 350 кг/м³, в разгар таяния от 350 до 450 кг/м³, в конце таяния доходит до 600 кг/м³ [2].

Сила тяжести обусловлена общей массой Земли и центробежной силой. Вследствие большой неоднородности в распределении масс внутри Земли сила тяжести изменяется на ее поверхности по сложному закону. Поскольку Земля не является абсолютно твердым телом, она испытывает приливные возмущения, скорость вращения Земли и положение мгновенной оси вращения в теле Земли не остаются неизменными, меняется также с течением времени и положение небесных светил относительно центра инерции Земли. Все эти факторы оказывают влияние на значение силы тяжести и для их учета вводятся соответствующие поправки.

Наиболее удобной величиной для характеристики силового поля Земли является потенциал силы тяжести

$$W = V + Q,$$

описывающий это скалярное поле как сумму потенциала тяготения V и потенциала центробежной силы. Вектор силы тяжести

$$\vec{g} = \frac{dW}{dx} \vec{i} + \frac{dW}{dy} \vec{j} + \frac{dW}{dz} \vec{k}$$

определится как градиент потенциала. Совместив ось Z с направлением силы тяжести, получим, что проекции потенциала на оси X и Y будут равны нулю, а сила тяжести задается трехкратным интегралом

$$g = \frac{dW}{dz} = \frac{dV}{dz} = -f \iiint \frac{\cos(r, z)}{r^2} dm$$

по объему притягивающего тела. В этом выражении: f – гравитационная постоянная, численная величина которой не зависит от свойств масс притягивающего тела; r – расстояние от любой текущей точки до притягиваемой; $\cos(r, z)$ – косинус угла между направлением r и осью z ; dm – элементарная масса.

Силовое поле, создаваемое массами, распределенными в виде бесконечно тонкого слоя на некоторой поверхности σ , в случае совмещения координатной оси z с направлением силы тяжести вызываемым этим слоем задаст изменение силы тяжести

$$\Delta g = -f \iint \frac{\cos(r, z)}{r^2} dm.$$

Интегрирование производится по поверхности σ .

Любые колебания в распределении масс отражаются на величине силы тяжести. Перераспределение масс, вызываемое поочередным накоплением снега в северном и южном полушариях, создает сезонные изменения силы тяжести.

Поскольку форма Земли близка к шарообразной, для количественных оценок этих изменений воспользуемся сферической моделью Земли. Такая модель используется и в случае топографической редукции, хотя высоты и плотности пород земной поверхности значительно превосходят толщину и плотность снежного покрова. Толщина снежного покрова (на равнинах высота снега редко превышает 180 см.) мала по сравнению со средним радиусом Земли (6371 км.). Поэтому притяжение снежного покрова в этом случае эквивалентно притяжению неоднородного простого сферического слоя.

Будем использовать полярную сферическую систему координат α и ψ с полюсом в точке вычисления изменений. Плотность слоя μ в заснеженных местах равна произведению плотности снега на глубину снежного покрова, а в не заснеженных равна нулю. Если выделить трапеции постоянной плотности, ограниченные дугами со сферическими радиусами ψ_i и ψ_{i+1} и направлениями с азимутами α_i и α_{i+1} , то влияние кусочно – неоднородного слоя вследствие скалярности потенциала[3] можно оценить по формуле

$$\Delta g = \sum \Delta g_i,$$

$$\text{где } \Delta g_i = -2f \mu_i (\alpha_{i+1} - \alpha_i) \sin \frac{\psi_{i+1} - \psi_i}{4} \cos \frac{\psi_{i+1} + \psi_i}{4} - \text{влияние } i\text{-й трапеции на}$$

изменение силы тяжести.

Приведенное выражение использовано для оценки влияния снежных масс северного полушария на силу тяжести. На основании картосхем распространения снежного покрова на земной поверхности [1, 2] в северном полушарии выделены территории с устойчивым, ежегодно образующимся снежным покровом. При расчетах глубина снега принята равной 50 см., а плотность снега 0,24 г/см³. В таблице приведены результаты вычислений изменений силы тяжести (в микрогалах) в различных точках северного полушария.

Максимальное из приведенных значений составляет 0,72 мкГал. Несмотря на малость величин сезонных изменений силы тяжести, они соизмеримы с точностью абсолютных определений силы тяжести.

Широта	долгота	Δg	Широта	долгота	Δg
63	20 вост	0,61	30	20 вост	0,26
	80 вост	0,56		80 вост	0,17
	140 вост	0,72		140 вост	0,48
	40 зап	0,57		40 зап	0,23
	100 зап	0,46		100 зап	0,30
	160 зап	0,86		160 зап	0,47

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рихтер, Г. Д. Снежный покров, его формирование и свойства / Г.Д. Рихтер. – М.; Л., 1945.
2. Котляков, В.М. Снежный покров Земли и ледники / В.М. Котляков. – Л., 1968.
3. Шимбирев, Б.П. Теория фигуры Земли / Б.Т. Шимбиев. – М., 1975.

© Ю.Г. Костына, 2011

УДК 551.24

И.Е. Дорогова

СГГА, Новосибирск

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДВИЖЕНИЯМИ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ТЕХНОГЕННОМ ПОЛИГОНЕ

На техногенном геодинамическом полигоне по геодезическим данным выполнен анализ движений и деформаций земной коры, получены графики изменений координат и скоростей пунктов во времени. Графическое представление векторов смещений, тензоров деформации и полей смещений и деформации получено с помощью метода конечных элементов.

I.Ye. Dorogova

SSGA, Novosibirsk

INTERPRETATION OF THE EARTH' S CRUST MOVEMENTS OBSERVATION ON THE TECHNOGENIC TEST AREA

Analysis of crustal movements and deformations has been conducted on the basis of the geodetic data on technogenic geodynamic test area. The graphs of the points velocities and coordinates changes in time have been constructed. Graphical representation of displacement vectors, deformation tensors as well as displacement and deformation fields have been made by means of the finite element method.

Наблюдение за движениями и деформациями земной коры на техногенных полигонах является важной задачей для обеспечения безопасной добычи полезных ископаемых. Повторные геодезические наблюдения позволяют регулярно контролировать состояние объекта геодинамики и получать временные ряды данных, которые нуждаются в последующей обработке и интерпретации. Интерпретация данных геодезических наблюдений выполняется для выявления накоплений напряжений и деформаций земной коры, их представления в виде удобном для дальнейшего анализа, а также для выявления изменений состояния объекта и прогнозирования.

В период с 14.06.2005г. по 19.09.2008г. на пунктах геодинамического полигона Таштагольского железорудного месторождения проводились GPS-наблюдения и высокоточное нивелирование. Наблюдения выполнены сотрудниками лаборатории сдвижения горных пород Восточного научно-исследовательского горнорудного института (г. Новокузнецк) и лаборатории горной информатики Института горного дела СО РАН (г. Новосибирск) и содержат 10 циклов GPS-измерений и нивелирования на пунктах, расположенных вблизи промышленной площадки месторождения [1].

По результатам данных наблюдений были получены графики изменения координат пунктов во времени, а также вычислены скорости изменения координат пунктов, графическое представление изменения скоростей пунктов во времени изображены на рис. 1.

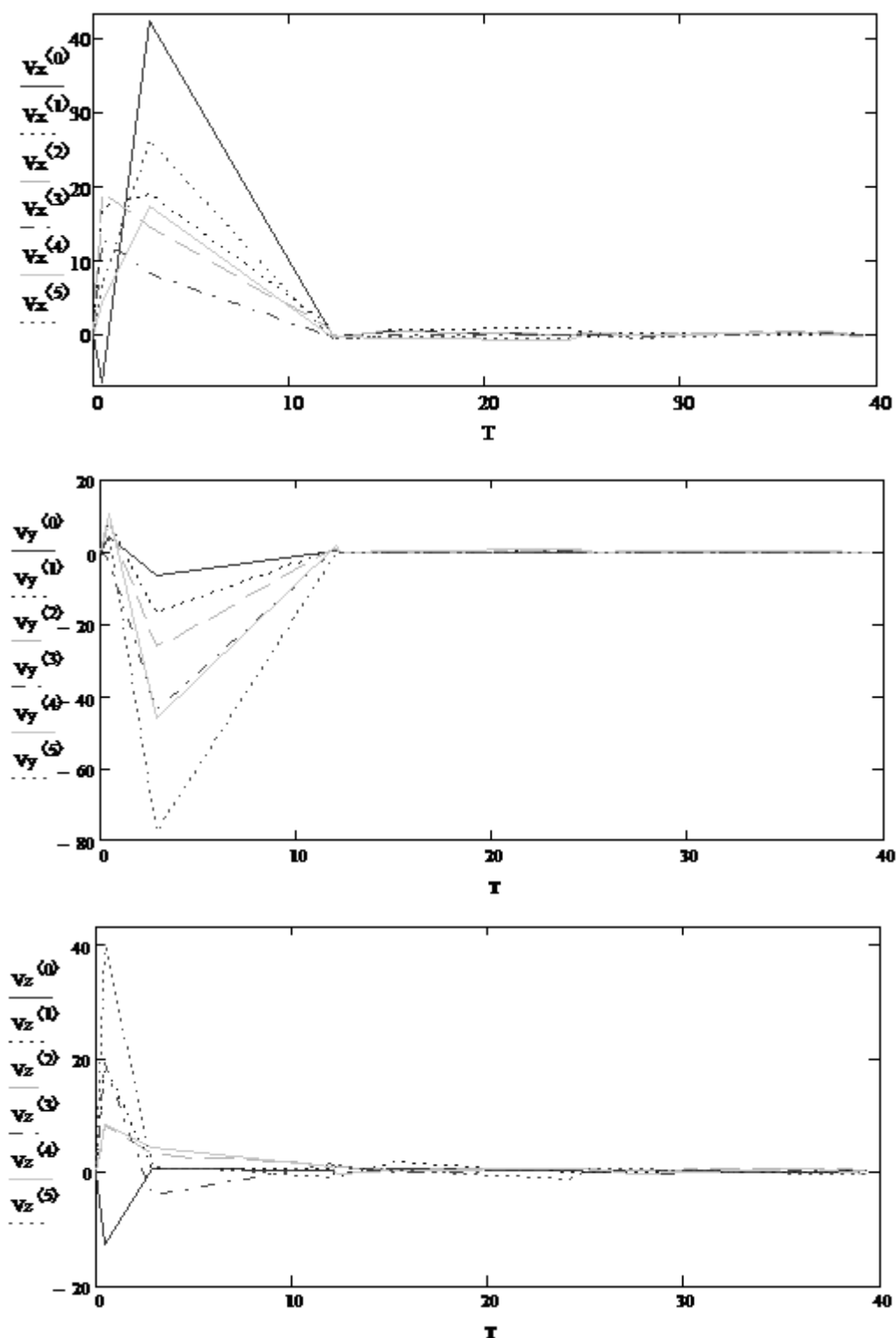


Рис. 1. Изменения горизонтальных и вертикальных скоростей движения пунктов

Отслеживая изменение скоростей движений пунктов во времени, мы можем судить об ускорении или замедлении геодинамических процессов. Скорости горизонтальных движений пунктов резко возрастают с начала наблюдений и достигают максимальных значений примерно через 3 месяца, затем быстро снижаются и к 14 месяцу наблюдений приобретают значения близкие к нулю.

Скорости вертикальных движений пунктов достигают максимальных значений через месяц после начала наблюдений, после чего движения пунктов начинают существенно замедляться и к 3 месяцу наблюдений скорости значительно снижаются, но значения скоростей пунктов становятся близкими к нулю только к 15 месяцу наблюдений. Существенные изменения скоростей связаны с добывающими процессами в пределах площадки месторождения.

Для дальнейшего анализа геодезических наблюдений за движениями земной коры Таштагольского геодинамического полигона был применен метод конечных элементов с последующей визуализацией векторов и полей основных геомеханических характеристик. Этот метод позволяет получить представление о накоплении и распределении напряжений и деформаций земной коры в пределах промышленной площадки.

В результате вычисления смещений и деформаций в вершинах элементов, представленных на рис. 2 были получены распределения векторов смещений и тензоров деформации, поля деформаций и напряжений земной коры.

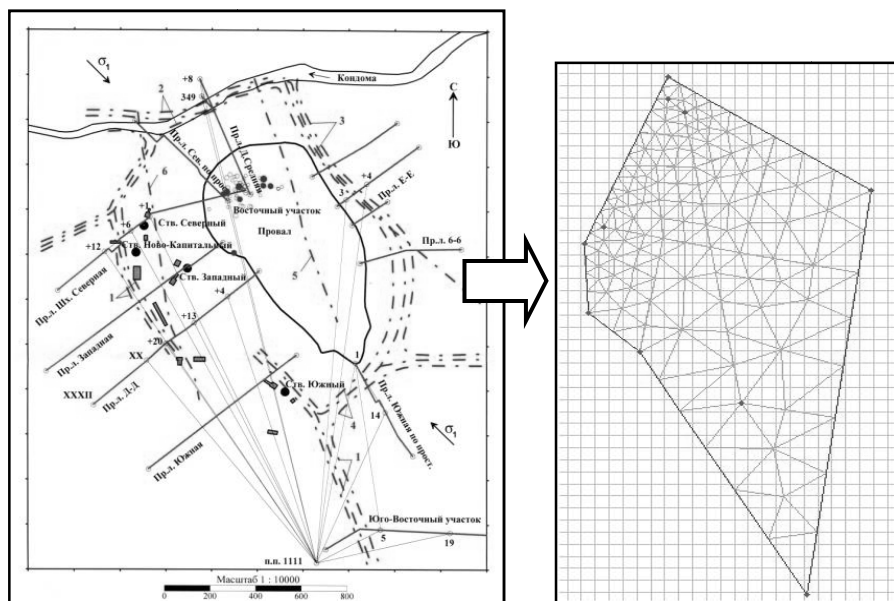


Рис. 2. Выделение конечных элементов для Таштагольского ГДП

На рис. 3а) представлены векторы, отображающие движение пунктов в первом цикле наблюдений. Векторы направлены к центру рассматриваемой области. Такая же направленность наблюдается и на изображениях векторов для последующих циклов. Рис. 3б) иллюстрирует накопление смещений векторов за десять циклов измерений. Векторы сохраняют свою направленность, величины смещений пунктов постепенно накапливаются. При этом пункты, обладающие

существенной динамикой в первом цикле, и после десяти циклов наблюдений имеют наибольшие величины смещений.

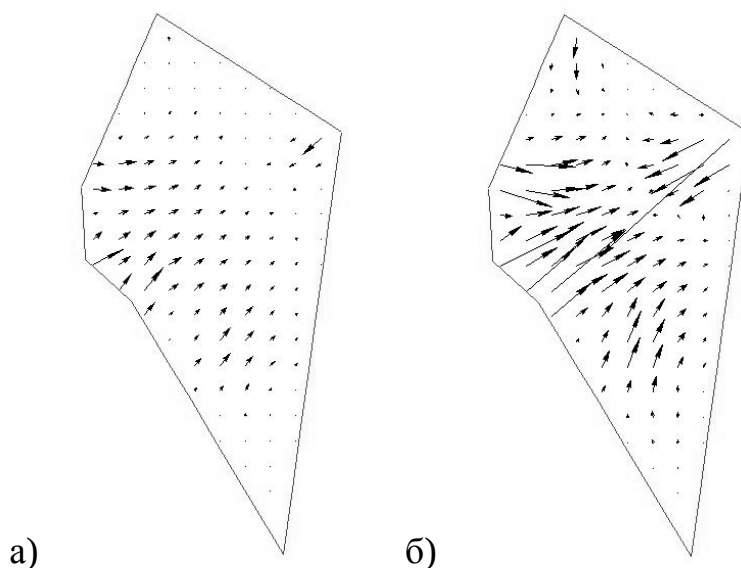


Рис. 3. Накопление смещений пунктов за первый цикл и за весь период наблюдений

Рис. 4а) иллюстрирует форму геодинамического полигона, полученную по положениям пунктов на начальный момент наблюдений. На рис. 4б) представлена деформированная граница и изменение формы тела полигона на момент окончания десяти циклов наблюдений. Полученные таким образом изображения также указывают на общее направление движений земной поверхности к центру полигона. Происходит сжатие границ, их смещение в сторону центральной области месторождения.

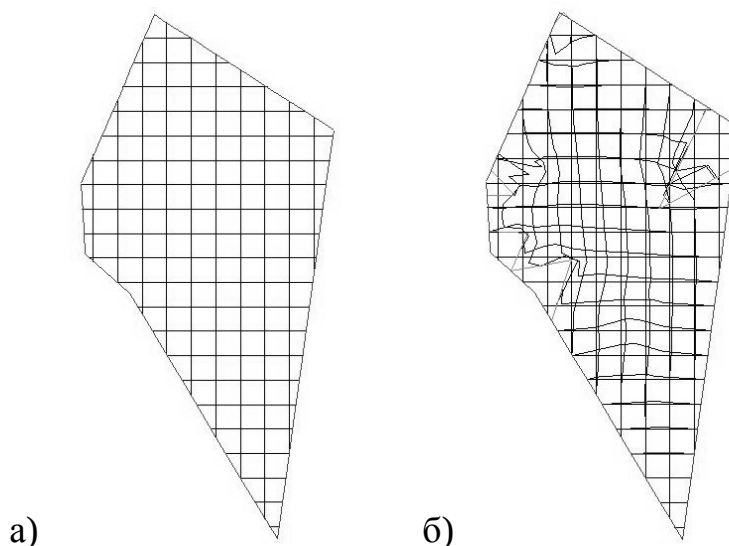


Рис. 4. Изменение формы тела и деформирование границ полигона

Также по результатам наблюдений были получены поля, отражающие деформации для каждого цикла наблюдений и накопление деформаций вдоль

осей x , y и общей деформации и аналогичные поля для напряжений и величин смещений пунктов и их накоплений [2], [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобанова, Т.В. Разработка научно-методических основ геомеханического обеспечения подземной отработки железорудных месторождений Сибири в геодинамически активном регионе: автореф. дис. д-ра техн. наук / Т.В. Лобанова. – Новосибирск, 2009. – 37 с.

2. Дербенев, К.В. Представление движений земной поверхности с использованием flash-анимации / К.В. Дербенев, И.Е. Дорогова, Е.А. Ибатуллина// Интеллектуальный потенциал Сибири: материалы межвуз. науч. студ. конф. (МНСК-2010). – Новосибирск: НОУ ВПО НГИ, 2010. – С. 93-94.

3. Анимационное представление движений и деформаций на техногенном геодинамическом полигоне / Т.В. Лобанова, Б.Т. Мазуров, Е.А. Ибатуллина, И.Е. Дорогова, К.В. Дербенев// Сб. материалов VI Междунар. науч. конгр. «ГЕО-СИБИРЬ-2010». – Новосибирск: СГГА, 2010.

© И.Е. Дорогова, 2011

УДК 551.24

О.И. Некрасова

СГГА, Новосибирск

АППРОКСИМАЦИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ КОНУСА НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

Выполнено исследование влияния меняющегося гравитационного поля на геодезические измерения, вызываемого конусом как типовой фигурой земного рельефа.

O.I. Nekrasova

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

APPROXIMATION OF THE GRAVITATIONAL INFLUENCE CONE ON THE GEODETIC MEASUREMENTS NUMERICAL METHOD

Holds to research influence the gravitational field on the geodetic measurements caused by the cone, as a typical figure of the earth terrain.

Движения земной коры играют большую роль в жизни человека, так как несут необходимо важную для человечества информацию о глубинных процессах, происходящих в земных недрах, о подготовке землетрясений и извержений вулканов, о тектонических разломах, а также о размещении месторождений полезных ископаемых. Всё это необходимо учитывать при строительстве и эксплуатации многих видов инженерных сооружений, например, АЭС, ГЭС, магистральных трубопроводов и других энергоёмких и экологически опасных объектов, в которых нуждается человечество.

Геодезические методы в геодинамических исследованиях играют важную роль. На результаты геодезических наблюдений значимое влияние оказывает меняющееся гравитационное поле. Значимые вертикальные смещения точек земной поверхности и смещения уровенных поверхностей во времени могут возникать, в частности, при разработке крупных месторождений полезных ископаемых. Большие воздействия на приповерхностный слой Земли и изменения силы тяжести вызывают перемещения больших масс пород при крупномасштабных различных горных работах. Выемка близповерхностных масс приводит к возникновению внутренних компенсационных процессов, связанных с уплотнением осадочных пород или разрушением горных пород, что, в свою очередь, вызывает опускание дневной поверхности; одновременно происходят изменения гидрологического режима. Перераспределение больших объемов пород и руды вызывает значительное изменение поля силы тяжести, а недоучет влияния перемещаемых масс в результаты нивелирования может быть

причиной неверного представления о картине вертикальных движений и оказывает влияние на результаты геодезических измерений и определяемые по ним деформации земной поверхности.

Вертикальные движения земной коры и сопутствующие смещения в поле силы тяжести во многом вызваны процессами в близповерхностных слоях земной коры.

Достаточно типичной формой рельефа в естественной и техногенной среде является конус. Конусообразными являются вулканы, отдельные составляющие горных хребтов. Вследствие выемки и первичной переработки руды образуются конусообразные карьеры, отвалы. В этом случае возникают ситуации ощутимого изменения локального поля силы тяжести в относительно короткие периоды времени [1].

Перемещения масс влияют на результаты нивелирования, так как поле силы тяжести в каком-то конкретном районе зависит от распределения масс внутри Земли. Вследствие этого результаты геодезических наблюдений могут быть неверно интерпретированы.

При решении прямых и обратных задач физической геодезии предпочтительнее использовать аппроксимационные модели. Самой удобной для вычислителя моделью аппроксимации гравитационного влияния конуса является точка (сфера, шар, маскон).

Модель объекта. На плоской поверхности (локальный участок) со значением силы тяжести $g_0 = 980$ Гал появляется аномальная гравитирующая масса $M = 4,83 \cdot 10^8$ т. в форме усеченного конуса с радиусом нижнего основания $R = 500$ м, радиусом верхнего основания $r = 200$ м и высотой $h = 450$ м (рисунок), объемом $V = 0,184$ км³, при гомогенности пород с плотностью $\delta = 2,63$ г/см³. Это вызывает изменение вектора силы тяжести g_0 в окружающем пространстве. В каждой точке это изменение различно: g_M^A , g_M^B , g_M^1 . Следствием появления аномальной массы M является также отклонение отвесной линии (УОЛ) u_M^1 в месте стояния нивелира (т. 1), являющаяся, в свою очередь, причиной смещения пузырька уровня этого прибора. После приведения его в нульпункт визирная ось нивелира будет показывать отчет a_M по задней рейке и b_M по передней рейке. Превышение $h_M^{A,B} = a_M - b_M$ будет отличаться от превышения $h_0^{A,B} = a_0 - b_0$, измеренного до появления аномальной массы M на величину $\delta h_M^{A,B} = h_M^{A,B} - h_0^{A,B}$. Заметим, что нивелирные рейки, отвесность которых также определяется их круглым уровнем, будут иметь другой наклон, но возникающие при этом различия в отсчетах на высоте 1.3 м (высота инструмента) будем считать несущественными.

Порядок проведения и результаты вычислительного эксперимента

Нами был смоделирован нивелирный ход от основания усеченного конуса (т. А на рис. 1) длиной 1 км, состоящий из десяти станций через 100 метров друг от друга. Длина плеч 50 метров. На рисунке показана первая станция с расстоянием между т.А и т.В 100 м. Случайные ошибки не вводились. Вычислялись только методические погрешности, возникающие вследствие неполноты модели гравитирующего тела.

Гравитационное влияние усеченного конуса вычислялось с помощью точечной модели, полученной как сумма влияний 5400 элементов. В модели (5400т) в качестве элементов были выбраны 6-градусные сектора цилиндрических труб высотой 75 м (для высоты конуса 450 это составило шесть слоев с числом труб в слоях: 20, 18, 16, 14, 12 и 10). Каждый элемент заменялся гравитирующей точкой в центре тяжести данного элемента в соответствии с его объемом.

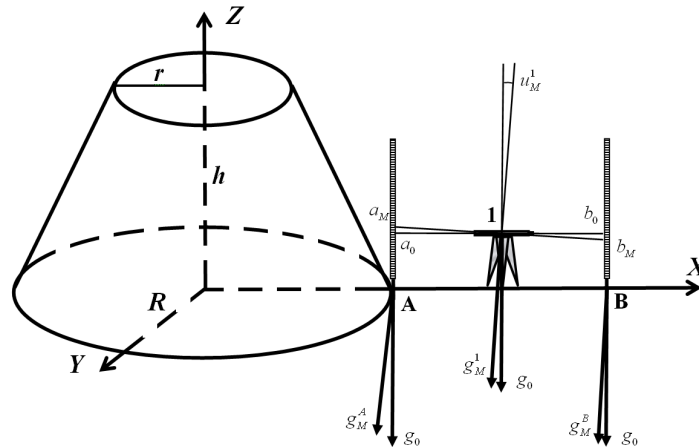


Рис. 1. Станция нивелирования у подножия гравитирующего усеченного конуса

Алгоритм, позволяющий аппроксимировать гравитационное влияние конуса, как сумму влияний конечных элементов – кольцевых секторов.

Находим гравитационный потенциал $T_{\text{конуса}}^C$, вызываемый этим конусом в любой точке С окружающего пространства.

Алгоритм решения:

1. Делим конус горизонтальными плоскостями на К объемных тел: К-1 усеченных конуса и один (верхний с номером К) неусеченный. Радиусы оснований этих тел, начиная с нижнего $r_1, r_2, \dots, r_k$, где k – номер объемного тела от 1 до К. Высота каждого конуса $h=N/K$.

2. Заменяем каждый k-й конусообразный слой с радиусом нижнего основания r_i и радиусом верхнего основания r_{i+1} на его аппроксимирующий k-й цилиндрический слой той же высоты h под условием равенства их объемов:

$$V_{\text{конуса}}(r_i; r_{i+1}) = V_{\text{цилиндра}}(r_k); \text{ или } \frac{1}{3}\pi h(r_i^2 + r_i r_{i+1} + r_{i+1}^2) = \pi h r_k.$$

Таким образом, радиус основания аппроксимирующего цилиндра может быть вычислен

$$r_k = \frac{1}{3}(r_i^2 + r_i r_{i+1} + r_{i+1}^2).$$

3. Делим каждый цилиндрический слой на J_k концентрических колец с радиусами через равное расстояние $dr=r_k/J_k$. Каждое кольцо делим на N кольцевых секторов (криволинейные параллелепипеды) через угол $\alpha=360/N$. На рис. 2 показан пример такого конечноэлементного разбиения при $K=10$; $J_k=2*(11-k)$; $\alpha=6^\circ$.

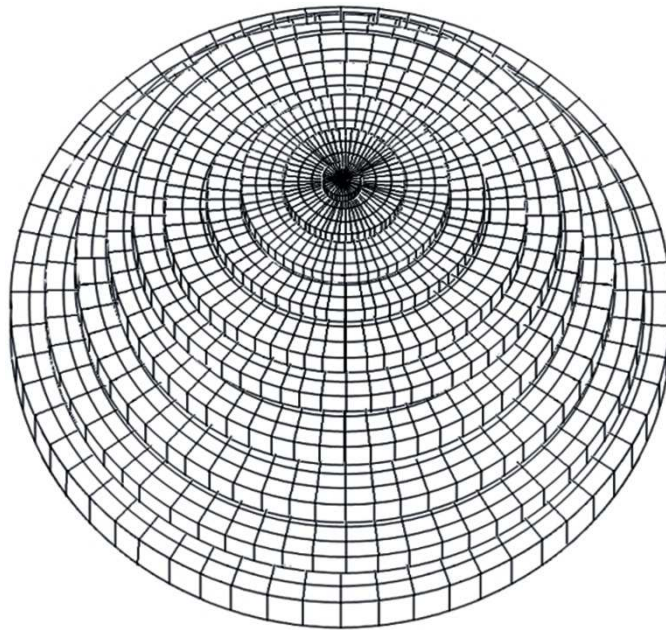


Рис. 2. Конечноэлементное разбиение конуса

4. Для того, чтобы заменить каждый объемный конечный элемент на точечную массу, найдем координаты его центра масс. Нахождение координаты z (по вертикали) не представляет трудностей. Очевидно, что для любого кольцевого сектора k -го цилиндрического слоя: $z_k = \frac{h}{2} + h(k-1)$.

Координаты x, y будем находить, используя известные в теории сопротивления материалов формулы для кольцевого сектора и его свойство симметрии. Для сектора угловой величины α , внутренним радиусом $r_{k,j}$, внешним радиусом $r_{k,j+1}$ может быть найдено расстояние $rm_{k,(j;j+1)}$ от центра образующего кольца O до центра масс кольцевого сектора m (рис. 3).

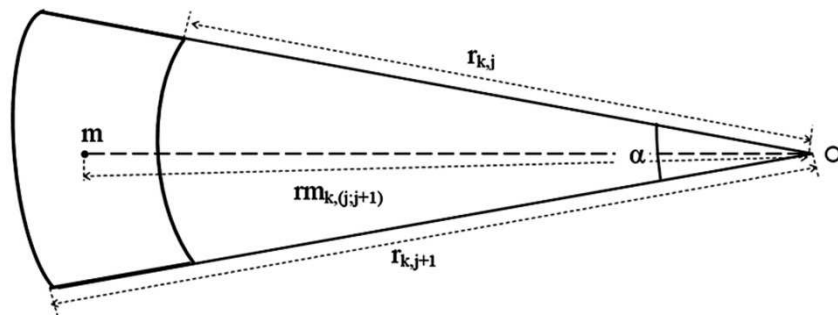


Рис. 3. Нахождение центра масс кольцевого сектора

Для угла α , выраженного в радианной мере

$$rm_{k,(j;j+1)} = \frac{4}{3} \frac{\sin(\alpha/2)}{\alpha} \frac{(r_{k,j+1}^3 - r_{k,j}^3)}{(r_{k,j+1}^2 - r_{k,j}^2)}.$$

5. Зная радиус $rm_{k,(j;j+1)}$, можно вычислить координаты x, y центра масс каждого конечного элемента:

$$x_{k,(j;j+1),n} = rm_{k,(j;j+1)} \cos \beta_n, \quad y_{k,(j;j+1),n} = rm_{k,(j;j+1)} \sin \beta_n,$$

где $\beta_n = \alpha/2 + \alpha(n-1)$; $n=1,2,\dots,N$.

6. Объем каждого кольцевого сектора вычисляем $V_{k,(j;j+1)} = \alpha(r_{k,j+1}^2 - r_{k,j}^2)h$, и, с учетом плотности пород δ , вычисляем массу сектора j -го кольца k -го слоя

$$m_{k,(j;j+1)} = V_{k,(j;j+1)} \delta.$$

7. Гравитационный потенциал в точке C окружающего пространства, вызываемый точечной массой величины $m_{k,(j;j+1)}$ с координатами $x_{k,(j;j+1),n}$,

$y_{k,(j;j+1),n}$, $z_k = h/2 + h(k-1)$ определяем как $T_{k,(j;j+1),n}^C = G \frac{m_{k,(j;j+1),n}}{r_{k,(j;j+1),n}^C}$, где G –

гравитационная постоянная,

$r_{k,(j;j+1),n}^C$ – расстояние от центра масс конечного элемента до точки C .

Общий гравитационный потенциал в точке C окружающего пространства, вызываемый конусом, вычисляем как сумму потенциалов точечных масс:

$$T_{\text{конуса}}^C = G \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \frac{m_{k,(j;j+1),n}}{r_{k,(j;j+1),n}^C}$$

Таким образом, здесь представлен алгоритм аппроксимации гравитационного влияния конуса, как типичной формы земного рельефа. Учет гравитирующего влияния перемещаемых масс необходим при проектировании деформационных сетей, организации полевых работ и последующей интерпретации результатов регулярно повторяемых натурных наблюдений, например, нивелирных цикловых наблюдений при изучении вертикальных движений на территории горных выработок.

Приведем некоторые результаты эксперимента в табл. 1.

Таблица 1. Значения УОЛ и нивелирных превышений, вызываемых гравитационным влиянием конуса

Номер станции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Координата X (м)	550	650	750	850	950	1050	1150	1250	1350	1450
Для уклонов отвесных линий в "										
УОЛ (5400т)	-2,71	-1,81	-1,31	-1,00	-0,79	-0,64	-0,53	-0,45	-0,38	-0,33
Для нивелирных превышений в мм										
h(5400т)	1,31	0,88	0,63	0,48	0,38	0,31	0,26	0,22	0,18	0,16

Из анализа результатов вычислительного эксперимента для вышеопределенных размеров гравитирующего усеченного конуса можно сделать следующие выводы:

1. гравитационное влияние использования моделей на результаты измерений горизонтальных углов не будет значимым;

2. в высокоточном нивелировании при расстоянии от подошвы гравитирующего конуса 450 м для точечной модели методическая ошибка

составляет 1/10 точности измерений на станции (0,5 мм). Этот факт необходимо учитывать при проектировании сетей, организации полевых работ и последующей интерпретации результатов натурных наблюдений.

Таким образом, был выполнен вычислительный эксперимент по исследованию влияния перемещаемых гравитирующих масс на значение нивелирных превышений. На расстоянии 1 км (10 станций нивелирного хода), это влияние составило 3-4 мм. Это значение превышает точность нивелирования и сопоставимо с величинами вертикальных смещений земной поверхности, а, следовательно, при геодинамических интерпретациях результаты геодезических наблюдений должны учитывать перемещаемые гравитирующие массы [2].

Результаты вычислительного эксперимента подтвердили необходимость комплексного подхода к геодинамической интерпретации результатов геодезических наблюдений в условиях перемещаемых гравитирующих масс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мазуров, Б.Т. Математическая обработка нивелирных и гравиметрических наблюдений в условиях извлечения и перемещения больших объемов руды и пород / Б.Т. Мазуров // Изв. вузов. Горный журнал. – 2006. – № 4. – С. 99 – 104.

2. Мазуров, Б.Т. Некоторые модели аппроксимации гравитирующего влияния усеченного конуса / Б.Т. Мазуров // Сб. материалов V Междунар. науч. конгр. «ГЕО-СИБИРЬ-2009». – Новосибирск, 2009. – Т.1, ч.2. – С. 35-39.

© О.И. Некрасова, 2011

УДК 528.2: 528.4

Ю.В. Дементьев, Е.Н. Кулик, Е.С. Акулич

СГГА, Новосибирск

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНЕТАРНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ЗЕМЛИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛНОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ РЕДУКЦИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

Показано, что расчет поправок в силу тяжести за влияние материальных масс, расположенных выше уровенного эллипсоида, желательно выполнять в полной топографической редукции. Для этих целей построена планетарная цифровая модель рельефа Земли с высотами в узлах регулярной сетки через пять угловых минут по широте и долготе для территории России (до 60-й параллели) и в один градус – для остальной поверхности Земли. Выполнены исследования по оптимизации разработанной модели.

Yu.V. Dementiev, E.N. Kulik, E.S. Akulich

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

OPTIMIZATION OF GLOBAL DIGITAL ELEVATION MODEL FOR PERFORMING THE COMPLETE TOPOGRAPHIC REDUCTION OF GRAVITY CORRECTIONS

It is recommended to perform the calculation of gravity corrections caused by the influence of material masse, and located higher than datum ellipsoid, within the complete topographic reduction. For these purpose a global digital elevation model of the Earth (GDEM-SSGA) with elevation values at the net nodes, net's cell size is 5 angular minutes by latitude and longitude for the territory of Russia (up to the 60th parallel), and 1 degree - for the rest of the Earth's surface was built.

Повышение точности гравиметрических измерений и внедрение новых геодезических технологий требует нового единого подхода к учету влияния топографических масс в поле силы тяжести.

До настоящего времени редукция силы тяжести в каждой результативной точке выполнялась, как правило, на ограниченной территории, полагая, что «дальние» зоны существенно не влияют на значение поправки. Установлено [1], что топографическая поправка постоянно возрастает с увеличением учитываемой области промежуточного слоя, ограниченного снизу поверхностью уровенного эллипсоида, сверху – физической поверхностью Земли; и нет предела, при котором можно «отбросить» влияние масс дальних зон. Учет масс промежуточного слоя требует знания геодезических высот

местности на всей поверхности Земли. Для этой цели построена планетарная цифровая модель рельефа (ПЦМР).

При разработке ПЦМР в качестве основы была выбрана модель радарной топографической съемки Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) [4], покрывающая около 80 % всей поверхности суши земного шара.

В настоящее время данные SRTM существуют в нескольких версиях. Последние версии (version 4 - август 2008 г.) получены организацией International Centre for Tropical Agriculture (CIAT) из оригинальных высотных данных путем обработки, которая обеспечила получение гладких топографических поверхностей. В ней использованы новые алгоритмы интерполяции, заполнены пустоты данных [3].

Данные SRTM представляют сеть с размером ячейки в одну угловую секунду на территорию США (что соответствует пространственному разрешению порядка 30 м) и в три угловых секунды на остальную поверхность Земли (порядка 90 м). Точность данных по высоте составляет 16 м.

На основе данных версии 4 были сформированы блоки (трапеции) размером $15^\circ \times 15^\circ$ по широте (B) и долготе (L) с шагом значений высот в пять угловых минут в интервале $\{45^\circ \leq B < 60^\circ; 30^\circ \leq L < 180^\circ\}$. Для остальной территории шаг составил 1° .

Данные SRTM в построенной модели занимают 192 блока. Высоты для двадцати трапеций, лежащих в интервале $\{60^\circ \leq B < 90^\circ; 30^\circ \leq L < 180^\circ\}$ получены с топографических карт масштаба 1:1 000 000. Остальная информация – с физических карт более мелкого масштаба.

Таким образом, сформированная из 288 блоков планетарная цифровая модель рельефа, названная нами ПЦМР – СГГА, покрывает всю поверхность Земли (рис. 1).

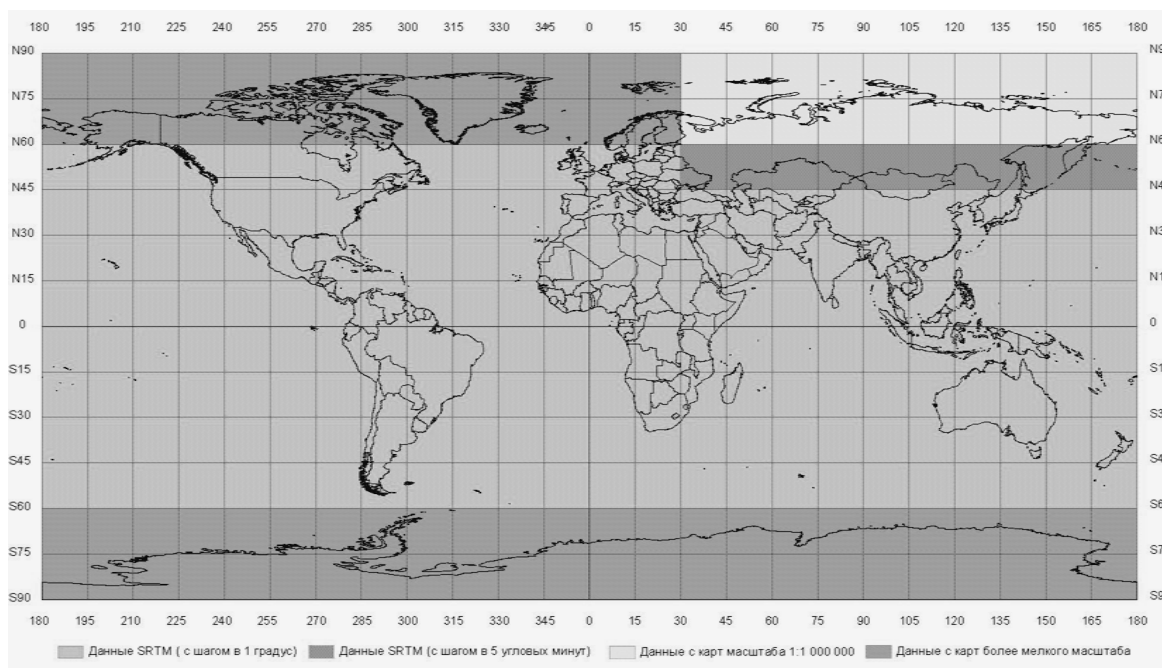


Рис. 1. Структура планетарной цифровой модели рельефа (ПЦМР – СГГА)

Исследования ПЦМР-СГГА показали, что более оптимальной моделью будет такая, в которой высоты заданы в узлах регулярной сетки по широте и долготе с шагом в пять угловых минут для всей территории России, через тридцать минут в северной части (от 0 до 90 градусов северной широты) восточного полушария и через один градус для остальной поверхности Земли (рис. 2). В СГГА начата практическая реализация уточненной модели.

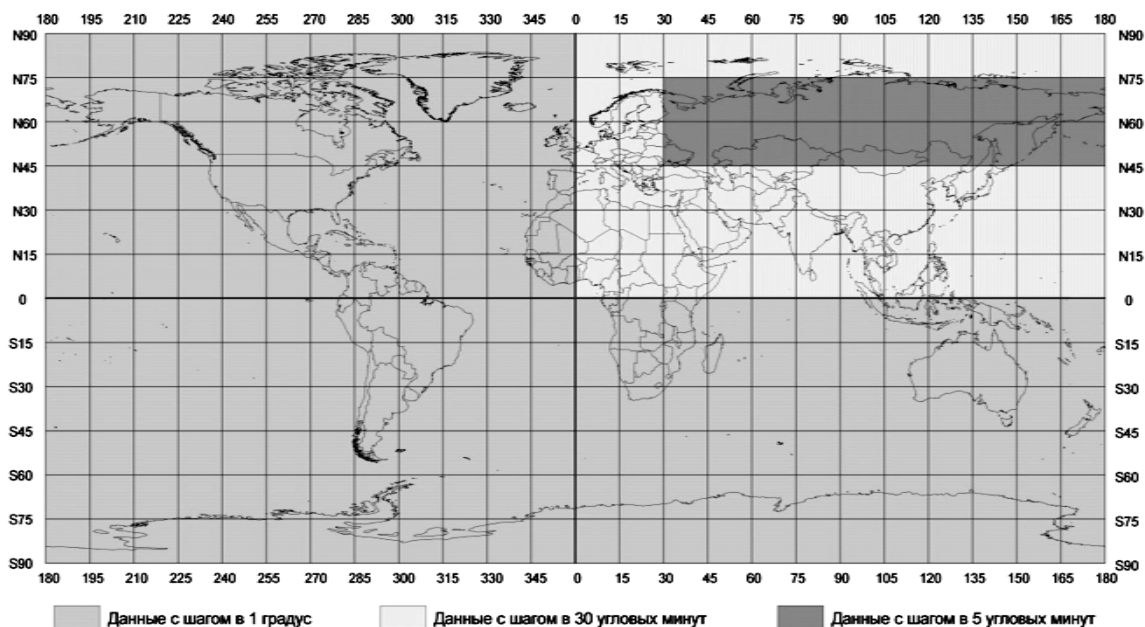


Рис. 2. Оптимальная модель ПЦМР-СГГА

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дементьев, Ю.В. О редукциях силы тяжести / Ю.В. Дементьев // Сб. материалов VI Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010». – Новосибирск, 2010. – С. 158–163.
2. Муравьев, Л. Высотные данные SRTM против топографической съемки [Электронный ресурс]: Авторский материал / Лев Муравьев. – Электрон. текст. и граф. данные. – [Б. м.]: Институт геофизики УрО РАН, 2008. – Режим доступа: <http://www.bestreferat.ru/referat-97438.html>, свободный.
3. GIS-Lab [Электронный ресурс]: Географические информационные системы и дистанционное зондирование: О данных SRTM и их импорте с помощью Arcinfo Workstation / Авторский коллектив GIS-Lab; координатор GIS-Lab Максим Дубинин. – Электрон. текст. данные, граф. данные и табл. – [Б. м.: б. и.], 2002 – 2009. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/srtm.html>, свободный.
5. Shuttle Radar Topography Mission [Электронный ресурс]: The Mission to Map the World / JPL NASA; ред. Eric Ramirez. – Электрон. текст. данные, граф. данные и табл. – California: PFMA Group, 2005 – 2006. – Режим доступа: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>, свободный.

УДК 528.926:004

Д.В. Лисицкий, Е.С. Утробина, А.А. Колесников, Е.В. Комиссарова
СГГА, Новосибирск

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА МУЛЬТИМЕДИЙНОГО БЛОКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СПРАВОЧНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГИС

В докладе рассматривается вопрос о том, что инструментальная справочно-аналитическая ГИС должна обязательно сочетать в едином информационном материале средства мультимедиа, которые будут реализованы на базе современного программного обеспечения. Это позволит пользователю визуализировать не только картографические и семантические данные о территории, но и получать комплексную информацию об отдельном объекте, явлении или местности в целом, понятным для современного пользователя языком.

Рассмотрены этапы технологического процесса проектирования интерфейса мультимедийного блока для создания инструментальной справочно-аналитической ГИС.

Разработана структура интерфейса мультимедийного блока, которая будет создана с целью упорядочивания команд и последовательности вывода информации для формирования пошаговой инструкции к работе, она должна предусматривать возможные варианты действий пользователя, направленные на получение мультимедийной информации. При разработке интерфейса мультимедийного блока учитывались основные принципы мультимедиа, главными из которых являются: художественный дизайн интерфейса, представление информации с помощью комбинации множества воспринимаемых человеком сред и наличия нескольких сюжетных линий в содержании продукта, выстраиваемых пользователем на основе «свободного поиска» в рамках предложенной в содержании продукта информации. Кроме, того элементы интерфейса должны быть ориентированы на пользователя, который не имеет опыта работы с пространственной информацией, цифровыми картами и пространственными базами данных при решении широкого круга задач.

D.V. Lisitsky, Ye.S. Utrobina, A.A. Kolesnikov, Ye.V. Komissarova
SSGA, Novosibirsk

DEVELOPMENT OF MULTIMEDIA BLOCK INTERFACE FOR REFERENCE ANALYTICAL GIS TOOL

Reference-analytical GIS tool comprises comprehensive information with multimedia on the basis of modern software. It allows for the user to visualize not only cartographic and semantic data on the territory, but also collect complex

information on the specified object, phenomenon or the territory as a whole by up-to-date means.

The stages of the technological process of designing multimedia block interface for reference-analytical GIS tool are considered.

The structure of the interface multimedia block has been developed, which is to order the commands and the data output sequence for the step-by-step user manual. It should provide possible user's operations for acquiring multimedia information.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009-2013 годы» (ГК № 02.740.11.0735).

В настоящее время на этапе информатизации общества и экономики характерно повышение уровня и объемов использования информационных технологий, а именно применения ГИС и ГИС – технологий в органах власти, территориального управления, специалистами, работающими с пространственной информацией. Проблема состоит в том, что современные программно-технологические средства ГИС сложны в освоении и применении, поэтому требуют специальной профессиональной подготовки пользователей.

Поэтому создаваемая в СГГА инструментальная справочно-аналитическая географическая информационная система (ИСА ГИС) должна быть проста в освоении, опираться на современные достижения в области картографии и геоинформатики, стать продуктом, отвечающим на многие пространственные запросы простых пользователей и специалистов, принимающих решения в разных областях. С этой целью ИСА ГИС должна сочетать в едином информационном материале средства картографии и мультимедиа, которые будут реализованы на базе современного программного обеспечения. Это позволит пользователю визуализировать не только картографические и семантические данные о территории, но и получать дополнительную информацию об отдельном объекте, явлении или местности в целом, понятным для современного пользователя языком.

Использование мультимедийных средств создает интегрированную информационную среду и дает всестороннее представление о картографируемой территории, объекте местности или явлении, что позволяет повысить объем информации и максимально полно довести эту информацию до потребителя. Немаловажно осуществление интерактивного взаимодействия пользователя с поисковой системой, которая позволит самостоятельно выбирать направление использования различных мультимедийных материалов. При этом, информация, поступающая с помощью мультимедийных средств к пользователю, обеспечивает эффективное и одновременное воздействие на два важнейших органа человека – зрение и слух. Кроме того использование средств мультимедиа в сочетании с условными знаками (в том числе динамичных) позволяет свести пояснения в легенде к минимуму, а это значит что от потребителя не требуется специальных знаний для чтения картографического изображения.

Для введения методов и средств мультимедиа в состав ИСА ГИС необходимо осуществить отбор этих средств применительно к решению определенных задач и выполнить формализованное описание содержания этапов мультимедийного сопровождения работы с ИСА ГИС.

Исходное меню ИСА ГИС предусматривает выход на один из трех основных блоков:

1. *Карты.* Здесь осуществляется автоматическое построение тематических карт по желанию пользователя.

2. *Анализ.* Этот блок призван производить с тематическими картами различные манипуляции позволяющие выполнять анализ данных объектов и явлений – это операции оверлея, построение буферных зон, выбор кратчайшего маршрута, построение различных графиков, таблиц, диаграмм и т.д., необходимых для работы.

3. *Мультимедиа.* Этот блок направлен на получение интересующих пользователя справочных сведений о пространственных объектах (хранящихся базе данных ИСА ГИС) в виде текстового пояснения, рисунков, схем, таблиц, графиков, диаграмм, фотографий, видеороликов, звукового и музыкального сопровождения, трехмерных моделей и анимации.

Содержание мультимедийного блока базируется на основных принципах мультимедиа, главными из которых являются: художественный дизайн интерфейса, представление информации с помощью комбинации множества воспринимаемых человеком сред и наличия нескольких сюжетных линий в содержании продукта, выстраиваемых пользователем на основе «свободного поиска» в рамках предложенной в содержании продукта информации.

С этой целью предложена методика создания блока мультимедиа в ИСА ГИС (рис. 1).

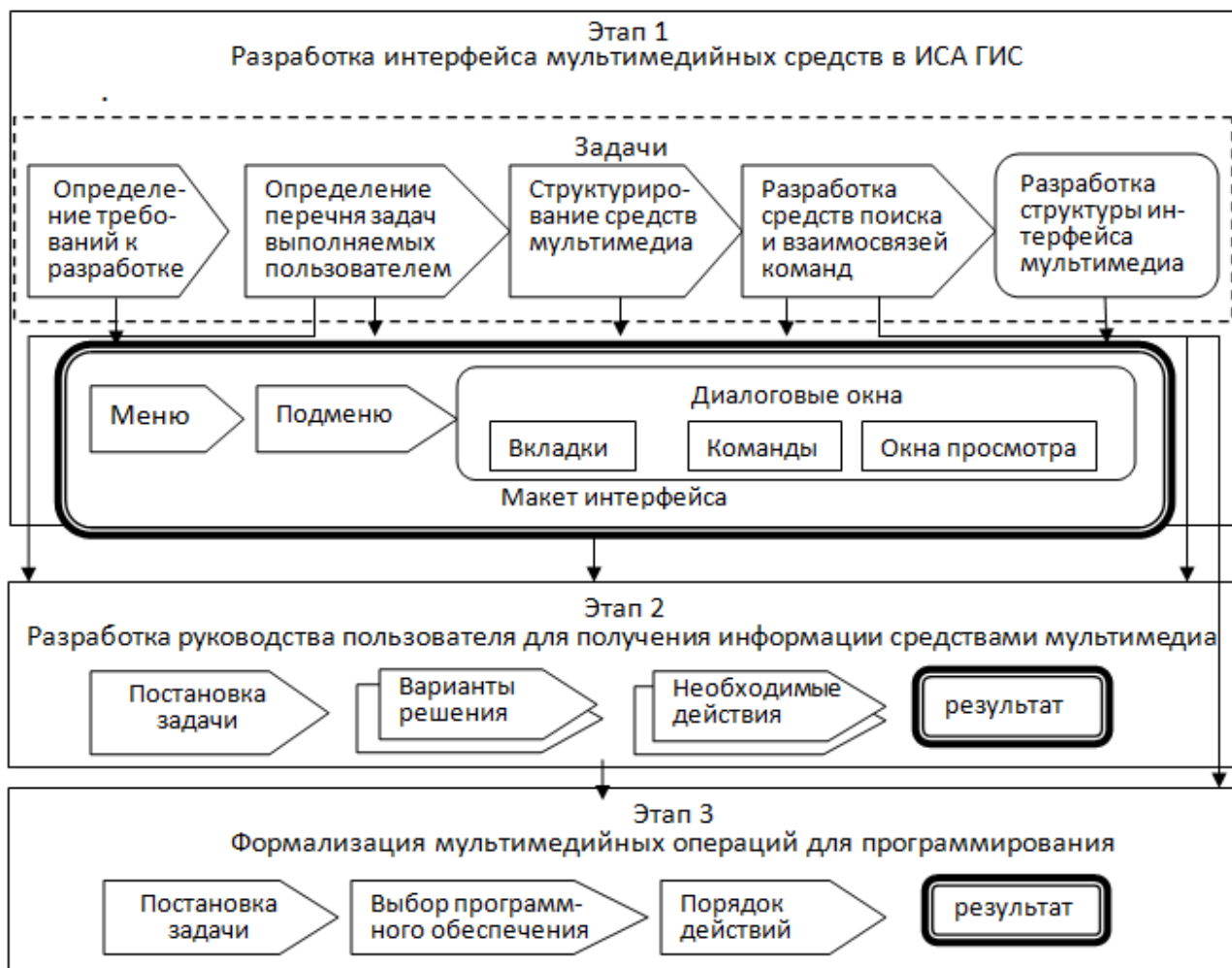


Рис. 1. Методика создания блока мультимедиа в ИСА ГИС

Создание блока мультимедиа *ИСА ГИС* начинается с *разработки интерфейса мультимедийных средств*. Этот этап включает в себя решение ряда задач:

1. *Определение требований к разработке*. На этой стадии необходимо сформулировать требования к предполагаемому интерфейсу, которые учитываются при разработке: команд меню, диалоговых окон, количества операционных кнопок и установления взаимосвязей между командами, поисковой системы и т.д.

В первую очередь блок мультимедиа должен иметь гибконастраиваемый интерфейс с возможностями установления прямых и обратных связей от карты (или объектов на карте) к дополнительной справочной информации, передаваемой мультимедийными средствами посредством гиперфайлового принципа, поскольку это будет обеспечивать эффективное отображение и поиск необходимой информации для пользователя.

Представление мультимедийной информации должно быть, возможно, и независимо от картографического изображения, т.е. с использованием только поисковой системы и интерактивных окон просмотра информации.

Элементы интерфейса блока мультимедиа ориентируются на пользователя без особой подготовки, т.е. пользователя который имеет представление об информационных технологиях, но при этом не имеет опыта работы с пространственной информацией, цифровыми картами и пространственными базами данных (БД) и ГИС при решении широкого круга задач. Поэтому интерфейс должен быть максимально простой и понятный с минимальным количеством операционных кнопок. С этой целью в основе, головной команды меню должна быть заложена пошаговая инструкция, с возможными вариантами действий пользователя, которые предлагаются в виде дополнительных команд подменю, диалоговых окон и вкладок.

Название пунктов меню и команд должно отражать результат данной операции, т.е. представлять так называемое «меню результатов». Для этого, следует определить, какие задачи должны выполняться пользователями ИСА ГИС.

2. *Определение перечня задач выполняемых пользователем.* На этой стадии определяется перечень задач, которые могут быть выполнены пользователями ИСА ГИС, исходя из наличия известных мультимедийных средств. Эти задачи учитываются при установлении операционных команд меню и определении возможных взаимосвязей между командами и поисковой системой. Например: получить текстовое описание объекта или явления; изучить имеющиеся рисунки, схемы, графики, таблицы, диаграммы; просмотреть фотографии, видеоролики объектов или аэро- космические снимки на данную территорию, прослушать звуковое сопровождение (речь диктора, звуки природы, музыкальное сопровождение), получить различные анимационные эффекты на карте, представить объект в трёхмерной цифровой среде.

На основе сформулированных задач, дальнейшая разработка интерфейса предполагает структурирование всех средств мультимедиа.

3. *Структурирование средств мультимедиа* выполняется с целью упорядочивания большого многообразия мультимедийной информации в отдельные группы, которые могут быть сформированы с учетом различных признаков. Например, мультимедиа – информацию можно подразделить на: *статичную, динамичную, двумерную, трехмерную* и т.д.

Мультимедиа – информацию в ИСА ГИС предлагается подразделить на 6 групп (описания, фото, видео, звук, анимация, 3 D), название которых будет отображать решаемую задачу (команду меню) и обобщать сущность входящей в эту группу мультимедийной информации. Внутри себя эти команды могут содержать более узкие задачи с одноименными командами меню.

4. *Разработка средств поиска и взаимосвязей команд* в системе, предусматривает проектирование встроенного поискового модуля для оптимизации поиска и вывода информации об объектах и явлениях.

6. *Разработка структуры интерфейса мультимедиа* (рис. 2) необходима для установления: иерархической соподчиненности размещения команд меню; вариантов их взаимодействия; установления взаимосвязей между ними с целью упорядочивания команд и последовательности вывода информации для

формирования пошаговой инструкции к работе, она должна предусматривать возможные варианты действий пользователя, направленные на получение информации. Она включает: разработку *команд меню и подменю* с четким определением их расположения (адреса), назначения и содержания дополнительных команд; разработку *диалоговых окон* с установлением их расположения, определением их макета и наличия возможных вариантов команд и вкладок.

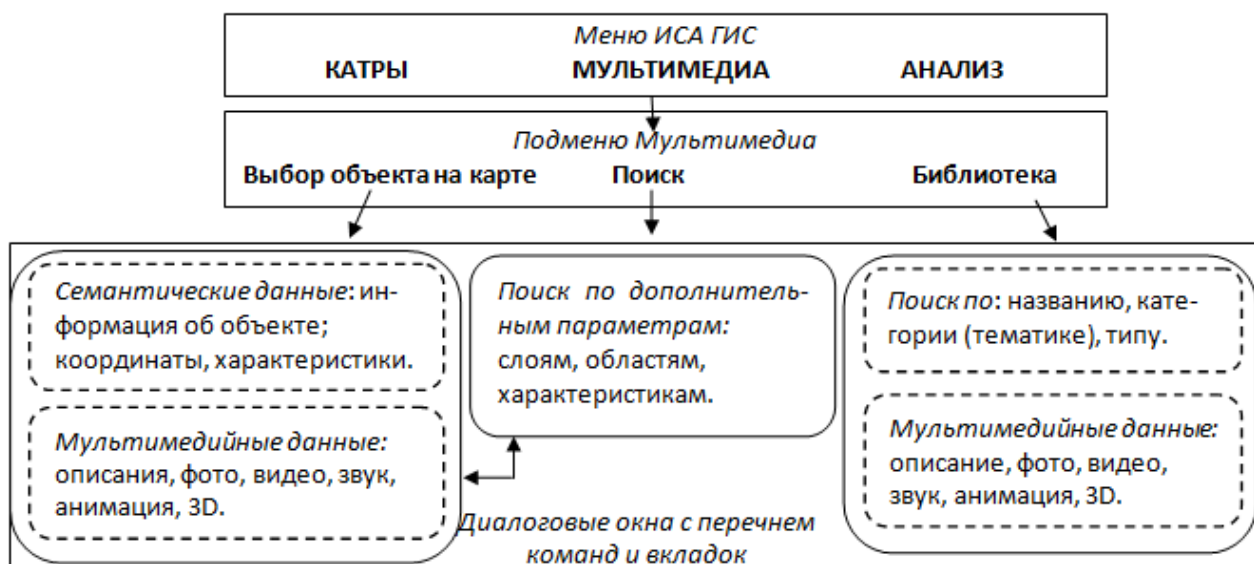


Рис. 2. Структура интерфейса мультимедийного блока ИСА ГИС

Второй этап предусматривает *разработку руководства пользователя для получения информации средствами мультимедиа*. Руководство представляет собой справочный документ – инструкцию, где детально и доступно расписываются все элементы управления и функции, которыми обладает данная система, а также расписываются все возможные варианты действий пользователя необходимые для выполнения задач определенных перечнем.

Третий этап состоит в *формализации мультимедийных операций для программирования*. Он предусматривает разработку взаимосвязей между операциями предусмотренными меню ИСА ГИС и функциями известных программных продуктов, в которых эти операции могут быть успешно реализованы. Поскольку системы управления базами пространственных данных работают преимущественно с формальным языком запросов SQL, а программный интерфейс ГИС – пакетов известных программ сложен для восприятия простого пользователя, поэтому оболочка ИСА ГИС должна устанавливать взаимосвязь с другими программными продуктами с целью ее интеграции в соответствующую программную среду для получения мультимедийной информации.

УДК 528.9

Т.Е. Елишина

СГГА, Новосибирск

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ НА ГЕОПОРТАЛЕ СГГА

Современный уровень развития техники компьютерных технологий позволяет разрабатывать карты любой тематической направленности с последующей интеграцией и объединением их в атласы и электронные справочники. Примером таких справочников служат геопорталы. Геопортал включает набор информационно-пространственных данных, их визуализацию, загрузку и трансформирование.

Электронная карта «Охраняемые природные объекты Новосибирской области» разрабатывалась с учетом задач и требований к геопорталу Сибирской государственной геодезической академии (СГГА). Информация представляется для широкого круга читателей.

T.Ye. Yelshina

SSGA, Novosibirsk

NATURE CONSERVATION MAPPING OF NOVOSIBIRSK REGION FOR SSGA PORTAL

Current level of computer technologies permits developing all kinds of thematic maps and their consequent integration in atlases and electronic thesauruses. Geoportal is an example of such a thesaurus, featuring spatial data set, its visualization, loading and transformation.

The electronic map “Conservation areas of Novosibirsk region” was developed with regard to the requirements and aims of SSGA portal. The information is intended for public at large.

Развитие техники и новейших компьютерных технологий позволяет создавать атласы и карты повышенной информационной емкости. Современный уровень технологий дает возможность разрабатывать карты любой тематической направленности с последующей интеграцией и обобщением их в электронные справочники, что в свою очередь делает информацию наглядной и удобной для восприятия. Примером таких справочников служат геопорталы.

Быстрое развитие геоинформационных технологий и онлайн-геопорталов стали, наряду с процессами глобализации экономики и интернационализации общественной жизни, существенными факторами развития современного общества, которые способствуют объединению,

социализации и приобщению широких слоев населения к использованию передовых технологий.

На геопортале Сибирской государственной геодезической академии планируется разместить серию электронных карт, различной тематики, составляющих электронный атлас на Новосибирскую область. Карта «Охраняемые природные объекты Новосибирской области» разрабатывается с этой целью. Предполагается, что карта будет давать исчерпывающую информацию об охраняемых объектах Новосибирской области и с ней можно будет работать в интерактивном режиме. Данная карта разрабатывается по единым требованиям, на базе единой электронной основы масштаба 1:1 000 000. Основа создана в лаборатории геоинформационного картографирования Сибирской государственной геодезической академии, с неё на карту наносятся: общегеографические элементы (гидрография, населенные пункты, пути сообщения и границы). Проекция – UTM ЗОНА 44, северное полушарие. Копоновка карты плавающая, картографическая сетка отсутствует. Математическая основа выполняется по стандартам геопортала СГГА.

Карта разрабатывается при поддержке Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. Тематическое содержание карты разрабатывается и уточняется на основе баз данных департамента. По ним наносятся заказники, вводно-болотные угодья, охраняемые природные объекты и границы их территорий.

С учетом опыта заинтересованных организаций, а так же опыта подобного картографирования, на карте показываются:

- Памятники природы (комплексные, ботанические, ландшафтные, зоологические, дендрологические, палеонтологические);
- Заказники;
- Вводно-болотные угодья.

Памятники природы подразделяются также на памятники природы регионального и областного значения. Описания памятника приводятся в виде типового шаблона, по которому описываются все памятники природы Новосибирской области. Объем описания зависит от собранного и предоставленного материала и может интерактивно дополняться и обновляться при получении новых данных.

Кроме текста добавляются фотографии и видео материалы памятников природы, флоры и фауны занесенной в Красную книгу. Все ссылки создаются при помощи инструмента *геолинк*. С его помощью можно изучать текст и изображения, привязанные к памятникам природы.

Карта предназначена для широкого круга пользователей и может быть использована администрацией Новосибирской области при планировании, хозяйственных, природоохранных и других мероприятий, а так же как туристская, для изучения родного края.

УДК 528.926:004

С.А. Сухорукова, С.С. Дышлюк

СГГА, Новосибирск

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ КАК ОБЪЕКТ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

В статье рассмотрены проблемы создания карт, отражающих региональную структуру природопользования. Предложены методические рекомендации по картографическому обеспечению географических исследований природопользования. Сделан акцент на разработку условных обозначений законодательно принятых моделей природопользования. Предложенные унифицированные условные обозначения построены на основании принятых нормативно-методических документов и позволяют синтезировать различные экологические и социально-экономические модели хозяйствования, находить их гармоничное сочетание или конфликтные участки.

S.A. Sukhorukova, S.S. Dyshlyuk

SSGA, Novosibirsk

NATURE MANAGEMENT AS AN OBJECT OF MAPPING

The problems of producing maps presenting the regional structure of nature management are considered. Recommendations on GIS dataware for geographic investigations of nature management are given. The emphasis is made on the development of reference designations for the legal nature management models. The unified designations based on the normative-methodical documents allow synthesizing different ecological and socio-economic models of management, finding their balanced combination or conflict points.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009-2013 годы» (ГК № 02.740.11.0735).

К настоящему времени в нашей стране накоплен немалый опыт разработки карт, предназначенных для изучения и решения проблем природопользования. Весьма важным результатом этих разработок является определение места и роли карты как географической основы выявления, инвентаризации, оценки, территориального анализа и синтеза ситуаций в природопользовании, как инструмента осуществления экспериментальных проработок, средства документирования и передачи информации потребителям в сфере науки, проектирования и управления [1].

В основу отбора картографических показателей положены требования нормативных документов министерств и ведомств, осуществляющих использование тех или иных видов природных ресурсов.

При отражении на картах состояния природных ресурсов можно выделить территории с рациональным или нерациональным природопользованием, то есть с сохранением или нарушением баланса самовосстановления возобновимых ресурсов, оптимального или неоптимального использования невозобновимых (комплексного с утилизацией пород в отвалах и рекультивацией) [2].

Наиболее продуктивным на этом этапе является создание картографических документов, комплексно отражающих природный и социально-экономический потенциал региона.

Обоснование масштабов карт составляет важную часть методических рекомендаций. Выбор единого ряда масштабов карт для всех природно-хозяйственных регионов, областей и районов должен основываться на:

- Едином подходе к отображению основного содержания;
- Отборе и показе основных объектов картографирования всех географических элементов.

В зависимости от целей и задач, указанных в положении о территориальном планировании применительно к конкретной схеме территориального планирования, при подготовке карт и их фрагментов могут быть использованы следующие масштабы:

- Масштаб 1:2 500 000-для карт территории Российской Федерации;
- Масштабы 1:1 000 000-1:500 000-для карт части территории Российской Федерации;
- Масштабы 1: 5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500-для фрагментов карт [3].

Установленные масштабы карт хорошо сочетаются с имеющимися общегеографическими картами и могут быть уточнены заказчиком с учетом конкретной ситуации, что в значительной мере благоприятствует работе по созданию географических основ и привязке всех элементов специального содержания карт [4].

Для правильного отображения элементов природопользования необходимы интегральные условные обозначения. Одним из сложных моментов при их разработке является выбор масштаба. Это объясняется тем, что экологические закономерности имеют сложные пространственно-временные распределения и поэтому для отображения рассматриваемых категорий условные знаки используются не в конкретном масштабе, а применяются обобщающие понятия «в масштабе карты» и «вне масштаба карты».

Широкий выбор способов отображения позволяет повысить наглядность и выразительность карт, увеличить их информационную ёмкость и представить информацию в легко воспринимаемом виде, исследовать пространственные объекты и явления, устанавливать пространственные связи между ними [5].

Общее количество явлений, показываемых на картах весьма велико. Основные явления на картах подразделяются согласно принятому в Земельном кодексе делению.

В основе картографирования природопользования лежат общепринятые способы картографического отображения, а именно:

– Способ значков используется для передачи планового положения, количественных и качественных характеристик объектов, по своим размерам не выражающихся в масштабе карты, но имеющих четкую точечную локализацию. (рис. 1).

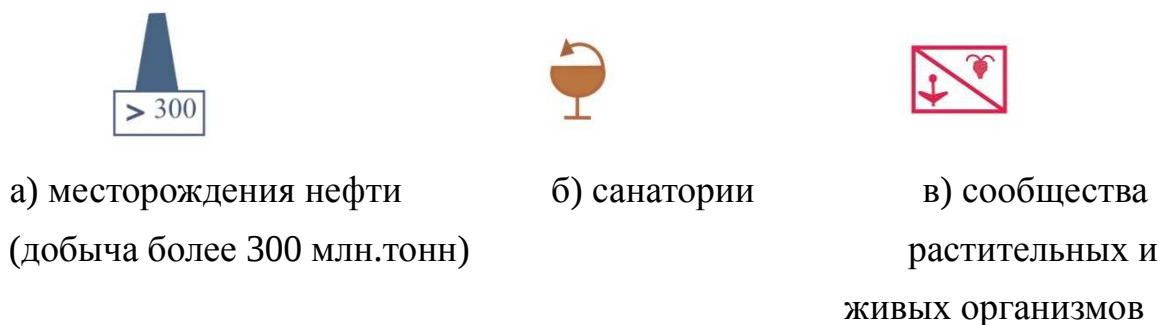


Рис. 1. Способ значков

– Способ линейных знаков используется для передачи линий в геометрическом понимании: границ, береговых линий, гидрографии. (рис. 2).



Рис. 2. Способ линейных знаков

– Способ качественного фона используется для качественной характеристики явлений. При его использовании территория делится на качественно однородные контуры, которые окрашиваются или штрихуются в соответствии с качественной характеристикой (рис. 3).

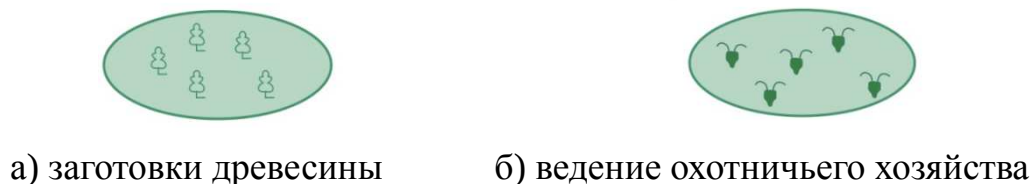


Рис. 3. Способ качественного фона

– Способ ареалов используется для передачи области распространения явлений, имеющих ограниченное по площади распространение, причем в пределах этой площади картографируемое явление может быть сплошным или рассеянным (рис. 4).



а) земли транспорта



б) биосферные заповедники

Рис. 4. Способ ареалов

– Картограммы графически передают среднюю интенсивность какого-либо явления (то есть количественную характеристику) в пределах определенных территориальных единиц, чаще всего административных (рис. 5).



а) допустимая категория почв



б) умеренно опасная категория почв



в) опасная категория почв



г) чрезвычайно опасная категория почв

Рис. 5. Способ картограммы

Главные требования, предъявляемые к способам отображения на картах заключаются в том, что применяемые способы должны обеспечить наглядность и читаемость карты [6,7].

При разработке цветового оформления способов отображения учитывались как определенная традиционность в подборе красок, так и способность четкого различения одних элементов от других. В результате проведенных экспериментальных работ категориям землепользования присвоены следующие цвета: землям населенных пунктов – коричневый, землям сельскохозяйственного назначения – черный, землям промышленности – фиолетовый, землям водного фонда – синий, землям лесного фонда – зеленый, землям особо охраняемых территорий – красный.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Золовский, А.П. Картографические исследования проблемы охраны окружающей среды: вопр. теории [Текст]: сб.мат. X Междунар. картогр. конф./А.П. Золовский, Г.О. Пархоменко, Токио, Япония, 1980 г.- Киев: Наук. думка, 1980. - 30 с.
2. Природопользование и среда обитания. Системный подход [Текст] / С.И. Кожурин и др.; под общ.ред. Р.М. Мифтахова; М-во образования и науки

Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Костром. гос. технол. ун-т.- Кострома: КГТУ, 2005.-103 с.

3. О составе схем территориального планирования Российской Федерации. Постановление Правительства Российской Федерации от 13.11.2006 № 680 // Консультант Плюс.

4. Об утверждении инструкции о порядке разработки, согласования, экспертизы и утверждения градостроительной документации. Постановление государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу от 29.10. 2002 г. №150// Консультант Плюс.

5. Картографические исследования природопользования: (Теория и практика работ) [Текст] / Л.Г. Руденко, Г.О. Пархоменко, А.Н. Молочко и др.; отв. ред. А.П. Золовский; АН Украины. Ин-т геофизики им. С.И. Субботина, отд-ние географии. - Киев: Наук. думка,1991.-212 с.

6. Салищев, К. А. Проектирование и составление карт [Текст] / К.А. Салищев. – 2-е изд. – М.: МГУ,1987. – 240 с.

7. Берлянт, А.М. Картография [Текст] / А.М. Берлян. – М.: Астрель Пресс, 2001.

© С.А. Сухорукова, С.С. Дышлюк, 2011

УДК 528.94+911.591.9
Н.Ю. Курепина
ИВЭП СО РАН, Барнаул

ОПЫТ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДОСБОРНУЮ ТЕРРИТОРИЮ И ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

В работе дается описание нескольких тематических разномасштабных карт, основное содержание которых заключается в показе прямого и косвенного антропогенного воздействия на водосборную территорию и ее водные объекты.

N.Yu. Kurepina

The Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS (IWEP SB RAS)
1, Molodezhnaya St., Barnaul 656038, Altai Krai, Russia

EXPERIENCE IN MAPPING OF ANTHROPOGENIC LOAD ON CATCHMENT AREA AND WATER OBJECTS

The work gives the description of a number of thematic different-scale maps representing the direct and indirect anthropogenic impact on catchment area and its water objects.

Управление качеством окружающей среды и рациональное использование водных ресурсов, изучение взаимосвязи природных и антропогенных систем современными методами оценки и прогнозирования этих отношений, формирование информационных баз всех уровней являются приоритетными научно-исследовательскими направлениями. При этом важное место занимает картографический метод исследования. Тематическое картографирование представляет специфическую информационно-коммуникационную систему, имеющую свой язык [1], используемую в качестве значимого и эффективного элемента в решении экологических вопросов.

За последние годы в ИВЭП СО РАН в рамках выполнения научно-исследовательских работ была сформирована геоинформационная база данных на территорию Обь-Иртышского бассейна, проведен ее комплексный анализ и составлена серия тематических карт. Одна из тематик была представлена среднемасштабными оценочными картами антропогенных нагрузок на водосборные территории и водные объекты.

В соответствии с определением «карты антропогенного воздействия на среду» [2], основное содержание картографического произведения заключается в показе прямого или косвенного (опосредованного) влияния производственной и непроизводственной деятельности людей на окружающую среду (*в нашем случае – на водосборную территорию*) и ее компоненты (*водные объекты*). При разработке методики составления таких карт мы опирались на общепринятые

методы и подходы картографирования [3-5 и т.д.], а также учитывали существующий опыт создания карт в данной области [6-9 и др.].

В рамках выполнения работ по госконтракту «Исследование современного состояния и научное обоснование методов и средств обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса в бассейнах рек Оби и Иртыша» (2008-2010 гг.) были составлены карты зонирования (ранжирования) по степени антропогенной нагрузки водосборной территории Обь-Иртышского бассейна и его отдельных водохозяйственных участков (ВХУ), а также прогнозных изменений антропогенной нагрузки на водные объекты Обь-Иртышского бассейна до 2020 г. Картографирование водосборного бассейна осуществлялось в среде ArcGIS в масштабе 1:1 000 000 с использованием векторной топографической информации: границы (государственная, субъектов федерации и муниципальных образований), гидрография и населенные пункты. На данных картах также представлены границы Обь-Иртышского бассейна в пределах Российской Федерации и ВХУ (всего 72). Последние выступали в качестве основной операционной территориальной единицы аналитических процедур и картографирования.

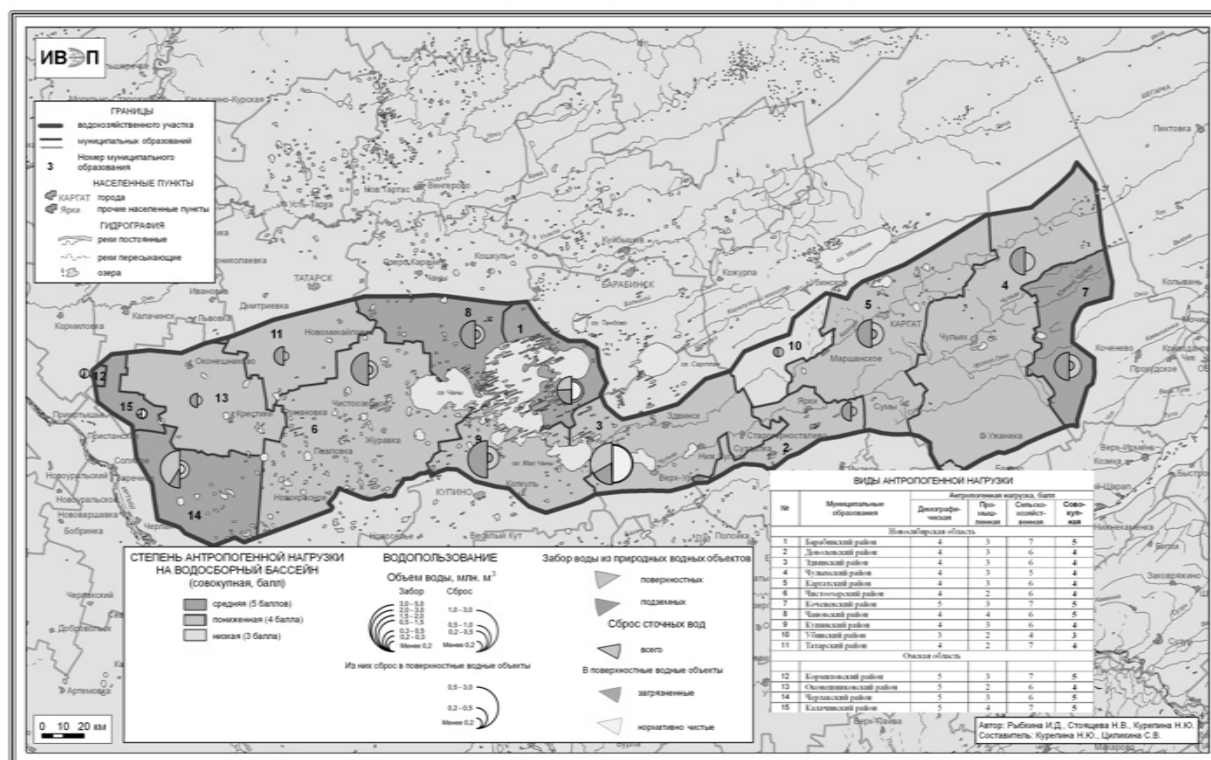
Картографирование прямого антропогенного воздействия на водные объекты заключалось в отображении объемов забора вод и сброса сточных вод. Косвенное воздействие антропогенных факторов нашло свое отражение на картах посредством визуализации показателей совокупной антропогенной нагрузки на водосборе. Данный показатель является интегральным, рассчитываемым по значениям демографического, промышленного и сельскохозяйственного видов нагрузок в соответствии с разработанной оригинальной методикой [10]. Информация, предоставленная территориальными органами Федеральной службы государственной статистики в границах административно-территориального деления за период с 1990 по 2007 гг., благодаря возможностям ГИС была переработана и выдана для картографирования по ВХУ.

На карте «Зонирование (ранжирование) водосборной территории по степени антропогенной нагрузки» количественный фон применен для ВХУ по показателям совокупной антропогенной нагрузки, ранжированной по трехбалльной шкале: высокая, средняя и низкая. На большей территории Обь-Иртышского бассейна наблюдается средняя и низкая интенсивность антропогенной нагрузки и лишь 11 ВХУ характеризуются высокой степенью нагрузки. Водопользование отображалось для двух категорий муниципальных образований: административных районов и городских округов. В соответствии с техническим заданием бумажный вариант карты составлялся для формата А3 (масштаб карты 1:9 000 000), поэтому забор воды и сброс сточных вод нашли отражение на карте лишь при превышении ими объема 100 млн. м³. Данная информация по административным районам была представлена способом качественного фона, по населенным пунктам – круговыми картодиаграммами, разделенными по вертикали на две части с различной цветовой гаммой, одна из которых соответствовала объему забора воды, другая – сбросу сточных вод. Удачно подобранные интервалы шкал диаграмм (от 100 до 300, от 300 до 500, от

500 до 700 и от 700 до 1010 млн. м³) позволили наглядно отобразить города с высоким водопотреблением и водоотведением, подтвердив сложившуюся напряженную ситуацию на отдельных водных объектах ВХУ. На карте собственные подписи имеют водохозяйственные участки, основные водотоки, центры субъектов федерации и населенные пункты с высоким забором воды и сбросом сточных вод.

При составлении карты «Прогнозное изменение антропогенной нагрузки на водные объекты и территории водосборного бассейна до 2010 г.» рассматривалось два варианта подачи информации: отображение прогнозируемой антропогенной нагрузки по всем ВХУ Обь-Иртышского бассейна с помощью количественного фона, либо отражение лишь тех ВХУ, на которых ожидаются изменения. Последний вариант оказался более приемлем, так как из 72 ВХУ лишь на шести вероятны изменения. Таким образом, количественный фон ВХУ, отображающий степень совокупной антропогенной нагрузки на водосборе, был оставлен таким же, как на предыдущей карте, а прогнозные изменения представлены ареалами с разной интенсивностью штриховки. По прогнозу тенденция увеличения антропогенной нагрузки с низкой до средней ожидается для одного ВХУ, для остальных – со средней до высокой.

С целью более детальной оценки экологического состояния и водно-ресурсного потенциала Обь-Иртышского бассейна в соответствии с природно-климатическими и гидрохимическими характеристиками были выбраны модельные ВХУ (всего 13). Их картографирование выполнялось в ArcGIS на топографической основе масштаба 1:200 000. Требуемый формат бумажного варианта карт – А3. На данных картах основной операционной единицей картографирования являются районные муниципальные образования (рис. 1). Для них степень антропогенной нагрузки определялась по вышеупомянутой методике [10] с той лишь разницей, что шкала имела более дробные интервалы: очень высокая (8 баллов), высокая (7 баллов), повышенная (6 баллов), средняя (5 баллов), пониженная (4 балла), низкая (3 балла), очень низкая (2 балла) и незначительная или отсутствует (1 балл).



Разработка карты выполнялась на основе аналитических и картографических данных, полученных в результате создания вышеописанных карт. Ее тематическое содержание составили: степень совокупной антропогенной нагрузки на водосборе (по 3-х бальной шкале), представленная способом количественного фона, и дополненная столбчатой картодиаграммой, отображающей разным цветом различные виды антропогенной нагрузки (демографической, промышленной и сельскохозяйственной). Информация по водопользованию демонстрируется по административным районам и городам. Масштаб данной карты позволил детализировать информацию по водопотреблению и водоотведению в городах картографируемой территории (рис. 2), в отличие от карты, составленной на Обь-Иртышский бассейн.

Созданные компьютерные карты на основе баз данных и ГИС являются оценочными. Они позволяют наглядно представить количественные и качественные показатели состояния водных объектов бассейнов в зависимости от антропогенной нагрузки, а также возможные изменения этой нагрузки к 2020 г. с целью решения различных задач по управлению водными ресурсами.

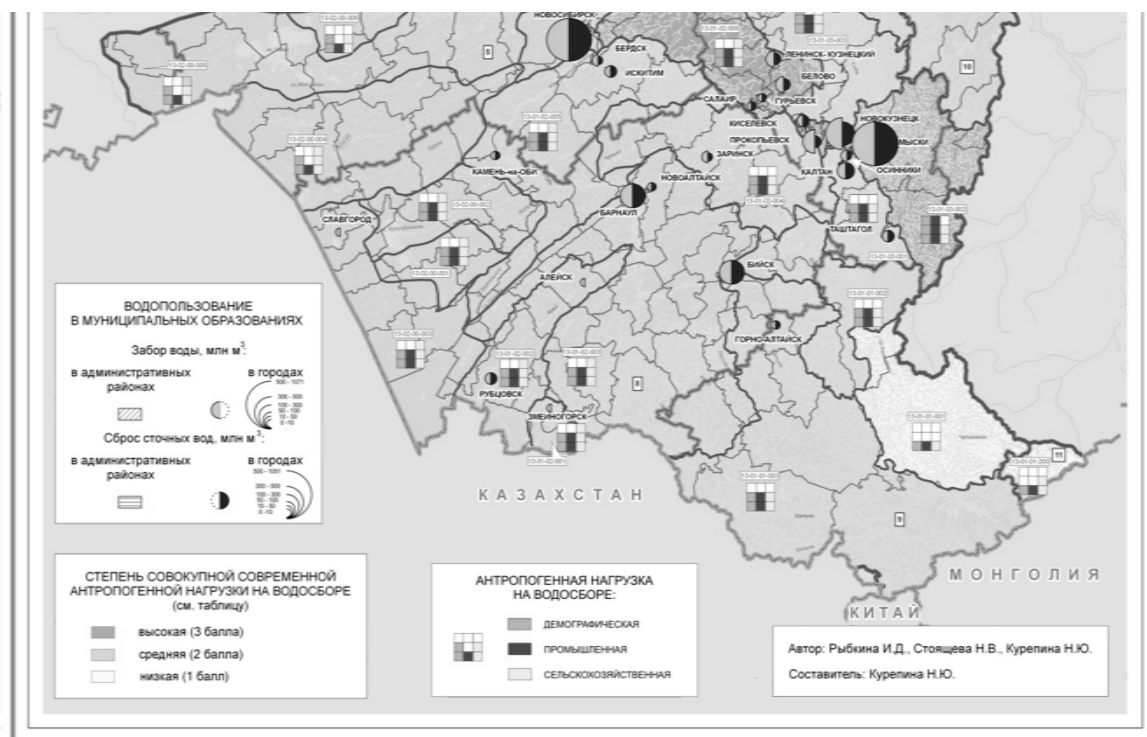


Рис. 2. Фрагмент карты зонирования (ранжирования) водосборной территории р. Обь по степени антропогенной нагрузки

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лютый, А.А. Язык карты: сущность, система, функции [Текст] / А.А. Лютый – М.: ИГ АН СССР, 1988. – 292 с.
2. Берлянт, А.М. Карта. Каткий толковый словарь [Текст] / А.М. Берлянт – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.
3. Салищев, К.А. Проектирование и составление карт [Текст] / К.А. Салищев – М.: МГУ, 1987. – 240 с.

4. Евтеев, О.А. Проектирование и составление социально-экономических карт: Учебник. [Текст] / О.А. Евтеев – М.: МГУ, 1999. – С. 116-170.
5. Востокова, А.В. Оформление карт. Компьютерный дизайн: Учебник [Текст] / А.В. Востокова, С.М. Кошель, Л.А. Ушакова – М.: Аспект Пресс, 2002. – 288 с.
6. Безруков, Л.А. Эколого-географические особенности картографирования водопользования и водного хозяйства [Текст] / Л.А. Безруков // Экологическое картографирование Сибири – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. – С. 105-115.
7. Атлас України. – ІГ НАНУ. – 1999-2000. – Эл. опт. диск (CD-ROM).
8. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа - Югры / – Ханты-Мансийск; М.: Мониторинг. – 2005. – Т. 2. Природа. Экология. – Эл. опт. диск (CD-ROM).
9. Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. – ИГ СО РАН. – 2006. – Эл. опт. диск (CD-ROM).
10. Рыбкина, И.Д. Оценка антропогенной нагрузки на водосборную территорию Верхней и Средней Оби [Текст] / И.В. Рыбкина, Н.В. Стоящева // Мир науки, культуры, образования. – 2010. – №6. – Ч. 2. – С. 295-299.

© Н.Ю. Курепина, 2011

УДК 004:528.91

О.П. Архипенко, В.В. Мандругин

СГГА, Новосибирск

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО ВНЕДРЕНИЮ ГЕОПОРТАЛА

В статье рассмотрены основные принципы организации работ по созданию и внедрению геопортала. Проанализированы такие аспекты как поддержка руководства, финансирование, программное и аппаратное обеспечение, информационное обеспечение.

O.P. Arkhipenko, V.V. Mandrugina

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

PRINCIPLES OF THE ORGANIZATION OF WORK FOR GEOPORTAL IMPLEMENTATION

In the article the basic principles of the organization works to create and implement geoportal are considered. Such aspects as management support, financing, hardware, software, information support are analyzed.

В эпоху глобализации и развития общества возникла необходимость упорядочить для дальнейшего использования большие объемы разнородной информации, в том числе пространственно-координированной. Кроме того, информация должна быть максимально доступной и наглядной, чтобы быть полезной для широкого круга пользователей. Современные web-технологии позволяют не только быстро и с наименьшими затратами предоставить наборы данных конечному пользователю, но и дают возможность обрабатывать и анализировать их, извлекая максимум полезной информации. В современных условиях для этих целей все большее применение находят геопортальные решения. Геопортал является современным инструментом, который позволяет интегрировать разнородную информацию для решения конкретных задач. Поэтому, многие организации могут быть заинтересованы в создании геопорталов, которые помогут им упорядочить массивы данных, сделать их доступными для обработки и увеличить скорость доступа к ним.

Геопортал представляет собой набор инструментов просмотра метаданных, а также поиска, визуализации, загрузки, распространения географической информации на базе сетей Интернет и Интранет. Геопортал может использоваться для поиска и обмена пространственно-координированными данными на уровне рабочей группы внутри организации, между рядом организаций либо стать элементом пространственной инфраструктуры данных, которая соединяет пользователей во всем мире.

В зависимости от организации, которая собирается внедрить геопортал, будут использованы различные способы получения, обработки и классификации геоинформации. В то же время, сама задача обслуживания геопортала может привести к серьезным изменениям в распределении технических и кадровых ресурсов. Поэтому, прежде чем начать работы по созданию либо внедрению геопортала, следует четко определить цели, поставленные перед интернет-ресурсом, а также увидеть возможные последствия для организации.

Для обеспечения слаженной работы лиц, участвующих в процессе создания геопортала, необходимого объема ресурсов и финансирования желательно создать техническое задание, или иной документ, содержащий обязанности сторон, сроки выполнения каждого этапа работ, а также строгую последовательность действий. Это поможет в случае необходимости определить причины задержки работ и ответственные за них стороны, а также этапы, на которых происходят потери средств и ресурсов, и принять соответствующие меры.

Создание и развитие геопортала повлечет за собой расходы, связанные не только с разовой покупкой программного и аппаратного обеспечения, но и с поддержанием геопортала в рабочем и актуальном состоянии в течение долгого времени. Основные операции по функционированию геопортала включают:

- Управление работами по созданию и внедрению геопортала;
- Проведение внутренних рабочих процессов, необходимых для осуществления пространственной инфраструктуры данных в целом, а также операций по созданию, внедрению и обеспечению работоспособности геопортала в частности;
- Выбор, установка и настройка аппаратных средств и базового программного обеспечения;
- Установка геопортала и его адаптация под нужды конкретной организации;
- Работы по управлению содержимым геопортала;
- Операции по управлению геопорталом;
- Подготовка и обслуживание данных и связанных с ними метаданных;
- Техническое обучение управлению и использованию геопортала.

Затраты будут меняться в зависимости от конкретных задач геопортала и предполагаемого масштаба операций. Важно правильно определить число пользователей, размеры баз данных, цели и задачи геопортала, а также виды программного и аппаратного обеспечения.

Небольшой геопортал, который обслуживает известное статическое количество пользователей и известное относительно постоянное количество данных, после создания базы данных и метаданных потребует минимального управления содержимым. Геопортал для глобально доступной пространственной инфраструктуры данных может потребовать управления специализированной группой из нескольких профессионалов.

Геопортал нуждается в поддержке аппаратного и программного обеспечения.

Спецификация требований к аппаратному обеспечению обязательно будет связана с существующей архитектурой организации, внедряющей геопортал, и предполагаемого уровня использования геопортала. В целом обычной практикой для управления всеми программными компонентами геопортала является использование двух и более выделенных серверов с подключением к Internet. Кроме того, предоставление серверов баз данных внутри организации требуется для упрощения обслуживания данных этой организацией. Намеченный масштаб операций, предоставляемых геопорталом, предполагаемое количество и местоположение пользователей являются основными факторами, влияющими на организацию сети аппаратных средств и мощностей.

Программное обеспечение, необходимое для поддержки геопортала, зависит от технологий, на которых базируется интернет-ресурс. У организаций, собирающихся внедрить геопортал, часто уже есть лицензии для большей части необходимого базового программного обеспечения. Тем не менее, обзор существующего программного обеспечения организации и архитектуры, а также обзор специального программного обеспечения, необходимого для поддержки геопортала, рекомендуется для определения уровня усилий и затрат, которые будут задействованы при подготовке геопортала к внедрению.

Для того чтобы геопортал выполнял поставленные перед ним задачи, необходимо обеспечить его высококачественными и полными данными, а также метаданными их описывающими.

Данные должны систематически каталогизироваться согласно стандарту и схеме, определяемой организацией, внедряющей геопортал, или конечными пользователями. Такая каталогизация приводит к расходам, размер которых зависит от количества и типа данных, публикуемых на геопортале. Главная составляющая геопортала – пространственно-координированные данные, поэтому инвентаризация и обслуживание этих данных требуют самых важных инвестиций. Геопортал будет бесполезен, если данные являются устаревшими, доступными спорадически, либо метаданные, обслуживающие их, некорректны.

В связи с вышеизложенным, при разработке и внедрении геопортала руководству организации целесообразно провести инвентаризацию и анализ данных, имеющихся в распоряжении в настоящий момент, чтобы определить уровень усилий, необходимых для установки и поддержания в актуальном состоянии интернет-ресурса.

Процесс внедрения геопортала условно можно разбить на три этапа: прединсталляционную подготовку, установку и предстартовую подготовку. После успешного завершения этих этапов организация получает готовый к использованию геопортал. Каждому из вышеописанных этапов для завершения требуется определенное количество ресурсов и усилий со стороны персонала и руководства. Схема распределения ресурсов на каждый этап работ по внедрению и эксплуатации геопортала представлена на рис. 1.

Из рис. 1 можно сделать вывод о том, что содержание технического задания или иного документа, определяющего основные задачи, которые должны быть решены с помощью геопортала, и основные требования, предъявляемые к интернет-ресурсу, во многом зависит от набора имеющихся данных и метаданных (их объема, качества, типа). Исходя из требований, изложенных в таком документе, и как следствие из имеющейся информационной основы, выбирается программное и аппаратное обеспечение, необходимое для осуществления каждого из этапов работ по внедрению и эксплуатации геопортала. Количество персонала, задействованного в установке и обеспечении работоспособности геопортала, а также уровень его подготовки и специализация зависят от информационной основы, требований к геопорталу, программного и аппаратного обеспечения. Объем финансирования зависит от количества и качества описанных ранее видов обеспечения (информационного, программного, аппаратного, кадрового). Поддержка руководства необходима на каждом этапе внедрения и эксплуатации геопортала.

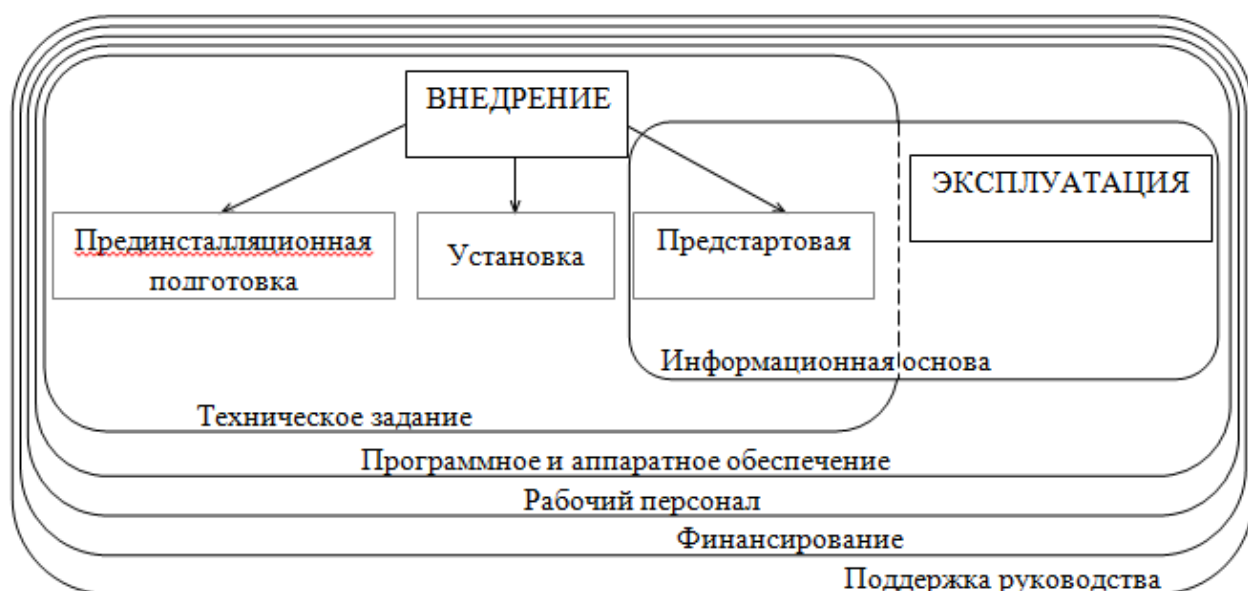


Рис. 1. Распределение ресурсов организации на этапе внедрения и эксплуатации геопортала

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для успешного создания и внедрения геопортала в организации необходимо провести следующие действия:

- Определить цели создания геопортала и задачи, решение которых будет возложено на него;
- Проанализировать возможных пользователей геопортала (количество, местоположение, требования к предоставляемой информации и т.д.);
- Создать бизнес-план, содержащий обязанности сторон, сроки выполнения каждого этапа работ, их последовательность, требования к конечному продукту;
- Определить необходимый объем финансирования, затраты по каждому этапу работ и статье расходов;

- Провести обзор необходимого и имеющегося программного и аппаратного обеспечения;
- Провести инвентаризацию и анализ данных, имеющихся в распоряжении в настоящий момент, и разработать комплекс мероприятий по их приведению к заданному стандарту.
- Обеспечить процесс создания, внедрения и обслуживания геопортала необходимыми кадрами;
- Ускорить технологический переход и подготовку кадров.

Всесторонняя поддержка руководства организации, внедряющей геопортал, необходима для того, чтобы геопортал стал успешным проектом. Выделение ресурсов, требуемых в самом начале работ по созданию геопортала, и ресурсов, необходимых для его дальнейшего функционирования и роста будут сильно зависеть от такой поддержки.

Каждая организация, рассматривающая возможность создания и внедрения геопортала, должна будет адаптировать операции принятия решений и методы подготовки данного процесса к собственным политикам и методам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Creating and Maintaining a Geoportal - Management Considerations (2009) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://webhelp.esri.com/geoportal_extension/9.3.1/geoportal931_management_considerations.pdf. – Англ.
2. Giff G., Loenen B. van, Crompvoets J., Zevenbergen J. Geoportals in selected European states: A non-technical comparative analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gsdi.org/gsdi10/papers/TS41.3paper.pdf> . – Англ.

© О.П. Архипенко, В.В. Мандругин, 2011

УДК 912.44

И.П. Каретина, А.А. Альхимович

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, НПЦ ГРИД, Усть-Каменогорск

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СОСТАВЛЕНИЕ ОНОМАСТИЧЕСКОГО АТЛАСА ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье рассмотрена технология создания ономастического атласа с помощью программного обеспечения Mapinfo Professional 9.0.

I.P. Karetina, A.A. Alhimovich

East-Kazakhstan State Technical University of D. Serikbaev (EKSTU), Research and Production Center GRID (RPC GRID), Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

DESIGNING AND DRAWING UP ONOMASTIC ATLAS OF THE EAST KAZAKHSTAN AREA

In article the technology of creation onomastic atlas by means of software Mapinfo Professional 9.0 is considered.

Производственная и общественная деятельность людей проходит во всех сферах географической среды, в конкретных территориально-природных и территориально-производственных комплексах, состоящих из многочисленных объектов, имеющих собственные наименования. Поэтому названия географических объектов во все времена выполняли разнообразные функции, без них не обходилась ни одна общественная формация.

Давно устоявшиеся в лексике местные названия успешно удовлетворяют практические запросы при наименованиях вновь организуемых административно - территориальных и хозяйственных единиц, населенных пунктов и их отдельных частей, новых месторождений полезных ископаемых, а так же при переименованиях существующих объектов.

Ономастика, наука об именах собственных всех типов, о закономерностях их развития и функционирования. Лингвистическая в своей основе, ономастика включает исторический, географический, этнографический, культурологический, социологический, литературоведческий компоненты, помогающие выявлять специфику именуемых объектов и традиции, связанные с их именами, что выводит ономастику за рамки собственно лингвистики и делает автономной дисциплиной, использующей преимущественно лингвистические методы, тесно связанной с комплексом гуманитарных наук, а также наук о Земле и Вселенной.

Казахстан, занимающий 5% территории Евразии, по площади является одной из крупнейших держав и по этому показателю занимает 9-е место в мире. На такой обширной территории создавались, накапливались и дошли до наших

дней, благодаря народной памяти, миллионы эндогенных топонимов. К сожалению, это огромное количество названий до настоящего времени в полном объеме ещё не собрано в одном месте, не систематизировано и не изучено всесторонне. Наиболее полное собрание географических названий содержат крупномасштабные топографические карты. При их создании закладываются основы дальнейшей работы с географическими названиями, поэтому не случайно в большинстве стран мира организация и непосредственное выполнение работ по упорядочению географических названий, их стандартизации возложено на государственные топографо-геодезические службы.

Вопросы о географических названиях во многих случаях выходят за пределы внутригосударственных национальных интересов и приобретают международное значение. Наряду с адресными и научно-информационными функциями, географические названия служат одним из средств утверждения суверенитета, национального приоритета государства.

Поэтому собственные названия всех значительных географических объектов, установленных в качестве обязательных для официального употребления на государственном языке должны получить признание во всех случаях и правильную, единую и стабильную форму написания в международных договорах и соглашениях, материалах делимитации и демаркации межгосударственных границ, справочниках международной, почтовой, телеграфной и электронной связи, Интернете, а также при создании карт и атласов на всех официальных языках ООН, предназначенных для международного использования.

Целью создания ономастического атласа является наглядное представление районов Восточно-Казахстанской области (ВКО) с новыми названиями городов, сел, округов и улиц на государственном языке.

Задачами данного атласа являются:

- Отображение территории ВКО с делением на районы со всеми населенными пунктами;
- Акцентирование внимания на переименованные населенные пункты и улицы, а также на год их переименования.

В настоящее время в Республике Казахстан активно осуществляется деятельность по переименованию географических объектов, в частности, населенных пунктов и улиц. Координация и регулирование работы по ономастической деятельности опирается на два закона РК «О языках в Республике Казахстан» и «Об административно-территориальном устройстве Республики Казахстан».

Всю работу по ономастике организует и контролирует Государственная ономастическая комиссия при Правительстве Республики Казахстан, которая является консультативно-совещательным органом, вырабатывающим предложения по реализации государственной языковой политики в области ономастики (антропонимики, топонимики, космонимики, астрономики, этнонимики, зоонимики, документонимики, эргонимики и др.) с целью

формирования единого подхода к наименованию географических объектов, упорядочения употреблений и учета топонимических названий, восстановления, сохранения исторических названий как составной части историко-культурного наследия Республики Казахстан и их переименования. Комиссия была создана согласно Постановления Правительства Республики Казахстан от 21 апреля 1998 г. в соответствии со статьей 23 Закона РК от 11 июля 1997 г. "О языках в Республике Казахстан".

В каждой области Республики Казахстан имеется исполнительный орган, занимающийся регулированием ономастической деятельности в пределах административной единицы. В Восточно-Казахстанской области данная работа возложена на управление по развитию языков ВКО. Наряду с реализацией программы «Триединство языков», она также занимается переименованием населенных пунктов, школ, улиц и присвоением исторических названий.

На основе данных, предоставленных управлением по развитию языков ВКО, был составлен ономастический атлас ВКО.

Ономастический атлас создается в несколько этапов. На первом этапе происходит проектирование атласа, разработка его концепции, подготовка необходимой документации, сюда относятся:

- Определение назначения и требований к картам;
- Подбор, анализ и оценка источников тематического содержания;
- Изучение особенностей картографируемых явлений;
- Сбор информации о переименованных населенных пунктах, аульных округов и улиц;
- Уточнение границ районов и сельских округов.

Второй этап – это составление карты, т.е. комплекс работ по изготовлению оригинала карты. Составление выполняется в избранной проекции, компоновке и масштабе, принятой системе условных знаков с заданным уровнем генерализации. Данный этап включает такие процессы:

- Подготовка и обработка источников;
- Разработка математической основы;
- Разработка содержания карт и легенд;
- Оформление карт;
- Редактирование карт и корректура на всех стадиях составления.

Завершающим этапом составления атласа является подготовка к изданию и издание, размножение его в печатной компьютерной форме.

По данным, в Восточно-Казахстанской области в период 2005 – 2010 гг. было переименовано 20 аулов, 10 аульных округов и 129 улиц.

Атлас создается для отображения данных о переименованных населенных пунктах, аульных округах, улиц, в переводе их названий на казахский язык, а также для показа административного деления и дорожной сети ВКО.

Помимо старых и новых названий, утвержденных решением областного маслихата, атлас заполнен сведениями о времени переименования.

Электронная версия ономастического атласа была выполнена в программе MapInfo Professional, версия 9.0.

При создании цифровой ономастической карты использовались следующие материалы:

- Топографические карты М 1:100 000 (257 планшето в 2008-2009 гг. издания)
- Данные по границам районов и аульных округов ВКО;
- Схема улиц г. Усть-Каменогорска;
- Перечень переименованных населенных пунктов и улиц, предоставленный ГУ «По управлению и развитию языков ВКО».

Атлас содержит следующие слои:

- Населенные пункты;
- Дорожная сеть;
- Гидрография;
- Границы сельских округов;
- Границы районов.
- Улицы г.Усть-Каменогорска.

Таблица 1. Структура атласа

Разделы (подраздел ы)	Название разделов (подразделов)	Число карт	Число страниц	% карт от общего их числа	% страниц от общего их числа	Объем текста в печатных листах	% объема атласа, заполнен ного текстом
Область	Восточно-Казахстанская	1	2	4,5	7,7	0,19	4,3
Город областного значения	Усть-Каменогорск	2	4	9,1	15,4	0,09	2
Города и их округа	Усть-Каменогорск	4	4	18,2	15,4	0,02	0,4
	Семей						
	Риддер						
	Курчатов						
Район	Абайский	15	16	68,2	61,5	0,36	8,2
	Аягозский						
	Бескарагайский						
	Бородулихинский						
	Глубоковский						
	Жарминский						
	Зайсанский						
	Зыряновский						
	Кокпектинский						
	Курчумский						
	Катон-Карагайский						

	Тарбагатайский						
	Уланский						
	Урджарский						
	Шемонаихинский						
Общий итог по разделам		22	-	100	-	0,66	-
Объем атласа		22	26	100	100	2	14,9

Атлас прост и удобен в использовании. На первой странице расположена карта Восточно-Казахстанской области с административным делением с указанием названий районов и районных центров. На следующих страницах схема города Усть-Каменогорск с названиями всех улиц и пометками о их переименовании. Далее на следующих страницах районы ВКО с названиями округов и их центрами. На последней странице расположены две статистические диаграммы: первая о процентном содержании восстановленных исторических названий населенных пунктов разных районов, а вторая о новых названиях и переименованных улицах города Усть-Каменогорска за 2005-2010 гг.

Электронная версия атласа позволит редактировать данные по мере их изменения, что очень важно для тиражирования и поддержания его в актуальном состоянии.

Чтобы акцентировать внимание на переименованных населенных пунктах и улицах, возле каждого измененного названия ставится условный знак в виде голубого флажка. Так же возле измененных названий городов расположена надпись с годом их переименования.

Создаваемый ономастический атлас позволит сформировать и закрепить у конкретного лица сообщества или определенной местности ономастические знания и их преемственность от человека к человеку, от поколения к поколению.

Ономастическая работа занимает значимое место в государственной политике, неоспорима её роль в вопросах суверенитета и независимости Казахстана. Это история, культура. А история местности, края и в целом государства складывается из старинных исконных названий местности, городов и рек. Поэтому работа ономастической комиссии имеет неоценимое значение в сохранении своих истоков.

Завершенная электронная версия ономастического атласа для ознакомления расположена на сайте www.grid.kz.

© И.П. Каретина, А.А. Альхимович, 2011

УДК 528.926:004

Е.Л. Касьянова, П.М. Кикин

СГГА, Новосибирск

К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ ГИС В СФЕРЕ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

В статье обосновывается необходимость создания единой ГИС для инженерных коммуникаций различного назначения.

Ye.L. Kasyanova, P.M. Kikin

SSGA, Novosibirsk

DEVELOPMENT OF GIS FOR ENGINEERING COMMUNICATIONS

The necessity of developing integrated GIS for different purpose engineering communications is substantiated.

Нефтегазовый комплекс (НТК) – это сложный промышленный комплекс, охватывающий процессы от добычи, транспортировки и переработки нефти и газа, распределению продуктов их переработки. В России сосредоточено около 13 % мировых разведанных запасов нефти и более 36 % мировых разведанных запасов газа. Инфраструктура НТК включает в себя тысячи километров трубопроводов, автодорог, линий электропередач, обширные промышленные площадки.

Деятельность любой промышленной структуры сталкивается с обработкой огромного, постоянно растущего, объема информации. В этой огромной массе информации существует необходимость на разных стадиях производственного цикла.

В последнее время наблюдается бурный рост и развитие нефтегазового комплекса. Это обуславливает особый интерес исследователей к информационному обеспечению производственно-технологических процессов, как при обустройстве, так и при эксплуатации промышленных объектов на месторождениях нефти и газа. Такими примерами являются попытки создания корпоративных геоинформационных систем (ГИС) с позиций цифровой картографии и геопространственного моделирования территорий.

Большая часть данных, с которыми приходится иметь дело компаниям, занимающимся добычей, освоением, переработкой полезных ископаемых, в том числе углеводородов, имеет пространственный компонент. То есть, эти данные характеризуют объекты или явления окружающего мира с точки зрения их географического расположения. Наличие огромных объемов данных подразумевает необходимость применения современных средств их обработки и

анализа. В решении данных задач не обойтись без использования современных информационных технологий, среди которых особое место занимают ГИС.

Использование ГИС-технологий для решения производственных задач обусловлено самой природой основных данных по инженерным коммуникациям, которые представляют собой пример равноправного сочетания данных пространственных и атрибутивных. ГИС и существуют для того, чтобы обеспечить средства для работы с такими данными.

Исторически сложилось так, что многие компании покрывают свои потребности в информационном обеспечении путем создания систем сбора данных под конкретные производственные задачи. Это приводит к разобщению и частичному дублированию однотипных данных в огромном количестве небольших разобщенных баз данных, относящихся к одной и той же территории. И даже простой поиск необходимых данных может потребовать неоправданно много времени.

Для данной сферы деятельности следует выделить основные требования к системе ГИС, которые сформулированы с учетом пожеланий различных групп пользователей:

- Централизованное хранение данных / распределенный доступ. Система должна обеспечивать централизованное хранение и администрирование большого объема данных с соблюдением требований защиты информации. Доступ к информации должен быть организован в клиент/серверной технологии в локальной сети и, возможно, сети Internet для удаленных рабочих мест.

- Однозначная идентификация объектов учета (земельных участков) по уникальному идентификатору - кадастровому номеру.

- Работа с данными в едином координатном пространстве. Данные в системе целесообразно хранить в той системе координат, в которой выполнен кадастровый учет. В этом случае сохраняется идентичность цифровых данных и бумажных правовых документов. Для совместного анализа и использования данных в разных системах координат необходима функция автоматического перепроецирования в сеансе работы с данными. Такая процедура не требует физического пересчета координат источника данных, что важно и с точки зрения сохранности материалов, и с точки зрения эффективности работы ГИС.

- Контроль корректности и целостности данных. Система должна обладать возможностью автоматизированного контроля качества данных и внутри одного графического слоя, и между слоями (межслойная топология). Координаты и границы пространственных объектов после государственного кадастрового учета документально закреплены, и изменять их внутри системы уже нельзя. Поэтому топологические правила должны быть гибкими и настраиваться на каждый конкретный случай «ошибок», встречающихся в системе.

- Интеграция с внешними информационными системами. ГИС должна поддерживать возможность связи с другими информационными системами - осуществляющими бухучет, управление производством, ведение реестра

правоустанавливающих документов и другими на уровне запросов и обмена данными.

– Развитая система мониторинга данных. Основой системы являются сведения о земельных участках, соответствующие информации в Едином государственном реестре земель (ЕГРЗ). Эти данные обязательно будут меняться в результате различных транзакций с недвижимостью. Необходимы механизмы мониторинга данных, не зависящие от подрядных организаций - поставщиков первоначальных данных.

Соблюдением всех перечисленных требований позволит создать гибкую и динамичную открытую систему, которая будет постоянно развиваться, обновляться и обеспечит моделирование происходящих изменений на всех этапах существования контролируемого объекта, помогая в решении экономических, экологических и управленческих задач.

Функционирование нефтегазового комплекса в ближайшие 10-15 лет будет происходить в рамках довольно жестких требований и ограничений. Поэтому, только сочетание огромного опыта проектирования, новых технологий в совокупности с комплексным и системным подходом к сбору и обновлению данных поможет добиться успехов в проектировании и эксплуатации сложных инженерных систем, в том числе, нефтегазового комплекса.

© Е.Л. Касьянова, П.М. Кикин, 2011

УДК 528.926:004

С.Ю. Кацко

СГГА, Новосибирск

ГИС ДЛЯ НЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КАК ОДИН ИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ РАБОТЫ С ГЕОИНФОРМАЦИЕЙ

Аналитическая работа с геоинформацией традиционно подразумевает профессиональное владение ГИС-инструментарием. Значимость пространственной информации возрастает с каждым годом. Вместе с тем возникло противоречие между необходимостью обработки геоинформации и сложностью работы с геоинформационными системами. В статье предлагается решение этой проблемы путем создания специальной ГИС для неподготовленных (непрофессиональных) пользователей.

S.Yu. Katsko

SSGA, Novosibirsk

GIS FOR NON-PROFESSIONAL USERS AS ONE OF THE MODERN TOOLS FOR DEALING WITH GEOINFORMATION

Professional mastery of GIS tools is traditionally implied when speaking of the analytical work with geoinformation. Significance of spatial information is growing each year, but there is a contradiction between the necessity of geoinformation processing and the complexity of working with GIS. The author offers solving this by the development of special GIS for laymen (non-professional users).

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009-2013 годы» (ГК №02.740.11.0735).

Пространственная информация сопровождает человечество на всём пути его развития. Так, уже в доисторическую эпоху, обозначая маршруты миграций животных, люди проявляли интерес к графическим изображениям, связанным с географической информацией. Сегодня, занимая одно из важных мест в информационной революции, географические информационные системы (ГИС) используются для решения множества вопросов: от поиска нужного магазина до прогнозирования климата Земли.

ГИС, в узком смысле, – это компьютерная системы сбора, хранения, обработки и отображения данных с учётом информации о местоположении. Данные, с которыми работает ГИС, приходят из совершенно разных, часто несопоставимых друг с другом источников. Однако именно такая разнородность поступающих в ГИС данных позволяет отвечать на запросы пользователей и помогает анализировать информацию.

В широком смысле ГИС не только сохраняют и преобразуют геоданные в цифровой форме, они должны собирать, связывать, индексировать и извлекать информацию об окружающей нас местности из соответствующих пространственных баз данных.

Важность пространственных баз данных быстро возрастает, в результате чего именно местоположение и время становятся наиболее действенными способами обнаружения и описания информации. Связано это с тем, что многие наборы данных имеют собственные «отпечатки» в пространстве и во времени. Приведённое утверждение характерно как для карт и снимков, так и для отчётов, книг, фотографий и информации другого рода. Поэтому местоположение – важная основа поиска соответствующей информации во «Всемирной паутине» и других распределённых ресурсах.

Пространственные данные представляют собой данные о пространственных объектах и их наборах. Они составляют основу информационного обеспечения геоинформационных систем. Без правильной организации пространственных данных невозможно построение эффективно действующей ГИС. Для решения этой задачи используют системы управления базами данных (СУБД).

Системы управления базами пространственных данных работают преимущественно с формальным языком запросов SQL. Поэтому осуществлять запросы к базам пространственных данных могут только подготовленные (обученные) пользователи. Кроме того, программный интерфейс ГИС-пакетов для выполнения многих аналитических функций сложен для восприятия простого пользователя, что является ещё одной проблемой, на решение которой направлена НИР.

Запросы, составляемые в отношении пространственных данных, называются пространственными запросами. Например, запрос «Как называются все дома отдыха, где отдыхают более тысячи человек ежегодно?» является примером непространственного запроса. В то же время, запрос «Как называются все дома отдыха, расположенные в радиусе 30 км от Новосибирска?» – это пример пространственного запроса. Как для людей, принимающих решения, так и для простых пользователей в разных ситуациях необходимы и пространственные, и непространственные запросы.

Кто же заинтересован в управлении пространственными данными? Список пользователей достаточно обширен. Приведём наиболее яркие примеры.

Специалист в астрономии попросит найти все галактики, находящиеся в пределах трёх минут дуги от квазаров.

Для климатолога необходим способ как проверить новую модель глобального изменения климата.

Специалист по транспорту решает вопрос: как изменить существующую сеть дорог для уменьшения транспортных заторов?

Службе спасения необходимо знать где находится человек, зовущий на помощь и как лучше до него добраться.

В нашем случае пользователями, для которым важна работа с пространственными данными, могут стать администрации районов, службы

жилищно-коммунального хозяйства, Управление социальной поддержки населения, Департамент культуры, Городская станция скорой медицинской помощи, УВД, Государственная противопожарная служба, ГСЭН, Управление по делам ГО и ЧС и др. Потребность в пространственной информации и средствах для работы с ней имеют практически все службы, осуществляющие свою деятельность на территории.

Все потребители ГИС-информации разные, у них разные задачи, функции и у многих нет опыта работы с ГИС-технологиями. Поэтому несмотря на широкое распространение геоинформационных средств в профессиональной среде, для большинства управленцев они остаются не знакомы, либо работа с ними требует очень большой специальной подготовки.

Создаваемая информационная справочно-аналитическая географическая информационная система (ИСА ГИС) позволит специалистам различных служб, принимающих решения, без особых сложностей, характерных для профессиональных ГИС, работать с геоданными и проводить анализ нужной пространственной информации.

Обратим внимание на то, что в последние годы интерес к геоданным и цифровым картам постоянно растет, причем не за счет профессионалов данной области, а благодаря простым пользователям.

Можно приводить огромное множество примеров, показывающих важное значение геоинформации в жизни любого человека. Наиболее простые пространственные запросы связаны с географическим поиском нужного объекта на определённой территории.

В этой связи хочется остановиться на уникальном подходе сервиса OpenStreetMap (OSM; дословно «открытая дорожная карта»). OSM – это свободный проект по совместному развитию общедоступных карт и схем городов, улиц, дорог с помощью ручного или автоматического ввода данных, а также получения данных с портативных GPS-приёмников.

Проект основан в Великобритании в июле 2004 года и нацелен на создание бесплатно доступных цифровых автодорожных карт и планов городов, которые предоставляются его участниками, число которых уже перевалило за 130 тысяч. Детальность создаваемых карт иногда превосходит то, что предлагают компании Tele Atlas и NAVTEQ, а обновляются они очень часто, практически в реальном времени, - по мере поступления новых сведений. Именно в Европе, в месте своего возникновения карта OSM достигла удивительной точности. Пользователи сами выделяют и подписывают на карте объекты, которых нет даже в Google Maps. Например, в то время как в сервисе Google Maps показаны лишь границы зоопарка в Берлине, пользователи самостоятельно на карте OSM отметили местоположение каждого из животных зоопарка.

Проект работает по аналогии с уже достаточно развитым проектом Википедия, используя принципы краудсорсинга, согласно которому некоторую работу выполняют неоплачиваемые или малооплачиваемые профессионалы-любители, которые тратят своё время на создание контента, решение проблем или на проведение исследований.

Краудсорсинг – это так называемая «инновация с расчетом на пользователя», при которой производители полагаются на пользователей не только в вопросе формулировки потребностей, но и в определении изделий и усовершенствований, которые бы удовлетворили эти потребности.

Именно привлечение пользователей к созданию самих геоданных и карт является главной тенденцией сегодняшнего дня в развитии геоинформатики.

Появление большого числа интернет-геосервисов для непрофессиональных пользователей и использование гипертекстового формата представления геоданных даёт возможность организовать обмен данными через локальную сеть и Интернет, объединять их с любыми данными, в том числе мультимедийными. Становится возможным проводить интеграцию высокоточных геоданных с любыми источниками информации – моделями объектов, аудио- и видеозаписями, различными изображениями и т. д.

Для реализации такого подхода множество специалистов рекомендует использовать формат данных KML (Keyhole Markup Language). KML – это язык разметки на основе XML для представления трёхмерных геопространственных данных в программе Google Earth («Keyhole» до её приобретения Google). Он также поддерживается такими популярными средами как MS Virtual Earth, ArcGIS, Microstation, Autodesk.

KML-файл определяет один или несколько объектов для отображения в Google Earth. Этими объектами могут быть:

1) Пометки на карте. Задаётся значок, отображаемый в некотором месте на карте, и его относительная величина, а также текст, цвет и величина надписи, отображаемой возле значка;

2) Многоугольник или набор линий. Определяется цвет линий и цвет подписи;

3) Изображение. Определяется положение изображения на поверхности Земли, а также его масштаб. Также можно разместить изображение на экране, не перемещающееся вместе с картой – например, логотип;

4) Трёхмерная модель. Версия языка KML 2.1 позволяет подключать описание трёхмерных объектов (например, зданий и сооружений).

Кроме упомянутых характеристик, для каждого объекта также задаются основные геоинформационные свойства: географическая широта и долгота, а также высота либо над уровнем моря, либо над уровнем поверхности Земли. Может быть приведено краткое описание объекта, которое в дальнейшем отображается во всплывающей подсказке по запросу пользователя. Может быть указан рекомендуемый ракурс наблюдения отмеченного на карте места, то есть рекомендуемая высота, азимут и угол наклона «виртуальной камеры».

Циркуляция географической информации в вертикальном срезе осуществляется медленно, поскольку перевод данных из одного масштабного ряда в другой подразумевает их обработку, генерализацию. Это, в свою очередь, требует трудовых и временных затрат.

Благодаря использованию форматов, являющихся расширением языка гипертекстовой разметки XML, каждый географический объект имеют свой

уникальный веб-адрес в унифицированной, единой географической системе координат. Данные, как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости, становятся более прозрачными вне зависимости от того, как они организованы. Любой человек, обладающий необходимым доступом, может быстро добраться до модели любого объекта, рассмотреть и изучить его с нужной детальностью.

Таким образом, гипертекстовый формат позволяет решить проблему объединения данных о географическом местоположении объектов, с их семантикой – информацией о изменчивых во времени свойствах объектов.

Всё, сказанное выше, говорит нам о том, что заканчивается очередной этап, связанный с постепенным усложнением систем сбора и обработки информации. На этом этапе проводить анализ различных данных, в том числе пространственных, могли только профессионалы в области ГИС-технологий.

Основной тренд изменился. Сегодня главным лозунгом в IT-сфере является: «Всё для пользователя!» Происходит упрощение способов работы с информацией. Начинают создаваться такие информационные системы, с которыми могут работать не только специалисты, но и пользователи без особой подготовки.

Сфера геоинформатики тоже постепенно изменяется. С развитием мобильных технологий мы получили доступ к мобильным картам и мобильному картографированию. Новые технологии позволяют практически любому пользователю с определенным уровнем компьютерных знаний создать свою карту, без особых усилий создавать пространственные запросы и получать нужные ответы. Нужно также заметить, что со временем, взаимодействие обычных пользователей с современными технологиями становится более простым и доступным. Популярность картографических сервисов постоянно растёт.

Однако, существуют и некоторые проблемы. Несмотря на то, что самостоятельно создать картографическое произведение стало просто, провести анализ пространственных данных неподготовленному пользователю всё ещё остается сложным.

Проводимое исследование направлено на изучение возможности создания специального «лёгкого» интерфейса для работы неподготовленного пользователя с пространственной информацией, цифровыми картами и пространственными БД при решении широкого круга задач. Под неподготовленным пользователем мы понимаем как человека, нуждающегося в решении простых жизненных вопросов, связанных с геоданными, так и специалиста в определённой сфере, не знакомого с тонкостями геоанализа, которому необходимо принимать решения на основе пространственных данных.

Таким образом, создаваемая инструментальная справочно-аналитическая географическая информационная система (ИСА ГИС) должна опираться на современные достижения в области картографии и геоинформатики, которые были описаны выше, и стать продуктом, отвечающим на многие пространственные запросы простых пользователей и специалистов, принимающих решения в разных областях.

УДК 528.9

И.П. Кокорина

СГГА, Новосибирск

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В ЗООГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА БАЗЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

В статье рассмотрена возможность применения в среде ГИС методов пространственного анализа с целью получения количественных характеристик обилия животных на примере охотничьих видов птиц. В результате использования различных инструментов интерполяции были построены несколько видов поверхностей.

I.P. Kokorina

SSGA, Novosibirsk

APPLICATION OF INTERPOLATION METHODS IN ZOOGEOGRAPHIC RESEARCH ON THE BASIS OF GIS-TECHNOLOGIES

Spatial analysis application in GIS environment is offered to be used for acquiring quantitative characteristics of the abundance of animals (by the example of the hunting birds species). Various interpolation tools were used for several types of surfaces development.

Применение картографического метода в изучении биоты включает в себя создание ботанических, зоогеографических и зоологических карт. Среди зоогеографических карт особо выделяют карты, выполненные по коэффициентам сходства животного населения с использованием кластерного анализа [1].

В настоящее время в зоогеографическом картографировании широкое применение находят геоинформационные технологии. Но они в основном используются в процессе составления карт (геоинформационное картографирование), в то время как анализ исходных данных проводится внешним, по отношению к ГИС, математическим аппаратом [2].

Распространенной проблемой при картографировании редких птиц является большое количество нулевых оценок обилия охотничьих видов по местообитаниям, где они не были встречены даже при значительной протяжённости учётных маршрутов вследствие того, что нередко при приближении человека птицы затаиваются или уходят, не взлетая. Очевидно, что результаты таких учётов ненадёжны, поэтому их использованию должно предшествовать предварительное усреднение данных за тот или иной период времени или в пространстве [3].

Большое значение в существующих методиках имеет экспертный анализ данных специалистом-предметником. Экспертная оценка предполагаемого обилия птиц по выделам карты, на которые не получены статистические данные, заключается в уточнении принадлежности необследованных выделов к их ближайшим аналогам, чтобы на картах не оставалось условно необследованных территорий [4, 5].

В проводимых исследованиях использовались материалы из банка данных Института систематики и экологии животных (ИСиЭЖ) СО РАН (г. Новосибирск), накопленные с 1959 по 2005 гг. При этом выполнена система видовых карт распределения и численности боровой дичи в предпромысловый период на примере глухаря, тетерева и рябчика на территории Западно-Сибирской равнины. Картографической основой послужила карта «Растительность Западно-Сибирской равнины» масштаба 1:1 500 000 [6], цифровой вариант которой составлен в Центральном сибирском ботаническом саду (ЦСБС) СО РАН.

Масштаб созданных карт 1:10000000, компоновка плавающая, проекция прямая равнопромежуточная коническая. Общегеографическая нагрузка карт показана традиционными условными знаками. Границы природных зон и подзон показаны пунктирной линией и дополнены индексами. Распределение и запасы птиц отражены способом количественного фона. Использовано следующее цветовое оформление: для карт тетерева – оттенки синего цвета, глухаря – зеленого, для карт рябчика – коричневого цвета.

Одной из сложностей зоогеографических исследований является то, что невозможно собрать данные на всю изучаемую территорию. Следовательно, необходимо построение непрерывной поверхности, интерполирующей значения численных анализируемых объектов.

Интерполяция – процесс прогнозирования значений для тех местоположений, где нет измеренных значений, с использованием достоверных величин, полученных для других точек. Интерполяция позволяет вычислить значения для всех ячеек по значениям ограниченного числа точек опробования. Для моделирования поверхностей используются два основных вида структур: регулярная (равномерная прямоугольная) и нерегулярная (триангуляционная) сети. Регулярно-ячеистое представление – цифровое представление пространственных объектов в виде совокупности ячеек регулярной сети с присвоенными им значениями класса объекта [7]. Для хранения таких значений используются файлы типа GRID.

Общая задача интерполяции формулируется так: дан ряд узлов интерполяции, положение и значения характеристик в которых известны; необходимо определить значения характеристик для других точек, для которых известно только положение. Вариант интерполяции по ареалам заключается в переносе данных с одного исходного набора ареалов (ключевого) на другой набор (целевой). Для каждого ключевого ареала нужно значение присваивается центральной точке (центроиду). Центроид – точка, являющаяся центром тяжести (геометрическим центром) фигуры. В случае невыпуклого или составного полигона ее положение может не совпадать с центром тяжести

полигона. На основе набора центроидов интерполируется регулярная сетка, которая накладывается на итоговую карту.

Рассмотрим некоторые методы интерполяции применительно к решению задач получения количественных характеристик обилия охотничьих видов птиц.

Метод *сплайна* рассчитывает значения с использованием математической функции, которая минимизирует общую кривизну поверхности и строит сглаженную поверхность, проходящую точно через исходные опорные точки.

Метод *обратно взвешенных расстояний* рассчитывает значения ячеек путем усреднения значений в опорных точках, находящихся в окрестности каждой ячейки. Чем ближе точка к центру ячейки, значение которой вычисляется, тем большее влияние, или вес, она имеет в процессе усреднения. Этот метод предполагает, что влияние картографируемой переменной уменьшается с увеличением расстояния от опорной точки.

Применение метода *кригинга* базируется на том, что географические данные пространственно коррелированы. Кригинг базируется на статистических моделях, которые учитывают пространственную автокорреляцию (статистическую взаимосвязь между опорными точками). Его основа – определение закономерностей изменения разброса значений моделируемого показателя (дисперсии) между точками в пространстве и подчеркивание существенных различий в значениях данных, используя весовые коэффициенты [8].

Из нерегулярных поверхностей можно выделить TIN. *Триангуляцией Делоне (TIN)* называется планарный граф, все внутренние области которого являются треугольниками. Преимуществом триангуляционной модели является то, что в ней нет преобразований исходных данных.

Один из алгоритмов построения триангуляции Делоне основан на генерировании *полигонов Вороного* – полигональных областей, образуемых на заданном множестве точек таким образом, что расстояние от любой точки области до данной точки меньше, чем для любой другой точки множества. Границы полигонов Вороного являются отрезками перпендикуляров, восстановленных к серединам сторон треугольников в триангуляции Делоне, которая может быть построена относительно того же точечного множества. Для некоторых из заданных точек соответствующие многоугольники Вороного будут бесконечными фигурами, поэтому можно ограничить всю плоскость некоторым регионом, называемым областью интересов [9].

Интерполяция подразумевает, что объекты пространственно коррелированы. Однако соседние выделы могут принадлежать к разным типам ландшафта. По нашему мнению, решением проблемы может служить выбор для каждого типа выделов своей области интерполяции.

Современные геоинформационные системы обладают множеством встроенных алгоритмов интерполяции. Так, в ГИС MapInfo имеются инструменты построения поверхностей GRID, TIN, полигонов Вороного; в ArcGis – методы геостатистической интерполяции, сплайн, скользящее среднее значение и др. Ранее указывалось, что на картах многочисленны выделы, где охотничьи птицы не встречены из-за их редкости и скрытности, но на этой

территории, несомненно, обитают. С целью получения количественных характеристик в этих выделах проведена сравнительная интерполяция на основе выполненной карты "Предпромысловое обилие тетерева на Западно-Сибирской равнине (по группам ландшафтов)".

Для этого нами использованы ГИС MapInfo и ArcGis с применением аналитических модулей Spatial Analyst и Geostatistical Analyst и приложение для ArcGIS Type convert (для построения центроидов полигонов) по следующим методам интерполяции: кригинг (геостатистическая интерполяция), сплайн, скользящее среднее значение, обратно взвешенные расстояния (IDW), триангуляция Делоне (TIN), а также построение полигонов Вороного.

В результате созданы карты поверхностей (регулярных и нерегулярных), по которым можно сделать следующие выводы:

1) Для целей дальнейшего геоинформационного анализа наилучшее применение будет иметь поверхность, созданная с помощью метода кригинга, так как полученные данные поставлены в соответствие интервалам обилия на карте "Предпромысловое обилие тетерева на Западно-Сибирской равнине (по группам ландшафтов)", где экстраполяция проведена экспертом-предметником, и представлены дискретно.

2) Интерполяция методом сплайна показала завышенные и обобщенные значения обилия птиц по всей исследуемой площади.

3) Поверхность, полученная на основе метода "скользящее среднее значение", также неточно отражает распределение показателей обилия, так как имеются локально расположенные области с низкой плотностью населения птиц.

4) В результате IDW-интерполяции (обратно взвешенные расстояния) получена поверхность с большим количеством вариантов значений. Недостатком полученной модели является сложность визуального разграничения соседних друг с другом ячеек, имеющих небольшую разницу в показателях обилия.

5) Поверхность, полученная в результате построения триангуляции Делоне (TIN-интерполяции), позволила получить показатели обилия более обобщенные, по сравнению с данными IDW-поверхности. Интервал значений, полученных в результате TIN-интерполяции, содержит варианты значений обилия, идентичные данным на экспертной карте, являющейся основой для ГИС-анализа.

6) В результате построения полигонов Вороного получены регионы неодинаковой площади. Каждому полигону соответствует значение, входящее в интервал исходных значений обилия боровой дичи, используемых для ГИС-анализа. Большие площади полигонов – отрицательный фактор в плане адекватности этого метода анализа для задач настоящего исследования.

Таким образом, наиболее оптимальной следует считать поверхность, полученную методом кригинга. В результате проведения интерполяции в ArcGis получены два вида поверхностей – со ступенчатой и плавной шкалой. Лучшим вариантом отображения распределения характеристик картографируемого

объекта, являются поверхности со ступенчатой шкалой. В ГИС MapInfo получены поверхности с меньшим пространственным разрешением, что уменьшает значимость полученных результатов по сравнению с поверхностями, построенными с помощью модулей ArcGis.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тупикова, Н.В. Принципы и методы зоологического картографирования [Текст] / Н.В. Тупикова, А.В. Комарова. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 190 с.
2. Равкин, Е.С. Птицы равнин Северной Евразии: Численность, распределение и пространственная организация [Текст] / Е.С. Равкин, Ю.С. Равкин. – Новосибирск: "Наука", 2005. – 304 с.
3. Кокорина, И.П. Опыт использования геоинформационных технологий при картографическом отображении численности и распределения глухаря на Западно-Сибирской равнине [Текст] / И.П. Кокорина, Ю.С. Равкин // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2010. – № 4 (12). – С. 54 – 59.
4. Равкин, Ю.С. Факторная зоогеография [Текст] / Ю.С. Равкин, С.Г. Ливанов. – Новосибирск: Наука, 2008. – 205 с.
5. Равкин, Ю.С. Опыт картографирования населения животных [Текст] / Ю.С. Равкин, Е.С. Равкин. // Известия АН. Серия географическая. – 2004. – №1. – С. 88 – 97.
6. Ильина, И.С. Растительность Западно-Сибирской равнины. Карта масштаба 1:1500000 [Карта] / И.С. Ильина, Е.И. Лапшина, Н.Н. Лавренко и др. – М.: ГУГК, 1976.
7. Баранов, Ю.Б. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов [Текст] / Ю.Б. Баранов, А.М. Берлянт, Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев. – М.: ГИС-Ассоциация, 1999. – 204 с.
8. Лурье, И.К. Основы геоинформатики и создание ГИС. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Часть 1 [Текст] / И.К. Лурье. – М.: Изд-во Московского университета, 2002. – 140 с.
9. Скворцов, А.В. Триангуляция Делоне и ее применение [Текст] / А.В. Скворцов. – Томск: Изд-во Томского университета, 2002. – 128 с.

© И.П. Кокорина, 2011

УДК 528.9

Е.Ю. Колганова

ИрГТУ, ГУК АЭМ «Тальцы», Иркутск

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ ПЕРЕСЕЛЕНЦЕВ ПО СТОЛЫПИНСКОЙ АГРАРНОЙ РЕФОРМЕ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье рассмотрены понятия и цели картографирования историко-культурного наследия. Исследованы вопросы территориального расселения и архитектуры переселенцев по столыпинской аграрной реформе в Иркутской области. Предложена карта памятников истории и культуры переселенцев.

E.Y. Kolganova

National Research Irkutsk State Technical University (ISTU)

83 Lermontova UI, Irkutsk, Russian Federation

MAPPING OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE OF MIGRANTS BY STOLYPIN AGRARIAN REFORM IN THE IRKUTSK REGION

The article deals with the concept and purpose of the mapping of historical and cultural heritage. The issues of territorial settlement and settlers on the architecture of Stolypin's agrarian reform in the Irkutsk region. We propose a map of historical and cultural monuments immigrants.

Картографирование культурного и природного наследия за последние годы превратилось в новое направление тематической картографии. Важное место в ней занимает один из двух главных компонентов – историко-культурное наследие.

Картографирование объектов наследия преследует несколько целей:

- Показать уникальность культурной среды, в которой существует человеческое общество;
- Выделить объекты, которые необходимо сохранять;
- Оставить будущему поколению информацию о том, какие историко-культурные объекты существовали на определенной территории, какое место они занимали в человеческом обществе и насколько рационально использовались;
- Пропаганда охраны культурного наследия.

В Конвенции об охране Всемирного культурного и природного наследия, принятой Генеральной конференцией ЮНЕСКО на XVII сессии в Париже 16 ноября 1976 г. сказано, что под «культурным наследием» понимаются:

– Памятники: произведения архитектуры, монументальной скульптуры и живописи, элементы или структуры археологического характера, надписи, пещеры и группы элементов, которые имеют выдающуюся универсальную ценность с точки зрения истории, искусства или науки;

– Ансамбли: группы изолированных или объединенных строений, архитектура, единство или связь с пейзажем которых представляют выдающуюся универсальную ценность с точки зрения истории, искусства или науки;

– Достопримечательные места: произведения человека или совместные творения человека и природы, а также зоны, включая археологические достопримечательные места, представляющие выдающуюся универсальную ценность с точки зрения истории, эстетики, этнологии или антропологии [1].

Иркутская область богата объектами историко-культурного наследия. На ее территории находятся и памятники, и достопримечательные места. В этом плане большой интерес представляют переселенческие деревни и села, образованные во время знаменитой столыпинской аграрной реформы в 1906-1914 гг. По этой реформе сотни тысяч малоземельных крестьян из Европейской России стали переезжать на постоянное жительство в Сибирь. Чтобы быстрее шла адаптация в суровых сибирских условиях, жителей одной национальности из одной волости или уезда старались селить в одном вновь образованном селении. Так образовались целые анклавные национальные поселения. Выходцы из Белоруссии, могилевские крестьяне основали деревню Мариинск в Заларинском районе, деревни Тургеневка, Толстовка в Баяндаевском районе, Андрюшино, Ключи в Куйтунском районе, Тарнополь в Балаганском районе. Украинские поселенцы дали жизнь участкам Хохловский, Большой и Малый Усовский Заларинского района, некоторым деревням в Зиминском районе. Поляки на территории области образовали деревню Вершина. Своим укладом, культурой выделились татары с берегов Поволжья, Уфимской, Пермской, Казанской губерний, из Башкирии.

Пожалуй, самым ярким в плане сохранения архитектуры, этнографии в области можно назвать Пихтинск, состоящий из трёх деревень: Пихтинск, Средний Пихтинск и Дагник, образованных голендрами, социокультурной группой смешанного этнического состава, долгое время проживавшими на территории Волынской и Гродненской губерний.

Такое локальное расселение помогло до настоящего времени сохраниться нескольким этническим деревням с присущими им историко-культурными особенностями в архитектуре, интерьере, в общем способе застройки и проч. Есть интереснейшие объекты – материальные носители культуры переселенцев, являющиеся памятниками историко-культурного наследия, которые можно показать на карте, например, первые дома переселенцев. Построенные ими по прибытии на новое место жительства, дома, несмотря на несвойственный им строительный материал, имели традиционный вид жилища, характерный для тех мест, откуда они прибыли [2, 3].

Исходя из исследований расселения переселенцев, возникла необходимость разработки карты, отражающей их историко-культурное наследие. Карта и сопровождающий ее материал, в силу своей новизны и оригинальности содержания, научного и прикладного значения может стать хорошим пособием для ознакомления с памятниками области, откроет новые возможности в изучении истории, этнографии и культуры региона, принесет пользу при изучении географии, истории, краеведения, этнографии и других дисциплин в учебных заведениях разного уровня. Явится своеобразным картографическим кадастром памятников истории и культуры переселенцев времен столыпинской аграрной реформы.

Также на данную карту можно будет нанести туристический маршрут с показом достопримечательных мест переселенцев, пригодных для туристического использования, которая в свою очередь неизбежно привлечет внимание туристов, а возможно и инвесторов. Это поможет вовлечь в туристический бизнес дополнительно к туристическому базису на оз. Байкал, экономически депрессивных территорий Иркутской области (Заларинского, Аларского, Усольского районов).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ельчанинов, А.И. Картографирование культурного и природного наследия России [Текст] / А. И. Ельчанинов // Геоинформационное картографирование для сбалансированного территориального развития: материалы VIII науч. конф. по темат. картографии (Иркутск, 21-23 нояб. 2006 г.). – Иркутск, 2006. – Т. 1. - С. 26-29.
2. Макагон, Г.Н. Путь заларинских татар [Текст] / Г.Н. Макагон // Земля Иркутская. – 1997. - № 7. – С. 57 – 59.
3. Тихонов, В.В. Региональный туристический проект «Этнографическое кольцо Московского тракта периода столыпинской реформы» [Текст] / В.В. Тихонов. - Иркутск, 2007. – 68 с.

© Е.Ю. Колганова, 2011