

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»
(ФГБОУ ВПО «СГГА»)

VIII Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2012

Международная научная конференция

**ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА,
КАРТОГРАФИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ**

Т. 3

Сборник материалов

Новосибирск
СГГА
2012

УДК 528:528.9:622.1

C26

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, профессор, ректор СГГА, Новосибирск

А.П. Картик

Technet-rail 2010 GmbH, Берлинский университет
прикладных наук им. Бойта, Германия

Иво Милев

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

Кандидат технических наук, доцент кафедры картографии
и геоинформатики СГГА, Новосибирск

Е.В. Комиссарова

C26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр., 10–20 апреля
2012 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика,
картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. Т. 3. – Новосибирск :
СГГА, 2012. – 234 с.

ISBN 978-5-87693-513-7 (т. 3)

ISBN 978-5-87693-510-6

ISBN 978-5-87693-506-9

В сборнике опубликованы материалы VIII Международного научного конгресса
«Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012», представленные на Международной конференции
«Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГГА

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 528:528.9:622.1

ISBN 978-5-87693-513-7 (т. 3)

ISBN 978-5-87693-510-6

ISBN 978-5-87693-506-9

© ФГБОУ ВПО «СГГА», 2012

Сборник включен в систему РИНЦ.

СОДЕРЖАНИЕ

И.Г. Ганагина, В.Ф. Канушин, Д.Н. Голдобин. Анализ изменений гравитационного поля и высот квазигеоида, обусловленных сейсмической активностью	8
И.Г. Ганагина, В.Ф. Канушин, Д.Н. Голдобин, И.А. Басова. Исследование динамики физической поверхности и гравитационного поля земли, обусловленных производством горных выработок на Малеевском месторождении	14
В.Ф. Канушин. Применение интегральных уравнений типа Вольтерра для решения задач динамической геодезии.....	19
А.С. Суздалев, И.Г. Вовк, Н.П. Артемьева. Пространственно-временные вариации гравитационного поля Земли	25
И.Г. Вовк, Т.Ю. Бугакова. Математическое моделирование пространственно-временного состояния систем по геометрическим свойствам	31
С.А. Ефимов. Метод сейсмического исследования поверхности Земли	37
А.Ю. Белинская, С.Ю. Хомутов. Возможности магнитно-ионосферных наблюдений в задачах прогноза и диагностики природных и техногенных экстремальных событий	43
И.С. Сизиков, И.А. Бунин, Е.Н. Калиш, Д.А. Носов, П.В. Сероглазов, М.Г. Смирнов, Ю.Ф. Стусь. Мониторинг вариаций гравитационного поля в пограничной зоне континент – океан абсолютным лазерным баллистическим гравиметром.....	52
П.Г. Дядьков, М.Г. Тищенко, М.П. Козлова, В.А. Куликов, М.Л. Шемякин. Сейсмоопасные регионы России в едином астрогеодеформационном пространстве	59
А.И. Каленицкий, А.Н. Соловицкий. Особенности технологии изучения изменений во времени деформаций блоков земной коры при освоении месторождений Кузбасса.....	64
В.Ю. Кайдалов. Факторы, влияющие на распространение сейсмических волн в реальных сейсмологических средах.....	68
С.Н. Багаев, В.А. Орлов, Ю.Н. Фомин. Лазерные методы в сейсмогеодинамическом мониторинге.....	73
К.Б. Хасенов, А.Г. Гольцев, О.Д. Салпышев. Выверка строительных конструкций с использованием лазерных приборов	85
Ю.Д. Гусаренко. Применение технологии наземного лазерного сканирования в Усть-Каменогорске	89
Н.С. Ковач, И.В. Клименок. Возможности применения мобильного лазерного сканирования для мониторинга дорог и сопутствующей инфраструктуры на основе опыта произведённых работ на участках Октябрьской, Рязанской, Смоленской и Брянской железных дорог	92
А.В. Комиссаров, Т.А. Широкова, Е.В. Романович. Обоснование выбора расстояния между сканерными станциями при наземной лазерной съемке	98

П.М. Секачев. Разработка мобильных лазерных сканеров на примере АПК «Сканпуть»	102
Е.И. Горохова, И.В. Алешина, Е.В. Романович, А.В. Иванов, А.Р. Мифтафудинов. Проверка внутреннего очертания тоннеля при помощи наземного лазерного сканера	107
В.А. Середович, И.В. Востров. Обзор современных программных продуктов для создания и использования трехмерных моделей для проектирования автомобильных дорог	115
А.В. Радзюкевич, М.А. Чернова, В.А. Середович, А.В. Иванов, О.Р. Мифтахудинова. Методика лазерного сканирования и пропорционального анализа форм памятника архитектуры (на примере храма Александра Невского в Новосибирске)	121
В.А. Середович, Г.Н. Ткачева, А.В. Середович. Геодезический мониторинг деформаций Усть-Каменогорского судоходного шлюза	133
А.А. Деговцов. Технология мобильного лазерного сканирования для выполнения проектно-изыскательских работ	140
Х.К. Ямбаев, В.Р. Яценко. Геодезический мониторинг движений земной коры: состояние, возможности, перспектива	145
П.Ю. Бугаков. Принципы картографического отображения трехмерных моделей местности	163
С.С. Дышлюк, Е.В. Павлов. К вопросу автоматизированного создания тематических карт	169
М.Ф. Андрейчик, С.А. Чупикова. Использование гис-технологий при разработке электронных карт распределения атмосферных осадков Тувинской горной области	173
А.П. Карпик, В.А. Середович, А.В. Дубровский, Э.Л. Ким, О.И. Малыгина. Анализ природных и техногенных особенностей геопространства чрезвычайной ситуации	178
В.П. Пяткин, Г.И. Салов. Обнаружение момента появления объекта в последовательности зашумлённых изображений с использованием рекуррентной процедуры обучения в гильбертовом пространстве ...	185
Ю.И. Кантемиров, Е.Д. Лебедева. Применение данных всепогодных космических радарных съемок при мониторинге чрезвычайных ситуаций	192
Л.А. Ромашова, О.Н. Николаева, О.А. Волкова. Применение картографического метода в изучении и решении проблем радиационного загрязнения территорий	194
Х.Б. Куулар, Е.И. Пономарев. Анализ спутниковых данных повреждённой пожарами растительности Уюкского хребта	200
Н.В. Барановский, М.В. Жарикова, Е.Н. Ляшенко. Комплексное использование технологий геомониторинга и распараллеливания вычислительных операций для прогнозирования лесной пожарной опасности	204
С.А. Сухорукова, С.С. Дышлюк. Картографическая интерпретация индикаторов качества жизни населения Новосибирской области	209

А.Б. Голубева. Оценка и картографирование опасности наводнений: опыт на примере Обь-Иртышского бассейна.....	213
В.С. Писарев, П.М. Кикин. Мобильные устройства как средство принятия решения при возникновении кризисных ситуаций	218
Т.Т. Ипалаков, Ж.А. Дранникова. Современное применение ГИС-технологий для управления территорией (предупреждения и ликвидации последствий ЧС)	222
А.Р. Курчиков, А.Ю. Белоносов, Р.И. Тимшанов, О.С. Мартынов, С.А. Шешуков, А.Е. Кудрявцев. Результаты проведения геохимических нефтепоисковых исследований на юге Западной Сибири	227

CONTENTS

I.G. Ganagina, V.F. Kanushin, D.N. Goldobin. Analysis of quasigeoid gravitational field and heights changes due to seismic activities	8
I.G. Ganagina, V.F. Kanushin, D.N. Goldobin, I.A. Basova. Research of the terrestrial gravitational field and physical surface dynamics for maleyevski deposit mining.....	14
V.F. Kanushin. Volterra integral equations application in dynamic geodesy problems solution	19
A.S. Suzdalev, I.G. Vovk, N.P. Artemyeva Terrestrial gravitational field space-time variations	25
I.G. Vovk, T.Yu. Bugakova. Mathematical simulation of systems space - time state by geometrical properties	31
S.A. Efimov. Method of seismic research of a surface of the ground	37
A.Yu. Belinskaya, S.Y. Khomutov. The possible of magnetic-ionospheric observations in problems of prediction and diagnosis of nature and anthropogenic extremal events.....	43
I.S. Sizikov, I.A. Bunin, E.N. Kalish, D.A. Nosov, P.V. Seroglazov, M.G. Smirnov, Yu.F. Stus. Monitoring of variations of the gravitational field in continent-ocean border zone by the absolute laser ballistic gravimeter	53
P.G. Dyad'kov, M.G. Tishenkov, M.P. Kozlova, V.A. Kulikov, M.L. Shemyakin. Seismic areas of Russia in an integrated astrogeodeformational space.....	59
A.I. Kalenizkij, A.N. Solowizkij. The features of research methods of the changes of deformation of the bloks of the earth's crust at the Kusbass interior development in time	64
V.Yu. Kaydalov. The factors, which influence on the distribution seismic wave in the real seismological environments.....	68
S.N. Bagayev, V.A. Orlov, Yu.N. Fomin. Laser methods for seismic and dynamic monitoring	73
K.B. Hasenov, A.G. Goltsev, O.D. Salpyshev. Reconciliation of building structures with using laser devices	85
Ju.D. Gusarenko. Application of technology of land laser scanning in Ust-Kamenogorsk	89
N.S. Kovach, I.V. Klimenok. Possibilities of application of mobile laser scanning for monitoring of roads and an accompanying infrastructure on the basis of experience of the made works on sites of the October, Ryazan, Smolensk and Bryansk railway.....	92
A.V. Komissarov, T.A. Shirokova, E.V. Romanovich. Justification of choosing distance between scanning stations in ground-based laser survey	98
P.M. Sekachev. Development of mobile laser scanner for example HSC "Skanput"	102
Ye.I. Gorokhova, I.V. Alyoshina, E.V. Romanovich, A.V. Ivanov, A.R. Miftafudinov. Tunnel inner outline control by terrestrial laser scanning .	107
V.A. Seredovich, I.V. Vostrov. Review of current software products for creating and using three-dimensional model for the of designing of highways.....	115

A. Radzjukevich, M. Chernova, V. Seredovich, A. Ivanov, O. Mistahudinova. Laser scanning and proportional analysis technology of architectural monuments forms (for example Alexander Nevsky church in Novosibirsk (Novonikolaevsk)).....	122
V.A. Seredovich, G.N. Tkachyova, A.V. Seredovich. Geodetic deformation monitoring of Ust-Kamenogorsk shipping lock	133
A.A. Degovcov. Mobile laser scanning technology for a design and survey works	140
K.K. Yambayev, V.R. Yashchenko. Geodetic monitoring of crust movements: state, opportunities, prospects	145
P.Y. Bugakov. The principles of cartographic display of three-dimensional terrain models.....	163
S.S. Dyshlyuk, Ye.V. Pavlov. Automation of thematic map-making.....	169
M.F. Andreichik, S.A. Chupikova GIS-technology application in creating maps of atmospheric sediments distribution of Tuvian mountain area.....	173
A.P. Karpik, V.A. Seredovich, A.V. Dubrovsky, E.L. Kim, O.I. Malygina. Emergency geospace	178
V.P. Pyatkin, G. Salov. Detection of object appearance in a sequence of noisy images using recurrent procedure of learning in hilbert space	185
Yu. Kantemirov, E.D. Lebedeva. Satellite all-weather sar datafor crisis management and monitoring.....	192
L.A. Romashova, O.N. Nikolayeva, O.A. Volkova. Cartographic method application for studying and solving the problems of territories radioactive contamination.....	194
Kh.B. Kuular, E.I. Ponomarev. The analysis vegetation by remote sensing of the Ujuk mountain range damaged by wildfires	200
N.V. Baranovskiy, M.V. Zharikova, E.N. Ljashenko. Complex use of technologies of geomonitoring and parallelization of computing operations for forecasting forest fire danger.....	204
S.A. Suhorukova, S.S. Dyshlyuk. Cartographic interpretation of life quality indicators in Novosibirsk region.....	209
A.B. Golubeva. Assessment and mapping of flood danger (Ob'-Irtysh basin as a case study)	213
V.S. Pisarev, P.M. Kikin. Mobile devices as a means for emergency decision-making.....	218
T.T. Ipalakov, Z.A. Drannikova. Modern GIS technologies application for territory management (warning and liquidations of emergencies consequences).....	222
A.R. Kurchikov, A.Yu. Belonosov, R.I. Timshanov, O.S. Martinov, S.A. Sheshukov, A.E. Kudryavtsev. Results of conducting of petroleum geochemical explorations in the south of West Siberia	228

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ И ВЫСОТ КВАЗИГЕОДА, ОБУСЛОВЛЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Ирина Геннадьевна Ганагина

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры астрономии и гравиметрии, тел. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Вадим Федорович Канушин

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры астрономии и гравиметрии, тел. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Денис Николаевич Голдобин

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, тел. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Рассмотрена связь ГПЗ с очагами напряженности в земных недрах, которая может быть использована для оценки влияния различных геодинамических процессов. Обнаружено существование колебаний этой связи на ограниченных участках земной коры.

Ключевые слова: гравитационное поле Земли.

ANALYSIS OF QUASIGEOID GRAVITATIONAL FIELD AND HEIGHTS CHANGES DUE TO SEISMIC ACTIVITIES

Irina G. Ganagina

Ph.D., Assoc. Prof., Department of Astronomy and Gravimetry, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Vadim F. Kanushin

Ph.D., Assoc. Prof., Department of Astronomy and Gravimetry, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Denis N. Goldobin

Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108, Novosibirsk, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Terrestrial gravitational field relation with seismic focuses is considered. It may be useful for different geodynamic processes effect assessment. The variations of this relation on some limited crust areas were revealed.

Key words: terrestrial gravitational field.

В данной работе предпринята попытка рассмотреть землетрясение как точеный источник волны вариации силы тяжести δg на поверхность Земли. Действительно, за счет гравитационных “приливов” поверхность Земли

деформируется ~ 40 см/сут, а соответствующая вертикальная составляющая вариации силы тяжести δg составляет ~ 100 мкГал или $\delta g/g \sim 10^{-6}$ [1,2]. В качестве исходных данных для вычисления изменений силы тяжести, обусловленных сейсмической активностью, предлагается использовать значение $\delta g = 0,575$ мкГал, зафиксированное при землетрясении силой $M=5,7$ 20 сентября 2003г. в Токио.

В табл. 1 приведены данные о землетрясениях с соответствующей магнитудой за период с января по сентябрь 2003г, использованные для вычисления изменений силы тяжести на всей поверхности Земли.

Таблица 1. Исходные данные для вычисления изменений силы тяжести

Местоположение очага	Дата	Время, hh:mm:ss	φ°	λ°	Магнит уда	Глубина , км
1	2	3	4	5	6	7
Токио	20.09.2003	03:54:50,7	34,998	140,172	5,7	-
Западная Турция	10.04.2003	00:40:15,1	38,221	26,958	5,7	-
Люзон	1.01.2003	15:13:9,1	12,07	122,45	5,7	33
Юг Сендвичевых Островов	6.09.2003	15:47:0,3	57,37	25,48	5,7	33
Южная Суматра	6.09.2003	17:06:22,1	5,11	104,29	5,7	64
Исландия	7.09.2003	13:19:21,9	22,45	172,01	5,7	33
Остров Ява	8.09.2003	6:26:34,2	8,40	110,23	5,7	65
Люзон	14.09.2003	18:45:51,1	18,67	121,04	5,7	33
Хоккайдо	25.09.2003	21:02:53,0	41,79	144,19	5,7	33
Хоккайдо	26.09.2003	6:26:58,7	42,30	144,52	5,7	41
Хоккайдо	29.09.2003	7:49:58,1	42,41	143,89	5,7	42
Филлипины	6.01.2003	14:57:34,1	20,11	121,50	5,7	33
Северная Суматра	10.01.2003	15:18:56,9	0,44	97,86	5,7	33
Курильские Острова	2.02.2003	5:38:56,0	45,67	151,55	5,7	38
Вос. побережье северной Исландии	12.02.2003	11:43.654,9	38,02	178,42	5,7	41
Провинция Хиньян(юг)	12.03.2003	4:47:55,5	39,58	77,46	5,7	33
Вост. Побережье Камчатки	17.03.03	18:55:48,5	52,30	160,29	5,7	25
Вост. Побережье Камчатки	18.03.2003	5:37:28,9	52,25	160,41	5,7	27
Вост. Побережье Камчатки	19.03.2003	12:01:41,9	52,16	160,75	5,7	11
Вануату	20.03.2003	15:08:14,0	19,16	167,65	5,7	33
Регион островов Бонин	21.03.2003	18:43:27,7	28,19	142,57	5,7	33
Соломоновы Острова	26.03.2003	13:21:15,9	7,09	155,63	5,7	33
Запад Бразилии	27.04.2003	22:57:43,6	8,139	71,58	5,7	541

Местоположение очага	Дата	Время, hh:mm:ss	φ°	λ°	Магнит уда	Глубина , км
1	2	3	4	5	6	7
Северная Суматра	12.05.2003	03:03:5,7	1,17	98,86	5,7	81
Остров Ява	14.05.2003	07:40:30,6	7,98	107,29	5,7	33
Восточное побережье Хонсю	17.05.2003	14:33:10,4	35,97	140,36	5,7	33
Запад о. Тонга	19.05.2003	10:43:21,5	17,92	178,68	5,7	545
Район островов Маскарин	28.05.2003	16:15:18,7	17,63	65,96	5,7	10
Море Банда	8.06.2003	21;15:35,3	7,49	125,62	5,7	33
Район острова Жан Майен	19.06.2003	12:59:24,5	71,09	7,68	5,7	10

По полученным данным построена картосхема изменений силы тяжести при сейсмической активности, представленная на рис. 1.

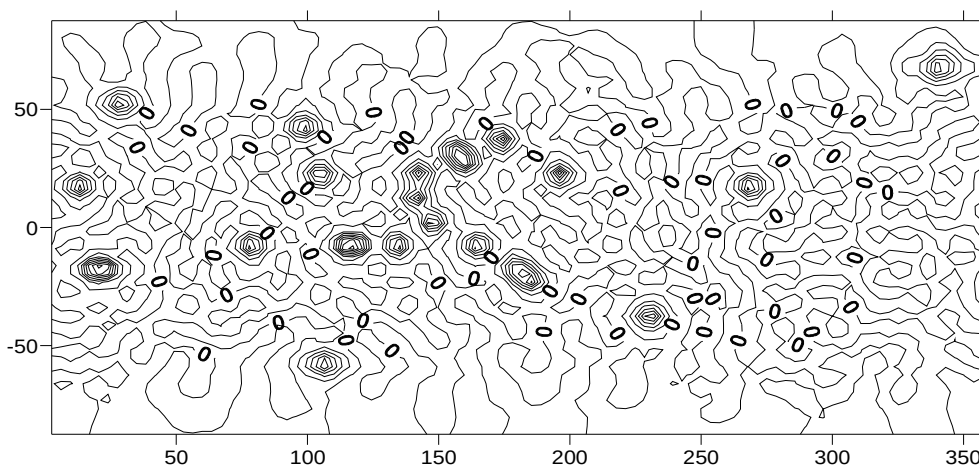


Рис. 1. Картосхема изменений восстановленного поля силы тяжести при сейсмической активности в период с января по сентябрь 2003 года

На картосхеме, изображенной на рис. 1, представлены изменения силы тяжести на всей земной поверхности, обусловленные сейсмической активностью, с января по сентябрь 2003 г. мкГал. Степень разложения гармонических коэффициентов $n=36$. Из рисунка видно, что наибольшее количество очагов землетрясений приходится на территорию с широтой $\varphi=45^\circ$.

На рис. 2 представлены изменения восстановленного поля силы тяжести для вычисленных гармонических коэффициентов при степени разложения $n = 4$.

На рис. 3 приведены изменения восстановленного поля силы тяжести ГАО-95 при степени разложения $n = 4$.

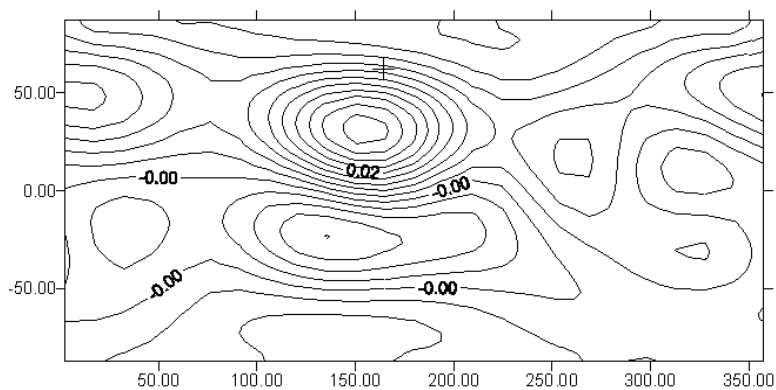


Рис. 2. Картограмма изменений восстановленного поля силы тяжести для вычисленных гармонических коэффициентов при степени разложения n

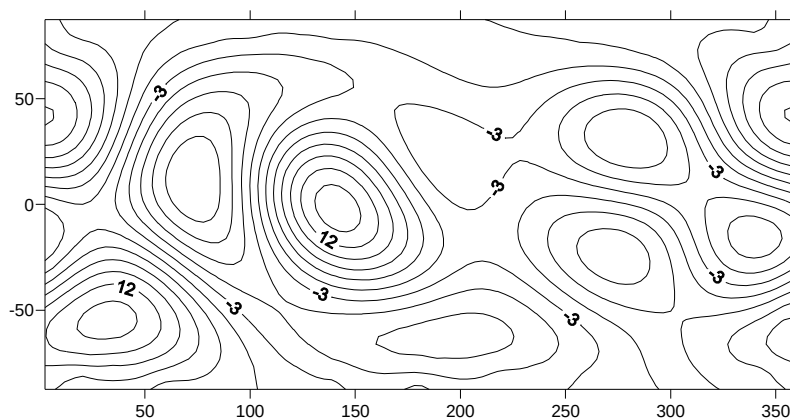


Рис. 3. Картограмма изменения восстановленного поля силы тяжести ГАО-95 при степени разложения $n = 4$

Из сравнения двух картограмм видно, что наблюдается некоторая корреляция: как в восстановленном поле силы тяжести, так и в поле силы тяжести ГАО-95 присутствует аномалия на территории с долготой $\lambda \approx 150^\circ$.

На картограмме, приведенной на рис. 4, изображены изменения восстановленного поля силы тяжести для вычисленных гармонических коэффициентов при степени разложения $n=8$.

На рис. 5 изображена картограмма изменений восстановленного поля силы тяжести ГАО-95 при степени разложения $n = 8$.

Сравнивая рисунки 4 и 5, можно заметить некоторую корреляцию между долготами $\lambda \approx 150^\circ$ и $\lambda \approx 200^\circ$, а также на долготе $\lambda \approx 350^\circ$.

При помощи формул 27 и 28 был выполнен пересчет гармонических коэффициентов в высоты квазигеоида.

На рисунке 6 приведена картограмма изменений высот квазигеоида для восстановленного поля силы тяжести при степени разложения $n=8$.

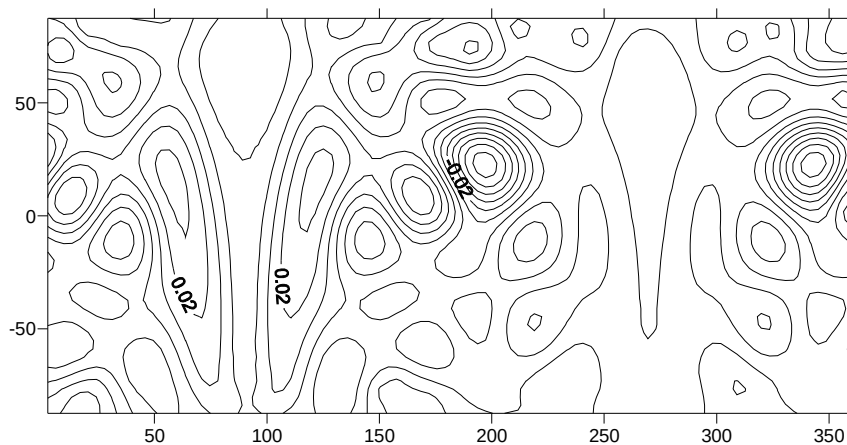


Рис. 4. Картосхема изменений восстановленного поля силы тяжести для вычисленных гармонических коэффициентов при степени разложения $n = 8$

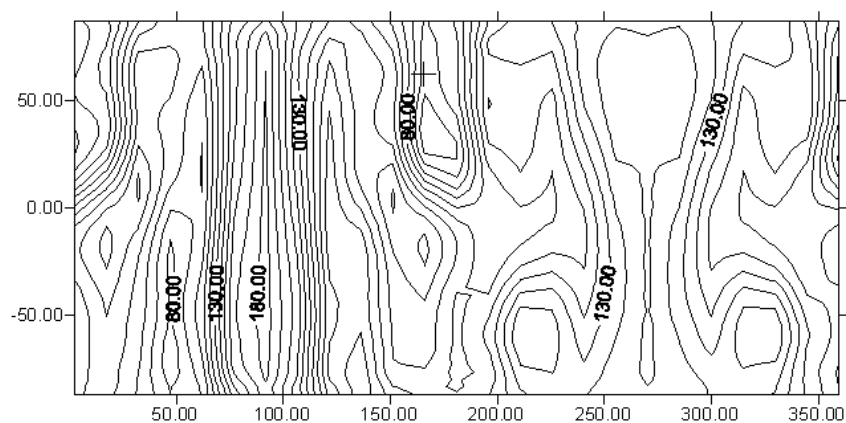


Рис. 5. Картосхема изменений восстановленного поля силы тяжести ГАО-95 при степени разложения $n = 8$

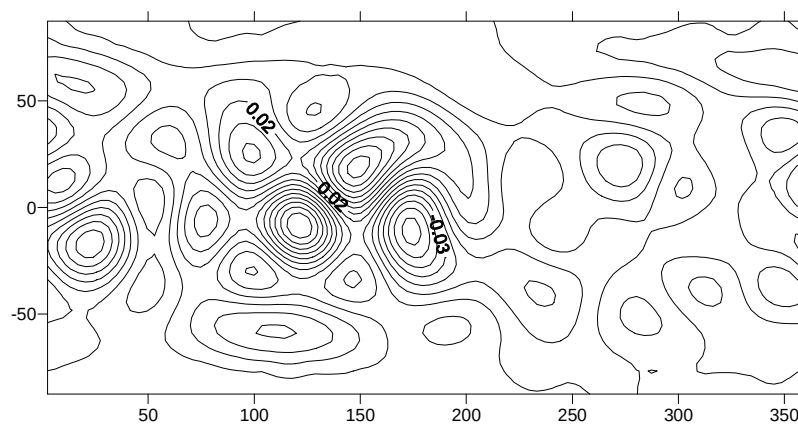


Рис. 6. Картосхема изменений высот квазигеоида для восстановленного поля силы тяжести при степени разложения $n=8$

Картосхема изменений высот квазигеоида для восстановленного поля силы тяжести ГАО-95 при степени разложения $n=8$ представлена на рис. 7.

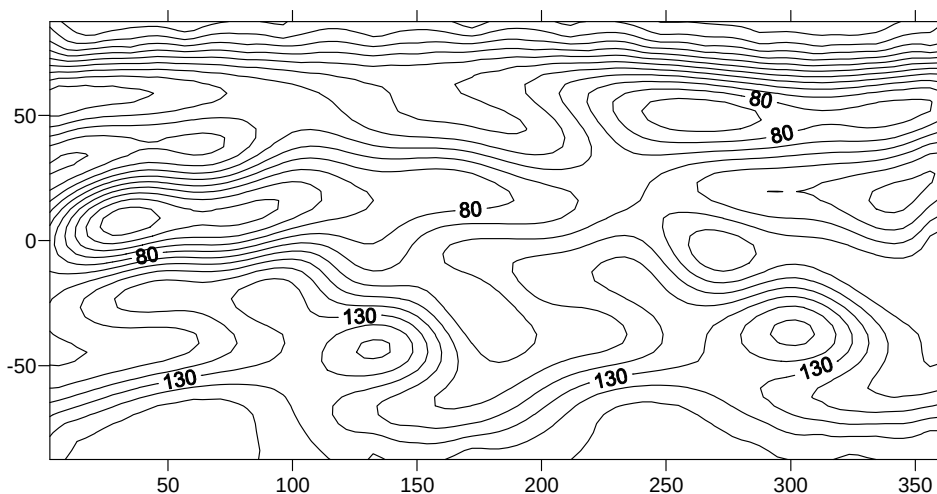


Рис. 7. Картосхема изменений высот квазигеоида для восстановленного поля силы тяжести ГАО-95 при степени разложения $n=8$

Из сравнения этих рисунков видно, что корреляция наблюдается в районе нулевой широты, а также в районе долготы $\lambda \approx 130^\circ$.

Сравнивая все полученные картосхемы с картосхемой, представленной на рисунке 1, также можно заметить корреляцию с аномалиями, расположенными в районе широты $\varphi \approx 45^\circ$ и долготы $\lambda \approx 150^\circ$. Также общий анализ картосхем позволяет сделать вывод, что изменения силы тяжести в зонах сейсмической активности коррелируют с изменениями высот квазигеоида, а это значит, что связь между ними существует.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петрова, Л. П. Возможные природа и механизм образования сейсмогравитационных колебаний Земли [Текст] / Л. П. Петрова. // Вопросы геофизики. – №34. – 1997. – С.14-32.
2. Bjerhammar A. 1983. Long – wavelength heterogeneities in the upper mantle as seen by satellites/ Tectonophysics, vol.90,1-2, p.57-76.

© И.Г. Ганагина, В.Ф. Канушин, Д.Н. Голдобин, 2012

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВОМ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА МАЛЕЕВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Ирина Геннадьевна Ганагина

Кандидат технических наук, доцент кафедры астрономии и гравиметрии, Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, тел. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Вадим Федорович Канушин

Кандидат технических наук, доцент кафедры астрономии и гравиметрии, Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, тел. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Денис Николаевич Голдобин

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, тел. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Ирина Анатольевна Басова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, тел. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Выполнена оценка изменения гравитационного потенциала и его характеристик, обусловленного выработкой руды на Малеевском месторождении. Проведен анализ полученных результатов, выполнена интерпретация высокоточного нивелирования I класса в районе Малеевского месторождения, обусловленных влиянием динамики горных выработок.

Ключевые слова: гравитационный потенциал, Малеевское месторождение.

RESEARCH OF THE TERRESTRIAL GRAVITATIONAL FIELD AND PHYSICAL SURFACE DYNAMICS FOR MALEYEVSKI DEPOSIT MINING

Irina G. Ganagina

Ph.D., Assoc. Prof., Department of Astronomy and Gravimetry, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, tel. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Vadim F. Kanushin

Ph.D., Assoc. Prof., Department of Astronomy and Gravimetry, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Denis N. Goldobin

Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Irina A. Basova

Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Assessment of gravitational potential and its characteristics changes performed for Maleyevski ore deposit working is presented. The received results analysis is given. Maleyevski deposit high-precision first-order leveling for mine working dynamics effect is interpreted.

Key words: gravitational potential, Maleyevski deposit.

Проблемы целого ряда наук о Земле тесно связаны с проблемами геодинамики и современными движениями земной коры. При этом исследуются две стороны геодинамических процессов: физико-химические преобразования, механические (в широком смысле) движения и деформации, включающие, в частности, изменение во времени гравитационного поля Земли. Эти две стороны тесно взаимосвязаны – первая может быть причиной второй и наоборот. Например, деформации вызывают изменения напряженного состояния недр (горных пород) Земли, что интегрируется в напряженно-деформируемое состояние земной коры [1,2].

Представляет интерес оценка роли геодезии в решении указанных выше проблем. Геодезические и гравиметрические методы являются основными при изучении современных движений и деформации земной поверхности.

Практическое значение данного вопроса заключается в решении задач прогноза как медленных движений физической поверхности Земли, так и быстрых, катастрофических, поиска полезных ископаемых, решения задач проектирования и эксплуатации крупных инженерных сооружений и уникальных физических систем: проектирования, построения и использования геодезических и гравиметрических сетей с учетом их деформаций [1].

В данной статье представлена попытка проанализировать результаты высокоточных геодезических работ в районе Малеевского месторождения на основе оценки изменения гравитационного потенциала и его характеристик, обусловленных выработкой руды.

Малеевское месторождение расположено на территории Зыряновского района Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан. Малеевский рудник, входящий в состав рудников Зыряновского горно-обогатительного комплекса, расположен в 17 км к северу от города Зыряновска. Главными рудными компонентами являются: свинец, цинк, медь. Присутствуют: золото, серебро, кадмий, висмут, индий, селен, теллур, сурьма, мышьяк. Малеевская рудная зона выходит на поверхность, погружается также в северо-западном направлении под углом 32-35°. Ширина изменяется от 300 м на юго-востоке до 150 м на северо-западе. Длина по простиранию 1300 м. Внутреннее строение рудных тел сложное, мощность их не выдержана, имеются раздувы и пережимы. По размерам выделяются три группы: крупные, средние и мелкие. В настоящее время на Малеевском руднике в среднем за год добывают 2 млн. 250 тыс. тонн руды.

На территории месторождения регулярно выполняются высокоточные геодезические работы с целью выявления деформаций земной поверхности. Высокоточное нивелирование I класса позволило выявить вертикальные деформации на территории, непосредственно прилегающей к зоне горных выработок. Изменения высот пунктов составили от 0,6 см до 2,8 см за четыре

цикла наблюдений. Изменения нормальных высот ΔH на пунктах высокоточного нивелирования отражают прямые влияния всех возмущающих факторов, обусловленных внешними и внутренними процессами на данной территории, а также косвенные влияния, обусловленные изменением гравитационного потенциала, и влияние ошибок измерений. Аналитически это можно представить следующим выражением:

$$\Delta H = \Delta H_n + \Delta H_{\text{грав.}} + \Delta H_{\text{о.и.}}, \quad (1)$$

где ΔH – общее изменение высоты, полученное из повторных нивелировок;

ΔH_n – прямое изменение нормальных высот, обусловленное геодинамическими явлениями;

$\Delta H_{\text{грав.}}$ – косвенное изменение аномалий высот, обусловленных изменением гравитационного потенциала под влиянием геодинамических процессов;

$\Delta H_{\text{о.и.}}$ – изменение высоты, обусловленные ошибками измерений.

Для интерпретации результатов высокоточного нивелирования в районе месторождения построена модель масс, включающая в себя 14 блоков рудных выработок. Исходными данными являются: глубина залегания месторождения – 173,5 м, плотность добываемой руды – 4,0 г/см³, площадь месторождения – 20,7 км² (рис. 1).

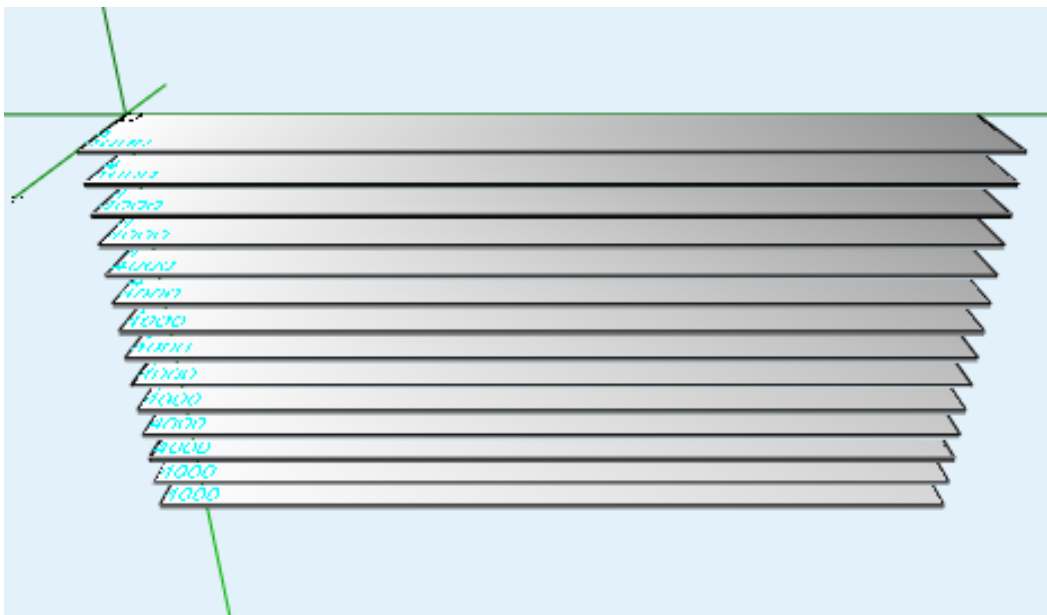


Рис. 1. Модель рудных выработок

В результате исследования вычислены вариации потенциала, вертикальной составляющей силы тяжести и высоты.

Максимальное изменение вариаций потенциала над центром объекта составляет 75 см²/с², минимальное 20 см²/с² получено на расстоянии 2 км от центра объекта.

Максимальное изменение вариаций высоты составляет 0.075 см получено над центром модели. Минимальное значение вариации высоты составляет 0.03 см получено на расстоянии 2 км от центра объекта (рис. 2).

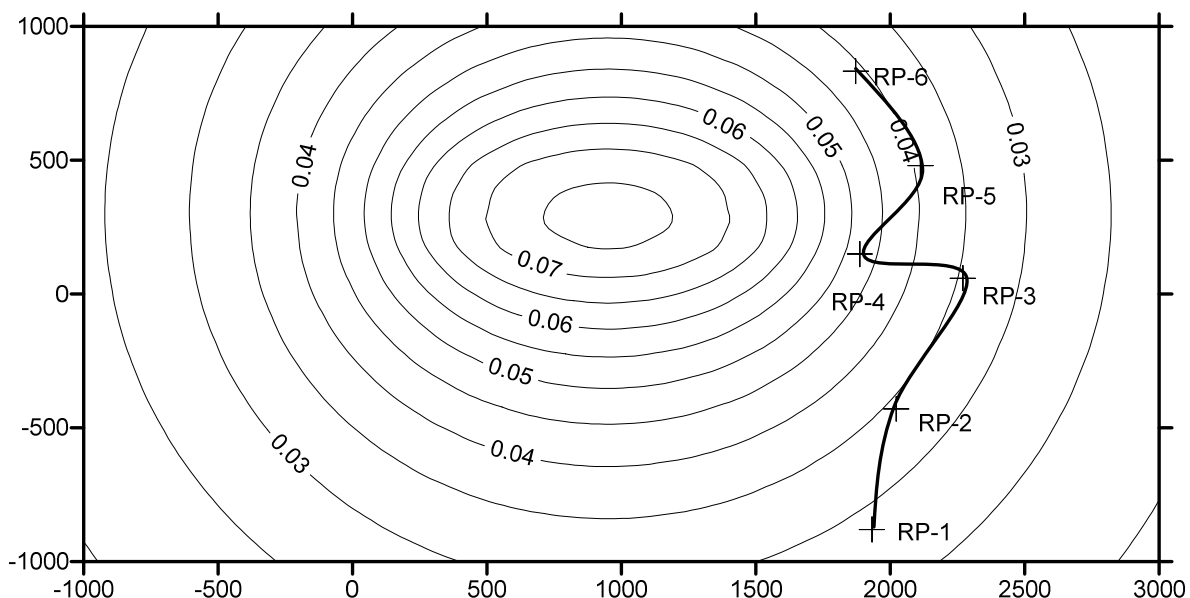


Рис. 2. Картограмма вариаций высоты (см) и расположения нивелирного хода относительно вычисленных вариаций высот

На рис. 2 представлено расположение реперов нивелирного хода.

Изменение высот, обусловленные прогибом земной коры в районе месторождения можно определить двумя способами. Первый способ основан на знании упругих свойств земной коры в районе месторождения и связан с моделированием прогибов земной коры.

Второй способ основан на разности результатов повторного нивелирования и значений изменений аномалий высот, определенных по формуле (ошибки измерений не учитываем):

$$\Delta H_{np.} = \Delta H - \Delta H_{грав.} \quad (2)$$

При интерпретации результатов высокоточного повторного нивелирования с целью определения вертикальных деформаций земной коры $\Delta H_{np.}$ из общих изменений высот реперов, полученных из повторного нивелирования, вычесть изменения аномалий высот, обусловленных изменением гравитационного потенциала под влиянием перемещенных масс.

В табл. 1 приведены изменения высот реперов пунктов нивелирования I класса в районе Малеевского месторождения.

Из таблицы видно, что максимальное изменение высоты на реперах нивелирного хода, характеризующее деформацию земной поверхности, составляет 2.975 см на RP-4, минимальное – 0.875 см на RP-2, что обусловлено просадкой поверхности вследствие выемки масс горных пород.

Таблица 1. Изменения высот реперов в районе Малеевского месторождения

№ п/п	Изменение высот реперов нивелирования		
	Получены при повторном нивелировании ΔH (см)	Обусловленные ВГП $\Delta H_{грав}$ (см)	Характеризующие деформацию земной коры $\Delta H_{пр.}$ (см)
RP-1	1.3	0.027	1.273
RP-2	0.9	0.03	0.875
RP-3	3.0	0.025	2.975
RP-4	3.2	0.047	3.153
RP-5	3.2	0.04	3.16
RP-6	1.6	0.04	1.56

Максимальные вариации высоты на реперах, обусловленные перемещением рудных масс в период между эпохами нивелирования, составили 0.5 мм.

Изменения вариаций высоты, обусловленные изменением потенциала силы тяжести, выше точности измерений и должны быть учтены. Выявлена корреляционная зависимость между изменениями нормальных высот на пунктах нивелирной сети и вариациями высоты, обусловленными изменением потенциала силы тяжести. Она равна 0,52.

Но изменения нормальных высот на пунктах нивелирного хода на два порядка выше вариаций высоты, обусловленной вариацией гравитационного потенциала, что, безусловно, связано с комплексом причин, влияющих на деформацию земной поверхности. Для их выявления необходимо на участке месторождения и близлежащих территориях проводить регулярные высокоточные геодезические и гравиметрические измерения. Данный мониторинг позволит дать адекватные оценки и прогноз деформаций земной поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сашурин, А. Д. Современная геодинамика и развитие катастроф на объектах недропользования / А. Д. Сашурин. – Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. – Екатеринбург:2003. – С. 369-372.
2. Теркот, Д. Л. Геодинамика: Геологические приложения физики сплошных сред / Д. Л. Теркот. – М.: Мир, 1985. – Ч.1.

© И.Г. Ганагина, В.Ф. Канушин, Д.Н. Голдобин, И.А. Басова, 2012

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА ВОЛЬТЕРРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИНАМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ

Вадим Федорович Канушин

Кандидат технических наук, доцент кафедры астрономии и гравиметрии, Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, тел. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Показана возможность применения для решения краевых геодезических задач нестационарного (динамического) характера интегральных уравнений типа Вольтерра. Приведен вывод интегрального уравнения и его решение.

VOLTERRA INTEGRAL EQUATIONS APPLICATION IN DYNAMIC GEODESY PROBLEMS SOLUTION

Vadim F. Kanushin

Ph.D., Assoc. Prof., Department of Astronomy and Gravimetry, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, tel. (383)3-61-01-59, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Volterra integral equations are proved to be useful in solving boundary geodetic problems of nonstationary (dynamic) character. Derivation of the integral equation and its solution are presented.

В задачах нестационарного (динамического) характера (теплопроводности, электродинамики, упругости) используют так называемые волновые потенциалы [1], [2], с помощью которых нестационарные краевые задачи приводятся к интегральным уравнениям типа Вольтерра, у которых область интегрирования переменная.

Для интегральных уравнений типа Вольтерра характерна абсолютная и равномерная сходимость в классе ограниченных функций на ограниченной области при всех значениях параметра в этой области, что позволяет решать эти уравнения методом последовательных приближений. Так как при любом параметре уравнение Вольтерра имеет единственное решение, то согласно теоремам Фредгольма [3] это уравнение не имеет собственных значений. Таким образом, решение интегральных уравнений типа Вольтерра проще чем решение уравнений типа Фредгольма [1], [4].

Фундаментальная формула Грина [2]:

$$U(M_0) = \frac{1}{4\pi} \iint_S \left(\frac{1}{r} \frac{dU}{dn} - U \frac{d(1/r)}{dn} \right) ds \quad (1)$$

позволяет определять значения гармонической функции в любой точке вне тела, если на его поверхности S' известны граничные значения этой функции и ее нормальной производной.

Фундаментальную формулу Грина (1) можно применить и для определения функции $U(X_1, X_2, X_3, t) = U(M, t)$, удовлетворяющей волновым уравнениям динамической геодезии, полученных в работе[5]

$$\frac{d^2 U}{dt^2} = a^2 \Delta U + F(X_1, X_2, X_3, t), \quad (2)$$

Пусть $U(X_1, X_2, X_3, t)$ – непрерывна со своими производными до второго порядка в некоторой области D пространства (X_1, X_2, X_3) , ограниченной поверхностью S , и точка $M \in D$, а $r = MM_0$ расстоянию от точки M_0 до переменной точки M .

Введем функцию $\tau(M, M_0)$, для которой напомним:

$$\text{grad}^2 \tau(M, M_0) = \frac{1}{a^2(M)}, \quad (3)$$

т.е.

$$\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2 = \frac{1}{a^2(M)}.$$

Если $a = \text{const}$, то $\tau(M, M_0) = r/a$.

Введем обозначения:

$$U(M, t - \tau) = U_1(M, t), \quad (4)$$

где $U_1(M, t)$ – решение уравнения (1).

Рассмотрим однородное волновое уравнение с запаздывающими значениями, т.е. в момент $(t - \tau)$:

$$U_{tt} = a^2(M) \Delta U. \quad (5)$$

Выразим оператор Лапласа ΔU_1 , через ΔU :

$$\Delta U_1 = \text{div grad} U_1 = \Delta U - 2 \text{grad} U_t \cdot \text{grad} \tau - U_t \Delta \tau + U_{tt} \text{grad}^2 \tau, \quad (6)$$

т.к.

$$\text{grad} U_1 = \text{grad} U - U_t \text{grad} \tau. \quad (7)$$

Подставляя выражение (6) в формулу (5) и учитывая (3), получим:

$$\frac{1}{a^2(M)} \cdot U_{tt} = \Delta U_1 + 2 \text{grad} U_t \cdot \text{grad} \tau + U_t \Delta \tau - \frac{U_{tt}}{a^2(M)}. \quad (8)$$

Дифференцируя формулу (7) по t , получим:

$$\text{grad} \frac{dU_1}{dt} = \text{grad} U_t - U_{tt} \text{grad} \tau$$

или

$$\text{grad} U_t = \text{grad} \frac{dU_1}{dt} + U_{tt} \text{grad} \tau, \quad (9)$$

и подставляя выражение (9) в формулу (8), получим:

$$\Delta U_1 = -2 \text{grad} \tau \cdot \text{grad} \frac{dU_1}{dt} - \Delta \tau \frac{dU_1}{dt}. \quad (10)$$

Умножим обе части этого выражения на функцию $\tau(M)$:

$$\sigma \Delta U_1 = -2\sigma \text{grad} \tau \cdot \text{grad} \frac{dU_1}{dt} - \sigma \Delta \tau \frac{dU_1}{dt} \quad (11)$$

и подберем функцию $\tau(M)$ так, чтобы выполнялось равенство:

$$\sigma \Delta U_1 = \text{div} \left(-\frac{dU_1}{dt} 2\sigma \text{grad} \tau \right). \quad (12)$$

Если σ и U_1 имеют непрерывные производные до второго порядка, то применяя к ним формулу Грина:

$$\iiint_D (\sigma \Delta U_1 - U_1 \Delta \sigma) dv = \iint_s \left(\sigma \frac{dU_1}{dn} - U_1 \frac{d\sigma}{dn} \right) ds \quad (13)$$

и учитывая формулу (11), получим:

$$- \iiint_D U_1 \Delta \sigma dv - \iiint_D \text{div} \left(\frac{dU_1}{dt} 2\sigma \text{grad} \tau \right) dv = \iint_s \left(\sigma \frac{dU_1}{dn} - U_1 \frac{d\sigma}{dn} \right) ds. \quad (14)$$

Применим формулу Гаусса-Остроградского к интегралу от дивергенции, получим:

$$\iiint_D \text{div} \frac{dU_1}{dt} 2\sigma \text{grad} \tau dv = \iint_s 2\sigma \frac{dU_1}{dt} \frac{d\tau}{dn} ds. \quad (15)$$

Учитывая выражение (15), запишем формулу (14) в следующем виде:

$$\iint_s \left(\sigma \frac{dU_1}{dn} - U_1 \frac{d\sigma}{dn} + 2\sigma \frac{d\tau}{dn} \frac{dU_1}{dn} \right) ds + \iiint_D U_1 \Delta \sigma dv = 0. \quad (16)$$

Переходя от функций $U_1(X, Y, Z, t)$ к функции $U(X, Y, Z, t - \tau)$, и учитывая, что $\frac{dU_1}{dn} = \frac{dU}{dn} - \frac{dU}{dt} \cdot \frac{d\tau}{dn}$, получим

$$\iint_s \left(\sigma \frac{dU}{dn} - U \frac{d\sigma}{dn} + \sigma \frac{d\tau}{dn} \frac{dU}{dt} \right) ds + \iiint_D U \Delta \sigma dv = 0. \quad (17)$$

Выделим вокруг точки M_0 малую сферу радиуса ρ и обозначим через D_1 оставшуюся часть тела D и через $\Sigma\rho$ – поверхность выделенной сферы. В области D_1 функции $\tau(M, M_0)$, $U(M, t - \tau)$ обладают свойствами непрерывности и применяя к этой области формулу (17), получим:

$$\iint_s \left(\sigma \frac{dU}{dn} - U \frac{d\sigma}{dn} + \sigma \frac{d\tau}{dn} \frac{dU}{dt} \right) ds + \iint_{\Sigma\rho} \left(\sigma \frac{dU}{dn} - U \frac{d\sigma}{dn} + \sigma \frac{d\tau}{dn} \frac{dU}{dt} \right) ds + \iiint_{D_1} U \Delta \sigma dv = 0. \quad (18)$$

Если $\rho \rightarrow 0$ то величины $\frac{dU}{dt}$ и $\frac{d\tau}{dn} \frac{dU}{dt}$ при приближении к точке M_0 будут ограничены; $\tau(M, M_0)$ на $\Sigma\rho$ будет порядка ρ и в силу $\lim_{\rho \rightarrow 0} \sigma(M, M_0) \cdot \tau(M, M_0) = \frac{1}{a(M_0)}$ функция $\tau(M, M_0)$ на $\Sigma\rho$ будет порядка $\frac{1}{\rho}$;

площадь $\Sigma\rho$ будет порядка ρ^2 . Отсюда следует, что интегралы $\iint_{\Sigma\rho} \left(\frac{dU}{dn}\right) ds$ и

$\iint_{\Sigma\rho} \left(\frac{d\tau}{dn} \frac{dU}{dt}\right) ds$ стремятся к нулю вместе с ρ .

Остается интеграл

$$- \iint_{\Sigma\rho} U \frac{d\sigma}{dn} ds = - \iint_{\Sigma\rho} U(M, t - \tau) \frac{d\sigma}{dn} ds.$$

Нормаль n – внешняя по отношению к D_1 и внутренняя по отношению к $\Sigma\rho$. На сфере $U(M, t - \tau)$ стремится к $U(M_0, t)$ при $\rho \rightarrow 0$. Учитывая, что при сжатии поверхности $\Sigma\rho$ к M_0 имеет место равенство:

$$\lim_{\Sigma\rho \rightarrow M_0} \iint \frac{d\sigma(M, M_0)}{dn} ds = -4\pi.$$

Формулу (18) при $\rho \rightarrow 0$ можно записать в виде:

$$U(M_0, t) = \frac{1}{4\pi} \iint_S \left(\sigma \frac{dU}{dn} - U \frac{d\sigma}{dn} + \sigma \frac{d\tau}{dn} \frac{dU}{dt} \right) ds + \frac{1}{4\pi} \iiint_D U \Delta \sigma dv, \quad (19)$$

которая была получена С.Л.Соболевым в 1930 г. [2]. Если $a = \text{const}$, то $\sigma = 1/r$ и $\Delta \sigma = 0$. В этом случае получим формулу Кирхгофа [4]:

$$U(M_0, t) = \frac{1}{4\pi} \iint_S \left(\frac{1}{r} \frac{dU}{dn} + \frac{1}{ra} \frac{dU}{dt} \frac{dr}{dn} - U \frac{d(1/r)}{dn} \right) ds. \quad (20)$$

Если интеграл в формуле (19) берется по поверхности сферы S с центром в точке M_0 и радиусом r , то $\frac{d}{dn} = \frac{d}{dr}$, а формула (20) примет вид:

$$U(M_0, t) = \frac{1}{4\pi} \iint_S \left(r \frac{dU}{dr} + \frac{r}{a} \frac{dU}{dt} + U \right) ds. \quad (21)$$

Если взять радиус сферы равным $r = at$, то $t - r/a = 0$, а также $ds = r^2 d\omega$, т.е. запаздывающее значение сводится к значению функции $t = 0$. Тогда формула (76) превращается в формулу Пуассона [2]:

$$U(M_0, t) = \frac{t}{4\pi} \iint_{S_{at}} \left(\frac{dU}{dt} \right)_0 d\omega + \frac{1}{4\pi} \frac{d}{dt} t \iint_{S_{at}} (U)_0 d\omega, \quad (22)$$

где $\left(\frac{dU}{dt} \right)_0$ и $(U)_0$ – значения функции при $t = 0$.

С помощью этой формулы решается задача о распределении колебаний в безграничном пространстве при заданных начальных условиях (т.е. решается задача Коши).

Возвращаясь к волновому уравнению (2) можно аналогично построить формулу Кирхгофа для неоднородного волнового уравнения в области D , в которой кроме поверхностного интеграла, будет и тройной:

$$U(M_0, t) = \frac{1}{4\pi} \iint_s \left(\frac{1}{r} \frac{dU}{dn} + \frac{1}{ar} \frac{dU}{dt} \frac{dr}{dn} - U \frac{d\left(\frac{1}{r}\right)}{dn} \right) ds + \frac{1}{4\pi a^2} \iiint_D \frac{P(M, t)}{r} dv. \quad (23)$$

Применяя эту формулу к сфере с центром M_0 и радиусом $r = at$ для решения задачи Коши, удовлетворяющей нулевым начальным данным при $t=0$, т.е. $U|_{t=0} = 0$ и $\frac{dU}{dt}|_{t=0} = 0$, получим:

$$U(M_0, t) = \frac{1}{4\pi a} \iiint_{D_t} \frac{F(M, t - \tau)}{t} dv. \quad (24)$$

Обобщенная таким образом формула Пуассона является волновым потенциалом.

Если $t = \text{const}$, то формула (24) превратится в формулу для ньютоновского потенциала объемных масс с плотностью $F(M)$. Применим к решению задачи Коши для уравнения (2), удовлетворяющего начальным условиям:

$$U(M, t)|_{t=0} = f_0(M), \quad U_t(M, t)|_{t=0} = f_1(M). \quad (25)$$

Обозначим через $S_t(X_1, X_2, X_3)$ квазисферу с центром M_0 и радиусом t , т.е. уравнение поверхности $S_t(X_1, X_2, X_3)$, ограничивающей область D_t , имеет вид: $\tau(M, M_0) = t$.

Значения функций U , $\frac{dU}{dn}$, $\frac{dU}{dt}$ должны быть взяты в моменты времени $t - \tau(M, M_0)$, или в $t = 0$. Принимая во внимание начальные условия (25) запишем уравнение (19) в следующем виде:

$$U(M_0, t) = \frac{1}{4\pi} \iint_{s_t} \left(\sigma \frac{df_0}{dn} - f_0 \frac{d\tau}{dn} + \sigma \frac{d\tau}{dn} f_1 \right) ds + \frac{1}{4\pi} \iiint_{D_t} \frac{F}{t} dv + \frac{1}{4\pi} \iiint_{D_t} U \Delta \sigma dv. \quad (26)$$

Первый и второй интегралы в формуле (26) представляют собой известные функции, сумму которых обозначим через $R(M_0, t)$, тогда уравнение (26) можно записать в виде интегрального уравнения:

$$U(M, t) = R(M_0, t) + \frac{1}{4\pi} \iiint_{D_t} U \Delta \sigma dv. \quad (27)$$

Заметим, что при изменении M_0 и t меняется область D_t и уравнение (27) аналогично уравнению Вольтерра. Это уравнение при t близких к нулю имеет единственное решение [2], которое может быть получено методом последовательных приближений, и является решением поставленной задачи динамической геодезии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мюнтц, Г. Интегральные уравнения /Г. Мюнтц. – Л.: Гостехиздат, 1934. Ч.1. – 330с.
2. Смирнов, В. И. Курс высшей математики /В. И. Смирнов. – М.: Физмашгиз,1957. – 812 с.
3. Арсенин, В. Я. Методы математической физики и специальные функции /В. Я. Арсенин. – М.: Наука,1984. – 384 с.
4. Владимиров, В. С. Уравнения математической физики /В. С. Владимиров. – М.: Наука, 1981. – 512 с.
5. Постановка проблемы и развитие теории динамической геодезии как пространственно-временной геодезической краевой задачи М.С. Молоденского: Отчет о НИР (промежуточный) / СГГА. Руководитель Бузук В.В. – № гр. 019600012360; Инв. № 02980005664. – Новосибирск, 1997. – 43 с.

© В.Ф. Канушин, 2012

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Анатолий Степанович Суздалев

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики, тел. (383)343-18-54, 8-913-793-99-67

Игорь Георгиевич Вовк

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики, тел. (383)343-18-54

Нина Петровна Артемьева

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры прикладной информатики, тел. (383)343-18-54

В статье рассмотрено влияние пространственно-временных вариаций гравитационного поля Земли на результаты геодезических измерений.

Ключевые слова: гравитационное поле Земли, пространственно-временные вариации, аппроксимационные модели.

TERRESTRIAL GRAVITATIONAL FIELD SPACE-TIME VARIATIONS

Anatoly S. Suzdalev

Ph.D., Assoc. Prof., Department of Applied Informatics, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108, Novosibirsk, tel. (383)3431854, 8-913-793-99-67

Igor G. Vovk

Ph.D., Prof., Department of Applied Informatics, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108, Novosibirsk, tel. (383)3431853

Nina P. Artemyeva

Senior lecturer, Department of Applied Informatics, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108, Novosibirsk, tel. (383)3431854

The effect of the terrestrial gravitational field space-time variations on geodetic measurements results is considered.

Key words: terrestrial gravitational field, space-time variations, approximation models.

Проблемы изучения фигуры и гравитационного поля Земли неразрывно связаны друг с другом, составляя единую основную научную задачу геодезии. Молоденским М.С. разработана и обоснована теория решения основной задачи статической геодезии /1/. Ее решение основано на результатах измерений, выполненных на земной поверхности, без привлечения каких-либо гипотез о

внутреннем строении Земли. Фундаментом решения основной задачи геодезии явились труды великих ученых Лапласа, Клеро, Ньютона, Гаусса, Стокса. В зависимости от решаемых задач, Молоденский М.С. предложил условно разделить геодезию на три части: статическую, кинематическую и динамическую [2]. Статическая геодезия, являясь разделом классической физической геодезии, включает в себя вопросы повышения точности геодезических измерений и совершенствования методов их обработки. В статической геодезии предполагается, что Земля - твердое тело, вращающееся с постоянной скоростью вокруг оси, проходящей через центр ее масс и фиксированной в ее теле. Центр масс является началом геоцентрической прямоугольной системы координат (X,Y,Z) , ось Z которой совпадает с осью вращения Земли. Гравитационное поле такой модели Земли является стационарным ($\tau_0 = \text{const}$) и изменяется только в координатной области.

Реальное гравитационное поле Земли (поле силы тяжести) - это силовое поле, создаваемое притяжением всей совокупности масс Земли и космических тел, а также суточным вращением Земли. Оно характеризуется гравитационным потенциалом

$$W = W_3 + W_K + Q, \quad (1)$$

состоящим из потенциала притяжения масс Земли W_3 , лунно-солнечного потенциала W_K и потенциала центробежных сил Q . Непересекающиеся поверхности, на которых $W = \text{const}$, называют эквипотенциальными или уровнями. Эквипотенциальная поверхность, совпадающая со средним уровнем Мирового океана и проходящую через начало счета геодезических высот, называют геоидом. Дополнительными характеристиками, позволяющими более полно описать гравитационное поле Земли, являются пространственные производные потенциала различных порядков.

Первой производной потенциала по вертикали является ускорение силы тяжести. Эта производная является вектором, т.к. в каждой точке пространства она характеризуется величиной и направлением. Под вертикалью понимается направление быстрейшего увеличения силы тяжести - градиента потенциала. Поэтому изменение потенциала происходит только при перемещении с одной уровневой поверхности на другую. Вертикальный градиент является важнейшей характеристикой изменения силы тяжести. Он устанавливает зависимость силы тяжести от высоты. Увеличение вертикального градиента соответствует уменьшению расстояния между уровнями поверхностями. Вторые производные потенциала характеризуют кривизну уровневых поверхностей и изменение силы тяжести по координатным осям.

При исследованиях стационарного ГПЗ основная задача геодезии решается по исходным данным, представленным приращениями гравитационного потенциала и вектора силы тяжести в точке $P(X,Y,Z)$ физической поверхности Земли относительно начальной точки $O(X_0,Y_0,Z_0)$ на некоторую фиксированную начальную эпоху τ_0 [3]

$$\Delta W(P, \tau_0) = W(P, \tau_0) - W(O, \tau_0), \quad (2)$$

$$\vec{g}(P, \tau_0) = \text{grad } W(P, \tau_0) .$$

Формулы (2) характеризуют пространственные вариации стационарного гравитационного поля Земли. Вариации ГПЗ зависят только от взаимного расположения гравитирующих объектов, составляющих Землю. В этом случае согласно теории Молоденского М.С. /1/, характеристики гравитационного поля Земли, гравитационный потенциал и вектор силы тяжести следует рассматривать только как функции пространственных координат

$$W = W(X, Y, Z) = U(X, Y, Z) + T(X, Y, Z), \quad (3)$$

$$\vec{g} = \vec{g}(X, Y, Z) = \gamma(X, Y, Z) + \Delta\vec{g}(X, Y, Z) , \quad (4)$$

где $U(X, Y, Z)$ и $\gamma(X, Y, Z)$ - нормальный потенциал и нормальная сила тяжести, $T(X, Y, Z)$ и $\Delta g(X, Y, Z)$ - возмущающий потенциал и аномалия силы тяжести. Нормальные значения потенциала и силы тяжести задаются формулами /4, 5/

$$U(r, B) = \frac{fM}{r} \left\{ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{R}{r} \right)^{2n} I_{2n} P_{2n}(\sin B) \right\} + \frac{\omega^2}{2} r^2 \cos^2 B , \quad (5)$$

$$\gamma(r, B) = \frac{fM}{r^2} \left\{ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{R}{r} \right)^{2n} (2n+1) I_{2n} P_{2n}(\sin B) - \omega^2 r \cos B \right\} \sec(B - \varphi) , \quad (6)$$

где r , R - геоцентрический радиус и радиус Нормальной Земли; B , φ - геодезическая и геоцентрическая широты; fM - геоцентрическая гравитационная постоянная; ω - угловая скорость вращения Земли; I_{2n} - четные зональные гармонические коэффициенты.

Если при изучении гравитационного потенциала, его разделяют на две части - нормальную и возмущающую, то к основным элементам гравитационного поля добавляется еще один элемент - уклонение отвесной линии. Оно представляет собой угол между вектором силы тяжести и внутренней нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке. Этот угол эквивалентен наклону поверхности геоида относительно поверхности эллипсоида в данной точке.

Для решения различных прикладных задач геодезии, астрономии, геофизики и геодинамики на основе теории Молоденского, отечественными и зарубежными учеными разрабатывались математические модели гравитационного поля Земли. Наиболее известными среди российских ученых являются: Магницкий В.А., Жонголович И.Д., Буланже Ю.Д./2/ Еремеев В.Ф., Юркина М.И., Бровар В.В., Пеллинен Л.П., Сагитов М.У., Холшевников К.В., Бузук В.В., Нейман Ю.М., Лебедев С.В., Мещеряков Г.А., Грушинский Н.П., Машимов М.М., Шимберев Б.П., Каула У., Рапп Р., Гапошкин Б., Графаренд Е., Хек Б., Мориц Х., Остач О.М., Панкрушин В.К., Демьянов Г.В., Огородова Л.В., Петровская М.С., Юзефович А.П., Вовк И.Г., Дюков В.П., Сурнин Ю.В., Канушин В.Ф., Костына Ю.Г., Каленицкий А.И.

Трудами Молоденского М.С. /1/, Бровара В.В., Магницкого В.А., Шимберева Б.П., Еремеева В.Ф., Юркиной М.И., Пеллинен Л.П., Неймана Ю.М., Сагитова М.У., Грушинского Н.П., Машимова М.М., Бузука В.В., Вовка

И.Г., Канушина В.Ф. и других отечественных ученых, создана строгая теория решения основной задачи геодезии. На основе этой теории разработаны линейные методы определения физической поверхности Земли и ее внешнего гравитационного поля. Теория позволяет решить основную проблему геодезии практически с любой точностью и обладает, таким образом, неограниченными потенциальными возможностями. Доказано, что решение этой задачи существует при безошибочности исходной информации и условии ее непрерывности на всей поверхности Земли. Практически это реализуется с помощью одного из методов интерполяции результатов измерений.

Главная научная задача статической геодезии по определению фигуры Земли с точностью порядка одного метра, была решена в восьмидесятые годы / Как показали дальнейшие исследования планетарных геодинамических явлений, точнее определять ее размеры не имело смысла, поскольку временные вариации высот геоида, особенно в районах Мирового океана, находятся в диапазоне одного-двух метров /17/.

При моделировании переменного гравитационного поля Земли предполагается, что на эпоху τ_0 известна его нормальная составляющая, и задача сводится к определению аномального гравитационного поля как функции координат и времени на эпоху t . Зависимость гравитационного поля от времени проявляется лишь при его определении с относительной погрешностью не ниже 10^{-5} - 10^{-6} и поэтому аномальное переменное гравитационное поле представляют суммой двух слагаемых

$$\vec{W} = \vec{W}(P, t) = \vec{W}_1(P, \tau_0) + \vec{W}_2(P, t - \tau_0), \quad (7)$$

$$\vec{g} = \vec{g}(P, t) = \vec{g}_1(P, \tau_0) + \vec{g}_2(P, t - \tau_0). \quad (8)$$

Первые слагаемые в формулах (7), (8) задают потенциал $\vec{W}$ и вектор силы тяжести $\vec{g}$, как функции координат в эпоху τ_0 , соответственно формулам (3) и (4). Вторые слагаемые представляют временные вариации потенциала и вектора силы тяжести в точке $P(X, Y, Z)$ за время $t - \tau_0$.

Для изучения пространственно-временных вариаций гравитационного потенциала и силы тяжести достаточно определить функции:

$$\delta \vec{W}(P, t) = \vec{W}_2(P, t - \tau_0) = \vec{W}(P, t) - \vec{W}_1(P, \tau_0), \quad (9)$$

$$\delta \vec{g}(P, t) = \vec{g}_2(P, t - \tau_0) = \vec{g}(P, t) - \vec{g}_1(P, \tau_0). \quad (10)$$

При фиксированном времени t эти формулы определяют пространственные вариации $\delta W(P)$ и $\delta g(P)$. В том случае, когда точка P фиксирована, а время - переменная величина, вариации обусловлены только их временными изменениями $\delta \vec{W}(t)$, $\delta \vec{g}(t)$. Когда же время и координаты точки P являются переменными величинами, то мы имеем дело с пространственно-временными вариациями $\delta \vec{W}(P, t)$, $\delta \vec{g}(P, t)$. Повышение точности геодезических измерений и их повторяемость с использованием современных спутниковых технологий открыли возможность изучения геодинамических явлений, приводящих к изменению координат и внешнего гравитационного поля Земли во времени.

Задачи геодинамики, по Молоденскому М.С., рассматриваются в двух других разделах геодезии - кинематической и динамической. Задачи

кинематической геодезии - это изучение строгими методами движений земной поверхности и вариаций гравитационного поля безотносительно к тем причинам, которые вызывают эти изменения и которые чаще всего бывают неизвестными. В этом случае для математического моделирования геофизических полей используются аппроксимационные модели, которые получают в результате формальной интерпретации экспериментальных данных по принципу "черного ящика". Задачи динамической геодезии - это не только изучение, но и объяснение механизма явлений, вызывающих вариации наблюдаемого поля гравитационных аномалий, особенностями строения и развития земной коры в целом. Математические модели гравитационного поля в этом случае, называемые имитационными, создаются на основании гипотез относительно механизма возникновения вариаций изучаемых геофизических полей, характера взаимодействия между переменными, принципов сбора и подготовки исходных данных. Эти модели требуют, как правило, знания внутреннего строения Земли и наличия математических моделей процессов и явлений, генерирующих вариации геофизических полей.

Улучшение наших знаний о закономерностях и свойствах динамики поверхности Земли ведет к повышению точности моделей нестационарного гравитационного поля Земли. Это, в свою очередь, позволяет повысить точность определения из геодезических измерений ее динамической фигуры. Геодезические измерения выполняются в гравитационном поле Земли, а геодезические приборы ориентируются в пространстве так, что их вертикальная ось становится коллинеарной вектору силы тяжести. Из этого следует, что в точке $P(X_p, Y_p, Z_p)$, в которой установлен геодезический прибор, может быть реализована система декартовых прямоугольных координат. Одна из осей этой системы по направлению совпадает с внешней нормалью n_p в точке P уровенной поверхности потенциала, а две другие - расположены в плоскости, касательной к этой поверхности. Вариации гравитационного поля во время геодезических измерений в точке P , выполняемых относительно этой системы координат, сопровождаются изменением положения касательной плоскости и нормали к уровенной поверхности в этой же точке. Следовательно, изменение положения системы координат, связанной с инструментом, приводит к изменению результатов измерений. Поэтому при выполнении высокоточных геодезических работ в переменном нестационарном гравитационном поле Земли, возникает необходимость оценки и учета влияния ВГП на результаты геодезических измерений [3]. В стационарном гравитационном поле Земли эта задача традиционно решается по данным об отклонении отвесной линии. Для этого необходимо выполнение астрономо-гравиметрических измерений, связанных с большими временными и материальными затратами. Для определения вариаций отклонения отвесной линии, обусловленных изменениями гравитационного поля, требуется выполнение серии повторных измерений с точностью, часто лежащей за пределами точности современных приборов и технологий. Кроме того, результаты измерений зависят от множества других факторов, влияние которых отфильтровать не представляется возможным.

Поэтому, в настоящее время, для оценки и учета влияния ВГП на результаты геодезических измерений используются методы математического моделирования геофизических явлений, процессов и вызываемых ими ВГП, поправок в геодезические измерения, обусловленных пространственно-временными изменениями потенциала и вектора силы тяжести. В свою очередь, для успешного изучения вариаций гравитационного потенциала и вектора силы тяжести (ВГП), необходимо знание причин их возникновения и наличия методов их изучения /3/.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молоденский М.С. Внешнее гравитационное поле и фигура физической поверхности Земли // Изв. АН СССР. Сер. Геодезия и картография.- 1948.- №3.- С. 193-211.
2. Буланже Ю.Д. Вековые изменения силы тяжести.//Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли.- 1974.- №10.- С. 25-32.
3. Оценка влияния ВГП на результаты геометрического нивелирования в районе полуострова Камчатка. Оценки вариаций гравитационного поля(ВГП), вызванных океаническими приливами, и анализ их влияния на результаты гравиметрического нивелирования в условиях восточного побережья полуострова Камчатка: Отчет о НИР/Сиб. гос. геодез. акад. (СГГА); Руководитель И.Г. Вовк.- №ГР 0188.0006584; инв. №0290.0011733.- Новосибирск, 1989.- 44с. Отв. исполн. А.С. Суздалев.
4. Буланже Ю.Д. Неприливные изменения силы тяжести// Повтор. гравиметрические наблюдения//Вопр. теории и результаты. - М., 1980.- С. 4-21.
5. Юркина М.И. О выделении приливных влияний в элементах гравитационного поля//Повтор. гравиметр. наблюдения. - М.,1981.-С. 3-7.
6. Перцев Б.П., Иванова М.В. Оценка влияния нагонных вод на значение силы тяжести и высоты земной поверхности в прибрежных районах// Изв. АН СССР. Физика Земли.- 1981.-№ 1.
7. Богданов К.Т. Приливы Мирового океана.- М.:Наука, 1975.- 116с.
8. Goad G.C. Gravimetric Tidal Loading computed from Integrated Green's functions// J.G.R.- 1980, 85, B5, mag. 10.- P. 2679-2883.
9. Вовк И.Г., Суздалев А.С., Горбань В.М. Оценка влияния океанических приливов на результаты геометрического нивелирования//Тез. докл. IX съезда ВАГО.- Новосибирск, 1990.- С. 37-38.

© А.С. Суздалев, И.Г. Вовк, Н.П. Артемьева, 2012

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

Игорь Георгиевич Вовк

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, д.т.н., профессор кафедры прикладной информатики, тел.(383)3431853

Татьяна Юрьевна Бугакова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, к.т.н., доцент кафедры прикладной информатики, тел.(383)3431853

В статье рассмотрено математическое моделирование пространственно-временного состояния систем по геометрическим свойствам.

Ключевые слова: математическая модель, пространственно-временное состояние системы, геометрические характеристики системы.

MATHEMATICAL SIMULATION OF SYSTEMS SPACE - TIME STATE BY GEOMETRICAL PROPERTIES

Igor G. Vovk

Ph.D., Prof., Department of Applied Informatics, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: (383)3431853

Tatyana Yu. Bugakova

Ph.D., Assoc. Prof., Department of Applied Informatics, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: (383)3431853

Mathematical simulation of systems space-time state by geometrical properties is considered.

Key words: mathematical model, systems space-time state, systems geometrical characteristics.

В современной геодезической отрасли много научных задач. Одна из них – определение пространственно-временного состояния систем. Для её решения необходим систематический контроль состояний объектов. Существуют разнообразные методы контроля, отличающиеся своими целями. Для контроля пространственно-временного состояния (ПВС) техногенных объектов необходимы данные об их геометрических свойствах, как функциях времени. К ним относятся форма, размеры, положение в пространстве и другие свойства, характеризующие взаимное расположение множества точек объекта относительно внешней среды и относительно друг друга. Выполнить непосредственное измерение таких свойств чаще всего не удаётся и поэтому для их определения применяют методы математического моделирования [1].

Исходными данными для моделирования служат временные ряды координат множества точек исследуемого объекта, полученные по результатам повторных циклов геодезических измерений. Анализируя результаты моделирования свойств

объекта, можно судить о его состоянии, оценивать опасность этого состояния и принимать необходимые меры для снижения риска возникновения опасных состояний, сопровождающихся не только значительным материальным ущербом, но и человеческими жертвами и связанных с полным или частичным разрушением объекта. Разрушение многих сооружений можно было бы предвидеть при своевременном выполнении работ по наблюдению и анализу ПВС объектов [2].

Рассматривая отдельные геодезические точки или некоторые их множества, связанные заданными отношениями, как элементарные объекты, связи между ними установим посредством математических правил и тем самым на множестве элементарных объектов определим отношения между ними, представляющие структуру объекта. Возможность различного выбора элементарных объектов обеспечивает свободу в определении структуры. В результате на множестве исходных геодезических данных могут быть определены геометрические объекты не обязательно состоящие из конечного множества точек. Например, прямая, проходящая через две заданные точки, плоскость, содержащая три заданные точки, многоугольник, составленный из отрезков прямых и т.д. Это позволяет, как свойства объектов находить различные геометрические признаки:

- Внешнюю конфигурацию, в которой отображается структура объекта (точка, линия, полоса, оболочка, стержень, слой) и размерность пространства состояний;
- Количество и размерность связей со смежными элементами, иерархию связей;
- Уравнения линий и поверхностей;
- Числовые характеристики.

Среди множества методов описания геометрических признаков объектов определёнными преимуществами обладает параметрический метод, который позволяет избежать привязки к той или иной системе координат, относительно просто осуществлять преобразования координат (перенос и вращение), получать простые математические модели закрученных кривых и других объектов и отображать их на экране компьютера. При параметрическом описании координаты любой точки

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1)$$

рассматриваются как функции вспомогательного параметра t , область изменения которого должна быть оговорена. Параметрическое представление не является единственным, и один и тот же геометрический объект может быть представлен различными функциями вида (1). Полагая в (1) параметр $t = t_i = \text{const}$, определяем радиус-вектор, т. е. положение точки M_i . При изменении параметра t точка M_i опишет в пространстве некоторую траекторию, каждая точка которой соответствует некоторому значению параметра t , являющегося координатой точки. Это обстоятельство позволяет для описания траектории точки ввести вектор-функцию

$$\bar{r} = \bar{r}(t) = \{x(t), y(t), z(t)\} = \bar{i} \cdot x(t) + \bar{j} \cdot y(t) + \bar{k} \cdot z(t). \quad (2)$$

В качестве примера запишем векторное уравнение прямой, проходящей через точку M_0 , в направлении орт-вектора $\bar{u}$ (рис. 1).

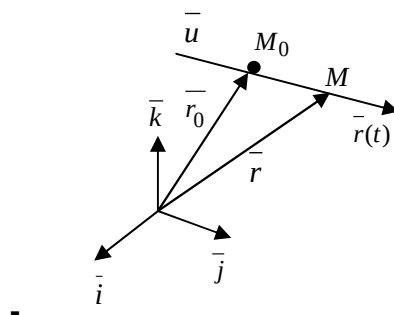


Рис. 1. Составление уравнения прямой

Как видно из чертежа, $\overline{M_0M} = \bar{r} - \bar{r}_0$, а направление $\overline{M_0M}$ совпадает с направлением $\bar{u}$. Тогда искомым уравнением является

$$\bar{r} - \bar{r}_0 = t \cdot \bar{u} \Rightarrow \bar{r} = \bar{r}_0 + t \cdot \bar{u} = \bar{r}(t). \quad (3)$$

Если прямая должна проходить через две заданные точки M_0 и M , то роль направляющего вектора выполняет вектор

$$\overline{M_0M} = \overline{OM} - \overline{OM_0} = \bar{r} - \bar{r}_0, \quad (4)$$

и для произвольной точки M_k искомой прямой является

$$\begin{aligned} \bar{r}_k = \overline{OM_k} &= \overline{OM_0} + \overline{M_0M_k} = \overline{OM_0} + t \cdot \overline{M_0M} = \\ &= \bar{r}_0 + t \cdot (\bar{r} - \bar{r}_0) = \bar{r}(t). \end{aligned} \quad (5)$$

В параметрическом виде могут быть заданы и произвольные поверхности. Их можно представить как «след» перемещающейся в пространстве и деформирующейся линии. Положение точки на такой поверхности определяется параметром u , определяющим положение точки на линии, и параметром v , определяющим положение линии в пространстве. Следовательно, в трёхмерном пространстве поверхность определяется вектор-функцией

$$\bar{r} = \bar{r}(u, v) = \bar{i} \cdot x(u, v) + \bar{j} \cdot y(u, v) + \bar{k} \cdot z(u, v). \quad (6)$$

Если в уравнении (6) фиксировать один из параметров (u или v), то получим уравнения линий, принадлежащих поверхности (6). Такие линии называют параметрическими линиями на поверхности [3].

В качестве примера запишем уравнение плоскости (рисунок 2), проходящей через точку $\bar{r}_0$ и содержащей векторы:

$$\bar{r} = \bar{r}_0 + u \cdot \bar{n}_1, \quad \bar{r} = \bar{r}_0 + v \cdot \bar{n}_2,$$

где параметры u, v — координаты точки в плоской (может быть косоугольной) системе координат, оси которой задают векторы $\bar{n}_1, \bar{n}_2$.

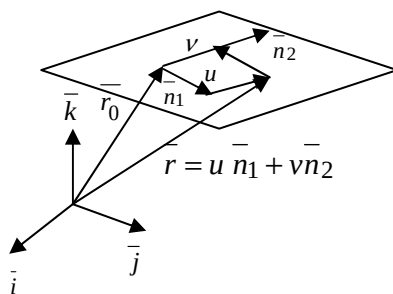


Рис. 2. Составление уравнения плоскости

Введём вектор, перпендикулярный плоскости векторов $\bar{n}_1, \bar{n}_2$.

$$\bar{n} = \frac{\bar{n}_1 \times \bar{n}_2}{|\bar{n}_1 \times \bar{n}_2|},$$

Тогда искомое уравнение имеет вид:

$$\bar{n}_1 \cdot \bar{n} = \bar{n}_2 \cdot \bar{n} = 0, \quad (7)$$

$$\bar{r} \cdot \bar{n} = (\bar{r}_0 + u \cdot \bar{n}_1 + v \cdot \bar{n}_2) \cdot \bar{n} = \bar{r}_0 \cdot \bar{n} \Rightarrow (\bar{r} - \bar{r}_0) \cdot \bar{n} = 0.$$

В координатной форме оно запишется в виде выражения:

$$n_x \cdot (x - x_0) + n_y \cdot (y - y_0) + n_z \cdot (z - z_0) = 0. \quad (8)$$

Из уравнения (7) следует, что проекция радиус-вектора $\bar{r}$ любой точки плоскости на направление нормали – величина постоянная, по абсолютной величине равная расстоянию от плоскости до начала координат.

Уравнения прямой и плоскости – основные и простейшие геометрические характеристики объектов, которые могут быть получены по геодезическим данным. Кроме этих характеристик, существует множество других вариантов. Например: условие принадлежности четырех точек одной и той же плоскости, угла между плоскостями, угла между прямой и плоскостью, координат точки пересечения прямой; определение кратчайшего расстояния между двумя прямыми, расстояния от точки до прямой, проекции вектора на плоскость; уравнение плоскости, проходящей через данную точку и перпендикулярную данному вектору. Все они являются основными элементарными объектами, из которых можно, исходя из целей моделирования или структуры объекта, оценивать качественные свойства и вычислять значения геометрических характеристик.

Например, если целью моделирования является определение положения системы в пространстве, представленной облаком точек с координатами x_i, y_i, z_i , то достаточно найти среднюю точку этой системы.

Для определения ориентации системы в пространстве необходимо найти плоскость, наилучшим образом аппроксимирующую зависимость $z_i = (x_i; y_i)$.

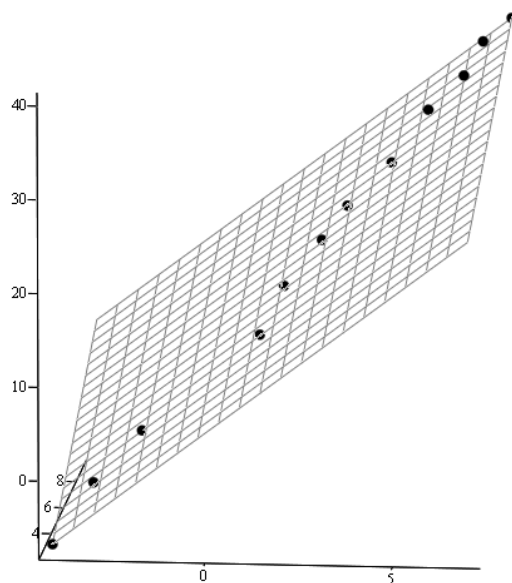


Рис. 3. плоскость аппроксимирующая зависимость $z_i = (x_i; y_i)$

Изменение положения нормали, проведенной к плоскости, будет характеризовать ориентацию облака точек в пространстве.

Если требуется определить изменение поверхности облака точек, то нужно аппроксимировать его сферой. Изменение размеров этого облака (расширение, сжатие), а так же изменение расстояний точек от поверхности сферы будут характеризовать локальные деформации поверхности.

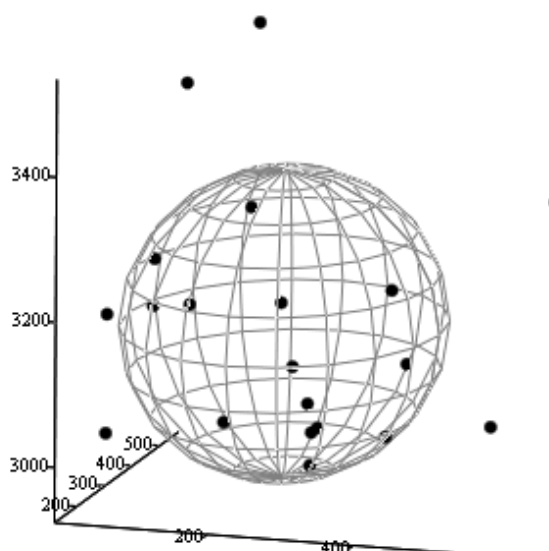


Рис. 4. аппроксимация облака точек сферой

Если возникают другие цели, то для них нужно определять свои свойства определения ПВС. С точки зрения системно-целевого подхода каждый из приведенных примеров представляет собой конструирование агрегата по элементарным данным (точкам). Если имеются физические или конструктивные предпосылки того, что облако может быть представлено в виде нескольких

частей, то эту работу нужно делать для каждой части. Полученные результаты являются основой для прогнозирования эволюции ПВС и оценки риска возникновения опасной ситуации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вовк, И. Г. Системный анализ и моделирование пространственно - временного состояния технических систем. [Текст] / И. Г. Вовк //Сб. матер. IV Междунар. научн. конгр. "Гео-Сибирь 2008" 22 - 24 апреля 2008 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2008. – Т.3.– Ч.2. – С. 132 - 135
2. Вовк, И. Г. Теория определения техногенного геодинамического риска пространственно-временного состояния технических систем. [Текст]/ И. Г. Вовк, Т. Ю. Бугакова// Сб. материалов V Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010», 19-29 апр. 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2010. – Т.1. – Ч.2. – С. 21- 24.
3. Лаптев, Г.Ф. Элементы векторного исчисления. [Текст] / Г.Ф. Лаптев // Москва, 1975. – 336 с.

© И.Г. Вовк, Т.Ю. Бугакова, 2012

МЕТОД СЕЙСМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Сергей Александрович Ефимов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, научный сотрудник лаборатории геофизической информатики, тел. (383)3307069, e-mail: serg@opg.sccc.ru

В статье рассмотрены теоретические предпосылки пассивного метода сейсмического исследования поверхности Земли. Сформулирована гипотеза о взаимосвязи параметров автокорреляционной характеристики сейсмического шума в точке исследования со структурой земной поверхности. Представлены результаты обработки экспериментальных данных, полученных в рамках сейсмического мониторинга района грязевого вулкана горы Карабетова.

Ключевые слова: пассивный метод сейсмического исследования, автокорреляционная характеристика сейсмического шума, структура земной поверхности.

METHOD OF SEISMIC RESEARCH OF A SURFACE OF THE GROUND

Sergei A. Efimov

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090 Russian Federation, the prospectus of Academician Lavrentjeva, 6, the scientific employee of laboratory of geophysical computer science, tel. (383)3307069, e-mail: serg@opg.sccc.ru

Theoretical preconditions of a passive method of seismic research of a surface of the ground are considered. The hypothesis about interrelation of parameters by the autocorrelation characteristic of seismic noise in a point of research with structure of a terrestrial surface is generated. Results of processing of the experimental data received within the framework of seismic monitoring of area of a mud volcano of mountain Karabetova are submitted.

Key word: passive method of seismic research, autocorrelation characteristic of seismic noise, structure of a terrestrial surface is generated.

В последние десятилетия методы эмиссионной томографии активно разрабатываются геофизиками как перспективные направления исследования структуры земной поверхности. При этом особое внимание исследователей привлекают методы пассивной томографии, т.е. те методы, в которых отсутствуют искусственные источники сейсмических волн. При этом отмечается, что техногенные источники сейсмического шума, являющиеся помехой при активной томографии, при использовании методов пассивной томографии приобретают позитивных фактор. В данной работе рассмотрена гипотеза о взаимосвязи параметров автокорреляционной характеристики сейсмического шума в точке исследования со структурой земной поверхности. Данная гипотеза вытекает из анализа технологии активного метода вибросейсмического зондирования (ВЗ), которая позволяет получить

«фотографию» земной коры в виде вибросейсмической сейсмограммы (виброграммы). План эксперимента вибросейсмической технологии включает в себя совокупность точек регистрации, линейно расположенных в пространстве, и точку излучения сейсмической волны. Традиционный способ выделения времени вступления волн связан с использованием корреляционного или согласованного фильтра [1]. В этом случае для формирования виброграммы $q(t)$ используется преобразование:

$$q(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau) \cdot y(t - \tau) d\tau; \quad (1)$$

Процедура свертки между $y(t)$ - сигнал в точке регистрации, и $s(t)$ - опорный сигнал, формирует волновой импульс, максимум огибающей которого соответствует моменту времени прихода сейсмической волны, а форма волнового импульса соответствует автокорреляционной функций (АФ) ЗС.

Вибрационная сейсмограмма $q(t)$ представляет собой сумму АФ излученного сигнала:

$$q(t) = \sum_i a_i \cdot W(t - \tau_i) + n^*(t), \quad (2)$$

где a_i – амплитуды волн; τ_i – времена прихода волн; $n^*(t)$ – измерительный шум.

После корреляционной обработки на виброграмме момент времени прихода волн соответствует максимуму огибающей волнового импульса. Форма волнового импульса соответствует форме автокорреляционной функций ЗС. На рис.1 приведен пример модельной виброграммы $q(t)$ для двух волн $v1$ и $v2$ при следующих параметрах частотно-модулированного ЗС: $T_0 = 3,0$ с; $T_s = 10,0$ с. (время записи в точке регистрации); $a_i = 1$; $\tau_1 = 3,0$ с; $\tau_2 = 4,2$ с; $n^*(t) = 0$; $\alpha = 6,283$; $\omega_0 = 11\pi$, $v0 = v1 + v2$. Размерность графика рис.1: ордината – амплитуда сигнала в относительных единицах; абсцисса – время, сек.

Таким образом, виброграмма по формуле (1) представляет собой свертку между сигналами: сигналом в точке регистрации и опорным сигналом в точке излучения. Опорным сигналом в точке излучения может быть математическая модель ЗС или реальная запись сейсмического сигнала в точке излучения. Нет сомнения, что для расстояний между источником и регистратором до 300 км будет сформирована виброграмма, соответствующая по качеству рис.1. Теперь в виртуальный план вибросейсмического эксперимента введем регистратор в точку излучения. Далее сформируем виброграмму между точкой излучения и новым регистратором. Очевидно, что данная виброграмма представляет собой свертку между одним и тем же сигналом: сигнал регистратора в точке излучения. Продолжим модификацию плана эксперимента. Не изменяя времени регистрации сейсмических сигналов, существенно уменьшим мощность излучения ЗС. Очевидно, что качество полученной виброграммы уже не будет таким контрастным как на рис. 1. Далее доводим мощность излучения ЗС до нуля, что по существу превращает план эксперимента из технологии активного

метода вибросейсмического зондирования в пассивный метод сейсмического исследования.

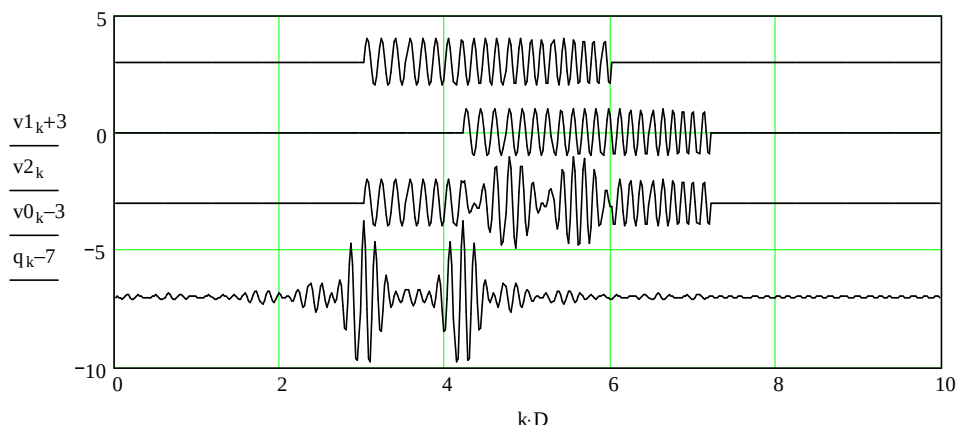


Рис. 1. Виброграмма для двух вибросейсмических волн с $\tau_1 = 3,0$ с, $\tau_2 = 4,2$ с

Полученная при этих условиях виброграмма будет соответствовать синтетической сейсмограмме, т.к. вибратор, как источник сейсмических волн, отсутствует. Тем не менее, исключая искусственный источник формирования сейсмических волн, в плане нашего эксперимента остаётся естественный источник сейсмических волн, который в обычных условиях не обладает такой мощностью формирования ЗС как искусственный. Что же может дать в этих условиях полученная синтетическая сейсмограмма, когда источником сейсмического зондирования является естественный сейсмический шум? Интуиция практикующего геофизика подсказывает, что для получения информативной синтетической сейсмограммы в условиях, определенных выше, надо увеличить время регистрации сигнала. А самым объективным показателем подтверждения гипотезы о взаимосвязи корреляционной характеристики сейсмического шума со строением поверхности Земли является эксперимент. Для исследования гипотезы о взаимосвязи параметров автокорреляционной характеристики сейсмического шума в точке исследования со структурой земной поверхности используем данные экспериментальных работ: полевые экспериментальные работы по вибросейсмическому просвечиванию и мониторингу грязевого вулкана гора Карabetова Таманской грязевулканической провинции. Организации участники: Кубанский Государственный Университет, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Московский физико-технический институт. Сроки проведения работ: 28 августа – 11 сентября 2008 г. Основная часть работ данного эксперимента проведена по методике активного мониторинга. Дополнительная часть экспериментов проведена по методике эмиссионной томографии с площадным расположением регистраторов на площади приблизительно $0,4 \times 0,3$ км непосредственно на вулкане и многочасовой регистрацией микросейсмического шума, генерируемого вулканической областью. Для регистрации микросейсмического

шума в районе вулкана была развернута площадная система наблюдений с использованием 36 регистраторов REFTEK. Регистраторы располагались в 4 параллельные линии на расстоянии 100 м друг от друга. Расстояние между датчиками в линиях 50 м. Таким образом, площадная система покрывала площадь 300 м на 400 м, образуя площадную сейсмическую антенну для сбора данных по методике эмиссионной томографии. Пассивный мониторинг в районе вулкана г. Карабетова системами REFTEK проводился 8 сентября в течение пяти часов. Записи со всех датчиков записывались в файлы длительностью каждый один час. Для ответа на поставленный в данной статье вопрос – что представляет собой автокорреляционная характеристика сейсмического шума в точке исследования структуры поверхности Земли – была проведена обработка результатов вышеуказанного эксперимента. На рис.2 представлен спектр сигнала, зарегистрированного на одном из датчиков площадной системы. Размерность графика рис. 2: ордината – амплитуда сигнала $\text{нм/с}/(\text{Гц})^{0,5}$; абсцисса – частота, Гц.

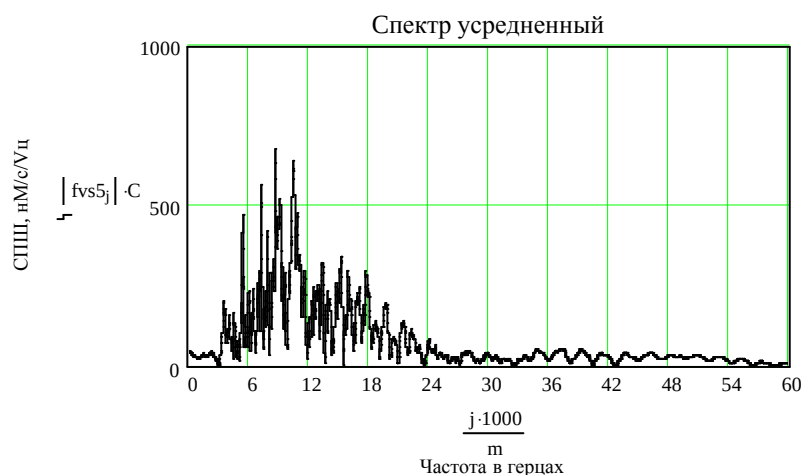


Рис. 2. Спектр сигнала датчика сейсмической антенны для сбора данных по методике эмиссионной томографии

На рис. 3 представлена автокорреляционная характеристика сигнала, зарегистрированного на одном из датчиков площадной системы. Размерность графика рис. 3: ордината – амплитуда сигнала в относительных единицах; абсцисса – время, сек.

Анализ рис.3 показывает, что объективные признаки отраженных волн соответствуют временам 0,5 с, 1,2 с, 1,7 с, 2,2 с, 2,8 с, 3,4 с, 3,7 с. Если принять в качестве экспертной оценки величину скорости поверхностных сейсмических волн 5 км/с, то глубина отражающих слоев будет равна соответственно 2,5 км, 6,0 км, 8,5 км, 11,0 км, 14 км, 17 км, 18,5 км. Таким образом, представленный на рис.3 график указывает на семь отражающих границ земной поверхности. Структура объекта исследования - вулкана «Гора Карабетова» - представлена на рис.4. Вертикальный размер рисунка соответствует 10 км [3]. Данный рисунок показывает слоистую структуру вулкана и качественное соответствие

полученной количественной оценки размеров слоев исследуемого вулкана по данным источника [3].

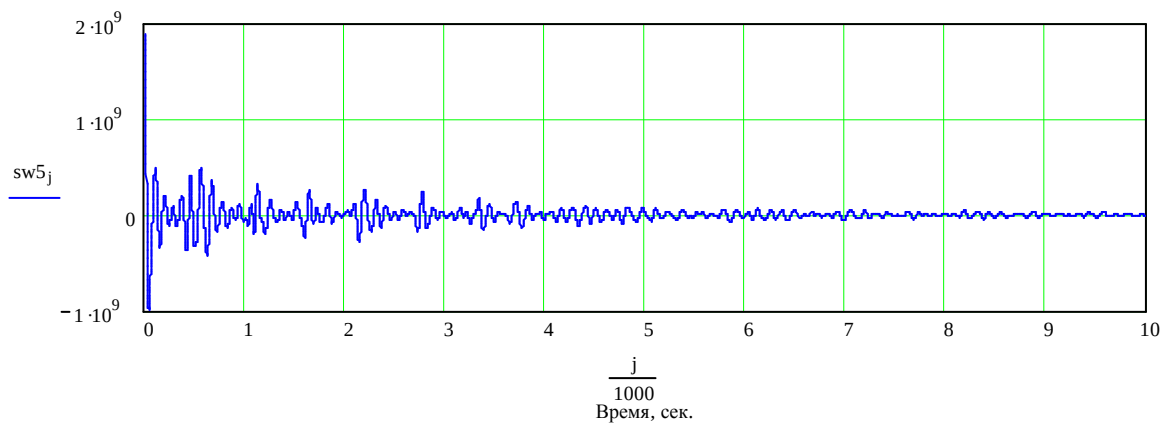


Рис. 3. Автокорреляционная характеристика сигнала, зарегистрированного на одном из датчиков площадной системы

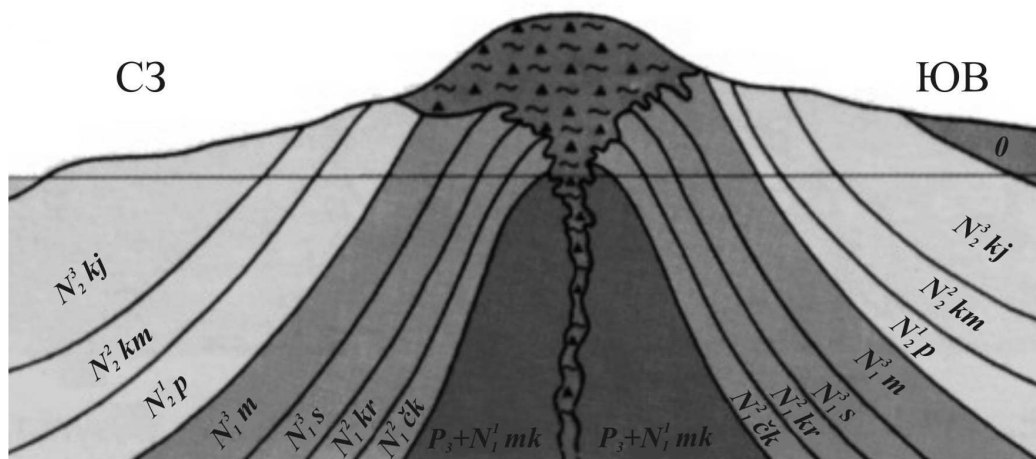


Рис. 4. Геологический разрез вулкана «Гора Карabetова»

Выводы. Сопоставление геологического разреза вулкана горы Карabetова (рис.4) с полученными результатами обработки экспериментальных данных – автокорреляционная характеристика сейсмического шума на рис.3 – показывает хорошее совпадение геометрической структуры вулкана с экспериментальными данными, полученных методом пассивной сейсмологии.

Автор выражает благодарность всем участникам экспериментальных работ, усилия которых предоставили возможность исследования особенностей сейсмического поля и строения геологических структур в районе горы Карabetова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов, В.И. Оптимальный прием сигналов / М.: Радио и связь, 1983.- 320 с.
2. Шнеерсон, М.Б., Майоров В.В. Наземная сейсморазведка с невзрывными источниками колебаний / М., Недра, 1980. - 205 с.
3. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков В.А. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона // – Краснодар: ГлавМедиа, 2006 .– С. 176

© С.А. Ефимов, 2012

ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНО-ИОНОСФЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗА И ДИАГНОСТИКИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ

Анастасия Юрьевна Белинская

Геофизическая обсерватория "Ключи" АСФ ГС СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, научный сотрудник лаборатории солнечно-земной физики, тел. (383)-330-24-86, e-mail: anbell@ngs.ru

Сергей Юрьевич Хомутов

Геофизическая обсерватория "Ключи" АСФ ГС СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 3, старший научный сотрудник лаборатории солнечно-земной физики, тел. (383)-330-24-86, e-mail: Khomutov@gs.nsc.ru

В статье приведен обзор отклика ионосферы и магнитосферы на природные и техногенные экстремальные события. Предложен вариант применения магнитно-ионосферных наблюдений в задачах прогноза и диагностики природных и техногенных экстремальных событий.

Ключевые слова: ионосфера, магнитосфера, природные и техногенные экстремальные события.

THE POSSIBLE OF MAGNETIC-IONOSPHERIC OBSERVATIONS IN PROBLEMS OF PREDICTION AND DIAGNOSIS OF NATURE AND ANTHROPOGENIC EXTREMAL EVENTS

Anastasiya Yu. Belinskaya

Geophysical Observatory "Klyuchi" ASB GS SB RAS, 630090, Novosibirsk, pr.ac. Koptuyuga, 3, Researcher at the lab "Solar-Terrestrial Physics", tel. (383) -330-24-86, e-mail: anbell@ngs.ru

Sergey Y. Khomutov

Geophysical Observatory "Klyuchi" ASB GS SB RAS, 630090, Novosibirsk, pr.ac. Koptuyuga, 3, Senior Research at the lab "Solar-Terrestrial Physics", tel. (383) -330-24-86, e-mail: Khomutov@gs.nsc.ru

In this paper an overview of the ionosphere and magnetosphere response to natural and anthropogenic extremes is shown. The authors proposed a version of the organization of magneto-ionospheric observations in problems of prediction and diagnosis of natural and anthropogenic extremes.

Key word: ionosphere, magnetosphere, natural and anthropogenic extreme event.

В настоящее время наблюдается увеличение негативных последствий от воздействия на социальные и технические структуры общества различных природных и техногенных экстремальных событий. Из-за роста населения Земли и перераспределения его плотности (города, мегаполисы), растущей технической и информационной оснащенности (бытовая техника, транспорт, энергосистемы, Интернет и т.п.), переноса деятельности в ранее

малоиспользуемые геосферы (околоземное пространство, верхние слои атмосферы, малодоступные районы суши и др.) возрастает ущерб как от давно известных природных катаклизмов – землетрясений, цунами, ураганов, так и от "новых" экстремальных явлений – магнитных бурь, ионосферных возмущений, солнечных вспышек и т.п.

Ионосфера является источником помех для наземной КВ-связи, связи с космическими аппаратами, GPS-навигации, загоризонтной локации, спутниковой альтиметрии и др. Особенно актуально это становится в полярных областях во время возмущений. Так, 15-19 января 2005 г. после пяти сильных солнечных рентгеновских вспышек произошла полная блокировка связи, и были отменены все полеты по трассе Чикаго-Гонконг через полярные районы [1]. Известны случаи задержки посадки самолетов из-за подобных причин [2].

Возмущения ионосферных и магнитосферных токовых систем во время солнечных вспышек приводят к сильным вариациям магнитного поля на поверхности Земли – магнитным бурям. Эти вариации создают наведенные токи с наибольшим эффектом в хорошо проводящих протяженных объектах, например, в линиях электропередач, трубопроводах, кабелях связи [3; 4]. Наиболее показательный пример такого рода явлений – отказ энергосистемы провинции Квебек (Канада) из-за перегрузки трансформаторных подстанций во время магнитной бури в марте 1989 г., что привело к обесточиванию обширного региона. Оценки возникающей разности потенциала дают до 10 В на 1-2 км и при протяженных линиях – до тысяч Вольт. В длинных трубопроводах при магнитных бурях возникают условия, способствующие повышенной коррозии. Увеличение сбоев в системах управления стрелками и контроля Восточно-Сибирской железной дороги во время магнитных бурь отмечено в работе [5].

Большой эффект оказывают также космические (фоновые) и солнечные (при вспышках) космические лучи (релятивистские частицы высоких энергий) – как повышение радиации на высотах орбит КА и полетов самолетов, что может приводить к сбоям в бортовых системах управления, в особенности при использовании слабо защищенной электроники, и облучению людей [6]. Ещё одна сторона вопроса – прямое воздействие гелиогеофизических факторов на организм человека. Ситуация здесь далека от решения, однако доказательства такого воздействия имеются (см., например, обзор в [7]). Графически рассмотренные выше эффекты представлены на рис.1 (левая панель).

Другой аспект проблемы – это проявление в магнитном поле или в ионосфере катастрофических природных событий или процессов на стадии их подготовки. Наиболее актуальными здесь являются результаты, относящиеся к сейсмической активности, которая сопровождается рядом эффектов на поверхности, включая электромагнитные излучения на разных частотах, вариации магнитного и электрического полей, акустические колебания, эмиссия радона [8-10] и в верхних оболочках Земли (см. рис.1, правая панель). Кроме того, в ионосфере и магнитном поле могут находить отражение и техногенные события, например, мощные взрывы, запуски космических аппаратов, специальные эксперименты, например, HAARP.

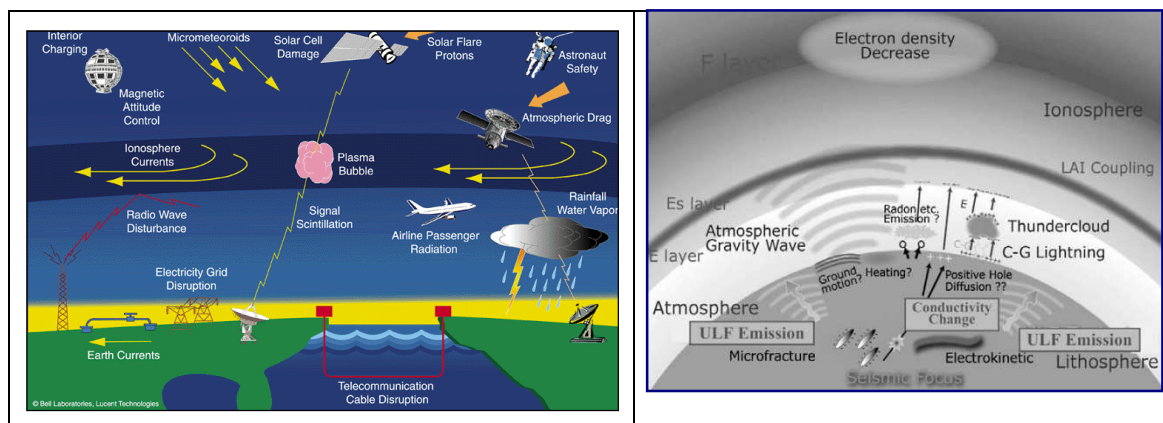


Рис. 1. Влияние возмущений в системе "околоземное пространство-ионосфера-магнитосфера" на технологические системы (слева, взято из L.J. Lanzerotti, Space weather effects on technologies, in Space Weather, P. Song, H.J. Singer, and G.L. Siscoe, eds., Geophysical Monograph 125, 11-22) и разные модели УНЧ-аномалий, связанных с большими землетрясениями (справа, взято из K. Yumoto et al. A new ULF wave analysis for Seismo-Electromagnetics using CPMN/MAGDAS data // Physics and Chemistry of the Earth, 2009, 34, 360–366)

Мониторинг ионосферы

В настоящее время распространены следующие экспериментальные методы изучения сейсмо-ионосферных эффектов:

1. Наземные измерения с помощью ионозондов (вертикальное и наклонное зондирование) [11-14];
2. Измерение характеристик радиосигналов низкочастотных диапазонов, распространяющихся над сейсмоактивной областью [15; 16];
3. Измерение полного электронного содержания, чаще всего с помощью GPS-технологий [17; 18];
4. Измерение электромагнитной эмиссии в различных частотных диапазонах с помощью датчиков, установленных на ИСЗ [19].

Основные методики базируются на следующих принципах: анализ отклонений величин критической частоты слоя F от медианных значений, выявление появления аномальных спорадических слоев и отслеживание резких перепадов высот ионосферных слоев.

На Геофизической обсерватории "Ключи" (Новосибирск) для исследования возможного эффекта сейсмоактивности в ионосфере нами был выбран период с 2000 по 2009 гг. Рассматривались 74 землетрясения (ЗТ) с магнитудой $M \geq 3.5$ и удаленностью эпицентра от обсерватории не более 1000 км [20]. Самое близкое ЗТ было на расстоянии 183 км (15.09.2003 с магнитудой 4), самое сильное (27.09.2003 на расстоянии 641 км и магнитудой 7.3). Большая часть ЗТ имела магнитуду ближе к 4.6.

Для анализа использовались различные методики.

Так по методике [13] было получено, что за 2 дня до землетрясения наблюдается более низкий и "толстый" слой, а за сутки высокий и тонкий

(рис.2а). Это не совпадает с тем, что было получено группой Е.В.Липеровской [13]. Но хорошо согласуется с результатами С.А.Пуленца [12] и китайских исследователей [14].

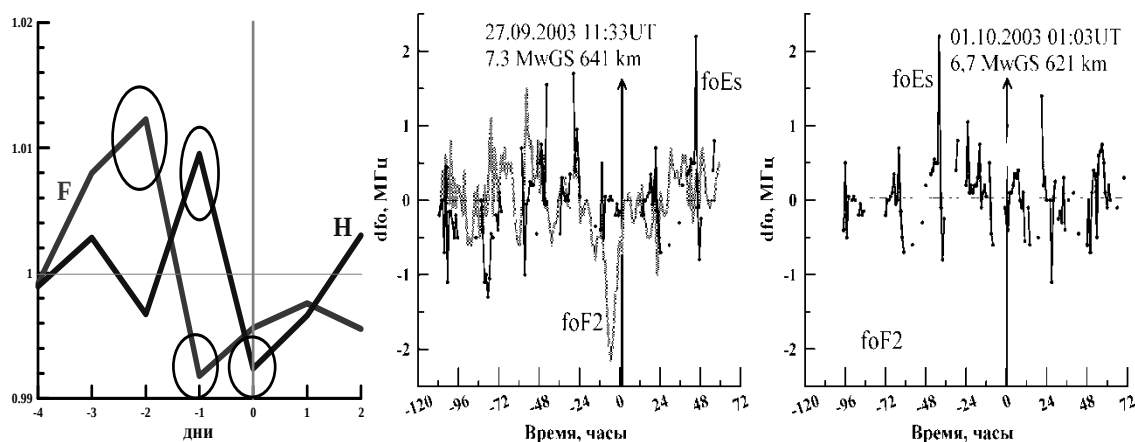


Рис. 2. а) Метод наложенных эпох для всех случаев землетрясений, F – критическая частота и H – высота слоя F2. б) Отклонения ежечасных значений критических частот слоев F2 и Es от скользящих медианных значений за 4 сут. до землетрясения и 2 сут. после

Для всех отобранных ЗТ вычислялись отклонения ежечасных значений критических частот слоев F2 и Es от скользящих медианных значений за 4 сут. до землетрясения и 2 сут. после. Оценивались время и величина этих отклонений относительно момента землетрясения (рис.2б). К сожалению, четких вариаций, о которых шла речь в работах С.А.Пуленца [12] связанных с местным временем, мы не наблюдаем, хотя для основного толчка видны некие похожие вариации.

Для всех ЗТ были подсчитано количество положительных, отрицательных и нулевых отклонений ежечасных значений критических частот слоев F2 и Es от скользящих медианных значений. Выделили ночное время 03 LT и дневное 13 LT. Для дневных наблюдений за 4 сут. до ЗТ появляются в 2 раза чаще положительные отклонения, а за 1 сут. в 2 раза чаще - отриц. отклонения для спорадического слоя.

Учитывая все сказанное выше, можно отметить, что ионосферные предвестники землетрясения вряд ли позволят определить положение будущего эпицентра землетрясения, но они могут помочь ответить на вопрос "когда произойдет землетрясение?" и поэтому должны войти в комплексную программу прогноза землетрясений. Ионосферные предвестники землетрясений проявляются в виде специфических вариаций параметров ионосферы, которые можно регистрировать наземными методами наблюдений. Мониторинг ионосферы в период японского ЗТ 2011 года показал, что за несколько дней до толчка наблюдалось увеличение ПЭС в области эпицентра. Цунами, развившееся после основного толчка, так же отслеживалось в ионосферных данных [21].

Примером техногенного воздействия на ионосферу могут быть эффекты во время запусков космических аппаратов. Механизм воздействия работающих двигателей ракет-носителей (РН) на околоземное пространство (ОКП) условно делят на три группы:

1. Засорение ОКП, например, облака мелкодисперсных обломков и конденсата;
2. Химическая модификация атмосферы продуктами сгорания топлива ракет. При этом наблюдают значительное падение электронной концентрации N_e в F-области (когда ракета входит на высоты 200-400 км). Называют это явление "ионосферная дыра", и оно имеет размеры в десятки и сотни километров и время жизни от десятков минут до нескольких часов.;
3. Волновая модификация окружающей среды: генерация факелом ракеты волн в нейтральном газе; возбуждение неустойчивостей и волн в плазме; генерация ударно-акустической волны (УАВ).

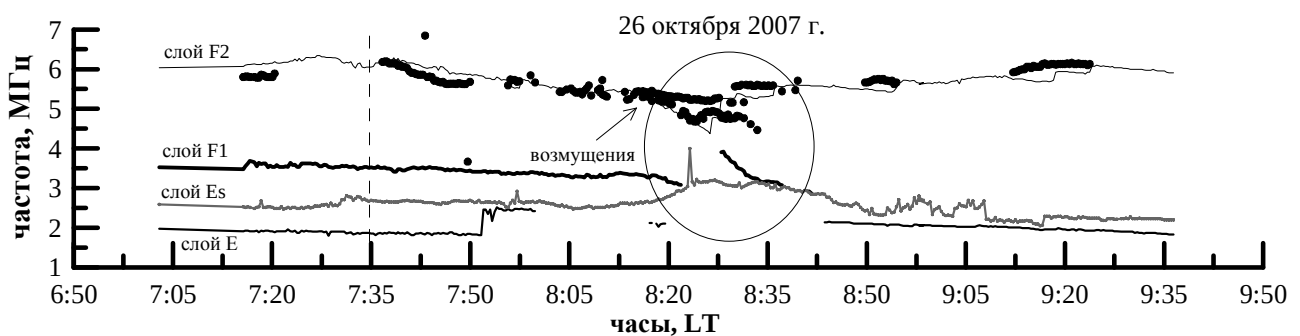


Рис. 3. Наблюдения во время запуска блока КА «Глонавс-М» (ракета-носитель: Протон-К с РБ) с космодрома Байконур 26 октября 2007 г. Сплошные линии – критические частоты ионосферных слоев, точки – частоты появления ионосферного возмущения, пунктирная линия – момент старта ракеты-носителя

Воздействие первого фактора на ионосферу традиционными радиофизическими методами не обнаруживается. Однако при запусках космических аппаратов они позволяют регистрировать и изучать крупномасштабные эффекты, такие, например, как "ионосферная дыра", а также в ряде случаев уверенно детектировать перемещающиеся ионосферные возмущения, генерируемые УАВ (рис.3).

В целом, экспериментальные данные показывают, что после запуска РН в течение примерно одного часа происходит частичная перестройка структуры ионосферы, которая проявляется в возникновении волновых возмущений ионосферы различного масштаба [22].

Высокая эффективность выделения влияния природных и техногенных экстремальных событий на ионосферу может быть достигнута при относительно редкой сети наземных ионосферных станций, дополненной более плотной сетью пунктов GPS-наблюдений. Для Алтае-Саянского региона актуальными могут быть скоординированные магнитно-ионосферные наблюдения на станциях Томск (ТГУ), Новосибирск (АСФ ГС СО РАН) и

Горно-Алтайск (ГАГУ), которая в настоящее время отсутствует, но она нужна для решения данной проблемы. Кроме того, в работу могут быть вовлечены ионосферные станции в Алма-Ате (Институт ионосферы, Казахстан) и в Урумчи (Институт распространения радиоволн, Китай).

Для Новосибирска необходима модернизация аппаратуры (установка ионозонда нового поколения), поскольку наблюдения по программе сейсмо-ионосферных эффектов требует более интенсивного режима зондирования, чем возможен на имеющемся ионозонде. Организация ионосферной станции на Горном Алтае потребует приобретение ионозонда и монтаж антенны, а также обучение персонала. Для реализации проекта необходимо разработать программное обеспечение методик для выявления ионосферных предвестников землетрясений.

Мониторинг магнитного поля

В последние десятилетия появилось множество экспериментальных и теоретических работ, в которых показывается, что на стадии подготовки землетрясения (от нескольких часов до месяца), а также при его реализации, наблюдается аномальное поведение магнитного поля. Аномалии отмечаются в различных характеристиках:

1. В квазистационарном поле, когда сравнивают медленные вариации магнитного поля (обычно – модуль F) в двух разнесенных пунктах, один из которых находится в сейсмогенерирующей области, а другой достаточно удален от нее [23];

2. В вариациях ультранизкочастотного диапазона (УНЧ) на частотах 0.001-10 Гц, различные амплитудные характеристики, прежде всего, поляризационные отношения горизонтальной dH и вертикальной dZ составляющих этих вариаций [24].

В первом случае причиной аномальных изменений магнитного поля на стадии подготовки землетрясения рассматриваются пьезомагнитные эффекты, во втором – процессы при образовании микроразрывов, электрокинетические явления или вариации индуцированных полей при изменении электропроводности среды. УНЧ-диапазон принимается как наиболее эффективный, поскольку ожидаемая глубина скин-слоя для таких частот близка к глубинам гипоцентров рассматриваемых землетрясений. Основные проблемы при использовании магнитных сигналов как предвестников [25]:

1. Сильная зависимость от расстояния между источником и приемником и от мощности сейсмического события. Фактически все сигналы, о которых сообщается в литературе, были зарегистрированы при измерениях на расстояниях от единиц до первых десятков км от эпицентра;

2. Крайне высокая степень "загрязнения" магнитных измерений сигналами, которые имеют несейсмические причины, в т.ч. Ионосферно-магнитосферного происхождения и техногенные помехи, и амплитуды на порядки больше, чем ожидаемые для сейсмамагнитных сигналов;

3. Небольшая статистика, поскольку необходимо иметь соответствующую аппаратуру в зоне подготовки редко происходящих сильных землетрясений;
4. Отсутствие разработанного теоретического обоснования.

Поскольку Геофизическая обсерватория "Ключи" расположена примерно в 600 км от сейсмоактивной области (Горный Алтай), не ожидается, что сейсмомагнитные эффекты могут быть выделены в магнитных данных. Однако в настоящее время в регионе формируется сеть магнитных станций, оснащенных цифровой аппаратурой и которая включает уже действующие станции – обсерваторию "Ключи" и станцию "Акташ" (ИНГГ СО РАН), а также вновь созданные станции "Байгазан" на Телецком озере (2009 г., ГАГУ, Горно-Алтайск, [26]) и "Курчатов" (2012 г., ИГИ НЯЦ, Республика Казахстан). Совместные координированные измерения поля, дополненные данными ближайших магнитных обсерваторий "Алма-Ата" и "Арти" (Свердловская обл.) могут составить экспериментальную основу для изучения проявлений сейсмичности Алтая в магнитном поле. Эффективность исследований может быть повышена, если организовать в регионе сеть сгущения, оснастив ее протонными магнитометрами POS-1 (УГТУ-УПИ, г. Екатеринбург). Предлагаемая региональная сеть магнитных станций будет также кооперирована с ионосферными станциями, обеспечивая регистрацию наземного отклика в магнитном поле, возникающего при возмущении токовых систем в ионосфере, в том числе и связанных с сейсмической активностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Severe Space Weather Events—Understanding Societal and Economic Impacts Workshop Report // Committee on the Societal and Economic Impacts of Severe Space Weather Events: A Workshop, National Research Council, 2008, 131 p.
2. Гальперин Ю.И., Дмитриев А.В., Зеленый Л.М., Панасюк М.И. Влияние космической погоды на безопасность авиа и космических полетов // www.kosmofizika.ru/pdf/sp_wtr.pdf, 2005.
3. Beamish D., Clark T.D.G., Clarke E., Thomson A.W.P. Geomagnetically induced currents in the UK: geomagnetic variations and surface electric fields. *J. Atmos. and Solar-Terr. Physics*, 2002, 64 (16). 1779-1792.
4. Водяников В.В., Гордиенко Г.И., Нечаев С.А., Соколова О.И., Хомутов С.Ю., Яковец А.Ф. Наведенные токи в линиях электропередач по данным геомагнитных вариаций // Геомагнетизм и аэрономия. – 2006. – Т.46, №6. – С.853-859
5. Птицына Н.Г., Тясто М.И., Касинский В.В., Ляхов Н.Н. Влияние космической погоды на технические системы: сбои железнодорожной телеметрии во время геомагнитных бурь // Солнечно-земная физика, 2008, вып.12, Т.2, с.360.
6. Koskinen H., Tnaskanen E., Pirjola R. et al. Space weather effects catalogue // ESA Space Weather Study (ESWS) Report, 2001, 40 p.
7. Куликов В.Ю., Воронин А.Ю., Гайдуль К.В., Колмаков В.М. Биотропные свойства ослабленного геомагнитного поля. Под. ред. Шкурупия В.А. – Новосибирск: ООО "Редакционно-издательский центр", 2005. – 140 с.
8. Сорокин В.М., Чмырев В.М. Электродинамическая модель ионосферных предвестников землетрясений и некоторых видов катастроф. // Геомагнетизм и аэрономия. – 2002. - Т.42, № 6. - С.821-830.

9. Липеровский В.А., Похотелов О.А., Мейстер К.-В., Липеровская Е.В. Физические модели связей в системе литосфера–атмосфера–ионосфера перед землетрясениями // Геомагнетизм и аэрономия. - 2008. - Т. 48. - С. 831–843.
10. Намгаладзе А.А., Клименко М.В., Клименко В.В., Захаренкова И.Е. Физический механизм и численное моделирование ионосферных предвестников землетрясений, наблюдаемых в полном электронном содержании электронов//Геомагнетизм и аэрономия. Т. 49. № 2. С. 267-277. 2009.
11. Сергеева Н.Г., Оглоблина О.Ф., Черняков С.М. Сильные землетрясения и их влияние на полярную нижнюю ионосферу. // Вестник МГТУ. – 2009. - Т.12, №2. - С.328-337.
12. Пулинец С.А., Легенька А.Д., Зеленова Т.И. Зависимость сейсмо-ионосферных вариаций в максимуме слоя F от местного времени. //Геомагнетизм и аэрономия. 1998, т.38, с.178-183.
13. Liperovskaya E. V., Parrot M., Bogdanov V. V., Meister C.-V. et al On variations of f oF2 and F-spread before strong earthquakes in Japan // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2006 – 6. – P.735–739.
14. Xu T., Wu J., Zhao Z. et al. Monitoring ionospheric variations before earthquakes using the vertical and oblique sounding network over China // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. - 2011 - 11, P.1083–1089.
15. Gokhberg M.B., Gufeld I.L., Rozhnoy A.A. et al. Study of seismic influence on the ionosphere by super long-wave probing of the Earth –ionosphere wave–guide // Phys. Earth and Planet. Inter. 1989. V. 57, № 1-2. P. 64-67.
16. Михайлов Ю. М., Михайлова А. Г., Капустина О. В. КНЧ и ОНЧ-электромагнитный фон во внешней ионосфере над сейсмоактивными районами // Геомагнетизм и аэрономия. 1997. Т. 37, № 4. С. 78 – 85.
17. Бондур В.Г., Смирнов В.М. Метод мониторинга сейсмоопасных территорий по ионосферным вариациям, регистрируемым спутниковыми навигационными системами // ДАН. Т. 402. № 5. С. 675-679. 2005.
18. Afraimovich E.L., Astafyeva E.I. TEC anomalies -Local TEC changes prior to earthquakes or TEC response to solar and geomagnetic activity changes? // Earth Planets Space. V. 60. P. 961-966. 2008.
19. Здоров А.Г., Моргунов В.А., Степанов М.В. Электромагнитные предвестники и прогноз землетрясений (M = 3-4) на Кавминводском полигоне // Физика Земли. 2004. № 12. С. 48-57.
20. А.Ю. Белинская, С.Ю. Хомутов, О.М. Грехов Сейсмические эффекты в ионосфере по результатам мониторинга F-слоя над Новосибирском // ГЕО-Сибирь-2011. Т.4. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология: сб. матер. VII Междунар. Научн. Конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19-29 апреля 2011 г., Новосибирск. –Новосибирск: СГГА, 2011. – стр. 213-216.
21. Куницын В.Е., Нестеров И.А., Шалимов С.Л. Мегаземлетрясение в Японии 11 марта 2011 г.: регистрация ионосферных возмущений по данным GPS Письма в "Журнал экспериментальной и теоретической физики". 2011. Т. 94. № 8. С. 657-661.
22. Белинская А.Ю., Хомутов С.Ю. Возмущения ионосферы над Новосибирском, вызванные пусками ракет-носителей с космодрома Байконур // ГЕО-Сибирь-2009. Т.4. Дистанционные методы зондирования Земли: Сб. матер. V Междунар. научн. конгресса "Гео-Сибирь-2009", 20-24 апреля 2009 г., г.Новосибирск. – Новосибирск, 2009. – с.160-164.
23. M.J.S.Johnston, Y.Sasai, G.D.Egbert, R.J.Mueller Seismomagnetic Effects from the Long-Awaited 28 September 2004 M 6.0 Parkfield Earthquake // Bulletin of the Seismological Society of America, 2006, Vol. 96, No. 4B, pp. 206–220.
24. M.A.Fenoglio, A.C.Fraser-Smith, G.C.Beroza, M.J.S.Johnston Comparison of ultra-low frequency electromagnetic signals with aftershock activity during the 1989 Loma Prieta earthquake sequence // Bulletin of the Seismological Society of America, 1993, Vol. 83, No. 2, pp. 347-357.

25. Villante U., De Lauretis M., De Paulis C., Francia P., Piancatelli A., Pietropaolo E., Vellante M., Meloni A., Palangio P., Schwingenschuh K., Prattes G., Magnes W., Nenovski P. The 6 April 2009 earthquake at L'Aquila: a preliminary analysis of magnetic field measurements // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2010, 10, 203–214.

26. Гвоздарев А.Ю., Бакиянов А.И., Бетёв А.А., Учайкин Е.О., Бородин П.Б., Хомутов С.Ю. Организация непрерывной регистрации магнитных вариаций на станции Байгазан (Телецкое озеро) // Научный вестник Республики Алтай, 2010, №4, с. 31-42.

© А.Ю. Белинская, С.Ю. Хомутов, 2012

МОНИТОРИНГ ВАРИАЦИЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ В ПОГРАНИЧНОЙ ЗОНЕ КОНТИНЕНТ – ОКЕАН АБСОЛЮТНЫМ ЛАЗЕРНЫМ БАЛЛИСТИЧЕСКИМ ГРАВИМЕТРОМ

Игорь Сергеевич Сизиков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 1, инженер-конструктор, тел. (383) 333-25-96, e-mail: sizikov.i.s@gmail.com

Илья Александрович Бунин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 1, аспирант, тел. (383)333-25-96, e-mail: sgad@inbox.ru

Евгений Николаевич Калиш

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 1, старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, тел. (383)333-25-96, e-mail: kalish@iae.nsk.su

Дмитрий Алексеевич Носов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 1, инженер-программист, тел. (383) 333-25-96, e-mail: danossov@ngs.ru

Павел Викторович Сероглазов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 1, инженер-конструктор, тел. (383) 333-25-96, e-mail: flameeffect.nsk@gmail.com

Михаил Георгиевич Смирнов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 1, ведущий инженер-конструктор, тел. (383) 333-25-96, e-mail: smirnov.m.g@iae.nsk.su

Юрий Фёдорович Стусь

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 1, старший научный сотрудник, кандидат технических наук, тел. (383)333-25-96, e-mail: stus@iae.nsk.su

Представлено описание модернизированного интерферометра абсолютного лазерного баллистического гравиметра ГАБЛ-Э, разработанного в Институте автоматики и электрометрии СО РАН. В качестве источника света в интерферометре применен оптический стандарт с длиной волны излучения $\lambda=532$ нм, состоящий из Nd:YAG-лазера и системы стабилизации частоты. Инструментальная среднеквадратическая погрешность измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести гравиметром не превышает $\pm 5 \cdot 10^{-8}$ м/с²

(5 мкГал). Приведены результаты мониторинга периодических и нерегулярных вариаций силы тяжести в пограничной зоне континент-океан.

Ключевые слова: абсолютный лазерный баллистический гравиметр, мониторинг вариаций силы тяжести, пограничная зона континент-океан.

MONITORING OF VARIATIONS OF THE GRAVITATIONAL FIELD IN CONTINENT-OCEAN BORDER ZONE BY THE ABSOLUTE LASER BALLISTIC GRAVIMETER

Igor S. Sizikov

Institute of Automation and Electrometry of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior engineer, tel. (383) 333-25-96, e-mail: sizikov.i.s@gmail.com

Iliya A. Bunin

Institute of Automation and Electrometry of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, graduate student, tel. (383) 333-25-96, e-mail: sgad@inbox.ru

Eugenii N. Kalish

Institute of Automation and Electrometry of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior scientific worker, Dr., tel. (383) 333-25-96, e-mail: kalish@iae.nsk.su

Dmitrii A. Nosov

Institute of Automation and Electrometry of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior engineer, tel. (383) 333-25-96, e-mail: danossov@ngs.ru

Pavel V. Seroglazov

Institute of Automation and Electrometry of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior engineer, tel. (383) 333-25-96, e-mail: flameeffect.nsk@gmail.com

Michail G. Smirnov

Institute of Automation and Electrometry of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior engineer, тел. (383) 333-25-96, e-mail: smirnov.m.g@iae.nsk.su

Yurii F. Stus

Institute of Automation and Electrometry of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS), Akademika Koptyuga Prsp., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, senior scientific worker, Ph.D., тел. (383) 333-25-96, e-mail: stus@iae.nsk.su

The description of the modernized interferometer of the absolute laser ballistic gravimeter GABL-E developed in Institute of Automation and Electrometry SB RAS is presented. The optical standard with wave length of radiation $\lambda=532$ nm consisting of Nd:YAG-laser and system of frequency stabilization is applied as a light source in the interferometer. The instrumental mean square error of absolute gravity value measurement is not more than $\pm 5 \cdot 10^{-8}$ m/s² (5 μ Gal). The results of monitoring of periodic and irregular gravity variations in continent-ocean border zone are presented.

Key word: absolute laser ballistic gravimeter, monitoring variations of gravity, continent-ocean border zone.

Введение. В настоящее время для измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести g наиболее точным и перспективным является баллистический метод. При этом значение g определяется по результатам измерения пути и времени свободного падения пробного тела в вакуумированной камере. В схеме этих измерений используется лазерный интерферометр, т.е. мерой пути служит длина волны лазера, стабилизированного по атомному реперу в спектре его излучения. Мерой интервалов времени являются сигналы прецизионного (например, рубидиевого) стандарта частоты. Для реализации высокой точности определения g порядка нескольких единиц мкГал необходимо производить измерения интервалов пути, проходимых свободно падающим телом, как минимум, с точностью до нанометров, а измерение соответствующих интервалов времени с точностью до десятых долей наносекунды.

Стационарные баллистические гравиметры (GABL-E, FG-5, IMGC), как показали регулярные Международные сверки абсолютных гравиметров (ICAG), проводимые раз в четыре года в Международном бюро весов и мер (BIPM, Севр, Франция), отлично зарекомендовали себя при работе в лабораторных условиях [1,2].

В Институте автоматики и электрометрии СО РАН проведена модернизация интерферометра абсолютного лазерного баллистического гравиметра ГАБЛ-Э, который предназначен для работы на стационарных пунктах и отличается высокой надежностью и простотой эксплуатации при условии сохранения высоких метрологических характеристик. Это достигается использованием оптического стандарта длины с относительной стабильностью и воспроизводимостью частоты излучения не хуже $2 \cdot 10^{-10}$ и коммерческого рубидиевого стандарта типа AR-40A, имеющего стабильность и воспроизводимостью частоты до $5 \cdot 10^{-10}$.

Модернизированный интерферометр. В отличие от традиционно используемых в гравиметрах гелий-неоновых лазеров, в интерферометре гравиметра используется новый оптический стандарт длины Nd:YAG/I₂, спроектированный и изготовленный Институтом лазерной физики СО РАН [3].

Новый оптический стандарт состоит из Nd:YAG лазера и системы стабилизации частоты лазера по резонансам насыщенного поглощения в молекулярном йоде и обладает следующими важными достоинствами:

а) Стандарт не нуждается в периодической поверке, как поляризационно-стабилизированные лазеры типа AL-1 или RB1;

б) Стандарте Nd:YAG/I₂ нет модуляции выходного излучения, как в стабилизированных по йоду лазерах типа WEO Model 100 или NIKKON, которая вносит дополнительную погрешность в определение гравитационного ускорения g ;

в) Выходная мощность Nd:YAG/I₂ во внешнюю оптическую схему ≥ 5 мВт, что в 5-10 раз превышает мощность лазеров, используемых в других

баллистических гравиметрах. Это позволяет существенно улучшить соотношение сигнал/шум выходного сигнала. Большая выходная мощность позволяет также использовать оптический кабель для ввода лазерного излучения в интерферометр.

Оптическая схема модернизированного интерферометра Майкельсона приведена на рис. 1. В отличие от интерферометра старой конструкции все юстировки в нем осуществляются с помощью видеокамер. Излучение стандарта вводится в интерферометр с помощью одномодового оптического волоконного кабеля с сохранением поляризации. Фотоприемник выходного сигнала интерферометра (лавинный фотодиод) в новом варианте системы вынесен из интерферометра и конструктивно располагается в блоке контроллера гравиметра.

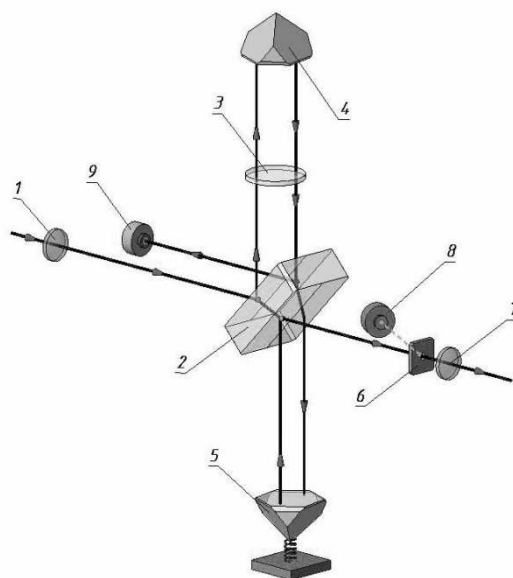


Рис. 1. Оптическая схема интерферометра:

1 - входной коллиматор; 2 - лучеделитель; 3 - окно; 4, 5 - уголкового отражатели; 6 - диафрагма; 7 - выходной коллиматор; 8 - веб-камера; 9 - скоростная видеокамера

Выходной сигнал интерферометра подается на фотоприемник с помощью многомодового оптического волоконного кабеля. Волоконные кабели снабжены оптическими разъемами, что обеспечивает удобство при транспортировке и способствует минимизации времени запуска всей системы на новом месте измерения. В предыдущих модификациях гравиметров операция выставления вертикали по жидкому зеркалу сводилась к выравниванию на сетке телескопа пучков по яркости. В модернизированном интерферометре используется способ выставления вертикали по контролю смещения следа измерительного луча в плоскости ПЗС - матрицы высокоскоростной видеокамеры в процессе падения пробного тела.

Получаемое изображение передается в компьютер через USB-порт. Далее, используя соответствующие программы, можно проводить контроль соответствия вертикальности лазерного луча с направлением движения падающего тела. Для полуавтоматического выставления вертикали используются промышленные актуаторы, представляющие собой шаговый двигатель с передачей винт-гайка и направляющими, находящимися внутри корпуса. Ошибка выставления вертикали составляет не более 7 угловых секунд. При этом относительная погрешность определения g не превышает $7 \cdot 10^{-10}$. Реализованная версия оптической системы с линейным расположением лучей относительно измерительного и референтного плеч интерферометра позволяет существенно снизить погрешности, обусловленные горизонтальной составляющей вибросейсмических помех.

Подробное описание баллистического блока, электронно-вычислительной системы гравиметра, виброзащитной системы и программного обеспечения содержится в работах [4, 5]. Управление всеми узлами гравиметра и требуемые вычислительные процедуры осуществляются с помощью портативного компьютера типа ноутбук. Установлено, что гравиметр сохраняет свои технические и эксплуатационные характеристики в сложных условиях окружающей среды, при этом инструментальная среднеквадратическая погрешность измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести гравиметром не превышает $\pm 5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$ (5 мкГал).

Мониторинг вариаций силы тяжести. Основной проблемой, в решении которой участвуют авторы статьи, является исследование неприливных и приливных вариаций Δg ускорения силы тяжести.

В 2010-2011 гг. были проведены измерения баллистическим гравиметром типа ГАБЛ-Э абсолютного значения g и вариаций Δg на стационарном гравиметрическом пункте, расположенном на базе морской экспедиционной станции Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН «Мыс Шульца». Во время экспедиций отрабатывалась методика измерений и режимы работы гравиметра. Всего в 2011 году было выполнено 27 сеансов измерений, каждый сеанс состоял из 3 серий по 50 бросков пробной массы.

В результате анализа результатов измерений установлено:

1. Среднеквадратическая погрешность по серии измерения на пункте составляет 1-2 мкГал, что обеспечивает необходимую точность выполнения долговременного мониторинга приливных вариаций и нерегулярных временных изменений силы тяжести в условиях пограничной зоны "континент-океан". Дальнейшее продолжение исследований позволит:

- Проводить экспериментальную проверку моделей приливной деформации Земли;
- Определять приливные параметры и давать оценку влияния структурных неоднородностей в мантии и литосфере на их характеристики;
- Оценивать напряжения в земной коре, реологию тектоносферы региона и их связь с сейсмической активностью;

– Разрабатывать новые модели влияния океанов и оценивать эффекты глубинного строения мантии в приливных параметрах.

Следует отметить, что возрастание сейсмического шума во время землетрясения в Японии 24 августа привело к увеличению среднеквадратической погрешности до 4,4 мкГал.

2. На рис. 2 приведено сравнение экспериментальных данных и прилива по модели PREM - CSR3. Экспериментальные данные не согласуются с приливными деформациями для разработанных моделей Земли (например, PREM и IASP91) и моделей океанического прилива (например, CSR3, FES95 и SCW80). Параметры приливных волн взяты для Владивостока с сайта Международного центра земных приливов (International Center for Earth Tides). Результаты измерений показывают значимое отличие от теоретического прилива, особенно в его экстремальных точках, достигающее 6,5 мкГал.

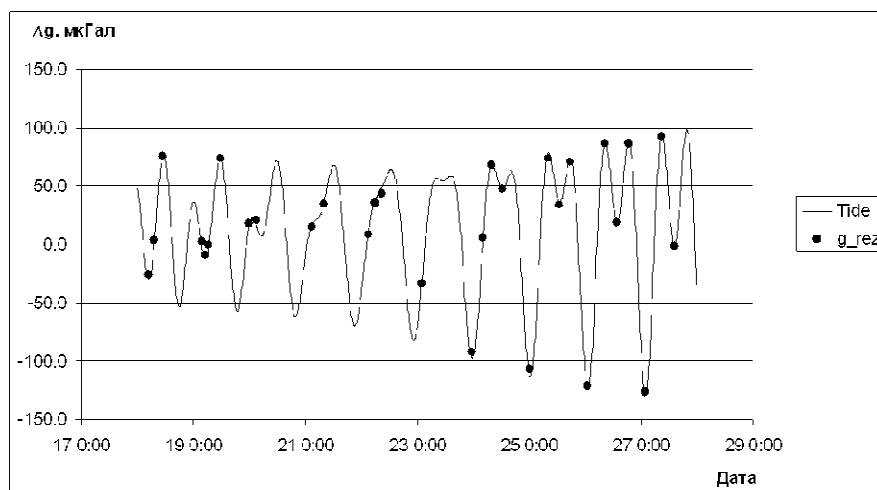


Рис. 2. Сравнение экспериментальных данных и теоретического прилива

На рис. 3 приведены разности Δg , характеризующие отличие экспериментальных данных от теоретического прилива, вертикальными линиями указаны погрешности определения g .

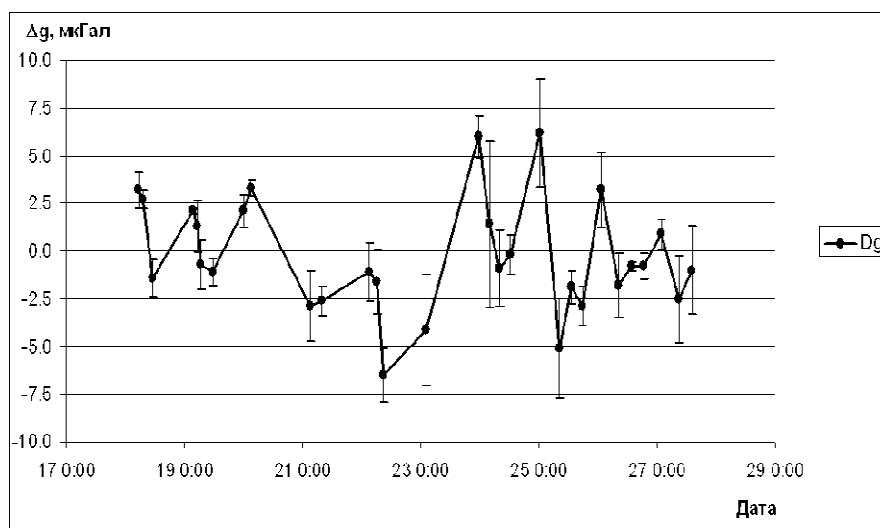


Рис. 3. Отличие экспериментальных данных от теоретического прилива

3. По сравнению с данными 2010 г. абсолютное значение ускорения силы тяжести в 2011 г. увеличилось на пункте измерений «Мыс Шульца» на 5,1 мкГал. Это может быть обусловлено как неприливными вариациями силы тяжести, так и погрешностью, вызванной внесением приливной поправки вследствие неадекватности приливной модели.

Намечено дальнейшее продолжение мониторинга приливных вариаций и нерегулярных временных изменений силы тяжести лазерным баллистическим гравиметром в условиях пограничной зоны "континент-океан".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Results from the fifth international comparison of absolute gravimeters, ICAG'97/ L. Robertson [et al.] // Metrologia. - 2001. – V. 38, N 1. - P. 71-78.
2. Final report on the seventh international comparison of absolute gravimeters (ICAG 2005)/ Z. Jiang [et al.] // Metrologia. - 2011. - V. 48, N 5. - P. 246–260.
3. Применение Nd-YAG/I2 – лазера в качестве оптического стандарта длины в баллистическом гравиметре/ Ю.Ф. Стусь, Е.Н. Калиш, М.В. Охалкин, М.Н. Скворцов // Сб. материалов II Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2006». Т. 4. Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника. - Новосибирск: СГГА, 2006. - С. 48-52.
4. Высокопрецизионное измерение ускорения силы тяжести лазерным интерферометрическим способом/ Г.П. Арнаутов, Е.Н. Калиш, Ю.Ф. Стусь, М.Г. Смирнов // Приборы. – 2003. - № 6 (36). - С. 57-62.
5. Мониторинг вариаций гравитационного поля модернизированным баллистическим гравиметром/ Г.П. Арнаутов, Е.Н. Калиш, Ю.Ф. Стусь, М.Г. Смирнов // Сб. материалов III Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2007». Т. 3. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. - Новосибирск: СГГА, 2007. - С. 236-241.

© И.С. Сизиков, И.А. Бунин, Е.Н. Калиш, Д.А. Носов, П. В. Сероглазов,
М.Г. Смирнов, Ю.Ф. Стусь, 2012

СЕЙСМООПАСНЫЕ РЕГИОНЫ РОССИИ В ЕДИНОМ АСТРОГЕОДЕФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Пётр Георгиевич Дядьков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, ком. 301 гф, заведующий 563 лабораторией естественных геофизических полей, тел. (383)333-03-99, e-mail: ipgg@ipgg.nsc.ru

Михаил Григорьевич Тишенков

Новосибирский государственный университет, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, ком. 115а гф, старший научный сотрудник лаборатории 556 многоволновой сейсморазведки, тел. (383)333-35-03, e-mail: BorodinaSP@ipgg.nsc.ru

Марина Петровна Козлова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, ком. 303 гф, научный сотрудник 563 лаборатории естественных геофизических полей, тел. (383)333-03-99, e-mail: ipgg@ipgg.nsc.ru

Вячеслав Александрович Куликов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, ком. 115а гф, старший научный сотрудник лаборатории 556 многоволновой сейсморазведки, тел. (383)333-35-03, e-mail: BorodinaSP@ipgg.nsc.ru

Марк Леонидович Шемякин

Новосибирский государственный университет, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, ком. 511, заведующий лабораторией геологии и геофизики, тел. (383)363-42-64, e-mail: Shemeikin@nsu.ru

Представлен проект, направленный на развитие концепции геофизического мониторинга по напряженному состоянию поля Земли и определение прогноза катастроф за счет геофизического мониторинга за состоянием и динамическим поведением геологической материи.

Ключевые слова: геологическая материя, мантия, волновод, сейсмическая информация, напряженное состояние, мониторинг.

SEISMIC AREAS OF RUSSIA IN AN INTEGRATED ASTROGEODEFORMATIONAL SPACE

Pyotr G. Dyad'kov

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Akademika Koptiyuga Ave., 3, room 301, Head of the Laboratory of Natural Geophysical Fields, tel. 7 (383) 333-03-99, e-mail: ipgg@ipgg.nsc.ru

Mikhail G. Tishenkov

Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, Akademika Koptiyuga Ave., 3, room 115a, Senior Researcher in the Laboratory of Multiwave Seismic Prospecting, tel. 7(383) 333-35-03, e-mail: BorodinaSP@ipgg.nsc.ru

Marina P. Kozlova

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Akademika Koptyuga Ave., 3, room 303, Researcher in the Laboratory of Natural Geophysical Fields, tel. 7 (383) 333-03-99, e-mail: ipgg@ipgg.nsc.ru

Vyacheslav A. Kulikov

A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Akademika Koptyuga Ave., 3, room 115a, Senior Researcher in the Laboratory of Multiwave Seismic Prospecting, tel. 7 (383) 333-35-03, e-mail: BorodinaSP@ipgg.nsc.ru

Mark L. Shemyakin

Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, Pirogov Str., 2, room 511, Head of the Laboratory of Geology and Geophysics, tel. 7 (383) 363-42-64, e-mail: Shemeikin@nsu.ru

The introduced project is aimed at developing the concept of geophysical monitoring of stress state of the field of the Earth and disaster prediction by geophysical monitoring of the condition and dynamic behavior of the geological material.

Key words: geological matter, mantle, wave guide, seismic information, the state of stress, monitoring.

Введение

Нет сомнений в том, что геологическая материя обладает свойством преобразования одного вида энергии в другой, причем существует поразительно высокий коэффициент полезного действия такого преобразования, но достаточен ли он для мощных горизонтальных сдвижений литосферы. Основные положения концепции разрастания океанического дна и тектоники литосферных плит приняты многими, но далеко не всеми учеными. А идеи диапиризма горячих точек и мантийных струй детеколитной гипотезы В.В. Белоусова, отличаются лишь в том, что признаются движения плит над горячими точками. Это значит, что предложенная простейшая модель должна приниматься не более, как самое первое приближение к реальной среде. При этом рассматриваются: литосфера – прочная наружная оболочка толщиной около 100 км, астеносфера – слой с низкими прочностными характеристиками, толщиной в одну или несколько сотен км, мезосфера – слой повышенной прочности, простирающейся от астеносферы до ядра. С позиций тектоники плит феномен резких мощных геодинамических проявлений получает объяснение, однако сейчас же возникает вопрос – почему граничные скорости сейсмических волн одинаковы или почти одинаковы на поверхности Мохоровичича (мантии) под материками в области плит, где мантия стабильна, где ее возраст стабилизации не менее чем 200 - 500 млн. лет, под молодыми складчатыми системами, формирование которых насчитывает не более 10 – 30 млн. лет и в абиссальных, вблизи склонов срединных хребтов, где мантия еще свежая, только что вынесенная из глубины и имеет возраст всего лишь 5 – 10 млн. лет? В предлагаемой к рассмотрению сложной системе кинематических и динамических процессов развивающейся Земли ее оболочки выше ядра аппроксимируются новой трехслойной моделью. Различие в типах мантии предлагается основывать на резком различии граничных скоростей продольных

волн и наличии явно выраженного слоя волновода у нестабильной мантии в ее верхах. К сожалению, в литературе не обсуждается вопрос о влиянии теплового потока на изменение скоростных характеристик в коре. Приписывая этому слою скорости более 6,3 км/с, некоторые геофизики обращают внимание на наличие скорости волн 7,0 – 7,4 км/с в нижней части коры, причина этого феномена до сих пор еще не вскрыта. Астеносфера с ее конвекцией и весьма дифференцированными контактными напряжениями может быть представлена как самостоятельная гигантская токовая система или как конденсатор, чутко реагирующий на внешние электромагнитные события. Чрезвычайно важен вопрос о существовании волноводных слоев в земной коре, поскольку им в определенных условиях могут соответствовать участки среды с повышенной пластичностью, имеющие значение для анализа глубинных геодинамических условий и распределения очагов землетрясений.

Средства сейсмомониторинга

В Новосибирском государственном университете разработана новая инновационная методика и программные средства обработки, позволяющие выделять показатели микросейсмической активности территорий, связанных с возможностью образования техногенных процессов. Изучение физических параметров сейсмической активности таких зон, выражающиеся в продуцировании сейсмической эмиссии вдоль крестовых профилей позволят при использовании новой методики и программных средств обработки с применением сейсмоэмиссионной томографии построить физическую модель процесса взаимодействия техногенных процессов и положить их в основу численного моделирования зарождения катастрофических событий.

В лаборатории МВС Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН создана скважинная многоточечная трехкомпонентная цифровая аппаратура, оснащенная гироскопическими модулями ориентации (ЗОНД) на современной элементной базе с использованием новых технологий. Отличительная особенность аппаратуры состоит в том, что угловые координаты (три) осей чувствительности каждого из трех ортогонально установленных сейсмоприемников измеряются относительно положения географического меридиана в каждой позиции точки регистрации в скважине. Таким образом, в каждой точке регистрации сейсмического волнового поля оператор получает информацию об отклонении локальной системы координат сейсмодатчиков от глобальных координат, связанных с векторами оси вращения Земли и направления силы тяжести в точке измерения. В последующем осуществляется приведение оси чувствительности «х» компоненты на направление *устье скважины - пункт возбуждения* простыми математическими процедурами.

Организация системы сбора сейсмической информации

Каждый уровень состоит из пунктов сбора информации как наземного расположения сейсмодатчиков, так и во внутренних точках среды (в скважинах), со средствами организации считывания данных, поступающих с сейсмодатчиков, их обработки хранения и визуализации результатов. Скважинные приборы, расположенные во внутренних точках среды, позволяют отделить информационное поле от техногенных помех и определять режимы

фильтрации поверхностных данных. Классический цифровой канал регистрации сейсмических данных включает: антиалаясинговый фильтр и усилитель (на входе); аналого – цифровой преобразователь (дельта – сигма модулятор и цифровой фильтр - дециматор). Канал РОСА построен с использованием дельта – сигма модулятора 4 – ого порядка CS5372(A) (CIRRUS Logik, Inc., [www. Cirrus. com](http://www.Cirrus.com)), с частотой модуляции 512 кГц и высоким отношением сигнал/шум в полосе частот до 1000 Гц. Для цифровой фильтрации и демодуляции используется оригинальный КИХ – фильтр с высококачественной передаточной характеристикой. Высокоточная внешняя синхронизация по сигналам спутниковой системы GPS; свободный режим работы с сейсмическими источниками колебаний; ПРАКТИЧЕСКИ НЕОГРАНИЧЕННОЕ КОЛИЧЕСТВО ТОЧЕК НАБЛЮДЕНИЯ; регистрация данных высокоразрешающих съемок; выполнение съемки без предварительной разбивки пикетов; исключается неисправность сети из-за отдельного регистратора; экономичность – отсутствие аналого – цифровых телеметрических линии связи; конфигурирование рабочего режима с использованием РС – компьютера с USB портом; многоуровневое защищенное хранение информации, высокая скорость передачи больших объемов информации. Доступ ко всем уровням сбора, обработки и интерпретации результатов осуществляется в реальном времени из любой пространственной точки. Значимость геофизических критериев оценки уровня сейсмической опасности выстраивается по принципу иерархии подсистем контроля и переходом из глобального в локальный уровень выделения и интерпретации параметров событий.

Новый тектономагнитный метод контроля за меняющимся напряженным состоянием земной коры

Физической основой тектономагнитного метода является пьезомагнитный (магнитоупругий) эффект горных пород, заключающийся в изменении их магнитных характеристик под действием меняющихся механических напряжений. Развитие этого вида мониторинга в рамках концепции единого астрогеодинамического пространства представляется следующим образом. Магнитометрические, в том числе тектономагнитные наблюдения должны представлять собой единую сеть геомагнитных наблюдений, включающую имеющиеся в Сибири магнитные обсерватории, прежде всего Ключи, основные функционирующие в настоящее время стационарные пункты магнитных наблюдений, прежде всего пункт Талая, Энхалук (Байкал), Байгазан, Акташ, Чаган узун (Алтай). Расширение частотного диапазона наблюдений, модернизация аппаратуры. При разработке стратегии комплексирования геодезических (и других наблюдений деформации поверхности Земли) с тектономагнитными наблюдениями чрезвычайно важно помнить о необходимости комплексирования этих работ с работами по выявлению и отслеживанию ионосферных и магнитосферных региональных аномалий (оперативное получение и использование данных от астрофизических обсерваторий о динамике солнечно-земных связей). Только комплексный подход к интерпретации результатов мониторинговых наблюдений с позиций единого

астрогеодеформационного пространства позволяет получить информацию о характере протекающих в земной коре и верхней мантии процессов и понять, на какой стадии находится процесс подготовки сильного землетрясения.

Формирование единого астрогеодинамического пространства

Для повышения эффективности существующих геоинформационных систем и их совершенствования в части решения прогнозных задач целесообразно привлечение ряда институтов геофизического профиля Сибирского и Дальневосточного регионов. В Сибирском отделении РАН и Сибирской государственной геодезической академии имеются научно-методические разработки и большой опыт проведения экспериментальных исследований в отдельных видах сейсмогеодинамического мониторинга и интерпретации их результатов. Однако для решения поставленной задачи необходим системный подход, объединяющий усилия всех участников мониторинговых исследований по следующим направлениям:

1. Контроль за состоянием сейсмически активных территорий;
2. Контроль динамических процессов в земной коре;
3. Определение параметров изменения гравитации Земли;
4. Магнитометрический контроль напряженного состояния земной коры;
5. Контроль вариаций параметров ионосферного поля Земли;
6. Мониторинг характеристик магнитного поля Земли;
7. Определение параметров возмущения траекторий движения навигационных спутников вследствие солнечно-земных связей.

В Сибирском отделении РАН имеются полигоны (Байкальский, Новосибирский, Алтае-Саянский, Ширинский), в которых проводятся непрерывные геофизические и геодезические наблюдения за тектоническими процессами в земной коре. Имеются наработки в части сбора, обработки и интерпретации экспериментальных материалов мониторинга геодинамических событий естественного и техногенного характера.

В рамках перечисленных выше направлений прорабатывается вопрос включения имеющихся научных и аппаратурно-технических разработок в единое пространство глобального геоинформационного мониторинга.

© П.Г. Дядьков, М.Г. Тищенко, М.П. Козлова,
В.А. Куликов, М.Л. Шемякин, 2012

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗУЧЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВРЕМЕНИ ДЕФОРМАЦИЙ БЛОКОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА

Анатолий Иванович Каленицкий

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, профессор кафедры астрономии и гравиметрии

Александр Николаевич Соловизкий

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, доцент кафедры маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

Предложен дальнейший этап развития прикладной динамической геодезии, позволяющий осуществлять переход к оценке изменений во времени деформаций блоков земной коры. Отражены особенности технологии изучения изменений во времени деформаций блоков земной коры в районах освоения месторождений.

Ключевые слова: Блок земной коры, ранг, геодинамическое явление, кинематика, геодинамический полигон, деформация.

THE FEATURES OF RESEARCH METHODS OF THE CHANGES OF DEFORMATION OF THE BLOKS OF THE EARTH'S CRUST AT THE KUSBASS INTERIOR DEVELOPMENT IN TIME

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

There was offered the next stage of development of applied dynamic geodesy, which means transition to the evaluation of changes of the deformation of blocks of the Earth's crust. There were determined the features of the offered research method of the changes of deformation of blocks of the Earth's crust at the deposit development.

Key word: The blocks of the Earth's crust, rank, dynamic phenomenon, kinematics, geodynamics, deformation.

Развитие геодезии в 21 веке, в первую очередь, будет связано с переходом от изучения деформаций поверхности земной коры к изучению деформаций её отдельных блоков разных рангов. Такой переход, в первую очередь, необходим при прикладных геодинамических исследованиях в процессе освоения угольных и рудных месторождений Кузбасса. При этом проведение прикладных геодинамических исследований является составной частью геомеханического обеспечения геотехнологии освоения недр [1, 2].

Авторами разработана технология изучения деформаций блоков земной коры при освоении месторождений Кузбасса.

Основными особенностями указанной технологии являются следующие:

- Реализация фундаментальных гипотез геодинамики;
- Метод структурно ориентированных построений ГДП;
- Комплексность и взаимообусловленность повторных высокоточных наблюдений на ГДП;
- Определение динамических параметров блоков земной коры;
- Зонирование блоков земной коры;
- Целенаправленность прикладных геодинамических исследований.

Теоретической основой предложенной технологии являются следующие гипотезы [1, 2]:

- О действии и релаксации напряжений;
- О преемственности новейших движений в современный период;
- О пренебрегаемо малых скоростях деформаций земной коры, не приводящих к проявлению ГДЯ.

Для реализации первой гипотезы предложены динамические параметры блока земной коры (изменения во времени деформации, напряжения и потенциальной энергии деформирования). 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.

В рамках реализации второй гипотезы предложен метод структурно ориентированных построений ГДП. Построения ГДП находятся в прямой зависимости от взаимодействия блоков земной коры месторождения по разломам. Минимальное количество мобильных пунктов для каждого из них равно 4. Заложение их производится как в вершине и узлах пересечения границ блоков с учётом глубины проникновения (300 м при его размерах до 1 км), так и в условно стабильном блоке (не менее трёх стабильных пунктов).

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 такой 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 [1].

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).

Для реализации третьей гипотезы предложен метод регистрации развития природных и техногенных геодинамических процессов блоков земной коры на пунктах структурно ориентированных построений ГДП, основанный на прямо пропорциональной зависимости средних квадратических погрешностей измерений от скорости изменения во времени 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.

Для унифицирования изучения деформаций блоков земной коры в районе освоения месторождения предлагается их зонирование. В качестве классификационных признаков такого зонирования предлагается использовать:

- Степень опасности развития деформаций;
- Геодинамические способы решения задач геомеханического обеспечения геотехнологии освоения недр.

По степени опасности развития деформаций блоки земной коры предлагается подразделять на четыре группы (класса):

- I-я – геодинамически неактивный блок земной коры (ГНАБ ЗК);
- II-я – ГАБ ЗК;
- III-я – ГАБ ЗК, в котором формируется очаг геодинамического явления (ФО ГДЯ);
- IV-я – ГАБ ЗК, в котором сформирован очаг геодинамического явления (О ГДЯ), определяющий оценку предельного энергонасыщения (или произошедшее проявление ГДЯ).

В основе выявления ГАБ ЗК лежит фундаментальная гипотеза об оценке медленных скоростей деформаций блока земной коры, не приводящих к проявлению ГДЯ.

Функциональное зонирование блоков земной коры в районах освоения месторождения (по геодинамическим способам решения задач геомеханического обеспечения геотехнологии освоения недр) включает:

- Определение типа геодинамической ситуации;
- Контроль изменения во времени главных направлений деформаций блоков земной коры;
- Ранжирование изменений во времени деформаций блоков земной коры;
- Контроль накопления потенциальной энергии деформирования блоков земной коры,
- Разделение влияния техногенных и природных геодинамических процессов.

Предложенное функциональное зонирование обеспечивает целенаправленность изучения деформаций блоков земной коры в районах освоения месторождения, которое заключается в использовании

геодинамических способов для решения задач геомеханического обеспечения геотехнологии освоения недр.

Так, например, прикладными задачами использования при определении типа геодинамической ситуации (зона сжатия, растяжения, сдвига) блоков земной коры является следующее:

- При подземной геотехнологии освоения месторождения – выбор формы выработки;
- При открытой геотехнологии освоения месторождения – опережение фронта вскрышных работ.

Развитие типа геодинамической ситуации блоков земной коры в зависимости от изменений во времени компонентов деформации может определено для любого шахтного поля (см. рисунок).

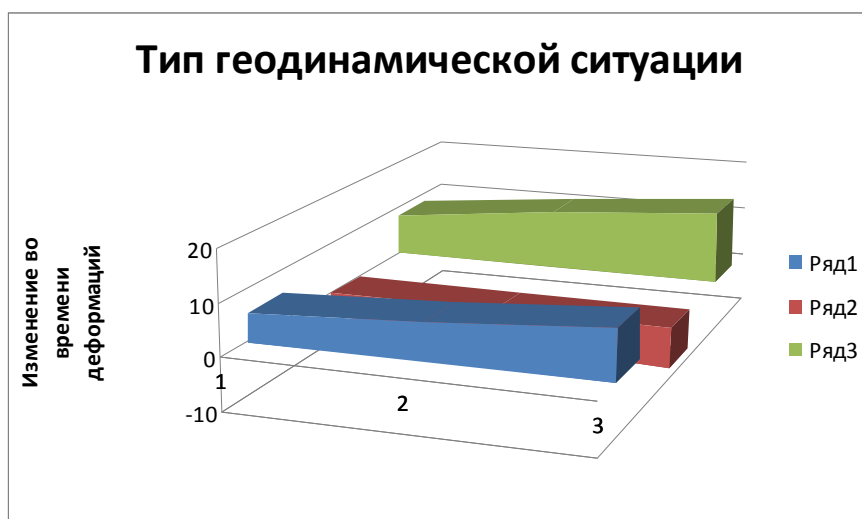


Рис. Развитие типа геодинамической ситуации блока земной коры 2 в районе шахты «Есаульская» в зависимости от изменений во времени компонентов деформации ($1 \cdot 10^{-6}$ в год): 1 ряд – зона сдвига; 2 ряд – зона сжатия; 3 ряд – зона растяжения

Учет особенностей технологии изучения деформаций блоков земной коры при освоении месторождений Кузбасса обеспечивает его унифицированность и целенаправленность, что дает возможность составления их геодинамических паспортов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловицкий, А. Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород [Текст] – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2003. – 260 с.
2. Соловицкий, А.Н. Мониторинг геодинамических явлений разрушительного характера при освоении месторождений [Текст] // ГЕО-СИБИРЬ-2010: Материалы Международного научного конгресса, 19-29 апреля 2010 г. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 28–31.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В РЕАЛЬНЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ

Владимир Юрьевич Кайдалов

ФГБОУ ВПО Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (КузГТУ), кафедра теоретической и геотехнической механики, аспирант, тел. +7-904-967-04-63, e-mail: zelvovka@mail.ru

В статье рассматриваются различные факторы, которые влияют на распространение сейсмических волн в реальных сейсмологических средах, такие как поглощение упругой энергии, отражение и преломление на границе раздела поглощающих сред. Приводится описание экспериментальных измерений распространения сейсмических волн на примере промышленных взрывов на ООО «Разрез. «Бунгурский-Северный».

Ключевые слова: сейсмические волны, сейсмологические среды.

THE FACTORS, WHICH INFLUENCE ON THE DISTRIBUTION SEISMIC WAVE IN THE REAL SEISMOLOGICAL ENVIRONMENTS

Vladimir Yu. Kaydalov

Federal government budgetary institution of higher education "Kuzbass State Technical University named after TF Gorbachev.", department of theoretical and geotechnical mechanics, postgraduate student, tel. +7-904-967-0463, e-mail: zelvovka@mail.ru

The article discusses the various factors that affect the distribution of seismic waves in real seismic environments, such as the elastic energy absorption, reflection and refraction at the interface between absorbing environment. The paper describes experimental measurements distribution of seismic waves in the example of industrial explosions at the LLC "Coal mine. "Bungursky-North."

Key words: seismic wave, seismological environment.

Для изучения влияния промышленных взрывов на конструкции зданий и сооружений, помимо знания спектрального состава промышленных взрывов вблизи источника сейсмических волн, необходимо обладать еще и информацией о сейсмической волне в месте нахождения интересующего нас здания или сооружения.

Существует ряд факторов, которые приводят к изменению характеристик сейсмической волны при ее распространении в сейсмологической среде. О них и пойдет речь в данной статье.

Одним из основных факторов, влияющих на динамические характеристики сейсмических волн в реальных сейсмологических средах, является поглощение упругой энергии, приводящее к изменению, как амплитуды, так и формы сейсмических импульсов. К поглощению могут приводить различные физические процессы, которые феноменологически могут быть описаны общим термином «внутреннее трение». Внутреннее трение может быть обусловлено

как линейной неупругостью материалов, так и преобразованием механической энергии в теплоту, трение на границах зерен.

Хотя все без исключения горные породы в той или иной мере поглощают энергию сейсмических волн, большинство методов обработки и интерпретации данных сейсмических наблюдений базируются на предположении об идеальной упругости исследуемых сред. Учитывая, что внутреннее трение в консолидированных породах, чаще всего невелико, такой подход оказывается на практике оправданным.

К поглощению сейсмических волн могут приводить различные механизмы, работающие на уровне микроструктуры пород, такие как вязкое течение флюида, движение дислокаций, термоупругость и др. Но на макроуровне поглощение сейсмических волн может быть описано относительно простыми феноменологическими моделями, описывающими некоторые характеристики явления, в частности, его частотные свойства [3].

Экспериментальному изучению поглощения сейсмических волн в горных породах посвящены многочисленные работы, опубликованные в разные годы. Из данных работ следует, что декремент поглощения, в зависимости от литологии пород, их пористости, трещиноватости, флюидонасыщенности и т.д., могут принимать значения в широком диапазоне от 10^{-3} для некоторых видов кристаллических пород до 1.0-2.0 для рыхлых сухих пород верхней части разреза.

Обобщение экспериментальных данных, позволило многим авторам сделать вывод о пропорциональности коэффициентов поглощения частоте и о приблизительном постоянстве декрементов поглощения в горных породах в диапазоне от единиц герц до мегагерц. Однако также можно обнаружить и экспериментальные данные как о частотно независимом, так и о частотно-зависимом поглощении. Выяснилось, что на характер экспериментальных данных оказывают существенное влияние факторы, напрямую не связанные с поглощающими свойствами горных пород.

Так на высоких частотах – начиная с сотен килогерц или нескольких мегагерц – в зависимости от типа породы, длины волн становятся соизмеримы с размерами зерен породообразующих минералов, микротрещин и других неоднородностей, что приводит к увеличению вклада рассеивания в суммарное затухание ультразвуковых импульсов. Поэтому затухание на таких частотах становится, чаще всего, частотно-зависимым.

Наиболее точные данные о поглощении в лабораторных условиях могут быть получены на более низких частотах, когда длины волн существенно превышают размеры неоднородностей, и рассеивание становится пренебрежительно малым. Из-за сложности изготовления и работы с объемными образцами соответствующих размеров измерения на таких частотах чаще всего проводят на образцах, изготовленных в виде тонких по отношению к длине волны стержней.

Анализ экспериментальных данных, опубликованных Колесниковым Ю.И. [4], подтвердил тот факт, что поглощение в большинстве горных пород

частотно-независимо в широком диапазоне частот от долей герца до сотен килогерц.

Другой важный фактор – отражение и преломление упругих волн на границе раздела поглощающих сред.

Динамические характеристики волновых полей, регистрируемых сейсмическими методами, в значительной мере определяется процессами отражения-преломления, то есть перераспределением энергии волн, падающих на границы раздела сред, между волнами, образующимися на этих границах. Кроме того, на сейсмических границах могут наблюдаться и фазовые изменения в отраженных и преломленных волнах по отношению к падающим, влияющие на их кинематические характеристики.

Обычно при анализе коэффициентов отражения и преломления предполагается, что граничащие среды идеально упруги, и каждая из них характеризуется (для однородных изотропных твердых сред) определенной плотностью и скоростями распространения продольных и поперечных волн. Однако реальные горные породы поглощают энергию сейсмических волн, причем во многих случаях контраст поглощающих свойств на сейсмических границах может быть значительным. Примеры таких границ – граница воды с донными осадками, границы консолидированных пород с раздробленными зонами дизъюнктивных нарушений и т.д.

Расчеты коэффициентов отражения и преломления сейсмических волн на границах поглощающих сред были выполнены рядом исследователей лишь для некоторых частных случаев.

Колесниковым Ю.И. [2] была предложена методика для расчетов коэффициентов отражения и преломления как однородных, так и неоднородных плоских упругих волн для разных соотношений параметров граничащих неупругих сред, а также сравнение расчетных коэффициентов отражения с результатами модельных экспериментов.

Результаты физического моделирования показали, что для контрастных по поглощению границ вычисление коэффициентов отражения без учета неупругости может приводить к большим ошибкам, а коэффициенты, рассчитанные с учетом поглощения, удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.

Изучению особенностей распространения упругих волн в сыпучих материалах, начиная с середины прошлого века, посвящено множество публикаций в научных изданиях геофизического и физического профиля. Интерес к данной тематике обусловлен тем, что такие факторы как повышенная пористость, отсутствие жестких связей между частицами, наличие в порах флюидов, приводят к различным аномальным эффектам при распространении упругих волн в таких материалах.

Исследования насыщенных сыпучих грунтов имеют и большое прикладное значение. В частности, при проектировании и строительстве различных промышленных и гражданских сооружений большое внимание уделяется изучению несущей способности грунтов, которые будут лежать в основании фундаментов данных объектов, так как от надежности оснований зависит

долговечность и безопасность эксплуатации таких сооружений, в особенности в сложных гидрогеологических условиях.

Песчаные грунты в большинстве случаев служат надежными основаниями для фундаментов, причем несущая способность гравелистых и крупных песков не зависит от влажности, в то время как прочность более мелких песков снижается с увеличением влажности и тем больше, чем мельче зерна. В водонасыщенном состоянии массивы такого песка могут оказаться неустойчивыми, что при определенных условиях может привести, например, к их внезапному разжижению и разрушению возведенных на них сооружений.

Еще в пятидесятых годах прошлого века были получены первые экспериментальные данные о существовании двух типов продольных волн (быстрой и медленной) во влажных сыпучих материалах. Так в работе [7] приведены результаты экспериментального изучения полностью водонасыщенных песков и упаковок стеклянных шариков, находящихся под давлением. В ультразвуковом диапазоне частот были зарегистрированы высокочастотная быстрая (со скоростью примерно 1700 м/с) и низкочастотная медленная (порядка 100 м/с) продольные волны. Скорость быстрой волны не зависела от давления, а скорость медленной с ростом давления возрастала. Автор связал медленную волну с распространением продольных колебаний в твердой фазе, а быструю - с совместным движением твердой и жидкой фаз.

В более поздних экспериментах Колесникова Ю.И. [2] две продольные волны впервые были зарегистрированы в ненагруженном влажном песке. После удаления из песка свободной (не удерживаемой капиллярными силами) объемной воды, продольные колебания первоначально распространялись в основном в виде быстрой высокочастотной волны со скоростью 1600-1800 м/с. Через некоторое время эта волна исчезала, после чего упругая энергия распространялась в виде медленной низкочастотной волны – ее скорость была оценена в 200-300 м/с.

Итак, существует большое количество факторов, влияющих на распространение сейсмических волн в реальных сейсмологических средах. Очень сложно оценить влияние каждого фактора при натурном эксперименте. Для этого необходимо точное знание, как литологии горных пород, так и параметры сложенных этими породами блочных структур.

Сотрудниками КузГТУ совместно с представителями НИИОГР с 19.10.10 по 22.10.10 на разрезе «Бунгурский-Северный» были проведены измерения распространения сейсмической волны для практических и научных целей.

Как показали испытания, выполненные в створе (сейсмические датчики располагались вдоль заданного направления на небольшом расстоянии друг от друга – порядка 100м) сейсмическая волна с расстоянием затухает неравномерно, что обусловлено вероятнее всего описанными выше факторами. Данные с датчиков расположенных на больших расстояниях (порядка 3-5 км) сильно отличаются. Вплоть до того, что на некоторых из них сторонние шумы перекрывают сейсмические данные от взрыва.

Очевидно, что для получения полной картины литологии горных пород и определения параметров, сложенных этими породами блочных структур,

необходимо учитывать все известные факторы, влияющие на распространение сейсмических волн в реальных сейсмологических средах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аки К., Ричардс. Количественная сейсмология. // Теория и методы. Т.2 Пер. с англ. – М.: Мир, 1983.
2. Колесников Ю.И. Отражение ультразвука импульсов от границы водонасыщенный песок при наклонном падении // Сборник трудов XV сессии Российского акустического общества. Т. 1. М.: ГЕОС, 2004. – С. 305.
3. Колесников Ю.И. Оценки возможного влияния собственной дисперсии скоростей на результаты определения упругих модулей материалов // Сборник трудов XX сессии Российского акустического общества. Т. 1. — М.: ГЕОС, 2008. – С. 261-264.
4. Колесников Ю.И. Поглощение сейсмических волн в горных породах (обзор) // Геоакустические исследования по многоволновой сейсморазведке: Сб. науч. тр. / АН СССР, Сиб. отделение, Институт геологии и геофизики. Новосибирск: ИГиГ, 1987. – С. 42-72.
5. Колесников Ю.И., Медных Д.А. Влияние сил капиллярного сцепления на акустические свойства не нагруженного влажного песка: экспериментальные данные // Сборник трудов XVIII сессии Российского акустического общества. Т. 1. М.: ГЕОС, 2006. – С. 244-247.
6. Медведев С.И. Инженерная сейсмология. М.: Госстройиздат, 1962. - С 278.
7. Paterson N.R. Seismic wave propagation in porous granular media // Geophysics. – 1956. – V. 21, N 3. – P. 691-714

© В.Ю. Кайдалов, 2012

ЛАЗЕРНЫЕ МЕТОДЫ В СЕЙСМОГЕОДИНАМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Сергей Николаевич Багаев

Институт лазерной физики СО РАН, 630090 г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 13/3, директор, академик, тел. (383)333-24-89, e-mail: bagayev@laser.nsc.ru

Валерий Александрович Орлов

Институт лазерной физики СО РАН, 630090 г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 13/3, заведующий лабораторией доктор физико-математических наук, тел. (383)333-30-72, e-mail: lss@laser.nsc.ru

Юрий Николаевич Фомин

Сибирский филиал геофизической службы СО РАН, 630090 г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 13/3, начальник отряда, тел. (383)333-30-72, e-mail: fominy@mail.ru

Представлены результаты лазерных деформографических наблюдений в штольне Байкальской рифтовой зоны. Обсуждается механизм возбуждения сдвиговых колебательных движений внутреннего ядра Земли, вызываемых солнечными вспышками. Обоснована связь солнечной активности с общепланетарной сейсмичностью.

Ключевые слова: лазерные деформографические наблюдения, движения внутреннего ядра Земли, связь солнечной активности с общепланетарной сейсмичностью.

LASER METHODS FOR SEISMIC AND DYNAMIC MONITORING

Sergey N. Bagayev

Institute of Laser Physics of SB RAS, 13/3 Prospect Lavrentyeva, Novosibirsk, 630090, tel.+7(383) 333-24-89, e-mail: bagayev@laser.nsc.ru

Valery A. Orlov

Institute of Laser Physics of SB RAS, 13/3 Prospect Lavrentyeva, Novosibirsk, 630090, head of laboratory, doctor of physical and mathematical sciences, tel.+7(383)333-30-72, e-mail: lss@laser.nsc.ru

Yury N. Fomin

Siberian Branch of the geophysical service of SB RAS, 13/3 Prospect Lavrentyeva, Novosibirsk, 630090, tel. +7(383)333-30-72, e-mail: fominy@mail.ru

The results of laser deformographic observations in the adit of the Baikal rift zone are presented. The mechanism of excitation of the shear oscillatory motion of the inner core of the Earth, caused by solar flares are discussed. Connection of solar activity with planetary seismicity is proving.

Key words: laser deformographic observations, Earth inner core movements, relation between solar activity and global seismicity.

За последние 50 лет сейсмологами и геофизиками накоплен обширный материал по признакам подготовки сильных землетрясений. Тем не менее,

прогноз этих катастрофических явлений остается одной из нерешенных проблем наук о Земле. Современная наука и техника не позволяют с высокой достоверностью определять силу, место и время сейсмического события. Установлено, что подготовка землетрясений, в первую очередь связана с процессами деформирования земной коры, а само сейсмическое событие – это результат внезапного высвобождения упругой энергии, накопившейся в геофизической среде в период деформации. В зависимости от силы готовящегося землетрясения, изменение хода деформационного процесса может фиксироваться на десятках или сотнях километров от очага. Для регистрации динамики развития деформационных процессов в сейсмоактивных зонах необходимы устройства, позволяющие с высокой чувствительностью и в непрерывном режиме измерять малые относительные деформационные смещения горных пород. С этой целью в ИЛФ СО РАН разработан оригинальный автоматизированный лазерный деформограф. Преимуществом созданного для измерений в штольне лазерного деформографического комплекса является то, что он обладает в присутствии атмосферы высокой относительной чувствительностью порядка $10^{-9} \div 10^{-10}$ к малым перемещениям в широком диапазоне периодов колебаний $10^0 \div 10^7$ с. Он позволяет регистрировать собственные и приливные колебания Земли, детерминированные суточные вариации микродеформационного шума, а также особенности деформационных процессов в земной коре, сопровождающих сейсмичность.

Принцип работы лазерного деформографа изложен в [1-3]. В состав комплекса входит гетеродинный интерферометр, который состоит из четырех независимых оптических каналов – трех измерительных и одного опорного. Они выполнены по схеме несимметричного интерферометра Майкельсона, где в качестве опорного оптического излучения используется излучение гетеродинного лазера, смещенного по частоте на 1 МГц относительно зондирующего излучения, посылаемого на перемещающийся объект. В конструкцию деформографа входит оптический узел, предназначенный для компенсации влияния атмосферы и частотной нестабильности лазеров. Длина двух ортогонально расположенных измерительных плеч равна 25 м. Запись сигналов деформографа производится с помощью компьютера с частотой дискретизации 0.5 Гц.

На протяжении более двадцати лет с использованием двухкоординатного лазерного деформографа проводятся лазерные деформографические режимные наблюдения в штольне Байкальской рифтовой зоны, являющейся сейсмически опасным регионом. Изучались аномалии деформационных процессов, сопровождающих региональные сейсмические события. Главной целью этих исследований является отработка методики регистрации среднесрочных и краткосрочных предвестников землетрясений.

В ходе наблюдений зарегистрировано аномальное поведение деформационного процесса накануне ряда сильных региональных и далеких землетрясений. Особенности регистрируемые в деформационных сигналах на фоне естественного приливного процесса проявляются за несколько часов или суток в виде различных возмущений: «бухтообразных» деформаций,

микродеформационного шума, квазипериодических пульсаций с периодом 0.5 – 3 часа.

Одним из примеров, демонстрирующим возможности лазерного деформационного мониторинга, является регистрация развития сейсмического очага сильного ($K > 15$) землетрясения, произошедшего в акватории о. Байкал (рис.1) 27 августа 2008 года в 01:35:31 GMT (координаты эпицентра $\varphi = 51.61^\circ$ и $\lambda = 104.07^\circ$). Одновременное сочетание высокого энергетического класса и сравнительно малое удаление ($S \sim 30$ км) от станции наблюдения делает это землетрясение ценным событием для получения предвестниковой информации в период развития его очага.

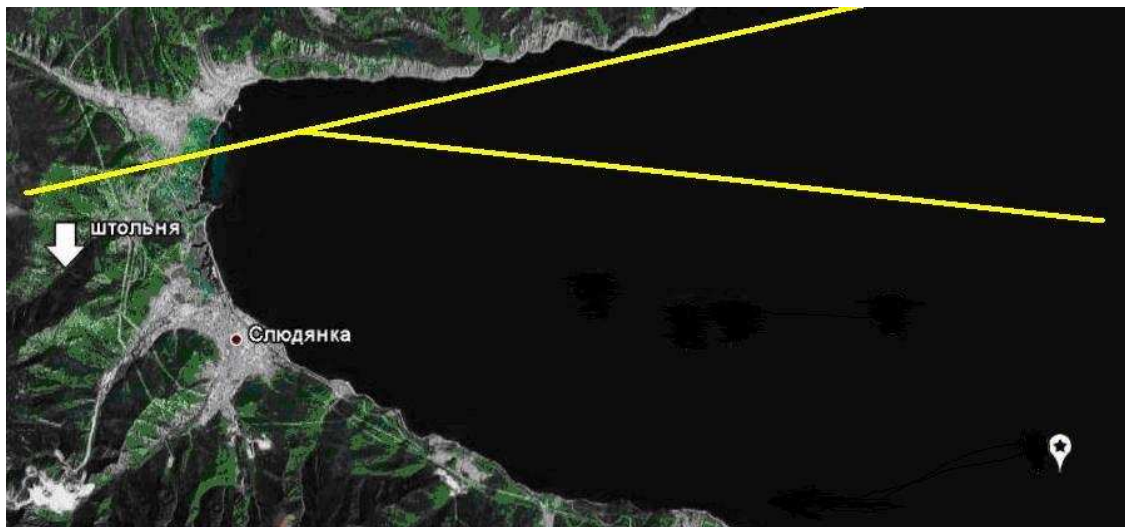


Рис. 1. Южная часть акватории озера Байкал с указанием пункта лазерных наблюдений, сейсмического очага и тектонических разломов

Первая особенность рассматриваемого сейсмического события иллюстрируется графиками деформаций, предшествующих землетрясению. На рис. 2 изображены деформограммы, соответствующие двум измерительным плечам и их разности за полугодовой периода. Буквой «А» отмечен ход деформационного сигнала измерительного плеча, расположенного в направлении Север-Юг, а буквой «В» отмечен ход деформационного сигнала измерительного плеча, расположенного в направлении Восток-Запад. Буквой «С» обозначена разность деформационных сигналов от этих плеч. По оси ординат отложена величина сигнала деформаций в единицах счета цифрового фазометра (положительное направление изменения кривой соответствует сжатию в измерительных плечах).

В начальной части рассматриваемого периода наблюдалось постепенное сжатие в обоих измерительных плечах деформографа. Горизонтальное направление хода разностной деформации говорит о том, что это сжатие происходит в обоих плечах практически синхронно и носит сезонный характер. Изотропное сжатие продолжается вплоть до 16 июня, после чего поведение монотонной части деформаций в плечах приобретает несинхронный характер. По направлению Восток-Запад начинается растяжение, в то время как в

направлении Север-Юг, не происходит заметных монотонных изменений. Подобное поведение деформаций горных пород указывает о накоплении потенциальной энергии в очаговой зоне, а выход графика разностной деформации на горизонтальную прямую свидетельствует о готовящейся разрядке. Растяжение измерительного плеча по направлению Восток-Запад за 72 дня составило величину ~ 22 мкм.

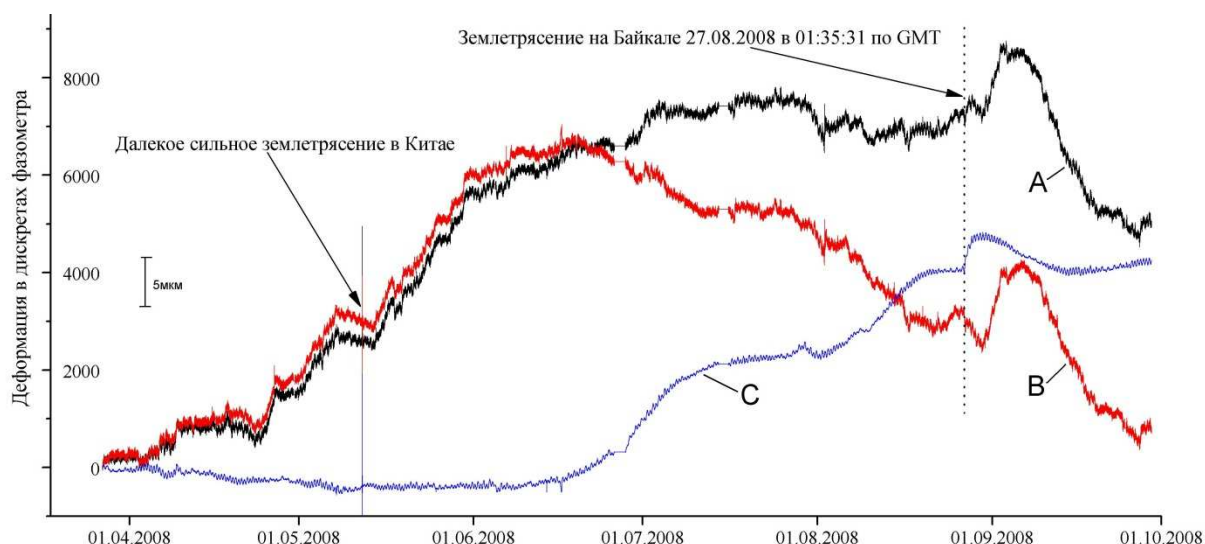


Рис. 2. Деформационные кривые, зарегистрированные в период времени с 27.03.08 по 29.09.08: **A** — сигнал измерительного плеча расположенного в направлении Север-Юг; **B** — сигнал измерительного плеча расположенного в направлении Восток-Запад; **C** — прямая разность первых двух сигналов

Другая особенность в подготовке рассматриваемого землетрясения проявилась в аномальном поведении деформационного шума с характерными периодами колебаний порядка нескольких десятков секунд. Эта особенность проиллюстрирована на рис. 3. На нем отображены в едином масштабе времени три графика за период с 18 по 26 августа. Наблюдаемая особенность состояла в том, что на фоне постоянно присутствующей и повторяющейся с периодом 24 часа шумовых составляющих за 3 - 4 суток перед землетрясением регистрируется резкое возбуждение шумового компонента. На двух верхних графиках изображены сигналы измерительных плеч деформографа, отфильтрованные в узкой полосе периодов от 20 до 40 секунд. На нижнем графике изображена разность первых двух сигналов. Окно для фильтрации подбиралось экспериментально для того, чтобы как можно отчетливее выделить суточную вариацию деформационного шума.

Каждые сутки отчетливо проявляется возрастание микродеформационного шума с амплитудой в 2–2.5 раза выше постоянной составляющей. Интересно то, что этот эффект регистрируется, когда Солнце находится в зените и проявляется в обоих измерительных плечах одинаково. По этой причине в разностном канале он практически не регистрируется. Накануне регионального землетрясения этот шум приобретает аномальное поведение. Это выражается в возникновении

дополнительных цугов 19 августа и за трое суток перед землетрясением 24 августа. Физическая природа генерации этого шума неизвестна, но подобное поведение накануне региональных землетрясений отмечается неоднократно.

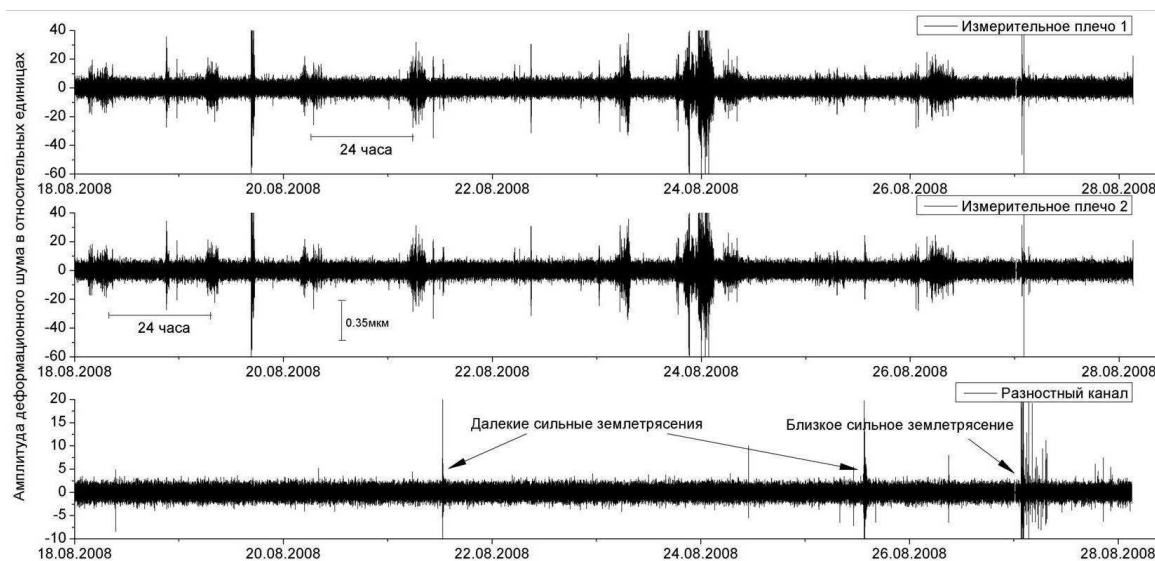


Рис. 3. Вариации деформационного шума в полосе от 20 до 40 секунд накануне близкого землетрясения в БРЗ

Наибольший интерес при анализе приливных колебаний представляет 12-часовая гармоника, т.к. информация, содержащаяся в этом сигнале менее зашумлена, в то время как 24-часовая приливная гармоника, как правило, искажается суточными вариациями метеорологических параметров. Полусуточный прилив представляет собой промодулированный квазигармонический сигнал. На рис. 4 графиками А и В отображены цуги приливных колебаний в двух измерительных плечах, отфильтрованные в диапазоне 708–768 минут. Амплитуды этих сигналов меняются с периодом порядка 14 дней в зависимости от положения Солнца и Луны относительно Земли. За трое суток перед рассматриваемым землетрясением амплитуда прилива в направлении Восток-Запад стала заметно превышать амплитуду прилива в направлении Север-Юг. Чтобы не учитывать влияние фазовых задержек в приливных гармониках, существующих в различных измерительных плечах, анализировались не сами 12 – часовые колебания, а их 14 – дневные огибающие.

Как видно из графиков, вблизи землетрясения фазовая задержка между огибающими резко изменяется и достигает максимального значения ~4 суток. Для иллюстрации аномального поведения огибающей полусуточного прилива приведен график E , описывающая функцию:

$$E(t) = \frac{S_{01}(t) - S_{02}(t)}{S_{02}(t)},$$

где $S_{01}(t)$ — амплитуда огибающей полусуточного прилива в плече расположенного вдоль направления Восток-Запад, а $S_{02}(t)$ — вдоль направления Север-Юг.

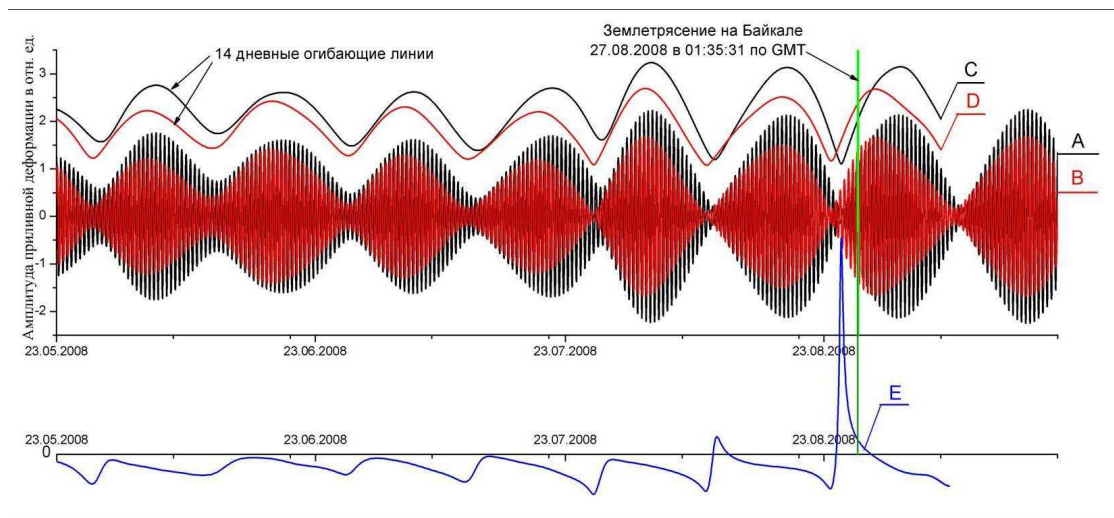


Рис. 4. Полусуточные приливные гармоника в ортогонально расположенных плечах А и В и соответственно С и D амплитуды их огибающих. Е - график деформационного отклика

Левая часть графика $E(t)$ отображает обычное поведение деформационного процесса вплоть до аномального участка связанного с землетрясением. За несколько суток перед землетрясением кривая $E(t)$ начинает резко возрастать на 20-30%, приобретая максимум за 2 суток перед землетрясением. Достигнув максимума, значение этой функции убывает в течение 5 дней и выходит на свой нормальный ход. Временное развитие функции $E(t)$ аналогично поведению диэлектрической восприимчивости при сегнетоэлектрическом фазовом переходе. Эта аналогия правомерна, если считать, что откликом на внешнюю гравитационную приливную силу является деформируемость земной коры, которая возрастает вследствие понижения жесткости горных пород перед разрушением (землетрясением).

В ходе лазерных деформографических наблюдений зарегистрировано возбуждение длиннопериодных колебаний. На деформограммах, соответствующих каждому из регистрирующих измерительных плеч, это проявляется в виде возмущений на фоне приливных колебаний за 1.5–2 суток перед землетрясениями. В качестве иллюстрации этого явления на (рис. 5, 6) приведен пример такого возбуждения перед землетрясениями 12-го энергетического класса, произошедшими на расстоянии ~ 526 км от станции наблюдения «Талая». Литосферное возмущение в виде цуга деформационного шума зарегистрировано в полосе периодов колебаний 0.5–2 часа. Аналогичные эффекты наблюдаются систематически в ходе деформографических измерений на протяжении более 15 лет.

Тот факт, что наблюдаемое явление проявляется одинаково в обоих ортогонально расположенных измерительных плечах, указывал на то, что источник возбуждения рассматриваемых деформационных пульсаций имеет направленное воздействие, а вектор силы ориентирован перпендикулярно к поверхности Земли. В работе [4] выдвинуто предположение о связи этого явления с колебаниями внутреннего ядра Земли. В соответствии с этой гипотезой, колебательные движения твердой составляющей ядра Земли могут вызывать не только деформации в литосфере и пульсации атмосферного давления, а также служить спусковым механизмом для развития землетрясений.

Источником сдвиговых движений ядра Земли в таком рассмотрении являются ее радиальные колебания при орбитальном движении вокруг Солнца. В этой концепции ощутимые сверхдлиннопериодные колебательные движения ядра, вызывающие измеряемые изменения гравитационного поля и соответствующие деформационные возмущения в земной коре, в конечном итоге обусловлены механическим импульсом отдачи, получаемым Солнцем при неізотропном выбросе вещества во время вспышки [5].

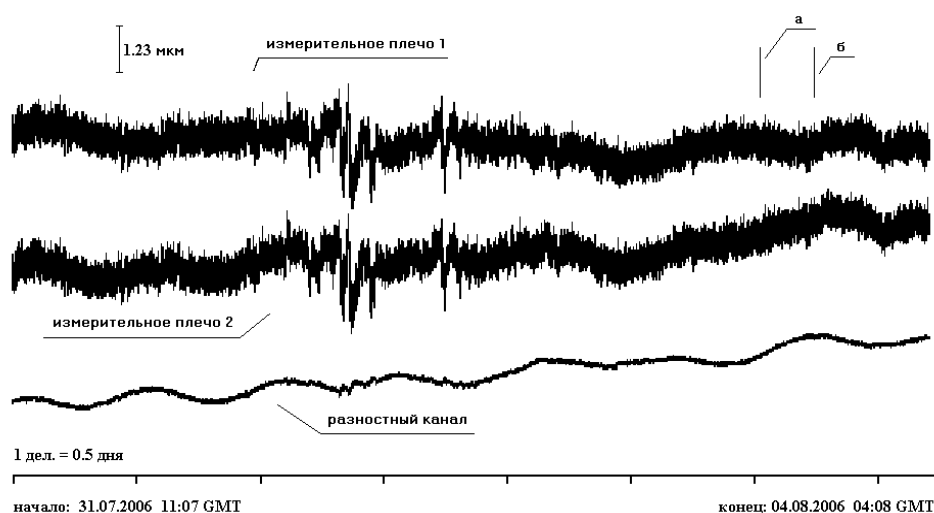


Рис. 5. Фрагмент деформограмм, полученных на с/ст. «Талая»: а – землетрясение в Иркутской области 08.03.2006, 11:56 GMT, $K = 12.0$; б – землетрясение в Иркутской области 08.03.2006, 16:57 GMT, $K = 12.2$

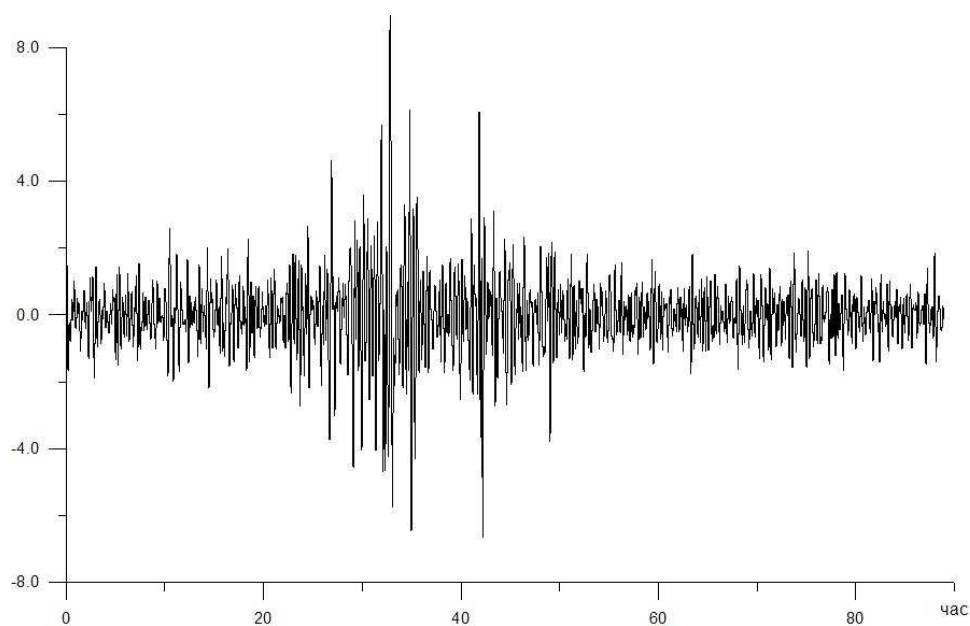


Рис. 6. Сигнал одного измерительного плеча, отфильтрованный в полосе 30–120 мин

Кроме того, такие колебания внутреннего твердого ядра Земли могут служить спусковым механизмом для провоцирования геодинамических событий.

Ниже приведен экспериментальный материал, подтверждающий высказанную концепцию.

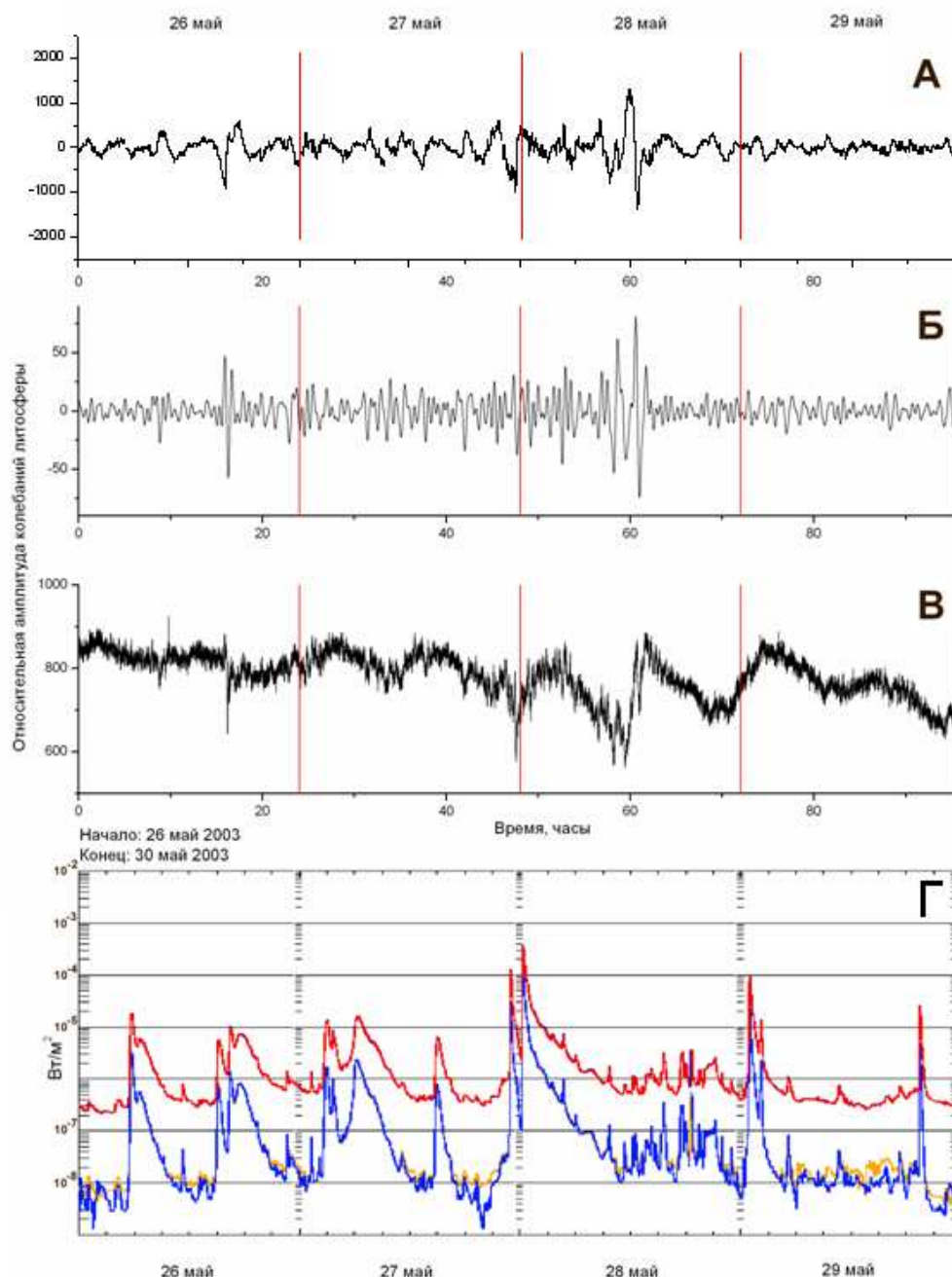


Рис. 7. Вариации сигналов лазерного деформографа в относительных единицах (А, Б, В) и рентгеновского излучения (Г) за период с 26.05.2003 г. по 30.05.2003 г.

На рис. 7 представлены экспериментальные графики: А — вариации атмосферного давления, в диапазоне периодов от 30 сек до 7 часов свободные от суточного дрейфа и приливных колебаний, Б — сигнал одного из измерительных плеч деформографа в диапазоне периодов от 30 до 120 мин, В — сигнал того же плеча без фильтрации, Г — временные вариации мощности потока рентгеновского излучения. Данные о вариациях рентгеновского потока получена со спутников GOES (The Geostationary Operational Environmental Satellite Program).

На графиках хорошо видно, что в период «затишья» на Солнце в деформационных колебаниях Земли и пульсациях атмосферного давления нет выраженных особенностей. Однако после мощных вспышек, когда поток рентгеновского излучения превышает средний показатель почти на 3—4 порядка, в записях деформографа наблюдаются резкие всплески сигнала в атмосфере и литосфере, величина которого сравнима с амплитудой приливных вариаций. Следует также отметить, что вслед за импульсным возмущением на деформограмме видно возрастание амплитуды колебаний в диапазоне 30—120 мин. Поскольку сигнал в атмосфере ведет себя аналогичным образом, то это хорошо укладывается в нашу концепции о первичном толчке Земли вследствие импульсного гравитационного сигнала, пришедшего от Солнца после вспышки на нем, и о последующей раскачки колебаний внутреннего ядра Земли. Согласно выдвинутой гипотезе, мощная солнечная вспышка, вызывающая колебания ядра Земли, приводит к длиннопериодным деформационным пульсациям в земной коре, которые могут инициировать локальные растрескивания напряженных горных пород и, таким образом, приводить к землетрясениям.

Результаты многолетних лазерных деформографических наблюдений убедительно показали, что измерения на одном пункте могут выявить предвестники землетрясений. Однако они не позволяют провести локализацию формирующегося очага и оценить силу готовящегося землетрясения. Только система наблюдательных пунктов, охватывающих различные блоки земной коры, может обеспечить высокую эффективность слежения за ходом деформационного процесса во всем исследуемом сейсмическом регионе и по характеру сложных мозаичных изменений напряженно-деформированного состояния в разных точках судить о направленности происходящих изменений.

В настоящее время осуществляется внедрение разработанной лазерной аппаратуры на полигонах сейсмоопасного Алматинского региона. Первый этап этой работы состоит в развертывании лазерных деформографических измерений в районе сейсмической станции «Талгар» (рис.8). Фрагменты деформограмм, зарегистрированных в штольне обсерватории Талгар за период с 05.11 – 09.12.2010 г. представлены на рис. 9.

Внедрение лазерного геодинамического мониторинга на территории Алматинского прогностического полигона выполняется совместно с ТОО «Физико-технический институт» РК и НПК «Прогноз» ГУ «Казселезащита» МЧС РК.

Обеспечение непрерывных деформографических наблюдений в режиме реального времени позволит совместными усилиями специалистов из Казахстана и России восполнить недостаток информации о признаках подготовки сильных региональных землетрясений.



Рис. 8. Двухканальный лазерный деформограф в штольне «Талгар»
Алматинского прогностического полигона

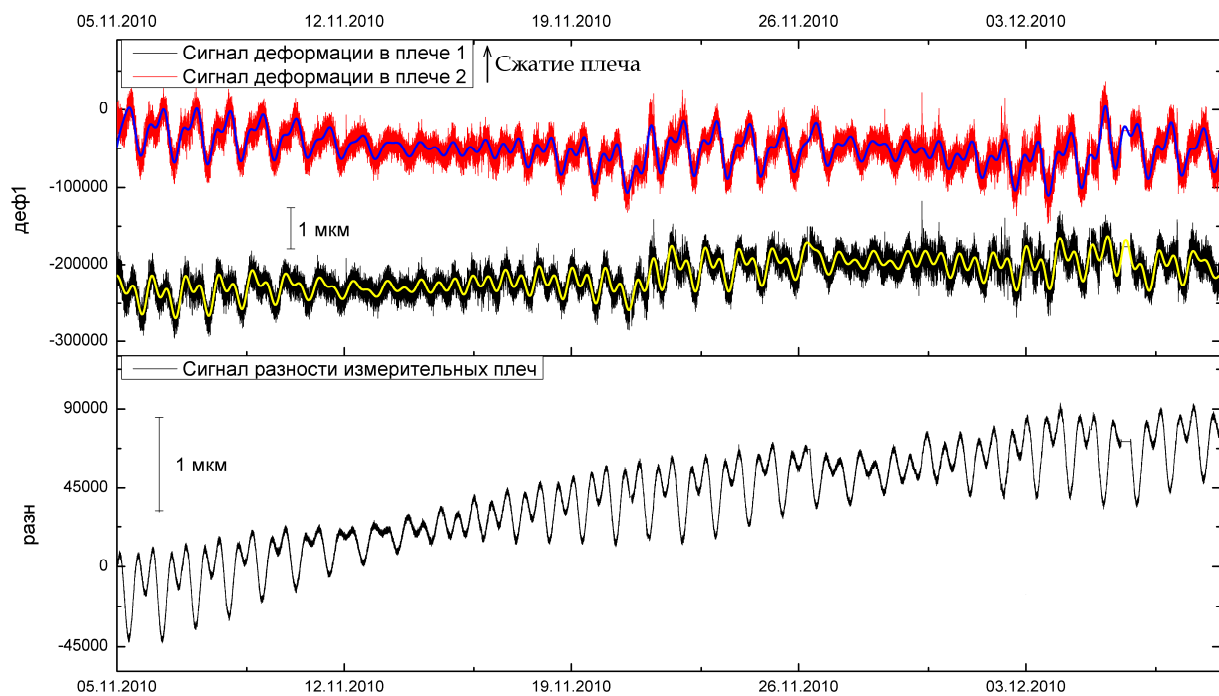


Рис. 9. Фрагменты деформограмм, зарегистрированных в штольне обсерватории
Талгар за период с 05.11 – 09.12.2010 г.

Работа выполняется при поддержке РФФИ. Проект № 10-02-00801.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багаев С.Н., Орлов В.А., Фомин Ю.Н., Чеботаев В.П. Гетеродинные лазерные деформографы для прецизионных геофизических измерений. Физика Земли. – 1992, № 1, с. 85-91.
2. С.Н. Багаев, А.С. Дычков, А.Э. Ом, В.А. Орлов, Ю.Н. Фомин, В.П. Чеботаев. Двухчастотная интерферометрическая система для измерения линейных перемещений. Патент RU № 362923.
3. С.Н. Багаев, В.А. Орлов, А.Ю. Рыбушкин, В.М. Семибаламут, Ю.Н.Фомин. Двухчастотная лазерная интерферометрическая система для измерения линейных перемещений. Патент RU №2082085,
4. S.N. Bagayev, V.A. Orlov, A.V. Pyatigorets. Observation of Earth's oscillations by a laser interferometric method. Proceedings of SPIE 2006, vol. 6284, PP.628404-(12 pages).
5. Орлов В.А., Панов С.В., Парушкин М.Д., Фомин Ю.Н. «О связи сейсмичности Земли с солнечной активностью по результатам прецизионных деформографических наблюдений», Труды конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли». Новосибирск, 2008, С. 31-40

© С.Н. Багаев, В.А. Орлов, Ю.Н. Фомин, 2012

ВЫВЕРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ПРИБОРОВ

Кайсар Билялович Хасенов

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19, заведующий кафедрой, кандидат технических наук кафедры геодезии, землеустройства и кадастра, тел. 8(7232)540-776, e-mail: KHasenov@ektu.kz

Анатолий Григорьевич Гольцев

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19, доцент, кандидат технических наук кафедры строительство зданий, сооружений и транспортных коммуникаций, тел. 8(7232)540-899, e-mail: AGoltsev@ektu.kz

Олжас Днеслямович Салпышев

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19, магистрант группы 11-НГТк-1,5 кафедры геодезии, землеустройства и кадастра, тел. 8(7232)540-776, e-mail: olzhas_dn1@mail.ru

В статье рассмотрен процесс применения лазерного теодолита с разверткой луча в вертикальной плоскости, позволяющего определить положение в плане и вертикальность конструкций методом бокового нивелирования.

Ключевые слова: лазерный теодолит, выверка строительных конструкций.

RECONCILIATION OF BUILDING STRUCTURES WITH USING LASER DEVICES

Kajsar Biljalovich Hasenov

D.Serikbaev East Kazakhstan State Technical University, 070000, Ust Kamenogorsk, 19 Serikbaev, Head of department, PhD, «Geodesy, Land Management and Cadastre», tel. 8 (7232) 540-776, e-mail: KHasenov@ektu.kz

Anatoly Grigorevich Goltsev

D.Serikbaev East Kazakhstan State Technical University, 070000, Ust Kamenogorsk, 19 Serikbaev, docent, PhD, «Building of construction, construction and transport communications», tel. 8(7232)540-899, e-mail: AGoltsev@ektu.kz

Olzhas Dneslyamovich Salpyshev

D.Serikbaev East Kazakhstan State Technical University, 070000, Ust Kamenogorsk, 19 Serikbaev, Magister of 1 course on a speciality “Geodesy” «Geodesy, Land Management and Cadastre», tel. 8 (7232) 540-776, e-mail: olzhas_dn1@mail.ru

In the article is considered process of application laser theodolite with beam scan in the vertical plane, allowing to define position in plan and vertical of designs with method of lateral leveling.

Key words: a laser theodolite, adjustment of building constructions.

Разработка и внедрение прогрессивных методов и технических средств измерений являются актуальными проблемами, так как возрастающие объемы и сложность задач по строительству различных объектов требуют постоянного совершенствования средств геодезического обеспечения.

Для выполнения инженерно-геодезических работ выпускается большое количество лазерных приборов, из которых теодолиты с визуальной системой пользуются большим спросом при выверке строительных конструкций.

Применение лазерного теодолита с разверткой луча в вертикальной плоскости позволяет определить положение в плане и вертикальность конструкций методом бокового нивелирования. При этом обеспечивается непрерывный геодезический контроль положения монтируемого элемента, а наличие видимых линий и плоскостей, образуемых лучом и его разверткой, позволяет более точно вести сборку конструкций.

Точность измерений при работе с лазерными приборами в значительной степени зависит от диаметра пучка излучения, который изменяется в зависимости от расстояния его распространения. В зависимости от расстояния меняется и четкость его контуров.

Однако существующие способы выверки конструкций в вертикальной плоскости имеют ряд недостатков. Так, к примеру, при монтаже металлических резервуаров на объекте «Новая металлургия» фирма ТОО «УКМФ» Имсталькон», производила выверку в вертикальной плоскости, необходимо было использовать специальные марки и производить дополнительные расчеты. Для выверки скользящей опалубки, колонн и стеновых панелей используют несколько теодолитов, в том числе с вертикальной разверткой.

Предлагаемый способ выверки конструкций в вертикальной плоскости позволяет использовать только один лазерный теодолит с двумя визирами.

Прибор состоит из двух визиров, которые проецируют на рабочей поверхности одно световое пятно в вертикальной проектной плоскости. Для повышения качества выверки необходимо иметь две точки выверки (См. патенты №614 и №615-устройство для контроля формы и расположения плоских поверхностей). Для этого лазерный теодолит, закрепленный на штативе, необходимо устанавливать на строительной площадке с хорошим кругозором (круговым обзором), чтобы с одной стоянки обеспечивать максимальное количество измерений.

Сущность способа состоит в том, чтобы задать вертикальное перемещение световой точки O_1 в пространстве (рис. 1). Для этого необходимо, чтобы при перемещении визиров на определенный угол наклона в вертикальной плоскости (α_v), осуществлялся поворот визиров в горизонтальной плоскости на определенный угол (β_r). Поворот визиров осуществляется при вращении микрометрических винтов, при этом оба визира поворачиваются синхронно благодаря специальной червячной шестерне. Пересечение лучей дает в пространстве вертикальную прямую.

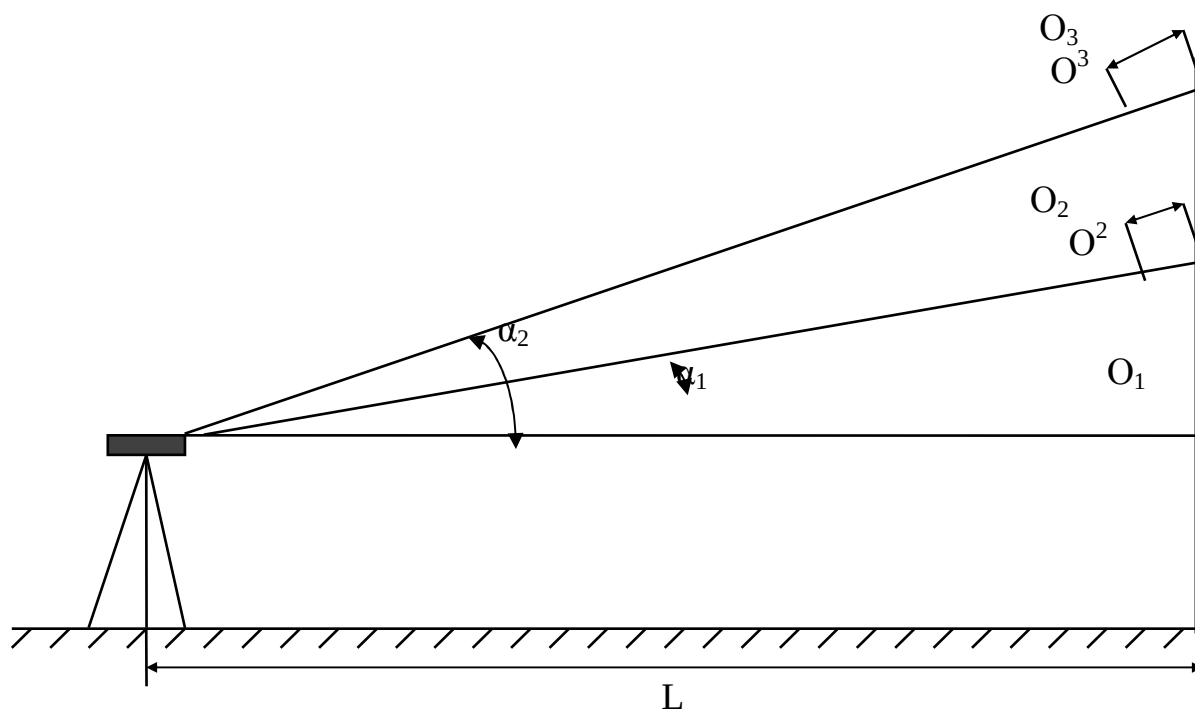


Рис. 1. а) перемещение точки O_1 в вертикальной плоскости при повороте визиров на угол $\alpha_{\text{в}}$. Где O_2, O_3 - необходимые положения точки при повороте визиров, для выверки конструкций в вертикальной плоскости; O^2, O^3 - стандартные положения точки при повороте визиров; L - рабочее расстояние до монтируемых конструкций.

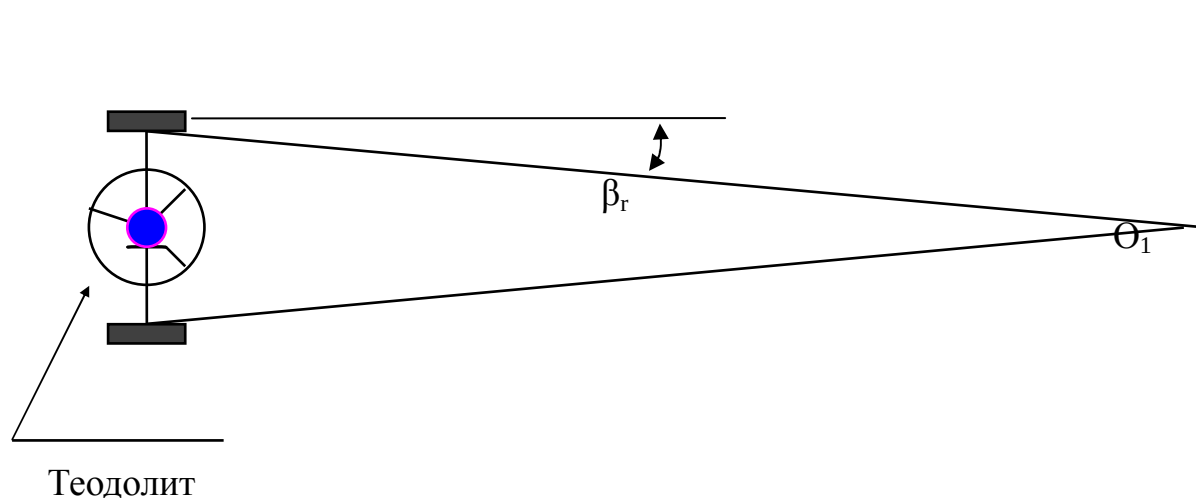


Рис. 2. б) необходимое положение точки O_1 в горизонтальной плоскости при повороте визиров на угол $\beta_{\text{г}}$.

Предлагаемая методика позволяет монтажнику самому визуально наблюдать луч и производить выверку непосредственно “под точку” путем рихтовки конструкций специальными монтажными инструментами, что существенно повышает скорость выверки конструкций при монтаже.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольцев А.Г. Тимошин В.К. Устройство для контроля формы и расположения плоских поверхностей. [Патент №614].
2. Устройство для контроля формы и расположения плоских поверхностей. [Патент №615].

© К.Б. Хасенов, А.Г. Гольцев, О.Д. Салтышев, 2012

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В УСТЬ-КАМЕНОГОРСКЕ

Юлия Дмитриевна Гусаренко

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, 070000, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19, старший преподаватель кафедры геодезии, землеустройства и кадастра, тел. (7232)54-07-76, e-mail: gusarulka@list.ru

Статья рассматривает опыт применения технологии наземного лазерного сканирования территории г. Усть-Каменогорска и возможности дальнейшего использования полученной 3D-модели.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, 3D-модель, кадастр.

APPLICATION OF TECHNOLOGY OF LAND LASER SCANNING IN UST- KAMENOGORSK

Julia D. Gusarenko

East Kazakhstan state technical university of D. Serikbaev, 19 Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, 070000, senior teacher, department of geodesy, land management and cadastre, tel. (7232)54-07-76, e-mail: gusarulka@list.ru

Article considers experience of application of technology of land laser scanning of territory of Ust-Kamenogorsk and possibility of further use of the received 3D-model.

Key word: land laser scanning, 3D-model, cadastre.

Интеграция цифровой техники сбора данных, геодезических и фотограмметрических технологий привела к появлению принципиально новых приборов для сбора пространственной информации о местности - систем наземной лазерной локации (наземных лазерных сканеров).

Принцип работы лазерного сканера аналогичен принципу работы электронного тахеометра и заключается в измерении времени прохождения лазерного луча от излучателя до отражающей поверхности и обратно до приёмника. Путём деления этого времени на скорость распространения лазерного луча определяется расстояние до объекта.

Сущность наземного лазерного сканирования заключается в измерении с высокой скоростью расстояний от сканера до точек объекта и регистрации соответствующих направлений (вертикальных и горизонтальных углов). При этом измерения происходят со скоростью до нескольких тысяч точек в секунду. Плотность сканирования зависит от дальности и может достигать десятых долей миллиметра. Принцип тотальной съёмки объекта, а не его отдельных точек, характеризует наземное лазерное сканирование как съёмочную систему, результатом работы которой является трёхмерное изображение, так называемый скан.

Изображения, получаемые при наземном лазерном сканировании, обычно несут чрезвычайно большой объём информации, являющийся в ряде случаев избыточным. Во-первых, такая информация обладает статистической избыточностью, заключающейся в том, что соседние элементы изображения друг друга повторяют. Во-вторых, изображения обладают психовизуальной избыточностью, т.е. часть информации на получаемых сканах может быть исключена без последствий для восприятия их человеком. Другой тип избыточности сканов определяется их «семантической» природой, позволяющей при обработке изображения учитывать особенности организации реального мира.

Именно свойства избыточности позволяют говорить о полной автоматизации процесса сбора информации об объекте. Помимо высокой степени автоматизации, наземное лазерное сканирование обладает также следующими достоинствами по отношению к другим способам получения пространственной информации:

1. Возможностью определения пространственных координат точек объекта в полевых условиях (в момент сканирования измеряются дальность, вертикальный и горизонтальный углы, по которым вычисляются координаты X, Y, Z точек).
2. Трёхмерной визуализацией в режиме реального времени, позволяющей на этапе производства полевых работ определить «мёртвые» зоны.
3. Неразрушающим методом получения информации.
4. Отсутствием необходимости обеспечения сканирования точек объекта с двух центров проектирования (стояния), в отличие от фотограмметрического способа.
5. Высокой точностью измерений.
6. Принцип дистанционного получения информации обеспечивает безопасность исполнителя при съёмке труднодоступных и опасных районов.
7. Высокой производительностью. Наиболее важным достоинством применения наземного лазерного сканирования является сокращение полевых работ при создании цифровых моделей объектов, следовательно, данная технология более экономически выгодна по сравнению с другими.
8. Работы можно выполнять при любых условиях освещения, т.е. днём и ночью, т.к. сканеры являются активными съёмочными системами.
9. Высокой степенью детализации.
10. Многоцелевым использованием результатов лазерного сканирования.

Наземное лазерное сканирование используется при съёмках и построении моделей рельефа и местности на локальные территории, где применение воздушной локации не оправдано по экономическим соображениям, либо необходимо отразить все микроформы и сложные участки рельефа. Лазерное сканирование позволяет зафиксировать абсолютно все формы рельефа, присутствующие в зоне съёмки, и в процессе постобработки уточнить необходимость отображения того или иного элемента.

Материальные затраты по сбору данных и моделированию объекта методами трёхмерного наземного лазерного сканирования на небольших участках и объектах сопоставимы с традиционными методами съёмки, а на участках большой площади или протяжённости – существенно ниже. Даже при сопоставимых расходах на съёмку, полнота и точность результатов наземного лазерного сканирования позволяют избежать дополнительных расходов на этапах проектирования, строительства и эксплуатации объекта.

В настоящее время разработкой приборов для трёхмерного лазерного сканирования занимается множество фирм: широко известные Trimble (США) и Leica Geosystems (Швейцария), а также Riegl (Австрия), I-Site (Австралия), Zoller + Frohlich (Германия) и др. Все эти фирмы выпускают сканеры для различных целей. Задачи, решаемые конкретной моделью наземного лазерного сканера, определяются его техническими характеристиками [1].

В г. Усть-Каменогорске первым опытом применения технологии наземного лазерного сканирования послужила съёмка дорожного перекрёстка Набережной им. Е.П. Славского и проспекта Ауэзова (район магазина «Прогресс») лазерным сканером Leica HDS 4500, по результатам которой была создана трёхмерная векторная модель данного участка в программном продукте Cyclone.

Выполненные работы по съёмке и обработке данных позволяют сделать вывод о том, что основным преимуществом лазерного сканирования по сравнению с традиционными методами тахеометрической и даже спутниковой съёмок является очень высокая производительность.

Опыт показывает, что наземное лазерное сканирование можно использовать как для целей картографирования малозастроенной местности, так и для территорий с высокой степенью загруженности объектами.

Бесспорным преимуществом является то, что основная нагрузка при крупномасштабном картографировании местности по данным наземного лазерного сканирования переносится на камеральную работу. При этом процесс полевых измерений сокращается в несколько раз, а материалы, получаемые при лазерном сканировании, несут более полную информацию об объекте съёмки.

В будущем, когда будет отсканирована вся территория города, созданная, таким образом, 3D-модель позволит:

- Вести 3D-кадастр территории г. Усть-Каменогорска;
- Создавать компьютерные игры разного жанра;
- Осуществлять виртуальный тур по городу как коренным жителям города, так и туристам и гостям города;
- Осуществлять компьютерное моделирование при решении градостроительных вопросов, касающихся будущей планировки и застройки города и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наземное лазерное сканирование: монография. /Под ред. В.А. Середовича, А.В. Комиссарова, Д.В. Комиссарова, Т.А. Широковой. - Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 7 – 8, 25 - 33.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДОРОГ И СОПУТСТВУЮЩЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ОПЫТА ПРОИЗВЕДЁННЫХ РАБОТ НА УЧАСТКАХ ОКТЯБРЬСКОЙ, РЯЗАНСКОЙ, СМОЛЕНСКОЙ И БРЯНСКОЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Наталья Сергеевна Ковач

Научно-исследовательский и проектный институт по строительству и эксплуатации объектов топливно-энергетического комплекса, 105005, г. Москва, набережная Академика Туполева, д.15, корп.17, заместитель начальника управления комплексных инженерных изысканий, тел. (499) 995-04-92 доб. 555, e-mail: NKovach@nipistroytek.ru

Иван Викторович Клименок

Научно-исследовательский и проектный институт по строительству и эксплуатации объектов топливно-энергетического комплекса, 105005, г. Москва, набережная Академика Туполева, д.15, корп.17, инженер-геодезист инженерно-геодезического отдела управления комплексных инженерных изысканий, тел. (499) 995-04-92, e-mail: IKlimenok@nipistroytek.ru

Мобильное лазерное сканирование (МЛС), как метод получения геопространственных данных, особенно актуален для российских масштабов. Актуальность данного метода продиктована необходимостью получения и обновления большого объёма высокоточных данных в сжатые сроки. В этом заинтересованы как представители проектных организаций, так и службы эксплуатации железных дорог (РЖД). Так же нельзя упускать из виду и то, что железные дороги (ЖД) являются объектом стратегического значения и перспективным направлением развития. В статье описывается опыт применения МЛС при создании 3D модели и мониторинга состояния ЖД и прилегающей инфраструктуры, рассматривается технология проведения работ.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование, железные дороги, 3D моделирование, топографические планы.

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF MOBILE LASER SCANNING FOR MONITORING OF ROADS AND AN ACCOMPANYING INFRASTRUCTURE ON THE BASIS OF EXPERIENCE OF THE MADE WORKS ON SITES OF THE OCTOBER, RYAZAN, SMOLENSK AND BRYANSK RAILWAY

Natalya S. Kovach

Deputy head of complex engineering surveying department, Research and Designing institute for construction and maintenance of fuel-energy complex units, 15/17 Akademika Tupoleva, 105005, Moscow, phone: (499) 995-04-92, e-mail: NKovach@nipistroytek.ru

Ivan V. Klimenok

Geodetic engineer, complex engineering surveying department, Research and Designing institute for construction and maintenance of fuel-energy complex units, 15/17 Akademika Tupoleva, 105005, Moscow, phone: (499) 995-04-92, e-mail: IKlimenok@nipistroytek.ru

Mobile laser scanning (MLS), as a method of reception of the geospatial data, especially actual for the Russian scales. The urgency of the given method is dictated by necessity of reception and updating of great volume of the high-precision data for deadlines. In it are interested both representatives of the design organizations, and services, operation of the railways (Russian

Railway). As it is impossible to lose sight and that the railways are object of strategic value and a perspective direction of development. In article experience of application MLS at creation 3D model and monitoring of a condition of the railways and an adjoining infrastructure is described, the technology of work is considered.

Key words: mobile laser scanning application for roads and their infrastructure monitoring based on the experience of the works at Oktyabrskaya, Ryazanskaya, Smolenskaya and Bryanskaya railways sections

Использование современного оборудования и инновационных технологий открывают новые возможности для решения разнообразных задач на железной дороге. Так, немаловажна высокая детальность данных, получаемая не только при съёмке простых, но и в случае многоуровневых комплексных объектов. К примеру, - контактная сеть на крупных железнодорожных станциях, где получение необходимых данных с требуемой точностью будет чрезвычайно сложно. Подобные задачи с лёгкостью решаются методом мобильного лазерного сканирования (МЛС), который позволяет за короткий промежуток времени получить высоко детальную трехмерную информацию обо всех объектах, находящихся в зоне видимости сканирующей системы с точностью на уровне нескольких сантиметров и плотностью - около 3000 точек на m^2 (при скорости съемки 60 км\ч).



Рис. 1. Автономный дизельный вагон

В третьем квартале 2011 года специалисты ООО «НИПИСтройТЭК» выполнили полевые работы для компании ЗАО «ИнтехГеоТранс» (ОАО РЖД) по МЛС четырех направлений железных дорог: Октябрьское, Рязанское, Смоленское и Брянское, общей протяжённостью 1400 км. Съёмка была выполнена за 11 рабочих дней в прямом и обратном направлениях со скоростью 60-70 км/ч. Работы выполнялись системой МЛС, установленной на крыше

железнодорожной автомотрисы (автономный вагон с дизельным двигателем) (рис.1). Для обеспечения получения высокой точности данных по пути следования были установлены базовые GNSS (ГНСС) станции. Они размещались каждые 20 км на заранее заложенных заказчиком опорных пунктах. На этапе сбора данных была использована система МЛС - Riegl VMX-250, с помощью которой возможно выполнять съемку с внутренней точностью 10 мм. Совместно со сканированием система позволяет выполнять фотосъемку территории объекта при помощи 4-х широкоугольных фотокамер, с частотой съёмки до 12-ти кадров в секунду. Данные фотокамер позволяют значительно с установленной системой МЛС улучшить восприятие объектов, анализировать их характеристики, присваивать истинные цвета точкам и атрибутику объектам. Благодаря наличию автоматической коррекции яркости фотосъемки, водонепроницаемости системы и диапазону сканирования, имеется возможность выполнять съемку при неблагоприятных погодных условиях и в любое время суток, даже ночью при наличии искусственного освещения на местности. Благодаря компактности и удобной конструкции крепления система МЛС быстро устанавливается на любые виды транспортных средств: автомобиль, железнодорожные поезда\вагоны, катер или паром.

Неоспоримым преимуществом использованной Riegl VMX - 250 является конструктивная особенность размещения всех компонентов относительно друг друга на одной жестко закрепленной платформе, что исключает раскалибровку при эксплуатации и монтаже. Также отсутствует этап определения калибровочных параметров для каждого проекта, что в свою очередь повышает точность съемки и экономит время обработки информации.

После выполнения съемки и обработки данных МЛС был проведён контроль, при котором использовались реперные объекты, закрепленные в характерных точках вдоль железной дороги. Контроль данных производился путем совмещения уравненного облака точек лазерного отражения (ТЛО) с реперными объектами. В результате получены следующие расхождения данных МЛС на реперных объектах: СКО планового и высотного положения ≈ 5 см.

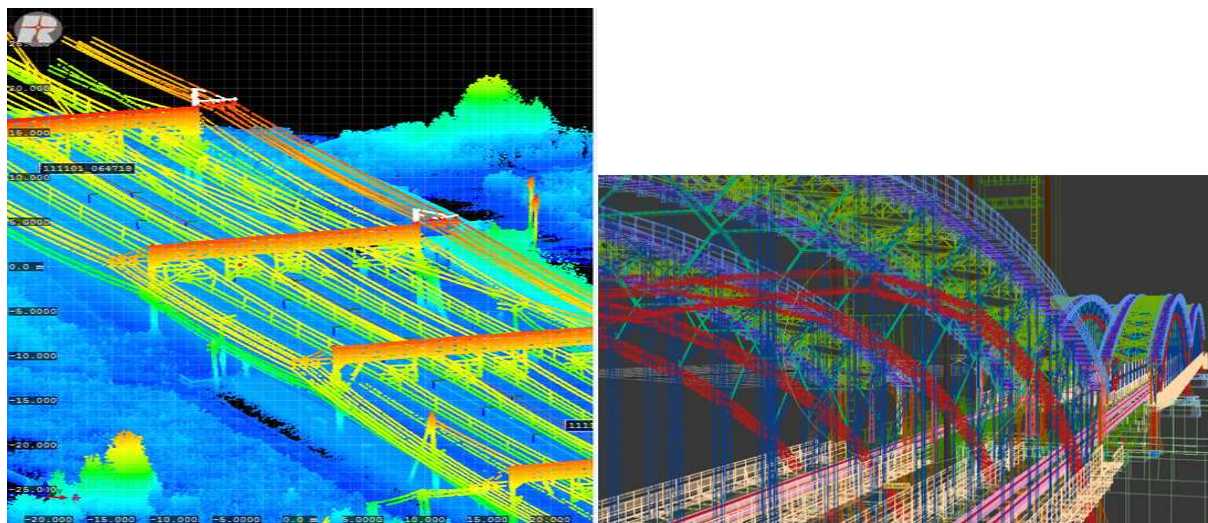


Рис. 2. Точки лазерных отражений (ТЛО)

В результате выполнения мобильной лазерной съемки получается следующий набор данных:

- ТЛО (рис.2);
- Геопривязанные фотографии;
- Траектории движения сканирующей системы;
- Данные GNSS наблюдений на базовых станциях.

В результате обработки данных создаются:

- 3D модель местности в формате AutoCAD и ArcGIS с занесением в базу данных атрибутивных характеристик;
- Цифровые модели объектов инфраструктуры железных дорог (рис.3);
- Цифровые модели рельефа в формате ESRI GRID и ASCII;
- Топографические планы масштаба 1:1000.

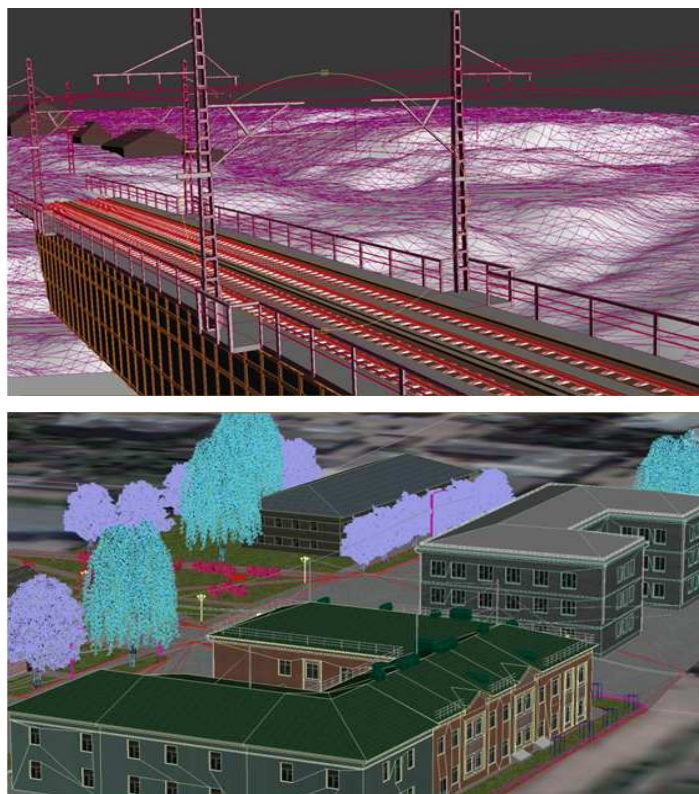


Рис. 3. Примеры 3D моделей и цифровых моделей рельефа (ЦМР)

При выполнении обработки данных в ООО «НИПИСтройТЭК» особое внимание было уделено автоматизации производственных процессов. Для этого программистами компании создан комплекс программных средств, позволяющий с максимальной точностью и автоматизацией выполнять трехмерную обработку данных лазерного сканирования. Помимо этого на производстве применяются самые последние программные разработки в области цифровой картографии, САПР и ГИС от известных производителей Autodesk, Bentley, TechNet, ESRI, RIEGL, InnovMetric, TerraSolid и др.

Отдельно следует отметить программный продукт SiRailScan разработки немецкой компании TechNet, позволяющий в автоматическом режиме по облаку точек лазерного отражения проверять габариты железнодорожных путей и формировать подробные отчеты о выявленных нарушениях. В дальнейшем данные отчеты могут быть использованы при реконструкции и ремонтных работах на железной дороге. Появление на мировом рынке подобных программных продуктов существенно повышает эффективность применения лазерного сканирования в железнодорожной отрасли.

По результатам обработки данных будут решать следующие задачи:

- Создание комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ).
- Построение продольных и поперечных профилей.
- Планирование и расчёт траекторий движения ЖД транспорта.
- Анализ параметров объектов инфраструктуры железных дорог и сопоставление их с нормативными значениями. Выявление участков на железнодорожном полотне и балластной призме требующих ремонта или реконструкции.
- Определение габаритов объектов инфраструктуры вдоль железнодорожного пути и вычисление критически опасных значений (определение провиса проводов контактной сети и близ висящих ЛЭП, деформации объектов инфраструктуры ЖД, обвалов земельного полотна).
- Инвентаризация объектов инфраструктуры ЖД транспорта.

Для всестороннего изучения объектов железной дороги, в т.ч. объектов ИССО (мосты, трубы под ЖД, станции и др.), а также для устранения "теневых" зон, неизбежно возникающих по пути следования сканирующей системы, данные МЛС были дополнены данными воздушного лазерного сканирования (ВЛС), аэрофотосъемки и наземного лазерного сканирования (НЛС).

Специалисты ООО «НИПИСтройТЭК» выполнили комплекс работ по совмещению данных мобильного лазерного сканирования с данными других видов съемки. Первоначальное совмещение данных осуществлялось по результатам обработки траекторных данных и GNSS-наблюдений на базовых станциях, полученных в ходе выполнения аэрофотосъемки, ВЛС и МЛС. На участках перекрытий нескольких видов данных на местности были закреплены контрольные марки, заранее привязанные к пунктам опорной сети с точностью 1-2 см. Во время выполнения аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования базовые станции устанавливались на тех же местах, которые использовались при съемке МЛС. Данный метод позволил повысить точность получаемых данных. Затем, для точного совмещения всех видов данных, применялись связующие точки, выбранные в зонах перекрытия данных. В качестве исходной информации для набора связующих точек выступали данные ТЛО МЛС. Для каждой точки стояния наземного сканера (сканпозиции) выбиралось не менее 5 связующих точек и не менее 3 контрольных заранее

замаркированных на местности. Для совмещения данных аэрофотосъемки и воздушного сканирования с данными МЛС использовалось не менее 3 связующих и не менее 1 контрольной точки на пог.км. В качестве контрольных точек, в этом случае выступали четко распознаваемые по данным ВЛС и МЛС углы строений (будки, платформы и др.) и разнообразных конструкций (ограждения, концы металлических балок и др.). В результате, абсолютная точность совмещения данных разных видов съемки с данными Мобильного сканирования составила: для данных аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования ≈ 5 см.; для данных наземного лазерного сканирования ≈ 3 см.

В настоящее время, создается единая ГИС система, в которой будет осуществлена интеграция ТЛО, 3D моделей и топопланов ЖД с базами данных. Одним из её несомненных преимуществ является ясность картины, достигаемая за счет работы с данными в трехмерном пространстве. Это позволит осуществлять оперативное проектирование графиков движения поездов, проектирование реконструкции железнодорожных путей, планирование и проведение инвентаризации, расчёт геометрических параметров объектов ЖД инфраструктуры и выполнение множества других насущных задач.

© Н.С. Ковач, И.В. Клименок, 2012

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ СКАНЕРНЫМИ СТАНЦИЯМИ ПРИ НАЗЕМНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СЪЕМКЕ

Александр Владимирович Комиссаров

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, и.о. заведующего кафедрой фотограмметрии и ДЗ, тел. (913) 904-73-96, e-mail: avkom82@mail.ru

Тамара Антоновна Широкова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, профессор кафедры фотограмметрии и ДЗ, тел. (383) 344-39-75, e-mail: dept.asp@ssga.ru

Елена Вячеславна Романович

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, инженер Регионального центра лазерного сканирования, тел. (383) 361-00-66, e-mail: e.v.romanovich@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы обоснования выбора расстояния между сканерными станциями при съемке объектов с целью создания трехмерных моделей и топографических планов.

Ключевые слова: наземный лазерный сканер, расстояние между сканерными станциями, угол падения лазерного луча.

JUSTIFICATION OF CHOOSING DISTANCE BETWEEN SCANNING STATIONS IN GROUND-BASED LASER SURVEY

Aleksandr V. Komissarov

Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Russia, Novosibirsk, 630108, PhD, head of the department of photogrammetry and remote sensing, tel. (913) 904-73-96, e-mail: avkom82@mail.ru

Tamara A. Shirokova

Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Russia, Novosibirsk, 630108, PhD, professor of the department of photogrammetry and remote sensing, tel. (383) 344-39-75, e-mail: dept.asp@ssga.ru avkom82@mail.ru

Elena V. Romanovich

Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., Russia, Novosibirsk, 630108, engineer of the Regional centre of terrestrial laser scanning, tel. (383) 361-00-66, e-mail: e.v.romanovich@mail.ru

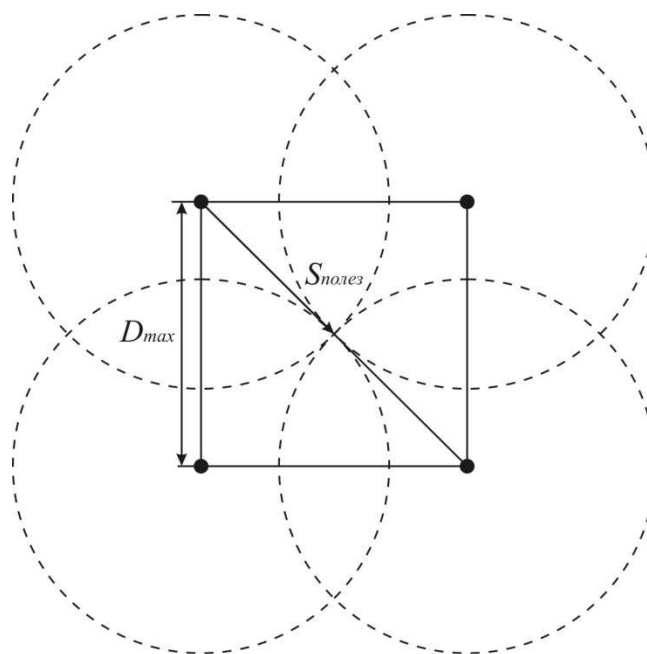
The article is devoted to the problems of choosing distance between scanning stations during terrestrial laser scanning for the purpose of 3D-models of objects and topographical maps creation.

Key words: terrestrial laser scanner, distance between scanning stations, laser beam angle.

В настоящее время наземное лазерное сканирование (НЛС) является одним из эффективных методов решения различных инженерно-геодезических задач. Однако этот метод съемки также имеет свои недостатки, одним из которых является возникновение «мертвых зон». Под «мертвой зоной» понимается область, которая находится в пределах поля зрения и дальности действия сканера, но закрыта близ расположенными объектами, поэтому не отображается на скане, либо область, образуемая вблизи точки стояния сканера из-за ограниченной технической возможности блока вертикальной развертки лазерного луча в приборе. Для устранения «мертвых зон» объект сканируют с нескольких точек. При НЛС больших по площади территорий из-за ограниченности дальности действия сканера также требуется проведение съемки с нескольких сканерных позиций.

Для сокращения объема полевых работ, времени и трудозатрат на их выполнение важно, чтобы сканируемые объекты полностью отображались массивом точек лазерных отражений с наименьшего количества станций. Следовательно, перед съемкой необходимо производить предварительный расчет расстояний между точками стояния сканера, обеспечивающих необходимую детальность результатов сканирования и экономичность работ.

Заданная детальность сканерной съемки будет получена при определенном отстоянии сканера от объекта, равном полезной дальности действия прибора ($S_{\text{полез}}$). Геометрическая сущность зависимости расстояния между точками стояния сканера и полезной дальностью отображена на рисунке.



- - места расположения сканерных станций
- - область действия сканера

Рис. Зависимость расстояния между сканерными станциями от полезной дальности действия прибора

На основе рис. 1 можно получить математическую зависимость максимального расстояния между точками стояния сканера (D_{max}) от полезной дальности действия прибора

$$1/2 D_{max} = \frac{\sqrt{2}}{2} S_{полез}. \quad (1)$$

Для запаса надежности результатов съемки величину D_{max} рекомендуется уменьшать на 10% [1, 2], тогда формула расчета расстояния между сканерными станциями для выполнения НЛС примет вид:

$$D_{max} = 1,27 S_{полез}. \quad (2)$$

С физической точки зрения полезная дальность действия, используемая в формулах (1) и (2), ограничивается минимальным углом падения лазерного луча β на сканируемый объект. Это объясняется тем, что диффузность отражения лазерного луча от большинства объектов съемки сохраняется при определенном угле β . При величине данного угла менее минимального объекты начинают переотражать лазерные импульсы, вследствие чего не обеспечиваются требуемая детальность результатов сканирования и качество дешифрирования сканов.

Таким образом, полезная дальность может быть рассчитана как функция от угла β и высоты стояния сканера h :

$$S_{полез} = h \operatorname{ctg} \beta. \quad (3)$$

Для практического использования выражения (3) встает задача определения предельного значения β . Для этих целей были выполнены исследования, суть которых заключалась в следующем. По данным наземной лазерной съемки ОАО «Сургутнефтегаз» (120 га), территории г. Томска (310 га), ОАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз» (540 га), ОАО «Томскнефть» (6 га), выполненной с использованием сканеров Riegl LMS-Z210, Riegl LMS-Z360, Riegl LMS-Z390, Riegl LMS-Z420i, Riegl VZ-400, Leica ScanStation, Leica ScanStation 2, Leica C10, Mensi GS200, было выбрано более 500 сканерных станций, разрешение сканирования с которых отличалось от оптимальных параметров не более чем на 10 %. Для каждой сканерной станции определены высота стояния сканера (h_i) и максимальное удаление ($S_{полез}$) прибора от объектов, детали которых уверенно дешифрировались на полученных сканах. Затем с использованием выражения (3) вычислен угол падения лазерного луча β_i . В таблице показана часть результатов исследований, а также приведены среднее значение угла $\beta_{ср}$, и среднее квадратическое отклонение величин $S_{полез}$, вычисленных через $\beta_{ср}$ по формуле (3), от $S_{полез}$, полученных по данным сканерной съемки на основе всех выполненных экспериментов.

Таблица. Зависимость полезной дальности действия от высоты стояния сканера и угла падения лазерного луча на подстилающую поверхность

h_i , м	$S_{\text{полез}}$, м	$\text{ctg } \beta$	β , °	$h_i \text{ ctg } \beta_{\text{ср}}$, м	$S_{\text{полез}} - h_i \text{ ctg } \beta_{\text{ср}}$, м
2,10	40,04	1,51834	3,00527	38,70	-1,305
2,80	52,01	1,51700	3,08218	51,59	-0,406
3,50	60,02	1,51253	3,33847	64,49	4,492
3,63	65,72	1,51562	3,16129	66,88	1,164
2,25	40,91	1,51586	3,14772	41,45	0,545
2,31	41,61	1,51528	3,18071	42,61	0,997
3,50	63,93	1,51618	3,12960	64,41	0,478
2,08	40,03	1,51888	2,97444	38,33	-1,704
2,11	40,25	1,51842	3,00113	38,88	-1,366
$\beta_{\text{ср}}$			3,10641	Ср. кв. отклонение	1,666

Из таблицы следует, что замена углов β_i на $\beta_{\text{ср}}$ приводит к погрешности определения $S_{\text{полез}}$ не более 4%. Это позволяет сделать вывод, что полученное значение $\beta_{\text{ср}}$ можно использовать в формуле (3) для расчета $S_{\text{полез}}$, на основании которого определять расстояние между сканерными станциями по формуле (2).

В том случае, если вычисленная по формуле (3) полезная дальность превышает максимальную дальность действия наземного лазерного сканера (R_{max}) при отражающей способности объектов 8 – 20 %, то в качестве $S_{\text{полез}}$ следует принимать величину, рассчитанную по формуле:

$$S_{\text{полез}} = 0,9R_{\text{max}}. \quad (4)$$

На основе экспериментальных исследований сформулированы следующие практические рекомендации по выполнению наземной лазерной съемки различных территорий при наиболее часто используемой на практике высоте стояния сканера:

- Для сканирования городских территорий расстояние между сканерными станциями следует задавать около 45 м;
- Для съемки сложных инженерных сооружений D_{max} рекомендуется принимать примерно 55 м;
- Для открытой местности (без сооружений и коммуникаций) сканерные станции предпочтительнее располагать на расстоянии 150 – 200 м, если дальность действия сканера составляет 200 м и более. В противном случае полезную дальность $S_{\text{полез}}$ следует рассчитывать по формуле (4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
2. Середович А.В. Методика создания цифровых моделей объектов нефтегазопромыслов средствами наземного лазерного сканирования: дис. ... к.т.н.: 25.00.32 / СГГА. – Новосибирск, 2007. – 165 с.

© А.В. Комиссаров, Т.А. Широкова, Е.В. Романович, 2012

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СКАНЕРОВ НА ПРИМЕРЕ АПК «СКАНПУТЬ»

Павел Михайлович Секачев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС), 630049, г. Новосибирск-49, ул. Дуси Ковальчук, 191, ведущий инженер научно-инженерного дорожного центра, тел. +7-903-902-94-97, e-mail: sekachev.p@yandex.ru

В статье рассмотрена структурная схема и особенности реализации мобильного лазерного сканера АПК «Сканпуть». Приведены результаты исследований.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование, технология сканирования, облако точек, обработка данных, трехмерная модель, геометрические параметры железной дороги.

DEVELOPMENT OF MOBILE LASER SCANNER FOR EXAMPLE HSC "SKANPUT"

Pavel M. Sekachev

Federal government budgetary institution of higher education "Siberian Transport University", 630049, city Novosibirsk, Dusi Kovalchuk street, 191, senior engineer in research engineering railway center, tel. +7-903-902-94-97, e-mail: sekachev.p@yandex.ru

The article describes the structural features of the scheme and the implementation of a mobile laser scanner HSC "Skanput". The article contains research results.

Key words: mobile laser scanning, scanning technology, cloud of points, data processing, three-dimensional model, geometric parameters of the railway.

В 2009 году перед центром НИДЦ СГУПС была поставлена задача – разработать аппаратно-программный комплекс с системой лазерного сканирования. Основное назначение комплекса – создание цифровой модели железнодорожного полотна на основе данных лазерного сканирования.

На этапе проектирования комплекса была разработана структурная схема, представленная на рис. 1.

Для построения точечной модели по результатам мобильного лазерного сканирования необходимо точно синхронизировать данные от лазерных сканеров и информацию о текущем пространственном положении всего комплекса. Для синхронизации данных был разработан протокол, который обеспечивает синхронизацию всех получаемых данных по показаниям спутниковой аппаратуры и датчика пройденного пути.

Положение комплекса определяется по данным блока пространственной ориентации (БПО) и по данным спутниковой аппаратуры позиционирования. В состав БПО входят гироскопы и акселерометры, которые фиксируют перемещение всего комплекса в пространстве относительно стартовой точки.

По результатам работы БПО можно получить точную информацию о перемещении всей системы в относительных координатах.

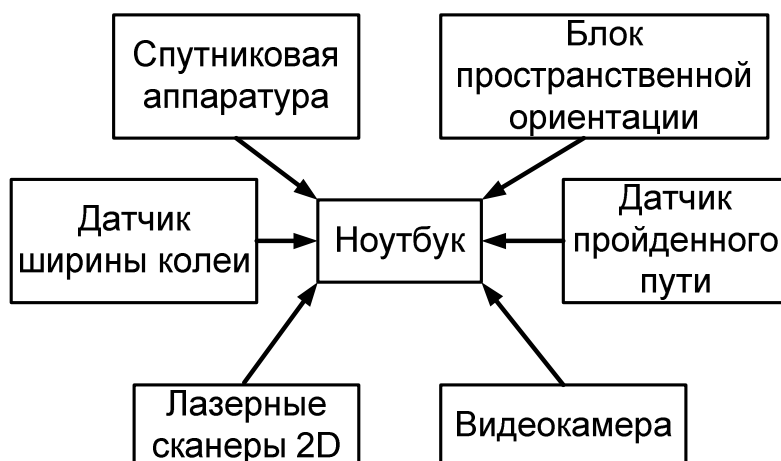


Рис. 1. Структурная схема АПК «Сканпуть»

Спутниковая аппаратура позволяет получить абсолютные координаты местоположения комплекса в пространстве. Для коррекции положения антенны спутниковой аппаратуры используются данные от БПО и от датчика ширины колеи. Если работа спутниковой аппаратуры затруднена или невозможна (съемка в тоннеле), то комплекс работает в относительной системе координат. Пройденное расстояние дополнительно контролируется по показаниям датчика пройденного пути.

Весь процесс съемки контролируется и управляется с ноутбука. На ноутбук ведется запись с видеокамеры для возможной детализации объектов при постобработке данных.

Итогом этапа проектирования стал опытный образец, который представлен на рис. 2.

При тестировании опытного образца комплекса выявились следующие проблемы:

1. Не обеспечивается однозначность сборки и разборки конструкции. Так как геометрические параметры расположения лазерных сканеров учитываются при построении точечной модели, любое их изменение оказывает непосредственное влияние на точность полученных данных.

2. Расположение лазерных сканеров над одним из рельсов не обеспечивало съемки всех необходимых элементов балластной призмы железнодорожного полотна.

3. Недостаточно точно соблюдалось требование к соосности БПО и несущей конструкции для правильного определения углов ориентирования комплекса в пространстве. Ошибки в определении величин этих углов отрицательно сказывались на точности конечных данных.

4. Определение всех значимых геометрических параметров и относительные и абсолютные координаты центров сканирования лазерных сканеров были выполнены с недостаточной точностью.

5. Имели место ошибки в математическом алгоритме расчета точечной модели.



Рис. 2. Опытный образец АПК «Сканпуть»

Результатом решения всех этих проблем стал модернизированный комплекс мобильного лазерного сканирования АПК «Сканпуть», рисунок 3.

В несущей конструкции комплекса появились дополнительные упоры и ограничители, которые позволили обеспечить однозначность сборки и разборки комплекса. Новое размещение лазерных сканеров обеспечило съемку всех необходимых элементов балластной призмы железнодорожного полотна. БПО был установлен соосно с несущей ходовой тележкой. Для уточнения всех значимых геометрических параметров был построен калибровочный полигон. После консультаций со специалистами по трансформации координат был исправлен алгоритм перехода от одной системы координат к другой.

В 2010 году АПК «Сканпуть» был окончательно завершен и введен в эксплуатацию.

Мобильный лазерный сканер АПК «Сканпуть» полностью выполняет свою основную задачу – создание точечной модели железнодорожного полотна. И имеет следующие особенности:

1. Позволяет получить точечную модель железнодорожного полотна, по которой впоследствии можно проводить измерения геометрических параметров;
2. Позволяет построить высокоточную цифровую модель пути, которая содержит все геометрические параметры железнодорожного пути;

3. Позволяет разбивать пикетаж в реальном времени с высокой точностью;
4. Осуществляет видеосъемку железнодорожного полотна с привязкой к пикетажу;
5. Вся необходимая информация о ходе работы и о состоянии комплекса выводится на экран ноутбука;
6. Для удобства оператора пройденное расстояние выводится на специальный монитор пикетных расстояний.



Рис. 3. Внешний вид АПК «Сканпуть»

Результаты испытаний опытного образца аппаратно-программного комплекса приведены в табл. 1.

Таблица 1. Погрешность определения координат по точечной модели

Номер цикла измерений	Количество измерений в одном цикле	Погрешность определения координат, м		
		X	Y	H
1	9	0.612	0.361	0.742
2	9	0.413	0.573	0.812
3	9	0.511	0.362	0.682
4	9	0.425	0.409	0.778

Результаты испытаний АПК «Сканпуть» после доработки и модернизации приведены в табл. 2.

Таблица 2. Погрешность определения координат по точечной модели

Номер цикла измерений	Количество измерений в одном цикле	Погрешность определения координат, м		
		X	Y	H
1	8	0.023	0.024	0.027
2	9	0.027	0.024	0.030
3	9	0.013	0.036	0.021
4	8	0.025	0.031	0.029

© П.М. Секачев, 2012

ПРОВЕРКА ВНУТРЕННЕГО ОЧЕРТАНИЯ ТОННЕЛЯ ПРИ ПОМОЩИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА

Екатерина Игоревна Горохова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, инженер РЦЛС СГГА, тел. (383)361-00-66, e-mail: ekaterina.gorohova@gmail.com

Инна Викторовна Алешина

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, инженер РЦЛС СГГА, тел. (383)361-00-66, e-mail: i.v.aleshina@gmail.com

Елена Вячеславна Романович

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, инженер РЦЛС СГГА, тел. (383)361-00-66, e-mail: e.v.romanovich@mail.ru

Андрей Васильевич Иванов

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ведущий инженер РЦЛС СГГА, тел. (383)361-00-66, e-mail: geoid@ngs.ru

Артем Романович Мифтафудинов

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, техник РЦЛС СГГА, тел. (383)361-00-66.

В статье описан опыт практического применения наземного лазерного сканирования для сквозной проверки внутреннего очертания тоннеля.

Ключевые слова: внутреннее очертание тоннеля, 3D – модель, поперечные сечения, точность, наземное лазерное сканирование.

TUNNEL INNER OUTLINE CONTROL BY TERRESTRIAL LASER SCANNING

Yekaterina I. Gorokhova

engineer, SSGA, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk 630008, phone: (383)361-00-66, e-mail: ekaterina.gorohova@gmail.com

Inna V. Alyoshina

engineer, SSGA, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk 630008, phone: (383)361-00-66, e-mail: i.v.aleshina@gmail.com

Elena V. Romanovich

engineer, SSGA, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk 630008, phone: (383)361-00-66, e-mail: e.v.romanovich@mail.ru

Andrey V. Ivanov

senior engineer, SSGA, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk 630008, phone: (383)361-00-66, e-mail: geoid@ngs.ru

Artyom R. Miftafudinov

technicians, SSGA, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk 630008, phone: (383)361-00-66

Practical application experience in the terrestrial laser scanning for tunnel inner outline end-to-end testing is described.

Key words: tunnel inner outline, 3D-model, cross-section, accuracy, terrestrial laser scanning.

В конце 2011 года Региональным центром лазерного сканирования выполнена инженерно-геодезическая наземная лазерная съемка с целью выполнения сквозной проверки внутреннего очертания тоннелей нечетного пути участка Агрыз-Дружинино, Горьковской железной дороги протяженностью 512,7 м и 775 м соответственно. Съемка выполнялась в пределах западного и восточного портала тоннеля.

Наземное лазерное сканирование железнодорожного тоннеля выполнялось сканером RIEGL VZ-400 с плотностью «Raportam 40». Сканерные станции устанавливались напротив ниш (среднее расстояние между нишами 30м) (рис.1).

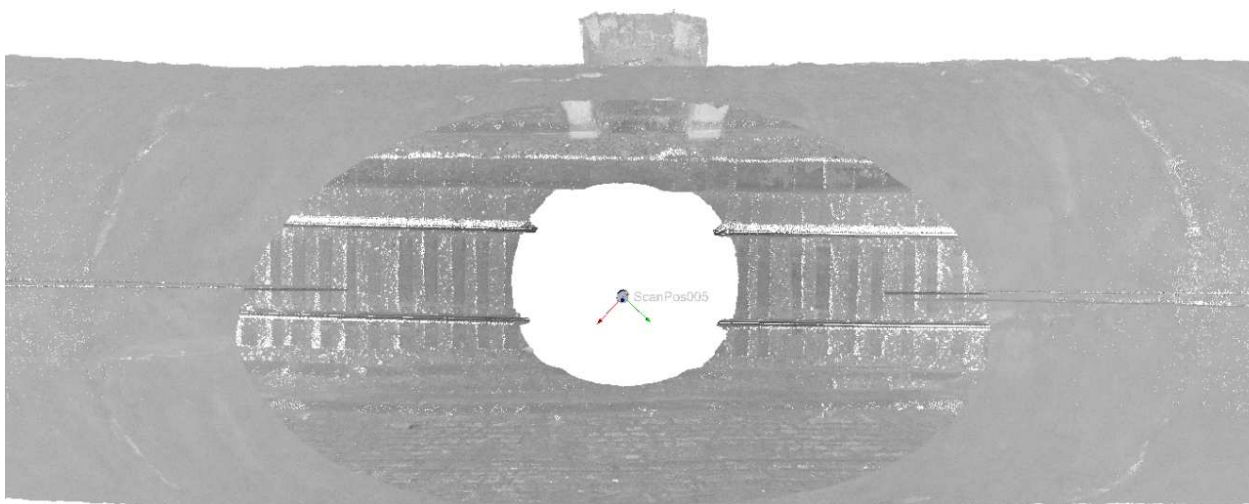


Рис. 1. Место установки сканерных станций, вид сверху

Для отображения геометрических параметров порталов и прилегающей территории было сделано две дополнительные сканерные станции (рис.2).

Для взаимной привязки сканерных станций использовались сферические марки. Они устанавливались между сканерными станциями на расстоянии, примерно, 15 метром (рис.3).

Внешнее ориентирование сканерных станций осуществлялось при помощи светоотражающей цилиндрической марки, которая устанавливалась на точки планово-высотного обоснования (ПВО). Точки ПВО были закреплены напротив ниш в виде гвоздей, забытых в шпалы железнодорожных путей, отмеченных яркой лентой и подписанных краской. Так как точки ПВО находились напротив

ниш, для сканирования светоотражающей марки, пришлось делать дополнительные сканерные станции, примерно в 6-8 метрах от нее (рис.4).

После сканирования дополнительной станции, выполнялся автоматический поиск светоотражающей марки для точного определения ее координат.

Также осуществлялись промеры лотков с помощью измерительной рулетки.

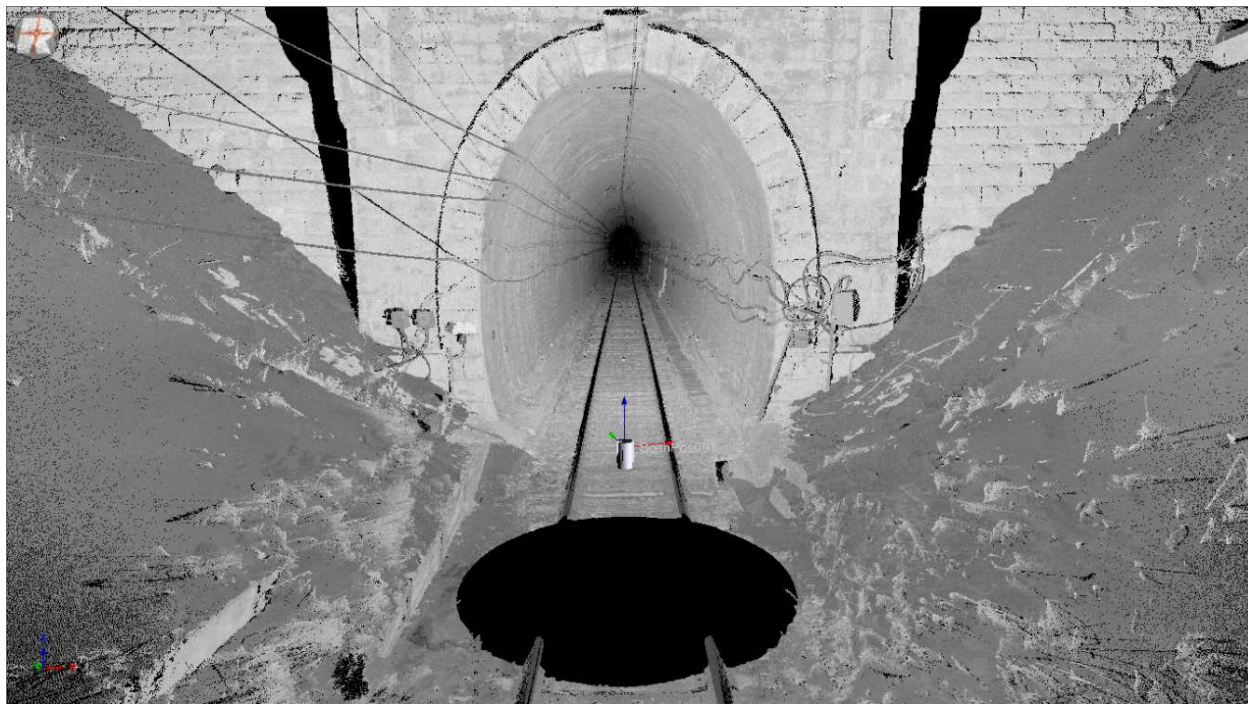


Рис. 2. Портал тоннеля



Рис. 3. Место установки сферических марок

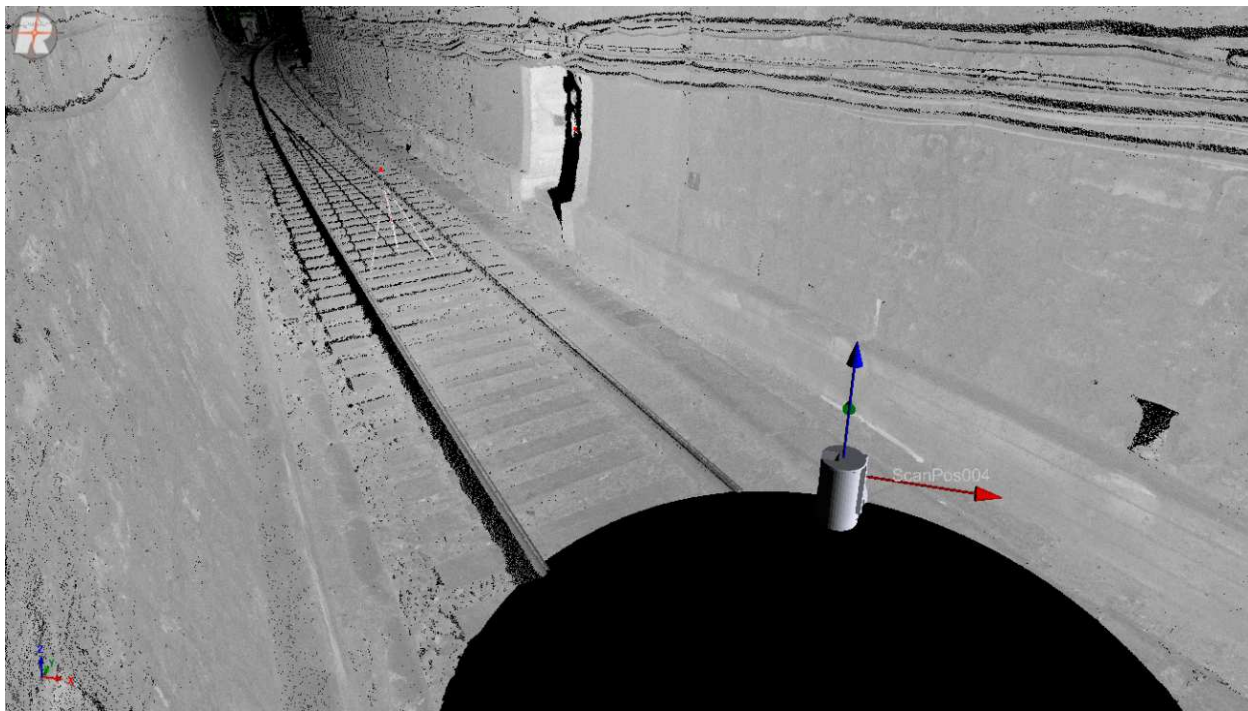


Рис. 4. Место установки светоотражающей марки и дополнительной сканерной станции

В результате съемки требовалось создать триангулированную трехмерную модель и чертежи сечений внутреннего очертания тоннеля с шагом 10 м, кроме того, сечения в местах изменения очертания и конструкции обделки, расположения ниш и камер, больших разрушений и образований наледи, также на чертежах сечений отобразить обделку тоннеля, рельсы, шпалы, кабельные полки (рис. 6). Триангулированная 3D модель внутреннего очертания тоннеля аналогично должна содержать все элементы, представленные на чертежах сечений.

Построение сечений было выполнено в ПП Cyclone, а окончательное оформление в AutoCAD, в соответствии с требованиями заказчика.

Создание чертежей внутреннего очертания тоннеля выполнялось в полуавтоматическом режиме и состояло из следующих процессов:

1. Фильтрация и разряжение точечной модели для цели формирования профилей в автоматическом режиме;
2. Построение и редактирование чертежей внутреннего очертания тоннеля.

Готовые поперечные сечения оформлялись в ПП AutoCAD по шаблону согласованному с заказчиком (рис. 5)

В процессе обработки сканерных данных для построения 3D модели внутренней обделки тоннеля требовалось сегментирование и разряжение данных в связи с большим количеством точек лазерных отражений, описывающих поверхность тоннеля. Далее каждая сегментированная часть фильтровалась от измерений, не принадлежащих поверхности внутренней обделки тоннеля (портал, провода, освещение, рельсы, шпалы и др.), а также от

шумовых измерений, возникающих при неправильном или повторном отражении сигнала. Целью данной фильтрации является отображение триангуляционной поверхностью только внутренней обделки тоннеля.

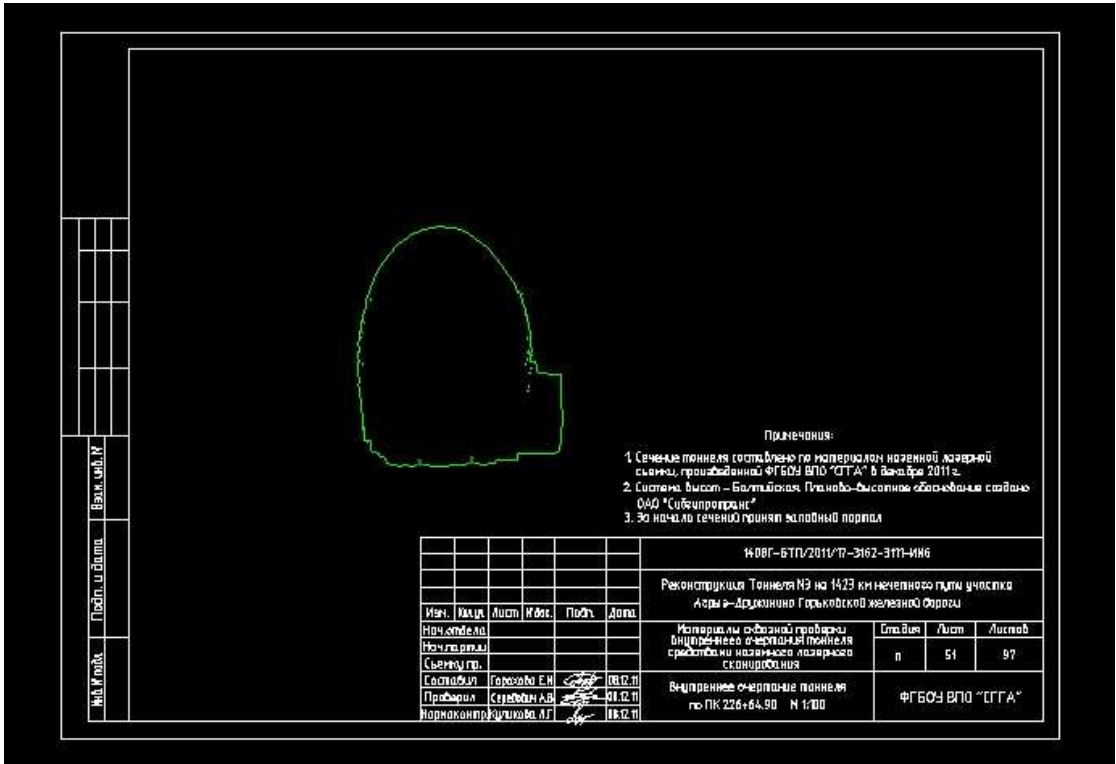


Рис. 5. Пример оформления поперечного сечения в ПП AutoCAD

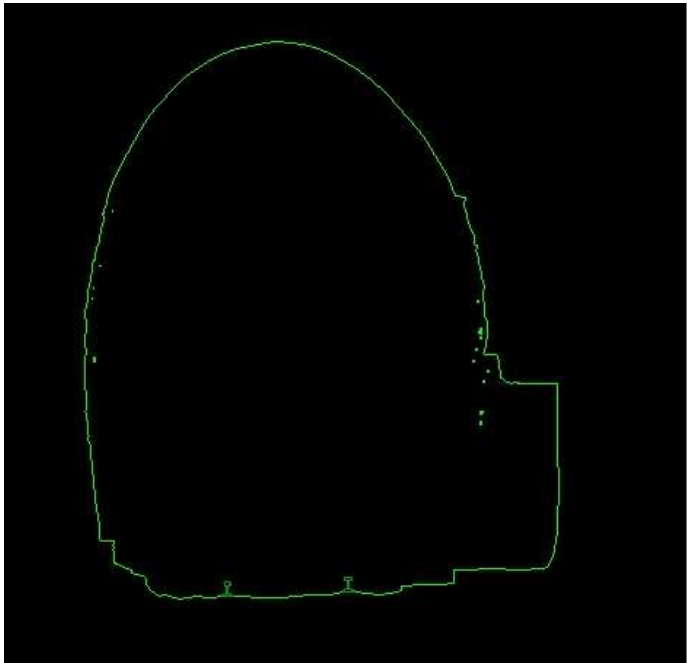


Рис. 6. Поперечное сечение внутреннего очертания тоннеля

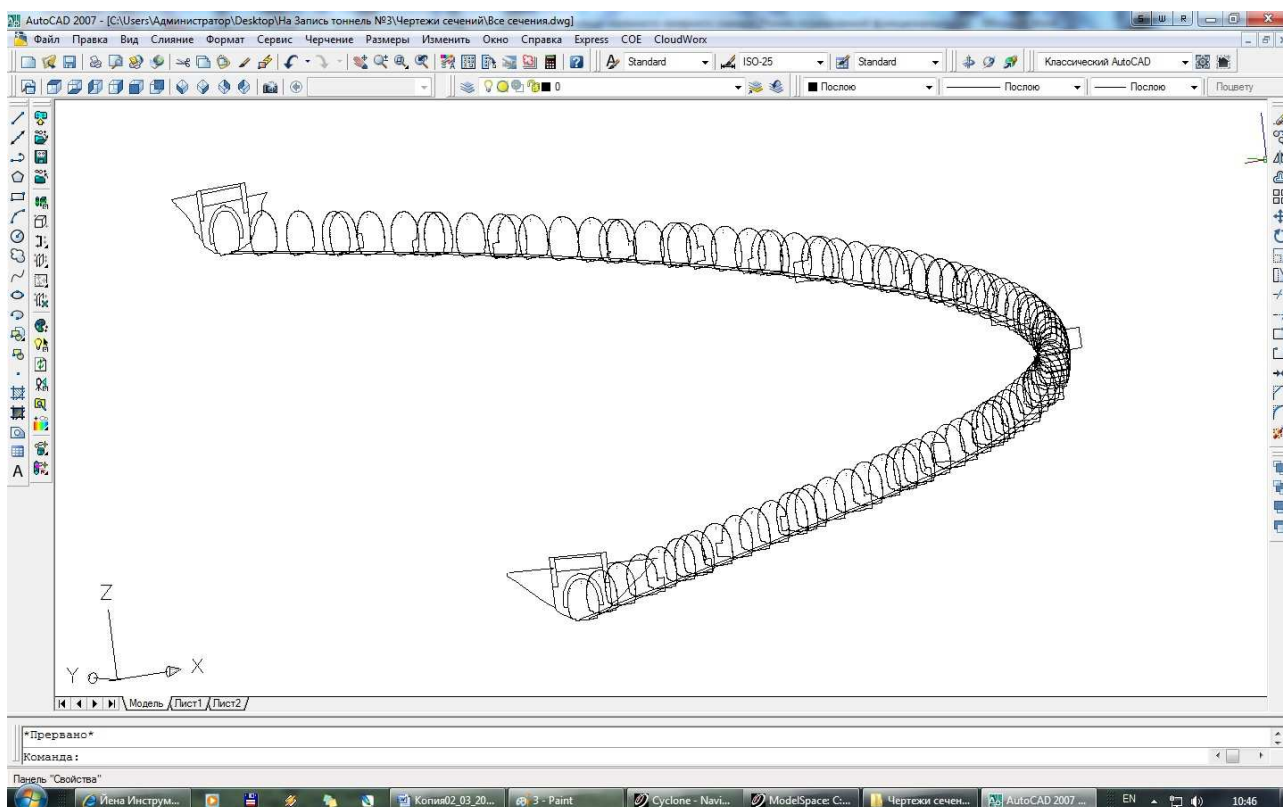


Рис. 7. Все поперечные сечения внутреннего очертания тоннеля в ПП AutoCAD

После выполнения интерактивной фильтрации сегментов, они объединялись в единую точечную модель, которая в формате *.pts экспортировалась в ПП RapidForm, где и производилось построение трехмерной модели тоннеля.

Для моделирования Mesh-поверхности внутренней обделки тоннеля, в большей степени соответствующей цилиндрической форме, в модуле «Scan», во вкладке «Build» использовалась функция «Mesh Optimization Batch Process», применяемая к отфильтрованной точечной модели, загруженной в RapidForm. Данная функция позволяет выполнить автоматическое комплексное построение трехмерной модели, которое включает следующие этапы:

- Тонкая фильтрация данных;
- Разрежение точечной модели;
- Построение поверхности тоннеля;
- Автоматическое сглаживание триангуляционной поверхности;
- Разрежение триангуляционной модели до состояния, не нарушающего общей формы тоннеля, когда могут вписаться максимально большие треугольники;
- Автоматическая максимальная заливка пропущенных и неправильных треугольников – «дырок»;
- Сгущение триангуляционной сети (уменьшение длин сторон треугольников делением одного треугольника на четыре).

Таким образом, получаем сглаженную Mesh-поверхность внутренней обделки тоннеля, передающую его основную форму. Для детализации полученной полигональной модели в имеющийся проект ПП Rapid Form подгружаются отфильтрованные, не разреженные сканерные данные – точки, принадлежащие поверхности тоннеля.

С целью корректной, более детальной передачи формы vystилающей поверхности тоннеля при помощи функции «Fit Shell to» в модуле «Polygon», вкладке «Tools» выполняется притягивание каждой вершины треугольника к точкам. Тем самым трехмерная модель, описывающая поверхность тоннеля (Mesh) получается более детальной, что автоматически делает ее более точной. Именно этот параметр готовой модели является главным для контроля деформации тоннеля.

Текстурирование модели внутренней обделки тоннеля выполнялось на основе псевдоцветов (интенсивность отраженного сигнала в черно-белом представлении), полученных наземным лазерным сканером.

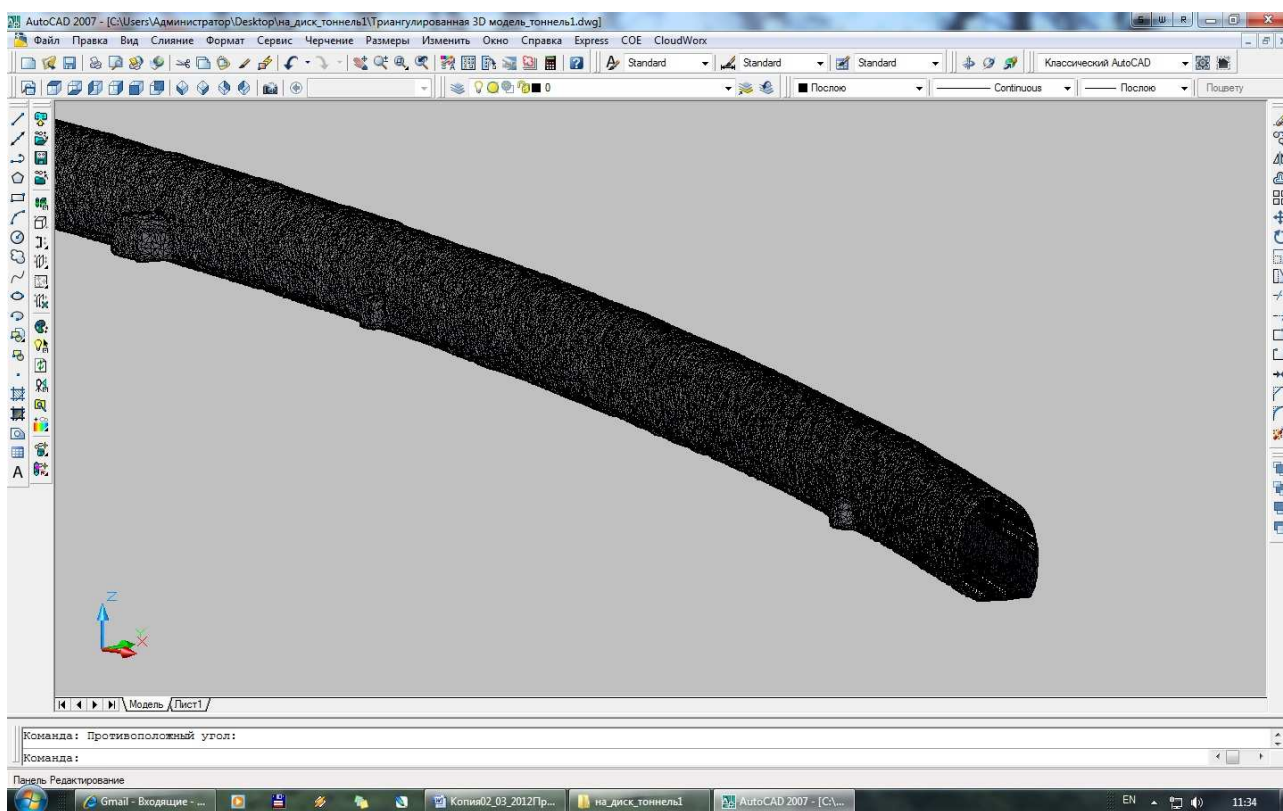


Рис. 8. Общий вид триангулированной 3D- модели тоннеля в ПП AutoCAD

После выполнения работ выполнен контроль точности. Выявленные погрешности построения 3D-модели и чертежей сечений тоннеля в плане и по высоте не превышало заданную точность в 2 см.

Трехмерные модели проводов и рельсов создавались по следующему алгоритму:

1. В ПП Cyclone создавались поперечные сечения и оси для каждого провода и рельса.

2. В ПП AutoCAD производилось выдавливание трехмерных объектов по имеющимся линиям.

На окончательном этапе построения трехмерной модели тоннеля, для соответствия ее техническому заданию, полученные модели внутренней обделки тоннеля и моделей, составляющих элементов тоннеля, экспортировались в формат Autodesk AutoCAD (расширение.dwg), где объединялись и отправлялись Заказчику.

Трехмерная модель внутреннего очертания тоннелей позволяет выполнить сквозную проверку, и определить деформацию в любой точке тоннеля, чего не позволяют выполнить чертежи сечения тоннеля, полученные через 10м.

© *Е.И. Горохова, И.В. Алешина, Е.В. Романович,
А.В. Иванов, А.Р. Мифтахудинов, 2012*

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Владимир Адольфович Середович

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, оф. 106, кандидат технических наук, профессор, проректор по инновационной деятельности, тел. (383)343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

Иван Владимирович Востров

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 8, оф. 120, аспирант, инженер-геодезист регионального центра лазерного сканирования, тел. (913)945-68-48, e-mail: i.vostrov@mail.ru

В статье рассматриваются программные продукты, которые широко используются по созданию цифровых моделей местности, их возможность поддерживать и создавать трехмерные модели, импорта облака точек, способ построения рельефа, импорта и обработка исходных данных.

Ключевые слова: импорт и обработка данных, цифровая модель рельефа, трехмерная модель.

REVIEW OF CURRENT SOFTWARE PRODUCTS FOR CREATING AND USING THREE-DIMENSIONAL MODEL FOR THE OF DESIGNING OF HIGHWAYS

Vladimir A. Seredovich

Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo, Novosibirsk 630108, k.t.n, prof., vice-rector on Innovative Activity, tel. (383)343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

Ivan V. Vostrov

Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo, Novosibirsk 630108, postgraduate student, engineer – geodesist of the regional center of laser scanning, tel. (913)945-68-48, e-mail: i.vostrov@mail.ru

The article deals with software products that are widely used to create digital terrain models, their ability to maintain and create three-dimensional model, import the point cloud, a method of constructing a relief, import and processing of raw data.

Key word: import and processing of data, digital elevation model, three-dimensional model.

Любое проектирование, планирование, реконструкция и т.д., начинается с геодезических изысканий. В наши дни широко используется сбор геодезических данных с применением электронных тахеометров (тахеометрическая съемка). С появлением новых методов сбора геодезических данных, воздушное и наземное лазерное сканирование, появилась возможность создавать трехмерные модели местности.

Создание трехмерных моделей позволяет оценить объект в режиме реально времени; выполнять дополнительные расчеты такие как: определения расстояний, габаритов; давать оценку местности и состоянию объекта изысканий и многое другое в более точном положении. Трехмерная модель отображает весь характер местности, рельефа или объекта изысканий, что позволяет осуществить планирование, проектирование, с наибольшей точностью учитывая все детали.

Система **CREDO_Mix** (развивается с 1989 г. в научно производственном объединении (НПО) Кредо-Диалог (г. Минск)) предназначена для создания и инженерного использования топографических крупномасштабных планов в виде цифровых моделей местности, а так же автоматизированного проектирования генеральных планов, транспортных сооружений; жилищно-гражданских объектов, горизонтальной и вертикальной планировок.

Система обеспечивает обработку результатов топографической съемки: импорт результатов изысканий, GPS измерений обработанных в других программных продуктах; создание, отображение, использование цифровых моделей рельефа и ситуации; проектирование трасс линейных сооружений; формирование данных для продольных и поперечных топографических профилей (разрезов) инженерных сооружений; расчет объемов работ между двумя поверхностями, экспорт цифровой модели объектов в проектирующие системы; экспорт цифровой модели местности в формате DXF (3D); создание “твердых копий” плана в листах или планшетах в формате DXF (2D).

Цифровая модель местности (ЦММ) состоит из цифровой модели рельефа (ЦМР) и цифровой модели ситуации (ЦМС).

Цифровая модель рельефа – это множество треугольных граней, построенных на точках (точки являются вершинами граней) с координатами X, Y, Z. Построение множества треугольных граней названо триангуляцией. Множество треугольников аппроксимирует участки поверхностей (естественные и спланированные участки земли, искусственные покрытия и др.).

На основе ЦМР системами CREDO решаются задачи проектирования инженерных объектов, и при этом рельеф поверхности отображается на экране, как и на топографических картах и планах: горизонталями, условными знаками обрывов и откосов и т.д.

При построении ЦМР используют структурные линии, которые однозначно определяют триангулирование участка поверхности. Каждый отрезок структурной линии, при построении ЦМР, является ребром треугольника. Структурные линии однозначно позволяют определить характерные формы рельефа: лощины (талвеги), хребты (водоразделы) и др.

Следует создавать структурные линии в тех случаях, когда нужно изменить характер рельефа так, как видит его специалист, т.е. создание цифровой модели местности по абрисам полевых журналов и др.

После создания структурных линий создается контур рельефа - участок поверхности, имеющий, по мнению пользователя, однородный рельеф, который в свою очередь отображается горизонталями. Если, по мнению пользователя,

модель рельефа построена не корректно, можно изменить направление ребра, в процессе чего получают более сглаженные рельефы.

Вывод чертежа для обработки читаемости, можно производить в формат DXF 3D, который позволяет вывести в реальных (топографических) координатах весь объект или его отдельные части. Вывод треугольников, точек и горизонталей осуществляется в трехмерном представлении; остальная информация выводится на плоскости ($Z=0$). [1]

Т.О. Т.О. программа Credo_MIX очень удобный продукт для созданий ЦМР, имеет поддержку экспорта ЦММ формата DXF (3D). Не имеет модуля импорта и обработки сырых геодезических данных; не может импортировать и обрабатывать облака точек.

В системе **IndorCAD/Topo** (развивается с начала 90-х годов. До 2003 г. система разрабатывалась в Инженерном дорожном центре «Индор» (г. Томск) и называлась ReCAD (по аббревиатуре слов РеКонструкция автомобильных дорог. В марте 2003 г. система ReCAD была передана для дальнейшего развития в специализированную фирму по разработке программного обеспечения "ИндорСофт, после чего была переименована в IndorCAD) предназначенной для геодезических изысканий имеется выбор функций по обработки данных геодезических изысканий, объемная визуализация моделей местности, векторизация растровых картографических материалов, построение и анализ цифровых моделей рельефа.

В качестве модели рельефа используется триангуляционная модель, которая строится по рельефным точкам и структурным линиям.

Эффект «выпуклого» трёхмерного изображения поверхности достигается за счёт направленного источника света, который имитирует освещение поверхности солнцем. В случаях, когда очертания и визуальное восприятие поверхности не удовлетворяют пользователя, можно редактировать триангуляцию, перебрасывая её ребра в смежных треугольниках, и отсекал (делать невидимыми) вырожденные и ненужные треугольники триангуляции. Резкие изломы поверхности корректируются структурными линиями, меняющими форму рельефа. Любое изменение в данных или добавления структурных линий приводит к автоматическому обновлению триангуляционной поверхности.

Одним из способов визуального анализа поверхности являются – линии, соединяющие точки с одинаковыми высотами, с определенным шагом, т.е. горизонталями.

Другим способом отображения поверхностей являются ***изоконтур***ы – области, в которых высоты распределены в некотором диапазоне. Изоконтур можно раскрасить в зависимости от высот отдельных контуров, что позволяет быстро выявлять на поверхности пониженные (повышенные) места, водоразделы и пр.

Триангуляция, построенная в системе IndorCAD/Topo, может быть экспортирована в файл AutoCAD (*.dxf) в виде объектов 3D-Face.

В системе IndorCAD/Topo для визуальной оценки решений разработан модуль трёхмерной визуализации, позволяющий достаточно реалистично

представить проект вместе с инженерным обустройством, но вместе с условными обозначениями объектов на плане формируются их 3D-аналоги. Пользуясь данной функцией, можно визуально оценить проделанную работу.

Имея геодезический редактор, IndorSurvey, предназначенный для обработки данных, программа позволяет импорт файлов электронных тахеометров; ввод данных вручную; расчет, уравнивание и анализ результатов данных. [2]

Т.О. программа **IndorCAD** является очень удобным продуктом для создания ЦМР, обработки результатов и редактирования геодезических измерений, имеет возможность подгружать обработанные данные лазерного сканирования, что позволяет создавать трехмерные модели.

Система **ТопоCAD** (разрабатывается в фирме Adtollo AB – ранее Chaos system AB – с 1994 г. (Швеция)) предназначенная для автоматизации процессов обработки результатов геодезических измерений, создания цифровой модели местности, получения топографических и тематических планов, чертежей продольных и поперечных профилей, обеспечения горизонтальной и вертикальной планировки местности, вычисления объемов земляных работ, решения целого ряда прикладных задач, связанных с геодезическим обеспечением строительства. [3]

Программа позволяет импортировать текстовые файлы обработанных данных или данные с пробора, имеется модуль для импорта GPS измерений сразу в чертеж в полевых условиях. Для того что бы создать поверхность необходимо выделить точки, входящие в создание поверхности, выбрать функцию построить ЦМР, указать необходимые параметры: максимальную длину ребра треугольника, включить учет структурных линий, можно указать диапазон высотных отметок (Max и Min). Программа позволяет просмотреть статистику построенной поверхности, а так же площадь. Для наглядного отображения модели можно включить вывод горизонталей, кроме того программа позволяет просмотреть построенную модель в окне 3D вида. Если модель построена не корректно, то ее можно изменить стереть не корректно построенные треугольники, так же можно изменить направление интерполяции. Данные операции можно проводить в окне 3D вида. Для автоматизации редактирования модели поверхности имеет смысл предварительно создать структурные линии, для закрепления характерных элементов рельефа. Такие структурные линии позволяют автоматизировать процесс построения модели поверхности, т.к. они привязаны по высоте. После окончания редактирования можно выводить конечный результат аппроксимиальных горизонталей. Программа позволяет выводить горизонталю, как без сглаживания, так и сглаженные, с различной степенью. Для построенных горизонталей можно вывести подписи высот, количество знаков надписи настраиваются. Отметки над горизонталями подписываются в видимом слое поверхности, если поверхность скрыта, то горизонталю не подпишутся. [4]

Программа ТопоCAD имеет модуль, который позволяет поддерживать данные облако точек, т.е. данные трехмерного лазерного сканера и на основе

этих данных можно решать поставленные задачи для построения цифровых трехмерных моделей.

Т.О. программа **ТопоСАД** является очень удобным продуктом для создания ЦМР, обработки результатов и редактирования геодезических измерений, импорт данных с прибора в полевых условиях (модуль полевая съемка), возможность построение поверхности, редактирование в трехмерном виде, имеет модуль облако точек, что позволяет создавать трехмерные модели.

Система **AutoCAD Civil 3D** предусматривает полную автоматизацию процесса обработки геодезических данных. Программный продукт имеет геодезический редактор, который помогает скачивать данные с прибора, сохранять в формате понятный Civil 3D и обрабатывать их (имеется возможность загружать данные обработанных измерений из других приложений); имеется модуль для работы с облаком полученную по результатам воздушного и наземного лазерного сканирования, функционал AutoCAD Civil 3D позволяет управлять плотностью облака точек; для визуализации экосистемы проекта, возможно, извлекать изображения и модели поверхности из службы Google Earth (Гугл Планета Земля).

Поверхность AutoCAD Civil 3D представляет собой трехмерное геометрическое представление участка земной поверхности или разность (композицию) двух областей поверхностей (в случае поверхностей для вычисления объема).

Поверхность формируется из треугольников или сеток, которые создаются в AutoCAD Civil 3D в результате соединения точек, составляющих данные поверхности.

AutoCAD Civil 3D поддерживает работу с поверхностями нескольких типов: поверхность TIN (нерегулярных триангуляционных сетей) и сетчатые поверхности (цифровых моделей рельефа по регулярной сетке, для объемов).

Поверхности TIN образуются посредством триангуляции по произвольному набору точек. Линии TIN создаются посредством соединения точек поверхности, расстояния между которыми является наименьшим, эти линии служат сторонами треугольников, образующих триангуляционную сеть поверхности.

При наличии структурных линий триангуляция поверхности принудительно выполняется вдоль структурной линии; ребра триангуляции не могут пересекать структурную линию.

Структурные линии необходимы для создания точечной модели поверхности, так как форма модели определяется не только непосредственными данными, но и посредством интерполяции данных (добавление структурных линий можно только к поверхностям TIN).

Создание поверхности на основе горизонталей: по данным горизонталей можно создавать или изменять поверхность. Так же после создания поверхности на основе горизонталей проводится исправление ошибок искажений, путем прописывания параметров горизонталей.

К созданной поверхности, можно осуществлять добавление облака точек, а так же использовать для создания новых поверхностей TIN.

При внесении любых изменений в облако точек, будет выполнена проверка взаимосвязи облака точек и объектов поверхности.

Для редактирования построенной поверхности имеется функция перестановка ребер, т.к. изменение ориентации треугольных граней на поверхности, что бы добиться боле точной модели поверхности. [5]

T.O. AutoCAD Civil 3D является очень удобным продуктом для создания ЦМР, обработки результатов и редактирования геодезических измерений, имеет модуль облако точек, в процессе работы имеется возможность проанализировать объект, поверхность и многое другое.

Заключение

Возможности и функции, реализованные в программном обеспечении рассматривались для обработки данных наземного лазерного сканирования (иное ПО для обработки данных наземного лазерного сканирования рассмотрено в источнике «Наземное лазерное сканирование».

Рассмотренные программные продукты имеют одинаковое построение рельефа, по способу триангуляции.

Импорт и обработку сырых геодезических данных имеют программы TopoCAD, IndorCAD, AutoCAD Civil 3D.

Поддерживать и создавать трехмерные модели могут TopoCAD, AutoCAD Civil 3D, IndorCAD. Система Credo_Mix экспортирует построенную поверхность в DXF (3D).

Импорт облака точек и обработку имеют программные продукты TopoCAD и AutoCAD Civil 3D. Система IndorCAD имеет возможность подгружать обработанные данные лазерного сканирования.

С помощью внешних ссылок AutoCAD, ярлыков к данным и Autodesk Vault участники проекта, AutoCAD Civil 3D, могут совместно использовать такие элементы, как поверхность, трассы и трубопроводы. Проектные изменения синхронизируются в единой модели, что приводит к автоматическому обновлению множества чертежей.

AutoCAD Civil 3D превосходит по своим функциям и возможностям программы, рассмотренные в данной работе, т.к. имеет функции для работы с данными, поверхностями, проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Том 2, книга 1, Программный комплекс обработки инженерных изысканий, цифрового моделирования местности, проектирования генпланов и автомобильных дорог [Текст] – Минск. – 1999.
2. Система проектирования IndorCAD. Построение, обработка и анализ цифровой модели местности. Руководство пользователя [Текст] – Издательство Томского университета. – 2008. – 299 с.
3. Техническое приложение 3, Модульная структура TopoCAD [Текст].
4. Видеоматериал по созданию цифровой модели рельефа в программе TopoCAD.
5. И.А. Пелевина. Самоучитель AutoCAD Civil 3D 2011 [Текст] – Санкт – Петербург «БХВ - Петербург». – 2011. – 416 с.

© В.А. Середович, И.В. Востров, 2012

МЕТОДИКА ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ПРОПОРЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА ФОРМ ПАМЯТНИКА АРХИТЕКТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ ХРАМА АЛЕКСАНДРА НЕВСКОГО В НОВОСИБИРСКЕ)

Андрей Владиславович Радзюкевич

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия, 630099, г. Новосибирск, ул. Красный проспект, 38, канд. арх, зав. кафедрой «Компьютерные технологии проектирования», тел.+79139339318, e-mail: radz@rambler.ru

Марина Андреевна Чернова

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия, 630099, г. Новосибирск, ул. Красный проспект, 38, магистрант, кафедра «Компьютерные технологии проектирования», тел.+79139335758, e-mail: marina_ngaxa@mail.ru

Владимир Адольфович Середович

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, оф. 106, кандидат технических наук, профессор, проректор по инновационной деятельности, тел. (383)343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

Андрей Васильевич Иванов

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ведущий инженер, Региональный центр лазерного сканирования, тел. (383) 361-00-66, e-mail: geoid@ngs.ru

Оксана Руслановна Мифтахудинова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, студент, тел.+79529345357, e-mail: oxa_07@mail.ru

В статье приводится описание методики наземного лазерного сканирования в решении прикладной задачи — производство обмеров памятника архитектуры. На примере храма Александра Невского в Новосибирске показано как на основе полученных данных лазерного сканирования можно получить все необходимые обмерные чертежи. Высказывается предположение, что данная технология в ближайшие годы станет очень удобным и технологичным стандартом фиксации и документирования форм памятников архитектуры.

На основе полученных обмерных данных в статье также производится анализ размеров и пропорций храма Александра Невского, г. Новосибирска. Установлено, что архитектор К.Лыгин при проектировании храма Александра Невского использовал простые модульные соотношения на основе аршина и сажени. Реконструкция логики формообразования плана показала, что в его основе лежит простая геометрическая схема, состоящая из пяти окружностей: одной центральной и примыкающих к ней с четырех сторон окружностей меньшего диаметра.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, обмеры памятников архитектуры, реконструкция логики формообразования.

LASER SCANNING AND PROPORTIONAL ANALYSIS TECHNOLOGY OF ARCHITECTURAL MONUMENTS FORMS (FOR EXAMPLE ALEXANDER NEVSKY CHURCH IN NOVOSIBIRSK (NOVONIKOLAEVSK))

A. Radzjukevich, M. Chernova

Novosibirsk State Academy of Architecture and Fine Arts, Novosibirsk, Russia

V. Seredovich, A. Ivanov, O. Mistahudinova

Siberian state academy of geodesy, Novosibirsk, Russia

The article describes a new three-dimensional laser scanning technology in solving applied problems - measuring of architectural monuments. On the example of Alexander Nevsky temple in Novosibirsk, it is shown an opportunity of getting all the necessary tonnage figures based on "point cloud". It is suggested that this technology is going to be very convinient and technologically advanced standard for capturing and documenting the forms of architectural monuments in coming years.

Based on tonnage data the article also analyzes the size and proportions of Alexander Nevsky church. It is established that the architect K. Lygin designing the Alexander Nevsky temple used simple modular ratio based on the feet and fathoms. Reconstruction of the forming plan logic showed that it was based on simple geometric scheme, consisting of five circles: one central and some circles of smaller diameter adjoining it from the four sides.

Key words: 3D-dimension laser scanning, measurements of architectural monuments, reconstruction of design logic.

Храм Александра Невского, построенный в Новониколаевске 1899 году по проекту К. К. Лыгина стал первым каменным культовым зданием города. Особый интерес к этому памятнику вызывает то обстоятельство, что в архивах сохранились авторские проектные чертежи (Рис. 1).

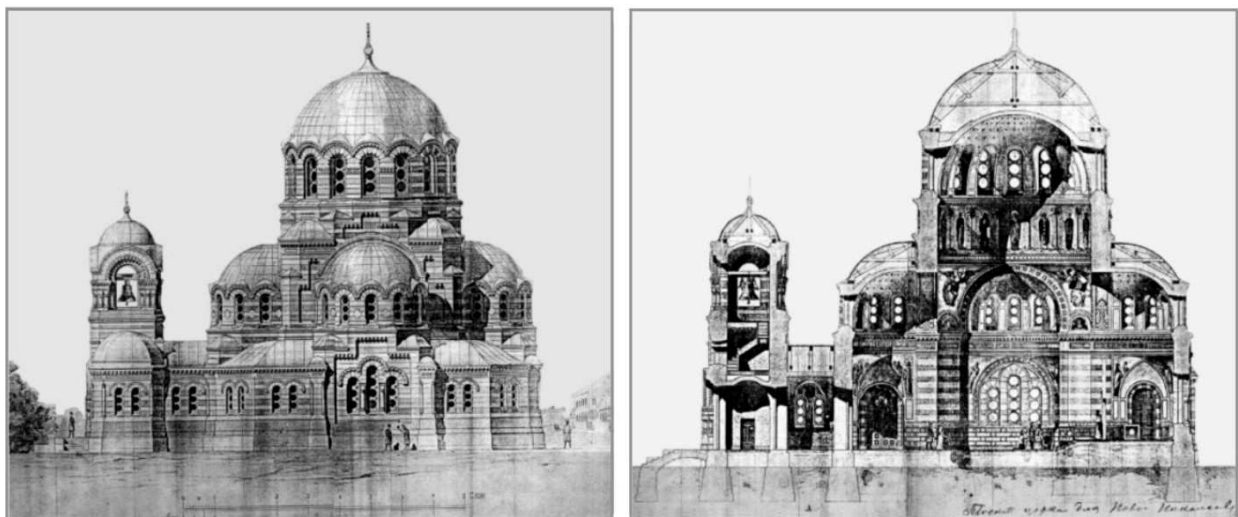


Рис. 1. Проектные чертежи храма Александра Невского, выполненные архитектором К. Лыгиным

На сегодняшний день храм имеет статус памятника истории и культуры регионального значения, который играет важную роль в формировании облика города Новосибирска, являясь одним из важнейших символов города.

Прототипом форм храма предположительно послужил одноименный храм Александра Невского, построенный в Тифлисе (Тбилиси) по проекту академика архитектуры Давида Ивановича Гримма [1]. Тифлисский прототип был разрушен большевиками в 1930-м году. Поэтому о его формах можно судить только по сохранившимся фотографиям (рис.2).



Рис. 2. Храм Александра Невского в Тифлисе

Новониколаевский храм после Октябрьского переворота много лет пустовал. В 1980-е годы, в рамках проведения реставрационных работ, было проведено большое научно-историческое исследование памятника [2]. Однако, в архитектуроведческом отношении формы храма остаются до сих пор еще недостаточно изученными. В частности, совершенно не изучены его пропорционально-метрологические особенности, которые, теоретически, могут дать ключ к пониманию логики формообразования. Для проведения пропорционально-метрологического исследования необходимо наличие детальных обмерных чертежей. В период реставрации здания храма в 80-х годах прошлого столетия были сделаны достаточно подробные обмерные чертежи, фиксирующие существующее положение форм памятника.

В настоящее время появилась возможность провести обмерную фиксацию форм на несоизмеримо более высоком технологическом уровне с помощью технологии наземного лазерного сканирования, которая позволяет зафиксировать размеры и формы исследуемого памятника архитектуры с максимально возможной полнотой и точностью. Если раньше уходили недели, а иногда и месяцы, на то, чтобы произвести обмеры всего объекта [3], то в

настоящее время с использованием современных технологий работу можно выполнить в очень короткий срок. В частности, на полное сканирование форм храма Александра Невского ушло примерно 4 часа. Для выполнения обмеров фасадов зданий используется технология, сочетающая методы лазерного сканирования и цветовой фотограмметрии [4]. Также существует превосходный зарубежный опыт, который можно изучить в отчете по сканированию форм римского Пантеона [5].

Сканирование форм новосибирского храма Александра Невского осуществлялось по договоренности с настоятелем храма в два этапа - днем было произведено наружное сканирование, а вечером, после окончания богослужений - внутреннее сканирование.

Для сканирования храма, нами был использован наземный лазерный сканер RIEGL VZ400, на сегодня это одна из моделей линейки наземных лазерных сканеров нового поколения [6]. Данный прибор имеет ряд преимуществ относительно подобных ему лазерных сканеров и отличается сравнительно не большим весом и упрощённым интерфейсом.

Также использование данного прибора позволяет качественно улучшить и ускорить процесс проведения полевых работ за счет высокой производительности до 120 000 измерений в секунду и таких встроенных функции как лазерные отвес, датчики угла наклона, компас, GPS и т.д.

Кроме того, в программном продукте для постобработки данных, поставляемом с данным прибором, реализована функция объединения сканерных станций в единую систему координат на основе перекрытий соседних сканов без использования специальных марок. Данная функция выполняет поиск характерных объектов местности на соседних сканах в автоматическом режиме, сопоставляет их и на основе полученных связей вычисляет необходимые параметры трансформирования системы координат. Конечным результатом лазерного сканирования является объединённый в единую систему координат массив данных в виде координат XYZ, по-другому называемый «облако точек», описывающих поверхность сканируемого объекта [7] (Рис.3).

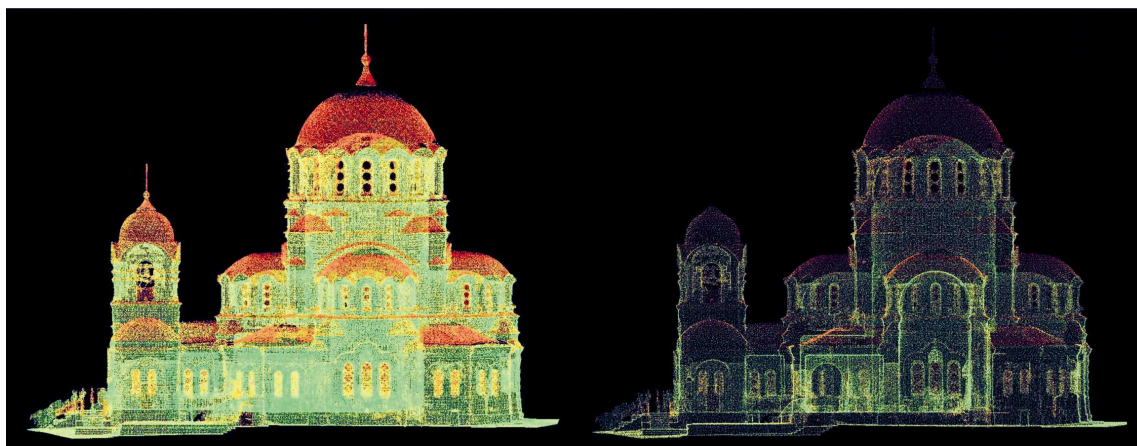


Рис. 3. Ортогональный внешний вид храма, представленный «облаком» точек, разной степени плотности

Большинство современных лазерных сканеров имеют встроенную фото или видео камеру позволяющую получить реальный или псевдоцвет объекта и присвоить его к каждой вычисленной координате. Благодаря данной особенности полученное «облако точек» несёт не только высокую геометрическую детальность, но и также высокую наглядность (Рис. 4).

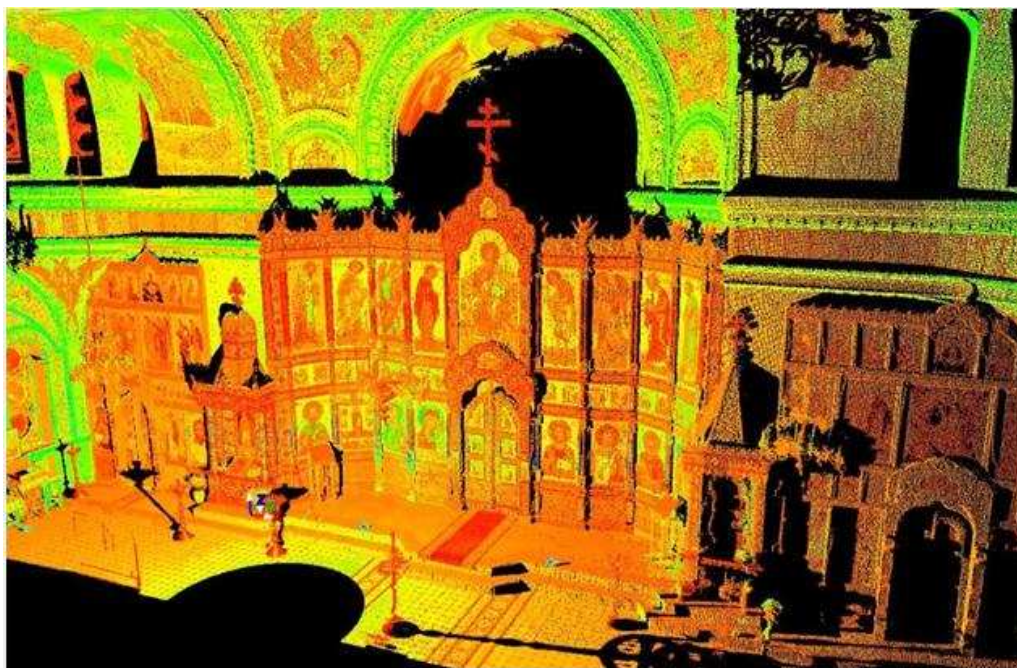


Рис. 4. Фрагмент «облака точек» раскрашенного в псевдоцвета (интерьер храма)

При непосредственном сканировании экстерьерной и интерьерной части храма выполнено 55 сканерных станций в течение 4 часов с угловым разрешением сканирования 0.040° в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Съемка выполнялась с внешней стороны храма с учетом перекрытия соседних станций не менее 30%, сканирование внутренней части выполнялось со связью перекрытия с внешней стороной через основные ворота храма с дополнительным использованием набора специальных геометрических марок в виде сферы диаметром 10 см, которые при постобработке, точно распознаются на данных лазерного сканера. Всего при сканировании внутренней части собора использовалось 10 марок-сфер, расставленных до начала съемки и статичных до завершения работ. В дальнейшем использование общих марок позволило улучшить связь сканов внешней и внутренней стороны храма, пониженную за счет ограниченной видимости в дверном проёме ворот.

Среднеквадратическая погрешность при постобработке и объединении всех сканов в единую систему координат составила 7 мм. Далее объединенное и отфильтрованное от различных некорректных измерений «облако точек» передавалось в специализированное программное обеспечение Leica Cyclone, которое позволяет отобразить большое количество полученных данных лазерного сканирования в трехмерном виде и решить на их основе

практические любые инженерные задачи, связанные с получением метрической геометрической информации об объекте.

Технология наземного лазерного сканирования позволила сделать «доступными» для измерения буквально все, «видимые» лучом лазера, точки объекта. Итоговое полученное «облако точек» заняло объемом 8 гигабайт. В результате сканирования храма Александра Невского получена детальная точечная модель комплекса строений, которая позволяет на её основе создавать планы и чертежи в любой плоскости, выполнить необходимые промеры любых частей внутренней и внешней части храма. Кроме того благодаря тому, что здание отсканировано снаружи и внутри, появляется уникальная возможность измерить толщину несущих стен и т.д.

Программа решения выше поставленных задач в программном комплексе Leica Cyclone.

Для начала обработки создается проект или Database. Далее производится подключение сканерных данных к созданному проекту. В случае если сканирование производилось прибором фирмы Leica, то данные уже подключены, однако данные сторонних сканеров необходимо импортировать в программу Leica Cyclone. Для этого можно использовать наиболее удобный формат с расширением PTS, это ASCII формат который содержит координаты измеренных точек X, Y, Z и значения их интенсивности отраженного сигнала или реальные RGB цвета полученные прибором в процессе сканирования. Подгруженные сканы объединяются в общую регистрацию, работа с которой осуществляются через рабочее окно "ModelSpaces".

Для создания контурной части плоских чертежей и планов в программе Leica Cyclone необходимо указать проецируемую плоскость "Reference Plane", положение которой может быть задано абсолютно произвольным, например, в горизонтальной плоскости этажа, в плоскости стены, по осям системы координат и т.п. Для упрощения работы с большим количеством сканов существует возможность временного ограничения вида "облака точек" в интересующей области данных от всей модели для этого предусмотрен инструмент "LimitBox" – это прямоугольный параллелепипед, который отсекает не интересующие объекты, оставляя за своими гранями и делая их невидимыми.

Для непосредственной работы над плоским чертежом в программе предусмотрен набор инструментов рисования "Drawing Tools", который включает возможность создания таких объектов как: отрезок, полилиния, эллипс, круг, квадрат, прямоугольник, замкнутой полилинии. По завершению создания чертежа, полученные результаты экспортируют как правило в такие форматы как DXF или COE, возможность экспорта и импорта последнего появляется при наличии специально модуля CloudWorx, данное приложение позволяет обеспечить прямой обмен данными между программой Leica Cyclone и такими популярными программами как Autocad или 3Dsmax.

Для создания трехмерной модели программный комплекс Leica Cyclone обладает набором геометрических примитивов, которые автоматически, полуавтоматическим или ручным способом вписываются в точки. Если

моделируемый объект близок по форме к правильной геометрической фигуре, то применяются стандартные примитивы, такие как цилиндр, шар и т.п.

В случае работы с храмом Александра Невского наибольший интерес, с точки зрения обработки данных лазерного сканирования с целью фиксации форм памятников архитектуры, представляют, слои горизонтальной «нарезки» облака точек, позволяющие получать планы сооружения на любой отметке (Рис.5).

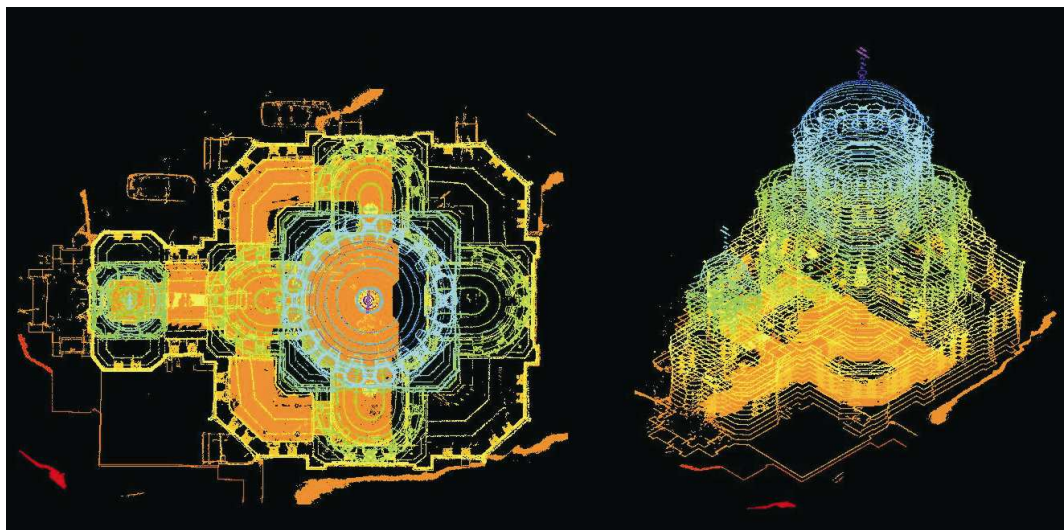


Рис. 5. Слои точек, «нарезанные» через 0,5м по оси Z

Так к примеру слои сечений по оси Z, на которых наиболее четко просматривается форма объекта, были переведены из облаков точек в векторную форму в виде чертежей, выполненных ручной обводкой векторной графикой в программе AutoCAD (рис.6).

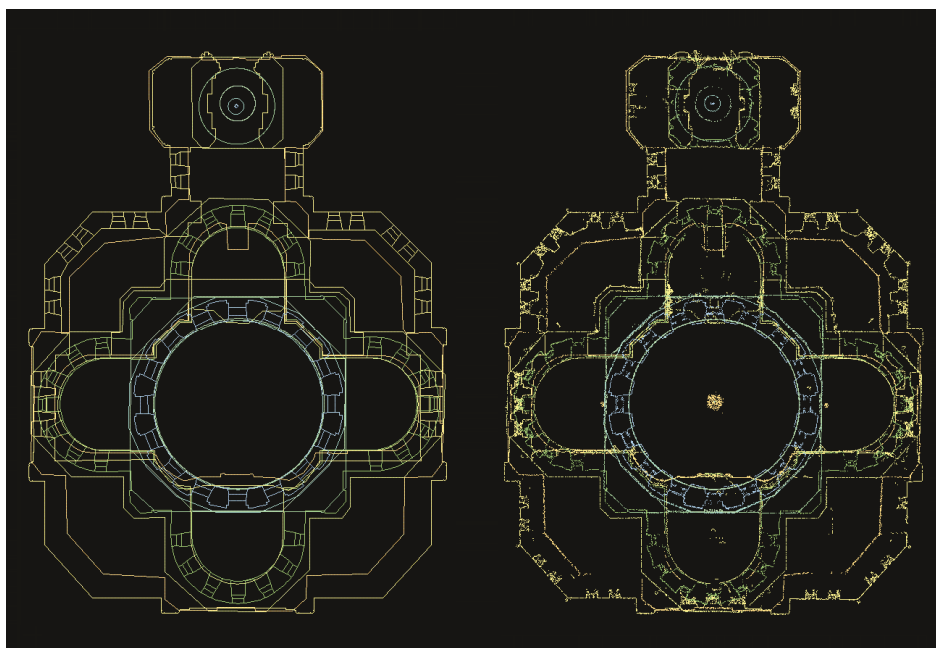


Рис. 6. Планы полученные из слоев «облака точек» (справа) в векторный формат (слева)

Наличие практически неограниченного количества горизонтальных срезов (планов) памятника позволяет документально зафиксировать его форму с предельной полнотой, совершенно недостижимой традиционными обмерными технологиями. Имея набор наиболее характерных планов памятника можно с предельной достоверностью проследить, как меняется форма по высоте - как четверик переходит в восьмерик, восьмерик в шестнадцатерик и т.д. (Рис.7)

Полученные таким образом чертежи отличаются высокой степенью детализировки и точностью измерения. Алгоритм автоматизированного перевода «облака точек» в двухмерные чертежи и объемные 3D - объемные модели в настоящее время разрабатывается на кафедре «Компьютерных технологий НГАХА».

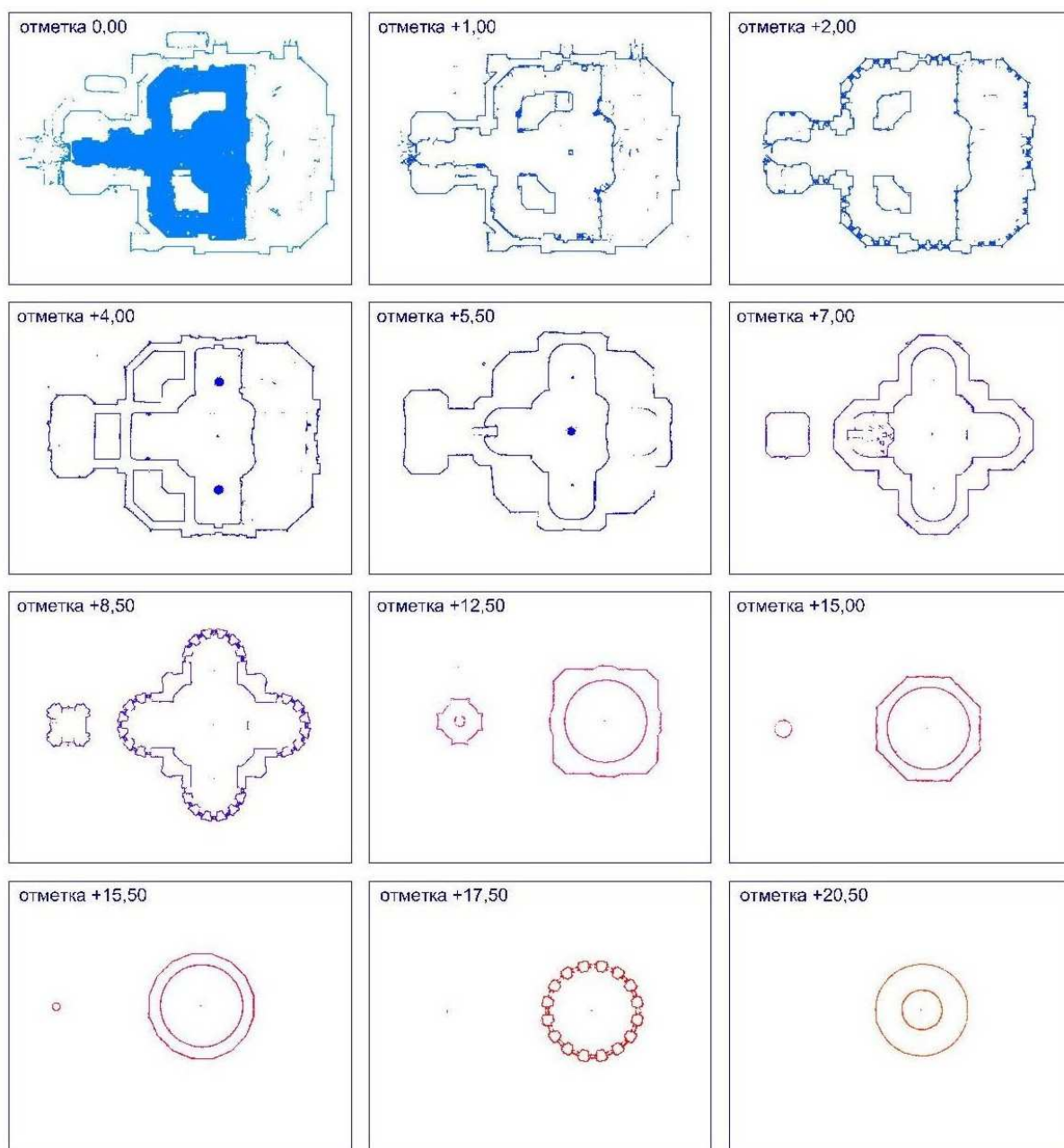


Рис.7. Фиксация наиболее характерных планов храма Александра Невского

Автоматизация процессов измерений и выполнения чертежей дает возможность производить несоизмеримо более качественную и подробную фиксацию форм архитектурных объектов. Очевидно, что через некоторое время технология такой фиксации станет стандартной для документирования во многих направлениях реставрационно-проектной деятельности.

Материал зафиксированный с помощью новой технологии, даёт возможность для проведения полноценного архитектуроведческого исследования памятника.

Нами была также осуществлена попытка провести научный анализ полученных размеров и пропорций, с целью выявления логики формообразования. Методика исследования [8] в идеале, предполагает наличие следующих материалов:

1. Авторские чертежи с обозначением размеров;
2. Обмерные чертежи;
3. Точное знание, используемых при проектировании, стандартов мер длины.

В нашем случае присутствуют все, необходимые для исследования, материалы. Есть проектные чертежи К.Лыгина на которых присутствует масштабная линейка в саженьях. Наличие высококачественных обмеров дает возможность сопоставить существующую форму памятника с проектной. Важно отметить, что точность и детальность лазерных обмеров такова, что можно увидеть даже изменение геометрии стен барабана храма. Очевидно, что эта деформация явилась следствием распора от тяжести купола. Измерения показывают, что верхний диаметр барабана примерно на 10 сантиметров больше нижнего. Зафиксировать подобную деформацию с помощью обычных «ручных» обмеров, осуществляемых с помощью архаичных рулеток и стремянок, практически невозможно.

Сопоставление обмеров и проектных чертежей может дать важную информацию для исследования объекта. Наложение чертежей друг на друга дало возможность выявить целый ряд особенностей отличающих проектный замысел от существующего положения (Рис.8).

Во-первых, видно, что в проекте К.Лыгина отсутствует уровень хор. По всей видимости хоры были сконструированы в результате реконструкции храма в 1980-е годы. Во-вторых, видно, что уровень щелыги подпружных арок имеет значительное расхождение с проектом. По нашим замерам, их проектная высота от уровня пола составляет 16 аршин, а в реальном объекте она равна 15 аршинам. Можно предположить, что проектный замысел был откорректирован еще во время выполнения строительных работ. В-третьих, сопоставление чертежей показывает большое различие в очертаниях колокольни. В связи с тем, что колокольня храма была ранее разрушена и ее пришлось реставрировать с нуля. Выявленные различия говорят о том, что реставрация была произведена весьма произвольно.

Дальнейшее исследование основывается на переводе размеров из современной метрической системы мер в старорусские меры — сажени (2,13м),

аршины (0,71м), вершки (0,044м). Используя эти меры можно попытаться реконструировать некоторые особенности исходного проектного замысла. Проанализируем основные размеры фасада (Рис.9) и разреза (Рис.14), запроектированных архитектором К.Лыгиным.



Рис. 8. Сопоставление проектного чертежа с обмерами

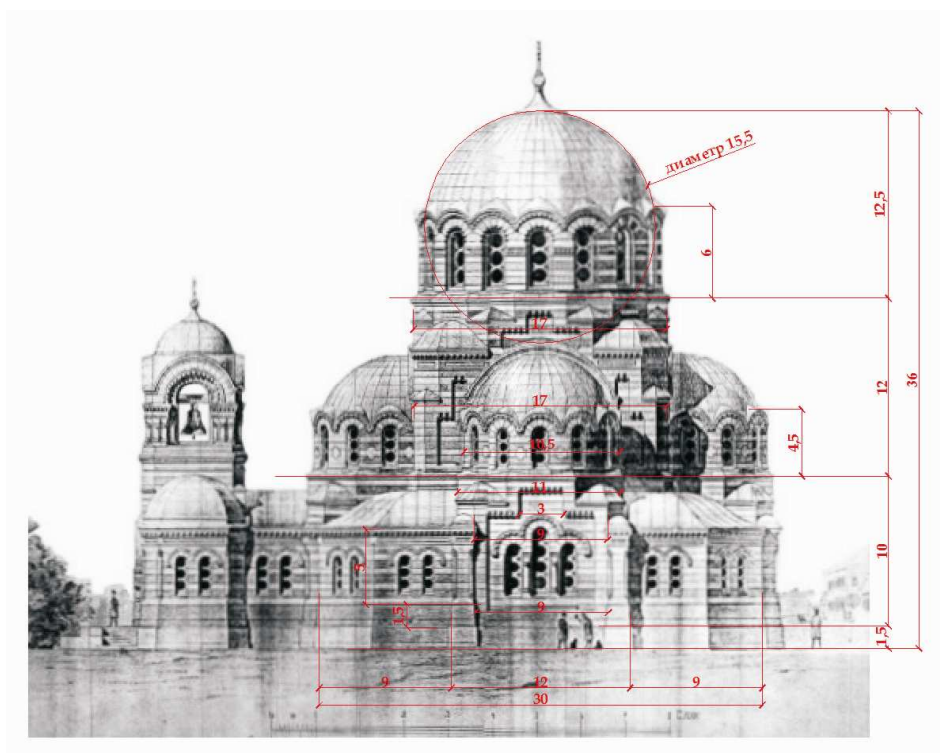


Рис. 9. Метрологический анализ фасада храма А. Невского (размеры приведены в аршинах)

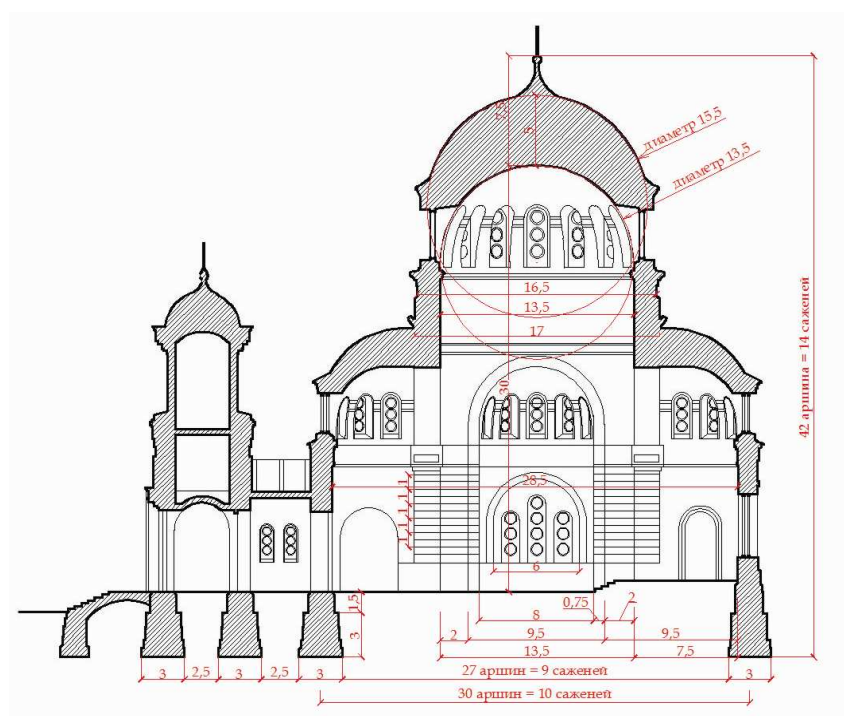


Рис.10. Метрологический анализ продольного разреза храма А.Невского (размеры приведены в аршинах)

Проведенный нами метрологический анализ дал возможность выявить некоторые метрические особенности форм собора. Так, например, можно зафиксировать метрическую закономерность в построении фасадной части здания. Она имеет трехчастное деление: центральная часть составляет 12 аршин, а две боковые — по 9 аршин. Следовательно, полная ширина фасада получается равной 30 аршинам или 10 саженим. По вертикальным размерам можно отметить, внутренняя высота храма равна 30 аршинам или 10 саженим. На середине этого размера расположены щелыги подпружных арок (по сканерным данным составило - 10,60м).

Восстановление проектных размеров храма, теоретически, может дать основания для проведения гипотетической реконструкции исходного проектного замысла. Если использовать в качестве модуля толщину стен барабана и боковых экседр, равную 1,065 м, что составляет четыре кирпича или половину сажени (1,5 аршина), то можно заметить, что в основании плана лежит окружность с диаметром 9 модулей и примыкающими к нему с четырех сторон окружностями диаметром 5 модулей. Все остальные горизонтальные размеры храма, по всей видимости, были производными от этой геометрической схемы (Рис. 11).

Более полная реконструкция проектной логики Собора, безусловно, требует дальнейшего исследования. Кроме того, для полноты картины необходимо проведение подобных исследований по как можно большему количеству подобных объектов. Тем не менее, проведенное исследование дает возможность утверждать, что архитектор К.Лыгин использовал при

проектировании храма Александра Невского простые модульные соотношения на основе аршина и сажени. В основе логики формообразования плана лежит простая геометрическая схема, состоящая из пяти окружностей: одной центральной и примыкающих к ней с четырех сторон окружностей меньшего диаметра.

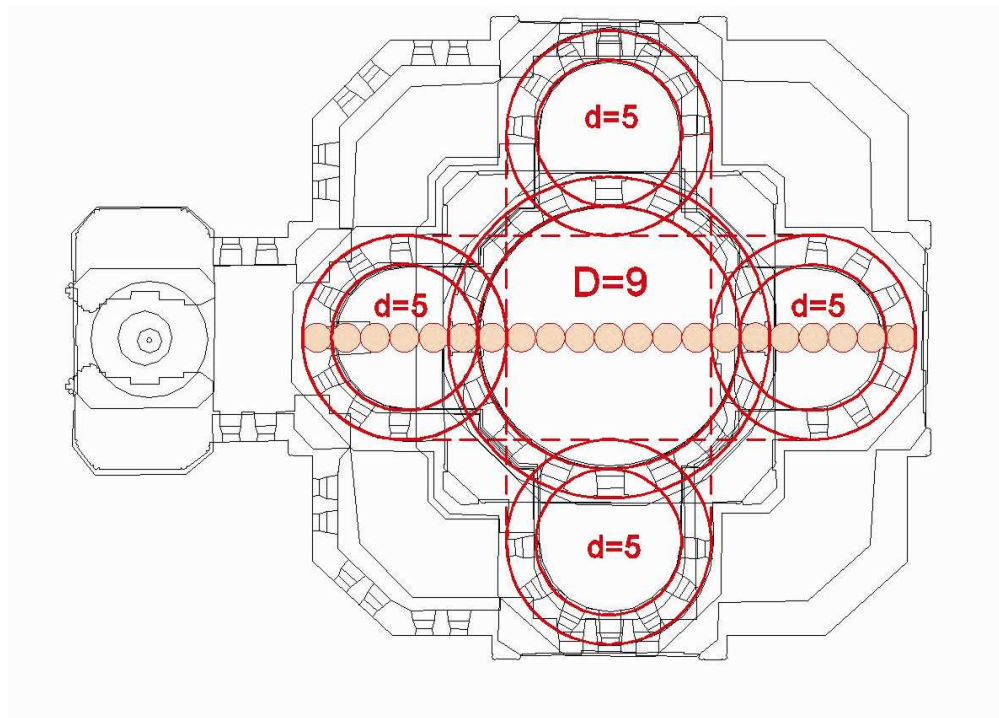


Рис. 11. Реконструкция логики построения плана храма А.Невского

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Радзюкевич А.В. К вопросу об авторстве и прототипах собора Св. Александра Невского в Новониколаевске (Новосибирске) [электронный ресурс] <http://www.a3d.ru/architecture/stat/190>
- 2 Собор Александра Невского в Новосибирске. Проект реставрации фасадов. Историческая справка. Архив НПЦ по сохранению историко-культурного наследия.
- 3 Соколова Т.Н., Рудская Л.А., Соколов А.Л. Архитектурные обмеры. М. 2007.
- 4 Научно-производственное предприятие «Фотограмметрия». Официальный сайт. [электронный ресурс] <http://www.photogrammetria.ru>
- 5 The Bern Digital Pantheon Project. [электронный ресурс] <http://www.digitalpantheon.ch/repository>
- 6 RIEGL — laser measurement systems. [электронный ресурс] <http://riegl.com/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/5/>
- 7 Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова - Новосибирск, СГГА, 2009.
- 8 Радзюкевич А.В. Методические основы проведения пропорционально-метрологического анализа форм памятников архитектуры. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. арх. Новосибирск. 2004.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ УСТЬ-КАМЕНОГОРСКОГО СУДОХОДНОГО ШЛЮЗА

Владимир Адольфович Середович

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, профессор, проректор по НИР и ИД СГГА, тел. +7(383)343-39-57, e-mail: sva@ssga.ru

Галина Николаевна Ткачева

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, начальник центра инженерно-геодезических систем и технологий, тел. +7(383)361-01-13, e-mail: nimc132@list.ru

Александр Владимирович Середович

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, директор центра лазерного сканирования, тел. +7(383) 343-39-57, e-mail: a.v.seredovich@ssga.ru

В статье описана технология проектирования и создания стационарных автоматизированных систем геодезического мониторинга деформаций Усть-Каменогорского судоходного шлюза.

Ключевые слова: геодезический мониторинг деформаций элементов инженерных сооружений, стационарная автоматизированная система геодезического мониторинга, автоматизированный геодезический контроль элементов сооружений, потсоянный геодезический контроль за безопасной эксплуатацией сложных инженерных объектов.

GEODETIC DEFORMATION MONITORING OF UST-KAMENOGORSK SHIPPING LOCK

Vladimir A. Seredovich

Ph.D., Prof., Vice-rector for Research and Innovations, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo st., 630108 Novosibirsk, phone: +7(383)343-39-57, e-mail: sva@ssga.ru

Galina N. Tkachyova

Head of Engineering Surveying Systems and Technologies Centre, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: +7(383)361-01-13, e-mail: nimc132@list.ru

Alexander V. Seredovich

Ph.D., Director of Laser Scanning Centre, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: +7(383) 343-39-57, e-mail: a.v.seredovich@ssga.ru

The technology for the automated stationary system designing and construction is described. It is to be used for geodetic deformation monitoring of Ust-Kamenogorsk shipping lock.

Key words: geodetic deformation monitoring, automated stationary system for geodetic deformation monitoring, constant geodetic monitoring of complex engineering structures operational safety.

Одним из наиболее актуальных направлений постоянного геодезического контроля за безопасной эксплуатацией сложных инженерных объектов безусловно является создание автоматизированных систем геодезического мониторинга. Это направление развивается в нашей стране на протяжении последних 25-30 лет. Возникнув как лабораторный эксперимент в начале 80-х годов XX века, мониторинг в области геодезического контроля обрёл свои ясные очертания к концу 90-х годов, когда небывалый научно-технический прогресс в области создания компьютерной техники, широкий спектр возможностей программирования, позволили перевести в практическую плоскость разработку и создание стационарных систем геодезического мониторинга деформаций элементов инженерных сооружений. Такой технологический и методологический подход к натурным наблюдениям, в частности - геодезическим, позволил выйти на качественно новый, невозможный традиционными способами уровень сбора геодезической информации, а именно:

- Возможность единовременного опроса большого количества датчиков, интегрированных с геодезической контрольно-измерительной аппаратурой (КИА), т. е. получение информации в режиме реального времени, для принятия превентивных мер безопасности в аварийных ситуациях;
- Исключение или минимизация влияния человеческого фактора при геодезических наблюдениях, снижающих получение ошибочных данных;
- Анализ полученной информации с возможностью построения модели статической и динамической работы сооружения и его взаимодействия с окружающей средой;
- Использование получаемой геодезической информации при разработке комплексной системы оценок риска возникновения аномальных геодинамических процессов в районе строительства или эксплуатации инженерных сооружений.

Под системой автоматизированного геодезического контроля элементов сооружений подразумевается полный комплекс организационно-технических и методологических решений, а также программно-технических средств, включающий следующие этапы:

- Разработку технорабочего проекта для решения конкретных задач геодезического мониторинга на объекте с рекомендациями по выбору оборудования и программного обеспечения;
- Разработку (при необходимости) или применение стандартных технических средств, которые устанавливаются на существующую КИА без разрушения сложившиеся традиционных средств и систем контроля;
- Разработку специального прикладного программного обеспечения для конкретных задач геодезического мониторинга;
- Монтаж, наладку технических средств, настройку и метрологическую аттестацию аппаратной и программной частей системы.

Краткая характеристика объекта контроля и особенности геодезического мониторинга

Усть-Каменогорский судоходный шлюз расположен в 10 км выше по течению реки Иртыш от города Усть-Каменогорска (Республика Казахстан) и предназначен для пропуска судов через створ Усть-Каменогорского гидроузла. Конструктивно Усть-Каменогорский шлюз состоит из одной камеры шахтного типа, общей протяжённостью напорного фронта 41, 32 метров, верхнего подхода с двумя причальными стенками длиной 100 метров, расположенный у правого берега реки на 400 метров выше от торца нижней головы, проектной длиной 58 метров (фактически, после частичного обрушения) - 30, 5 метров и отбойно-направляющего понтона 67 метров непосредственно у верхней головы шлюза и нижнего подходного канала с двумя причальными линиями (см. рис.1). В состав геодезических работ по определению деформаций гидротехнических сооружений Усть-Каменогорского шлюза в соответствии с программой натурных наблюдений входит:

1. Измерение величин горизонтальных сдвигов бетонных блоков камеры шлюза в результате деформаций основания сооружения под воздействием гидростатического давления;
2. Измерение планово-высотных смещений блоков, разделенных температурно-осадочными швами относительно друг друга;
3. Определение величины горизонтальных деформаций камеры шлюза на различных отметках под воздействием температуры, гидростатического давления и т.д.



Рис. 1

В 2008 г. был выполнен очередной цикл высокоточных геодезических измерений с целью определения осадок и деформаций гидротехнических сооружений Усть-Каменогорского шлюза, после которого руководством по эксплуатации было принято решение о разработке качественно нового подхода

к мониторингу деформаций, а именно — установить на объекте стационарную автоматизированную систему геодезического деформационного мониторинга планово-высотных смещений бетонных элементов камеры шлюза (далее - *система*).

Если учесть, что объект находится в длительной эксплуатации и расположен в сейсмически активном районе, то такой подход должен был увеличить точность измерения деформаций в режиме реального времени, исключить влияние человеческого фактора при снятии показаний, повысить оперативность контроля за счёт значительного сокращения продолжительности цикла измерений и одновременности снятия показаний. В этом же году специалистами Сибирской Государственной Геодезической Академии (Россия, г. Новосибирск) и ТОО «Синетик» (Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск) был разработан проект, включающий в себя самые современные технические решения, учитывающие уникальность конструкций шлюза и реализующие особый подход к геодезическим наблюдениям за деформациями камеры шлюза.

Краткая характеристика основных проектных решений

Структурно, с точки зрения используемых типов геодезической КИА и очередности ввода в эксплуатацию, система подразделяется на подсистемы: сеть сдвигомеров, сеть щелемеров, пьезометрическая сеть (см. рис. 2)

В состав комплекса технических средств входят: измерительные преобразователи, линии связи, управляющий вычислительный комплекс (промышленный компьютер и устройства связи с объектом). Комплекс технических средств организован таким образом, что позволяет выбранной номенклатурой реализовать наибольшее число функций системы при помощи серийных изделий, минимизировать состав дополнительно разрабатываемой аппаратуры и суммарную длину линий связи, обеспечить необходимую точность и помехозащищенность системы при ее эксплуатации на объекте. Система реализует функцию централизованного контроля планово-высотных смещений бетонных элементов камеры шлюза путем непосредственного измерения смещений по обратным отвесам, щелемерам и пьезометрам. В соответствии с указанной функцией системы по логическим признакам выделены следующие структурные элементы:

- Преобразование смещений бетонных элементов камеры шлюза в смещения контрольных точек одной из подсистем;
- Первичное преобразование смещений контрольных точек в электрический сигнал;
- Преобразование амплитуды электрического сигнала в цифровой код;
- Математическая обработка;
- Непосредственное отображение выходных данных в инженерных единицах;
- Прием и хранение базы данных;
- Отображение выходной информации;
- Управление, синхронизация, контроль.

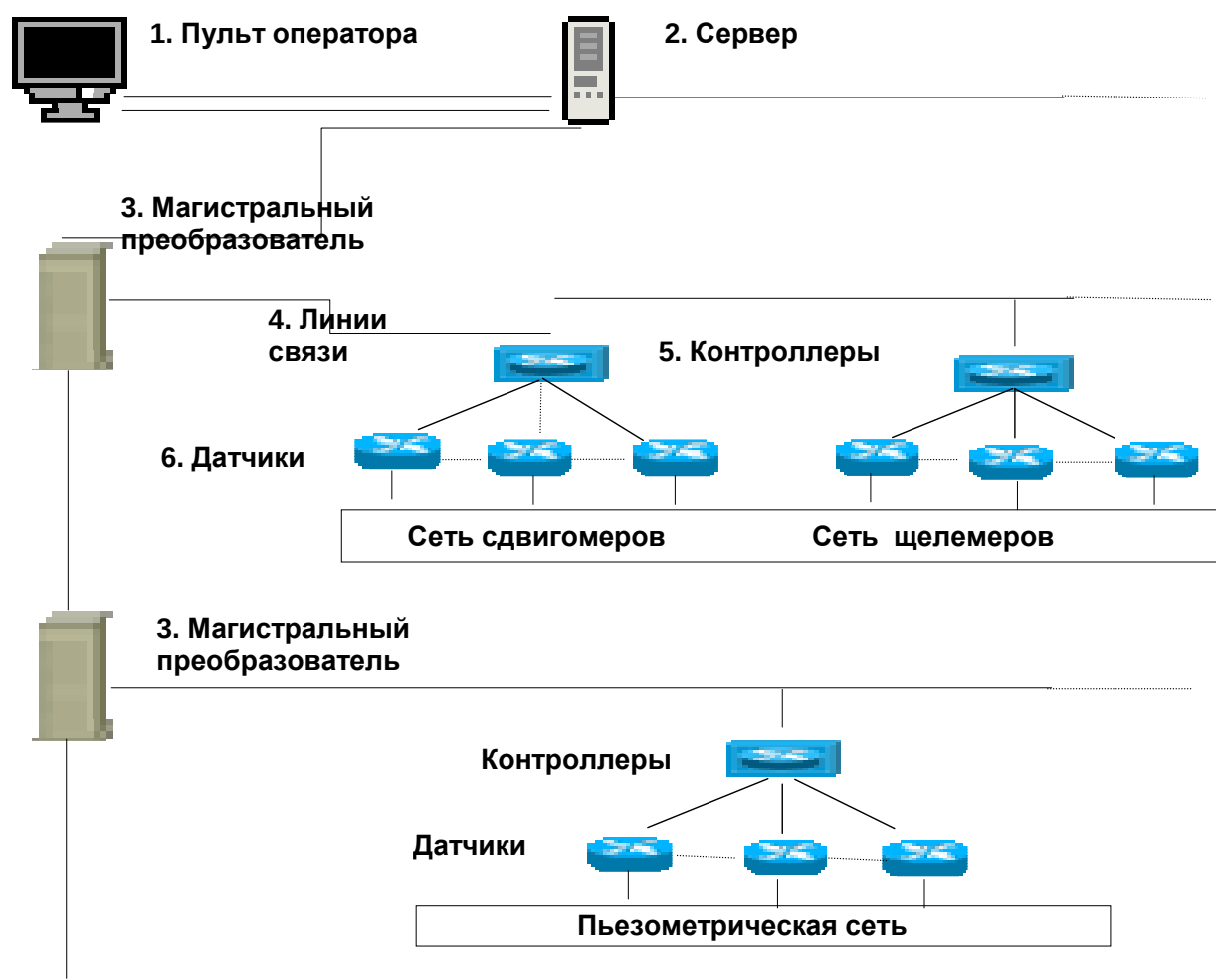


Рис. 2. Структурная схема системы геодезического мониторинга Усть-Каменогорского шлюза:

1 - пульт оператора; 2 - сервер; 3 - магистральный преобразователь; 4 - линии связи; 5 - контроллеры; 6 — датчики (сеть сдвигомеров, сеть щелемеров, пьезометрическая сеть)

Перечисленные структурные элементы совместно с объединяющими их информационными и управляющими связями выполнены для стационарного геодезического деформационного мониторинга Усть-Каменогорского шлюза.

Структурный элемент «Преобразование смещений бетонных элементов в смещение контрольных точек подсистемы» реализован геодезической КИА (обратными отвесами, щелемерами и пьезометрами).

Структурный элемент «Первичное преобразование смещений контрольных точек в электрический сигнал подсистемы» реализован первичными датчиками из состава периферийных средств системы.

Структурный элемент «Преобразование амплитуды электрического сигнала в цифровой код» реализован вторичными измерительными преобразователями (контроллерами из состава периферийных средств системы).

Структурный элемент «Измерение» реализован техническими средствами устройства связи с объектом.

Структурный элемент «Математическая обработка», «Ведение информационного фонда», «Отображение выходных данных в инженерных единицах», «Управление, синхронизация, контроль» реализованы техническими средствами вычислительного комплекса (ВК), общим и специальным программным обеспечением (СПО).

Информационное обеспечение системы содержит описание всех сигналов и кодов, используемых для связи технических средств. В качестве основных критериев при разработке системы принята минимальность и достаточность информационного обеспечения. Свойство минимальности информационного обеспечения проявляется в отсутствии дублирования и минимизации избыточности информации и использования машинных ресурсов (время занятости процессора, занятость канала ввода-вывода, количество носителей информации и т. д.). Достаточность информационного обеспечения заключается в возможности реализации всех информационных функций системы. В основу разработки математической модели объекта контроля положено его представление в виде пространственной системы контрольных точек, связанных системой геодезических измерений. Входными переменными модели являются планово-высотные смещения контрольных точек, связанные системой геодезических измерений, выходными - изменения геометрических параметров геодезической КИА. Структурная и параметрическая идентификация модели выполняется с использованием вероятностно - статистического подхода и заключается в адаптации модели к объекту контроля. Структурное программное обеспечение системы подразделяется на общее и специальное программное обеспечение. Общее программное обеспечение (ОПО) представлено операционными системами Windows, Linux. Специальное программное обеспечение (СПО) представляет собой программную систему, обеспечивающую при поддержке ОПО выполнение всех функций системы, реализуемых с участием программируемых технических средств. Комплекс технических средств (КТС) разработан на основании требований к информационному и математическому обеспечению системы. В состав КТС входят ВК, на базе РС, стандартизированные средства измерения (первичные преобразователи и измерительные контроллеры), в составе изделий государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации. Работа системы инициализируется оператором. Переход на работу в режиме «АВАРИЯ» осуществляется автоматически и сопровождается выводом диагностического сообщения.

С 2009 г. успешно идёт поэтапная реализация этого проекта. Подсистема щелемеров и пьезометрическая сеть находятся на этапе опытной эксплуатации. Подсистема сдвигомеров находится на стадии пуско-наладочных работ (идёт установка технических средств и отладка программного обеспечения). Таким образом, система, основным назначением которой является автоматизация процессов контроля за деформациями бетонных элементов камеры Усть-Каменогорского шлюза успешно решает задачи оперативного контроля планово-высотных смещений гидротехнических элементов камеры шлюза и своевременного оповещения персонала при возникновении аварийных

ситуаций, что повышает эффективность технического обслуживания шлюза и безопасность его эксплуатации.

Заключение

1. Уникальность конструкции Усть-Каменогорского шлюза, длительность его эксплуатации и расположение в сейсмоактивном районе требует особого подхода к геодезическим наблюдениям и нуждается в непрерывном геодезическом мониторинге.

2. Постоянный геодезический мониторинг деформаций бетонных элементов камеры на Усть-Каменогорском шлюзе реализуется путём оснащения существующей геодезической КИА специализированными техническими и программными средствами, объединёнными в централизованную систему.

3. Использование унифицированных технических и программных средств для системы Усть-Каменогорского шлюза существенно сократило сроки её проектирования и внедрения.

4. Реализуемая на Усть-Каменогорском шлюзе система позволяет инженерному персоналу осуществлять непрерывный мониторинг геодезических деформаций и своевременно реагировать на внештатные ситуации.

© В.А. Середович, Г.Н. Ткачёва, А.В. Середович, 2012

ТЕХНОЛОГИЯ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

Алексей Александрович Деговцов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС), 630049, г. Новосибирск-49, ул. Дуси Ковальчук, 191, тел. +7-923-180-00-46, e-mail: deggraf@mail.ru

В статье представлена технология выполнения мобильного лазерного сканирования АПК «Сканпуть», его калибровка, технологии обработки полученных данных и построения облака точек в специализированных программных продуктах.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование, капитальный ремонт пути, технология сканирования, облако точек, обработка данных, калибровка, трехмерная модель, геометрические параметры железной дороги, ГИС.

MOBILE LASER SCANNING TECHNOLOGY FOR A DESIGN AND SURVEY WORKS

Alexey A. Degovcov

Federal government budgetary institution of higher education "Siberian Transport University", 630049, city Novosibirsk, Dusi Kovalchuk street, 191, engineer in research engineering railway center, tel. +7-923-180-00-46, e-mail: deggraf@mail.ru

The article presents implementation of mobile technology laser scanning HSC "Skanput", its calibration, technology of data processing and the construction of cloud of points using of specialized software products.

Key words: mobile laser scanning, major overhaul the railway, scanning technology, cloud of points, data processing, calibration, three-dimensional model, geometric parameters of the railway, GIS.

Особым значением в проектно-изыскательских работах всегда выделялись объекты линейного характера, такие как автомобильные и железные дороги, ЛЭП, трубопроводы и т.п. Особенность проектно-изыскательских работ на таких объектах заключается в том, что они имеют большую протяженность, а для получения актуальной пространственной информации об их состоянии традиционными методами, требуются большое количество времени и трудовых затрат связанных с многократным перемещением вдоль трассы. С целью повышения производительности выполнения проектно-изыскательских работ на линейных объектах дорожным центром НИДЦ СГУПС был создан аппаратно-программный комплекс «Сканпуть» (АПК «Сканпуть»), который оснащен двумя лазерными сканерами, блоком гироскопов, спутниковой аппаратурой и видеокамерой.

Принцип работы АПК «Сканпуть» заключается в лазерном сканировании и координатном способе привязке всей получаемой пространственной информации.



Рис. 1. Внешний вид АПК «Сканпуть»

Технология мобильного лазерного сканирования с помощью АПК «Сканпуть» имеет существенные преимущества, так как в отличие от технологии лазерного сканирования с использованием стационарных сканеров нет необходимости в расстановке перед каждым запуском комплекса специальных светоотражающих марок, которые являются связующими точками при объединении сканов в единую точечную модель и исключены работы связанные с переустановкой лазерного сканера.

Основными этапами технологии мобильного лазерного сканирования АПК «Сканпуть» являются:

1. Закрепление точки базовой станции спутниковой аппаратуры.

Место закрепления базовой станции выбирается исходя из возможностей используемой модели спутниковой аппаратуры и видимости горизонта.

2. Монтаж комплекса. Монтаж комплекса выполняется непосредственно на местности, в начале съемочного участка. На данном этапе выполняют сборку ходовой тележки комплекса, закрепляют на его раме геодезическое оборудование (два сканера, видеокамера, комплект спутниковой аппаратуры, блоки гироскопов и коммутации, аккумуляторные батареи и подставку для управляющего ноутбука).

3. Подготовка к сканированию. На данном этапе проверяют работоспособность отдельных элементов комплекса после монтажа. Все навесное оборудование комплекса подключают к блоку коммутаций и к

аккумуляторным батареям. Устанавливают параметры сканирования – угол и шаг, проверяют работу видеокамеры, создают рабочие проекты для записи данных на ноутбуке.

4. Калибровка нулей блока гироскопов. Для калибровки нулей комплекс ставят на рельсы в начало съемочного участка. Калибровка выполняется программно, путем выбора соответствующего режима в управляющем программном обеспечении (ПО). Данный этап выполняется с целью определения текущих истинных значений углов комплекса, к которым при движении комплекса будут прибавляться соответствующие приращения.

5. Сканирование. После выполнения подготовительных работ производят общий запуск оборудования комплекса.

6. Съемка искусственных сооружений.

При съемке железнодорожного полотна, как правило, необходима координатная геодезическая привязка всех искусственных сооружений (ИССО) (светофоры, трубы, стрелки, изостыки, предельные столбики и т.п.). С этой целью комплекс останавливают напротив ИССО и не завершая его работу с помощью контроллера спутниковой аппаратуры записывают координаты точки оси пути с кодом соответствующего сооружения.

7. Завершение съемки. Программно останавливают сбор и запись пространственных данных комплекса. Производится демонтаж комплекса.

В результате съемки комплексом получают набор файлов состоящий из двух файлов с лазерных сканеров, файла блока гироскопов и файл со спутниковой аппаратуры.

Обработать полученные данные и построить облако точек можно как в полевых условиях на управляющем ноутбуке, так и в камеральной обстановке.

Для построения облака точек по результатам съемки АПК "Сканпуть", полученные файлы необходимо загрузить в специализированное программное обеспечение (ПО). Основным принцип, используемый программой для построения облака точек это координатная привязка всей получаемой пространственной информации. Для реализации этого принципа был разработан алгоритм построения высокоточной цифровой модели пути (ВЦМП). Данный алгоритм, использует комплексные исходные данные со спутниковой аппаратуры и блока гироскопов рассчитывает с миллиметровой точностью ось железнодорожного пути. Построенная ВЦМП используется для привязки пространственных данных получаемых лазерными сканерами комплекса.

Используя временную синхронизацию данных с гироскопов, лазерных сканеров и спутниковой аппаратуры рассчитывают положение и углы ориентирования комплекса в каждый момент времени, учитывая при этом геометрические параметры ходовой тележки, а также смещение и положение сканера на раме комплекса. Затем данные полученные с лазерных сканеров совмещаются с ВЦМП и ориентируют по параметрам полученных при синхронизации данных.

В результате таких программных преобразований получают один файл в текстовом формате, содержащий пространственные координаты местности.

Для построения облака точек используют программный продукт Cyclone фирмы Leica Geosystems, в который посредством импорта загружают полученный файл в текстовом формате. В итоге получают трехмерную точечную модель съемочного участка пути в заданной системе координат.

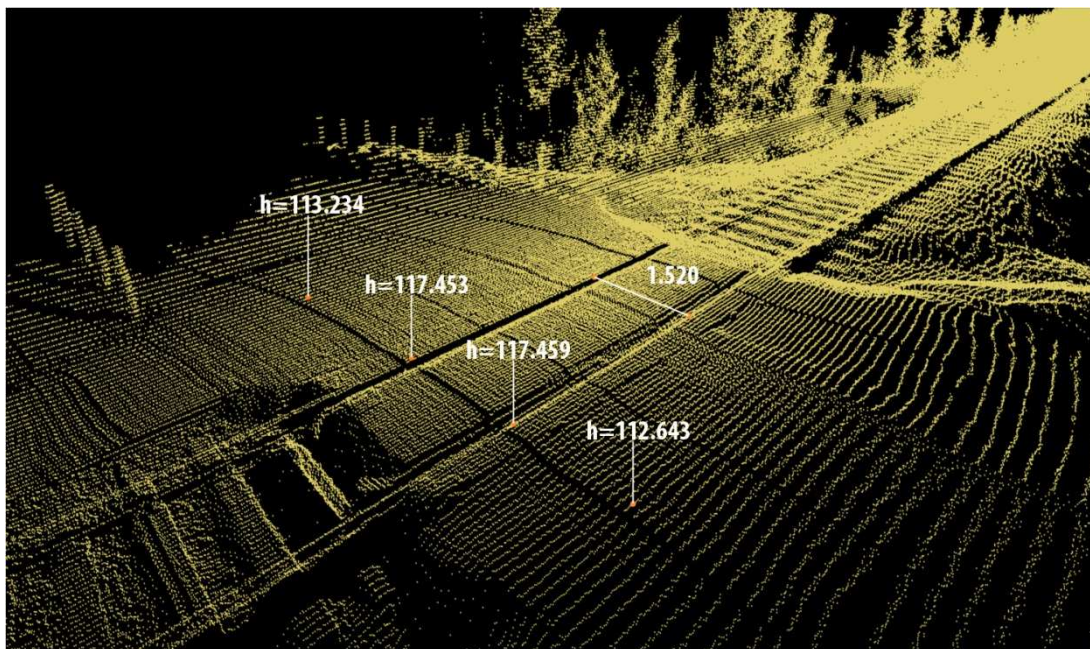


Рис. 2. Точечная модель пути

Полученное облако точек позволяет определять различные геометрические параметры железнодорожного полотна, такие как габариты приближений, межпутное расстояние, высоты и состояние балластной призмы и т.п.

Используя инструментальные возможности ПП Cyclone возможно получение поперечных профилей железной дороги. Для работы с облаком точек данная программа имеет широкий инструментальный набор, который позволяет выполнять различные построения на основе облака точек. Один из таких инструментов позволяет получить сечения облака точек по заданному пути. Используя этот инструмент и ВЦМП (ось пути) получают поперечные сечения железнодорожного пути с заданным шагом. Полученные сечения программа отображает в векторном виде (объект: линия), которые легко экспортируются с помощью обменного формата в программную среду AutoCad, для последующего их редактирования. В программе AutoCad полученные сечения редактируются и оформляются в соответствии с ГОСТ Р 21.1702-96.

На сегодняшний день перспективным направлением использования полученной точечной модели местности считается построение трехмерной модели. Полученные трехмерные модели железнодорожных путей планируется использовать для создания и использования в железнодорожной ГИС. ГИС для железной дороги, который объединяет в себе трехмерную модель пути, подземные, наземные и воздушные коммуникации, различную семантическую информацию о типах используемых шпал, рельс, соединений, материалов, состоянии пути и его инженерных сооружений и т.п. Подобная система во

многим увеличит производительность взаимодействия различных структур железной дороги при разработке проектов модернизации и проектирования.

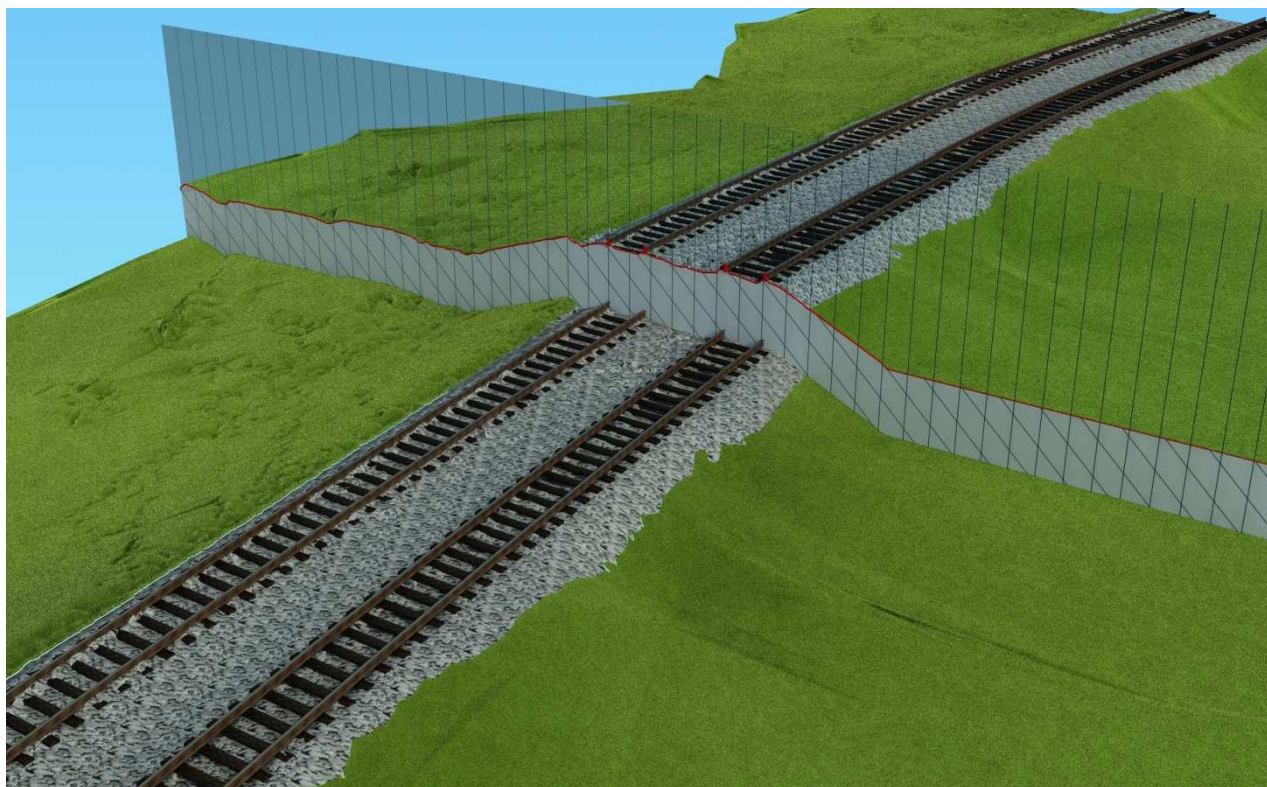


Рис. 3. Поперечное сечение пути

© А.А. Деговцов, 2012

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ: СОСТОЯНИЕ, ВОЗМОЖНОСТИ, ПЕРСПЕКТИВА

Харьес Каюмович Ямбаев

ГОУ ВПО «Московский государственный университет геодезии и картографии», г. Москва

Виктор Романович Яценко

ФГУП «Картосоставительское производственное объединение «Картография», г. Москва

Рассматриваются вопросы организации геодезического мониторинга земной коры в регионах с высокой тектонической и сейсмической активностью, которые должны приниматься во внимание при изысканиях, проектировании и строительстве крупных инженерных, транспортных и других уникальных сооружений, а также для принятия мер обеспечения безопасности жизнедеятельности населения.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, геодинамический полигон, движения земной коры.

GEODETIC MONITORING OF CRUST MOVEMENTS: STATE, OPPORTUNITIES, PROSPECTS

Kharyes K. Yambayev

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow

Victor R. Yashchenko

Map-making production association "Cartography", Moscow

The paper presents the problems of the crust movement geodetic monitoring in the regions of high tectonic and seismic activities. These features should be taken into account when surveying, designing and building major engineering, transport and other unique structures, as well as for the population safety assurance.

Key words: geodetic monitoring, geodynamic testing area, crust movements.

Проектирование, строительство и эксплуатация таких крупных сооружений, как атомные электростанции (АЭС), гидроэлектростанции (ГЭС), ускорители заряженных частиц, магистральные нефтепроводы и т. п., эффективная и безопасная эксплуатация которых критична к планово-высотным деформациям основания и стабильности пространственного положения технологического оборудования требуют соответствующего выбора промышленных площадок в геологическом отношении и проведения инструментального геодезического мониторинга движений земной коры выбранной территории на всех стадиях жизненного цикла таких сложных сооружений вплоть до периодических наблюдений за положением оборудования в процессе эксплуатации.

В свое время на территории СССР была создана сеть (около 50) геодинимических полигонов (ГДП) [5], на которых проводились повторные высокоточные планово-высотные измерения в течение более чем 30 лет. Анализ результатов выполненных повторных нивелировок по программе I класса позволил в 1969 г. создать карту современных вертикальных движений земной коры территории СССР, стран Восточной Европы и Монголии. К сожалению, в настоящее время эти работы на ГДП резко сократились или вовсе не ведутся.

Особое внимание было уделено территориям проектируемых и строящихся крупных инженерных сооружений в атомной и гидроэнергетике. Ниже приведены некоторые результаты геодезического мониторинга территорий строительства Крымской АЭС, Рогунского каскада ГЭС и ИнгуриГЭС по доступным авторам материалам повторных геодезических измерений. Данные инженерные сооружения были спроектированы и строились в сейсмоактивных регионах, поэтому геодинимическому мониторингу уделялось особое внимание. Результаты такого мониторинга оказались весомыми при принятии ответственных правительственных решений. Особо важное значение итоги геодезического и геофизического мониторинга имели для крупной Крымской АЭС.

Строительство Крымской АЭС было запланировано еще в 1968 г., тогда же проводились первые геологические и геодезические исследования. Станция должна была обеспечить электроэнергией весь Крымский полуостров, а также создать задел для развития промышленности региона. (Проектная мощность Крымской АЭС 2000 МВт (два энергоблока) с возможностью последующего наращивания до 4000 МВт.) После строительства города-спутника Щелкино, насыпи водохранилища и вспомогательных хозяйств с 1982 г. началось возведение непосредственно самой станции. В целом стройка шла по графику с запланированным пуском первого реактора в 1989 г. Рядом была построена солнечная электростанция. Возле нее на восточной части Акташского водохранилища расположена также экспериментальная ветровая электростанция, состоящая из 15 ветроагрегатов мощностью по 100 КВт каждый. Все эти установки предназначались для обеспечения строительства и жизнедеятельности г. Щелкино.

Известно, что полуостров Крым является сейсмоопасным регионом. По данным Г. П. Горшкова [2] на его территории ежегодно в среднем происходят до 50 землетрясений, но в основном слабых и средних (магнитудой 1–3). Однако в 1927 г. произошло катастрофическое землетрясение. Большое число зданий и строений было повреждено, 16 человек погибли, около 70 ранено. За главными толчками последовал целый ряд повторных, их общее число в течение двух лет достигла 650. Данное землетрясение отличалось обширностью – его территория охватила до одного млн кв. км, в некоторых местах магнитуда землетрясения доходила до 7 и даже до 8. К моменту начала строительства Крымской АЭС высказывалось мнение, что через территорию строящейся промышленной площадки АЭС проходит тектонический разлом. Ставился даже вопрос о переносе промышленной площадки в другое место.

В 1983 г. правительство поручило Главному управлению геодезии и картографии при Совете Министров СССР (ГУГК при СМ СССР) организовать геодезический мониторинг движений земной коры промышленной площадки Крымской АЭС и прилегающей территории. В это время грандиозная стройка стала набирать запланированный по графику ход.

Была спроектирована и в 1983 г. заложена высокоточная геодезическая сеть по программе, точности и технологии повторного нивелирования I класса с включением существующих в данном районе грунтовых реперов государственной нивелирной сети I и II классов. По северной окраине площадки были заново заложены путем бурения четыре фундаментальных репера глубиной 15 м: п. п. А, Б, В, Г (рис. 1); еще девять реперов 1–9 (см. рис. 1) на глубину 6 м заложили свайным методом. Остальные грунтовые реперы обустроены котлованным методом на глубину 2,5 м в соответствии с действующей тогда «Инструкцией по нивелированию I, II, III и IV классов».

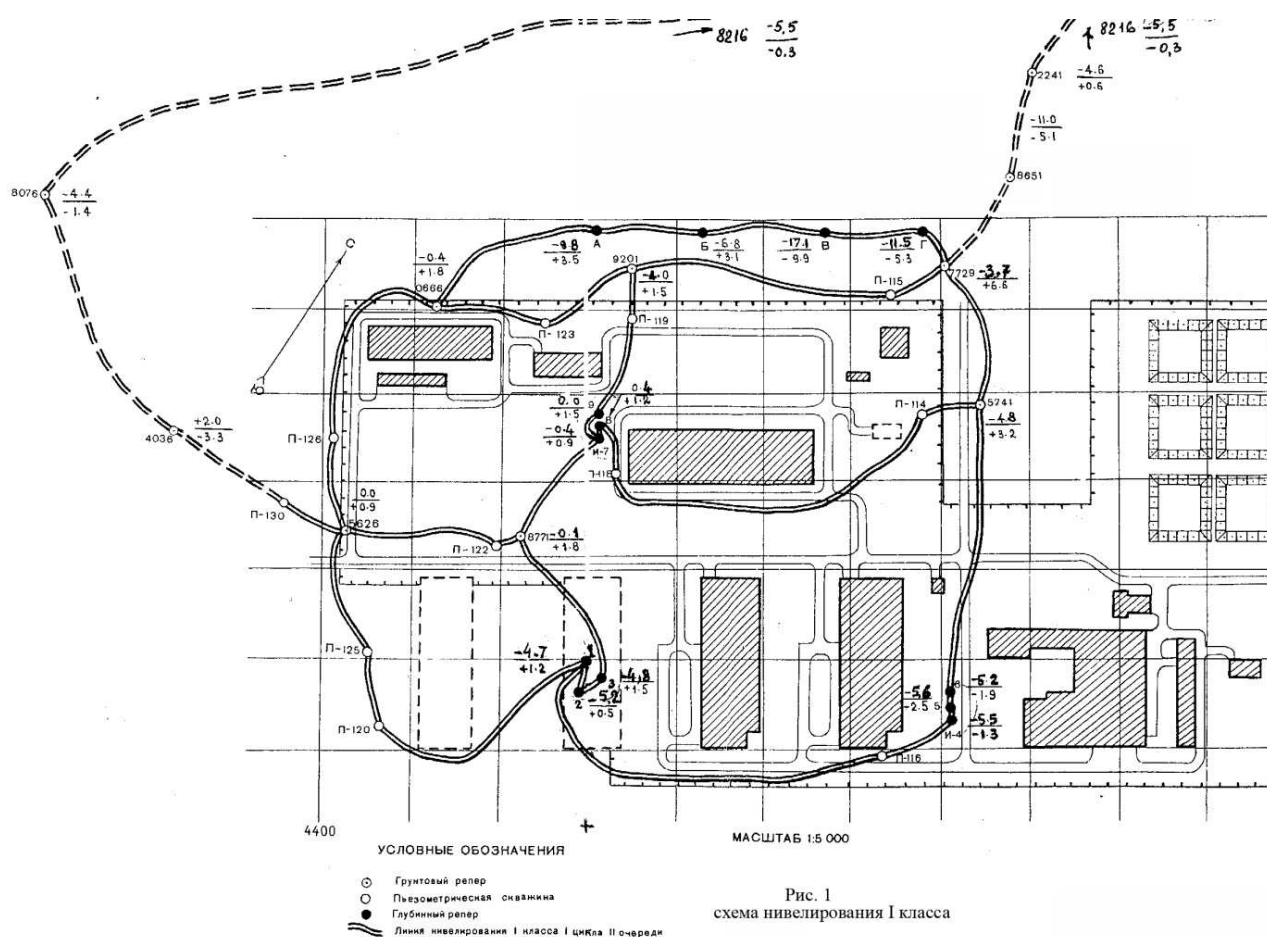


Рис. 1
схема нивелирования I класса

В нивелирную деформационную сеть Крымской АЭС были включены пьезометрические скважины, расположенные равномерно по всей территории строительной площадки. Созданная таким образом высотная геодинамическая сеть включала шесть замкнутых полигонов. Повторные измерения выполнялись в течение ряда лет (с 1984 по 1988 гг.).

При обработке результатов повторных нивелировок за исходный был принят грунтовый репер № 5626 как наиболее устойчивый по результатам повторных нивелировок в течение нескольких предыдущих десятилетий. Этот репер расположен в западной части строительной площадки и входит в число первоклассных пунктов государственной нивелирной сети страны. В течение 1984–1986 гг. было выполнено шесть циклов нивелирования по программе I класса, т. е. по два цикла измерений в год. В 1988 г. был выполнен последний седьмой цикл нивелирования, включивший сохранившиеся реперы и пьезометрические скважины.

Отметим, что закладка всех вышеназванных глубинных и грунтовых реперов была осуществлена в 1983 г., т. е. за год до начала первого цикла повторных нивелировок.

После математической обработки результатов измерений по всем шести полигонам были вычислены разности окончательных превышений $\Delta h = h_i - h_1$, где h_i – превышение между двумя принятыми для анализа деформаций земной коры грунтовыми реперами в данном i -ом цикле измерений; h_1 – превышение между этими же реперами в первом цикле измерений (1984 г.) (рис. 2).

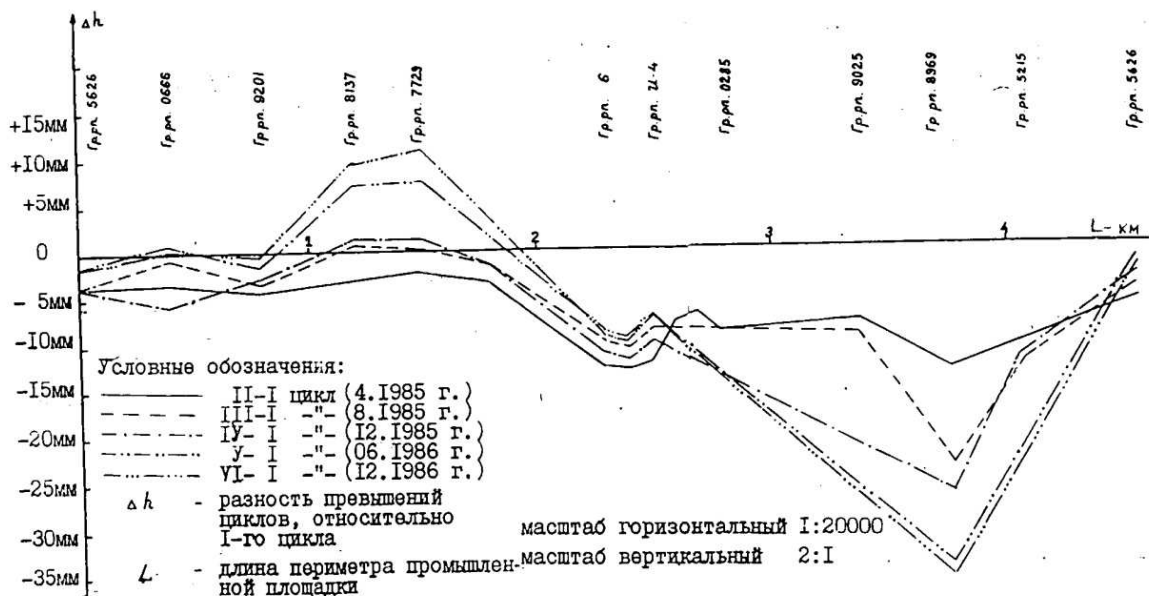


Рис. 2
график накопления разностей превышений нивелирования (1984-1986 гг.)

Как следует из рис. 2 в северной части строительной площадки наблюдается подъем верхнего слоя земной коры до 10 мм за 2,5–3 года; южная часть строительной площадки за это же время опустилась на 35 мм. Это навело на мысль, что бытующее в то время мнение о тектоническом разломе, проходящем через территорию строительной площадки, имеет основание.

Такой характер деформаций земной коры с переменой знака и значительной амплитудой (до 45 мм) не мог остаться без внимания. (Как известно на Кавказе в зоне Спитака происходило подобное же движение земной

Комплекс ГЭС расположен в зоне высокой сейсмоактивности, оползневых и селевых процессов. Под основанием плотины проходит Ионахшский тектонический разлом, заполненный каменной солью. Однако по проекту ее конструкция сейсмоустойчива, а для защиты отложений каменной соли от разрыва запланированы специальные мероприятия.

После заполнения водохранилища на плотине появились трещины. ГУГК при СМ СССР было предложено организовать геодезический мониторинг движений земной коры в районе ГЭС. В 1975 г. был заложен ГДП Рогунской ГЭС. Для этого была создана линейно-угловая геодезическая сеть: заложены грунтовые и скальные реперы и марки. Высотная сеть создана по программе высокоточного нивелирования I класса. Кроме того, параллельно проводились аэрофото- и космическая съемки с высокой разрешающей способностью.



Рис. 4
комплекс сооружений Рогунской ГЭС

По результатам повторных измерений выявлены горизонтальные смещения пунктов ГПД, наибольшая величина которых зафиксирована на сторонах триангуляции, расположенных в непосредственной близости от плотины.

По результатам повторных нивелировок один из пунктов (репер 5740) за 13 лет (1976–1989гг.) опустился практически на 50 мм.

Стереофотограмметрические измерения, выполненные по материалам повторных крупномасштабных аэрофотосъемок, и анализ спектрозональных космических съемок подтвердили отмеченные планово-высотные деформации земной коры.

Результаты геодезических и аэрокосмических исследований были представлены Правительству Таджикистана. Первый заместитель Председателя Совета Министров Таджикской ССР Г. Ф. Кашлаков приостановил строительство каскада ГЭС на р. Вахш. Была создана представительная комиссия для организации комплексных исследований ущелья р. Вахш, что позволило оптимизировать местоположение и конструкцию каждой плотины каскада ГЭС.

После распада СССР строительство ГЭС было законсервировано. В 2004 г. было подписано соглашение между Правительством Таджикистана и компанией «Русал» о достройке ГЭС. Пуск первой очереди в составе двух гидроагрегатов мощностью 400 МВт планируется на конец 2012 г.

На Кавказе, в 30 км от побережья Черного моря, на р. Ингури возведена ИнгуриГЭС с высотной арочной плотиной (рис. 5).



Рис. 5 плотина Ингури ГЭС

Плотина и сооружения ИнгуриГЭС располагаются в зоне высокой тектонической активности [1]. В течение многих лет наблюдаются вертикальные движения земной коры – подъем поверхности земли в том числе на участке промышленной площадки ГЭС. Поэтому было принято решение о создании ГДП ИнгуриГЭС. До заполнения водохранилища в 1978 г. на ГДП

были проведены первые геодезические работы и выполнен первый цикл высокоточного нивелирования. Через год проведены линейно-угловые измерения по пунктам микротриангуляции ГДП с целью исследования возможных горизонтальных деформаций. В 1986 г. был закончен шестой цикл планово-высотного геодезического мониторинга движений земной коры. Анализ результатов повторных шести циклов геодезических измерений показал, что горизонтальных деформаций, опасных для функционирования высотной плотины и других сооружений Ингури ГЭС, нет.

Однако по результатам повторных высокоточных нивелировок выявлены значительные вертикальные деформации блокового характера, достигающие 40 мм в зоне Гагро-Мухурского разлома [4].

Наибольшее проседание земной поверхности произошло в 1979 г. во время землетрясений средней активности.

Выполненные геодезические работы на ГДП Ингури ГЭС позволили составить картограмму локальных движений земной коры и выявить наиболее устойчивые зоны берегов для последующего строительства каскада плотин ГЭС на р. Ингури.

В заключение следует еще раз отметить важность проведения геодезического мониторинга движений земной коры в зоне строительства крупных инженерных сооружений промышленного, энергетического, спортивно-зрелищного и т. п. назначения, что особенно относится к регионам с высокой тектонической и сейсмической активностью. При этом результаты геодезического мониторинга должны учитываться не только при изысканиях (выбор месторасположения возводимых объектов), но и при проектировании, строительстве и эксплуатации таких сооружений [3]. Тем более, что современная технология геодезических измерений настолько совершенна, что позволит организовать практически непрерывный геодинимический мониторинг в реальном масштабе времени. Особенно перспективные возможности предоставляют ГЛОНАСС/GPS-технологии, следящие системы на базе компьютеризированных и моторизованных электронных тахеометров и цифровых нивелиров, лазерных трекеров и т. д.

Современные средства оперативной связи, компьютерной обработки большого массива данных и их интерпретации позволяют весь комплекс геодезических, геофизических, гравиметрических и других данных автоматически передавать в единый аналитический центр для оперативного принятия решений и разработки мероприятий по уменьшению риска и последствий от опасных явлений природного и техногенного характера.

Рассмотрим некоторые результаты повторных нивелировок с целью определения вертикальных движений земной коры на примере территории Юга Российской Федерации.

Исторически нивелирная сеть территории юга Российской Федерации начала развиваться в 90-х годах XIX столетия. В это время Корпусом военных топографов было выполнено геометрическое нивелирование по трассе Тихорецк–Краснодар–Крымская–Тоннельная. До настоящего времени сохранились отдельные стенные марки, заложенные в ж/д постройки, что даёт

возможность определить значение СВДЗК за вековой период с 1895 по 1990 гг., а также за промежуточные интервалы времени. Дальнейшее развитие трасс нивелировок было продолжено в 20-х и 30-х годах прошлого столетия. В этот же период в этом регионе было выполнено нивелирование по трассе, измеренной в 1895 г., что уже в 30-х годах позволило получить достоверную информацию о вертикальных движениях земной коры.

К настоящему времени на территории сформировалась сеть трасс нивелирования (рис. 6). Все линии имеют минимум двукратное нивелирование. Многие нивелировки повторялись от 3 до 5 раз в течении столетия. Сеть повторного нивелирования в разные годы была привязана к рабочим реперам уровенных постов Чёрного и Азовского морей. При составлении карт вертикальных движений земной коры на данную территорию это позволило использовать абсолютные значения скоростей движения реперов и уровенных постов по многолетним уровнемерным данным.



Рис. 6. Сеть трасс нивелирования на территории Предкавказья

Сопоставление результатов повторного нивелирования позволило составить карту современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК), вначале на локальные участки, а затем и на всю территорию южного региона России — Предкавказья, а в последующем (1989 г.) и всей страны. В связи с наращиванием мощностей индустриального строительства информация о движениях земной коры приобретает практический интерес особенно при проектировании и строительстве магистральных трубопроводов, ГЭС, тоннелей, атомных установок и других уникальных инженерных сооружений.

В 1960 г. была создана постоянная международная Комиссия по современным движениям земной коры, входящая в состав Международного

геодезического и геофизического союза (МГГС). В 1961 г. Советский геофизический комитет провел первую всесоюзную конференцию по проблеме современных движений земной коры. Выступая на этой конференции М.И. Синягина с докладом «О геодезическом методе изучения современных движений земной коры и результатах его применения» сказала: «Московский институт инженеров геодезии, аэрофотосъёмки и картографии занимается изучением современных вертикальных движений земной коры по данным повторного нивелирования. Предварительные фрагменты карты скоростей вертикальных движений земной коры в мм/год на территории СССР опубликована. Вследствие этого важно остановиться на некоторых принципиальных вопросах создания карт скорости современных движений. Эти вопросы приобретают особое значение в связи с включением работ по изучению современных вертикальных движений в деятельности Международного геодезического и геофизического союза» [6]. М.И. Синягина опровергла метод создания карт современных вертикальных движений земной коры по материалам однократного повторного нивелирования, поддержав метод исследования движений земной коры, проделанный А.А. Изотовым, по многократным повторным нивелировкам западного побережья Каспийского моря, а также исследования современных тектонических движений в северном Предкавказье, выполненные В.Г. Левинсоном и Ю.С. Мещеряковым [6].

На регион Юга России по результатам повторных нивелировок создано несколько вариантов карт СВДЗК [7–9], которые в последующем уточнялись. Последняя карта издана Главным управлением геодезии и картографии в 1989 г. на всю территорию СССР в масштабе 1:5 000 000 [5]. На всех картах СВДЗК, составленных в предыдущие годы, Ставропольское плато испытывает подъём земной поверхности; в слабые поднятия втянуты платформенные равнины между Ростовским выступом и Ставропольским плато. На их фоне заметное опускание земной поверхности происходит в зоне Тихорецкой впадины.

На карте СВДЗК (рис. 7) регион находится в более или менее спокойном состоянии. На фоне медленных движений с небольшими скоростями выделяется локальное «пятно» с центром в г. Ставрополь. Город с юга окружён подковообразной Ставропольской возвышенностью с отметками до 800 м, застроенная часть города расположена в долине, где происходит подъём земной поверхности со скоростью +8,3 мм/год. Для этого региона, где отсутствуют большие горные перепады, такие высокие скорости интенсивной направленности не характерны и вызывают озабоченность в сеймотектоническом отношении.

Для районов Минеральных вод, Ставрополя, Краснодара, Новороссийска имеется большой материал повторных нивелировок в течение более чем векового периода времени. Эти материалы и карта СВДЗК позволяют обосновать местоположение индустриального строительства уникальных сооружений, трасс магистральных трубопроводов, плотин, мостов и др. По каждой нивелирной трассе имеются ведомости превышений и графики скоростей современных вертикальных движений земной коры, которые детально, километр за километром, характеризуют численно и графически

наглядно результаты повторных геодезических измерений. Эти материалы позволяют уточнить вероятность деформационных процессов.

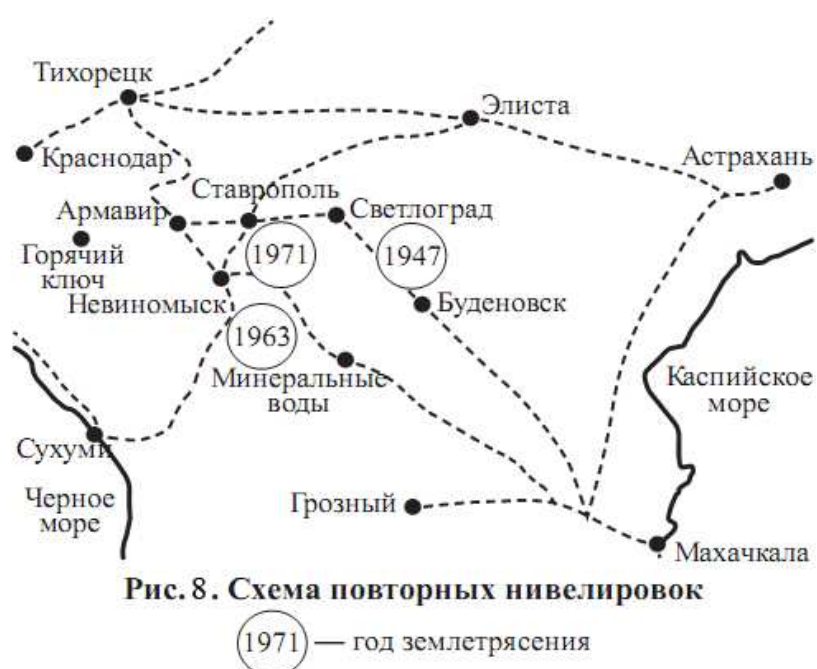
Таким образом, повторные геодезические наблюдения дают возможность отразить геодинамические процессы в виде конкретных таблиц, графиков, провести корреляцию с геолого-геофизическими, неотектоническими и другими данными с целью:

- Обеспечения проектировщиков и строителей крупных инженерных сооружений количественными данными о движениях земной коры;
- Установления характера современной геодинамики, что способствует обнаружению параметров предвестников землетрясений;
- Определения закономерностей СВДЗК;
- Уточнения границ контуров тектонических структур;
- Установления унаследованности СВДЗК, особенно в береговой полосе Черноморского побережья;
- Сокращения интервалов повторных нивелировок до 5 лет в сейсмоактивных регионах.



Рис. 7. Фрагмент карты СВДЗК

2 октября 1971 г. произошло восьмибалльное Ставропольское землетрясение. Следует отметить, что в районе Ставропольского плато выполнено значительное количество повторных геодезических измерений. К недостатку следует отнести большие промежутки времени между повторными измерениями. Так трасса Ставрополь–Светлоград–Будённовск (рис. 8) выполнена в 1947 г. по программе II класса и только через 25 лет т.е. в 1972 г., высокоточное нивелирование было повторено. По трассе Тихорецк–Армавир–Ставрополь нивелирный ход по программе II класса выполнен в 1946 г., а повторен уже первоклассным нивелированием только в 1974 г. Нивелирование II класса по трассе Ставрополь–Элиста выполнено в 1947 г. и в 1972 г. В этот промежуток времени произошли также Невинномысское землетрясение (25 декабря 1963 г.) силой в 7 баллов и Владимирское — семибалльное (23 ноября 1947 г.).



Анализ результатов повторных нивелировок показывает, что в этот двадцатипятилетний период происходили интенсивные перепады в движениях земной коры.

Нивелирная трасса Светлоград–Будённовск первоначально была осуществлена в 1928–1931 гг., повторные измерения были выполнены летом 1947 г., а 23 ноября 1947 г. произошло землетрясение силой 7 баллов с эпицентром между населёнными пунктами Рогатая Балка и Благодарный. На графике (рис.9, а) видно, что возрастание напряжённости в земной коре замечено повторным нивелированием, локальный подъём зафиксирован именно в этом месте.

Нивелирная трасса II класса Невинномысск–Минеральные воды выполнена в 1945–1946 гг., затем в 1974 г. повторно было занивелировано 18 геодезических центров по программе I класса. В промежутке между этими геодезическими измерениями произошло семибалльное Невинномысское землетрясение 25 декабря 1963 г. Эпицентр находился севернее нивелирной

трассы, между железнодорожными станциями Дворцовый и Водораздел, севернее Красного водохранилища. На рис.9, б графически изображен характер движений земной поверхности, где четко прослеживается вспучивание (подъём) на участке землетрясения.

Нивелирная трасса Армавир–Ставрополь–Светлоград длиной 206 км была выполнена в 1947 г., затем в 1972–1973 гг., а 2 октября 1971 г. произошло восьмибалльное землетрясение. При нивелировании в 1972 г. секцию Надежда–Ставромарьевка–Грачевка переделывали несколько раз, из-за недопустимых невязок, измерительные работы затянулись до зимы, пришлось в 1973 г. возобновить полевые работы. Геолого-геоморфологические обследования подтвердили, что после землетрясения 1971 г. происходило резкое опускание земной поверхности — это обстоятельство отчетливо видно на графике (рис.9, в) в районе станции Грачёвка.

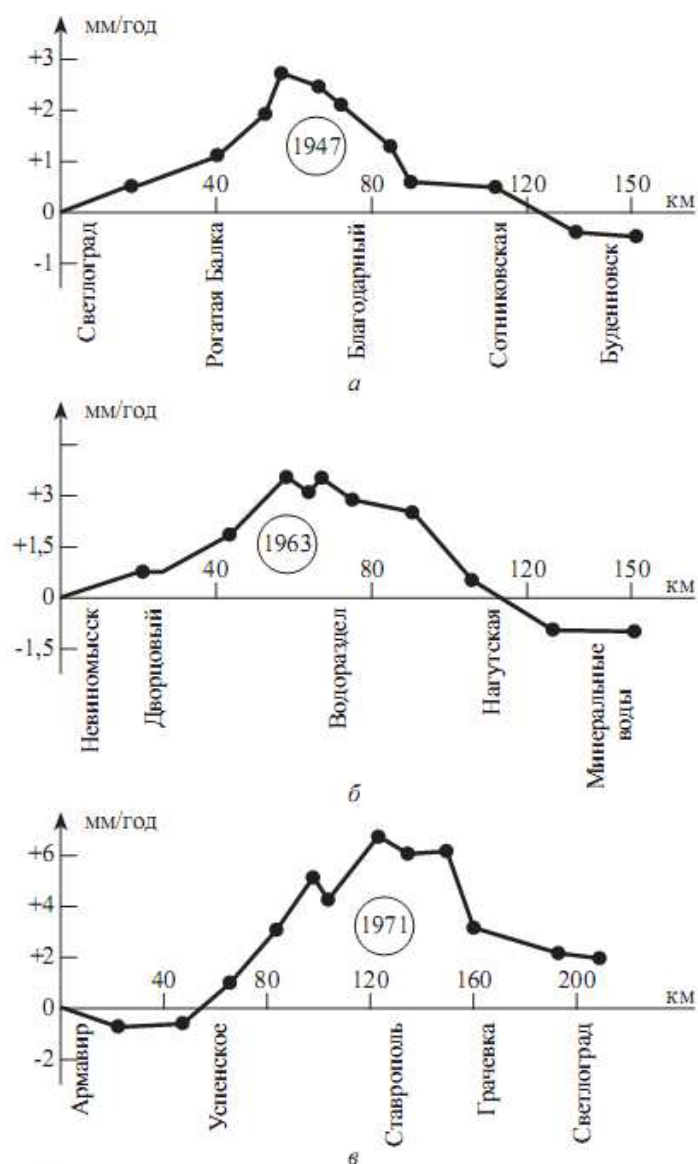


Рис.9. Графики скоростей по результатам повторных нивелировок в зонах землетрясений:
 а — Светлоград–Буденновск; б — Невинномысск–Минеральные воды; в — Армавир–Светлоград

Регион Предкавказья долгие годы находился под пристальным наблюдением учёных, которые разрабатывали проект по переброске водных потоков из Черного и Азовского в Каспийское море.

По результатам повторных нивелировок, выполненных в 1935 г., всё побережье от Новороссийска, начиная с 1882 г. на постах, Чёрного моря также указывали на опускание всей прибрежной полосы Чёрного моря. В последующих нивелирных измерениях (1949–1950) от Новороссийска до Архипо-Осиповки процесс опускания земной поверхности сохранился, а от Архипо-Осиповки до Поти направленность движения земной коры изменилось, началось медленное поднятие, мы увязываем такую перемену в знаках движения с происшедшими землетрясениями в 1936–1937 гг., которые высокой балльностью изменили степень напряжённости в земной мантии, дальше от Поти до Батуми скорость опускания земной коры сохранилась.

При проектировании и строительстве грандиозных транспортных магистралей и сооружений в этом регионе необходимо проделать повторные нивелировки, особенно по побережью Чёрного моря.

По результатам повторных нивелировок возможно выявить детальную картину характера изменения скоростей вертикальных движений в том или ином регионе.

Созданная в конце восьмидесятых годов XX в. карта СВДЗК в определённой степени отражает происходящие процессы в земной мантии, но для статистической связи деформаций с характером сейсмического режима необходимо продолжать эти исследования путём повторных нивелировок по всем первоначально проложенным трассам. К сожалению, в последние 25 лет инструментальный геодезический мониторинг движений земной коры практически прекратился.

Инструментальный геодезический мониторинг движений земной коры в очагах землетрясений выявляет закономерность изгибаний земной поверхности до и после землетрясений.

Результаты повторных нивелировок неоспоримо свидетельствуют о тесной корреляционной связи между движениями земной коры и сейсмоактивностью той или иной зоны возникновения очага землетрясений.

Развитие современных спутниковых технологий координатных определений на основе GPS/ГЛОНАСС-измерений коренным образом изменяют принцип построения геодезических сетей на геодинамических полигонах с целью изучения деформаций земной коры. Эти изменения в основном сводятся к следующему:

- По результатам измерений на каждом пункте с высокой точностью определяются все три координаты, т.е. пространственное положение геодезического пункта;

- Возможна реализация непрерывных наблюдений и передачи информации в единый центр данных в масштабе реального времени (мониторинг), тем самым осуществляется регистрация деформации и оперативный контроль их критической величины;

- Анализ результатов непрерывных GPS-измерений (как индикаторов динамики деформаций) является основой для регламентации частоты (цикличности) более подробных деформационных измерений повторными высокоточными нивелировками или GPS/ГЛОНАСС-измерениями;
- Высокая степень свободы выбора местоположения пункта (возможность расположения непосредственно в ослабленных зонах по линии разлома и в то же время легко доступного);
- Возможность высокоточного определения взаимного положения точек физической поверхности Земли, удаленных друг от друга на значительные расстояния.

Таким образом, по результатам непрерывных GPS-измерений определяются количественные характеристики деформаций земной коры в местах наиболее активных разломов (ослабленных зон); по результатам GPS-измерений, как деформационных индикаторов, определяется необходимость, точность и цикличность повторных нивелировок, устанавливается специальная геофизическая аппаратура: деформографы, наклотметры и др.

В результате может быть создана практически автоматизированная система геодинамического мониторинга деформационных процессов, в том числе и регистрации величин деформаций в масштабе реального времени (рис. 10).

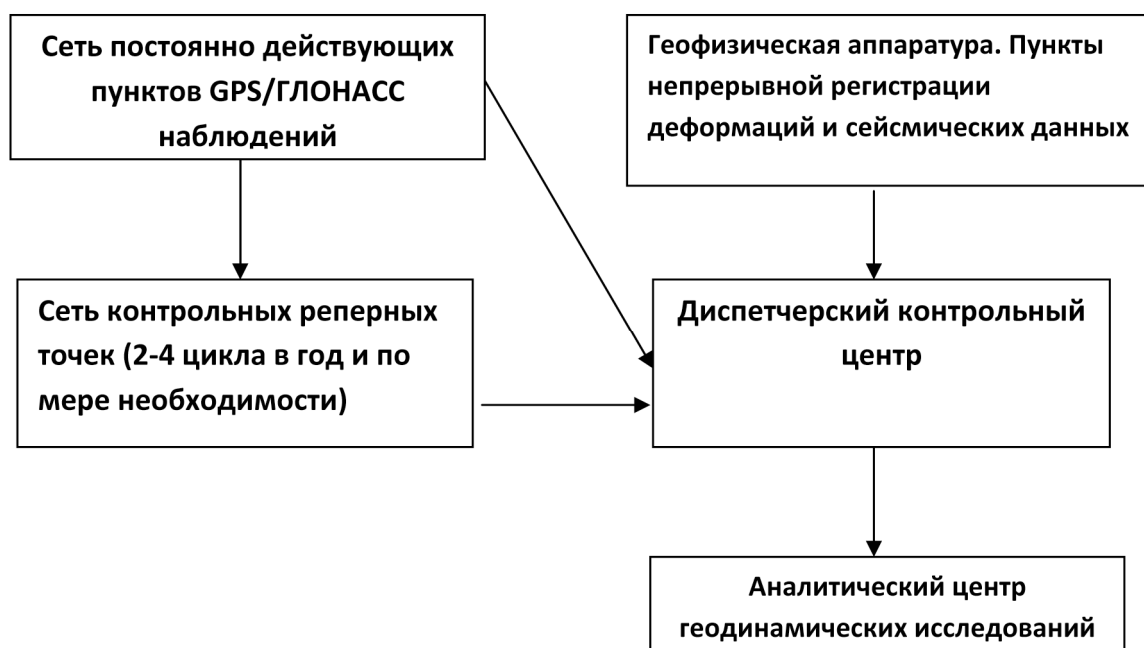


Рис. 10. Структура системы деформационного мониторинга

Эти новые возможности современных спутниковых геодезических технологий при изучении деформаций земной коры, дают следующие преимущества по сравнению с традиционными методами геодезии на геодинамических полигонах.

1. При традиционных методах геодезических измерений на каждом из подобных геодинамических полигонов Роскартографии развивалась сеть из 20–30 пунктов триангуляции, расположенных, как правило, на вершинах гор или других труднодоступных местах. Эти условия расположения пунктов приводили к большим сложностям организационного характера и значительным экономическим затратам. Одновременно развивалась сеть нивелирных пунктов, как правило, вдоль дорог или по долинам рек. Это приводило к тому, что сеть триангуляции и нивелирная сеть развивались независимо друг от друга, что затрудняет последующий анализ деформаций. Стоимость только одного цикла измерений с последующей обработкой на таком полигоне составляет порядка 25 млн руб.

2. При использовании классической (традиционной) схемы геодинамических работ организация повторных измерений на каждом полигоне возможна на интервале в лучшем случае в 1÷5 лет. Тем более, что проведение одновременно измерений по всем пунктам полигона практически невозможно. Поэтому вероятность уловить момент активизации деформационных процессов очень мала, а изучение же процесса подготовки возможных землетрясений практически нереально.

3. Построение непрерывного мониторинга деформационных процессов, основанного на применении современных спутниковых технологий, вовсе не означает отказ от использования уже накопленного информационного потенциала на основе традиционных геодезических методов. Все эти данные изучаются и используются при создании новых геодезических построений. Мало того, при создании спутниковой системы контрольных точек могут быть максимально использованы геодезические пункты (главным образом нивелирные репера), уже созданные Роскартографией на той или иной территории. Метод повторного нивелирования был и остается наиболее точным, а следовательно, наиболее объективным методом изучения вертикальных движений земной коры. Однако при этой технологии создания геодинамического полигона предполагается выполнение работ по повторному нивелированию только с той цикличностью и на тех локальных участках, где по данным непрерывного GPS-мониторинга отмечают наиболее активные деформационные процессы.

В настоящее время одной из задач по безопасности функционирования инфраструктуры сооружений гражданского и промышленного назначения является регистрация собственно деформаций и контроль их допустимых величин в масштабе реального времени. Разрушительные землетрясения происходят не так часто, а собственно процесс деформаций земной коры — это постоянный непрерывный процесс и их величины в районах тектонических разломов могут вывести из строя инженерные сооружения и помимо землетрясений.

Центральным узлом всего комплекса непрерывного мониторинга будет являться сеть из пунктов постоянных GPS/ГЛОНАСС-наблюдений за деформациями, расположенных, как правило, в районе населенных пунктов, на

железнодорожных станциях, порталах тоннелей, мостов и т.п. На этих постоянно действующих пунктах GPS/ГЛОНАСС-наблюдений будут установлены спутниковые приемники для непрерывной регистрации практически с любыми интервалами. Данные наблюдений в масштабе реального времени будут передаваться в единый диспетчерский контрольный центр. В этом центре в автоматизированном режиме на основе специализированного программного обеспечения будут регистрироваться величины деформаций (изменения координат во времени по четырем составляющим X, Y, Z и HG). Эти величины в виде непрерывных графиков во времени будут являться текущим контрольным отчетным материалом диспетчерско-аналитического центра. На специализированном сайте центра будут помещаться сами результаты GPS/ГЛОНАСС-измерений. Это позволит в режиме постобработки выполнить высокоточные определения координат для обеспечения многих других задач - кадастра, геодезического обеспечения строительства, топосъемок и т.п. различными организациями.

Файлы с измерениями на GPS-пунктах передаются с компьютеров на центральный сервер, установленный в диспетчерском центре по запросам, генерируемым ежесуточно в автоматическом режиме. На центральном сервере осуществляется фильтрация и первичная архивация данных, поступающих со станций, а затем предварительная обработка с помощью специализированного программного обеспечения (GAMIT/GLOBK) массива данных по всему данному региону.

В настоящее время все шире развиваются региональные спутниковые координатно-навигационные системы хозяйственного назначения для обеспечения крупномасштабных топографических съемок, для решения задач землепользования (кадастров различного назначения, разбивочных работ и исполнительных съемок в строительстве, навигации и т.п.). Как правило, такие референц-системы представляют собой совокупность значительного количества постоянно действующих ГЛОНАСС/GPS геодезических пунктов.

При надлежащем расположении и закреплении пунктов референц-сетей в городах и на территориях регионов, при введении в их компьютерно-телекоммуникационную систему блока деформационного мониторинга и некоторых других доступных по стоимости обременений такие региональные референц-системы (PPC) также могут быть одним из реальных путей геодинамического мониторинга, особенно в сейсмоактивных регионах.

Таким образом, при надлежащем отношении органов государственной власти регион может получить возможность организации геодинамического мониторинга с минимальными финансовыми вложениями. Разработку такого геодинамического блока, обязательного в составе региональной референц-системы, возможно осуществить на примере действующей PPC, новосибирской области, созданной благодаря эффективной работе СГГА этом направлении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абашидзе В. Г., Блуашвили И. М., Жаринов Н. А., Шенгелая Э. Г. Изучение вертикальных смещений земной поверхности с помощью гидростатических наклономеров в районе строительства плотины ИнгуриГЭС / Сб. тр. конф. по СДЗК. – Киев, 1980. – С. 98–102.
2. Горшков Г. П. Землетрясения на территории Советского Союза. – М.: Госиздат, 1949. – 120 с.
3. Рикитак Т. Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1967. – 390 с.
4. Яценко В. Р., Ямбаев Х. К. Геодезия и извечные тайны движения земной коры // Геопрофи. – 2006. – № 4. – С. 61–66.
5. Яценко В. Р., Ямбаев Х. К. Геодезический мониторинг движений земной коры. – М.: изд-во МИИГАиК, 2007. – 208 с.
6. Синягина М.И. О геодезическом методе изучения современных движений земной коры и результатах его применения: Сборник СДЗК. –М.: 1963. –№1. –С. 25–32.
7. Думитрашко Н.В., Лилиенберг Д.А., Муратов В.М. Особенности современных тектонических движений Кавказа: Сборник СДЗК. –М.: 1968. –№3. –С. 265–281.
8. Лилиенберг Д.А. Общие и региональные закономерности современной геодинамики Кавказа (по геоморфологическим и инструментальным данным): Сборник СДЗК. – Киев: Наукова думка, 1980. –С. 204–217.
9. Матцкова В.А. Карта скоростей современных вертикальных движений земной коры Кавказа и юго-востока Приазовья: Сборник СДЗК. –М.: 1968. –№3. –С. 244–264.
10. Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территорию СССР. Масштаб 1:5 000 000. – М.: ГУГК. 1989.

© Х.К. Ямбаев, В.Р. Яценко, 2012

ПРИНЦИПЫ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ

Петр Юрьевич Бугаков

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10, ассистент кафедры прикладной информатики. тел. (383)343-18-53, e-mail: kaf.pi@snga.ru

В статье рассматриваются некоторые проблемы картографического отображения трехмерных моделей местности. Затрагиваются особенности естественного зрительного восприятия пространства, его глубины и масштабного соотношения предметов. Предлагаются некоторые базовые принципы оптимизации создания перспективных карт местности на основе трехмерных цифровых моделей местности.

Ключевые слова: трехмерная модель местности, зрительное восприятие, принципы, перспективная карта.

THE PRINCIPLES OF CARTOGRAPHIC DISPLAY OF THREE-DIMENSIONAL TERRAIN MODELS

Peter Y. Bugakov

Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo, Novosibirsk 630108, assistant lecturer, department of applied computer science. tel. (383) 343-18-53, e-mail: kaf.pi @ snga.ru

Some problems of cartographic display of three-dimensional terrain models are considered. The features of the visual perception of space, depth and ratio of the scale of objects are describes. Some basic principles for optimization of the creation of perspective terrain maps based on the three-dimensional digital terrain models are offered.

Keywords: three-dimensional terrain model, visual perception, principles, perspective map.

Разработка выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по контракту № 02.740.11.0735 при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям".

Основной проблемой построения трехмерной модели местности всегда являлась высокая трудоемкость сбора и переработки большого объема пространственной информации. Однако появление новых электронных измерительных и вычислительных систем позволило автоматизировать этот процесс и существенно сократить время, затрачиваемое на создание цифровой трехмерной модели местности. Современные радиолокационные и оптико-электронные измерительные системы в совокупности с компьютерными системами обработки данных обеспечивают быстрое создание трехмерных цифровых моделей местности с высоким уровнем детализации.

Трехмерная цифровая модель местности представляет собой базу пространственных данных, описывающих в цифровой форме объекты

местности, и может применяться для визуального отображения геопространства, пространственных измерений и анализа.

Одной из характерных черт современной картографии является появление нового направления по составлению картографических произведений на основе обработки созданных трехмерных моделей местности. При этом открывается возможность оперативного составления не только традиционных двухмерных, но и трехмерных картографических произведений.

Рассматривая процесс составления картографического произведения на основе трехмерной цифровой модели местности, который в настоящей работе обозначается термином «трехмерное картографирование», можно выделить два основных этапа:

1. Преобразование трехмерной цифровой модели местности (ТЦММ) в картографическую трехмерную цифровую модель местности (КТЦММ);
2. Формирование и визуализация картографического произведения по КТЦММ.

Первый процесс заключается в представлении объектов ТЦММ средствами картографии: системой трехмерных и плоских условных знаков, генерализацией, цветовым и текстурным оформлением.

Причем генерализация трехмерной цифровой модели местности, в отличие от традиционных карт должна выполняться не только в горизонтальной плоскости, но и по высоте.

Генерализация трехмерной цифровой модели местности (в плане и по высоте) включает в себя:

1. Отбор объектов для трехмерной визуализации;
2. Типизацию трехмерных моделей (обобщение качественных и количественных характеристик);
3. Обобщение очертаний трехмерных моделей;
4. Утрирование или показ объектов с преувеличением.

Второй процесс трехмерного картографирования заключается в построении по КТЦММ и последующей визуализации картографических изображений в трехмерном пространстве (в виде физических макетов или трехмерных голографических изображений) или на плоскости (на экране отображающего устройства, бумаге или любом другом плоском носителе).

Отсюда принцип №1. Процесс составления картографического произведения на основе трехмерной цифровой модели местности («трехмерное картографирование») выполняется в два этапа:

1. Преобразование ТЦММ в КТЦММ с использованием методов генерализации (в плане и по высоте) и системы трехмерных и плоских условных знаков;
2. Получение картографического произведения путем формирования и визуализации КТЦММ.

На традиционной карте условные знаки подразделяют на три основные группы [1]: точечные; линейные и площадные. С помощью условных знаков из этих трех групп можно отобразить на плоской традиционной карте любой объект. Однако для изображения объектов на картографической трехмерной модели местности их будет недостаточно. Для этой цели требуется разработка новой системы условных знаков, включающей как трехмерные, так и плоские условные знаки.

Предположительно, условные знаки объектов картографической трехмерной модели можно разделить на семь основных групп, представленных в табл. 1.

Таблица 1. Группы условных знаков трехмерной картографической модели

№ п/п	Группа УО	Описание объекта	Пример использования
1	Точечные плоские	- не имеет значимой высоты; - внемасштабный в плане (размеры объекта не выражаются в масштабе визуализации);	Люк подземных коммуникаций, родник
2	Точечные трехмерные	- внемасштабный по высоте; - внемасштабный в плане.	Памятник, колодец
3	Линейные плоские	- не имеет значимой высоты; - внемасштабный в плане по ширине; - масштабный в плане по длине.	Административная граница
4	Линейные горизонтальные трехмерные	- внемасштабный по высоте; - внемасштабный по ширине; - масштабный в плане по длине.	Ограждение
5	Линейные вертикальные трехмерные	- масштабный по высоте; - внемасштабный в плане по ширине; - внемасштабный в плане по длине.	Опора ЛЭП, радиовещательная вышка
6	Площадные плоские	- не имеет значимой высоты; - масштабный в плане.	Пашня, луг
7	Трехмерные	- масштабный по высоте; - масштабный в плане.	Масштабное сооружение

В данной таблице под объектами, не имеющими значимой высоты, подразумевается объекты, реальная высота которых во много раз меньше реальных размеров по длине и ширине.

Таким образом, можно сформулировать принцип №2. Требуется разработка новой системы реалистичных условных знаков, включающей плоские и трехмерные условные знаки, и ориентированной на использование в процессе создания картографических произведений на основе трехмерной цифровой модели местности.

Одним из основных этапов создания любого картографического произведения на основе трехмерной цифровой модели местности является картографическая визуализация. Под картографической визуализацией трехмерной модели местности будем понимать метод преобразования трехмерной картографической цифровой модели земной поверхности в удобное для зрительного восприятия изображение в соответствии с картографическими законами.

В зависимости от мерности получаемого картографического произведения можно выделить два метода картографической визуализации:

1. Двухмерная визуализация на экране отображающего устройства, бумаге или другом плоском носителе;
2. Трехмерная визуализация в виртуальном или реальном пространстве (в виде голографического изображения).

Выбор того или иного метода картографической визуализации обусловлен назначением создаваемого картографического изображения и требованиями, предъявляемыми к нему.

Поскольку технические средства трехмерной картографической визуализации все еще остаются весьма дороги и находятся на стадии начального развития, то наиболее актуальным является метод визуализации трехмерных моделей местности на плоскость. Поэтому далее будет рассматриваться только двумерная картографическая визуализация картографических трехмерных цифровых моделей местности.

Двухмерная визуализация основана на построении изображения объекта путем проецирования его точек пучком лучей на плоскость. В современных компьютерных системах, позволяющих работать с трехмерной графикой, наибольшее распространение получил способ центрального проецирования. При этом изображение трехмерного пространства, полученное таким способом, называют линейной или ренессансной перспективой. Однако, согласно фундаментальной работе академика Б.В. Раушенбаха [2, стр. 91] линейная перспектива не обеспечивает естественного зрительного восприятия пространства предметов. Под естественным восприятием следует понимать формирование у человека максимально достоверной картины об изменении масштабов и о расстоянии между объектами вдоль оси, направленной от смотрящего.

Если рассматривать устройство человеческого глаза, то можно с легкостью обнаружить его сходство с объективом фото или видеокамеры. Глаз, как и объектив, строит изображение на поверхности светочувствительного слоя - сетчатки в соответствии с линейной проекцией. Однако зрительная система представлена не только глазом, но и мозгом человека, который производит над сетчаточным изображением операции, подобные обратным перспективным преобразованиям [3]. Поэтому линейная перспектива, в отличие от естественного зрительного восприятия, неверно передает глубину пространства и вносит масштабные искажения разноудаленных предметов.

То есть, картографическое произведение, построенное в соответствии с особенностями зрительного восприятия человека, будет обладать большей наглядностью, а объекты, изображенные на этом произведении, будут более узнаваемы на местности. Эти характеристики играют немаловажную роль при создании картографических произведений для решения задач архитектуры, навигации, туризма и др.

Согласно способу, предлагаемому в [4], для уменьшения искажений, вносимых линейной перспективой, в процесс проецирования объектов на

плоскость могут быть введены дополнительные перспективные преобразования.

Таким образом, можно сформулировать два принципа, связанные с визуализацией картографической трехмерной цифровой модели местности:

Принцип №3. При построении картографического произведения на основе трехмерной картографической цифровой модели местности может быть использована система перспективного проецирования с дополнительными перспективными преобразованиями для повышения уровня соответствия получаемого изображения зрительному восприятию человека.

Принцип №4. Поскольку процесс перспективного проецирования вносит определенные перспективные искажения в изображение объектов, то масштаб визуализации в различных точках созданного картографического произведения будет различным.

Общей целью построения перспективного картографического произведения является предоставление человеку зрительного образа рассматриваемой территории, оптимального с точки зрения определенных задач, содержания, формы представления. Набор задач, решаемых перспективным картографическим произведением, определяется его назначением.

По назначению перспективные картографические произведения могут быть разделены на навигационные, презентационные, учебные, для осуществления отраслевой деятельности (МЧС и другие силовые структуры, автодорожная отрасль, Росреестр, строительство, туризм), для территориального управления (в первую очередь архитектура и градостроительство), для осуществления деятельности промышленных предприятий, для исторических изысканий. Каждое из этих направлений диктует свои требования к характеристикам создаваемых перспективных картографических произведений.

В зависимости от своего содержания картографические произведения могут быть разделены на два класса:

1. Без выделения значимых элементов картографируемой модели. При этом все объекты строятся с общими параметрами и в одной проекции. Этот подход обеспечивает более реалистичную картину местности.

2. С искусственным выделением значимых элементов картографируемой модели. При этом карта строится путем синтеза отдельных трехмерных объектов или их групп, каждая из которых строится по своим заданным параметрам. Этот подход целесообразно использовать при необходимости выделения значимых объектов местности. Значимость элементов картографируемой модели задается главным образом в зависимости от назначения создаваемого картографического произведения. Так, например, для исторического картографического произведения особо значимыми элементами будут являться объекты, имеющие историческую ценность. Объекты такого рода требуют выделения путем применения особых приемов отображения. Приемами выделения значимых объектов при создании картографического произведения могут являться: выделение цветом, утрирование масштаба, повышение детализации, особое расположение точки наблюдения, при котором

значимый объект картографируемой трехмерной модели местности будет выглядеть более выигрышно (например, на переднем плане картографического произведения) по сравнению с другими менее значимыми объектами.

Таким образом, можно сформулировать принцип №5. В зависимости от сочетания вариантов назначения и содержания должен осуществляться выбор параметров, применяемых в процессе преобразования ТЦММ в КТЦММ с целью визуальной оптимизации картографической модели для управления качеством и эксплуатационными характеристиками получаемого на ее основе перспективного картографического произведения.

В завершение можно отметить, что в данной статье сформулированы некоторые базовые принципы, отражающие лишь часть аспектов процесса создания картографических произведений на основе трехмерной цифровой модели местности. Данное направление современной картографии требует переосмысления и адаптации к новым возможностям компьютерных технологий традиционных методических основ, а также разработки новых научно-методических решений и подходов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянт А. М. Картография: Учебник для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2001.
2. Раушенбах Б.В. Системы перспективы в изобразительном искусстве. Общая теория перспективы. – М.: Наука, 1986
3. Зенкин Г.М., Петров А.П. О механизмах константности зрительного восприятия пространства // Сенсорные системы. Л.: Наука, 1979.
4. Способ изображения предметов (варианты): пат. 2241258 Рос. Федерация : МПК7 G06T15/20 / Ковалев А.М.; заявитель и правообладатель Новосибирск. Институт автоматизации и электрометрии СО РАН. - №2003103201/09 ; заявл. 03.02.2003 ; опубл. 27.11.2004

© П.Ю. Бугаков, 2012

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОЗДАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ

Светлана Сергеевна Дышлюк

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. 8(383)361-06-35, e-mail: SS9573@yandex.ru

Евгений Владимирович Павлов

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры картографии и геоинформатики, тел. 8(383)361-06-35, e-mail: betrick@yandex.ru

В современной картографии требуются новые подходы к созданию тематических карт, а именно автоматизированный подход к созданию различного рода таких карт. Проблема автоматизации может считаться решенной в отношении элементарных аналитических карт, но требует больших усилий для сложных карт, особенно комплексных, таких как тематические карты. Автоматизированная обработка данных для создания тематических карт требует их формализации.

Ключевые слова: создание тематических карт, автоматизированная обработка данных, формализация.

AUTOMATION OF THEMATIC MAP-MAKING

Svetlana S. Dyshlyuk

Ph.D., Assoc. Prof., department of Cartography and GIS, SSGA, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk 630008, phone: 8 (383) 361-06-35, e-mail: SS9573@yandex.ru

Yevgeny V. Pavlov

A post-graduate student, department of Cartography and GIS, SSGA, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk 630008, phone: 8 (383) 361-06-35, e-mail: betrick@yandex.ru

Current cartography is in need of new approaches to thematic map-making, namely automation of the process. Automation of elementary analytical maps being nearly completed, complicated maps, especially complex thematic maps demand great efforts. To computerize data processing for thematic map-making, the maps are to be formalized.

Key words: thematic map-making, automated data processing, formalization.

В современной картографии требуются новые подходы к созданию тематических карт, а именно автоматизированный подход к созданию различного рода таких карт.

В настоящее время карты составляются на компьютере. Потому что этот способ составления не требует особых затрат, как физических, со стороны человека, так и материальных, по сравнению со способами ручного составления. Повышается качество картографической продукции, сокращается время выполнения работы. Появилась возможность быстро обновить карту.

Но главной целью является комплексная автоматизация процессов изготовления серийных топографических и тематических карт, а также специальных карт, нуждающихся в систематическом и срочном выпуске, в регулярном обновлении и переизданиях. Проблема автоматизации может считаться решенной в отношении элементарных аналитических карт, но требует больших усилий для сложных карт, особенно комплексных, при автоматизированном выполнении которых необходимо оперативное взаимодействие между картографом и автоматическими устройствами (интерактивное вмешательство оператора в работу автоматов) [1].

В основном автоматизация коснулась процессов, требующих больших вычислительных и временных ресурсов, а также многих черновых работ, которые приходилось выполнять в картографии ранее. Однако, всем этим процессам присуще одно свойство - четкая алгоритмизация. Однако это вызывает много трудностей. В первую очередь это касается автоматического чтения информации, процесса генерализации, некоторых других вопросов. То есть всех тех задач, при решении которых мы не можем описать четкую последовательность элементарных шагов, приведших к решению, и используем наши собственные субъективные ощущения. Успех в автоматизации этих задач зависит от прогресса в области распознавания образов и искусственного интеллекта [1].

Если раньше авторский оригинал карты чертился тушью, то на сегодняшний момент он вычерчивается на экране монитора компьютера. Для этого используют географические информационные системы (ГИС). Например, ESRI ArcGIS, EasyTrace, Панорама, MapInfo и др.

Автоматизированная обработка данных требует их формализации. Пространственные данные представляют собой информационную основу ГИС. Способы формализации (представления) этой информации является технологической основой действия ГИС.

Формализовать картографическую информацию можно путем построения картографического изображения на основе его иерархического описания из конечного набора элементарных символов, что, кроме того, обеспечивает логику построения изображения. Такое изображение может храниться в автоматизированных банках картографических данных и может быть подвергнуто содержательному анализу и поиску, поскольку строится на принципах унификации и стандартизации условных обозначений, а также однозначного соответствия графического изображения смысловому содержанию отображаемого объекта.

В данном случае можно говорить о формализованном картографическом языке, позволяющем формировать картографическое изображение с помощью классификационной содержательной модели объектов.

В настоящее время, с учетом повсеместного использования компьютерной техники и ГИС-технологий, формализация процессов создания карт является одной из актуальных задач картографии. Как отмечает ряд авторов, внедрение формальных процедур в картографические работы позволяет автоматизировать выполнение наиболее рутинных и трудоемких этапов создания карты, благодаря

чему высвобождается время для экспериментов и творчества в области картографического моделирования и оформления карт [2,3].

Формализация процесса создания тематических карт в ГИС-среде предполагает прежде всего четкое пошаговое описание этого процесса, опирающееся на ряд принципов, которые определяют характеристики картографируемых показателей и методику составления цифровых карт, а именно [3]:

1. Сложный и многогранный процесс создания тематических карт сводится к решению ряда типовых задач. Формулировка задач максимально проста и понятна пользователю, и требует от него лишь выбора показателей картографирования, которые будут использоваться на создаваемой карте. Далее построение карты происходит в автоматическом режиме. Данный принцип значительно упрощает использование ГИС широкими слоями населения, привыкшего работать с готовыми картами, но не имеющего опыта в их составлении.

2. При решении конкретной типовой задачи используются показатели, официально утвержденные и принятые Федеральной службой государственной статистики при ведении Российской государственной статистики. Данный принцип обеспечивает интуитивную понятность процесса составления карт как работникам административных органов, так и специалистам научно-исследовательских учреждений разного рода, поскольку им приходится иметь дело с привычным понятийным аппаратом и терминологией.

3. Для картографической реализации типовых задач, решаемых ГИС целесообразно применять способы картографического отображения, выбранные с учетом характера распространения картографируемых объектов (явлений) и специфики отображаемых показателей. В частности:

- Способ картограммы - используется для показа относительных статистических показателей по единицам административно-территориального деления.

- Способы картодиаграммы – используется для изображения абсолютных статистических показателей по единицам административно-территориального деления с помощью диаграммных знаков.

- Способ изолиний - применяется для изображения непрерывных, плавно изменяющихся явлений, образующих физические поля.

- Способ линейных знаков – используется для изображения реальных или абстрактных объектов, локализованных на линиях.

- Способ значков – применяется для показа объектов, локализованных в пунктах и обычно не выражающихся в масштабе карты.

- Способ ареалов – состоит в выделении на карте области распространения какого-либо сплошного или рассредоточенного явления.

Данный принцип обеспечивает наглядность и высокую информационную емкость создаваемых карт.

4. Технологическая последовательность решения типовой задачи предусматривает возможность размещения полученной карты в сети Интернет.

Конвертация карты осуществляется в ГИС-приложение, при этом используется специально разработанный конвертор. В результате создается полноценная копия карты в векторном формате данных, в которой при необходимости имеется возможность создания новых и редактирования имеющихся данных. Данный принцип обеспечивает как легкость публикации созданных карт, так и упрощает обмен картографической информацией с другими пользователями ГИС.

Таким образом, при создании тематических карт может быть формализован не только перечень исходных данных, но и расчетных показателей и методика расчета, а также используемые способы картографического отображения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. Учебн. для вузов.// Под ред. В.С. Тикунова / М., Академия,2005.-480 с.
2. Кравченко О.Л. Смежные дисциплины и предмет геоинформатики. <http://www.geodesy.net.ru/rubrik/gis/geoinformatika/smezhnye-distipliny-i-geoinformatiki>.
3. Дышлюк С.С., Николаева О.Н., Ромашова Л.А., Сухорукова С.А. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка,2011.-№5- С 95-97.

© С.С. Дышлюк, Е.В. Павлов, 2012

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ТУВИНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

Михаил Федорович Андрейчик

Тувинский государственный университет, 667000, г. Кызыл, ул. Ленина, 36, кандидат биологических наук, доцент кафедры экономической географии и ГИС, тел. (394-22)3-11-62, e-mail: andreychik@yandex.ru

Светлана Алексеевна Чупикова

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, 667007, г. Кызыл, ул. Интернациональная, 117а, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаб. геоинформатики и моделирования процессов, тел. (392-22)6-62-18, e-mail: s_fom@inbox.ru

В статье рассмотрено использование инструментария геоинформационных систем для построения электронных карт распределения осадков в Тувинской горной области.

Ключевые слова: Тувинская горная область, осадки, геоинформационное картографирование.

GIS-TECHNOLOGY APPLICATION IN CREATING MAPS OF ATMOSPHERIC SEDIMENTS DISTRIBUTION OF TUVINIAN MOUNTAIN AREA

Michail F. Andreichik

Tuvan State University, Candidate of biological sciences, associate professor, chair of economic geography and GIS, 667000, Kyzyl, tel. (394-22)3-11-62, e-mail: andreychik@yandex.ru

Svetlana A. Chupikova

Tuvinian Institute for the Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, candidate of geographical sciences, senior research scientist of the Laboratory of Geoinformatics and Process Modelling, Kyzyl, 667007, tel. (394-22)6-62-18, e-mail: s_fom@inbox.ru

Application of geoinformation systems' toolkit for creating electronic maps of sediments distribution in Tuvinian mountain area is considered in the article.

Key word: Tuvinian mountain area, deposits, geoinformation mapping.

Введение

Тувинская горная область (ТГО) представляет собой обособленную орографическую систему, включающую 18 хребтов и 9 котловин, с отчетливыми границами тектонических разломов площадью 168,6 тыс. км², что составляет почти 26% Алтае-Саянской горной страны в границах РФ. Самыми крупными являются Тувинская (Центрально-Тувинская), включающая в себя Улуг-Хемскую и Хемчикскую котловины. В северной части Тувы находится Турано-Уюкская котловина, в северо-восточной – Тоджинская, в южной – северная часть Убсунурской котловины. К более мелким отрицательным

формам рельефа относятся Чаа-Хольская, Торгалыг-Шагонарская, Тере-Хольская и Каргинская котловины. Почти со всех сторон ТГО окаймлена сложной системой горных хребтов и нагорий. Климат резко континентальный; в зимний период преобладают мощные инверсии и изотермии. Сложный горный рельеф оказывает существенное влияние на количество, характер и распределение осадков по территории.

По количеству выпадающих осадков ТГО относится к зоне рискованного земледелия. Распределяются осадки по территории ТГО неравномерно, среднегодовые суммы колеблются от 200 до 400 мм. Вычисленный средний показатель неравномерности осадков для исследуемого региона равен 77%, что соответствует показателям Южной и Центральной Азии и Северной Австралии.

Методика обработки исходных данных

В лаборатории геоинформатики и моделирования процессов ТувиКОПР создана и наполняется база данных природно-ресурсного потенциал и статистических показателей социально-экономическом развитии Тувы. Одним из направлений работы является картографирование климата для сбалансированного территориального развития Республики Тыва. Наличие многолетних рядов наблюдений климатических параметров температурного режима, режима увлажнения и других позволяет проводить оценку их пространственной и временной изменчивости.

Методы обработки климатологической информации для создания климатических карт обоснованы в трудах [1-2]. Согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО) для оценки изменения климата используется тридцатилетний период – 1961–1990 гг., принятый в качестве основных (официальных) климатических норм, относительно которого вычисляются отклонения за любой временной промежуток. Для выявления тенденции изменения климата мы рассматривали два периода – 1961–1990 и 1977–2008 гг. [3].

Последние климатические карты, изданные в 2005 г. для территории Тувы [4] являются устаревшими, так как они составленные по данным 70-х годов прошлого века. Исходными данными являются статистические ряды осадков (увлажнения) воздуха за теплый и холодный периоды 1961–1990 и 1977–2008 гг.

Средние многолетние величины, полученные путем принятой в климатологии специальной обработки и приведенные к одному периоду, являются сопоставимыми данными, характеризующими одну из сторон климата (увлажнение, термический режим и т. д.) и могут быть непосредственно использованы в целях картографирования. Методика построения карт по средним многолетним значениям хорошо разработана. Помимо средних значений на картах могут быть нанесены экстремальные значения климатических показателей. Эти данные могут быть структурированы в специальные базы данных периодов климата.

Нами проведены работы по геоинформационному картографированию распределения температуры января, июля, среднегодового значения температуры, осадков за периоды 1961–1990 гг., 1977–2008 гг., а также

пространственного распределения индекса континентальности, метеорологического потенциала загрязнения атмосферы (МПА)[5]. При создании ГИС-проекта использовалась программа ArcGIS 9, а также свободно распространяемое ПО ГИС Quantum GIS.

Результаты исследований

Для имеющихся климатических рядов были вычислены корреляции и совпадения. В связи с тем, что температурные характеристики имелись по каждому сроку наблюдения в течение месяца, проводилось осреднение и обработка имеющихся данных средствами Microsoft Office Excel. Таким образом, были получены значения режима увлажнения за теплый и холодный периоды 1961–1990 гг. и 1977–2008 гг. для каждой метеостанции Тувы. Основные работы проводились с использованием инструментария ArcGIS 9.0; в геоинформационной среде были созданы картографические модели основных климатических характеристик. Применялся модуль Geostatistical Analyst, позволяющий выполнить интерполирование значений путем изучения взаимосвязей между всеми опорными точками, и построить непрерывную поверхность распределения климатических показателей и дать оценку статистическим свойствам данных.

Инструменты исследовательского анализа пространственных данных, включенные в модуль Geostatistical Analyst, Spatial Analyst, применялись для оценки статистических свойств данных, изменчивость пространственных данных, их значимость и тренды (рис. 1). Технология модуля Geostatistical Analyst позволяет применение двух групп методов интерполяции: *детерминистских и геостатистических*. Все методы построения поверхности основаны на сходстве значений, расположенных близко к опорным точкам. Детерминистские методы используют для интерполяции математические функции. Геостатистика опирается как на статистические, так и на математические методы, которые могут быть использованы для построения поверхности и для оценки ошибки интерполяции [6].

В своей работе мы рассматривали различные методы интерполяции для отображения режима увлажнения по периодам за 19961-1990 и 1977-2008 гг. Один из вариантов интерполяции выполнен в модуле Spatial Analyst, такой же метод применялся в работе [2]. Преимуществом интерполяции проведенной методом сплайна, является то, что этот метод рассчитывает значения точек на основе математической функции, минимизирующей кривизну поверхности, в результате получается сглаженная поверхность, точно проходящая через все точки измерений. Этот способ является наилучшим для моделирования непрерывных поверхностей для таких климатических показателей, как температура, количество осадков и т.д. Хотя для уточнения построенных изолиний необходима географическая интерполяция данных: учет взаимосвязей с рельефом и климатообразующими факторами.

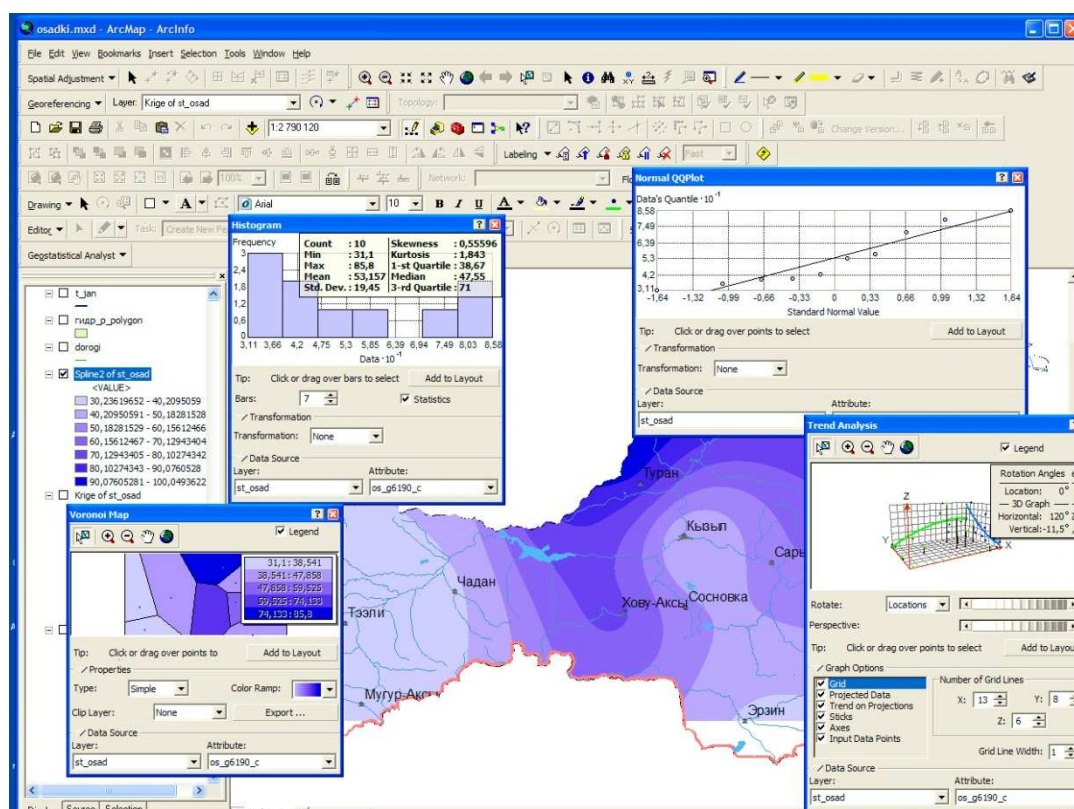


Рис. 1. Пример изображения экрана программы ArcGIS, изучения распределения данных среднегодовых атмосферных осадков

Полученные карты проанализированы с точки зрения изменений увлажнения. В целом в регионе носит пульсационный характер. Уменьшение атмосферных осадков в отдельных областях Тувинской горной области, усугубило их влагообеспеченность, так для сухостепной области Убсу-Нурской котловины уменьшение осадков составило 3,4%.

Таким образом, с использованием инструментария геоинформационных систем были созданы и визуализированы картографические слои, содержащие интерполированные значения среднегодовых атмосферных осадков, для анализа и понимания пространственных явлений, распределение осадков на территории Тувинской горной области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем / А.В. Кислов // М.: МАИК "Наука"/ Интерпериодика". – 2001. – 351 с.
2. Божилин Е.А., Суворов А. К. Выбор временных интервалов и комплексирование информации из баз данных для создания климатических карт. – Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. Режим доступа: http://conf.nsc.ru/files/conferences/intercarto17/abstracts/79558/79559/HTMLTXT_Bozilina_Suvorov_Interkarto_2011_resumeHTML.html
3. Андрейчик М.Ф., Чульдун А.Ф. Изменение климата в Улуг-Хемской котловине Тувинской горной области / М.Ф. Андрейчик, А.Ф. Чульдун // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – С. 1–6.

4. Экономический потенциал Республики Тыва (2003-2004 гг.) / Науч. Ред. докт. Геол.-мин. наук В.И. Лебедев, докт. Экон. Наук Ю.Г. Полулях. – Кызыл. ТувИКОПР СО РАН, 2005. – 60с.

5. Андрейчик М.Ф., Чупикова С.А. Современные методы обработки и интерпретации индекса континентальности Республики Тыва с использованием ГИС // Материалы VII международной научно практической конференции 17-25 июля 2011 София «БялГРАД-БГ» ООД 2011 т.9. – С. –16-19. Режим доступа:
www.rusnauka.com/18_DSN_2011/Geographia/2_90204.doc.htm

6. ArcGIS 9 Geostatistical Analyst. Руководство пользователя [Электронный ресурс] Copyright 2001 ESRI All Rights Reserved. Russian Translation by DATA+, Ltd. – 278 с.

© М.Ф. Андрейчик, С.А. Чупикова, 2012

АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОПРОСТРАНСТВА ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Александр Петрович Карпик

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, ректор СГГА, тел. 8(383)3433937, e-mail: v_seredovich@list.ru

Владимир Адольфович Середович

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, проректор по ИиНД, тел. 8(383) 3433937, e-mail: v_seredovich@list.ru

Алексей Викторович Дубровский

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, заведующий лабораторией "Дигитайзер", тел. 8(383) 3610109, e-mail: avd5@mail.ru

Эдуард Лидиянович Ким

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, тел. 8(383) 3433937, e-mail: kim@ssga.ru

Олеся Игоревна Малыгина

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры кадастра, тел. 8(383) 3610109, e-mail: 131379@mail.ru

В статье рассмотрен опыт выполнения работ по анализу зон затопления и проектирования противопаводковых мероприятий для пойменной зоны реки Обь в черте города Новосибирска. В результате определены природные и техногенные особенности территории, оказывающие влияние на развитие чрезвычайной ситуации. Обобщены данные геологических, гидрологических, почвенных исследований. Выполнено компьютерное моделирование зон затопления. Предложены конкретные мероприятия по защите территории от наводнения. Вводится понятие "геопространство чрезвычайной ситуации". Дается прогноз затопления территории города Новосибирска при критическом и наивысшем катастрофическом уровнях воды в водохранилище.

Ключевые слова: геопространство, чрезвычайная ситуация, геоинформационный анализ, моделирование.

EMERGENCY GEOSPACE

Alexander P. Karpik

Ph.D., Rector, Siberian, State Academy of Geodesy, 8 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: 8(383) 3433937, e-mail: v_seredovich@list.ru

Vladimir A. Seredovich

Ph.D., Vice-rector for Science and Innovations, Siberian, State Academy of Geodesy, 8 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: 8(383) 3433937, e-mail: v_seredovich@list.ru

Alexey V. Dubrovsky

Ph.D., head of "Digitizer" laboratory, Siberian, State Academy of Geodesy, 8 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: 8(383) 3610109, e-mail: avd5@mail.ru

Eduard L. Kim

Siberian, State Academy of Geodesy, 8 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: 8(383) 3610109, e-mail: kim@snga.ru

Olesya I. Malygina

Ph.D., Senior lecturer, Department of Cadastre, Siberian, State Academy of Geodesy, 8 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: 8(383) 3610109, e-mail: e-mail: 131379@mail.ru

The paper presents the experience of flood zones analysis and preventive measures planning for the Ob high-water bed within the city boundaries. Natural and technogenic features of the territory, resulting in emergency situations, are determined. The results of geological, hydrological and soil investigations are generalized. Computer modeling of the flood lands is considered. Special measures on the territory flood defense are offered. The term "emergency geospace" is introduced. The forecast for Novosibirsk territory flooding in case of the critical highly catastrophic water level in the reservoir is given.

Key words: geospace, emergency situation, GIS analysis, modeling.

Природные и техногенные объекты в своей совокупности образуют сложные техногенные природно территориальные комплексы (ТПТК) [1]. Границы ТПТК в пространстве определяются по ряду признаков, которыми являются границы ландшафтов, зоны влияния определенных процессов или явлений, ареалы распространения различного вида характерных территориальных особенностей и т.д.

Происходящие в настоящее время чрезвычайные ситуации (ЧС) природного и техногенного характера, оказывают влияние на методику определения границ ТПТК. ЧС распространяется на несколько территориальных зон или сред, в которых могут находиться различные число ТПТК. Некоторые ЧС оказывают влияние на совокупность природных сред геологическую, географическую, космическую. Такие ЧС являются наиболее опасными и как правило влекут за собой огромные материальные потери и жертвы среди населения. Все это дает полное право наряду с термином «геопространство» [2] выделить отдельно понятие – «Геопространство чрезвычайной ситуации» (ГЧС).

ГЧС - это ограниченное факторами влияния чрезвычайной ситуации на определенный момент времени множество пространственных объектов процессов и явлений. Для характеристики ГЧС предлагается использовать различные классификационные признаки. Для определения территориальной локализации ГЧС применима традиционная классификация ЧС на глобальные, континентальные, региональные, локальные [3]. Исследуя распространение

ЧС, следует учитывать возможность влияния ЧС на различные оболочки: географическую, геологическую, космическую. ГЧС по распространению может быть многосредовым. Ранжирование ЧС по величине ущерба также является одной из важных классификационных характеристик, однако этот показатель не оказывает прямого влияния на определение ГЧС как пространственно-временную зону ЧС. Ущерб может быть фактическим и прогнозным. Как правило, величина прогнозного ущерба определяется по значению максимальной границы ГЧС. При этом временной фактор может значительно расширить локализацию ГЧС.

Например, ГЧС, связанное с таянием ледников на нашей планете, характеризуется как глобальное (планетарное) многосредовое. Интересным примером является ГЧС подземного ядерного взрыва. Если изначально при проведении испытаний ГЧС рассматривается как локальное в геологической среде, то с прошествием времени установлен факт что ГЧС расширяется до регионального уровня с распространением в географической и геологической среде. [4].

Таким образом, для определения ГЧС необходимо не только обозначить пространственную границу ЧС, но и исследовать влияние ЧС на различные природные среды. Схема последовательности действий для определения геопространства чрезвычайной ситуации показана на рис. 1.

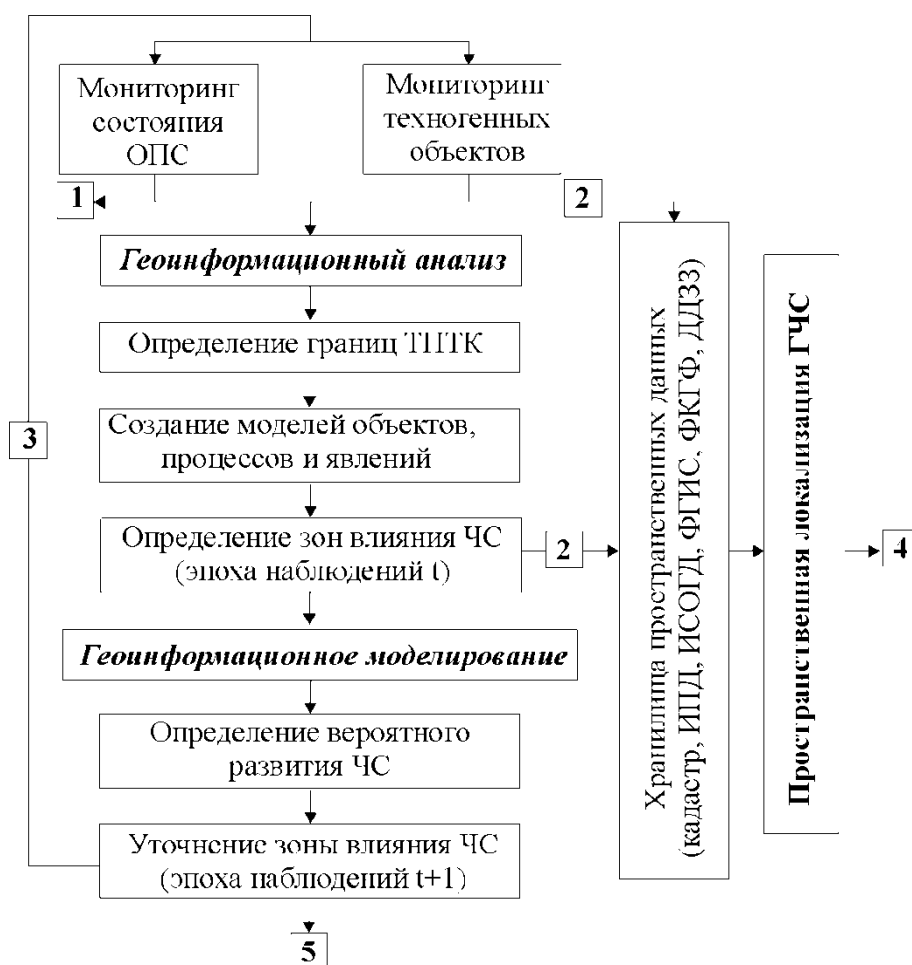


Рис. 1. Пространственная локализация ГЧС

На рисунке цифрами обозначены следующие этапы работ МЧС: 1 – предупреждение развития ЧС на этапе мониторинга территории; 2 – передача данных мониторинга в государственные хранилища пространственных данных (информация получает статус государственной); 3 – цикл постоянных наблюдений за состоянием природной и техногенной сферы; 4 – комплекс мер по ликвидации последствий ЧС; 5 – оповещение населения, принятие мер по минимизации воздействия ЧС.

Представленная на рис. 1 технологическая схема была использована специалистами СГГА для выполнения работ по исследованию зоны сезонного затопления территории города Новосибирска и разработке предложений по предотвращению, возникающей в связи с затоплением ЧС.

На территории города Новосибирска, являющегося третьим по величине городом России, происходит ряд ЧС, носящих характер территориальных, многосредовых. Например, температурная инверсия, кислородный голод – ЧС свойственные всем крупным городам [5]. Кроме того, можно выделить локальные ЧС, которые обусловлены в первую очередь сложившимися на территории города ТПТК. Самым крупным ТПТК на территории НСО является Новосибирское водохранилище [5]. Именно строительство Новосибирского водохранилища и гидроузла Новосибирской ГЭС предотвратило сезонные затопления жилой части города. Однако в результате снижения угрозы затопления прибрежные территории стали осваиваться и застраиваться. На сегодняшний день из-за ненадлежащего информирования населения об угрозе затопления и отсутствия запрета на строительство, в зоне затопления разместилось 25 дачных обществ. Регламентные и экстренные сбросы воды с ГЭС ведут к затоплению и серьезному материальному ущербу граждан, имеющих в собственности объекты недвижимости на данной территории.

На основании выполненного геоинформационного анализа и моделирования получены следующие данные, позволяющие определить локализацию геопространства чрезвычайной ситуации – сезонного затопления и разработать комплекс мер по защите территории.

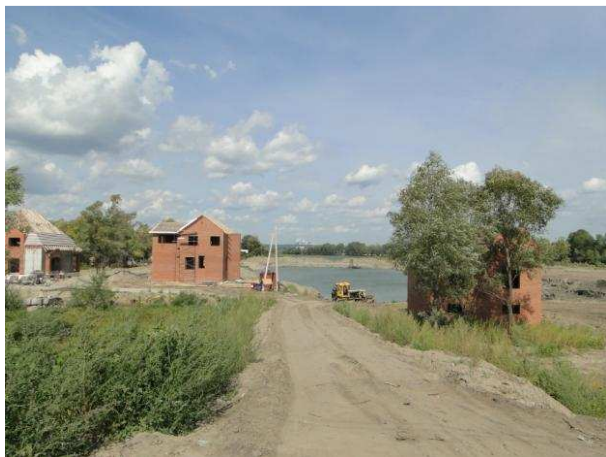
Затопляемый участок от плотины ГЭС до села Матвеевка представляет собой современную аккумулятивную пойму – ложбинно–островную, образовавшуюся при эволюции осередков в элементарные острова и их последующим объединением в островные массивы, которые в свою очередь «причленяются» к берегу, наращивая пойму. В строении современной аккумулятивной поймы преобладает слоистый аллювий легкого механического состава: мелкие и средние пески, супеси, легкие опесчаненные лессовидные суглинки.

Пойма во многом утратила естественный облик, и ее нынешние урочища неудовлетворительны как с экологической точки зрения, так и в эстетическом плане. Сказывается бессистемность освоения этой зоны (рис. 2 а) и отсутствие четкого плана или даже концепции ее развития. В результате, прилегающая к реке Оби территория шириной до 1,5 км не благоустроена.

Поселки и промышленные объекты хаотично чередуются с огородами, заброшенными карьерами, обширными бурьянистыми пустырями, «остатками»

природных урочищ, (рис. 2 б). Однако, несмотря на многочисленные бытовые и промышленные свалки и отстойники, селитебные и промышленные зоны содержатся в относительно чистом виде.

Как следует из анализа генерального плана города Новосибирска, проблема затопления дачных участков в пойменной зоне реки Оби хорошо известна градостроителям, данная территория отнесена к классу «опасных» и на ней запрещено строительство и хозяйственная деятельность.



2 а)



2 б)

Рис. 2. Освоение пойменной зоны

Техногенное освоение территории сказалось неблагоприятно на сложившейся гидрографической системе, новые дороги, дамбы (самые крупные из них Матвеевская и Ельцовская), карьеры – изменили перераспределение стока рек и атмосферных осадков на данной территории.

В результате полевого обследования были получены данные по затоплению территории, которые были совмещены с цифровой моделью затопления при различных уровнях сброса воды. Характерные примеры затопления территории, выявленные по результатам полевого обследования, показаны на рис. 3.



Рис. 3. Примеры затопления территории поймы

На основании выполненного компьютерного моделирования зон затопления при различных уровнях воды в реке Обь, а также учете данных по наивысшим многолетним уровням реки Обь относительно водомерного поста города Новосибирска установлено:

- Подтопление дачных территорий осуществляется преимущественно за счет притока воды во время поднятия уровня реки Обь через протоку, рис. 4;
- В результате строительства автомобильных дамб, рис. 4 коренным образом изменился гидрологический режим территории: паводковые воды и водосброс с ГЭС г. Новосибирска, попав на территорию дачных обществ через протоку, не имеют выхода через естественные водоемы;
- Сложившийся на территории рельеф берега обеспечивает водораздел между территориями садоводческих участков и рекой Обь с отметкой от 98 м. до 99 м. Исключение составляет один участок протяженностью 150 м. – водораздел на этой территории имеет отметку 97 м.;
- Для защиты территории от подтопления необходимо возвести защитную дамбу с отметкой поверхности 98.50 м., что соответствует критическому уровню сброса +500 см.;
- Расчет высоты защитной дамбы для предотвращения затопления территории при максимальном историческом поднятии воды +692 см. показывает, что ее высота должна соответствовать абсолютной отметке 99.5 м.;
- Для сброса воды с затопленной территории необходимо оборудовать защитную дамбу и автодорожные дамбы гидротехническими сооружениями затворного типа на местах, указанных на рис. 4.

Схема расположения противопаводковых гидротехнических сооружений показана на рис. 4:

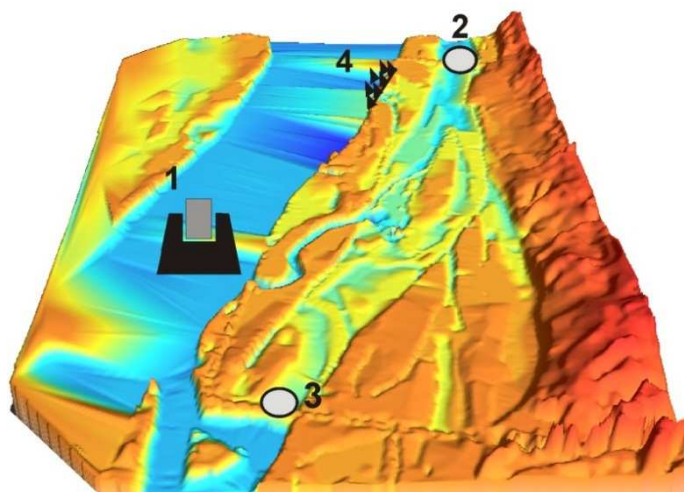


Рис. 4. Схема размещения противопаводковых гидротехнических сооружений.

На схеме цифрами обозначено: 1 – дамба, с оборудованным в ней гидротехническим затвором; 2 и 3 – дренажные трубы с гидравлическими клапанами в дамбах автомобильных дорог; 4 – участок берега, где необходимо провести берегоукрепительные работы

Рассмотренный пример наглядно показывает, что ГЧС затопления поймы реки Обь незначительно и составляет 4 тыс. га., является локальным. Однако непосредственная связь ЧС с уровнем воды в Новосибирском водохранилище образует сложно-подчиненную систему взаимодействия техногенных и природных объектов, расширяя зону влияния ЧС до регионального уровня. Ограничение или полный запрет освоения данной территории, позволил бы минимизировать последствия сезонного затопления и расходы государства на разработку системы противопаводковых мероприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубровский, А.В. Формирование техногенных природно-территориальных комплексов нефтегазовых месторождений севера Сибири [Текст] / А.В. Дубровский // Сборник научных трудов аспирантов и молодых ученых Сибирской государственной геодезической академии / под общ. ред. Т.А. Широковой. – Новосибирск, С.19-24.
2. Карпик, А.П. Управление территорией в геоинформационном дискурсе [Текст]/А.П. Карпик, А.Г. Осипов, П.П. Мурзинцев. – Новосибирск: СГГА, 2010.-280 с.
3. Положение «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» // Гражданская защита, №12. – М.: Наука, 1996, № 12- С. 62 - 63.
4. Пермяков, П.П. Математическое моделирование техногенного загрязнения в криолитозоне [Текст]/П.П. Пермяков, А.П. Аммосов – Новосибирск: Наука, 2003. – 224 с.
5. Дубровский, А.В. Разработка структуры и содержания информационной модели рекреационного землепользования прибрежной территории Новосибирского водохранилища [Текст] /А.В. Дубровский, Н.В. Фадеев – ГЕО-Сибирь-2011. Т.3. Экономическое развитие Сибири и дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью. Ч.2: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19-29 апреля 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – С. 104-108.

© А.П. Карпик, В.А. Середович, А.В. Дубровский, Э.Л. Ким, О.И. Малыгина, 2012

ОБНАРУЖЕНИЕ МОМЕНТА ПОЯВЛЕНИЯ ОБЪЕКТА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЗАШУМЛЁННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРРЕНТНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ОБУЧЕНИЯ В ГИЛЬБЕРТОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Валерий Павлович Пяткин

Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6, доктор технических наук, профессор, заведующий Лабораторией обработки изображений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, тел. 8(383)330-73-32, e-mail: pvp@ooi.sccc.ru

Геннадий Иосифович Салов

Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, 630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Лаборатории обработки изображений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, тел. 8(383)330-73-32, e-mail: sgi@ooi.sccc.ru

Рассматривается применение стохастической аппроксимации в бесконечномерном гильбертовом пространстве к задаче обнаружения объекта на одном наблюдаемом изображении, искаженном шумом, а также к задаче скорейшего обнаружения появления объекта в последовательности зашумленных изображений.

Ключевые слова: зашумлённое изображение, последовательность изображений, обнаружение объектов, обнаружение с обучением.

DETECTION OF OBJECT APPEARANCE IN A SEQUENCE OF NOISY IMAGES USING RECURRENT PROCEDURE OF LEARNING IN HILBERT SPACE

Valeriy P. Pyatkin

Institute of the Computational mathematics and mathematical geophysics (ICM&MG) SB RAS, Novosibirsk 630090, acad. Lavrent'ev av., 6, lab of the images processing head, tel. (383)333-73-32, e-mail: pvp@ooi.sccc.ru

Gennady Salov

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, prospect Akademika Lavrentjeva, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, тел. 8(383)330-73-32, e-mail: sgi@ooi.sccc.ru

Application of stochastic approximation in an infinite-dimensional Hilbert space to the problem of object detection on one observed image distorted by noise and to the problem of fast detection of object arrival in a sequence of noisy images is considered.

Key words: noisy image, sequence of images, detection of objects, learning detection.

В данной работе приводятся некоторые новые результаты применения стохастической аппроксимации в бесконечномерном гильбертовом пространстве к проблеме обнаружения объектов. При спутниковом мониторинге в прикладных задачах раннего предупреждения и управления в кризисных и чрезвычайных ситуациях часто обнаружение важных объектов ведется последовательно по ряду направлений в пространстве с остановками на каждом направлении на некоторое время. Поскольку алгоритм обнаружения обычно не зависит от направления обнаружения, достаточно рассмотреть проблему обнаружения на отдельном направлении. Пусть к наблюдателю начинают поступать изображения $X_1, X_2, \dots$, искаженные шумом. Важный для него объект может появиться (присутствовать) уже на первом изображении, но нередко на первых изображениях он отсутствует, а затем, начиная с изображения с неизвестным заранее номером θ , появляется. Требуется обнаружить этот объект как можно скорее - по минимальному числу изображений с момента появления объекта. Присутствие объекта на искаженном шумом изображении проявляется в изменениях (вероятностных) характеристик изображения. Эти изменения часто весьма малы и носят лишь случайный характер. Поэтому для обнаружения таких изменений, а вместе с ними и объекта, необходимо применять статистические критерии (тесты), позволяющие как можно лучше учитывать имеющуюся и наблюдаемую информацию. Проблема скорейшего обнаружения появления объекта в последовательности зашумленных изображений является обобщением другой трудной проблемы - проблемы обнаружения важного объекта на единственном зашумленном изображении. Поэтому сначала сосредоточим внимание на последней. В большинстве практически важных случаев зашумленное (случайное) изображение можно рассматривать как случайное поле и даже как случайный элемент [2] со значениями в пространстве действительных функций двух переменных (координат), заданных на некоторой ограниченной (прямоугольной) области $D \in R^2$ и интегрируемых с квадратом, т. е. как случайный элемент со значениями в гильбертовом пространстве $L^2(D)$ [1,2]. Вероятностные закономерности такого изображения обуславливаются распределением (вероятностной мерой) P , заданным на σ -алгебре борелевских подмножеств пространства $L^2(D)$ [2]. С математической точки зрения задача обнаружения объекта на (одном) наблюдаемом изображении $X = X(u)$, $u \in D$, -- это задача с двумя предположениями (гипотезами) $H_0 : P = P_0$ и $H_1 : P = P_1$ относительно распределения P . Нулевая гипотеза H_0 соответствует случаю, когда важного объекта нет, а есть только случайный фон. При альтернативной гипотезе H_1 изображение X содержит важный объект, интересующий наблюдателя. Требуется найти критерий (тест) для различения этих гипотез. Это есть задача математической статистики случайных процессов и полей. Как известно, оптимальный критерий, отклоняющий гипотезу H_0 с наибольшей вероятностью, когда она ложна, строится с помощью функционала (отношения) правдоподобия, совпадающего с производной Радона-Никодима

$\rho(X) = P_1(dX) / P_0(dX)$ на $L^2(D)$, когда мера P_1 абсолютно непрерывна относительно меры P_0 . Если учитывать не все изображение, а только отдельные величины $X(u_i)$, где $\{u_1, u_2, \dots\}$ – весьма ограниченное множество точек на D , что грозит большими потерями информации, то отыскание отношения правдоподобия потребует обращения специальной матрицы, которое может быть эффективно осуществлено лишь в исключительных случаях. На практике, однако, вероятностные меры P_0 и P_1 редко бывают известными наблюдателю. Даже когда они известны и мера P_1 абсолютно непрерывна относительно меры P_0 , отыскание ρ , если меры P_0 и P_1 не являются гауссовскими или каким-либо образом связанными с ними, представляет собой весьма трудную задачу. Поэтому, следуя [1,3], обратимся к другому подходу.

Пусть P – общая вероятностная мера, заданная на σ -алгебре всех рассматриваемых здесь событий, E – математическое ожидание по этой мере P . Обозначим через $Y = Y(u)$, $u \in D$, зашумленное изображение X , не содержащее важный объект, а через $Z = Z(u)$ -- содержащее такой объект. Пусть F – функционал в $L^2(D)$ такой, что $E[F(Y)]^2 < \infty$. Если функционал правдоподобия ρ существует и $E[\rho(Y)]^2 < \infty$, то выражение

$$\max_F \frac{E[F(Z) - F(Y)]}{\sqrt{DF(Y)}}, \quad (1)$$

где D – означает дисперсию, достигает максимума при $F = k_1 \rho + k_2$. Интуитивно ясно, что и в противном случае, когда $E[\rho(Y)]^2 = \infty$ или функционал правдоподобия не существует вовсе, функционал F , максимизирующий выражение (1), также будет подходящим для обнаружения объекта. Таким образом, отыскание нужного функционала сводится к вариационной задаче, которую можно решать в удобном с точки зрения вычислений классе функционалов [1,3]. Ограничимся здесь рассмотрением возможности получения линейного функционала вида

$$F(X) = \int_D X(u) h(u) du. \quad (2)$$

Обозначим скалярное произведение элементов $f, g \in L^2(D)$ и норму элемента f как

$$(f, g) = \int_D f(u) g(u) du, \quad \|f\| = \left(\int_D f^2(u) du \right)^{\frac{1}{2}}$$

Результат подстановки (2) в (1) можно представить в виде (в операторных обозначениях)

$$\frac{(m_Z - m_Y, h)}{\sqrt{(Bh, h)}}, \quad (3)$$

где $m_Z = m(Z; u) = E Z(u)$, $m_Y = m(Y; u) = E Y(u)$ -- средние значения в точке $u \in D$, а B - интегральный оператор в $L^2(D)$, ядром которого является $\mu(u, v) = E Y(u)Y(v) - m(Y; u)m(Y; v)$. Оператор B является вполне непрерывным,

самосопряженным и положительным, отсюда и из (3) вытекает следующий факт [1,3,4]. Для максимизации выражения (1), необходимо и достаточно, чтобы весовая функция $h \in L^2(D)$ была решением интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода

$$\int_D \mu(u, v) h(v) dv = m(Z; u) - m(Y; u). \quad (4)$$

Предположим, что ядро $\mu(u, v)$, а также средние значения $m(Z; u)$ и $m(Y; u)$ не известны наблюдателю (типичный на практике случай), но в его распоряжении имеются (или он может получить) две независимые друг от друга последовательности независимых «точных» реализаций зашумленных изображений, не содержащих и содержащих важный объект, который подлежит обнаруживать в последующем на в точности аналогичных изображениях. Если обозначить через $\{Y_n\}$ и $\{Z_n\}$ возможные значения этих последовательностей, то они будут представлять две стохастически независимые друг от друга последовательности независимых случайных элементов (независимость наблюдений) с распределениями P_0 и P_1 соответственно.

Пусть существует решение $h \in L^2(D)$ интегрального уравнения (4). Тогда приведенный в [1] и ниже специальный алгоритм стохастической аппроксимации дает наблюдателю возможность получить по последовательностям $\{Y_n\}$ и $\{Z_n\}$ сразу последовательность оценок W_n для h , сходящуюся к $h \in L^2(D)$, минуя предварительное оценивание по последовательностям $\{Y_n\}$ и $\{Z_n\}$ неизвестных наблюдателю $m(Z; u)$, $m(Y; u)$ и $\mu(u, v)$, а также и последующее за ним отыскание приближенного решения уравнения Фредгольма 1-го рода, т. е. некорректной задачи с приближенными (с неизвестной точностью) данными - оценками $m(Z; u)$, $m(Y; u)$ и $\mu(u, v)$, которое в этих условиях может оказаться весьма затруднительным (напомним, что в методе Тихонова, как и в методе Лаврентьева, получения приближенного решения уравнения Фредгольма 1-го рода необходимо знать уровень погрешности приближенных данных). Кроме того, предположим, что оператор B строго положительный: $(Bf, f) > 0$ для любого $f \in L^2(D) \setminus \{0\}$ и $\{a_n, n \geq 1\}$ - последовательность положительных чисел такая, что

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n = \infty, \quad \sum_{n=1}^{\infty} a_n^2 < \infty. \quad (5)$$

Тогда справедлива

Теорема. Пусть существует решение $h \in L^2(D)$ интегрального уравнения (4), W_1 - произвольный случайный элемент со значениями в $L^2(D)$ с $E\|W_1\|^2 < \infty$, стохастически независимый от $\{Y_n\}$ и $\{Z_n\}$, а последовательность случайных элементов $\{W_n, n \geq 2\}$ определяется рекуррентной формулой

$$W_{n+1}(u) = W_n(u) + a_n \{Z_n(u) - Y_{2n}(u) [1 + \int_D (Y_{2n}(v) - Y_{2n-1}(v)) W_n(v) dv]\}. \quad (6)$$

Тогда

$$P\{\|W_n - h\| \rightarrow 0, n \rightarrow \infty\} = 1, \quad E\|W_n - h\|^2 \rightarrow 0, n \rightarrow \infty.$$

Это утверждение вытекает из результатов работы [4]. Подставив построенную с помощью (6) оценку W_n для h в (2), наблюдатель получит искомую оценку $F^* = F_n^*$ для функционала F

$$F^*(X) = \int_D X(u)W_n(u)du. \quad (7)$$

Используя (7), решение о наличии объекта на наблюдаемом изображении X можно принимать в том случае, когда

$$\int_D X(u)W_n(u)du > C_n,$$

где C_n - «пороговый» уровень, который выбирается надлежащим образом с помощью последовательности $\{Y_n\}$ так, чтобы вероятность ложного обнаружения («ложной тревоги»)

$$P_0\left(\int_D X(u)W_n(u)du > C_n\right)$$

имела приемлемое значение.

Вернёмся теперь к более сложной проблеме. Пусть $X_1, X_2, \dots$ - независимые зашумлённые изображения, наблюдаемые последовательно, и каждое X_n ($n=1, \dots, \theta-1$) имеет распределение вероятностей P_0 , в то время как X_n ($n=\theta, \theta+1, \dots$) имеет распределение вероятностей P_1 . Другими словами, на первых изображениях важный объект отсутствует и затем появляется в неизвестный (случайный) момент времени θ . Требуется обнаружить этот важный объект как можно скорее при естественном ограничении на величину вероятности ложной (преждевременной) тревоги. Как и выше, предположим, что распределения P_0 и P_1 не известны наблюдателю, но он имеет (или может получить) две независимых друг от друга последовательности $\{Y_n\}$ и $\{Z_n\}$ независимых точных реализаций зашумлённых изображений, не содержащих и содержащих важный объект, который предстоит обнаружить, т.е. наблюдатель может с помощью процедуры стохастической аппроксимации (6) получить оценку $F^* = F_n^*$ для функционала F , подходящего для обнаружения объекта на одном изображении. Тогда обнаружить или оценить момент θ появления важного объекта в наблюдаемой последовательности зашумлённых изображений можно оценить с использованием метода кумулятивных сумм (CUSUM), развитого в [5].

Пусть $\gamma_n = F^*(X_n)$, $S_0 = 0$, $S_n = S_{n-1} + \gamma_n$. В соответствии с методом кумулятивных сумм подходящий здесь момент (правило) остановки наблюдений и объявления «тревоги» о произошедшем появлении объекта определяется по формуле

$$\tau = \inf \{n: \max_{0 \leq k \leq n} (S_n - S_k) \geq C + b_n\},$$

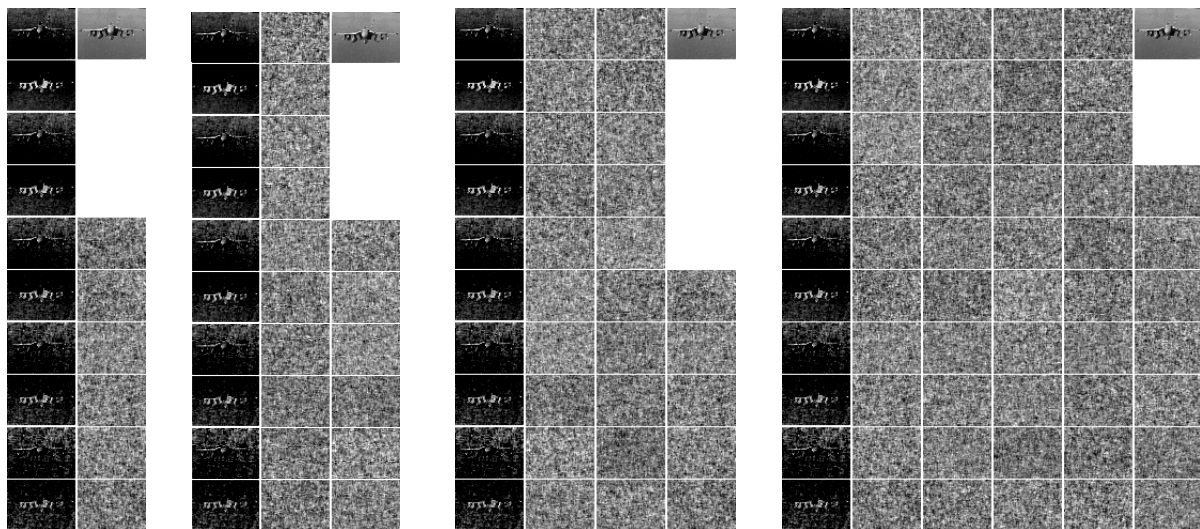
где $\{b_n\}$ - не слишком быстро возрастающая последовательность. Эта стратегия допускает и удобное с точки зрения вычислений рекуррентное

представление. Пусть $\zeta_0 = 0$, $\zeta_n = \max \{0, \zeta_{n-1} + \gamma_n\}$. Тогда подходящий момент определяется как

$$\tau = \inf \{n: \zeta_n \geq C + b_n\}. \quad (8)$$

Отыскание оптимального соотношения между константой C и последовательностью $\{b_n\}$ в методе кумулятивных сумм представляет собой известную нерешенную трудную задачу (см. [5]).

Приведем пример, иллюстрирующий применение алгоритма стохастической аппроксимации и метода кумулятивных сумм к задаче обнаружения с большим аддитивным не белым гауссовским шумом (с дисперсией, равной 150) реального объекта – самолета, изображение которого в чистом виде (без шума) и со значениями, приведенными на весь интервал $[0, 255]$, дается в верхнем правом углу каждого рисунка. В левой колонке каждого рисунка снизу вверх приведены после квантования в виде изображений попарно отрицательные и положительные части оценок W_n решения уравнения (4), полученные с помощью (6) при $n=100, 200, 500, 1000, 5000$ с начальным «приближением» $W_1 \equiv 0$ и $a_n = 0.0001/n^{0.6}$.



$\theta=5, \tau=6$

$\theta=15, \tau=16$

$\theta=25, \tau=25$

$\theta=45, \tau=47$

Рис. 1.

Рис. 2 .

Рис. 3 .

Рис. 4.

Для функционала (7) была взята оценка W_{500} . В результате при применении правила (8) с $C=4,69$, и $b(n) \equiv 0,7n$ (которые выбраны так, чтобы средняя задержка с обнаружением не сильно зависела от значения $\theta \in \{1, 2, \dots, 50\}$) к 100 последовательностям вида $X_1, \dots, X_{50}$, где $X_n \equiv Y_n$ – случайный фон (объект отсутствует), только у пяти из них была «ложная тревога». Контрольные наблюдаемые последовательности с $\theta=5, 15, 25, 45$ после квантования представлены на рисунках снизу вверх до «момента» обнаружения τ включительно в правой колонке, на Рис. 1 (с $\theta=5$), и в последующих колонках на других рисунках. Как видно, задержки с обнаружением получились

небольшими, а именно $\tau - \theta = 1, 1, 0$ и 2 . Полученные в данной работе результаты четко свидетельствуют об эффективности применения метода стохастической аппроксимации и метода кумулятивных сумм для построения подходящего правила (алгоритма) обнаружения момента появления важного для наблюдателя объекта в последовательности зашумленных изображений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Салов Г. И. О стохастической аппроксимации в гильбертовом пространстве и задаче обнаружения появления объекта в последовательности зашумленных изображений. // Сибирский журнал индустриальной математики. 2009. Т. 12, N 1(37). С. 127 – 135.
2. Гихман И. И., Скороход А. В. Теория случайных процессов. Т. 1. М.: Наука, 1971.
3. Гаткин Н. Г., Далецкий Ю. Л. К вопросу об оптимальном выделении сигнала на фоне произвольного шума.// Теория вероятностей и ее применения. 1971. Т. 16, Вып. 4. С 749 - 753.
4. Салов Г. И. Об одной теореме стохастической аппроксимации в гильбертовом пространстве и ее приложениях. // Теория вероятностей и ее применения. 1979. Т. 24, Вып. 2. С. 407 - 413.
5. Боровков А. А. Математическая статистика. М.: Физматлит, 2007.

© В.П. Пяткин, Г.И. Салов, 2012

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ВСЕПОГОДНЫХ КОСМИЧЕСКИХ РАДАРНЫХ СЪЕМОК ПРИ МОНИТОРИНГЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Юрий Игоревич Кантемиров

ООО «Компания Совзонд», 115563, г. Москва, ул. Шипиловская, 28а, Бизнес центр «Милан», ведущий специалист отдела программного обеспечения, тел. +7 (495)988-75-11, e-mail: y_kantemirov@sovzond.ru

Евгения Дмитриевна Лебедева

ООО «Компания Совзонд», 115563, г. Москва, ул. Шипиловская, 28а, Бизнес центр «Милан», Специалист отдела программного обеспечения Компания «Совзонд», тел. +7(495)988-75-11, e-mail: sovzond@sovzond.ru

В докладе будут рассмотрены применения радарных космических съемок для задач мониторинга чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий.

Ключевые слова: Радарные съемки, всепогодная съемка, дистанционное зондирование, оперативная оценка ущерба, мониторинг чрезвычайных ситуаций, изучение землетрясений, мониторинг наводнений.

SATELLITE ALL-WEATHER SAR DATA FOR CRISIS MANAGEMENT AND MONITORING

Yury Kantemirov

«Sovzond» company, 115563, Moscow, Shipilovskaya str., 28A, business-center «Milan», leading specialist of software department, +7(495)988-75-11, e-mail: y_kantemirov@sovzond.ru

Evgeniya Dmitrievna Lebedeva

«Sovzond» company, 115563, Moscow, Shipilovskaya str., 28A, business-center «Milan», Specialist of software department, +7(495)988-75-11, e-mail: sovzond@sovzond.ru

Satellite all-weather SAR data usage for crisis management and monitoring and for urgent damage assessment is described in the report.

Key words: SAR data, all-weather remote sensing data, remote sensing, remote damage assessment, crisis management, crisis monitoring, earthquakes researches, flood mapping.

Как известно, радарная съемка является активным видом съемки, а следовательно не зависит от освещенности. С другой стороны, радарная съемка с сантиметровыми или дециметровыми длинами волн просвечивает облачность, поэтому она не зависит и от погодных условий. Исходя из этих особенностей, радарные данные дистанционного зондирования представляются незаменимым источником информации для оперативных и регулярных съемок в условиях чрезвычайных ситуаций.

Действительно, многие чрезвычайные ситуации сопровождаются сложными погодными условиями (наводнения, ураганы и т.д.), поэтому для оперативной оценки ущерба от этих стихийных бедствий необходима именно

оперативная всепогодная съемка. Радарные космические съемки пострадавших от стихийных бедствий территорий с пространственным разрешением до 1 метра могут быть оперативно спланированы и выполнены не зависимо от облачности и освещенности через несколько часов после возникновения чрезвычайной ситуации.

Развитие во времени крупных лесных пожаров также может наблюдаться по расширению площади гарей от них, причем дым от пожаров не будет являться препятствием для таких наблюдений.

Разрушительное воздействие землетрясений также может быть оценено при условии наличия съемки до момента землетрясения. Поскольку дату и место землетрясения предсказать невозможно, то необходимо иметь хотя бы разовое покрытие всей территории страны, для выполнения амплитудного анализа изменений (т.е. оценки ущерба) в случае сейсмического события. Для когерентного анализа, картирования смещений земной поверхности, вызванных землетрясением, а также для прогнозирования афтершоков и оползней, наведенных основным землетрясением – необходима съемка до и после землетрясения в одной и той же геометрии съемки. Для обеспечения наличия таких съемок необходимо организовать регулярный радарный интерферометрический мониторинг наиболее сейсмически опасных территорий.

Четкое определение на радарных снимка границы «вода – суша» позволяет применять их для картографирования площадей, пострадавших от наводнений, паводков и подтоплений. Кроме того, по радарным стерео- либо интерферометрическим данным возможно построить актуальные цифровые модели рельефа на большие территории (сотни тысяч и миллионы квадратных километров), которые могут быть применены для моделирования и прогнозирования ущерба от подъема уровня воды.

В докладе будут рассмотрены эти и многие другие применения радарных космических съемок для задач мониторинга чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий.

ПРИМЕНЕНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА В ИЗУЧЕНИИ И РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Лариса Анатольевна Ромашова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. 8(383)361-06-35, e-mail: geokarta@snga.ru

Ольга Николаевна Николаева

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, тел. 8(383)361-08-86, e-mail: geokarta@snga.ru

Олеся Андреевна Волкова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10, аспирант кафедры картографии и геоинформатики, тел. 8 (383)361-06-35, e-mail: geokarta@snga.ru

В статье рассмотрена актуальность применения картографического метода исследования в решении проблем радиационного загрязнения территорий. Кратко изложен накопленный опыт в радиационном картографировании. Приведены фрагменты созданных карт и их легенды.

Ключевые слова: радиационное загрязнение окружающей среды, радиоэкологическая обстановка территории, карты радиационной обстановки.

CARTOGRAPHIC METHOD APPLICATION FOR STUDYING AND SOLVING THE PROBLEMS OF TERRITORIES RADIOACTIVE CONTAMINATION

Larisa A. Romashova

Ph.D., Assoc Prof, department of Cartography and GIS, SSGA, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk 630008, phone: 8 (383) 361-06-35, e-mail: geokarta@snga.ru

Olga N. Nikolayeva

Ph.D., Assoc Prof, department of Cartography and Nature Management, phone: 8 (383)361-08-86, e-mail: geokarta@snga.ru

Olesya A. Volkova

a post-graduate student, department of Cartography and GIS, SSGA, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk 630008, phone: 8 (383) 361-06-35, e-mail: geokarta@snga.ru

The urgency of applying cartographic research method for solving the problem of territories radioactive contamination is considered. The brief statement on the experience in radioactive contamination mapping is presented. The fragments of maps and their legends are shown.

Key words: radioactive contamination of environment, territory radio-ecological situation, maps of radioactive situation.

В настоящее время изменение окружающей среды в результате крупномасштабного антропогенного воздействия на биосферу Земли привело ее к неминуемому кризису. Из всех видов антропогенного воздействия окружающей среды радиоактивное загрязнение остается самым сложным для восприятия и понимания населением.

Необходимо отметить, что нормы воздействия радиоактивного загрязнения на население в мирное время, учебные и справочные пособия появились в нашей стране в середине-конце 60-х годов (т.е. после запрещения ядерных взрывов в атмосфере и водах), а секретность на информацию о радиоактивном загрязнении сняли лишь в конце 1989 г.

Борьба с радиоактивным загрязнением может носить лишь предупредительный характер. Дезактивация загрязненного радиоактивным изотопом места сводится к удалению источника загрязнения, загрязненной почвы, материалов, предметов.

Степень радиоэкологической безопасности человека, проживающего на загрязненной территории, определяется годовой эффективной дозой радиоэкологического облучения от природных и техногенных источников. При этом доза от техногенных источников согласно НРБ-99 не должна превышать 5 мЗв/год (или 0,5 Бэр/год) в среднем за любые последовательные пять лет, что соответствует рекомендации Международной комиссии по радиоэкологической медицине. Территории, в пределах которых среднегодовые значения эффективной дозы облучения (превышающие естественный фон) находятся в диапазоне 5-10 мЗв/год, необходимо относить к территориям чрезвычайной экологической ситуации, а более 10 мЗв/год – к зонам экологического бедствия.

Карта была и остается наиболее эффективным способом показа любых явлений, характеристики которых изменяются в пространстве. Экологические карты традиционно ориентированы на обеспечение государственных, региональных и местных программ и проектов природоохранной направленности. Поэтому планирование, проведение и контроль результатов природоохранных мероприятий требует не только наличия объективной информации об экологической обстановке исследуемой территории, но ее представления в наглядном, экономичном и понятном потребителю виде.

Картографирование - наиболее информативный прием представления данных о радиационной обстановке, подразумевающий не только визуализацию расположения точек измерения с их значениями, но и формирование представлений о характере процесса загрязнения и об особенностях воздействия этого вида загрязнения.

В создавшихся условиях становится актуальной и очевидной роль радиоэкологического картографирования, целью которого является разработка радиоэкологических карт (карт радиационной обстановки) – картографических произведений, призванных систематизировать накопленные сведения о радиационной обстановке конкретных территорий и устанавливать взаимосвязь между избытком радиационного излучения и изменениями в здоровье местных жителей.

Первые карты радиоактивного загрязнения строились с конца 40-х гг. XX века. За время, прошедшее после аварии на Чернобыльской АЭС, накоплен обширный материал о радиоактивном загрязнении природных сред - почв, воздуха, объектов гидросферы [1,2]. Эффективность использования этих материалов для планирования мер по социально-экологической защите населения, для прогнозирования изменений в окружающей среде, для исследования процессов переноса загрязнения зависит от форм организации и представления материалов. Снятие в 80—90-е гг. XX в. режима секретности с большей части информации о загрязнениях и состоянии природной среды привело к немедленному «всплеску» картографического переложения разнообразных статистических материалов. Эта процедура сама по себе достаточно проста и требует только правильного подбора и корректного сочетания методов и способов картографирования (изолинии, картограммы, картодиаграммы, немасштабные знаки и т.д.).

Для осуществления радиоэкологического картографирования необходимо выполнить сбор, анализ, оценку, интеграцию, территориальную интерпретацию информации о радиационной обстановке и создать географически корректное картографическое представление весьма многообразной радиоэкологической информации.

Процесс создания карты радиационной обстановки начинается на этапе планирования экспериментальных работ, когда обосновываются масштабы исследований и соотношение разных подходов к проведению измерений радиоактивности в окружающей среде. В процессе создания радиоэкологических карт необходимо учитывать не только их цель, назначение, круг потребителей, вид и характер используемых источников, пространственные и временные рамки картографирования, методику и технологию создания и воспроизводства карт, но и специфику решаемых экологических задач: их сложность, комплексность, высокую практическую значимость. Поэтому при проектировании тематического содержания радиоэкологических карт необходимо соблюдать особые требования.

При изучении радиационной обстановки измеряются уровни гамма-фона, а также (на основе отбора и анализа проб) содержание отдельных радионуклидов в почвах, донных отложениях, растительности. Радиационная обстановка характеризуется с использованием способа изолиний. Наибольшее распространение получили карты радиационного загрязнения, отражающие общее содержание радионуклидов, обычно в Ки/кв.км, причем значения изолиний соответствуют показателям остроты экологической ситуации.

В качестве упрощенного варианта изображаются ареалы радиационного загрязнения, в том числе без количественной характеристики. Кроме карт загрязнения природной среды радиоактивными веществами рекомендуется составлять и прогнозные карты аварийных ситуаций. Основой прогнозных карт радиоактивного загрязнения могут служить модели ситуаций, создаваемые по результатам происшедших аварий с учетом степени тяжести по классификации МАГАТЭ (рис. 1). В современных условиях предпочтительнее использовать электронные варианты таких карт для оперативного моделирования ситуации.

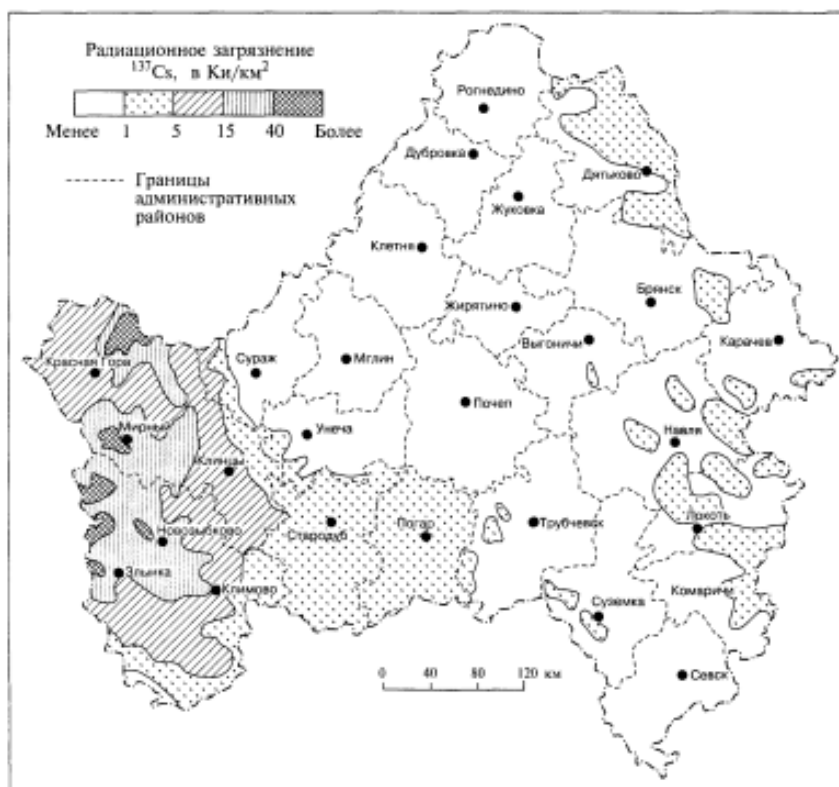


Рис. 1 Карта радиационного загрязнения Брянской области цезием-137 (по данным Госгидромета, издательство С. М. Малхазова, 2001 г.)

В Новосибирской области по заданию мэрии города Новосибирска Геоэкоцентр ГП «Березовгеология» проводит исследования радиационной обстановки в городе и области. С 1998 г. значительную часть работ в области радиоэкологических исследований также осуществляет отдел надзора за радиационной безопасностью при Управлении Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Новосибирской области. За 2001-2009 гг. отделом проведено изучение объемной активности, плотности потока радона-222 и гамма-излучения на более чем 850-ти земельных участках Новосибирска, что позволяет оценивать радиационную обстановку в городе с высокой степенью детальности, практически до уровня отдельного квартала или дома.

Радиоэкологическая обстановка в г. Новосибирске определяется двумя основными факторами: воздействием природных радионуклидов, т.к. восемь из десяти районов города расположены в пределах гранитного массива, и техногенным загрязнением от действующих и ранее существовавших предприятий.

В лаборатории медико-экологического картографирования СГГА с 1996 года успешно ведутся работы по радиоэкологическому картографированию города Новосибирска и Новосибирской области [3,4].

Одной из последних работ является создание карты «Техногенные радиоэкологические факторы г. Новосибирска». Фрагмент и легенда карты представлены на рис. 2.

2. Международная конференция «Радиоэкология: Итоги современного состояния и перспективы». – М., 3-5 июня 2008 г. Сб. мат-лов / Под ред. Р. Н. Алексахина /. – Обнинск: «Фабрика офестной печати», 2008. – 320 с.

3. Николаева О.Н, Ромашова Л.А., Суслин В.П. Геоинформационное картографирование при анализе и оценке радиационной обстановки промышленного центра // Геоинформатика: научные проекты. Тезисы II Международной конференции, 20-25 сентября 2010 г. – Барнаул: ООО «А.Р.Т.», 2010. – С. 75.

4. O. N. Nikolayeva, L. A. Romashova, Yu. V. Gavrillov. Radiation risk mapping for HEALTH and conditions of the population Issues of XXIII International Cartographic Conference, 4-10 August, Moscow, 2007, Russia. – p. 285.

© Л.А. Ромашова, О.Н. Николаева, О.А. Волкова, 2012

АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПОВРЕЖДЁННОЙ ПОЖАРАМИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ УЮКСКОГО ХРЕБТА

Хулермаа Болат-ооловна Куулар

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, 667010, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Интернациональная, д.117а, старший научный сотрудник, к.б.н., тел. 8 923 265 9374, e-mail: kkhb_5@list.ru

Е.И. Пономарев

ФГБУН ИЛ им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

С использованием информационной системы, где основными источниками информации являются авиационные и спутниковые данные, проведена оценка пожаров растительности Уюкского хребта. В работе приведены особенности пожароопасного периода исследуемого участка.

Ключевые слова: пожары, климат, Уюкский хребет.

THE ANALYSIS VEGETATION BY REMOTE SENSING OF THE UJUK MOUNTAIN RANGE DAMAGED BY WILDFIRES

Kh.B. Kuular

TuvIENR SB RAS, Kyzyl, Ul.Internatsionalnaya 117a

E.I. Ponomarev

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

The estimate of wildfire of the Ujuk Mountain range by information system where main sources are aviation and remote sensing data is given. The article presents brief features of the fire-dangerous period of an investigated site are considered.

Key words: wildfires, climate change, Ujuk Mountain range.

Одной из наиболее главных проблем мониторинга земель региона, является проблема информационного обеспечения мониторинга растительности, в том числе лесов. В настоящее время авиационные наблюдения за пожарами в регионе ведутся в зоне активной охраны лесов, и составляет 9878,8 тыс.га. Наземная охрана проводится на площади 995,1 тыс.га. Космический мониторинг лесов проводится со спутников NOAA и TERRA, в центре приема и обработки спутниковой информации в Институте леса СО РАН (г. Красноярск). Мониторинг по спутниковым данным поврежденных пожарами площадей расширяет контролируемую территорию, и повышает периодичность и оперативность получения данных о воздействии пожаров.

По результатам обработки авиационных данных и спутниковых изображений сформирована база данных о повреждениях растительного покрова Республики Тыва и охватывает период 1996–2011 гг. Информационная

система мониторинга лесных пожаров организована как система сбора, хранения, обработки о горимости лесов по наземным и авиационным наблюдениям, очагах возгорания по спутниковым данным.

Целью работы являлось оценка повреждений растительности Уюкского хребта пожарами. Для оценки горимости растительности профильного участка Уюкского хребта были использованы данные Красноярской базы авиационной охраны лесов и результаты дешифрирования спутниковых съемок, а также материалы оперативного детектирования пожаров по спутниковым данным и данные Госкомлеса Республики Тыва, данные Гидрометеостанции Республики Тыва.

Анализ данных метеорологических наблюдений наглядно демонстрирует, что флуктуационное потепление климата наиболее существенно проявляется, и с высокой вероятностью обуславливает усиление пожарной активности Уюкского хребта пожарами. По данным Туранской метеостанции среднегодовая температура в 1970-ые гг. повысилась на $0,75^{\circ}\text{C}$ за предыдущее десятилетие (60-ые гг.). В 1980-ые гг. — на $0,45^{\circ}\text{C}$, в 1990-ые гг. — на $0,51^{\circ}\text{C}$, в 2000–2006 гг. — на $0,15^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая температура последнего десятилетия повысилась на $1,86^{\circ}\text{C}$ по сравнению с 60-ыми годами.

Горимость начинается в начале апреля и продолжается до конца октября. Продолжительность пожароопасного периода территории Уюкского хребта составляет 210 дней. В 1-ой декаде апреля отмечается начало пожароопасного сезона, который может длиться до 3-ей декады октября. Наибольшую природную пожарную опасность имеют гари, лесосеки со значительными запасами сухостоя и захламленностью. Влияние климатических изменений на увеличение вероятности возникновения сухих гроз, сильных ветров характеризуется высоким классом лесопожарной опасности из-за отсутствия осадков.

В апреле идет интенсивное испарение снега при резком повышении температуры воздуха и малой относительной влажности. Это приводит к интенсивному высушиванию проводников горения на южных склонах степных и лесостепных поясов. Характерный весенний ветер со скоростью до $3,3\text{ м/с}$ способствует активному просыханию почвы и прошлогодней сухой травяной растительности [1].

В результате анализа данных получена динамика и периодичность количества пожаров растительности исследуемого участка. В период 1996 – 2006 гг. из 57 пожаров 32 возникли весной, 21 пожаров — летом, 4 — осенью. Применили подход, когда результаты повреждений растительности объединялись с данными температурных аномалий с целью повышения достоверности получаемых результатов. Получили корреляцию динамика площади пройденных пожаров со среднегодовой температурой 1996–2006 гг. и представлена на рис. 1. В засушливые 1997 и 2002 гг., зарегистрированы пожары с большими повреждениями растительности.

При наложении средних температур за апрель-октябрь месяцы 1996-2006 гг., количества пожаров показало совпадение пиков: 1-ый пик соответствует 11 случаям возникновения пожаров при $10,7^{\circ}\text{C}$ температуре в 1997 г., 2-ой – при

12 пожарам при 10,5 °С температуре в 1999 г., 3-ой – при 15 пожарам при 11 °С температуре в 2001 г., 4-ой – при 9 пожарам при 11,9 °С температуре в 2005 г. За 1996–2006 гг. с апреля по конец октября было повреждено более 7298,3 га леса, из них 50 га — верховыми пожарами.

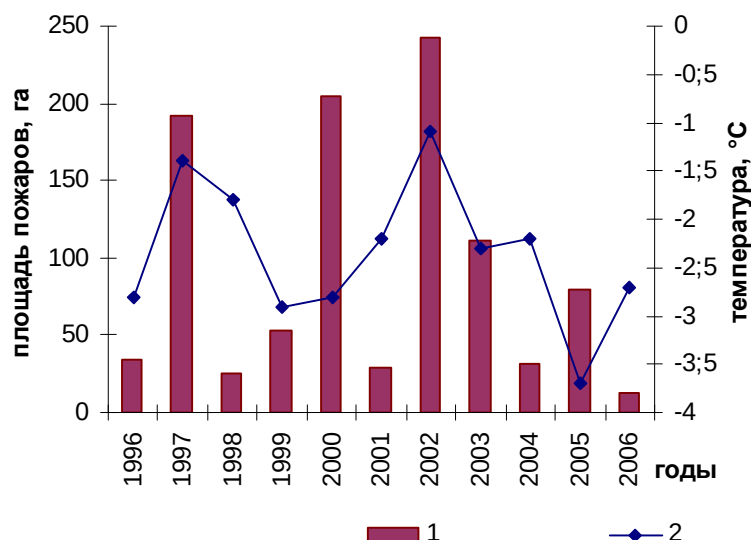


Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры и площадь пожаров в период 1996-2006 гг. (1 – площадь пожаров, 2 – среднегодовая температура воздуха)

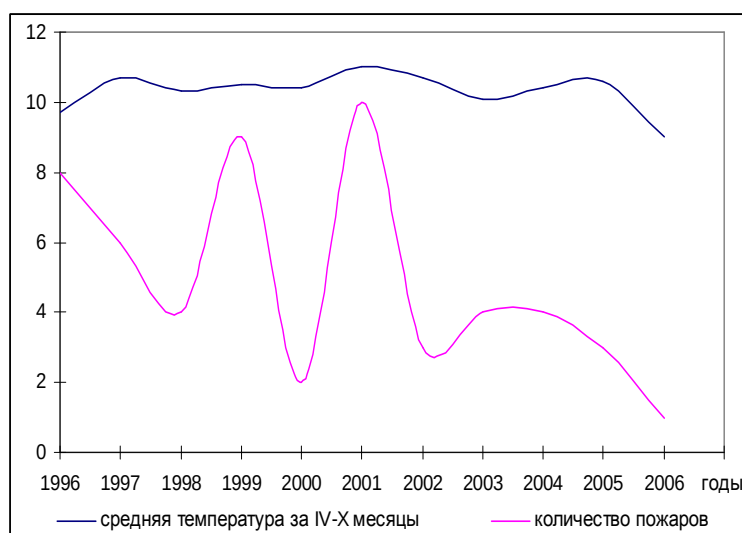


Рис. 2. Динамика количества пожаров и средней температуры за апрель-октябрь месяцы 1996–2006 гг.

Таким образом, анализ оценок площадей поврежденной пожарами в 1996-2006 гг. позволяет, в частности, сделать следующие заключения для территории профильного участка Уюкского хребта:

1. Повреждения пожарами варьируют, как по масштабам, так и по приуроченности. За период наблюдений наименьшие (12 га) и наибольшие (242 га) повреждения произошли соответственно в 2006 и 2002 гг. (рис.1).

2. Соотношение между площадями повреждений лесов и нелесной территории от года к году существенно варьирует.

3. при рассмотрении лесных экосистем, наибольшие повреждения выявлены в кедровых лесах (2002 г.).

4. Пожары в лесах хребта связано с повышенной нагрузкой, интенсивной антропогенной деятельностью. По причинам экономического характера в последние 20-30 лет происходят значительные изменения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куулар Х.Б., Пономарев Е.И. Мониторинг пожаров растительности Республики Тыва // Гео-Сибирь–2010. Т.3. Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью. Ч.2: сб. матер. VI-ого международного научного конгресса “Гео–Сибирь–2010”, 19–29 апреля, 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2010. – с. 181–184.

© Х.Б. Куулар, Е.И. Пономарев, 2012

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕОМОНИТОРИНГА И РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Николай Викторович Барановский

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель, тел. +73822655450, e-mail: firedanger@narod.ru

Марина Витальевна Жарикова

Херсонский национальный технический университет, 73040, Украина, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24, кандидат технических наук, доцент, доцент, тел. +380660657748, e-mail: marina.jarikova@gmail.com

Елена Николаевна Ляшенко

Херсонский национальный технический университет, 73040, Украина, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24, кандидат технических наук, доцент, тел. +380505008628, e-mail: lunaways@mail.ru

В статье рассматривается концептуальный проект создания веб-ориентированной геоинформационной системы прогноза лесной пожарной опасности. Проведено предпроектное исследование. Предложена модель дифференцированной оценки лесной пожарной опасности по антропогенным и природным причинам. Рассматриваются проектные и технологические особенности реализации геоинформационной системы для визуализации посредством всемирной сети Интернет и организации прогнозного мониторинга на базе суперкомпьютеров и параллельных вычислительных технологий.

Ключевые слова: геоинформационная система, параллельные вычислительные технологии, прогноз, лесная пожарная опасность.

COMPLEX USE OF TECHNOLOGIES OF GEOMONITORING AND PARALLELIZATION OF COMPUTING OPERATIONS FOR FORECASTING FOREST FIRE DANGER

Nikolay Viktorovich Baranovskiy

Cand. Phys.-Math. Sci., without a rank, senior lecturer, National research Tomsk polytechnic university, 634050, Russia, Tomsk, Lenin av, 30, +73822655450, firedanger@narod.ru

Marina Vitaljevna Zharikova

Cand. Tech. Sci., assistant professor, Kherson national technical university, 73040, Ukraine, Kherson, highway Berislavskoe, 24, +380660657748, marina.jarikova@gmail.com

Elena Nikolaevna Ljashenko

Cand. Tech. Sci., without a rank, assistant professor, The Kherson national technical university, 73040, Ukraine, Kherson, highway Berislavskoe, 24, +380505008628, lunaways@mail.ru

In paper conceptual project of creation a web-oriented geoinformation system of the forecast of forest fire danger is considered. Predesign research is lead. The model of the differentiated estimation of forest fire danger for the anthropogenous and natural reasons is offered. Design and

technological features of realization of geoinformation system for visualization by means of a worldnet the Internet and the organizations forecasting monitoring are considered on the basis of supercomputers and parallel computing technologies.

Key words: geoinformation system, parallel computing technologies, forecast, forest fire danger.

Введение

В Российской Федерации ведутся работы по развитию Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ-Рослесхоз) [1]. Система доступна только авторизованным пользователям. В тоже время в Южной Европе, США, Канаде прогнозная информация открыто размещается в сети Интернет [2]. Цель исследования – создание концептуального проекта веб-ориентированной географической информационной системы детерминированно-вероятностного прогноза лесной пожарной опасности с привлечением технологий распараллеливания вычислений на суперкомпьютерах.

Предпроектное исследование

Министерство природных ресурсов Канады в настоящее время оперирует двумя национальными информационными системами для управления лесными пожарами [4]: канадская информационная система по лесным пожарам (Canadian Wildland Fire Information System – CWFIS) и система моделирования, мониторинга и картирования пожаров (Fire M3). Обе системы включают компоненты канадской системы оценки лесной пожарной опасности (Canadian Forest Fire Danger Rating System – CFFDRS) и используют движок системы пространственного управления пожарами (Spatial Fire Management System – sFMS) для получения, управления, моделирования, анализа и презентации данных.

Структура американской системы представляет собой абстрактную модель влияния различных факторов и условий на процесс возникновения и распространения пожаров. Система выдает четыре индекса [5]: индекс возникновения пожара по вине человека (Man-caused fire occurrence index – MCOI), индекс возникновения пожара в результате грозовой активности (Lightning-caused fire occurrence index – LOI), индекс горения (Burning index – BI) и индекс пожарной нагрузки (Fire load index – FLI).

В начале 2000-х годов была разработана так называемая Европейская система – European Forest Fire Risk Forecasting System (EFFRFS), которая применялась на территории Южной Европы. Основу системы составили методы, разработанные в Италии, Франции, Испании, Португалии [6] и канадский метод.

В 1999 году принят ГОСТ Р 22.1.09-99 “Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования” [7] на основе КМП Нестерова.

Методика прогноза лесной пожарной опасности

Спектр событий возникновения лесных пожаров по различным причинам будет следующим [3]: A_1 – умышленный поджог, A_2 – небрежное обращение с огнем, A_3 – сельскохозяйственные палы, A_4 – влияние железной дороги, A_5 –

влияние линий электропередач (ЛЭП), A_6 – выжигания разлива нефти, A_7 – влияние автомобильных трасс, A_8 – падение ступени ракеты, A_9 – аварии на технологических объектах, расположенных на лесопокрытых территориях, A_{10} – пожар в результате воспламенения от сфокусированного стеклянной бутылкой солнечного излучения, A_{11} – причина не установлена (так как возможны другие неустановленные причины), A_{12} – пожар от грозовой активности. Итоговая вероятность возникновения лесного пожара по совокупности причин определится по формуле [3]:

$$P(\text{ЛП}) = 1 - \prod_{i=1}^{12} (1 - P(\text{ЛП}_i)), \quad (1)$$

где $P(\text{ЛП}_i)$ – вероятность возникновения лесного пожара по конкретной причине.

Описание геоинформационной системы

Архитектура ГИС оценки лесной пожарной опасности основана на классическом шаблоне проектирования MVC (Model-View-Controller) и состоит из трех уровней [8]. Логическая часть разрабатываемой ГИС (уровень поведения) состоит из трех основных блоков, посвященных долгосрочному прогнозированию пожароопасности, краткосрочному прогнозированию пожароопасности и расчету общей вероятности возникновения лесного пожара соответственно (рис.1). Для технической реализации ГИС был использован MapServer – это многофункциональная платформа для быстрого, легкого и эффективного распространения картографической информации, основанная на Map Guide Open Source [9].

Взаимодействие ГИС и параллельного программного комплекса

Параллельный программный комплекс (ППК) является ядром информационно-вычислительной системы прогноза лесной пожарной опасности. Для визуализации результатов прогноза предлагается организовать взаимодействие ППК, работающего на многопроцессорной вычислительной системе (МВС), с веб-ориентированной географической информационной системой.

В ГИС планируется организовать тематические слои по визуализации расчетной информации по вероятности возникновения лесных пожаров по конкретной причине антропогенного характера, из-за грозовой активности или по неустановленным причинам.

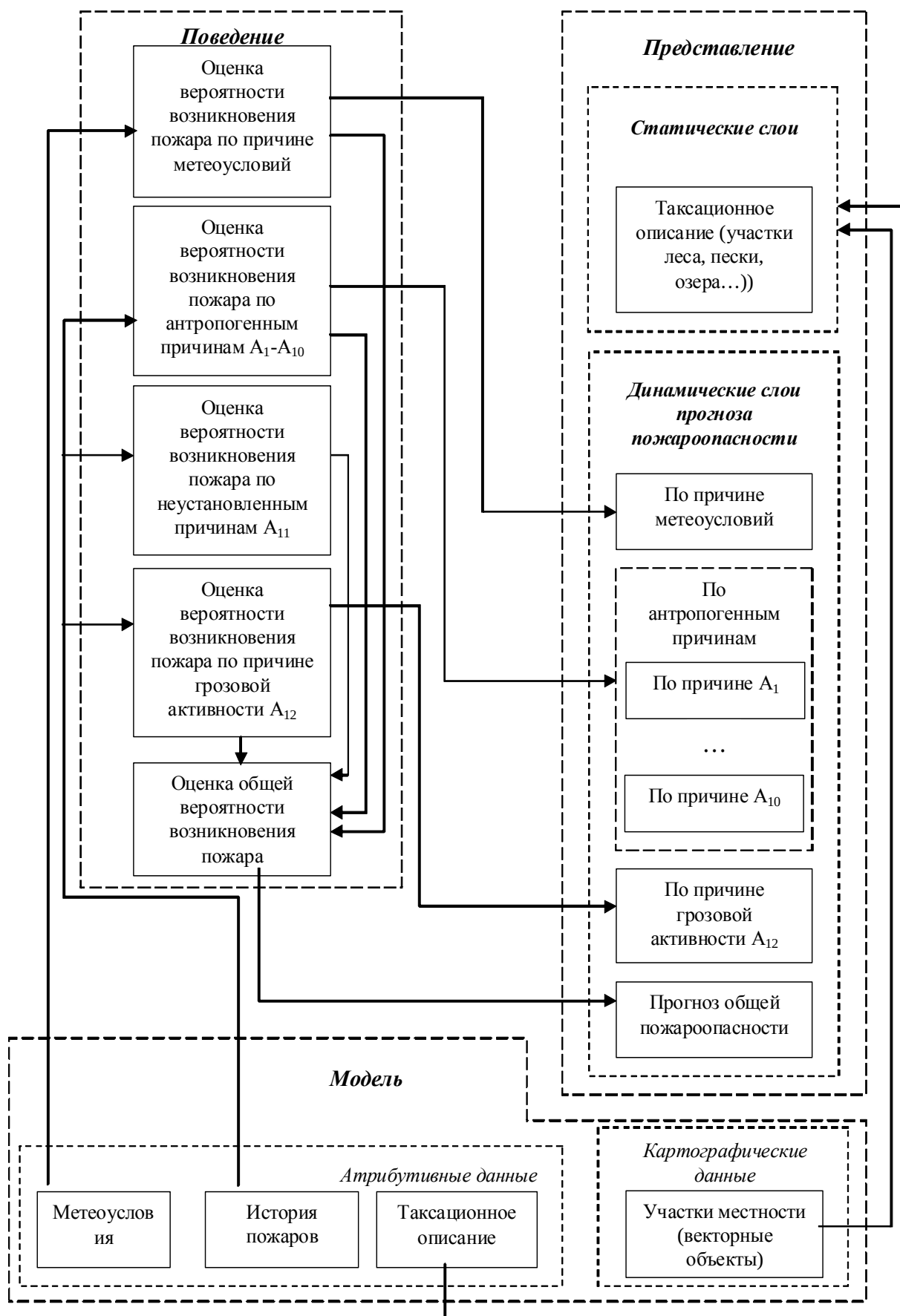


Рис. 1. Архитектура ГИС прогноза лесной пожарной опасности

Заключение

Предполагается, что метеорологические данные системы получают не со станций учета метеорологических параметров (пространственное разрешение сети метеостанций особенно низко в районах Дальнего Востока и Севера), а путем интерактивного взаимодействия программного обеспечения прогноза лесной пожарной опасности и математического обеспечения, реализующего глобальные или мезомасштабные модели атмосферы. Это позволяет используя предсказанные поля метеопараметров прогнозировать уровень лесной пожарной опасности на определенный период.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котельников Р.В., Сементин В.Л., Щетинский В.Е. и др. Применение информационной системы дистанционного мониторинга "ИСДМ-Рослесхоз" для определения пожарной опасности в лесах Российской Федерации: Учебное пособие. г. Пушкино (МО): ФГУ "Авиалесоохрана", 2009-2010. – 140 с.
2. Кузнецов Г.В., Барановский Н.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 С.
3. Барановский Н.В. Модель дифференцированной оценки лесной пожарной опасности по антропогенным причинам // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 7. С. 49 – 53.
4. Lee B.S., Alexander M.E., Hawkes B.C., Lynham T.J., Stocks B.J., Englefield P. Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada // Computers and Electronics in Agriculture. 2002. Vol. 37. N 1-2. P. 185 – 198.
5. Deeming J.E., Burgan K.E., Cohen J.D. The national fire danger rating system. Ogden, Utah: USDA Forest Service, General Technical report. INT-39. 1978. 66 P.
6. Viegas D. X., Bovio G., Ferreira A., Nosenzo A., Sol B. Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe // International Journal of Wildland Fire. 1999. Vol. 9. N 4. P. 235 – 246
7. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 76 С.
8. Chandler C. Fire in Forestry, Vol. 1: Forest Fire Behavior and Effects /Chandler C., Cheney P., Thomas P., Traub L., Williams D. // John Wiley & Sons, New York, NY. 1983. 450 p.
9. Kropla B. Beginning MapServer. Open Source GIS Development. Apress. 2005. 400 P.

© Н.В. Барановский, М.В. Жарикова, Е.Н. Ляшенко, 2012

КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИНДИКАТОРОВ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Светлана Алексеевна Сухорукова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. 8(383) 361-06-35, e-mail: sasuhorukova@ yandex.ru

Светлана Сергеевна Дышлюк

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. 8(383) 361-06-35, e-mail: ss9573@ yandex.ru

Пространственная дифференциация качества жизни на различных территориальных уровнях имеет свои особенности. Территориальные оценки чаще всего ориентированы на выявление отдельных составляющих, поэтому в статье рассмотрены вопросы геоинформационного картографирования наиболее показательных индикаторов качества жизни в Новосибирской области. В настоящее время данный вид тематического картографирования является очень актуальным и служит инструментом обеспечения решения проблем территориального развития.

Ключевые слова: геоинформационное картографирование, индикаторы качества жизни, тематическое картографирование, проблемы территориального развития.

CARTOGRAPHIC INTERPRETATION OF LIFE QUALITY INDICATORS IN NOVOSIBIRSK REGION

Svetlana A. Suhorukova

Ph.D., Assoc. Prof., Department of Cartography and GIS, SSGA, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk 630008, phone: 8 (383) 361-06-35, e-mail: sasuhorukova@yandex.ru

Svetlana S. Dyshlyuk

Ph.D., Assoc. Prof., Department of Cartography and GIS, SSGA, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk 630008, phone: 8 (383) 361-06-35, e-mail: ss9573@ yandex.ru

Spatial differentiation of life quality has its features at different territorial levels. Territorial assessment being mostly aimed at detecting certain components, the authors put forward the problems of GIS mapping, concerning the most significant indicators of Novosibirsk region life quality. At present this type of thematic mapping is very important as a tool for solving territorial development problems.

Key words: GIS mapping, life quality indicators, thematic mapping, problems of territorial development.

В последнее время заметно усиливаются позиции социальной картографии, и центр внимания постепенно переносится с отраслей производства на человека, характеристику его материального и социального благополучия, здоровья и условий жизнедеятельности.

Необходимым этапом научного изучения и эффективным инструментом информационного обеспечения решения проблем территориального развития является картографирование.

Современные методы геоинформационного тематического картографирования позволяют увеличить точность и емкость содержания карт за счет создания и ведения обширных баз данных [1].

ГИС-технология объединяет традиционные операции при работе с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта. Возможность визуализации и пространственного анализа отличают ГИС от других информационных систем и обеспечивают уникальные возможности для ее применения в широком спектре задач. Эти задачи связаны с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, с осмыслением и выделением главных факторов и причин, а также их возможных последствий, с планированием стратегических решений и текущих последствий предпринимаемых действий.

Завершающим этапом картографирования территориальных систем является отображение качества жизни населения, так как этот показатель можно назвать одним из самых объективных в развитии общества [1].

С позиций географии качество жизни рассматривается как совокупность условий, необходимых для жизни людей.

Качество жизни-это сложная категория, не имеющая однозначного трактования. Поэтому не существует ее общепринятого определения и каждый автор уделяет внимание каким-либо из сторон данного понятия. По одному из определений под качеством жизни понимается общественно-географическая категория, характеризующая условия жизни и соответствующее им состояние населения с точки зрения его способности обеспечивать воспроизводство процессов жизнедеятельности и сбалансированное развитие территориальной общности [2].

Понятие «качество жизни» используется очень широко, но не имеет общепринятого стандартного набора индикаторов, которые характеризовали бы ситуацию на различных территориальных уровнях [2].

В качестве специфической социально-географической системы воспроизводства качества жизни выступает регион, в котором формируются разные уровни качества жизни под влиянием конкретных экологических, социальных, географических, природно-климатических и других факторов.

Одной из наиболее сложных задач общественно-географических исследований является определение пространственно-временных индикаторов качества жизни [2].

На разных уровнях территориальной организации общества качество жизни оценивается по-разному и особое значение приобретает выбор индикаторов и критериев оценки качества жизни. Например, на макроуровне (международном) можно использовать ограниченное число показателей. Для регионального же уровня необходимо большее число показателей, которые дадут возможность охарактеризовать не только качество жизни общества в

целом, но и отдельные социальные группы. В основе такой оценки лежат разнородные показатели: социальные, экономические, демографические [2].

Можно формировать различные наборы индикаторов, ориентированных на выявление качества жизни. Наиболее объективными из них можно считать те, которые выделяет большинство населения, например уровень жизни, личная безопасность, занятость, семья, предоставление услуг [2].

Уровень жизни населения характеризуется степенью удовлетворения материальных и духовных потребностей населения, достигаемой за счет создаваемых экономических и материальных условий и возможностей и определяемой соотношением уровня доходов и стоимости жизни. Уровень жизни населения как компонент ее качества занимает особое место, так как только достижение определенного уровня позволяет пользоваться многими благами и значительно повышает качественные параметры жизни [1].

К основным индикаторам уровня жизни относятся душевые денежные доходы и расходы. Важную роль играют такие показатели, как неравенство в распределении доходов, занятость населения, обеспеченность жильем и его благоустройство и др. Наиболее удобным показателем уровня жизни населения считается отношение среднедушевого денежного дохода к усредненному прожиточному минимуму [1].

Такая область исследования как уровень жизни сталкивается с большим кругом задач, для решения которых требуется пространственный графический анализ.

Кафедра картографии и геоинформатики СГГА в течение нескольких лет занимается разработкой содержания социально-экономических карт разной направленности, в частности, составлена карта «Уровень жизни населения Новосибирской области».

Карта составлена в масштабе 1: 1 000 000, в полной мере обеспечивается полнота и подробность, величина и точность изображения объектов и явлений. Более мелкий масштаб приведет к уменьшению расстояния между условными знаками и затруднению изображения тематического содержания карты, следовательно, понизится ее читаемость. Более крупный масштаб увеличит размер картографируемой территории и формат карты.

Элементами тематического содержания карты являются:

- Среднедушевой доход населения;
- Заработная плата в сельском хозяйстве;
- Покупательная способность;
- Уровень бедности;
- Обеспеченность жилья водопроводом и канализацией;
- Обеспеченность дорог с твердым покрытием.

Среднедушевой доход является одним из основных индикаторов уровня жизни. На карте он показан картограммой, в основе которой лежит ступенчатая шкала.

Конкретным индикатором выступает размер средней месячной заработной платы, так как большинство населения работает либо в бюджетной сфере, либо на крупных и средних предприятиях, где хорошо налажен учет оплаты труда [3].

Данные об обороте товаров и услуг свидетельствует о реальной покупательной возможности людей, а, следовательно, об их уровне жизни. Он рассчитывается как отношение среднедушевых доходов населения к прожиточному минимуму. Некоторые экономисты считают этот косвенный показатель более надежным, чем прямая статистика доходов населения [3].

Уровень бедности – это отношение количества людей, имеющих доходы ниже прожиточного минимума к общему числу населения.

Обеспеченность жильем входит в большинство вариантов показателей качества жизни. Огромное значение имеет комфорт жилья, поэтому рассматривается оснащенность его водопроводом и канализацией [3].

Качество жизни определяется также таким элементом, как благоустройство автомобильных дорог.

Можно было бы отразить и такие характеристики, как число врачей и учителей, количество телефонных аппаратов, число автомобилей в личном пользовании и т.д. Но тогда карта получилась бы перегруженной.

К числу преимуществ использования карты и картографического метода следует отнести сравнительную быстроту и эффективность восприятия пространственной информации, удобство осуществления анализа пространственных взаимосвязей, что обуславливается наглядностью отображаемых явлений и процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батуев А.Р. Тематическое картографирование региональных систем развития / А.Р. Батуев, Д.А. Галес // География и природные ресурсы.-2007.-№3.-С.42-48.
2. Рященко С.В. Общественное здоровье в системе региональных индикаторов качества жизни в России и Украине / С.В. Рященко, И.В. Гукалова // География и природные ресурсы. - 2010. - № 1. - С.23-30.
3. Тикунров В.С. Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение / В.С. Тикунров, Д.А. Цапук // М-Смоленск: Изд-во Смолен.ун-та,1999.-240 с.

© С.А. Сухорукова, С.С. Дышлюк, 2012

ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ОПАСНОСТИ НАВОДНЕНИЙ: ОПЫТ НА ПРИМЕРЕ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАСЕЙНА

Анастасия Борисовна Голубева

Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656038 г. Барнаул, ул. Молодёжная 1, младший научный сотрудник лаборатории гидрологии и геоинформатики, тел. (385-2)667893, e-mail: golubevan@iwep.asu.ru

В работе на примере Обь-Иртышского бассейна рассмотрены основные подходы и методы оценки опасности наводнений. По полученным картографическим материалам проведена оценка исследуемого бассейна по степени опасности наводнений.

Ключевые слова: наводнения, оценка опасности, Обь-Иртышский бассейн, модельные водохозяйственные участки, картографирование.

ASSESSMENT AND MAPPING OF FLOOD DANGER (OB'-IRTYSH BASIN AS A CASE STUDY)

Anastasiya B. Golubeva

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, 1, Molodyozhnaya St, Barnaul, 656038, junior researcher, Laboratory of Hydrology and Geoinformatics, tel. (385-2)667893, e-mail: golubevan@iwep.asu.ru

The paper considers the main approaches and methods of assessment of flood risk. Using the cartographical material obtained the assessment of flood risk for the basin under study was carried out.

Key words: flood, risk assessment, Ob'-Irtysk basin, model water-resource sites, mapping.

Социальные, экономические и экологические проблемы регионов России часто связаны с проявлением опасных природных процессов и явлений (ОПЯ). Наводнение – одно из наиболее опасных явлений, вызывающих чрезвычайные ситуации (ЧС) и причиняющих материальный ущерб промышленным и сельскохозяйственным объектам, наносящих урон здоровью населения или приводящих к гибели людей. На территории Обь-Иртышского бассейна наиболее часты наводнения, вызванные половодьями, паводками, заторными и зажёрными явлениями.

При изучении вопросов, связанных с оценкой опасностей наводнений на водосборной территории, для принятия управленческих решений на разных уровнях законодательной и исполнительной власти, существует необходимость использования картографических материалов [1]. Эффективность управления зависит от качества научно обоснованной информации об опасных процессах и явлениях (ОПЯ). Карты выступают в качестве средства исследования опасности наводнений и применяются для описания, анализа и получения новых знаний и характеристик. Таким образом целью работы является создание оценочных карт опасности наводнений.

В зависимости от постановки задачи и территориальных особенностей объекта изучения определяются подходы и методики процедуры оценки природных опасностей и рисков (меры опасности [2]). В соответствии с назначением оценочных карт опасности наводнений выбирается масштабный ряд картографирования.

При оценке опасности наводнений чаще всего применяют бассейновый, подбассейновый, таксонномический, районный, вероятностно-площадной и др. подходы [3-4].

Основные задачи оценки на региональном уровне связаны с установлением наиболее опасных в природном отношении территорий. Для этого лучше всего подходят *бассейновый и подбассейновые подходы*. Однако они могут использоваться лишь для создания карт масштабного уровня не ниже субрегионального. *Вероятностно-площадной подход* применим для территорий муниципального уровня, характеризующихся относительно однородными природными и антропогенными условиями, а также проявлением ОППЯ. Он достаточно трудоемкий и требует значительного объема подробной статистической информации, однако он позволяет достоверно отразить распространение ОППЯ и дифференцировать территорию по степени опасности [4].

Основными показателями опасности наводнений являются: повторяемость превышения критического уровня воды в паводок (частота), мощность паводка (определяемая превышением максимальных зафиксированных уровней над критическим уровнем), максимальное время стояния воды выше критического уровня за год (в сутках), площадь затопления прибрежных территорий [5]. Они необходимы для оценки опасности наводнений любым из вышеперечисленных подходов.

Работа по оценке опасности наводнений осуществлялась на трёх уровнях: региональном (Обь-Иртышский бассейн, масштаб картографирования 1:1 000 000), субрегиональном (водохозяйственные участки (ВХУ), 1:200 000), и муниципальном (населённые пункты, 1:25 000) [6].

Расчёт показателей опасности наводнений Обь-Иртышского бассейна осуществлялся на основе гидрологической информации (расходы и уровни воды) по 104 постам за период с 1936 по 2006 гг.

На *региональном* уровне нами оценивалась вся водосборная площадь бассейна с использованием вероятностно-площадного подхода. Для ВХУ показатели опасности наводнений рассчитывались с учетом следующих положений:

- По водомерному посту, расположенному на главной реке ВХУ;
- По замыкающему створу (в случае наличия нескольких таких постов);
- По бассейну-аналогу с наличием водомерного поста на главной реке бассейна-аналога (при отсутствии водомерных постов на главной реке).

Под критическим уровнем понимается уровень выхода воды на пойму. Превышение максимальных зафиксированных уровней над критическим рассчитывается пропорционально площади сравниваемых бассейнов.

По результатам выполненных расчетов показателей оценки опасности наводнений для гидрологических постов, используя картографические материалы [7], программным средством ArcGIS была построена картографическая модель зонирования водосборной территории Обь-Иртышского бассейна по степени паводковой опасности.

Установлены четыре уровня опасности ЧС, зависящие от площади затопления пойм рек (в процентах), повторяемости превышения уровня воды (годы) и максимального уровня подъёма воды (м), которые на карте представлены ареалами с разной фоновой окраской.

ЧС федерального уровня опасности наводнений характерны для левых притоков р. Тобол (Тавда, Тура, Миасс и др.) с площадью затопления более 90 %, повторяемостью превышения уровня воды 100-1000 лет и максимальным уровнем подъёма воды – более 3,2 м.

ЧС межрегионального уровня опасности наводнений определены для рек Томь, Вах (в верхнем течении) Тобол, Тавда (в среднем течении), и р. Чулым (площадь затопления – 75-90%, повторяемость превышения уровня воды – 50-100 лет, максимальный уровень подъёма воды – 2,0-3,2 м).

Для рек Обь (до Новосибирского вдхр.), Бия, Катунь, Конда характерны *ЧС регионального уровня опасности наводнений*: площадь затопления – 60-75%, повторяемость превышения уровня воды – 20-50 лет, максимальный уровень подъёма воды – 1,5-2,0 м.

ЧС муниципального уровня установлены для остальных бассейнов рек Обь-Иртышского водосбора.

Оценка водосборного бассейна на *субрегиональном* уровне выполнялась по модельным ВХУ. Для них применялся подбассейновый подход. Для выделенных подбассейнов модельных участков показатели опасности наводнений рассчитывались аналогично ВХУ.

На рис. 1 представлен один из модельных ВХУ. Для картографического отображения в качестве показателей опасности наводнений использовались превышение максимальных зафиксированных уровней над критическим уровнем воды (м) и вероятность превышения уровней начала затопления (%).

Параметры превышения уровня начала затопления были разбиты на шесть классов (в соответствии с данными всего Обь-Иртышского бассейна) и имели фоновое количественное выражение: чрезвычайно опасные (выше 3,3 м), весьма опасные (2,1-3,2 м), опасные (1,5-2 м), умеренно опасные (0,8-1,4 м), мало опасные (0,3-0,7 м), неопасные (0 м).

Показатели вероятности превышения уровней начала затопления были представлены следующими интервалами (%): 0, 1-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-100. На картах они изображены картодиаграммами.

Для оценки опасностей на *муниципальном* уровне оптимально использование вероятностно-площадного подхода и метода картографического моделирования, которые, опираясь на показатели опасности и информацию о рельефе, позволили определить и отобразить зоны затопления территорий населенных пунктов. Полученная оценка опасности наводнений характеризует

уязвимость имеющихся хозяйственных объектов с целью установления возможных социальных и материальных потерь.

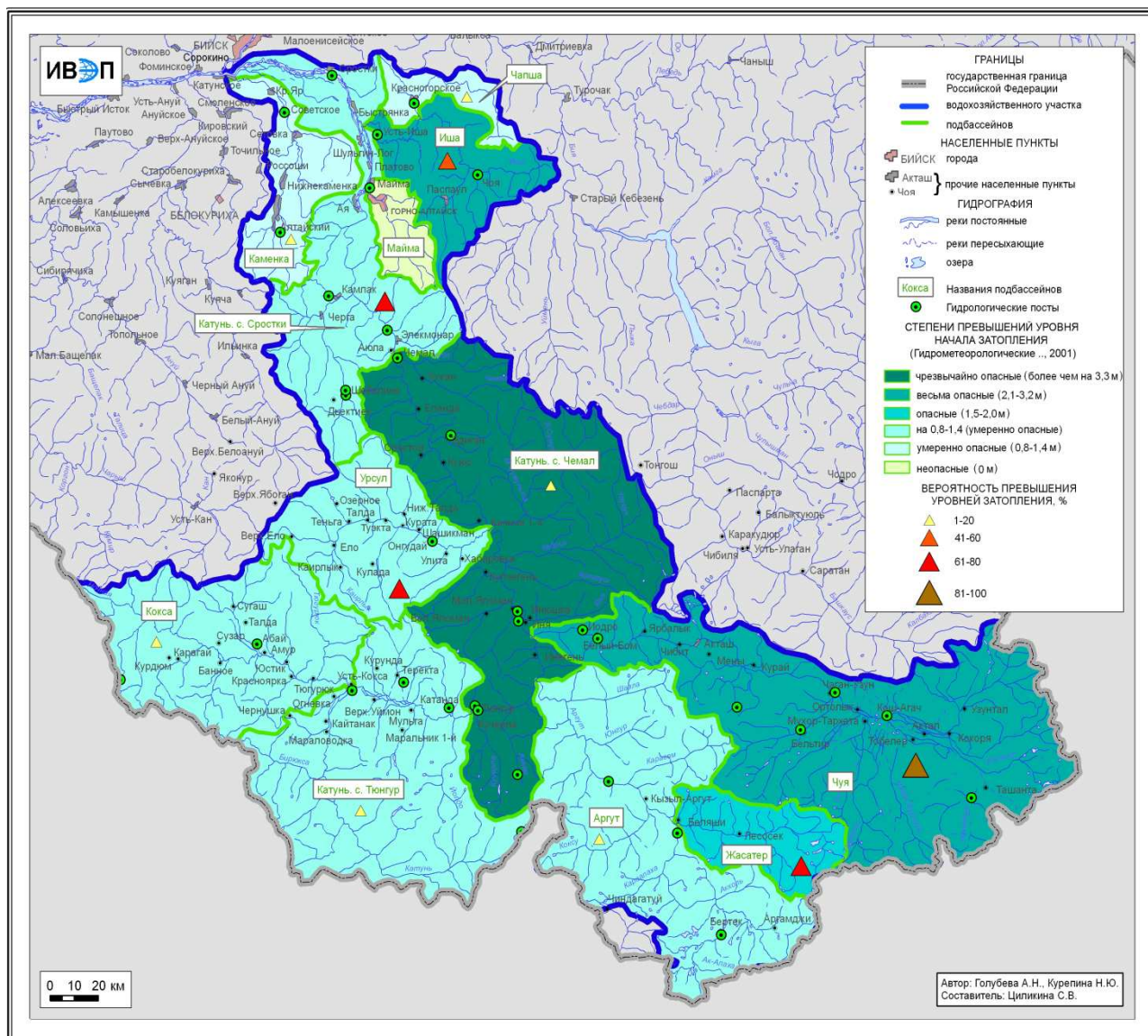


Рис. 1. Зонирование (ранжирование) территории по степени паводковой опасности ВХУ 13.01.01.003 (р. Катунь)

Проведённая работа позволила зонировать территорию Обь-Иртышского бассейна по степени паводковой опасности, выявить наиболее опасные для проживания территории и определить зоны затопления для крупных населённых пунктов.

Карты опасностей наводнений следует рассматривать как основу для органов власти при принятии управленческих решений по хозяйственной деятельности и рациональному использованию территорий.

Исследования проводились 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.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Осипов В.И. Оценка природных рисков / Геоэкология. Инженерная Геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2004. – №6. – С. 483-490.
2. Экология и природопользование (справочные данные). Термины, организации, персоналии // Государственное управление ресурсами. – 2008. – №11/2 (ноябрь). Специальный выпуск. – С. 18.
3. Коротный Л.М. Гидрологические опасности Сибири: классификация, распространённость, взаимообусловленность // Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда, 28 сентября – 1 октября 2004 г. / Федерал. служба России по гидрометеорологии и мониторингу окруж. среды. – СПб.: Гидрометеиздат, Секция 2: Наводнения и другие опасные гидрологические явления: оценка, прогноз и смягчение негативных последствий. – 2004. – С. 21-25.
4. Природные опасности России. Т. 6. Оценка и управление природными рисками / Под ред. А.Л. Рагозина – М.: Издательская фирма «КРУК», 2003. – 320 с.
5. Природные опасности России. Т. 5. Гидрометеорологические опасности / Под ред. Г.С. Голицына, А.А. Васильева – М.: Издательская фирма «КРУК», 2002. – 348 с.
6. Голубева А.Б., Курепина Н.Ю. Опыт оценки и картографирования опасности наводнения для территорий различных иерархических уровней (на примере Обь-Иртышского бассейна) // Ползуновский вестник. – 2011. - № 4-2. – С. 34-37.
7. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации [Карты]. – М.: 2005. – 271 с.

© А.Б. Голубева, 2012

МОБИЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА КАК СРЕДСТВО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЙ

Виктор Семенович Писарев

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и информационных систем СГГА, Новосибирск, тел. 8-913-777-79-87, e-mail: viktor@ssga.ru

Павел Михайлович Кикин

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, зав. лабораторией геоинформационного картографирования кафедры картографии и геоинформатики СГГА, Новосибирск, тел. 8 (383) 361-06-35

В статье говорится о мобильных устройствах, облачных технологиях, о возможности использования мобильных устройств при решении задач в случае возникновения кризисных ситуаций.

Ключевые слова: мобильные устройства, облачные технологии, геоинформационные системы.

MOBILE DEVICES AS A MEANS FOR EMERGENCY DECISION-MAKING

Viktor S. Pisarev

Ph.D., Senior lecturer, Department of Geodesy and GIS, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: 8-913-777-79-87, e-mail: viktor@ssga.ru

Pavel M. Kikin

Head of the Laboratory of GIS mapping, Department of Cartography and GIS, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk

The paper deals with mobile devices, cloud techniques, and mobile devices application for emergency decision-making.

Key words: mobile devices, cloud techniques, GIS.

В последнее время большую популярность в широких слоях населения приобрели мобильные устройства. Мобильные устройства «Mobile Internet Device» персональные компьютерные устройства небольшого размера, предназначенные для выхода в сеть Интернет и работы с Веб-сервисами. Основным достоинством мобильных устройств, является их малый размер, а следовательно возможность постоянного и практически непрерывного использования, в том числе в полевых условиях. Технические характеристики и возможности современных мобильных устройств, практически не уступают характеристикам современных персональных компьютеров, что и обусловило их стремительный рост и повсеместное развитие.

Согласно данным Gartner, мировой объем продаж мобильных устройств конечным пользователям в 2010 году составил 1,6 млрд. шт., что на 31,8% выше 2009 года. Продажи смартфонов выросли на 72,1% и составили 19% общего объема продаж мобильных устройств в 2010 году. [1]

Не так давно компанией IDC был составлен отчет, содержащий информацию о поставках планшетных компьютеров в мировых масштабах. Согласно предоставленной информации, объем продаж увеличился на 88,9% по сопоставлению с текущим кварталом предыдущего года. По сравнению с 2010 годом совокупный объем продаж данных устройств достиг уровня в 300%. На основе этих сведений экспертная группа IDC предположила, что итоговая цифра за 2011 год составит 62,5 миллиона планшетников, тогда как предыдущий показатель равнялся 53,5 миллионам [2].

Результаты данных исследований позволяют уверенно делать прогноз о том, что в ближайшее время использование мобильных устройств только увеличится.

Еще одним направлением современного технического развития является увеличение пропускной способности к сети Интернет.

Современный тренд прослеживается в следующем: предлагается вообще стереть разницу между сотовой связью и интернетом, т.е. если нужно связаться с пользователем, то это можно сделать практически в любой момент не только через телефонный номер, но и через социальные сервисы в интернете, которыми он пользуется для общения. В идеале, в будущем грань между сервисами, которые предоставляются сотовыми сетями (голосовые вызовы, СМС, ММС и т. д.) и интернетом (почта, мессенджеры, сообщения социальных сетей и чаты там же, а также многое-многое другое), вообще должна стереться, они превратятся в средства общения одного порядка. И пользователь сможет выбирать те способы коммуникации, которые максимально удобны для него в текущий момент. [3]

А это означает, то используя современные мобильные устройства, пользователь всегда и везде и при любых погодных условиях имеет доступ к всемирной сети Интернет.

Таким образом, на сегодняшний день сложилась оптимальная технологическая база для появления нового направления в картографии - отображение картографических данных на мобильных устройствах. Об этом также свидетельствуют получившие активное распространение картографические сервисы, ориентированные на широкий круг населения.

В нашем ВУЗе в течении нескольких лет активно ведется работа по созданию тематической инструментальной справочно-аналитической геоинформационной системы (ИСА ГИС), ориентированной для работы с мобильными устройствами.

ИСА ГИС – инструментальная справочно-аналитическая система, специализированная ГИС, предназначенная для выполнения справочных, картографических и аналитических функций, дополненная программно-технологическими средствами настройки системы и управления процессом

обработки под задачи конечного пользователя, не имеющего специальной подготовки в области картографии и ГИС[4].

ИСА ГИС представляет специально разработанную программную оболочку (модуль), которая интегрируется в базовую версию профессиональных ГИС. Данный модуль позволяет пользователю осуществлять действия по управлению ресурсами профессиональной ГИС в рамках более доступного, удобного и понятного интерфейса. Используя элементы навигации и выделение объектов карты, пользователь получает доступ к картографическому материалу в реальном времени. По запросу пользователя формируются картографические материалы в векторном виде с базой данных на территорию, что позволяет самостоятельно составлять новые тематические карты на базе имеющихся. Например, определение наиболее вероятных территорий дальнейшей застройки населенного пункта по нескольким имеющимся картам застройки этого населенного пункта в разное время, территории наиболее подверженные затоплению, загрязнению при возникновении определенного вида аварийной ситуации и т.д.

Структура организации информации в инструментально-аналитической ГИС определена как гипертекстовая сетевая, что обеспечивает ссылки на один и тот же массив информации из разных мест информационного поля. В ней реализована развитая иерархическая система меню и имеют встроенную систему поиска необходимой информации по заданному понятию, и это необходимо, так как при сетевой гипертекстовой структуре массивов информации невозможно построить и использовать привычное пользователю оглавление.

Доступ к информационной базе будет осуществляться посредством облачных технологий.

Облачные вычисления – это новая парадигма, предполагающая распределенную и удаленную обработку и хранение данных.

Технически это выглядит следующим образом: данные располагается на удаленном сервере и там же производится обработка графики, которая на компьютер конечному пользователю поступает уже в «готовом» виде. Проще говоря, те вычисления, которые обычно на компьютере выполняют видеокарта и процессор, здесь уже выполнены на сервере, а пользовательский компьютер используется лишь как монитор. [5]

Кроме того использование ИСА ГИС в тесном сочетании с мультимедийными средствами позволяет пользователю видеть картографические и семантические данные о территории и на их основе получать комплексную информацию об отдельном объекте или местности в целом. Получение дополнительной семантической или визуальной информации об объектах карты осуществляется в виде мультимедиа приложений, которые реализуются на базе современного программного обеспечения. Мультимедиа приложения могут содержать: фотографии объекта, характеризующие внешний вид объекта, вид изнутри, сверху и т.д.; видеоролики, характеризующие объект в движении или динамике; звуковые элементы, дополняющие общее восприятие об объекте, такие как дикторский текст, пение птиц, звуки природы и т.д.;

анимационные фрагменты, показывающие динамические элементы, которые сложно или невозможно отразить в виде только фотографий и видеороликов.

По нашему мнению в перспективе ИСА ГИС можно будет использовать в полевых условиях на мобильных устройствах как тематическую картографическую основу для дальнейшего принятия решений по управлению персоналом или населением при возможном возникновении чрезвычайных ситуаций на предприятиях, мониторинге зон заражений и т.д.

В камеральных условиях при моделировании последствий зон заражений и дальнейшего предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Данная научно-исследовательская работа выполняется в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. по государственному контракту № 02.740.11.0735.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <http://www.crn.ru/news/detail.php?ID=48164> Gartner: мировой объем продаж мобильных устройств.
2. <http://alltablets.ru/news/tablet-market/1854-idc-obem-prodazh-planshetov-v-2011-godu-vygos-na-300.html> - объем продаж планшетных устройств.
3. <http://www.ixbt.com/soft/windows-phone7-1-concept.shtml> - Windows Phone 7. Часть 1: концепция системы
4. Инструментальная справочно-аналитическая геоинформационная система. Патент Российской Федерации на полезную модель №113599. Авторы: Лисицкий Д.В., Кацко С.Ю., Писарев В.С., Бугаков П.Ю. Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная геодезическая академия».
5. <http://www.ixbt.com/cm/cloud-computing.shtml> - Облачные технологии.

© В.С. Писарев, П.М. Кукин, 2012

СОВРЕМЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЕЙ (ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧС)

Тулеген Турсунович Ипалаков

Восточно-Казахстанский Государственный Технический Университет им. Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, 070004, ул. Протозанова 69, доктор технических наук, профессор кафедры «Геодезия, землеустройство и кадастр», тел. 8 (7232) 54-07-76

Жанна Александровна Дранникова

Восточно-Казахстанский Государственный Технический Университет им. Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, 070004, ул. Протозанова 69, магистрант, преподаватель кафедры «Геодезия, землеустройство и кадастр», тел. 8 (7232) 54-07-76, e-mail: zhannadrannikova27@gmail.com

В статье предлагается стратегия управления в чрезвычайных ситуациях, реализуемая на основе геоинформационного картографирования посредством формирования и реализации управленческих решений.

Ключевые слова: геоинформационные системы, чрезвычайные ситуации, предотвращение.

MODERN GIS TECHNOLOGIES APPLICATION FOR TERRITORY MANAGEMENT (WARNING AND LIQUIDATIONS OF EMERGENCIES CONSEQUENCES)

Tulegen T. Ipalakov

D. Serikbaev East Kazakhstan State Technical University, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, 070004, 69 Protozanov, PhD, professor department of "Geodesy, Land Management and cadastre, tel. 8 (7232) 54-07-76

Zhanna A. Drannikova

D. Serikbaev East Kazakhstan State Technical University, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, 070004, 69 Protozanov, master degree department of "Geodesy, Land Management and cadastre, tel. 8 (7232) 54-07-76, e-mail: zhannadrannikova27@gmail.com

In the present paper emergency management strategy on the basis of geoinformational mapping by means of forming and implementation of management decisions, is considered.

Key words: geoinformation systems, consequences, early warning.

Крупные аварии и катастрофы последних десятилетий оказали существенное влияние на развитие общества и отношение государства к проблемам, связанным с чрезвычайными ситуациями. Были созданы специальные структуры, оснащенные современным оборудованием, ведется подготовка квалифицированных кадров, разрабатываются и постепенно внедряются прогрессивные методы мониторинга, предупреждения и реагирования. В этой многогранной деятельности информационная вооруженность имеет первостепенное значение.

Организация и управление деятельностью государственных органов по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС), защите и спасению населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера основаны на обработке больших массивов разнообразной, быстро меняющейся (возникающей) информации. Совершенствование способов и процессов работы с этой информацией является одним из средств повышения эффективности деятельности руководства и органов государственной власти всех уровней.

Безопасность населения в ЧС должна быть обеспечена следующими практическими мероприятиями, направленными на решение задач:

- а) Снижение вероятности возникновения и уменьшение возможных масштабов источников природных, техногенных и военных ЧС;
- б) Локализация, блокирование, подавление и ослабление действия поражающих факторов и источников ЧС;
- в) Снижение опасности поражения людей в чрезвычайных ситуациях путем предъявления и реализации специальных требований к расселению людей в экологически опасных зонах;
- г) Рациональное размещение потенциально опасных и иных вредных производств, а также транспортных магистралей и прочих жизненно важных объектов и коммуникаций;
- д) Создание объектов с существующей внутренней безопасностью и средствами локализации и самоподавления аварий и т.д. [1]

В настоящее время компьютер стал обычным рабочим инструментом специалистов и руководителей МЧС всех уровней. Так как значительную их часть составляют действующие или бывшие офицеры, то картографическое представление информации о территории, на которой они работают, является для них наиболее привычным и естественным. Все чаще в своей повседневной работе они обращаются к электронным картам, как основе решения производственных задач и принятия решений.

В связи с этим, при выборе подходов к созданию современного информационного обеспечения органов МЧС Казахстана всех уровней необходимо ориентироваться на геоинформационные системы и технологии (ГИС-технологии), которые обеспечивают сбор, хранение, обработку и представление, как традиционной описательной информации, так и пространственной информации о территории, находящихся на ней объектах и происходящих (опасных) процессах.

Одним из наиболее привлекательных свойств ГИС-технологий для МЧС Республики Казахстан является их способность интегрировать (увязывать в единую систему) как разнородную информацию, так и различные функциональные (производственные) задачи. Это свойство философски базируется на том факте, что вся разнородная информация (алфавитно-цифровая, графическая, картографическая, видео и фотоснимки, математическое описание процессов), необходимая для организации и управления деятельностью МЧС, напрямую или косвенно относится к

территории нашего региона, Восточно-Казахстанская область, и ее окружению и, следовательно, может быть привязана к карте или объектам (объекту) карты Казахстана (или части ее территории).

На «пространственной» основе удастся осуществить и интеграцию функциональных задач. Так как алгоритмы их решения базируются на интегрированной в единую систему (на основе ГИС-технологий) информации о территории области, то за счет выбора технологий решения этих задач (а для этого опять же подходят ГИС-технологии) и представления результатов их решения конкретным специалистам удастся реализовать взаимный обмен результатами решения этих задач [2].

Восточно-Казахстанская область – это регион, в котором риск возникновения чрезвычайных ситуаций очень велик. Рельеф территории горный, в весенний и летний периоды преобладают паводки и наводнения, в зимний период наблюдается сход лавин и обильное количество осадков. Наиболее подробная информация представлена на рис. 1.



Рис. 1. Карта риска подверженности территории Восточно-Казахстанской области природным стихийным бедствиям

Для предотвращения кризисных ситуаций было разработано специальное программное обеспечение, которое позволяет выявить комплекс наиболее важных задач, решение которых позволит практически подойти к оценке рисков и их планомерному снижению. Данное программное обеспечение моделирования развития кризисных (чрезвычайных) ситуаций на критически важных объектах (КВО) и прилегающих к ним территориях (СПО МКЧС) предназначено для выполнения оценочного и прогнозного моделирования различных чрезвычайных ситуаций и оценки потенциальных последствий их развития.

Построение моделей развития чрезвычайных ситуаций (аварий) выполняется по следующим сценариям:

- Определение местоположения и характеристик потенциальных опасностей;
- Оперативный поиск и выдача подробной информации о потенциально опасных объектах (ПОО);
- Оценка возможных сценариев развития ЧС по каждому ПОО;
- Отслеживание динамики развития ЧС и прогнозирование дальнейшего развития событий (разлива АХОВ, взрывов, пожаров, наводнений и паводков, разливов нефти и нефтепродуктов);
- Оперативный поиск и выдача информации по объектам народнохозяйственного значения, попадающим в опасные зоны;
- Оперативный поиск сил и средств, привлекаемых в процессе ликвидации последствий аварий;
- Оперативный поиск и выдача подробной разноаспектной информации о защитных сооружениях;
- Оценка возможных последствий при строительстве крупных гидротехнических сооружений;
- Формирование и издание государственного доклада о защите населения и территории от ЧС природного и техногенного характера;
- Разработка типовых рабочих карт обстановки.

Для решения этих задач применяются ГИС-технологии, основанные на использовании программных продуктов ESRI и ERDAS. База пространственных данных создана и функционирует под управлением ArcGIS. Ее интеграция с другими информационными системами осуществляется на основе ArcSDE. Моделирование осуществляется на основе расчетных методик, отвечающих требованиям существующих ГОСТов и руководящих документов для соответствующих сценариев развития чрезвычайных ситуаций. При построении моделей учитываются различные геопространственные факторы, такие как рельеф местности, наличие объектов гидрографии и др., выполняется расчет зон различных степеней поражения людей, зданий и сооружений, производится оценка возможных человеческих потерь и разрушений на территории критически важных объектов обороны [3].

Практическое использование результатов разработки осуществлено в рамках научно-исследовательской работы по созданию «ГИС Восточно-Казахстанской области подсистемы МЧС» для обеспечения безопасности и защиты населения и территорий от ЧС. Результаты будут внедрены в оперативном отделе ГУ ГО и ВСС ДЧС Восточно-Казахстанской области, в Управлении по делам ГО и ЧС г. Усть-Каменогорска.

Таким образом, проблема построения автоматизированных систем поддержки предупреждения и ликвидации ЧС актуальна не только в силу объективной необходимости решения прикладных задач, но и в силу того, что в настоящее время необходимо создание методов их решения, использующих новые методические и технологические концепции. Методологические требования вытекают из особенностей постановки задач поддержки принятия решений в условиях экстраординарных ситуаций. Управление в условиях ЧС отличается от штатных условий гибкостью, необходимостью работы с недостоверной и неполной информацией, высоким темпом изменения ситуации, необходимостью формирования в кратчайшие сроки как можно более эффективных решений, высокой результативностью, требованиями минимизации времени и минимума потерь при ликвидации ЧС. Эти особенности требуют развития новой методологии поддержки управленческих решений, основанной на использовании сценарного подхода и методологии ситуационного управления в сочетании с новыми методами информационного моделирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теоретические основы реагирования на чрезвычайные ситуации Текст./под ред. В.И. Ларионова: учеб. пособие для слушателей и курсантов ВИУ. М.: Изд. ВИУ, 1999.
2. Щербаков Ю.С. Совершенствование защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Материалы научно-практ. конф. Текст. Новосибирск, 2001.- 254с.
3. Лисицкий, Д.В. Основные принципы цифрового картографирования местности Текст./Д.В. Лисицкий. М.: Недра, 1988.- 261 с.

© Т.Т. Ипалаков, Ж.А. Дранникова, 2012

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ НЕФТЕПОИСКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Аркадий Романович Курчиков

Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 625048, г. Тюмень, ул. Таймырская, 74, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, директор, тел. (3452)688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

Андрей Юрьевич Белоносов

Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 625048, г. Тюмень, ул. Таймырская, 74, кандидат технических наук, зав. сектором, тел. (3452)688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

Рустам Ильясович Тимшанов

Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 625048, г. Тюмень, ул. Таймырская, 74, ведущий инженер, тел. (3452)688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

Олег Серафимович Мартынов

Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 625048, г. Тюмень, ул. Таймырская, 74, старший научный сотрудник, тел. (3452)688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

Сергей Александрович Шешуков

Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 625048, г. Тюмень, ул. Таймырская, 74, инженер, тел. (3452)688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

Антон Евгеньевич Кудрявцев

Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 625048, г. Тюмень, ул. Таймырская, 74, инженер, тел. (3452)688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

Результаты многолетних исследований показывают, что применение геохимической съемки на содержание аренов в подпочвенных глинах несет в себе ряд преимуществ и значительно увеличивает достоверность прогноза нефтеносности. При геологической интерпретации геохимических данных установлена прямая связь распространения залежей нефти с распределениями концентраций бензола, толуола и показателя Б/Т*. Перспективным направлением в развитии геохимических поисков залежей углеводородов является применение методов активной диагностики недр путем регистрации усиления миграции УВ в результате контролируемого сейсмического воздействия на геосреду.

Ключевые слова: геохимические поиски, арены, бензол, толуол, прогноз нефтеносности, залежь, разлом, сейсмическое воздействие, сейсморазведка.

RESULTS OF CONDUCTING OF PETROLEUM GEOCHEMICAL EXPLORATIONS IN THE SOUTH OF WEST SIBERIA

Arkady R. Kurchikov

West-Siberian Affiliate of Institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 625048, Tyumen, Taimirskaya str. 74, Corresponding member of RAS, Professor, Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Director, tel. (3452) 688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

Andrei Yu. Belonosov

West-Siberian Affiliate of Institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 625048, Tyumen, Taimirskaya str. 74, PhD, head of department, tel. (3452) 688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

Rustam I. Timshanov

West-Siberian Affiliate of Institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 625048, Tyumen, Taimirskaya str. 74, leading engineer, tel. (3452) 688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

Oleg S. Martinov

West-Siberian Affiliate of Institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 625048, Tyumen, Taimirskaya str. 74, senior researcher, tel. (3452) 688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

Sergei A. Sheshukov

West-Siberian Affiliate of Institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 625048, Tyumen, Taimirskaya str. 7, engineer 4, tel. (3452) 688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

Anton E. Kudryavtsev

West-Siberian Affiliate of Institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, 625048, Tyumen, Taimirskaya str. 74, engineer, tel. (3452) 688-792, e-mail: wss_geoneft@niigig.ikz.ru

The results of continuous explorations show that geochemical survey based on the content of aromatic hydrocarbons in near surface layers brings a number of advantages and considerably improves the quality of oil prognosis. Geological interpretation of geochemical data determines the direct relation of oil content and distributions of benzol, toluol and B/T* parameter. Registration of the amplification of hydrocarbon's migration as a result of controlled seismic excitation of geological medium was applied as a method of active diagnostics which seems to be a perspective direction of geochemical survey's development.

Key words: geochemical survey, aromatic hydrocarbon, benzol, toluol, oil prognosis, deposit, fault, seismic excitation, seismic exploration.

В настоящее время существуют различные вариации методов прямых геохимических поисков залежей нефти, отличающихся выбором показателей, средой опробования, методикой анализа проб и т.п. Вопросами разработки и практического применения прямых геохимических поисков в России занимаются научные, отраслевые, сервисные организации. Традиционно в качестве нефтепоисковых показателей использовались концентрации углеводородных газов (УВГ), что было обусловлено их высокой миграционной способностью и, как следствие, высоким содержанием в приповерхностных

отложениях. Практика газовой геохимической съемки показала, что увеличение содержания УВГ не всегда свидетельствуют о нефтеносности диагностируемых структурных элементов и в ряде случаев может быть обусловлено их биогенной генерацией в современных осадках. Нередки случаи ошибочного прогноза нефтеносности, осуществленного на основе только газовых показателей без учета содержания аренов [1]. В ЗСФ ИНГГ СО РАН в комплексе геохимических и геофизических нефтепоисковых исследований разрабатывается и внедряется метод геохимической съемки на содержание ароматических УВ. Перспективность использования аренов (бензола, толуола) при прогнозе нефтеносности отмечалась в ходе опытно-методических работ, проводимых ВНИИЯГГ в 60-80е годы [2]. Эти углеводороды содержатся в нефтях Западно-Сибирской НГП, хорошо растворяются в воде, имеют повышенную летучесть, устойчивы к биохимическому окислению, практически не генерируются в современных осадках.

Наиболее распространенными видами геохимического опробования являются съемки по подпочвенным глинистым отложениям, снежному покрову, донным осадкам водоемов. Режимными геохимическими исследованиями показано, что концентрации углеводородов, в частности аренов, в снежном покрове и донных отложениях водоемов сильно изменяются во времени в зависимости от внешних метеоусловий: температуры воздуха и выпадения осадков [3]. Наиболее представительные результаты могут быть получены при измерении концентраций УВ в подпочвенных глинах с глубины от 2х метров. Незначительное изменение сорбционных характеристик глинистых отложений обусловлено лишь плавными сезонными колебаниями температуры.

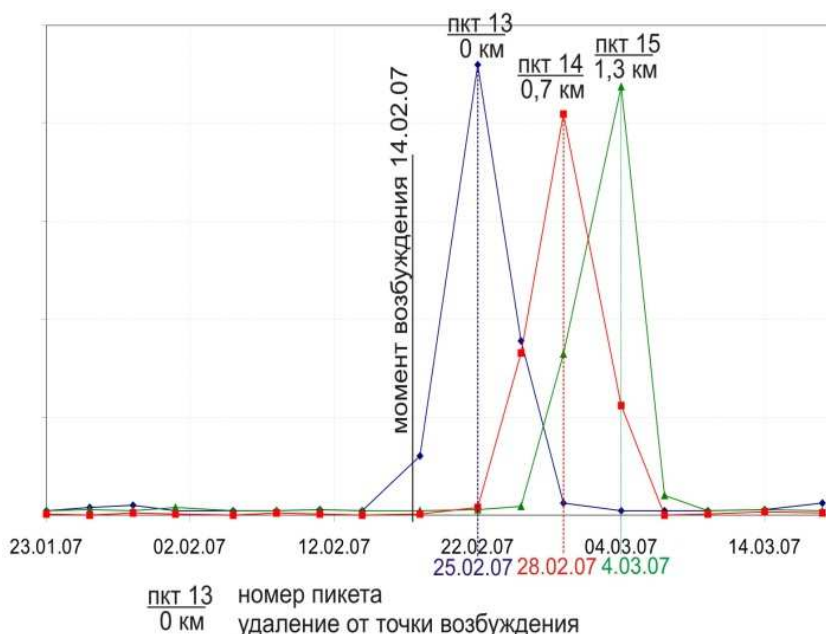


Рис. 1. Динамика концентраций УВ на режимных пикетах

Содержание УВ в исследуемых средах зависит от флуктуаций их восходящего потока как периодических вследствие приливных деформаций

земной коры, так и кратковременных при естественных (удаленный источник землетрясений) и техногенных (бурение скважин, проведение сейсморазведочных работ и т.д.) воздействиях на геологическую среду. На эффекте усиления миграции УВ в результате контролируемого сейсмического воздействия основывается метод активной диагностики недр [4]. При однократной съемке, даже с учетом природных факторов, распределения аренов могут отражать кажущуюся величину углеводородного потока вследствие искажающего влияния условий миграции и накопления УВ (активность углеводород-окисляющих бактерий, разные сорбционные характеристики отложений по всему геологическому разрезу). При сейсмическом воздействии на геологическую среду происходит увеличение углеводородного потока по разломам и зонам трещиноватости, возможен отрыв углеводородов, находящихся в сорбированном состоянии в породах. Увеличение концентраций УВ на дневной поверхности носит кратковременный характер (рис. 1). В целом, метод позволяет в несколько раз увеличить чувствительность геохимической съемки, зафиксировать флюидопроводность зон трещиноватости, разломов, локальных и региональных динамически-напряженных зон и выявить геохимические аномалии, маскированные внешними факторами.

Геологическая интерпретация геохимических распределений

При сопоставлении геохимических распределений было выявлено, что участки высокого содержания толуола обычно образуют вытянутые цепочки контрастных аномалий, тогда как в полях концентраций бензола выделяются крупные изометричные зоны высоких и повышенных значений. В целом, аномалии бензола обладают меньшей контрастностью по сравнению с толуолом, даже в случаях их совпадения.

Различия в концентрациях бензола и толуола объясняются изменением относительного состава смеси мигрирующих УВ при дифференциации под влиянием сорбционно-хроматографических, распределительно-хроматографических, диффузионных и прочих эффектов. В нефтях Западной Сибири содержание толуола значительно превышает содержание бензола. В результате перераспределения в направлении миграции сквозь слабопроницаемые отложения в паре бензол-толуол увеличивается доля бензола, т.к. он лучше растворяется в подземных водах, обладает меньшим весом и более летуч по сравнению с толуолом, что предопределяет его большую подвижность, как в вертикальном, так и в латеральном направлении. С увеличением проницаемости пород преобладает фильтрационный механизм массопереноса по системам трещин и пор вверх по разрезу вплоть до дневной поверхности, как в газовой фазе, так и в водной среде в виде коллоидных частиц. Высокая скорость миграции приводит к тому, что относительный состав мигрирующих компонентов изменяется слабо. Особенности относительного содержания бензола и толуола отражаются в распределении показателя Б/Т.

На исследованной территории сейсморазведкой выделено более 20 структур разной величины, среди которых 9 с доказанной бурением нефтеносностью, на одной структуре бурение не дало положительных

результатов, остальные не опробованы бурением. Структуры с доказанной нефтеносностью характеризуются высоким содержанием аренов в подпочвенных глинах. Максимумы концентраций бензола и толуола чаще всего отмечаются на склонах поднятий и реже в куполах, образуя кольцевые и сводовые аномалии. В распределении Б/Т такие участки, как правило, характеризуются низкими значениями. В целом, над структурами фиксируется увеличение Б/Т, обусловленное фоновым содержанием толуола и повышенным – бензола. Участки высоких значений Б/Т в ряде случаев практически полностью повторяют контур структуры (рис.2).

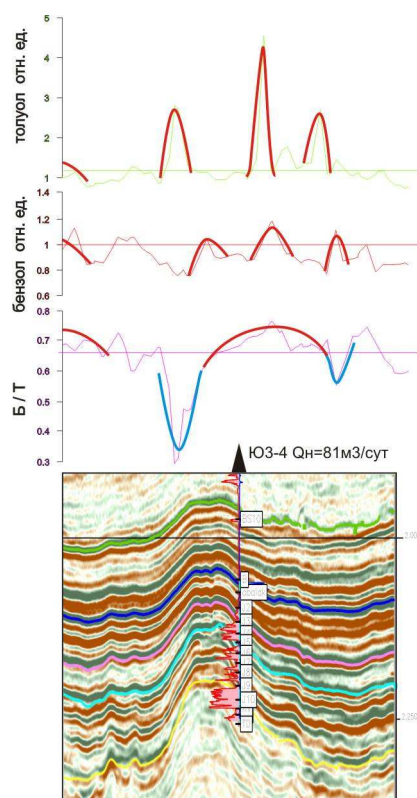


Рис. 2. Распределения аренов над нефтеносной структурой

Увеличение концентраций толуола и снижение значений Б/Т в пределах нефтеносных структур связываются с интенсивной миграцией углеводородных флюидов по зонам разуплотнения и трещиноватости. На структурных планах такие аномалии чаще всего приурочены к различного рода осложнениям в виде структурных носов, врезов, перегибов осей складок, градиентных зон и т.п. Здесь предполагается развитие трещинных и трещинно-поровых коллекторов, характеризующихся повышенной нефтеотдачей, что подтверждается результатами геофизических исследований и бурения. Отмечается хорошее совпадение участков низких значений Б/Т и зон разуплотнения верхней части доюрского основания, построенных на основе динамического анализа сейсмических данных специалистами Тюменского нефтяного научного центра. Участки высоких значений Б/Т в целом соответствуют ненарушенным породам. Зоны разуплотнения, приуроченные к склонам структур и бортам впадин,

характеризуются низкими значениями Б/Т на фоне высоких концентраций аренов.

Анализ продуктивности скважин из юрских отложений, находящихся в зонах высоких концентраций аренов и низких значений Б/Т показал, что их средние дебиты выше по сравнению с дебитами остальных нефтяных скважин. На исследуемых территориях пробурено 30 поисковых и разведочных скважин. Из них 7 скважин являются непродуктивными, 10 скважин - малodeбитными ($< 10 \text{ м}^3/\text{сут.}$), 5 скважин – среднедебитными ($10\text{-}30 \text{ м}^3/\text{сут.}$) и 8 скважин – высокодебитными ($> 30 \text{ м}^3/\text{сут.}$, средние дебиты составляют около $80 \text{ м}^3/\text{сут.}$). Для данной выборки скважин соотнесены значения концентраций бензола и толуола в пикетах, расположенных в непосредственной близости от буровых площадок, вычислены значения Б/Т. Сравнивая дебиты скважин со значениями геохимических параметров, измеряемых на поверхности можно отметить, что увеличение дебитов сопровождается ростом концентраций аренов и снижением значений Б/Т (рис. 3).

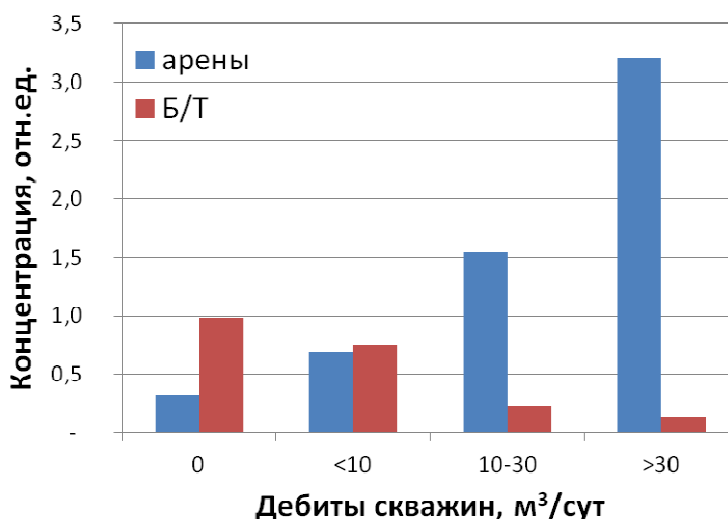


Рис. 3. Распределение концентраций аренов и Б/Т в зависимости от дебитов скважин из пластов юрских отложений

На Тямкинском месторождении в результате проведения высокоточной геохимической съемки были уточнены границы ВНК, оценена эффективность покрышки с выявлением активных каналов миграции УВ (разломов), обоснованы направления по размещению дальнейшего эксплуатационного бурения, построены карты распространения предполагаемых участков высокой нефтеотдачи, обусловленной развитием зон повышенной трещиноватости. На данный момент на месторождении пробурено 15 эксплуатационных скважин, дебиты которых подтверждают правильность геохимических построений. Показано, что размеры аномалий, обусловленных миграцией УВ от залежи к дневной поверхности по зонам трещиноватости и разломам, могут снижаться до 100 м. Таким образом, на юге Западной Сибири для получения

кондиционных материалов необходима высокая плотность сети пробоотбора, в противном случае выделение аномалий носит вероятностный характер.

По результатам комплексных дистанционных и геохимических исследований на ряде площадей юга Западной Сибири составлены прогнозные карты нефтеносности, достоверность которых подтверждается разведочным и эксплуатационным бурением. После проведения геохимических съемок пробурено 8 разведочных скважин, в 5ти из которых получены притоки нефти. Все продуктивные скважины находятся в зонах геохимических аномалий типа «залежь». Непродуктивные скважины, пробуренные без учета геохимических данных, приурочены к бесперспективным участкам.

Заключение

Необходимость в использовании информативных геохимических методов, надежно картирующих пути миграции УВ, продиктована сложным геологическим строением большинства нефтеперспективных объектов юга Западной Сибири. В связи с небольшими толщинами нижнеюрских отложений тектоника доюрского фундамента оказывала определяющее влияние как на формирование структур юрского и нижнемелового осадочных комплексов, так и на площадное распределение коллекторов и флюидоупоров. Характерными особенностями структур является их линейность, градиентность и многокупольность. Отмечается дробление структур на мелкие блоки, проявление в осадочном чехле глубинных разломов и зон трещиноватости, являющихся как тектоническими экранами, так и проводящими каналами углеводородных флюидов. Системы разломов осложняют строение ловушек УВ, нарушают экранирующие свойства флюидоупоров и формируют каналы вторичной миграции УВ от залежи к дневной поверхности, что находит свое отражение в распределении геохимических полей. В таких условиях скопления УВ могут быть приурочены к ловушкам комбинированного типа, стратиграфически, тектонически и литологически экранированным, выявление которых сейсмическими методами затруднено. Вследствие этого увеличивается количество разведочных скважин, необходимых для оценки запасов нефти и определения границ ВНК. Такая ситуация в итоге приводит к пропуску перспективных объектов и удорожанию всего стандартного комплекса геолого-геофизических работ при доразведке и разработке месторождений.

Практическое опробование геохимической съемки по аренам на ряде площадей юга Западной Сибири показало высокую информативность метода. Поля распределения арен (бензола и толуола) и показателя Б/Т, вычисленного на их основе, хорошо согласуются с сейсмическими данными и результатами испытаний пластов в скважинах, пробуренных как до проведения геохимических съемок, так и после них. В ходе проведения разномасштабных исследований с шагом от 50 до 1000 м было выявлено, что данный метод позволяет решать различные задачи от региональной оценки нефтеносности территории до уточнения контура нефтенасыщенного коллектора и корректировки мест заложения кустов эксплуатационных скважин.

Применяемые в настоящее время методы геохимических поисков по своему содержанию являются пассивными методами диагностики. Метод

регистрации усиления миграции УВ при контролируемом сейсмическом воздействии на геологическую среду относится к активным методам и открывает новое направление в данной области, что позволяет существенно повысить чувствительность геохимических съемок и исключить искажающее влияние условий миграции и накопления УВ в современных осадках. Метод апробирован при проведении многократных геохимических съемок при бурении глубоких скважин, а также совместно с сейсморазведочными работами с использованием взрывных и вибрационных источников возбуждения. Практическая реализация метода в обоих случаях показала его перспективность и целесообразность дальнейшего развития.

Проведена глубокая модернизация методики геохимической съемки, в рамках которой объединен ряд технологических решений, направленных на повышение достоверности получаемых результатов. Методами математического и статистического анализа материалов геохимических съемок, режимных измерений и полевых экспериментов исключается влияние природных и антропогенных факторов на поля концентраций исследуемых параметров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старобинец И.С. Формирование аномальных геохимических полей на непродуктивных площадях и критерии их поисковой оценки // Геология нефти и газа. – 1992. №3. – С. 40-43.
2. Старобинец И.С. Газогеохимические показатели нефтегазоносности и прогноз состава углеводородных скоплений. – М.: Недра, 1986. – 200с.
3. Курчиков А.Р., Белоносов А.Ю., Тимшанов Р.И. Динамика концентраций ароматических углеводородов C_6 - C_8 в приповерхностных средах в связи с прямыми геохимическими поисками залежей нефти // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2010. №4. - С.44-48.
4. Курчиков А.Р., Белоносов А.Ю., Тимшанов Р.И. Метод временной вариации параметров при сборе, обработке и интерпретации геохимико-геофизических данных на стадии подготовки объектов к поисковому бурению // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. VII научно-практическая конференция. Том 2. - Ханты-Мансийск, 2004. С.187-199.

© А.Р. Курчиков, А.Ю. Белоносов, Р.И. Тимшанов,
О.С. Мартынов, С.А. Шешуков, А.Е. Кудрявцев, 2012