

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ИМУЩЕСТВУ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ (МИИГАиК)

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ, КАДАСТР, ГИС – ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Материалы международной научно-технической конференции

(Новополоцк, 9 – 10 июня 2016 г.)

В двух частях

Часть 1

Новополоцк
2016

УДК 528(063)
ББК 26.1я431

Редакционная коллегия:

Г. А. Шароглазова, кандидат технических наук;
В. В. Ялтыхов, кандидат технических наук;
И. П. Шевелев, кандидат технических наук;
Г. Е. Головань, кандидат технических наук;
Н. В. Клебанович, доктор сельскохозяйственных наук;
А. А. Бакатович, кандидат технических наук

Геодезия, картография, кадастр, ГИС – проблемы и перспективы развития : материалы междунар. науч.-практ. конф., Новополоцк, 9–10 июня 2016 г. : в 2 ч. / Полоц. гос. ун-т ; редкол.: Г. А. Шароглазова (отв. ред.) [и др.]. – Новополоцк : ПГУ, 2016. – Ч. 1. – 228 с.

ISBN 978-985-531-543-9.

Представлены материалы по результатам исследований в области геодезии, гравиметрии, геодинамики, геоинформационных технологий, дистанционного зондирования Земли.

Предназначены для научных работников и специалистов, а также руководителей организаций, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов вузов геодезических и строительных специальностей.

УДК 528(063)
ББК 26.1я431

ISBN 978-985-531-543-9 (Ч. 1)
ISBN 978-985-531-542-2

© Полоцкий государственный университет, 2016

ГЕОДЕЗИЯ, ГРАВИМЕТРИЯ И ГЕОДИНАМИКА

УДК 528.22

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕОИДА В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РАЙОНАХ¹

д-р техн. наук В.Б. НЕПОКЛОНОВ, М.В. АБАКУШИНА

*(Московский государственный университет геодезии и картографии,
Россия)*

Представлено современное состояние работ в области создания региональных и национальных цифровых моделей геоида в районах суши по гравиметрическим данным. Рассмотрены четыре региональные модели континентального масштаба (Европа, Африка, Южная Америка, Австралия) и аналогичные национальные модели для территории России и ряда зарубежных стран, имеющих достаточно большие размеры (США, Канада, Мексика, Китай, Монголия, Казахстан, Иран, Украина, Польша). Описаны основные методы создания и валидации указанных моделей. Проведен сравнительный анализ их разрешающей способности и точностных характеристик. Отмечены первоочередные задачи для улучшения моделей геоида на территории России.

***Ключевые слова:** гравитационное поле Земли, высота геоида, модель, гравиметрическая информация, спутниковое нивелирование, точностные характеристики.*

Одной из актуальных задач современной геодезии является создание высокоточных моделей геоида на суше. Такие модели нужны как для решения различных научных задач, так и для практических целей, в частности, для замены геометрического нивелирования, трудоемкого и дорогостоящего, высокопроизводительным спутниковым нивелированием на основе ГЛОНАСС/GPS [1]. Федеральной целевой программой «Поддержка, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» предусмотрено к 2020 году определение высот геоида (ВГ) на территории

¹ Работа выполнялась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 16-05-00720).

Российской Федерации с погрешностью 0,05 м [2]. Создание моделей геоида такой высокой точности является сложной научно-технической задачей, выполнению которой может способствовать учет отечественного и зарубежного опыта решения подобных задач.

Наиболее распространенной разновидностью моделей геоида на сегодняшний день являются цифровые модели (карты) в виде совокупности дискретных значений высот геоида в узлах равномерной сетки меридианов и параллелей (далее – ЦМГ) [1]. Основным видом исходной информации для вычисления высот геоида на суше были и остаются данные площадных гравиметрических съемок. Доклад посвящен оценке современного состояния ЦМГ для районов суши. Представлен анализ современного состояния работ в области построения региональных и национальных ЦМГ по гравиметрическим данным на примере 4 региональных моделей континентального масштаба (Европа, Африка, Южная Америка, Австралия) и аналогичных национальных моделей для территории России и ряда зарубежных стран, имеющих достаточно большие размеры (США, Канада, Мексика, Китай, Монголия, Казахстан, Иран, Украина, Польша) [3–6].

В общем случае технологический процесс создания ЦМГ сводится к уточнению и детализации глобальных моделей гравитационного поля Земли (ГПЗ) в конкретных районах и состоит из двух основных этапов (стадий). Сначала осуществляется создание ЦМГ с использованием детальной гравиметрической информации и цифровой модели рельефа (ЦМР). Для контроля используются ВГ, полученные по схеме обратного спутникового нивелирования (ОСН) – как разности геодезических (спутниковых) и абсолютных (нивелирных) высот. Затем, в случае необходимости, выполняется уравнивание ЦМГ с данными ОСН. В результате на основе гравиметрической модели формируется так называемая комбинированная или гибридная модель геоида.

Точностные характеристики региональных и национальных ЦМГ зависят от изученности соответствующих территорий в гравиметрическом и геодезическом отношении. В настоящее время она продолжает оставаться неравномерной. К регионам, относительно хорошо обеспеченным исходной гравиметрической и геодезической информацией, можно отнести Европу, Северную Америку, Австралию. В отличие от этого, значительная часть районов, расположенных в Азии (включая Россию), Африке, Южной Америке, Антарктиде, по-прежнему не имеет покрытия гравиметрическими съемками требуемой точности, полноты и подробности.

Существенный вклад в общее повышение точности региональных и национальных ЦМГ внесло использование в составе исходной информации

результатов изучения фигуры и гравитационного поля Земли с помощью современных космических методов, в том числе новых планетарных моделей ГПЗ повышенной точности, полученных с использованием данных спутниковой альтиметрии, измерений по линии «спутник–спутник», спутниковой градиентометрии, а также детальных ЦМР, созданных по данным дистанционного зондирования Земли, в первую очередь, модели SRTM.

Помимо исходной информации, на точность ЦМГ влияют методические особенности ее обработки. Наибольшее распространение получили два подхода к созданию ЦМГ: интегральный и статистический.

В рамках интегрального подхода ВГ вычисляются по интегральным формулам физической геодезии, в основном, с использованием формулы Стокса и ее модификаций. При этом применяются различные методики преобразования аномалий силы тяжести (АСТ) в ВГ, в т.ч. методика UNB (Университет Нью-Брунсвика, Канада), использующая модифицированный интеграл Стокса в сочетании с техникой «удаления-восстановления» и методика КТН (Королевский технологический университет, Стокгольм), реализующая классическую схему вычисления модифицированного интеграла Стокса. Для каждой методики возможны различные варианты реализации. Они различаются выбором планетарной модели ГПЗ, способа модификации интеграла Стокса, размеров области учета детальной гравиметрической информации. При современных требованиях к точности ЦМГ необходим учет топографии. Для этого могут использоваться различные алгоритмы, в том числе алгоритмы, основанные на известных формулах топографической редукции и методе Молоденского.

В рамках статистического подхода ВГ вычисляются путем статистического прогноза, реализуемого на базе метода наименьшей квадратической коллокации. При этом также могут использоваться различные вычислительные схемы, в том числе схемы с глобальными и локальными моделями ковариационных функций АСТ и ВГ [7].

С повышением требований к точности ЦМГ повышаются требования к методам оценки их точностных характеристик. В настоящее время точностные характеристики ЦМГ оценивают с использованием различных методов, в том числе методов априорной и апостериорной оценки точности. Априорные оценки, базирующиеся на использовании определенных моделей погрешностей преобразования исходных аномалий силы тяжести в ВГ, наиболее широко применяются при проектировании ЦМГ. Основной областью применения апостериорных оценок являются этапы экспериментальной отработки ЦМГ, их верификации и валидации. При этом используются

два типа оценок – внутренние (по внутренней сходимости) и внешние. Первые не дают полного представления о точностных характеристиках ЦМГ, так как обычно они ограничиваются точностью определения узловых значений ВГ. Поэтому окончательные выводы о точности ЦМГ делаются на основе внешних оценок, получаемых путем сравнения модели с контрольными данными. Это позволяет оценить суммарное влияние различных источников погрешностей ЦМГ, включая погрешности интерполяции узловых значений ВГ в промежуточные точки.

В качестве контрольных данных для оценки точности используют:

- значения ВГ и (или) их градиентов (уклонений отвесной линии), вычисленных по глобальной модели ГПЗ, условно принимаемой за эталон;
- значения ВГ и (или) разностей ВГ, полученных с использованием технологии ОСН;
- значения ВГ, полученные по данным спутниковой альтиметрии (в прилегающих морях, попадающих в область действия модели);
- данные аналогичной модели геоида для соседнего региона (в зоне перекрытия);
- значения составляющих уклонений отвесной линии, полученных астрономо-геодезическим методом и (или) вычисленных независимо по гравиметрической информации.

Основным способом внешней оценки точности ЦМГ на сегодняшний день является сравнение модели с данными ОСН. При этом необходимо учитывать, что эффективность данного метода зависит от количества контрольных ВГ, их точностных характеристик и площадного распределения. Количество и плотность задания контрольных значений ВГ могут существенно меняться от района к району.

Внешние оценки точности ЦМГ по данным ОСН, характеризующие зависимость точностных характеристик и детальности ЦМГ от их географического положения и национальной принадлежности, представлены в таблице 1 (на примере зарубежных моделей).

В Российской Федерации создание и обновление ЦМГ рассматривается как одно из ключевых условий создания высокоэффективной системы геодезического обеспечения, как это предусмотрено Концепцией развития отрасли геодезии и картографии до 2020 г. За последние 20 лет российскими специалистами созданы и доведены до практической реализации две ЦМГ на территорию своей страны.

Одна из них – это модель «Российский гравиметрический геоид», созданная в 2000 году (РГГ-2000) при поддержке Российского фонда фун-

даментальных исследований в экспериментальных целях (рис. 1). Ее основные характеристики: исходная информация – опорная модель ГПЗ EGM-96 (до 360-й степени), средние АСТ и высоты по трапециям $5' \times 5'$ (на основе гравиметрических карт масштаба 1:1 000 000); шаг фиксированный – $5'$; границы – по широте от 40 до 80° , по долготе от 26 до 192° . Узловые значения ВГ вычислены по формуле Стокса с использованием техники «исключения-восстановления». Расхождение модели РГГ-2000 с аналогичной моделью европейского гравиметрического геоида 1997 года характеризуется средним значением $0,40$ и стандартным отклонением $0,42$ м. Относительно данных ОСН погрешности модели РГГ-2000 характеризуются следующими локальными оценками [8–9]: на территории Альметьевского геодинамического полигона (Республика Татарстан) – средним значением – $0,36$ м и стандартным отклонением $0,38$ м (по 20 пунктам); в зоне проектируемого трубопровода протяженностью 70 км на территории Восточной Сибири – средним значением $0,05$ м и стандартным отклонением $0,08$ м (по 11 пунктам).

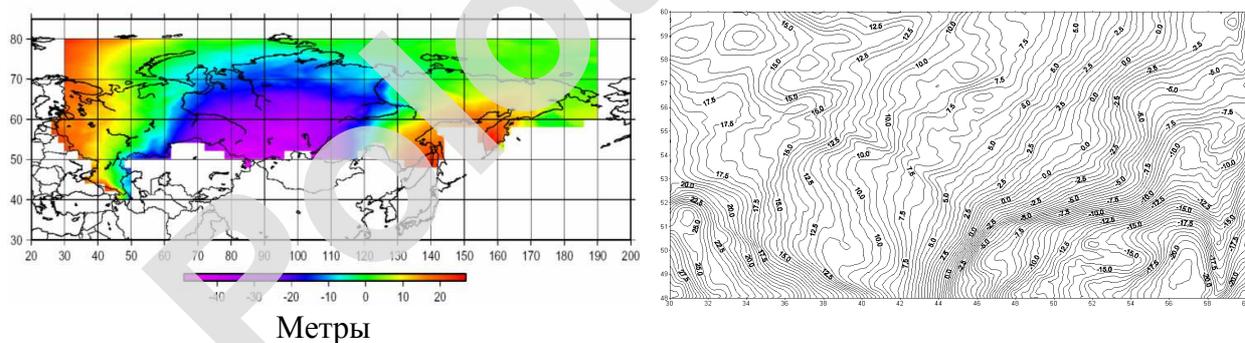
Таблица

Характеристики современных зарубежных ЦМГ

Регион (страна)	Наименование модели	Шаг сетки (угл. мин)	Опорная модель ГПЗ (порядок)	Точностные харак- теристики (относи- тельно данных ОСН)	
				Среднее	Ср. кв. откл.
1	2	3	4	5	6
Европа	Европейский гравиметрический гео-ид 2007 (EGG07)	$1 \times 1,5$	EIGEN-GLO4C	-0,06	0,06
Африка	Африканский проект геоида 2007 (AGP2007)	5×5	EIGEN-GL04C (120)	нет данных	0,21
Южная Америка	GEOID2014	5×5	EIGEN-6C3stat (200)	0,17	0,52
Австралия	AUSGeoid09	1×1	EGM2008 (2160)	нет данных	0,05
США (24...58° с.ш.; 60...130° з.д.)	Гравиметрический геоид США 2012 (USGG2012)	1×1	EGM2008 (2160); GOCO02S	0,01	0,06
Канада (10...90° с.ш., 10...170° з.д.)	Канадский гравиметрический геоид 2013 (CGG2013)	2×2	EIGEN-6C3stat	-0,19	0,13

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6
Мексика (14...33° с.ш.; 86...119° в.д.)	Мексиканский гравиметрический геоид 2005(GGM05)	2,5 × 2,5	EIGEN2	нет данных	0,20
Китай	Национальный гравиметрический геоид 2011 (CNGG2011)	2 × 2	EIGEN-CG03C	-0,16	0,13 (Тибет – 0,22)
Казахстан (40...56° с.ш., 46...88° в.д.)	KazGM2010	5 × 5	ITG-GRACE2010S (180)	нет данных	0,18
Монголия	Национальный гравиметрический геоид 2007	5 × 5	EGM96 (360), GGM02S (160)	-1,14	0,20
Иран (24...40° с.ш., 44...62° в.д.)	Иранский квазигеоид 2009 (IRQG09)	1,5×1,5	EGM2008	нет данных	0,28
Украина (44...53° с.ш., 22...41° в.д.)	Ukrainian Gravimetric Geoid 2013 (UGG2013)	1,5×1,5	EGM2008 (360)	нет данных	0,10
Польша (47...57° с.ш., 11...47° в.д.)	Гравиметрический квазигеоид Польши 2013 (GDQM-PL13)	1,5×3,0	EGM2008 (360)	0,10	0,02



а

б

Рис. 1. Высоты квазигеоида на территории России данным модели РГГ-2000:

а – общая схема; б – детализация для европейской части страны,
линии равных высот проведены через 0,5 м

Вторая – ЦМГ, созданная в ЦНИИГАиК под руководством Г.В. Демьянова. Последняя версия условно датируется 2012 годом. В качестве исходной информации использовались – последняя российская глобальная гравитационная модель ГАО2012, средние значения АСТ и высот

рельефа, подготовленные с использованием гравиметрических карт масштаба 1:200 000. Особенностью данной ЦМГ является то, что она состоит из трех блоков, схематично показанных на рисунке 2. В блоках 1 и 2 сетка ВГ имеет шаг $5' \times 7,5'$, в блоке 3 – шаг $5' \times 5'$. Расхождения модельных ВГ с данными ОСН (для контроля использовались 835 пунктов ФАГС, ВГС и СГС-1 на территории России), схематично показаны на рисунке 3. Статистически эти расхождения характеризуются средним значением 0,15 м и стандартным отклонением 0,42 м.

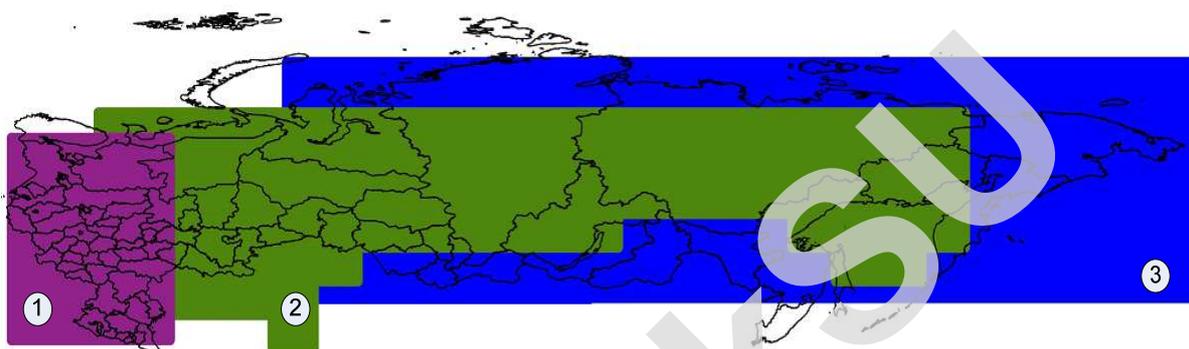


Рис. 2. Структура новой ЦМГ (ЦНИИГАиК) на территорию России

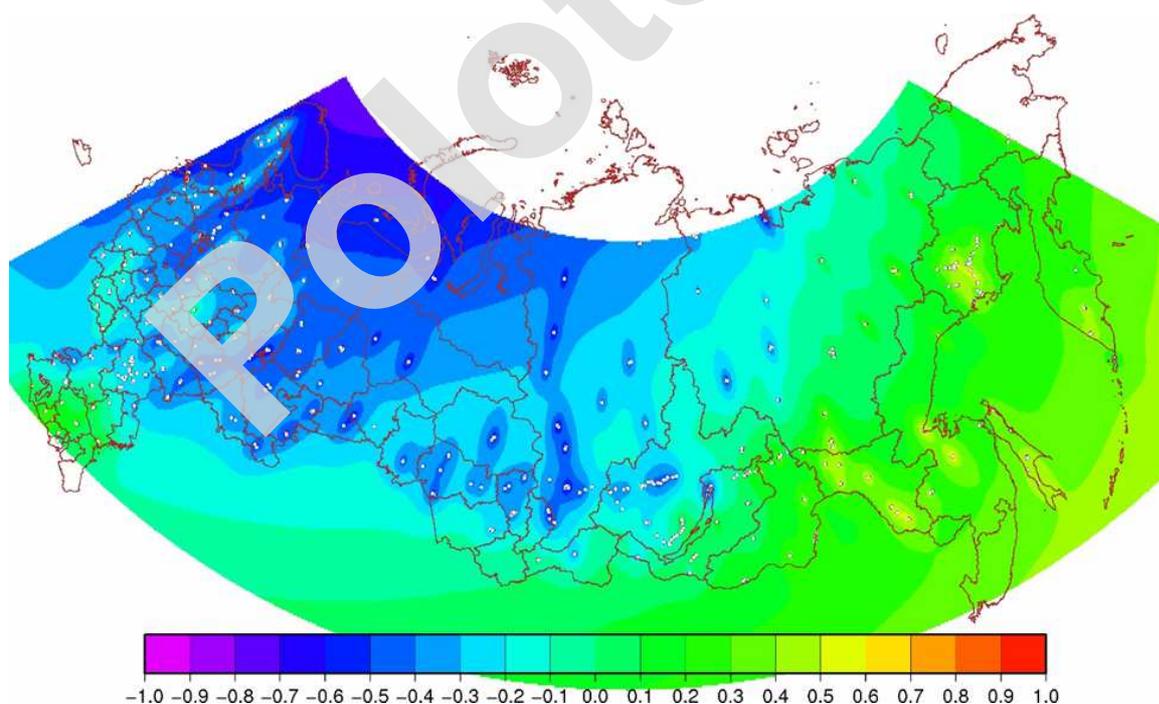


Рис. 3. Разности высот квазигеоида, полученных по данным ОСН и ЦМГ (ЦНИИГАиК)

Таким образом, проведен анализ результатов реализации ряда проектов по созданию региональных и национальных моделей геоида. На основании проведенного анализа могут быть сделаны следующие основные выводы.

Развитие исследований в области создания ЦМГ в континентальных районах обусловлено:

а) внедрением спутниковых геодезических технологий;

б) повышением точности и детальности глобальных моделей ГПЗ по новым данным космической геодезии (альтиметрия, межспутниковые измерения, градиентометрия);

в) общим улучшением гравиметрической изученности Земного шара.

Практически все развитые и многие развивающиеся страны обеспечены национальными ЦМГ высокой точности. Созданы региональные модели геоида на территории Европы, Африки, Южной Америки, Австралии. Современные региональные и национальные ЦМГ имеют следующие характеристики: разрешающая способность (детальность) – от 5' до 1–2'; точность (ср. кв. погрешность) – от нескольких дециметров (Африка, Азия, Южная Америка, Россия) до нескольких сантиметров (Европа, США, Канада).

Применяются различные методические подходы и схемы преобразования аномалий силы тяжести в высоты геоида, в том числе интегральный и статистический, теоретически обеспечивающих сантиметровый уровень точности. Это создает предпосылки для повышения надежности создаваемых моделей путем комплексирования различных методик.

В условиях России актуальна задача выхода на субдециметровый уровень точности определения высот геоида (к 2020 г. – 5 см). Зарубежный опыт свидетельствует о ее реалистичности. Для решения этой задачи в первую очередь необходимо модернизировать базу данных исходной гравиметрической информации, создать цифровую модель аномалий силы тяжести с шагом 1' и существенно увеличить количество пунктов ОСН (на порядок) и равномерность их распределения по территории страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гравиметрия и геодезия. – М. : Научный мир, 2010. – 723 с.
2. Комплексные исследования по обоснованию путей создания, принципов построения, определению проектного облика космической системы глобального геодезического мониторинга / В.Е. Косенко [и др.] / Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение (КВНО–2013) : тезисы докладов Пятой Всероссийской конф., Санкт-Петербург, 15–19 апр. 2013 г. – СПб. : ИПА РАН, 2013. – С. 15–17.
3. Непоклонов, В.Б. Современные зарубежные цифровые модели геоида в континентальных районах / В.Б. Непоклонов, В.С. Моисеева, М.В. Абакушина // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 4. – (в печати).

4. Russian gravimetric geoid-2000. – Режим доступа: <http://zeus.wdcb.ru/wdcb/gps/rgg/html>.
5. Szelachowska, M. GDQM-PL13 – the new gravimetric quasigeoid model for Poland / M. Szelachowska, J. Kryński // Geoinformation Issues. – 2014. – Vol. 6. – № 1 (6). – P. 5–19.
6. Kiamehr, R. The new quasi-geoid model IRQG09 for Iran / R. Kiamehr // Journal of Applied Geophysics. – 2011. – Vol. 73. – Issue 1. – P. 65–73.
7. Мориц, Г. Современная физическая геодезия / Г. Мориц ; пер. с англ. – М. : Недра, 1983. – 392 с.
8. Komarov, R.V. Geoid Determination by GPS/Levelling Method in the Republic of Tatarstan / R.V. Komarov, R.A. Kascheev, R.V. Zagretdinov // Georesources. – 2007. – 2(10). – P. 43–45.
9. Сидоренко, А.И. Некоторые результаты применения модели геоида EGM2008 в сопоставлении с другими моделями / А.И. Сидоренко // Земля и недвижимость Сибири. – 2009. – 5 (19). – С. 31–33.

THE CURRENT STATE OF DIGITAL GEOID MODEL IN CONTINENTAL AREAS

B. NEPOKLONOV, M. ABAKUSHINA

The current state of work in the field of regional and national digital geoid models in the areas of land from gravity data presented. Four regional models of the continental scale (Europe, Africa, South America, Australia) and similar national models for the territory of Russia and foreign countries with quite large size (US, Canada, Mexico, China, Mongolia, Kazakhstan, Iran, Ukraine, Poland) considered. Basic methods of creation and validation of these models are described. Their resolution and accuracy characteristics compared. Priorities for improvement of the geoid models in Russia are marked.

Keywords: *Earth's gravitational field, the height of the geoid, model, the gravimetric data, satellite (GPS) leveling, accuracy characteristics.*

УДК 528.56, 550.831

СОВРЕМЕННАЯ МОРСКАЯ ГРАВИМЕТРИЯ²

д-р техн. наук Л.К. ЖЕЛЕЗНЯК, В.Н. СОЛОВЬЕВ, П.С. МИХАЙЛОВ
(Институт физики Земли РАН, Россия)

Рассмотрены основные принципы выполнения гравиметрических измерений на море, построения гравиметрической аппаратуры, особенно-

² Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (грант №16-35-00434).

сти ее применения, представлены некоторые результаты, обозначены пути дальнейшего развития морской гравиметрии.

Ключевые слова: сила тяжести, гравитационное поле Земли, гравиметр, морская гравиметрия.

Знание гравитационного поля Земли позволяет решать ряд задач фундаментальной науки, практической геолого-геофизической разведки, задачи обороны государства и освоения космоса.

Первоначальной и основной задачей определения гравитационного поля было расширение знаний о фигуре и глубинном строении Земли. По гравиметрическим данным, задолго до появления искусственных спутников, с большой точностью было определено сжатие Земли. Форма геоида была определена по вычисленным значениям его отклонений от эллипсоида и величинам уклонения отвеса в тех районах мира, где проведены гравиметрические наблюдения. Это позволило впервые построить карты превышений геоида над земным эллипсоидом.

Интерпретация гравитационного поля позволяет выявлять плотностные неоднородности и геологические структуры, а также тектонические нарушения, скрытые осадочными породами; определять и оценивать районы, перспективные для поиска различных полезных ископаемых, в первую очередь – углеводородных. Карты аномалий силы тяжести используются для разведки и непосредственного оконтуривания месторождений полезных ископаемых.

Аномалии силы тяжести необходимо учитывать при расчете траекторий движения космических аппаратов, при пусках и расчетах полетов баллистических ракет; при уточнении и коррекции координат в инерциальных навигационных системах. Последняя задача связана с необходимостью определения силы тяжести непосредственно в процессе измерения.

Возможности использования гравитационного поля Земли как источника информации определяются точностью его измерения и расширяются с ее повышением. Необходимая точность измерений определяется характером решаемой задачи. Появление искусственных спутников Земли позволило определить высоту геоида на акваториях Мирового океана и, по превышениям которого над эллипсоидом относимости, вычислять аномалии силы тяжести и строить карту масштаба 1 : 1 000 000 с сечением изоаномал до 5–10 мГал.

В настоящее время спутниковая альтиметрия решает глобальные задачи изучения гравитационного поля, то есть фактически в современной гравиметрии реализуется принцип «от общего к частному»: определяются кон-

кретные регионы, где затем, если есть дополнительная необходимость, выполняются высокоточные морские или аэрогравиметрические измерения.

Современные морские гравиметрические измерения выполняются с точностью до 0.1–0.2 мГала, то есть до седьмого знака, 10^{-7} . Это непростая задача усложняется возникновением ряда помех, различных по частоте и диапазону, обусловленных измерениями с подвижного основания.

В силу принципа эквивалентности гравитационной и инерционной масс физически отделить ускорения силы тяжести от инерционных ускорений невозможно (рис. 1). Разделение возможно только по частоте (фильтрация) или с использованием измерений неинерциальными средствами.

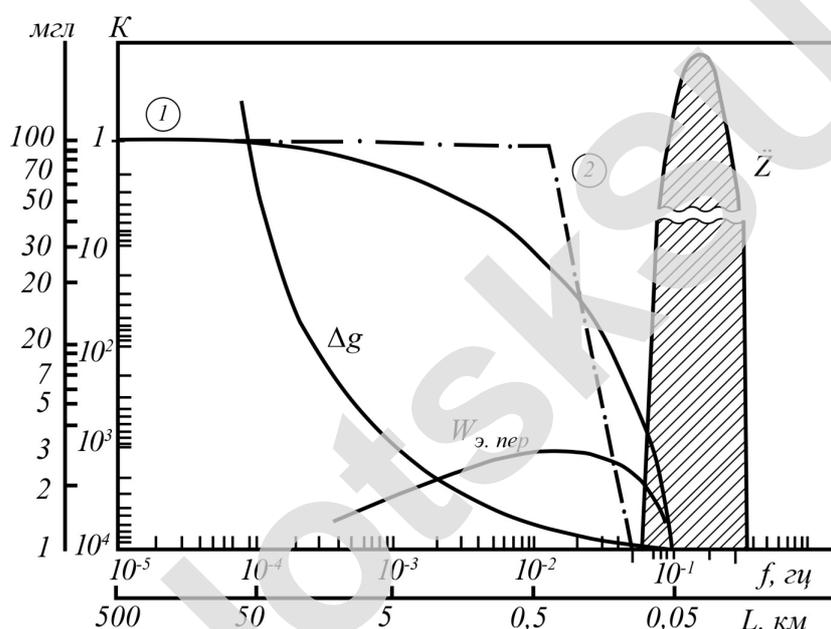


Рис. 1. Частотные характеристики полезного сигнала и помех

Гравитационный полезный сигнал Δg занимает нижнюю полосу частот. Инерционные ускорения качки Z'' , на шесть порядков превышающие полезный сигнал, занимают верхний частотный диапазон. Они легко отделяются идеальным фильтром 2, который отличается от реального 1.

Инерционные ускорения $W_{э}$ обусловленные движением судна по вращающейся Земле (эффект Этвеша) по частоте значительно перекрываются с полезным сигналом. Для их учета необходимы траекторные измерения вектора скорости с высокой степенью точности. Например, погрешность определения скорости 25 м/час соответствует погрешности силы тяжести 0,1 мГал.

Так как в результате качки судна происходит отклонение оси чувствительности от вертикали, в морской гравиметрический комплекс входит

гиростабилизированная платформа, удерживающая измерительную ось гравиметра в вертикальном положении на качающемся основании. При этом остаточные эффекты от вышеуказанных факторов минимизируются и обуславливаются конструктивными особенностями гиростабилизатора. Они могут быть вычислены и учтены по показаниям акселерометров, так же входящих в гравиметрический комплекс [Железняк, 1987].

Кроме инерционных помех, в выходном сигнале гравиметра присутствуют аппаратные шумы. Они возникают вследствие конструктивных особенностей прибора и несовершенства изготовления его составных частей. К первым относятся орбитальный эффект, дискретность отсчета, нелинейность шкалы, не упругие деформации пружин, а ко вторым – действие различных внешних факторов (изменение температуры, давления, влажности и др.). Аппаратные шумы находятся в том же частотном диапазоне, они тоже разделяются на длинные (вариации орбитального эффекта) и короткие (дискретность считывания отсчетов).

Относительный гравиметр есть пробная масса на упругом подвесе с одной степенью свободы движения. Рычаг с грузом, являющийся пробной массой, удерживается в горизонтальном положении предварительно закрученными нитями, задающими ось его вращения и одну степень свободы (рис. 2). Представленная система изготавливается из кварцевого стекла цельносварной (газовая сварка). При изменении силы тяжести горизонтально расположенный в исходном положении рычаг поворачивается на угол $\Delta\phi$, что является мерой изменения суммы силы тяжести и инерционных ускорений.

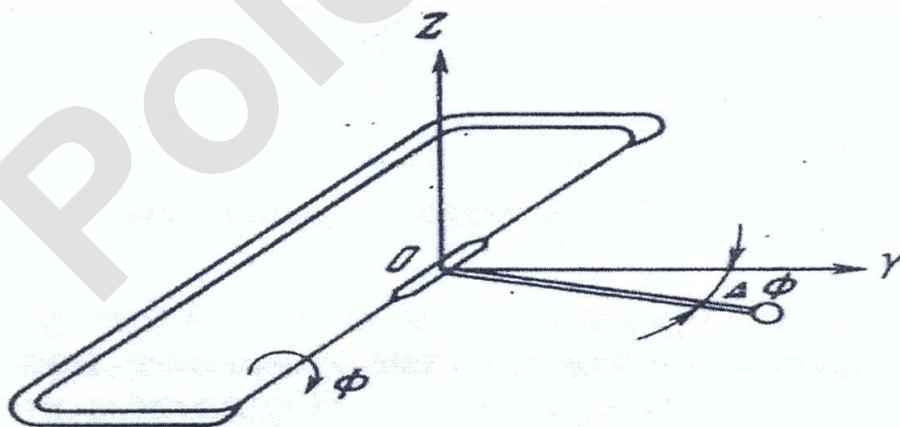


Рис. 2. Схема упругой системы крутильного типа

Однако при такой схеме подвеса пробной массы при определенных условиях возникает постоянная составляющая в погрешности измерений (орбитальный эффект), которая устраняется использованием двойной системы с

зеркальным расположением двух одинарных. При их идентичности по чувствительности и постоянной времени орбитальный эффект исключается.

Двойная упругая система помещена в жидкость для фильтрации вертикальных инерционных ускорений (апериодическое звено), термокомпенсации и бароизоляции.

Вторичным преобразователем углов поворота рычагов является оптико-электронная система на базе автокаллиматора и модулятора, работающего с частотой 6–10 Гц. Помещенная в термостат упругая система вместе с оптико-электронной системой образуют отдельный прибор – чувствительный элемент гравиметра (гравиметрический датчик) [Попов, Железняк, 1982].

К настоящему времени сотрудниками Института физики Земли РАН совместно с ЦНИИ «Электроприбор» разработана линейка гравиметров для измерений с подвижных оснований.

Для каждого поколения гравиметра ИФЗ РАН совершенствовалась упругая система и технология ее изготовления с целью повешения их технических и эксплуатационных характеристик, а концерном ЦНИИ «Электроприбор» – преобразователи, гироскопия, термостабилизация и вычислительная техника [Пешехонов, Железняк и др., 2002].

Одновременно с этим Институтом физики Земли совершенствовались методологические приемы, технологии выполнения морских работ, методики обработки и метрологическое обеспечение [Боярский, Железняк, 1987], [Железняк, 2002].

Углы поворота рычагов упругой системы преобразуются оптико-электронным устройством, выполненным на базе ПЗС-матрицы, в цифровой код – пиксели, поступающие на приборный компьютер для дальнейшей обработки. В реальном времени показания гравиметра пересчитываются к мГалам по формуле:

$$Gr = b(m - m_0) + a(m - m_0)^2, \quad (1)$$

где m – цифровой текущий отсчет, равный сумме отсчетов m_1 и m_2 по каждой из систем в пикселях;

m_0 – такой же отсчет при горизонтальном положении рычагов кварцевых систем в пикселях;

b , a – линейный и квадратичный коэффициенты градуировочной характеристики.

После фильтрации штатным фильтром, реализованным в приборном компьютере, показания выводятся на экран для визуального контроля. В то же время регистрируются отсчеты в пикселях по каждой системы, время,

горизонтальные ускорения по осям, температура статирования и дополнительную информацию с частотой 10 Гц. Одновременно с работой гравиметра регистрируются координаты с частотой 1 Гц и глубины.

Дальнейшая обработка гравиметрических измерений выполняется апостериорно. По формуле (1) вычисляются показания гравиметра.

Действие горизонтальных ускорений приводит к малым отклонениям измерительной оси от вертикали, в результате чего на ось проектируется составляющая горизонтальных ускорений вместе с полезным сигналом. По данным акселерометров и с учетом характеристик гироплатформы вычисляются компенсирующие поправки за совместное действие горизонтальных ускорений и наклонов, которые фильтруются апериодическим фильтром с постоянной времени упругой системы и далее суммируются с ранее вычисленными показаниями прибора.

На этом же этапе производится вычисление поправки Этвеша по формуле (2), которая фильтруется апериодическим фильтром с постоянной времени упругой системы и суммируются с ранее вычисленными показаниями прибора.

$$g_{\text{Э}} = 7.5 \cos^2 \phi (\Delta\lambda / \Delta t) + 0.0041 (\Delta\phi^2 + (\Delta\lambda \cos \phi)^2) / \Delta t^2. \quad (2)$$

Изменение курса и скорости влияет на значения эффекта Этвеша, который меняется с амплитудой около 2–3 мГал за период до 20 минут, при этом на меридиональных и субмеридиональных галсах преобладает влияние курсовых вариаций, а субширотных галсах более заметно влияние вариации скорости. Так как частотными методами такая помеха не отделяется, она исключается путем ввода в измерения соответствующей поправки. Поскольку судовые компас и лаг имеют большую погрешность, они не подходят для вычисления поправки Этвеша. Эта погрешность обусловлена ветровым сносом и течениями, которые не учитываются судовыми системами. Путевой угол и скорость определяются непосредственно по наблюдениям, то есть по независимым от судовых систем определениям местоположения судна на поверхности Земли. Наиболее удобно использовать данные космических навигационных систем, так как они отличаются высокой точностью и непрерывностью позиционирования.

Таким образом, приращение силы тяжести между морским и исходным пунктом вычисляется по формуле (3):

$$\Delta G = G_r - G_{r0} - C(T - T_0) + g_{\text{Э}} + g_{xy}. \quad (3)$$

Показания гравиметра, полученные в мГал, фильтруются. Фильтрация данных – это принципиальное условие обработки данных гравиметри-

ческих измерений. Для эффективного подавления ускорений качки целесообразно применять многозвенные фильтры, хотя они увеличивают длительность переходного процесса.

Сильно демпфированная упругая система гравиметра является только первым фильтром. Он подавляет помеху в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой и соответственно искажает полезный сигнал и его фазу в зависимости от частоты последнего. Дополнительные фильтры более высокого порядка эффективнее подавляют помехи, однако могут иметь резонансную частоту, на которой помехи усиливаются. Кроме того, при слабом затухании из-за случайных возбуждений на сигнал могут накладываться собственные колебания. Для разделения сигнала и помехи выбирается такой фильтр, который наилучшим образом подавлял помеху и менее всего искажал бы полезный с учетом фона возмущающих ускорений. В этом случае измерения будут проведены с наименьшей погрешностью.

Алгоритмы для дальнейшей обработки материалов измерений общеприняты. Аномалия силы тяжести в свободном воздухе вычисляется по формуле (4):

$$\Delta g_a = G_0 + \Delta G - \gamma, \quad (4)$$

где G_0 – абсолютное значение на начальном опорном гравиметрическом пункте в порту выхода судна;

γ – нормальное значение силы тяжести (тип формулы нормального поля задается в файле параметров: формула Гельмерта-14 или международная формула 1980 г.).

Для вычисления аномалии Буге необходимо знать рельеф дна в некоторой окрестности от пункта измерений. В простейшем случае, когда измеряется глубина моря вдоль профиля и учитывается только притяжение плоско – параллельного слоя, она вычисляется по формуле (5):

$$\Delta g_B = g_a + 0.0419H(\sigma_1 - \sigma_2), \quad (5)$$

где H – глубина моря в метрах;

σ_1 и σ_2 – соответственно плотность пород, слагающих дно, устанавливается в файле параметров (2.67, 2.30 или иная г/см³) и плотность морской воды 1.03 г/см³.

Результаты обработки выводятся в выходной файл – каталог гравиметрических пунктов (МВФ-05). Этот простой символьный колоночный формат используется в специализированных программах для оценки погрешностей гравиметрической съемки и ее уравнивания. Он может использоваться также во многих универсальных программах, например Excel, Grapher, Surfer и т.д.,

с целью редактирования данных, редактирования данных построения графиков, вычисления сетей данных (гридов) для построения изолиний.

Схема постобработки представлена на рисунке 3. Обработка начинается с проверки и редактирования исходных файлов для каждого съемочного галса.

Для работы программы обработке по представленной схеме необходим файл параметров, в котором записываются коэффициенты градуированной характеристики, скорость смещения нуля-пункта, постоянная времени упругой системы, время начала измерений, начальный отсчет гравиметра, характеристики фильтра, значение силы тяжести на опорном пункте и т.д.

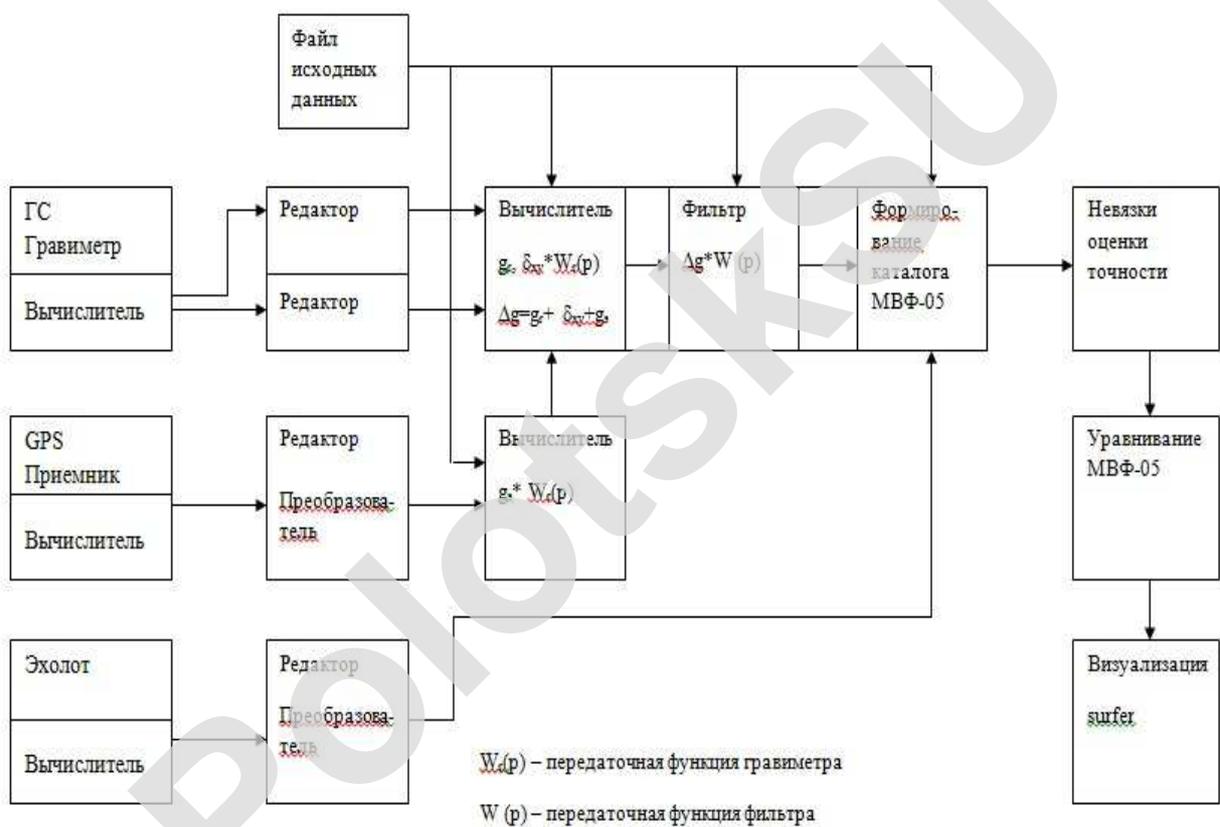


Рис. 3. Схема обработки измерений силы тяжести на борту

В процессе совершенствования аппаратуры, методики и технологии был выполнен ряд характерных полигонов.

В 1992 году комплексом из 2 приборов «Чета АГГ» в Атлантическом океане на площади 100 на 200 километров по сети 5 на 10 км выполнена съемка разлома Кейн. Точность измерений составила 0.7 мГал и построена карта с сечением изоаномал – 2 мГал. При этом впервые использовалась космическая навигационная система глобального позиционирования. Перепад значений аномалий силы тяжести составил 150 мГал.

В 1994 году комплексом «Чета АГГ» в Баренцевом море снят полигон над нефтегазовым месторождением «Приразломное», с наивысшей на тот момент точностью измерений – 0.07 мГал. Построена карта с сечением изоаномал – 0.25 мГал. Для позиционирования использовался спутниковый дифференциальный метод.

В 2012 году комплексом «Чекан АМ» в Индийском океане выполнены измерения в условиях запредельных возмущающих ускорений (ср. кв. значение более 100 Гал). При этом выполнение работ не прерывалось. Погрешность измерений составила 0.7 мГал. Для позиционирования судна использовался современный спутниковый комплекс с точностью позиционирования до 0.5–2 метра.

В 2014 году с использованием комплекса «Чекан АМ» был выполнен уникальный эксперимент по проверке вертикального градиента силы тяжести в водной среде. На участке абиссальной равнины с пологим плоским дном и с малым горизонтальным градиентом, обусловленным только нормальным гравитационным полем Земли, на глубине 1500 метров проведена площадная гравиметрическая съемка полигона на квадратной площадке со стороной 4 мили (7.4 км). Измерения выполнены на 6 профилях. Далее на глубине 800 выполнен секущий галс над первым полигоном.

Теоретическое и измеренное значения вертикального градиента на глубине 1150 метров отличаются менее чем на один процент. Вероятнее всего, по мнению авторов, это отличие связано с погрешностями измерений гравитационного поля или глубины. Различие измеренного и теоретического значений градиента получается при погрешности измерения разности силы тяжести 1.46 мГал или погрешности разности глубин 6.65 метров.

На современном этапе направлениями повышения точности морских гравиметрических измерений, кроме аппаратных, могут быть: использование моделей гравитационного поля Земли и введение поправки за учет Земных приливов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железняк, Л.К. Принципы построения и оптимальная схема современного морского гравиметра / Л.К. Железняк, Е.И. Попов // Физико-техническая гравиметрия. – М. : ИФЗ АН СССР, 1982.
2. Железняк, Л.К. Новая упругая система морского гравиметра / Л.К. Железняк, Е.И. Попов // Гравиинерциальная аппаратура в геофизических исследованиях. – М. : ИФЗ АН СССР, 1988.
3. Интегрированный мобильный гравиметрический комплекс. Результаты разработки и испытаний / Блажнов Б.А. [и др.] // Применение гравиинерциальных технологий в геофизике : сб. статей и докладов / ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор» ; под ред. В.Г. Пешехонова. – СПб., 2002. – С. 33–44.
4. Железняк, Л.К. Уравнение крупномасштабных геофизических съемок / Л.К. Железняк // Физика Земли. – 2002. – № 3. – С. 45–47.

5. Железняк, Л.К. Методические приемы повышения точности съемки морскими гравиметрами гравиметрии / Л.К. Железняк, Э.А. Боярский // Приборы и методы комплексных гравиинерциальных исследований. – М. : ИФЗ АН СССР, 1987.
6. Железняк, Л.К. Российский морской гравиметрический комплекс / Л.К. Железняк // Применение гравиинерциальных технологий в геофизике : сб. статей и докладов / ГНЦ РФ ЦНИИ «Электропробор» ; под ред. В.Г. Пешехонова. – СПб., 2002. – С.14-20.
7. Железняк, Л.К. Борьба с низкочастотными помехами в морской гравиметрии / Л.К. Железняк // Приборы и методы комплексных гравиинерциальных исследований. – М. : ИФЗ АН СССР, 1987.

MODERN MARINE GRAVIMETRY

L. ZHELEZNYAK, V. SOLOVYEV, P. MIKHAILOV

The article describes the basic principles of performing gravity measurements at sea, construction of a gravimetric equipment, specifics of their application, presented some of the results, the ways of further development of the marine gravity.

Keywords: *gravity, the gravitational field of the Earth, gravity meter, marine gravimetry.*

УДК 550.831

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕДУРЫ РЕДУЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ³

д-р геол.-минерал. наук С.Г. БЫЧКОВ,

д-р физ.-мат. наук А.С. ДОЛГАЛЬ

(Горный институт Уральского отделения РАН, Россия);

д-р техн. наук В.И. КОСТИЦЫН

*(Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Россия);*

канд. техн. наук А.А. СИМАНОВ, В.В. ХОХЛОВА

(Горный институт Уральского отделения РАН, Россия)

Показано, что возможности гравиметрии на современном этапе вступают в противоречие с существующими инструктивными требованиями к ее проведению. Предлагается использование новых процедур редуцирования гравиметрических данных, учитывающих современные данные о фигуре Земли. На конкретном примере обработки данных гравиметрической съемки на территории Пермского края показано, что применение современных процедур обработки позволяет повысить информативность гравиметрических данных.

³ Работа выполнена при поддержке проекта УрО РАН №15-18-5-23 и гранта РФФИ №16-45-590426.

Ключевые слова: гравиметрия, обработка данных, аномалии Буге.

В гравиметрии основными исходными данными для получения информации о форме Земли и о геологическом строении территорий являются аномалии силы тяжести в редукции Фая или Буге [9]. Очевидно, что они должны быть свободны от всех помех негеологического характера.

Напомним основную формулу вычисления аномалий силы тяжести в редукции Буге (Δg_B) [3]:

$$\Delta g_B = g_{\text{набл}} - \gamma_0 + \delta g_{\text{Фая}} - \delta g_{\text{пр.сл}} + \delta g_{\text{рф}}, \quad (1)$$

где $g_{\text{набл}}$ – наблюдаемое значение силы тяжести в гравиметрическом пункте на высоте H ;

γ_0 – нормальное значение силы тяжести, вычисляемое по формуле Ф. Гельмерта (1901–1909 гг.);

$\delta g_{\text{Фая}} = 0.3086H$ – поправка за высоту (свободный воздух или Фая), выведенная в предположении, что Земля является шаром;

$\delta g_{\text{пр.сл}} = 0.0419\sigma H$ – поправка за промежуточный слой представляющий собой плоскопараллельную горизонтальную пластину с постоянной плотностью σ ;

$\delta g_{\text{рф}}$ – поправка за влияние окружающего рельефа, т.е. отклонения физической поверхности Земли от плоскости. Процедуры редуцирования стандартизированы и обязательны для всех организаций, проводящих гравиметрические работы [5–6].

Принятые процедуры вычисления аномалий Буге, описанные в учебниках по геофизике и вошедшие в Инструкцию по гравиразведке [5] и Правила проведения гравиразведочных работ [6], формализовались в 1920–1930-е годы. Параметры формул опирались на известные в то время сведения о форме Земли, абсолютном значении силы тяжести и минимизировали вычислительные затраты. Несмотря на допущения и упрощения, эти процедуры с минимальным изменением продолжают использоваться и поныне для решения большого круга геолого-геофизических и геодезических задач.

В настоящее время произошли принципиальные изменения в аппаратном оснащении гравиметрических исследований. Если ранее при работе с гравиметрами ГНУ-КВ и оптическими нивелирами среднеквадратическая погрешность определения аномалий Буге составляла ± 0.10 – 0.15 мГал, то с современными гравиметрами, системой GPS и электронными тахеометрами погрешность составляет ± 0.02 – 0.04 мГал при точности определения наблюдаемых значений силы тяжести ± 0.005 – 0.015 мГал [1]. Существенным обра-

зом возросли наши знания о форме Земли, создана мировая опорная гравиметрическая сеть, в открытом доступе имеются детальные базы данных о фигуре геоида и рельефе Земли и, учитывая современные вычислительные мощности, нет никаких причин для применения упрощенных формул при вычислении поправок и редукиций в гравиметрические наблюдения.

Здесь необходимо отметить, что издания, ориентированные на геодезистов [8–9], как правило, отмечают недостатки формулы (1), а учебники и справочники по гравиразведке [3] крайне редко фиксируют упрощения, принятые в стандартных процедурах редуцирования.

Нами выполнен критический анализ существующих стандартов редуцирования полевых гравиметрических данных [2]. Показано, что повышение точности современных гравиметрических съемок требует пересмотра стандартных процедур редуцирования наблюдаемых значений силы тяжести. Предложены новые формулы для вычисления нормального гравитационного поля и его вертикального градиента, которые базируются на современных данных о фигуре Земли. Показаны ошибки, обусловленные заменой сферического промежуточного слоя плоскопараллельным. Обосновано использование эллипсоидальных высот при обработке гравиметрических данных, поскольку высоты гравиметрических пунктов определяются в России и в Беларуси в Балтийской системе, т.е. как превышение относительно поверхности геоида (уровня моря), в то время как нормальное гравитационное поле вычисляется на уровне эллипсоида.

Современные процедуры редуцирования

Предлагаются следующие модификации процедур редуцирования.

1. Нормальное значение силы тяжести:

$$\gamma_0 = 978032.84 (1 + 0.0053024 \sin^2 \varphi - 0.0000058 \sin^2 2\varphi), \quad (2)$$

где φ – широта гравиметрического пункта.

2. Поправка в значение нормальной силы тяжести за притяжение атмосферы:

$$\delta\gamma_a = 0.87e^{-0.116H^{1.047}}, \quad (3)$$

где H – высота пункта.

3. Вертикальный градиент силы тяжести (поправка в свободном воздухе):

$$\delta g_h = (0.3087727654 + 0.0004308698 \sin^2 \varphi)H - 7.21252 \times 10^{-8} H^2. \quad (4)$$

4. Поправка за промежуточный слой (формула Г.Г. Ремпеля [7]):

$$\delta g_{сф.сл} = 2\pi f \sigma \left(\begin{array}{l} \frac{1}{3R^2} (R^3 - R_0^3 + dL - d_0L_0) - \\ - R \sin^2 \alpha \cos \alpha \ln \frac{d + R - R \cos \alpha}{d_0 + R_0 - R \cos \alpha} \end{array} \right), \quad (5)$$

где R_0 – радиус Земли, $R = R_0 + H$, $\alpha = S/R_0$ – телесный угол сферического сегмента, S – радиус сферического сегмента,

$$d = \sqrt{R^2 + R^2 - 2R^2 \cos \alpha} = R\sqrt{2(1 - \cos \alpha)},$$

$$d_0 = \sqrt{R^2 + R_0^2 - 2RR_0 \cos \alpha},$$

$$L = R^2 + R^2 \cos \alpha + 3R^2 \cos^2 \alpha - 2R^2 = R^2 (\cos \alpha + 3 \cos^2 \alpha - 1),$$

$$L_0 = R_0^2 + RR_0 \cos \alpha + 3R^2 \cos^2 \alpha - 2R^2.$$

Вычисление поправок за влияние рельефа является самой трудоемкой операцией при вычислении аномалий силы тяжести. Трудности связаны, прежде всего, с необходимостью создания детальной цифровой модели рельефа (ЦМР) для решения прямой задачи гравиразведки. Очевидно, что широко используемое ранее ручное снятие высот с топографических карт в узлах тех или иных палеток, применяемых для вычисления аномальных эффектов, не может обеспечить необходимую детальность построения ЦМР.

Нами предлагается технология вычисления поправок за рельеф местности при гравиметрических наблюдениях, которая базируется на автоматизированных методах подготовки первичной картографической информации и на современном математическом аппарате. Таким аппаратом являются линейные аналитические аппроксимации дискретно заданных функций, описывающих аномальное гравитационное поле и рельеф поверхности Земли [10]. В качестве исходной информации о рельефе местности используются результаты векторизации скан-образов крупномасштабных топографических карт и модели рельефа GTOPO30 и SRTM. Предложена методика вычисления поправок за влияние рельефа с учетом шарообразности Земли и алгоритм решения прямой задачи гравиразведки для сферического параллелепипеда [4]. Разработанная технология характеризуется полной автоматизацией вычислений для всей области учитываемого влияния рельефа, включая центральную зону, высокой точностью определения поправок, быстротой вычислений и объективной стохастической оценкой точности результатов.

Пример вычисления аномалий силы тяжести

Рассмотрим пример вычисления аномалий силы тяжести на одном из участков гравиметрической съемки на востоке Пермского края, проведенной с нефтепоисковыми целями. Масштаб съемки 1:50 000; сеть наблюдений 1000×200 м; размеры площади примерно 18×27 км; перепад высот рельефа от 140 м до 500 м. Измерения на 2832 пунктах проведены высокоточными гравиметрами Autograv CG-5; топографо-геодезические работы выполнены с помощью спутниковой системы GPS-Глонасс Trimble-R8 и электронных тахеометров. Среднеквадратическая погрешность определения наблюдаемых значений силы тяжести на данной площади составила ± 0.033 мГал. Обработка полевых гравиметрических данных выполнена двумя способами: по формулам, принятым в Инструкции по гравиразведке [5] и с использованием описанных выше формул (2) – (5). Кроме того, во втором случае использовались высоты гравиметрических пунктов относительно референц-эллипсоида.

Основные характеристики расхождения величин поправок и аномалий Буге, вычисленных для данной площади различными способами, приведены в таблице. Как видно из таблицы, абсолютные величины расхождений поправок весьма существенны. Наибольшие погрешности вносят нормальное значение силы тяжести и косвенный эффект, однако они имеют региональный характер: стандартное отклонение этих величин в пределах площади минимально и практически не сказывается на морфологии локальных аномалий из-за небольших размеров площади съемки. Наибольшие относительные погрешности вносят неучет сферичности Земли при вычислении поправок в свободном воздухе и за промежуточный слой.

Таблица

Сравнение процедур редуцирования

Поправки, мГал	Расхождение поправок			
	Среднее	Минимальное	Максимальное	Стандартное отклонение
Косвенный эффект	0.768	0.741	0.822	0.018
Нормальное значение силы тяжести	-4.061	-4.065	-4.058	0.002
Поправка Фая	0.831	0.775	0.910	0.026
Промежуточный слой	-0.498	-0.849	-0.252	0.113
Поправка за атмосферу	0.843	0.822	0.857	0.007
Аномалии Буге при $\sigma = 2.67$ г/см ³	4.269	3.959	4.711	0.137

Разность аномалий Буге, вычисленных с использованием новых процедур и общепринятых стандартов редуцирования, показана на рисунке, где приведены их относительные величины. Как видно из рисунка, разность аномалий, вычисленных различными способами, достигает более 0.75 мГал, т.е. почти в 25 раз превосходит точность полевой съемки. Поскольку практически все составляющие формулы (1) зависят от высоты гравиметрического пункта, карта разности аномалий (рис., б) повторяет карту рельефа (рис., а). Тем не менее, в районе нефтеперспективной структуры – основного объекта исследований на данной площади амплитуда аномалии увеличилась на 0.15–0.20 мГал, что составляет примерно половину ожидаемого гравитационного эффекта структуры.

Возможности гравиразведки на современном этапе вступают в противоречие с существующими инструктивными требованиями к ее проведению и обработке полевых данных. Несомненно, что использование современной формулы вычисления нормального поля, а не выведенной Ф.Р. Гельмертом в 1909 г., учет влияния атмосферы и косвенного эффекта, эллипсоидальности Земли при определении вертикального градиента и промежуточного слоя, существенно повышают достоверность гравитационных аномалий. Необходимо переосмысление традиционных методик обработки гравиметрических данных и принятие процедур редуцирования, использующих принятый в России и Беларуси земной эллипсоид, современные данные о геоиде и рельефе Земли.

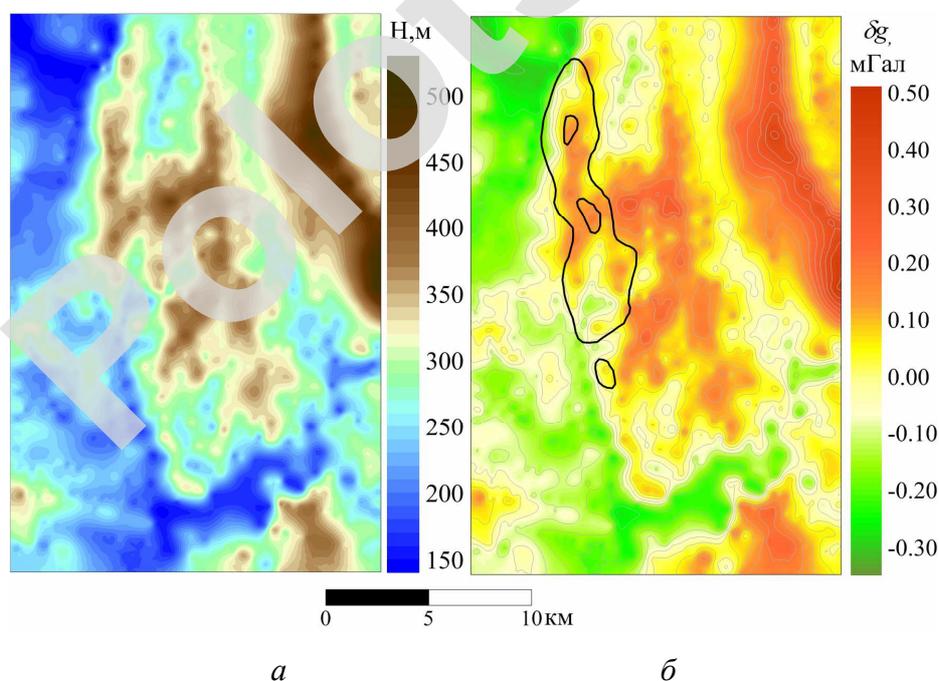


Рис. Сравнение аномалий Буге, вычисленных различным способом:
а – рельеф местности; *б* – разность аномалий
 (черной линией показан контур нефтеперспективной структуры)

Самое существенное изменение стандартных процедур редуцирования гравиметрических данных касается использования эллипсоидальных высот и учета криволинейности Земли при определении вертикального градиента и промежуточного слоя. Использование предлагаемых формул редуцирования особенно актуально при исследованиях больших площадей, поскольку существенным образом изменяется абсолютное значение и региональная составляющая гравитационного поля. Однако и для съемок на относительно небольших площадях погрешности в аномалии Буге, вносимые устаревшими процедурами редуцирования, во-первых, многократно превышают точность современной гравиметрической съемки, и, во-вторых, могут быть соизмеримы с гравитационными эффектами искомых геологических объектов.

Необходимо еще раз отметить, что в настоящее время нет никаких причин применения упрощенных формул вычисления аномалий Буге. Даже при составлении сводных гравиметрических карт с использованием ранее проведенных гравиметрических съемок, имея наблюдаемые значения силы тяжести и высоты пунктов, пересчитать аномалии Буге не составит трудностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков, С.Г. Методы обработки и интерпретации гравиметрических наблюдений при решении задач нефтегазовой геологии / С.Г. Бычков. – Екатеринбург : УрО РАН, 2010. – 187 с.
2. Бычков, С.Г. Вычисление аномалий силы тяжести при высокоточных гравиметрических съемках / С.Г. Бычков, А.С. Долгаль, А.А. Симанов. – Пермь : УрО РАН, 2015. – 142 с.
3. Гравиразведка : справочник геофизика / под ред. Е.А. Мудрецов, К.Е. Веселова. – М. : Недра. 1990. – 607 с.
4. Долгаль, А.С. Основные элементы технологии учета гравитационного влияния топографических масс для шарообразной Земли / А.С. Долгаль [и др.] // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2015. – № 4. Вып. 28. – С. 40–46.
5. Инструкция по гравиразведке. – М. : Недра, 1980. – 79 с.
6. Правила проведения гравиразведочных работ : ТКП 14.04-06-2008 (02120) : утверждены Постановлением Минприроды РБ от 29 дек. 2008 г., № 10-Т. – Минск, 2008. – 52 с.
7. Ремпель, Г.Г. Актуальные вопросы введения поправок, связанных с рельефом местности, в данные гравиразведки и магниторазведки / Г.Г. Ремпель // Физика Земли. – 1980. – №12. – С. 75–89.
8. Шароглазова, Г.А. Гравиметрия : учеб.-метод. комплекс / Г.А. Шароглазова. – Новополюк : ПГУ, 2006. – 196 с.
9. Шимбирев, Б.П. Теория фигуры Земли / Б.П. Шимбирев. – М. : Недра, 1975. – 432 с.
10. Bychkov, S.G. Gravimetric survey terrain correction using linear analytical approximation / S.G. Bychkov, A.S. Dolgal, V.I. Kostitsyn, A.A. Simanov // Geophysical Prospecting. – 2015. – Vol. 63, № 3. – P. 727–739.

MODERN PROCEDURES REDUCTION OF HIGH-PRECISION GRAVITY DATA

*A. DOLGALEV, V. KOSTITSYN,
A. SHIMANE, V. KHOKHLOVA*

It is shown that abilities of gravitational exploration are at present contrary to existing directions for these works. We suggest new procedures of the reduction of gravity data which allows for modern data about the Earth's figure. The example of processing of gravity data observed on the Perm territory demonstrates that the application of modern procedures of processing allows increasing the information value of gravity data.

Keywords: *gravity, data processing, Bouguer anomalies.*

УДК 528.21

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ ВЫСОТ

*д-р техн. наук, проф. В.Г. БУРАЧЕК,
д-р техн. наук, проф. В.А. БОРОВОЙ,
Т.Н. МАЛИК, И.М. КОБЕРНИК*

(Университет новейших технологий, Украина)

Представлена методика определения нормальных высот, которая реализуется автоматизированным астрономическим прибором и прибором GNSS, с помощью которых измеряют астрономические и геодезические координаты рабочего астропункта.

Ключевые слова. *Нормальная высота, астрономический прибор, астрономические координаты, геодезические координаты.*

Известны способы астрономо-гравиметрического и астрономического нивелирования для определения нормальных высот [1–2]. Способ астрономо-гравиметрического нивелирования (АГН) Молоденского [1] имеет высокую точность, предусматривает определение высот квазигеоида (ВКГ) над референц-эллипсоидом с использованием астрономо-геодезических уклонений отвесной линии и данных региональной гравиметрической съемки.

Метод АГН позволяет определять астрономо-геодезические высоты квазигеоида только в астропунктах, по которым передавались превышения путем их последовательного суммирования, начиная от исходного пункта. При по-

строении детальных точных карт квазигеоида на всю изучаемую территорию возникает проблема интерполяции точек разной плотности в зависимости от аномальности района. Линейная интерполяция по узловым точкам с шагом 70–100 км приводит к выравниванию высот, изображаемых на картах.

Метод астрономического нивелирования (АН) позволяет путем интерполяции составляющей астрономо-геодезических уклонов отвесной линии вдоль выбранной трассы нивелирования определять приращения высот квазигеоида вдоль этой трассы.

К недостаткам метода АН относятся следующие:

- ухудшение результатов измерения квазигеоида вследствие применения интерполяции, приводящее к понижению точности;
- применение достаточно трудоемкого высокоточного геометрического нивелирования;
- применение большого объема гравиметрических измерений;
- недостаточная точность определения нормальных высот рабочего пункта (20–30 мкГал – без учета ухудшения точности вследствие применения интерполяции при вычислении результатов).

Заметим, что точность современных полевых гравиметров достаточно высока (не хуже 15–20 мкГал), но для реализации этой точности в АН необходимо выполнить высокоточное геометрическое нивелирование, что в труднодоступной местности часто является достаточно сложной и даже нерешаемой проблемой.

Новая методика определения нормальных высот заключается в следующем: развивают сеть рабочих астрономических пунктов и сгущают ее до километровых и субкилометровых интервалов между астропунктами [3]. На каждом рабочем астропункте измеряют астрономические координаты φ и α астрономическим зенитным прибором в автоматическом режиме, а также измеряют геодезические координаты B , L и H с помощью способа GNSS и на этих астропунктах определяют уклоны отвесных линий. Далее, последовательно переходя от пункта к пункту, начиная от опорного и заканчивая другим опорным пунктом, учитывая измеренные данные: уклонение отвесной линии исходного астропункта и геодезическую высоту поверхности сферопа, проходящую через отметку репера исходного пункта, а также геодезическую высоту определяемого пункта, вычисляют нормальную высоту каждого определяемого астропункта по формуле [3]

$$H_N^\gamma = H_N - \zeta_N,$$

где H_N^γ – нормальная высота пункта N ;

H_N – геодезическая высота пункта N ;

$\zeta_N = \zeta_M + \Delta\zeta_{MN}$ – аномалия высоты пункта N ;

ζ_M – аномалия высоты исходного пункта M ;

$\Delta\zeta_{MN}$ – изменение геодезической высоты гравиметрической поверхности при переходе от пункта M к пункту N .

При этом вводят поправку за отклонение сфероида от концентричности относительно уровневого эллипсоида (нормальной Земли) при наличии разницы широт исходного и определяемого пунктов.

Новая методика определения нормальных высот реализуется автоматизированным астрономическим прибором и прибором GNSS, с помощью которых измеряют астрономические и геодезические координаты рабочего астропункта. Схема данного астрономического прибора представлена в работах [4–5].

Полевые измерения включают:

- 1) подготовку данных о положении рабочих звезд, выбор координат рабочих астропунктов с учетом положения опорных астропунктов, обустройство места установки астроприбора, подготовку его к измерениям;
- 2) автоматическое измерение положения рабочей звезды относительно вертикали одновременно в плоскостях меридиана и первого вертикала (то есть астрономических координат звезды);
- 3) одновременно с измерением по п. 2 выполнение GPS-измерения геодезических координат, в т.ч. геодезической высоты астропункта;
- 4) определение отклонения отвесной линии ξ и η соответственно в плоскости меридиана и первого вертикала.

Выводы:

1. Предложенная методика определения нормальных высот основана на новом подходе к определению уклонов отвесной линии – с применением зенитного автоматизированного двухканального (оптико-электронные каналы широты и долготы) астроприбора, обеспечивающего точность, сопоставимую с точностью традиционной практической астрономии.

2. Плотность пунктов в ходе или сети астронивелирования может быть повышена до интервалов 0,5–1 км за счет выполнения астроопределений за более короткое время по сравнению с традиционным методом.

3. Данная разработка открывает перспективу точного измерения формы и положения приземной гравитационной поверхности и упрощения определения нормальных высот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закатов, П.С. Курс высшей геодезии / П.С. Закатов. – М. : Недра, 1964. – 504 с.
2. Огородова, Л.В. Высшая геодезия. Ч. III. Теоретическая геодезия : учеб. для вузов / Л.В. Огородова. – М. : Геодезкартиздат, 2006. – 384 с.
3. Бурачек, В.Г. Автоматизированная система точного геодезического контроля деформаций инженерных сооружений / В.Г. Бурачек, Т.Н. Малик, О.В. Лиховолов // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. / под ред. В.С. Шварцфельда. – Хабаровск : ДВГУПС. – 2015. – Вып. 3. – С. 86–98.
4. Бурачек, В.Г. Автоматизований пристрій визначення астрономічних координат / В.Г. Бурачек, О.О. Железняк, І.М. Коберник // Вісн. астроном. шк. – 2012. – Т. 8, № 1–2. – С. 62–65.
5. Пристрій визначення відхилень прямовисних ліній : пат. України № 104179 від 10.01.2014, бюл. № 1 // В.Г. Бурачек, О.О. Железняк, В.А. Іванишин, І.М. Коберник ; Власн. Чернігів. держав. ін-т економіки та управління.

METHODS OF DETERMINING THE NORMAL HEIGHT

**V. BURACHEK, V. BOROVOI,
T. MALIK, I. KOBERNIK**

The report presents a methods for determination of normal height, which is implemented with automated astronomical instrument and GNSS, instrument which measures astronomical and geodetic coordinates of the working astronomical point.

Keywords. *Normal height, astronomical instrument, astronomical coordinate, geodetic coordinate.*

УДК 550.34(476)

СОВРЕМЕННАЯ СИСТЕМА СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

**д-р физ.-мат. наук А.Г. АРОНОВ,
канд. геол.-минерал. наук Т.И. АРОНОВА,
канд. физ.-мат. наук Р.Р. СЕРОГЛАЗОВ, В.А. АРОНОВ**
(Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси)

Сейсмологический мониторинг, как составная часть Республиканской системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций

природного и техногенного характера Республики Беларусь и Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь, осуществляется в целях слежения за проявлением местной, региональной и глобальной сейсмичности; оценки сейсмической обстановки и степени сейсмических воздействий как в целом на территории Беларуси, так и в местах расположения особо ответственных объектов промышленного и гражданского назначения (АЭС, гидротехнические сооружения, высотные здания и др.).

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмическая станция, мониторинг, землетрясение, опасность, параметры, магнитуда, эпицентр, очаг.

Одними из наиболее опасных природных явлений являются землетрясения. Помимо своего прямого разрушительного воздействия землетрясение может стать причиной экологической катастрофы на территориях, где расположены гидроэлектростанции, промышленные предприятия производящие или перерабатывающие опасные химические вещества, особо опасные объекты АЭС и др. Сильное землетрясение – это достаточно продолжительный геодинамический процесс со стадиями подготовки, реализации события и последствий. Процесс подготовки и реализации сейсмического события охватывает не только отдельный участок литосферы, но и гидросферу (в основном подземную ее часть), биосферу, атмосферу и даже ионосферу. Любое, а тем более крупное землетрясение, не может считаться точечным в пространственно-временной среде и изолированным событием, и должно рассматриваться как длительный процесс: нарушение и последующее восстановление упругих деформаций в ходе долговременных процессов в обширных объемах природной среды. Именно в таком аспекте следует рассматривать сейсмические явления с экологической точки зрения. За последние десятилетие экономические потери от землетрясений возросли на порядок, и достигают сотен миллиардов долларов за десятилетие.

Развитие системы сейсмологического мониторинга в Беларуси. Инструментальные наблюдения в Беларуси начались в 1965 г., после строительства первой геофизической обсерватории в Плещеницах [1–3]. Современная сеть наблюдений осуществляет мониторинг сейсмичности, как на территории Беларуси, так и за ее пределами. Сейсмологический мониторинг в Беларуси проводится на следующих уровнях: глобальном, региональном и локальном. Глобальный и региональные уровни мониторинга обеспечивают сейсмические станции в составе геофизических обсерваторий «Плещеницы» и «Нарочь», региональный и локальный – Солигорская локальная сеть (8 сейсмических станций: «Волаты», «Терушки»,

«Устронь», «Чижовка», «Капацевичи», «Новый луг», «Махановичи», «Листопадовичи»), расположенная в районе Старобинского месторождения калийных солей, и Островецкая локальная сеть (7 сейсмических станций: «Бояры», «Градовщина», «Вадатишки», «Селище», «Горная Каймина», «Воробьи», «Литвяны»), расположенная в районе строительства Белорусской АЭС. Технические средства наблюдений состоят из измерительного оборудования (датчики) – сейсмометров фиксирующих движения почвы, возникающих в результате распространения сейсмических волн, и регистрирующего оборудования – компьютеризированной аппаратуры, обеспечивающей регистрацию сигналов от сейсмометров, их контроль и метрологию.

В процессе обработки данных производится выделение телесеизмических, региональных и местных (локальных) событий. На основе методов численного, статистического и спектрального анализа осуществляется интерпретация сейсмических событий, определение времени развития события в очаге, координат эпицентра, глубины очага и его энергетический уровень. По результатам многолетних наблюдений и обработки данных получены уникальные инструментальные записи сильных землетрясений Земли, определены их кинематические и динамические параметры. Первичный фактографический материал и результаты его обработки системно размещаются в специально созданных базах данных, являющихся основой для сейсмологических, сеймотектонических, геолого-геофизических исследований.

Система сейсмологического мониторинга включает непрерывные круглосуточные наблюдения, обработку и анализ полученных результатов, контроль за происходящими сейсмическими событиями естественного и искусственного происхождения в широком диапазоне энергий и расстояний. Структурой системы сейсмологического мониторинга предусматривается для решение следующих основных задач: управление и информационно-техническое обеспечения процессами сбора, обработки, анализа и представления данных мониторинга; унификация и стандартизация протоколов обмена и форматов данных; создание и актуализация баз данных; обеспечение государственных органов и других заинтересованных органов информацией о сильных сейсмических событиях, произошедших в регионе; обеспечение обмена информацией с аналогичными организациями сопредельных стран и международными центрами данных.

Результаты сейсмологических наблюдений. На территории Беларуси локальные сейсмические наблюдения проводятся в зоне сочленения северо-западной части Припятского прогиба и Белорусской антеклизы в районе Старобинского месторождения калийных солей. На этой территории инструментально с 1983 г. по настоящее время зарегистрировано 1441

местное сейсмическое событие в диапазоне магнитуд $M = 0,3-3,1$, из которых пять землетрясений, имели ощутимый характер: 1978 г. (д. Кулаки, $M = 3,0$), 1983 г. (н.п. Повстынь, $M = 2,8$), 1985 г. (г. Глуск, $M = 3,1$), 1998 г. (п. Погост, $M = 1,9$ и $M = 0,8$) [1–3]. Сейсмические события, зарегистрированные в Солигорском горнопромышленном районе, следует отнести к индуцированной сейсмичности, поскольку ее возникновение произошло под воздействием техногенных деформационных процессов. Сейсмотектонические исследования выявили закономерности взаимосвязи пространственно-временного распределения сейсмичности с возникающими напряжениями земной коры в районах разработки месторождения калийных солей. Сейсмические события приурочены к существующим в регионе разломам и проявляются как в контуре шахтных полей, так и за его пределами. Анализ результатов сейсмологических исследований показывает, что основными причинами, вызывающими возникновение сейсмической активности в районе месторождения, являются как наличие области, ослабленной подземными выработками, так и действие региональных тектонических сил.

Островецкая локальная сеть сейсмологических наблюдений, развернута в районе расположения площадки строительства Белорусской АЭС с 2008 года. Задачи, структура и характеристики этой локальной сети были определены на основе изучения геолого-геофизических условий, составления сейсмотектонической карты района расположения площадки АЭС с выделенными зонами возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) и определением параметров этих зон, расчетом сейсмических воздействий как от ближайших зон ВОЗ, так и от сильных землетрясений, в том числе из глубокофокусной зоны в горах Вранча, в Восточных Карпатах на территории Румынии. Островецкая сеть имеет высокую чувствительность и разрешающую способность. За период наблюдений по настоящее время зарегистрировано более 35000 сейсмических событий, в том числе почти 4000 далеких землетрясений с магнитудой $M \geq 4,0$ и свыше 1200 региональных сейсмических событий с магнитудой $M \geq 3,0$.

На региональном уровне сетью сейсмических станций Беларуси зарегистрировано более 11000 землетрясений на территории Европы и смежных областях. Распределение всех зарегистрированных землетрясений для последовательных интервалов магнитуд на разных глубинах показало, что основная масса очагов землетрясений имеет глубины $h \leq 70$ км, для 287 землетрясений очаги находились в диапазоне глубин 71–390 км и только 7 землетрясений произошли на глубинах $h \geq 391$ км, глубокофокусные очаги, которых приурочены к зоне субдукции. Землетрясения с небольшой магнитудой $M \leq 5,0$ практически происходят на всей территории Европы. При этом многие события имеют ощутимый характер, но без раз-

рушительного эффекта на поверхности. В регионе самое сильное (катастрофическое) землетрясение с $M = 7,4$ произошло 17 августа 1999 г. в 00^h01^m (UTC) в Турции. Это было одно из сильнейших землетрясений в Турции, в результате, которого погибли 17 000 человек, ранено 50 000 и остались без крова 500 000 человек. Землетрясение ощущалось по всему Черноморскому побережью. Тип движения в очаге представляет сдвиг по обеим плоскостям разрыва. На Европейском континенте наибольшая часть сейсмической энергии выделилась в Альпийском сейсмоактивном поясе, оставшаяся на внутриконтинентальной и прибрежной территориях. Глобальная составляющая сейсмотектонической активности в этом регионе определяется близостью к мощному Азорско-Средиземноморско-Альпийско-Трансазийскому сейсмогенному поясу, образовавшемуся вследствие столкновения крупных Африканской, Индийской и Евразийской тектонических плит.

На телесеismicком уровне сетью сейсмических станций Беларуси, из числа произошедших на земном шаре за период 1966–2015 гг., зарегистрировано и обработано почти 53000 землетрясений. Из них произошло 36 катастрофических землетрясения с магнитудой $M \geq 8,0$. Самое сильное катастрофическое землетрясение с $M = 9,1$ произошло 26 декабря 2004 г. в 00^h58^m (UTC) на западном побережье северной Суматры, Индонезия. Последующие землетрясения (афтершоки) возникали вдоль единого тектонического разлома. Движение в очаге землетрясения возникло под действием близких по величине сжимающих напряжений, ориентированных в юго-западном направлении и растягивающих, ориентированных в северо-восточном направлении. Тип движения по плоскостям разрыва взбросо-надвиг. Первый толчок потряс северную часть острова Суматра, затем по цепочке толчки фиксировались до Никобарских и Андаманских островов. От них в разные стороны разошлась мощная приливная волна. Волны цунами высотой до 10 метров обрушилось на побережье Шри-Ланки, Индии, Индонезии, Таиланда, Малайзии. Общее число жертв пострадавших в результате землетрясений и цунами превысило 230 тысяч человек. В основном такие землетрясения приурочены к областям высокой современной тектонической активности и связаны с конвергентными или дивергентными границами литосферных плит, где происходит либо сжатие и поглощение океанской коры в зонах субдукции, либо растяжение континентальной коры. В этих регионах непрерывно накапливаются тектонические напряжения, разрядка которых происходит за счет возникновения землетрясений. Наибольшая сейсмическая активность Земли наблюдалась в Тихоокеанском, Трансазиатском, Атлантическом и Индийском сейсмическом поясе.

Взаимодействие систем сейсмологических наблюдений телесеismicких, региональных и локальных уровней Беларуси, стран Балтии

и Скандинавии позволило в свое время оперативно локализовать эпицентры серии Калининградских землетрясений в сентябре 2004 года с магнитудой 3,0–5,1 [4, 5]. Для определения пространственно-временных координат гипоцентров в режиме близком к реальному времени были привлечены все доступные на тот момент времени данные относительно близких к эпицентральной зоне станций. Оперативный международный обмен цифровыми записями землетрясений позволил своевременно передать информацию всем заинтересованным пользователям, как в Беларуси, так и за ее пределами. Калининградские землетрясения, произошедшие в западной части Восточно-Европейской платформы, привели к необходимости изучения сейсмичности платформенных территорий для оценки степени сейсмической опасности и активизировали развитие сети сейсмического мониторинга в регионе.

Современная сеть сейсмологического мониторинга Беларуси интегрирована в глобальную структуру системы наблюдений. Такая интеграция существенно расширяет возможности и повышает эффективность национальной сети, позволяет производить оперативный обмен данными, повышает точность определения параметров землетрясений. При этом, система сейсмологического мониторинга структурно организованная на различных масштабных уровнях, которые функционально и технически согласованы между собой, является наиболее эффективным подходом для оперативного контроля сейсмической обстановки и оценки степени сейсмической опасности.

Проведенные исследования позволили оценить степень сейсмической опасности и уровень возможных сейсмических воздействий для территории Беларуси и сопредельных регионов. Для территории Беларуси максимальный уровень сейсмической опасности от местных и региональных землетрясений ограничен магнитудой $M \leq 5.0$, а верхний порог сейсмических воздействий не превосходит VII баллов по 12-балльной шкале MSK-64.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аронов, А.Г. Сеть сейсмических станций Беларуси / А.Г. Аронов, Р.Р. Сероглазов, Т.И. Аронова // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы : в 2 кн. – Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2007. – Кн. 1 : Землетрясения. – С. 350–353.
2. Aronov, A.G. Seismicity of Belarus / A.G. Aronov, R.R. Seroglazov, T.I. Aronova // Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica. – 2010. – Vol. 45, № 3 (September) – P. 324–339.
3. Аронов, В.А. Структура информационных уровней системы сейсмологического мониторинга в Беларуси / В.А. Аронов // Могилевский меридиан. – 2014. – Т. 14, № 1–2 (24–25). – С. 12–16.

4. Aronov, A.G. The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004 / A.G. Aronov [et al.] // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2007. – Vol. 164. – P. 63–74.
5. Аронов, А.Г. Сейсмотектонические критерии долгосрочного прогноза Калининградских землетрясений / А.Г. Аронов, Т.И. Аронова // Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года / А.Г. Аронов [и др.] ; отв. ред. А.В. Николаев. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – С. 136–150.

SYSTEM OF SEISMOLOGICAL MONITORING IN CURRENTLY USED IN THE REPUBLIC IN BELARUS

A. ARONOV, R. SEROGLAZOV, T. ARONOVA, V. ARONOV

Seismological monitoring as a part of the State system of monitoring and forecast of natural and technogeneous emergency situations in the Republic of Belarus and of the National system of environmental monitoring in the Republic of Belarus is carried out in order to monitor the local, regional and global seismicity, to assess the seismic conditions and degree of seismic effects both in the territory of Belarus as a whole, and in sites where critical industrial and civil objects (NPP's, waterworks, high-rise buildings, etc.) are located.

Keywords: seismicity, seismic station, monitoring, earthquake, hazard, parameters, magnitude, epicenter, focus

УДК 528

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН МИИГАиК ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КАЛИБРОВКИ И СЕРТИФИКАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

д-р техн. наук, проф. А.Г. ЧИБУНИЧЕВ,

канд. техн. наук, доц. А.В. ГОВОРОВ,

канд. техн. наук, доц. В.М. КУРКОВ, А.В. СМИРНОВ

*(Московский государственный университет геодезии и картографии,
Россия)*

Рассмотрен опыт работы на испытательном геополигоне МИИГАиК по тестированию и сертификации аэрофотосъемочных комплексов на базе пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Дано описание и приведены характеристики испытательного полигона. описа-

ны исследования точности фототриангуляции, с использованием различных методов калибровки камер как лабораторной, так и полевой на примере результатов аэросъемки камеры Phase One IXU 150, установленной на БЛА Орлан-10.

В качестве экспериментальной площадки использовался Заокский испытательный геополYGON МИИГАиК, обеспеченный достаточно плотной сетью опорных точек для выполнения полевой калибровки камер и пространственный тест-объект кафедры фотограмметрии для выполнения лабораторной калибровки. В качестве программного обеспечения использовались цифровые фотограмметрические станции PHOTOMOD и PhotoScan, а также специальное ПО кафедры фотограмметрии для лабораторной калибровки. Приведены результаты исследований, сделаны выводы и даются практические рекомендации.

Ключевые слова: лабораторная калибровка, полевая калибровка, самокалибровка, беспилотные летательные аппараты, бытовые камеры.

В МИИГАиК в 2011 году начались работы по созданию специализированного исследовательского полигона для разработки и оценки технологий картографирования и мониторинга территорий с использованием аэрофотосъемочных комплексов, установленных на беспилотных летательных аппаратах (БЛА).

Полигон расположен в Заокском районе Тульской области в 110 км от Москвы. На территории полигона имеются лесные массивы, различные гидрографические объекты, многообразные формы рельефа, сельскохозяйственные угодья и производственные объекты (рис. 1).

К настоящему времени на полигоне имеется планово-высотная опорно-геодезическая сеть, состоящая из 314 точек, из них 54 пункта локальной сети, закрепленных грунтовыми реперами и турами, в том числе 4 пункта ГГС, 63 маркированных опознака на площади 12 км², 195 естественных опознаков, в том числе 37 для привязки космических сканерных изображений на площади 200 км², 95 на площади 12 км², 50 высотных опознаков для калибровки воздушного лазерного сканера, 21 опознак вдоль линейного объекта протяженностью 10 км, 6 точек опорной межевой сети Заокского района Тульской области. Закреплены точки для базовых станций на территории аэродрома «Дракино» в 10 км от Заокского полигона и «Большое Грызлово» в 17 км.

На участок полигона № 1 получена ЦМР по результатам обработки воздушного лазерного сканирования (ВЛС) (рис. 2). ВЛС выполнено орга-

низацией МОСГИПРОТРАНС в июне 2012 года, при этом использован сканер Liica ALS-50, высота полета 1000 м, частота сканирования 63 000 Гц, угол сканирования $\pm 58^\circ$, плотность точек отражения на 1 м^2 – 1.2. Результирующая матрица рельефа получена с плотностью 1 м и показана на рисунке 3. Точность определения высот ЦМР (СКО) 0.21 м.



Рис. 1. Центральная часть полигона



Рис. 2. Участок полигона № 1 площадью 18 км^2 с расположением опознаков и точек геодезической сети

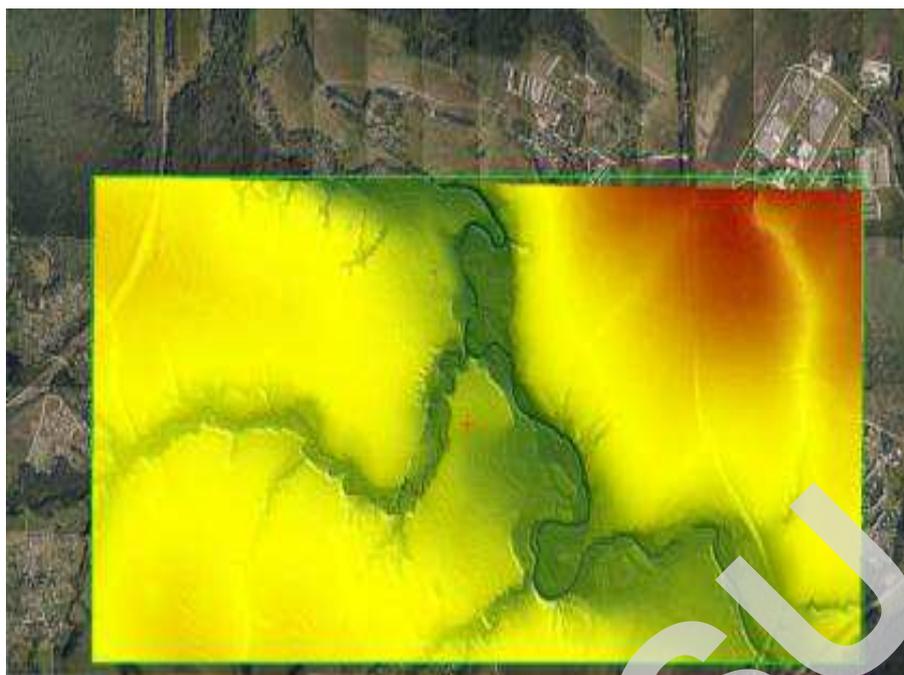


Рис. 3. Матрица рельефа, полученная в результате воздушного лазерного сканирования

Перепад высот на участок №4, предназначенный для полевой калибровки съемочных камер, составляет 98 метров с высотами над уровнем моря от 132 до 230 метров.

Координаты точек геодезического обоснования и опознаков получены в результате наблюдений ГНСС в режиме статики с точностью (СКО) 2 см по всем трем координатам. Маркировка пунктов локальной сети выполнена в виде окошки размером 3 × 3 м, где центральная часть размером 1.5 × 1.5 м засыпана белым порошком. Искусственные опознаки маркированы окошкой размером 1 × 1 м, где в центральной части пункта используется пластиковый белый круг диаметром 32 см или черно-белый квадрат со стороной 50 см (рис. 4, 5).



Рис. 4

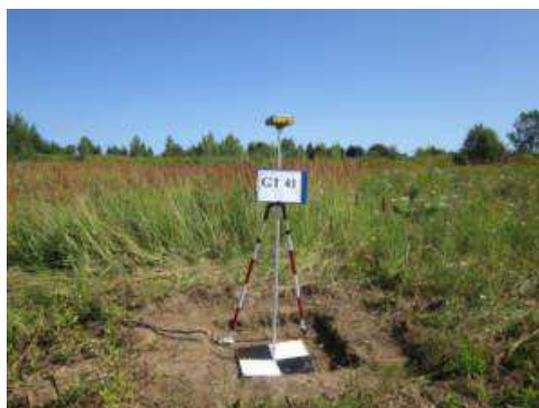


Рис. 5

Для определения разрешающей способности аэрофотоснимков на время аэрофотосъемки используется радиальная мира размером 206×250 см с диаметром секторов 155 (рис. 6, 7). Размер сектора на краю окружности 25 см. Число черных и белых секторов – 10.



Рис. 6. Общий вид радиальной миры



Рис. 7. Изображение миры на снимке

Для определения разрешающей способности космических сканерных изображений используется радиальная мира диаметром 15.1 м с 8-ю секторами (рис. 8 и 9).



Рис. 8. Общий вид радиальной миры диаметром 15.1 м



Рис. 9. Изображение миры на космическом сканерном снимке «Pleiades» с расчетным пространственным разрешением 0.5 м

В последнее время на рынке оборудования для дистанционного зондирования земли появились и появляются разнообразные комплексы, позволяющие получать информацию о земной поверхности с целью решения задач топографии, кадастра и мониторинга объектов и явлений. Среди них широкоформатные и среднеформатные топографические камеры, малоформатные неметрические камеры, многокамерные съемочные системы, сканерные съемочные системы оптического и мультиспектрального диапа-

зона, системы воздушного лазерного сканирования, космические сканерные сенсоры. В комплексы для дистанционного зондирования входят аэрофотоустановки для стабилизации съемочной аппаратуры, системы глобального позиционирования (спутниковые и инерциальные) для геопривязки сенсоров. В качестве носителей средств дистанционного зондирования используются как беспилотные летательные аппараты, так и пилотируемые легкомоторные и тяжелые самолеты и вертолеты.

Многообразие средств дистанционного зондирования и навигационной аппаратуры вызывает необходимость независимой оценки геометрических и радиометрических характеристик получаемых изображений, определения элементов выставки съемочной аппаратуры, спутниковой антенны и инерциальной системы. Наряду с тестированием и калибровкой съемочной аппаратуры необходима разработка теоретически обоснованных рекомендаций по выбору параметров аэрофотосъемки в зависимости от масштаба создаваемых карт и требуемой точности создания цифровых моделей местности для каждого из используемых аэрофотосъемочных комплексов. Необходимо также разработать рекомендации по планово-высотной подготовке материалов аэрофотосъемки. Очевидно, что достоверность разработанных рекомендаций должна быть подтверждена опытно-производственными работами.

В последнее время широкое распространение приобретает технология выполнения аэрофотосъемки с использованием аэрофотосъемочных комплексов на базе беспилотных летательных аппаратов (БЛА) с различными цифровыми камерами на борту. Это могут быть «бытовые» камеры со шторно-щелевыми затворами, профессиональные – с ламельными затворами и аппараты с центральным затвором. Среди производителей и пользователей таких аэрофотосъемочных систем зачастую бытует мнение, что выполнять лабораторную калибровку не следует, поскольку алгоритмы современных цифровых фотограмметрических систем (ЦФС) имеют возможность выполнения самокалибровки в процессе построения и уравнивания фототриангуляции. Однако всесторонних исследований, теоретических и практических, по этому направлению не выполнялось.

Ниже приведены в качестве примера результаты исследований различных методов калибровки для камеры *Phase One IXU 150*, установленной на БПЛА Орлан-10. Сравнивались результаты лабораторной и полевой калибровки.

Для лабораторной калибровки использовался пространственный тест-объект и специализированное программное обеспечение, разработанное на кафедре фотограмметрии МИИГАиК (рис. 10).

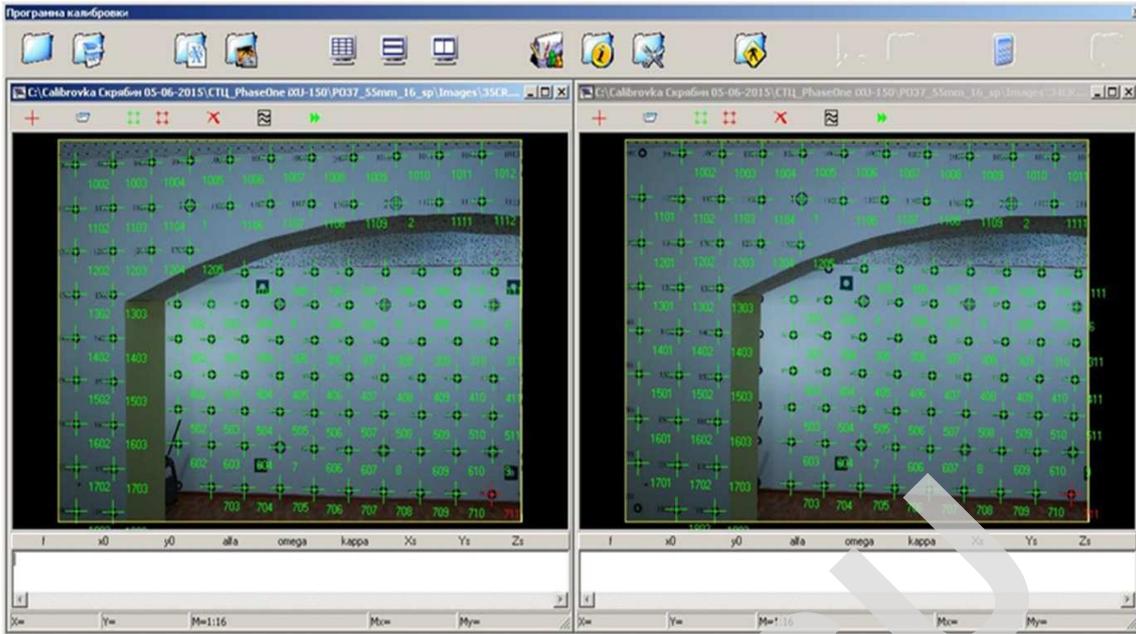


Рис. 10. Пространственный тест-объект для лабораторной калибровки камер

Для проведения полевой калибровки использовался Заокский геополигон МИИГАиК и цифровые фотограмметрические системы *PHOTOMOD* и *PhotoScan*.

Сначала приведены результаты исследований, выполненных на основе ЦФС *PHOTOMOD*.

PHOTOMOD является универсальной программой, использующей классические алгоритмы обработки аэрофотосъемки. Для компенсации дисторсии объектива применительно к неметрическим камерам здесь используется формула смешанной дисторсии.

Ее суть заключается в добавлении к основной физической формуле дополнительных нескольких десятков коэффициентов, описывающих остаточные систематические погрешности аэрофотоснимков.

$$\begin{aligned}
 x_{corr} &= x - k_1 x r^2 - k_2 x r^4 - k_3 x r^6 - P_1 (2x^2 + r^2) - 2P_2 xy - a_1 x - a_2 y - a_3 x^2 - a_4 xy - \\
 &- a_5 y^2 - a_6 x^2 y - a_7 xy^2 - x / c (c_1 x^2 + c_2 xy + c_3 y^2 + c_4 x^3 + c_5 x^2 y + c_6 xy^2 + c_7 x^3); \\
 y_{corr} &= y - k_1 y r^2 - k_2 y r^4 - k_3 y r^6 - P_2 (2y^2 + r^2) - 2P_1 xy - b_1 x - b_2 y - b_3 x^2 - b_4 xy - \\
 &- b_5 y^2 - b_6 x^2 y - b_7 xy^2 - y / c (c_1 x^2 + c_2 xy + c_3 y^2 + c_4 x^3 + c_5 x^2 y + c_6 xy^2 + c_7 x^3); \\
 r^2 &= x^2 + y^2,
 \end{aligned}$$

где (x_{corr}, y_{corr}) – координаты точек снимка, исправленные за дисторсию;

(x, y) – координаты точек на исходном снимке, относительно точки симметрии;

(r) – длина радиус-вектора;

k_1, k_2, k_3 – коэффициенты радиальной дисторсии;

P_1, P_2 – коэффициенты тангенциальной дисторсии;

$a_1 \dots a_n, b_1 \dots b_n, c_1 \dots c_n$ – коэффициенты растяжения и сжатия снимка.

Съемка полигона проводилась при двух высотах фотографирования – 600 и 800 м. с размером пикселя на земле соответственно 4 и 6 см (*GSD*) (рис. 11). Съемка для полевой калибровки, как правило, производится маршрутами крест на крест для увеличения количества измерений на снимках. Избыточные измерения дают возможность получить более достоверный результат. В первом случае было получено 327 снимков (проект Полевая_600), а во втором случае блок состоял из 200 снимков (проект Полевая_800). Всего, в пределах блока снимков попало 109 маркированных опорных точек, которые были взяты для калибровки (см. рис. 3).



Рис. 11. Схема съемки: *а* – высота съемки 600 м.; *б* – высота съемки 800 м

Также выполнялась полевая калибровка с использованием снимков, полученных с обеих высот фотографирования (проект Полевая_600-800).

Для оценки точности различных вариантов калибровки камеры была выполнена фототриангуляция двух блоков снимков полигона, полученных с высот фотографирования 600м и 800м той же камерой (проекты Контроль_600 и Контроль_800). При этом в качестве опорных точек использовалось только 5 точек, остальные 44 точки использовались как контрольные. Естественно, самокалибровка при этом не выполнялась. В таблице 1 приведены результаты оценки точности фототриангуляции, выполненной в программе *PHOTOMOD*, используя при этом раз-

личные варианты калибровки, а на рисунках 12 и 13 показаны соответствующие диаграммы.

Таблица 1

Результаты оценки точности фототриангуляции в PHOTOMOD

Проекты	Калибровка <i>PHOTOMOD</i>	GSD (см)	Точность					
			Опорные точки (5 шт.)			Контрольные точки (44 шт.)		
			Mx	My	Mz	Mx	My	Mz
Кон- троль_600	Лабораторная	4.1	0.035	0.025	0.030	0.030	0.053	0.155
Кон- троль_800	Лабораторная	6	0.013	0.027	0.054	0.034	0.056	0.201
Кон- троль_600	Полевая 600_смеш	4.1	0.025	0.031	0.070	0.046	0.049	0.161
Кон- троль_600	Полевая 800_смеш	4.1	0.028	0.037	0.088	0.049	0.055	0.171
Кон- троль_600	Полевая 600- 800_смеш	4.1	0.035	0.046	0.094	0.051	0.064	0.188
Кон- троль_800	Полевая 600_смеш	6	0.021	0.018	0.045	0.038	0.040	0.070
Кон- троль_800	Полевая 800_смеш	6	0.021	0.015	0.059	0.040	0.040	0.076
Кон- троль_800	Полевая 600- 800_смеш	6	0.021	0.013	0.068	0.039	0.041	0.085

Второй частью работы был анализ точности фототриангуляции в системе *Agisoft PhotoScan*. В данной программе используется другая модель калибровки камер, приведенная ниже:

$$x' = x(1 + K1r^2 + K2r^4 + K3r^6) + P2(r^2 + 2x^2) + 2P1xy;$$

$$y' = y(1 + K1r^2 + K2r^4 + K3r^6) + P1(r^2 + 2y^2) + 2P2xy;$$

$$x = X / Z;$$

$$y = Y / Z;$$

$$u = cx + x'fx + y'skew;$$

$$v = cy + y'fy;$$

$$r = \text{sqrt}(x^2 + y^2)$$

где (X, Y, Z) – координаты точек в пространственной системе координат снимка;

(u, v) – координаты точек в системе координат снимка (в пикселях);

(fx, fy) – проекции фокусного расстояния на плоскости ZX и ZY соответственно;

(cx, cy) – координаты главной точки;

$K1, K2, K3$ – коэффициенты радиальной дисторсии;

$P1, P2$ – коэффициенты тангенциальной дисторсии;

$skew$ – коэффициент неортогональности системы координат снимка.

Параметры калибровки камеры определялись на основе выполнения фототриангуляции с самокалибровкой по тем же блокам снимков, что и для *PHOTOMOD*, полученных с высот фотографирования 600 м и 800 м. (рис. 14).

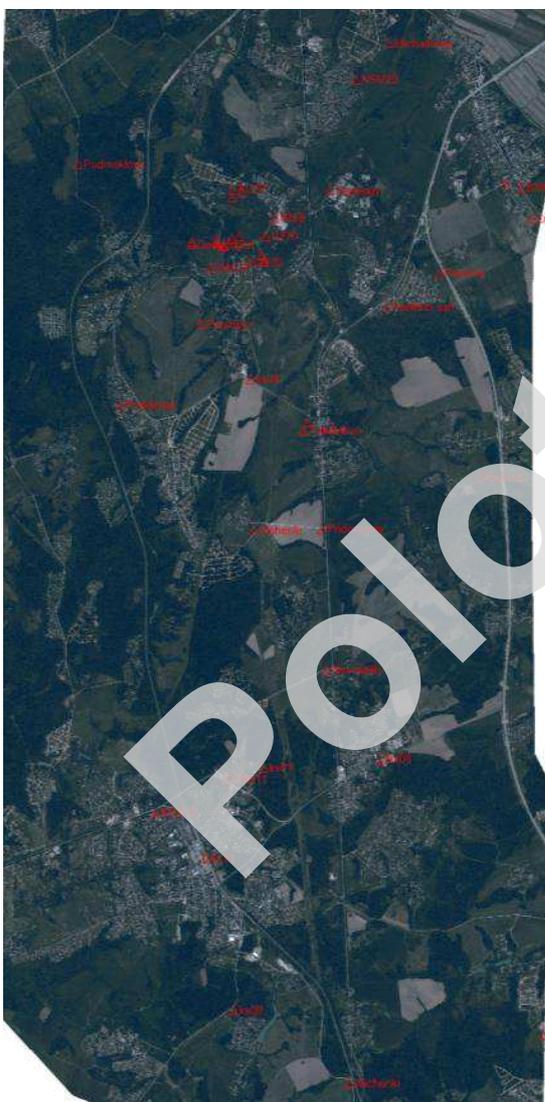


Рис. 12. Участок полигона №2 площадью 200 км² для калибровки космического сканерного изображения со спутника



Рис. 13. Участок полигона № 3 площадью 0.3 км² с высотными опознаками для калибровки воздушного лазерного сканера



Рис. 14. Участок полигона №4 площадью 1 км² с маркированными опознаками для калибровки цифровых камер

Далее выполнялась оценка точности фототриангуляции по тем же блокам снимков, что и в случае *PHOTOMOD*, применяя различные варианты параметров калибровки камеры. При этом блоки снимков были полностью идентичные в обеих программах, с одинаковым количеством снимков, опорных и контрольных точек.

В таблице 2 приведены результаты оценки точности фототриангуляции, выполненной в программе *PhotoScan*.

Из обеих таблиц видно, что наилучшие результаты в плане получаются при применении результатов полевой калибровки на меньшей высоте фотографирования и с меньшим размером пикселя на местности, что вполне естественно.

Таблица 2

Результаты оценки точности фототриангуляции в PhotoScan

Проекты	Калибровка <i>PhotoScan</i>	GSD (см)	Точность					
			Опорные точки (5 шт.)			Контрольные точки (44 шт.)		
			Mx (м)	My (м)	Mz (м)	Mx (м)	My (м)	Mz (м)
Контроль_600	Полевая 600_физ	4.1	0.045	0.042	0.057	0.045	0.040	0.204
Контроль_600	Полевая 800_физ	4.1	0.042	0.042	0.033	0.043	0.036	0.211
Контроль_600	Полевая 600-800_физ	4.1	0.045	0.042	0.041	0.045	0.037	0.228
Контроль_800	Полевая 600_физ	6	0.014	0.020	0.053	0.056	0.050	0.133
Контроль_800	Полевая 800_физ	6	0.011	0.016	0.063	0.056	0.043	0.125
Контроль_800	Полевая 600-800_физ	6	0.011	0.016	0.055	0.051	0.046	0.098

При этом точность по высоте значительно лучше при большей высоте фотографирования, что противоречит естественным законам точности фототриангуляции. Это объясняется тем, что при высоте фотографирования 600 м. перекрытия между снимками составляли примерно 80%, а при высоте 800 м. соответственно 70%. При 80% перекрытий между снимками базис фотографирования естественно меньше, чем при 70%, а следовательно угол засечки меньше, что приводит к понижению точности фототриангуляции по высоте.

Лабораторная калибровка камеры дает результаты сопоставимые по точности с полевой калибровкой. Поэтому рекомендуется всегда выпол-

нять лабораторную калибровку камеры, так как это гарантирует получение удовлетворительного результата по точности при выполнении реальных проектов. Выполнение самокалибровки при фототриангуляции реальных проектов может давать хорошие результаты по точности. Однако могут быть случаи, когда самокалибровка не даст желаемого результата при низком качестве съемки из-за погодных и атмосферных условий, а также из-за работы шторно-щелевого затвора или вообще задача самокалибровки может не решиться в случае плоскоравнинной местности.

Целесообразно выполнять исследования каждого набора аппаратно-программных средств (БЛА с камерой и ГНСС и ЦФС для обработки снимков) на полигоне с целью подтверждения заявленных производителем характеристик для получения документов о местности заданной точности. Такие исследования в настоящее время выполняются в центре сертификации МИИГАиК с выдачей соответствующего сертификата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.
2. Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, Министерство гражданской авиации. – М. : Недра, 1982. – 15 с.
3. Михайлов, А.П. Конспект лекций по фотограмметрии / А.П. Михайлов, А.Г. Чибуничев. – М. : МИИГАиК, 2012, – 252 с.
4. PHOTOMOD 6.0.2. : руководство пользователя. – М. : АО Фирма «Ракурс», – 1605 с.
5. PhotoScan Professional Edition, версия 1.2. : рук. пользователя. – М. : ООО Agisoft, – 116 с.

TESTING AREA GEOPOLYGON MIIGAİK FOR RESEARCH, CALIBRATION AND CERTIFICATION OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS

A. CHIBUNICHEV, V. KURKOV, A. GOVOROV, A. SMIRNOV

This article describes the experience of working on the test Geopolygon MIIGAİK testing and certification of aerial systems based on manned and unmanned aerial vehicles. Nowadays, aerial survey technology using aerial systems based on unmanned aerial systems (UAS) becomes more popular. UAS physically can't carry professional aerial cameras. Consumer digital cameras are used instead. Such cameras usually have rolling, lamellar or global shutter. Quite often manufacturers and users of such aerial systems do not use camera calibration. In this case self-calibration techniques are used. However such approach is not confirmed by extensive theoretical and practical research. In this paper we compare results of phototriangulation based on laboratory, test-field or self-calibration. For investigations we use "Zaoksky Geopoligon" test area

as an experimental field provided dense network of target and natural control points. Racurs PHOTOMOD and Agisoft PhotoScan software were used in evaluation. The results of investigations, conclusions and practical recommendations are presented in this article.

Keywords: *laboratory calibration, test-field calibration, self-calibration, unmanned aerial systems (UAS), consumer cameras.*

УДК 528.4

ОПЫТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ 2011 ГОДА

В.П. ГОРОБЕЦ, Г.Н. ЕФИМОВ, И.А. СТОЛЯРОВ

*(Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии
и инфраструктуры пространственных данных, Россия)*

Даны общие сведения о государственной геодезической системе координат 2011 года и основные результаты ее практической реализации на территории Российской Федерации. Приведены параметры перехода от систем координат, используемых на территории Российской Федерации в настоящее время, к системе координат 2011 года. Показаны перспективы дальнейшего развития системы координат 2011 года на период до 2020 года.

Ключевые слова: *система координат, государственная геодезическая сеть, геодезическое обеспечение.*

Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 года № 1463 в качестве единой государственной системы координат для использования при осуществлении геодезических и картографических работ установлена геодезическая система координат 2011 года (далее – ГСК-2011).

Целесообразность введения системы координат ГСК-2011, которая является геоцентрической, состояла в повышении эффективности использования спутниковых технологий координатных определений, что в свою очередь должно повысить точность и оперативность решения задач геодезического обеспечения, отвечающего современным требованиям экономики, науки и обороны страны. Кроме того, введение системы координат ГСК-2011 повысит эффективность использования системы ГЛОНАСС и осуществления мониторинга деформаций земной поверхности, что чрезвычайно важно при решении как народнохозяйственных, так и целого ряда научных задач.

Построение системы координат ГСК-2011 осуществлялось в рамках выполнения мероприятий Федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система» в период 2002–2011 годы.

Общие сведения о государственной геодезической системе координат 2011 года. Государственная геодезическая система координат Российской Федерации ГСК-2011 представляет собой геоцентрическую систему координат, отсчитываемых от центра, осей и поверхности общего земного эллипсоида. По принципам ориентировки в теле Земли ГСК-2011 идентична Международной земной опорной системе координат ITRS, установленной в соответствии с рекомендациями Международной службы вращения Земли (International Earth Rotation and Reference Systems Service – IERS) и Международной ассоциации геодезии (International Association of Geodesy – IAG), а именно:

- начало системы координат совпадает с центром масс Земли;
- ось Z направлена к Условному земному полюсу;
- ось X – в точку пересечения плоскости экватора и начального (Гринвичского) меридиана, установленного Международным бюро времени;
- ось Y дополняет систему до правой (рис. 1).

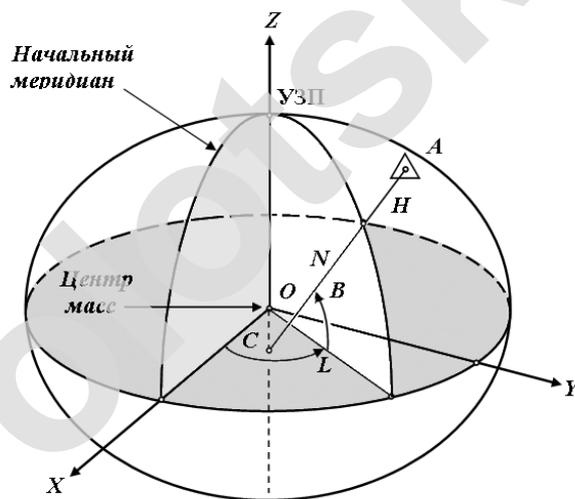


Рис. 1. Геоцентрическая система координат

Точность установления ГСК-2011 по отношению к центру масс Земли на настоящий момент времени характеризуется средней квадратической погрешностью, не превышающей 10 см.

Значение размеров большой полуоси принято равным 6378 136.5 метров, что соответствует принятым к настоящему времени размерам большой полуоси общего земного эллипсоида. Под общим земным эллипсоидом понимается эллипсоид, удовлетворяющий условию $\int_{\sigma} \zeta d\sigma = 0$ для

всей Земли. Это условие обеспечивает применение равенства М.С. Молоденского при определении по спутниковым данным значение нормальной высоты H^{γ}

$$H^G = H^{\gamma} + \zeta;$$

где H^G – значение геодезической высоты по данным ГНСС-измерений;

H^{γ} – значение нормальной высоты по нивелирным данным;

ζ – значение высоты квазигеоида по гравиметрическим данным.

Основные параметры системы координат ГСК-2011 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры системы координат ГСК-2011

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Значение
1	2	3	4
1. Универсальные физические постоянные			
Скорость света в вакууме	c	м/с	299 792 458
Гравитационная постоянная	f	м ³ /(кг·с ²)	6.672 59 · 10 ⁻¹¹
2. Фундаментальные геодезические постоянные			
Геоцентрическая гравитационная постоянная Земли (с учетом атмосферы)	fM	км ³ /с ²	398 600.4415
Угловая скорость вращения Земли	ω	рад/с	7.292115 · 10 ⁻⁵
Большая полуось	a	м	6 378 136.500
Сжатие	α	-	1/298.2564151
3. Геометрические постоянные			
Малая полуось	b	м	6 356 751.758
Квадрат первого эксцентриситета	e ²	-	0.006 694 3981
Квадрат второго эксцентриситета	e' ²	-	0.006 739 5151
4. Физические постоянные			
Нормальный потенциал на поверхности отсчетного эллипсоида	U ₀	м ² /с ²	62 636 856.75

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Ускорение нормальной силы тяжести на экваторе отсчетного эллипсоида	γ_a	мГал	978 032.696
Ускорение нормальной силы тяжести на полюсе отсчетного эллипсоида	γ_b	мГал	983 218.646
Коэффициенты в формуле ускорения нормальной силы тяжести	β	-	0.005 302 43
	β_1	-	0.000 005 85
Коэффициент второй зональной гармоники нормального потенциала	J_2^0	-	$1\,082.636\,14 \cdot 10^{-6}$

Модель гравитационного поля Земли, используемая в системе координат 2011 года. Неотъемлемой частью системы координат ГСК-2011 является отечественная глобальная модель гравитационного поля Земли ГАО-2012.

В качестве исходных данных при выводе ГАО-2012 использовалась следующая информация, характеризующая гравитационное поле Земли:

- гравиметрические данные в виде результатов гравиметрических съемок на суше и в Мировом океане как площадных, так и маршрутных;
- альтиметрические данные, представленные в виде средних аномалий силы тяжести, вычисленных по спутниковым альтиметрическим измерениям с искусственных спутников Земли «GEOSAT» и «ERS-1»;
- данные спутниковой градиентометрии в виде системы коэффициентов модели GOCE;
- данные анализа возмущений орбит системы спутник – спутник GRACE;
- данные об осредненных высотах рельефа местности, необходимые для перехода от аномалий силы тяжести с редукцией Буге к аномалиям с редукцией Фая и для вычисления поправок за рельеф.

В отличие от наиболее распространенного параметрического метода уравнивания, при выводе модели ГАО-2011 использовался алгоритм корреляционного метода уравнивания, более эффективный при решении геодезических задач, при которых важно взаимное согласование гравиметрических и спутниковых альтиметрических данных и получение поправок в измерения,

вызванных их ошибками. В результате выполненного совместного уравнивания гравиметрических и орбитальных спутниковых данных была определена система поправок к исходным значениям аномалий силы тяжести и, как результат разложения, коэффициенты сферических гармоник до 360-ой степени включительно. Представление параметров модели ГПЗ в виде поправок к исходным значениям аномалий силы тяжести позволило выявить и устранить систематические ошибки отдельных гравиметрических съемок, а также получить информацию о возможном неблагоприятии с назначением весов при совместном уравнивании разнородной информации. На рисунке 2 показана схема распределения поправок в средние значений аномалии силы тяжести в свободном воздухе по трапециям $30' \times 30'$, полученным из уравнивания.

При оценке точности модели ГАО-2012 в качестве критерия использовалась величина средней разности геодезической высоты, вычисленной по данным спутниковых наблюдений, и суммы высот: высоты квазигеоида, вычисленной по параметрам модели, и нивелирной высоты. Точностные характеристики модели оценивались на специальных полигонах, образованных пунктами национальных нивелирных сетей, на которых имелись спутниковые измерения. Оценка выполнялась для трех тестовых полигонов на территории США (6169 пунктов), Германии (87 пунктов) и России (526 пунктов). Для России также было выполнено сравнение независимо по двум блокам – западному и восточному. Для сравнения аналогичные вычисления были выполнены и с использованием современных зарубежных моделей ГПЗ EGM2008 и EIGEN-5C. Результаты оценки точности модели ГАО-2012 на тестовых полигонах приведены в таблице 2.

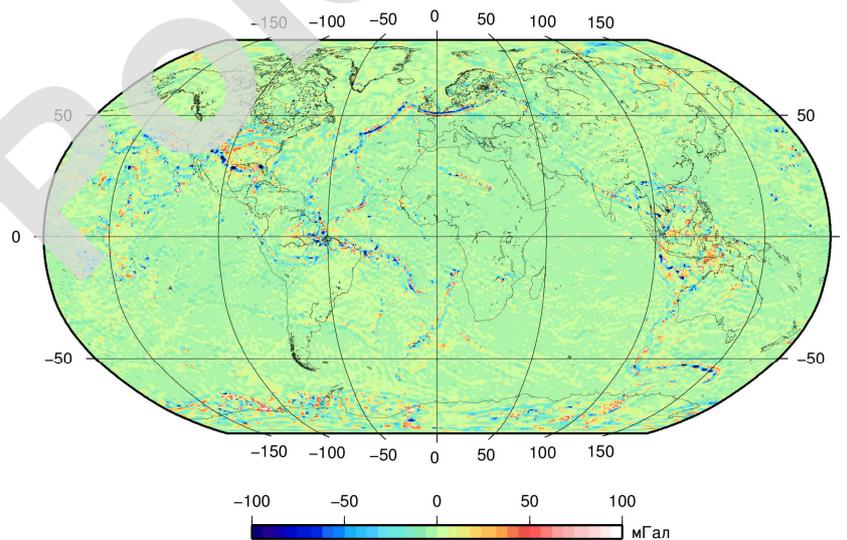


Рис. 2. Схема распределения поправок в средние значений аномалии силы тяжести в свободном воздухе по трапециям $30' \times 30'$, полученным из уравнивания

Регион	Средние разности, м		
	ГАО-2012	EIGEN-5C	EGM2008
США	1.0421	1.0367	1.0277
Германия	0.6004	0.5962	0.5901
Россия	0.2376	0.2040	0.2016
Западная часть России	0.4051	0.3564	0.3593
Восточная часть России	-0.0226	-0.0327	-0.0434

Схема разностей высот квазигеоида, полученных по модели ГАО-2012 и вычисленных по измерительным данным, для территории Российской Федерации показана на рисунке 3.

Оценка модели ГАО-2012 была также выполнена по степенным дисперсиям аномалии силы тяжести и высоты квазигеоида. Результаты оценки модели по степенным дисперсиям аномалии силы тяжести и высоты квазигеоида представлены на графиках на рисунках 4 и 5.

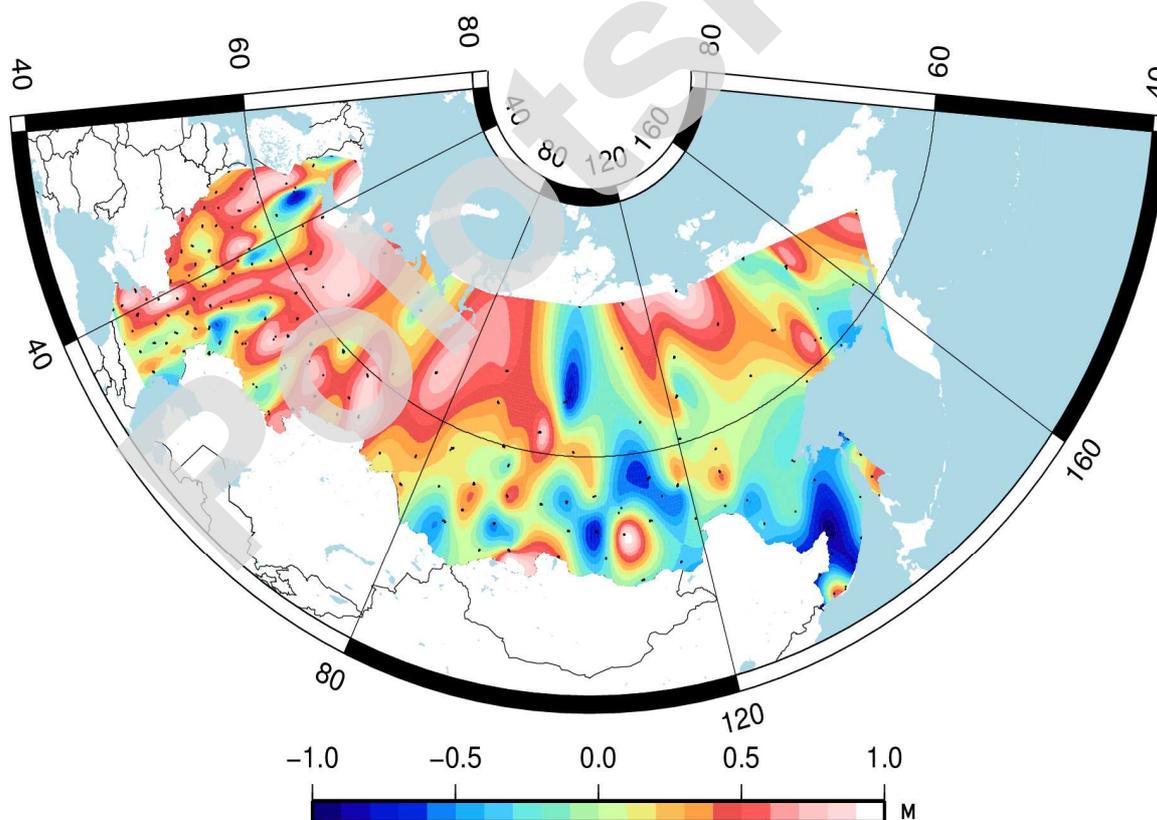


Рис. 3. Схема разностей высот квазигеоида, полученных по модели ГАО-2012 и вычисленных по измерительным данным

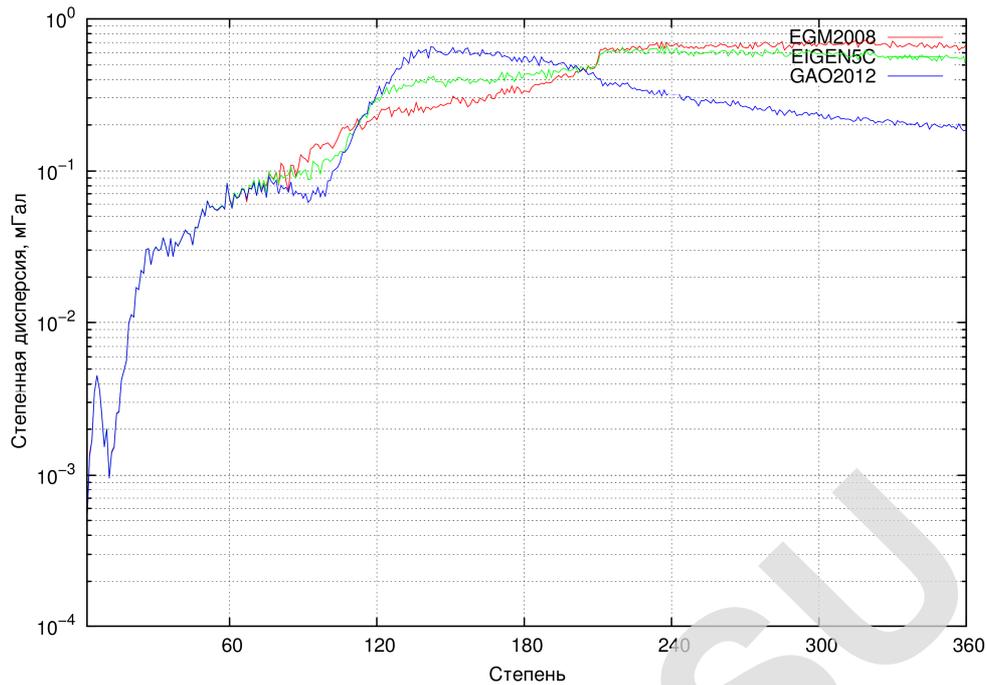


Рис. 4. Сравнительная оценка моделей по степенным дисперсиям аномалии силы тяжести

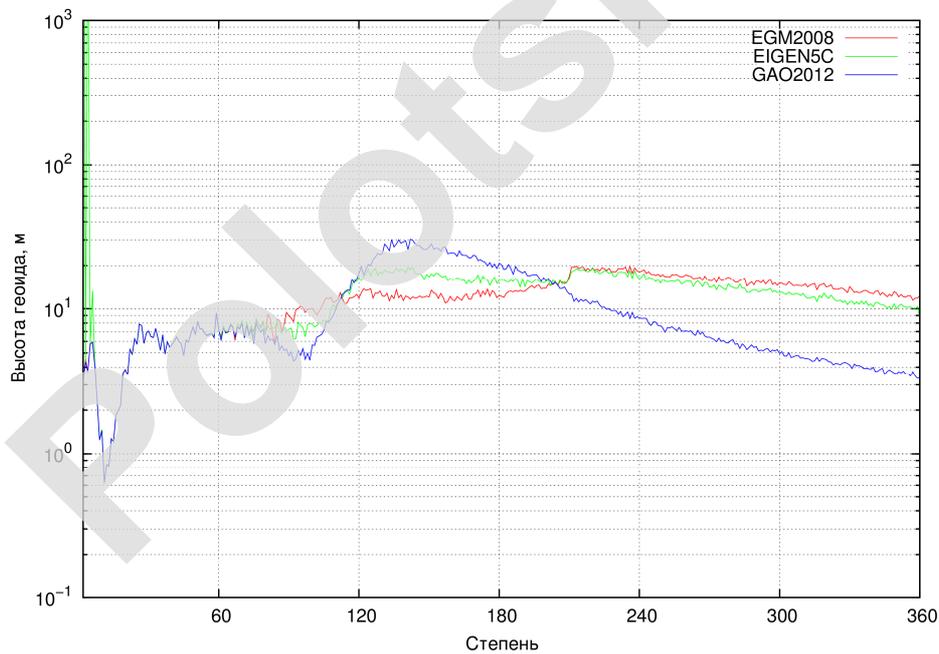


Рис. 5. Сравнительная оценка моделей по степенным дисперсиям высоты квазигеоида.

Таким образом, глобальная модель гравитационного поля Земли ГАО-2012 по уровню точности и детальности не уступает современным зарубежным моделям геопотенциала EIGEN-5C и EGM2008.

Реализация государственной геодезической системы координат 2011 года. Система координат ГСК-2011 реализована государственной геодезической сетью. Основу государственной геодезической сети составляет государственная спутниковая геодезическая сеть трех уровневой структуры, включающая фундаментальную астрономо-геодезическую сеть (далее – ФАГС); высокоточную геодезическую сеть (далее – ВГС) и спутниковую геодезическую сеть 1-го класса (далее – СГС-1). В структуру государственной геодезической сети также входят созданные в советский период времени сети триангуляции, полигонометрии и трилатерации 1–4 классов (~283 000 пунктов), уравненные с опорой на пункты ФАГС, ВГС и СГС-1, что обеспечивает возможность использования в системе координат ГСК-2011 огромного количества геодезических и картографических материалов, созданных ранее на основе традиционных методов и технологий.

Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть представляет верхний уровень иерархии государственной спутниковой сети и служит исходной геодезической основой для построения заполняющих спутниковых сетей и практически реализует геоцентрическую систему координат в рамках решения задач координатно-временного обеспечения.

Пространственное положение пунктов ФАГС определяется методами космической геодезии в общеземной системе координат относительно центра масс Земли с ошибкой не более 10...15 см, а ошибка взаимного положения любых пунктов ФАГС не превышает 1–2 см по плановому положению и 2-3 см по высоте с учетом скоростей их изменений во времени.

Количество и расположение постоянно действующих пунктов, а также состав аппаратуры и программы наблюдений определяются научно-технической программой построения и функционирования ФАГС с учетом проектов международного сотрудничества. Все пункты ФАГС фундаментально закреплены с обеспечением долговременной стабильности их положения как в плане, так и по высоте.

Первоначальные координаты пунктов ФАГС на эпоху установления системы координат ГСК-2011 (1 января 2011 года) определялись по результатам общего уравнивания сети с опорой на пункты Международной геодезической службы IGS, находящиеся как на территории Российской Федерации, так и на территории сопредельных стран. Зарубежные пункты IGS были использованы с целью придания сети ФАГС большей жесткости и достоверности координатных определений, поскольку количество и географическое распределение пунктов IGS на территории России далеко не оптимально. При подборе зарубежных пунктов учитывалось не только их географическое положение, но и регулярность, и точность наблюдений.

В итоге, общий состав пунктов, включенных в уравнивание ФАГС, характеризуется следующими данными:

- общее число пунктов, включенных в уравнивание – 46;
- число российских пунктов – 38, зарубежных – 8;
- число опорных пунктов – 21 (российских – 13, зарубежных – 8).

Исходные данные для уравнивания включали в себя:

- файлы суточных спутниковых наблюдений на пунктах ФАГС на интервале 2 лет (2010-2011 гг.);
- файлы координат спутников;
- файлы моделированных ионосферных задержек;
- файл сведений о сбоях в работе аппаратуры спутников GPS/ГЛОНАСС;
- параметры вращения Земли.

Обработка суточных сеансов измерений выполнена с помощью программного комплекса BERNESE 5.0. Использовалась традиционная схема вычислений по двойным разностям фазовых измерений, включающая следующие основные этапы вычислений:

- 1) численное интегрирование движений ИСЗ GPS/ГЛОНАСС для вычисления их координат на моменты наблюдений;
- 2) преобразование и предварительный контроль данных наблюдений;
- 3) преобразование исходных координат станций на эпоху сеанса наблюдений;
- 4) вычисление поправок часов приемников по кодовым измерениям;
- 5) образование одинарных разностей фазовых измерений, предварительный контроль и отбраковка грубых значений;
- 6) разрешение фазовых неоднозначностей (вычисления по отдельным базовым линиям);
- 7) совместное уравнивание всей сети, как «свободной»;
- 8) вычисление параметров трансформирования Гельмерта между вычисленными координатами опорных пунктов и их приведенными на эпоху наблюдений значениями;
- 9) контроль отклонений вычисленных координат опорных пунктов и в случае грубых результатов – исключение пункта из числа опорных и выполнение нового уравнивания сети;
- 10) преобразование всех вычисленных координат «свободной» сети с помощью найденных параметров Гельмерта и оценка точности.

Используемые на этапе 3 начальные значения координат пунктов выбирались из таблиц их значений на эпоху 2011.0 и скоростей смещений. Для

пунктов IGS координаты выбирались из международного каталога, а для других пунктов использовались априорные значения координат и значения скоростей, вычисленные по геодинамической модели NNR-NUVEL-1A.

Механизм привязки сети ФАГС к «каркасной» сети опорных пунктов IGS (этапы 8–10) основан на широко используемом IERS методе «мягкого согласования». Согласно этому методу, при уравнивании суточных сеансов измерений *на первом этапе* сеть рассматривается как «свободная», т.е. координаты опорных пунктов не фиксируются жестко, а вычисляются вместе с координатами других пунктов. *На втором этапе* осуществляется трансформирование (по Гельмерту) вычисленной «свободной» сети под условием минимума суммы квадратов отклонений полученных координат опорных пунктов от их принятых значений. Таким образом, в результате обработки суточного сеанса координаты всех пунктов получают поправки к своим начальным значениям.

Скорости тектонических смещений пунктов ФАГС вычислялись путем линейной аппроксимации последовательностей суточных значений координат методом наименьших квадратов. При этом в качестве точки отсчета всегда (вне зависимости от фактического распределения наблюдений за весь период) принималось начало 2011 года, т.е. эпоха полученного каталога координат равна 2011.0.

Вычисления выполнялись по отдельности для каждой составляющей координат в геоцентрической (X, Y, Z) и локальной (E, N, U) системах. Начальные уравнения в каждом случае включали два неизвестных (координату на стандартную эпоху 2011.0 и скорость ее изменения за год). Решение уравнений и оценка точности координат и скоростей выполнены по правилам метода наименьших квадратов.

Средние квадратические погрешности уравненных координат пунктов ФАГС составили 0.1–1.0 см в плане (пункт ФАГС «Владивосток» – 1.9 см) и 0.2–1.5 см по высоте (пункт ФАГС «Владивосток» – 2.14 см).

По состоянию на 1 января 2016 года ФАГС состоит из 58 пунктов, из которых 48 постоянно-действующие и 10 периодически определяемые. В состав пунктов ФАГС входят 13 пунктов РАН, 5 пунктов Росстандарта и 40 пунктов Росреестра, 3 пункта совмещены с пунктами РСБД, 8 пунктов совмещены с пунктами СДКМ.

В перспективе в рамках реализации мероприятий ФЦП «Развитие единой государственной системы регистрации прав и кадастрового учета недвижимости (2014–2019 годы)» и ФЦП «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» количество пунктов ФАГС планируется довести к 2020 году до 80, что будет способствовать

более широкому внедрению современных спутниковых методов координатных определений (в том числе и метода PPP).

На рисунках 6 и 7 представлены картограммы текущего состояния и перспективного развития сети пунктов ФАГС.



Рис. 6. Картограмма расположения пунктов ФАГС к 2020 году



Рис. 7. Картограмма пунктов ФАГС, принадлежащих Росреестру

Вторым уровнем иерархии является высокоточная геодезическая сеть, которая представляет собой опирающееся на пункты ФАГС пространственное геодезическое построение, состоящее из системы пунктов на расстоянии 150–300 км. Средняя квадратическая погрешность взаимного положения пунктов ВГС – 1–2 см.

Каждый пункт ВГС связан измерениями со смежными пунктами ВГС и не менее чем с тремя ближайшими пунктами ФАГС.

По состоянию на 1 января 2016 года сеть ВГС насчитывает 331 пункт.

Третьим уровнем иерархии является спутниковая геодезическая сеть 1 класса, которая представляет собой пространственные геодезические построения, опирающиеся на пункты ФАГС и ВГС с плотностью, достаточной для эффективного использования всех возможностей спутниковых определений потребителями. Среднее расстояние между пунктами СГС-1 составляет 25-35 км с уменьшением расстояния для населенных территорий и с увеличением расстояния в необжитых районах.

Средние квадратические погрешности определения положения пунктов СГС-1 относительно ближайших пунктов ВГС и ФАГС не превышают 2–3 см.

По состоянию на 1 января 2016 года сеть СГС-1 насчитывает 4 354 пункта.

По результатам обработки измерительной информации с пунктов ФАГС, ВГС и СГС-1 в 2015 году точностные характеристики системы координат ГСК-2011 составили:

- погрешность взаимного положения пунктов ФАГС – 2 см;
- погрешность геоцентричности системы координат ГСК-2011 – 7 см;
- погрешность распространения системы координат ГСК-2011 на территории Российской Федерации, реализуемая системой ГЛОНАСС – 10 см;
- погрешность цифровой модели высот квазигеоида – 20 см.

В перспективе в рамках реализации мероприятий ФЦП «Поддержка, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы» и ФЦП «Развитие единой государственной системы регистрации прав и кадастрового учета недвижимости (2014-2019 годы)» предусмотрено достижение следующих количественных показателей пунктов государственной спутниковой сети к 2020 году:

- 80 пунктов ФАГС;
- 350 пунктов ВГС;
- 6 000 пунктов СГС-1.

Это позволит достичь к 2020 году следующих точностных характеристик системы координат ГСК-2011:

- погрешность взаимного положения пунктов ФАГС – 0.5 см;
- погрешность геоцентричности системы координат ГСК-2011 – 1 см;
- погрешность распространения системы координат ГСК-2011 на территории Российской Федерации, реализуемая системой ГЛОНАСС – 2 см;
- погрешность цифровой модели высот квазигеоида – 5 см.

Динамика изменений точностных характеристик системы координат ГСК-2011 показана на рисунке 8.

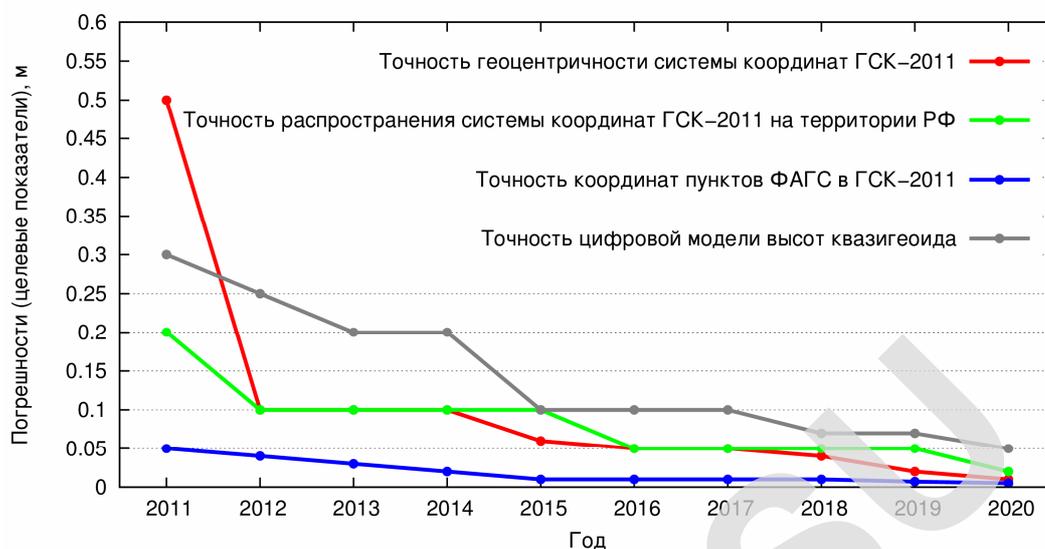


Рис. 8. Динамика изменений точностных характеристик системы координат ГСК-2011

Связь системы координат ГСК-2011 с системами координат, в которых ведутся работы на территории Российской Федерации. В таблице 3 приведены значения элементов трансформирования и их средние квадратические погрешности для систем координат, используемых на территории Российской Федерации в настоящее время.

Таблица 3

Исходная система (А)	Конечная система (Б)	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	ω_x 10^3 угл. с	ω_y 10^3 угл. с	ω_z 10^3 угл. с	$m \times 10^6$
СК-42	ГСК-2011	+23.56 ± 2.00	-140.86 ± 2.00	-79.77 ± 3.00	-2 ± 10	-346 ± 10	-794 ± 10	-0.227 ± 0.25
СК-95	ГСК-2011	+24.65 ± 0.43	-129.14 ± 0.37	-83.06 ± 0.54	-67 ± 10	+4 ± 10	+129 ± 10	-0.175 ± 0.2
ПЗ-90	ГСК-2011	-1.443 ± 0.2	+0.170 ± 0.2	+0.230 ± 0.3	-1.738 ± 1	+3.559 ± 1	-134.263 ± 1	-0.2274 ± 0.06
ПЗ-90.02	ГСК-2011	-0.373 ± 0.1	+0.2 ± 0.1	+0.210 ± 0.2	-1.738 ± 1	+3.559 ± 0.5	-4.263 ± 0.5	-0.0074 ± 0.05
ПЗ-90.11	ГСК-2011	+0.000 ± 0.008	-0.014 ± 0.018	+0.008 ± 0.011	+0.562 ± 0.698	+0.019 ± 0.259	-0.053 ± 0.227	+0.0006 ± 0.001
WGS-84 (G1150)	ГСК-2011	-0.34 ± 0.1	+0.47 ± 0.1	+1.13 ± 0.2	-1.738 ± 1	+3.559 ± 0.5	+65.737 ± 0.5	-0.1074 ± 0.05
ITRF-2008	ГСК-2011	+0.002 ± 0.01	-0.003 ± 0.02	-0.003 ± 0.01	+0.053 ± 0.7	+0.093 ± 0.26	-0.012 ± 0.23	+0.0008 ± 0.001

Определение параметров связи системы координат ГСК-2011 с другими системами координат выполнялось путем сравнения координат пунктов государственной геодезической сети известных в других системах координат и полученных по результатам спутниковых определений координат этих же пунктов в геоцентрической системе координат ГСК-2011. Вычисление геодезических высот пунктов в других системах координат выполнялось по известным нормальным высотам с использованием высот квазигеоида, полученных по моделям EGM-96 и ГАО-2012.

Определялись параметры связи для семи параметрического преобразования, формула которого имеет следующий вид:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{ГСК-2011} = (1 + m) \begin{pmatrix} 1 & +\omega_z & -\omega_y \\ -\omega_z & 1 & +\omega_x \\ +\omega_y & -\omega_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{СК} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix},$$

где $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ – линейные элементы преобразования, м;
 $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – угловые элементы преобразование, рад;
 m – дифференциальное различие масштабов систем координат.

Вычисление параметров преобразования выполнялось по программе Pinnacle после отбраковки явных «выбросов» в остаточных отклонениях по координатам.

Обеспечение потребителей информацией, необходимой для определения координат объектов в ГСК-2011. С целью доведения данных о пунктах государственной геодезической сети ГСК-2011 до потребителей Росреестром на всю территорию Российской Федерации составляются и издаются в бумажном и электронном видах каталоги геодезических пунктов.

Для обеспечения преемственности с материалами, созданными в системах координат СК-42 и СК-95, каталоги пунктов триангуляции и полигонометрии 1-4 класса в системе координат ГСК-2011 были составлены по номенклатурным листам государственных топографических карт масштаба 1:200 000 в соответствии с «Инструкцией по составлению и изданию каталогов геодезических пунктов» ГКИНП (ГНТА) – 01-014-02.

Каталоги пунктов для каждой спутниковой сети имеют свою собственную структуру и содержание и составлены одним томом на всю территорию Российской Федерации. На рисунке 9 приведены фрагменты каталога пунктов ФАГС.

В каталоги спутниковых сетей помещены все виды координат геодезических пунктов в системе координат ГСК-2011: геоцентрические прямоугольные координаты X, Y, Z , геодезические координаты B, L, H , плоские

прямоугольные координаты x , y в проекции Гаусса-Крюгера с шестиградусными зонами.

Наряду с геодезическими высотами в каталог также помещены нормальные высоты пунктов в Балтийской системе высот 1977 года и высоты квазигеоида над общим земным эллипсоидом.

Все значения координат и высот приведены с указанием класса пункта и способа определения.

Кроме того, каталоги пространственных прямоугольных координат пунктов ФАГС, совмещенных с пунктами наблюдений параметров вращения Земли ГСВЧ, ежегодно публикуются с указанием эпохи в специальных бюллетенях ГСВЧ.

Помимо этого, в соответствии с пунктом 4 постановления Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 1463 «О единых государственных системах координат» информацию о составе, техническом оснащении и местоположении геодезических пунктов ГСК-2011, за исключением информации, относящейся к государственной тайне, планируется размещать на официальном сайте Росреестра, ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» и Центра точных эфемерид Росреестра (рис. 10 и 11).

Пункт **ВЕЛИКИЙ НОВГОРОД**
 Принадлежность: Росреестр
 Список центров входящих в пункт «Великий Новгород».

Центры:

Пункт, адрес, тип, номер знака	ID	Исчисленные географические координаты	Нормальная высота (метр I.00000)	Нормальная высота (метр I.GM)
Великий Новгород Центр Работы Ул. 192 (для приращивания, вращающейся Земли) Номер знака: 608	NOVG	173003, Великий Новгород ГСЦ, ул. Горького, д.17/п. Центр ГСК-2011	0-34-31V	
Геодезия в системе ГСК-2011 (эпоха 2011.0)			X = 2652980 м	Y = 1731970 м
Геодезия в системе СИ-95			X = 4492133,544	Y = 4396319,775
Высота			H = 44,2 м	

Название, ID	Индикатор
Рабочий Великий Новгород, NOVG	
Приближенные координаты	
B 58° 22' 00"	L 41° 15' 45" страница
Основной Новгород основной	
Приближенные координаты	
B 58° 22' 00"	L 41° 15' 45" страница
Контрольный Гравиметрический пункт №2051 (п. 197)	
Приближенные координаты	
B 58° 29' 47"	L 41° 14' 46" страница

Связующие пункты:

Название	Индикатор
Нивелировка Фнд.рп.7336 (II кв.)	
Приближенные координаты	
B 58° 29' 58"	L 31° 13' 14" страница
Нивелировка	
Приближенные координаты	
B	L страница
Триангуляция Ветка (кв.)	
Приближенные координаты	
B 57° 44' 49"	L 33° 02' 24" страница
Триангуляция	
Приближенные координаты	
B	L страница




Рис. 9. Фрагменты каталога пунктов ФАГС



Рис. 9. Фрагменты каталога пунктов ФАГС (окончание; начало – см. с. 62)

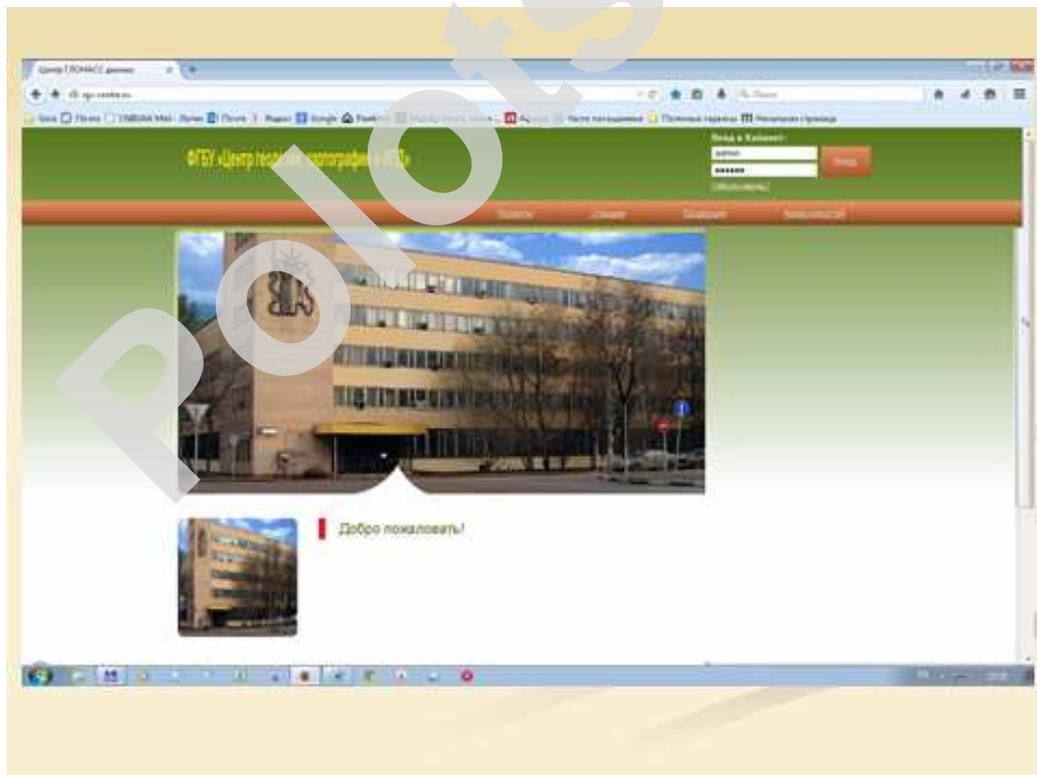


Рис. 10. Главная страница сайта Центра точных эфемерид Росреестра (Интернет-адрес: <http://rgs-centre.ru/>)

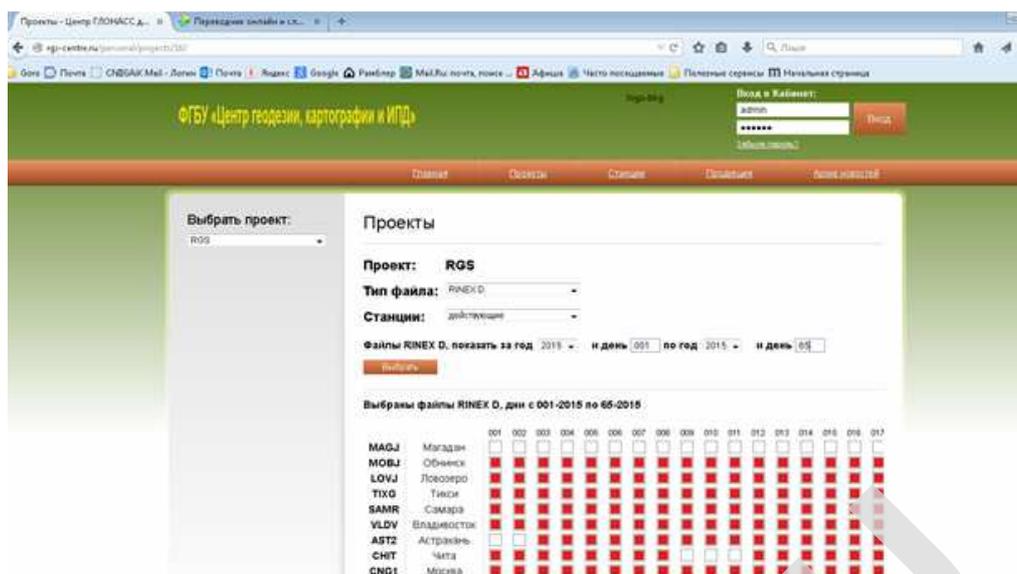


Рис. 11. Страница сведений об измерениях на пунктах ФАГС Росреестра на сайте Центра точных эфемерид

Каталоги пунктов геодезических сетей сгущения, геодезических сетей специального назначения и съемочных сетей будут составляться, издаваться и вестись соответствующими федеральными органами исполнительной власти, органами власти субъектов Российской Федерации и муниципального управления, а также предприятиями и организациями для нужд которых создаются эти сети.

Обеспечение перехода к ГСК-2011. В соответствии с пунктом 2 постановления Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 1463 «О единых государственных системах координат» с 1 января 2017 года все геодезические и картографические работы должны выполняться в системе координат ГСК-2011.

С этой целью в период 2014-2016 гг. были проведены следующие основные мероприятия по обеспечению перехода к ГСК-2011:

- подготовлены методические указания по технологии перехода к ГСК-2011 при ведении государственного кадастра недвижимости;
- выполнен анализ причин региональных деформаций МСК субъектов РФ и разработаны методы их устранения;
- разработаны технологические решения проблемы перевода в ГСК-2011 геодезических и картографических материалов, выполненных ранее в других системах координат;
- разработано программное обеспечение реализации перехода от существующих систем координат к ГСК-2011;
- создана высокоточная цифровая модель высот квазигеоида над эллипсоидом системы координат ГСК-2011 на территорию Российской Федерации;

– вычислены поправки к значениям уклонений отвесных линий за переход к системе координат ГСК-2011 на территории Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации ГКИНП (ГНТА) – 01– 006 – 03. – М., 2004 г.
2. Инструкция по построению государственной геодезической спутниковой сети, утвержденная Федеральной службой геодезии и картографии. – 2000.
3. Методические указания по построению государственных геодезических сетей с применением глобальных навигационных спутниковых систем (проект). – М, 1997.
4. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03. – М., ЦНИИГАиК, 2003 .
5. Руководство по размещению спутниковых и наземных геодезических измерений, выполненных в Государственной геодезической сети РФ, в файлах унифицированного формата “Форма 4”. Версия 1.0 (Проект). – М., 2005.
6. Инструкция по составлению и изданию каталогов координат геодезических пунктов, ГКИНП (ГНТА)-01-014-02. – М., ЦНИИГАиК, 2002.
7. Руководство пользователя. Программный комплекс Геомастер 2. Версия 2. – М., ЦНИИГАиК, 2010.
8. Демьянов, Г.В. Государственные геодезические сети, современное состояние и перспективы развития / Г.В. Демьянов // Геодезия и картография. – 2008. – № 2.
9. Демьянов, Г.В. Проблемы непрерывного совершенствования ГГС и геоцентрической системы координат России / Г.В. Демьянов, А.Н.Майоров, Г.Г. Побединский // Геопрофи. – 2011. – № 2.
10. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек : ГОСТ Р 51794-2008.

EXPERIENCE OF RUSSIAN FEDERATION FOR ESTABLISHING THE STATE GEODETIC COORDINATE SYSTEM 2011

B. GOROBEC, G. EFIMOV, I. STOLYAROV

Are given an overview of the state geodetic coordinate system 2011 and the main results of its implementation in the territory of the Russian Federation. The parameters of the transition from the coordinate system used on the territory of the Russian Federation at present, by 2011, the system of coordinates. The prospects of further development of the system of coordinates for the period 2011 to 2020.

Keywords: *coordinate system, the geodetic network, geodetic support.*

**О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ НИВЕЛИРОВАНИЯ
I КЛАССА НА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ
ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ**

*канд. географ. наук, доц. В.И. МИХАЙЛОВ,
М.Л. КОЛЯГО, А.В. КРЮК*

(Белорусский национальный технический университет)

Рассмотрены некоторые особенности нивелирования I класса на Санкт-Петербургском геодезическом полигоне, которые заключаются в следующем: в обследовании и реконструкции существующей сети геодезических пунктов, в том числе спутниковыми методами; в двойном нивелировании I класса цифровым нивелиром DiNi03 в пределах Санкт-Петербурга и его окрестностей; в камеральной обработке результатов нивелирования в программном комплексе КРЕДО-НИВЕЛИР.

Проведен сравнительный анализ результатов нивелирования прошлых лет и данных, полученных в ходе высокоточных измерений. Были установлены деформации реперов на 3–5 мм / год, которые обусловлены современными вертикальными движениями и просадками земной поверхности в результате хозяйственной деятельности.

Геодинамический полигон располагается на территории Санкт-Петербурга и пригородной зоны. Цель геодезических работ – обследование и реконструкция существующей сети геодезических пунктов, производство нивелирования I класса, и изучение СВДЗК города.

Обследование существующей сети реперов (рис. 1) включало следующие мероприятия:

- координирование вновь заложенных фундаментальных реперов;
- технический осмотр центров знаков с целью определения их состояния;
- влияние инженерно-геологических факторов на устойчивость реперов;
- восстановление внешнего оформления пунктов;
- фотографирование места закладки реперов;
- корректировка абрисов и описаний местоположения пунктов;
- определение навигационных координат новых пунктов в системе координат WGS-84.



Рис. 1. Схема существующей сети и проектируемых линий нивелирования I класса

На этапе обследования было выполнено координирование 15 вновь заложенных реперов с точностью 2-ого разряда полигонометрии. Координирование проводилось спутниковыми методами. Сеансы наблюдений на пунктах спутниковой сети выполнялись в статистическом режиме с интервалом записи измерений через 5 с, продолжительность наблюдений составляла около часа. Схема создания спутниковой геодезической сети представлена на рисунке 2.

Всего на данном объекте обследовано 268 знаков, из которых не найдено 6, утрачено 22, непригодны к использованию 8. На всех сохранившихся нивелирных знаках марки очищались от ржавчины металлической щеткой и покрывались битумным лаком.

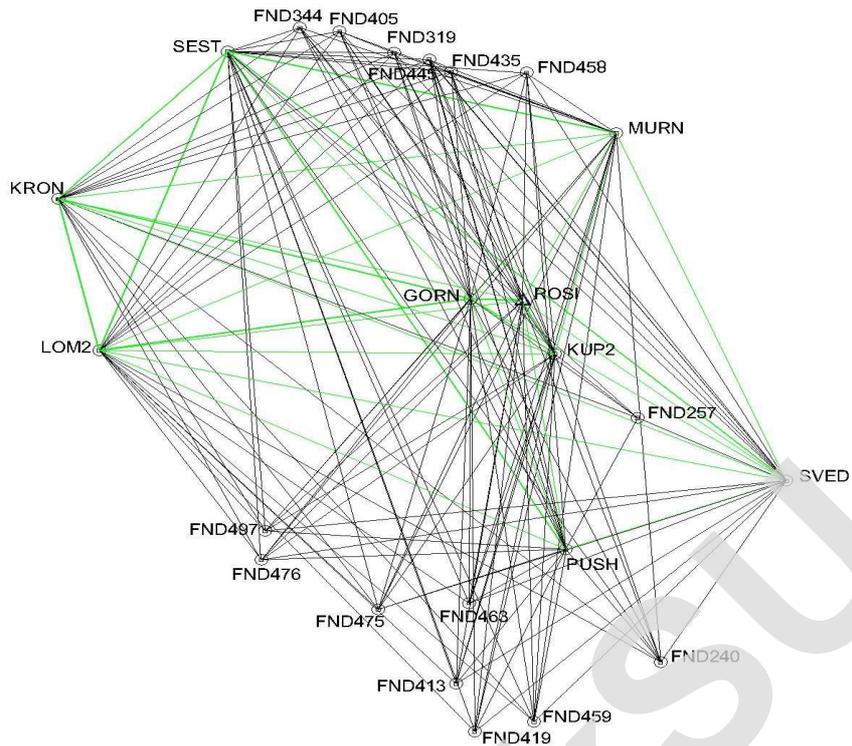


Рис. 2. Схема создания спутниковой геодезической сети

Примеры исходного и вновь заложеного пунктов представлены на рисунках 3, 4, 5, 6 (а, б).

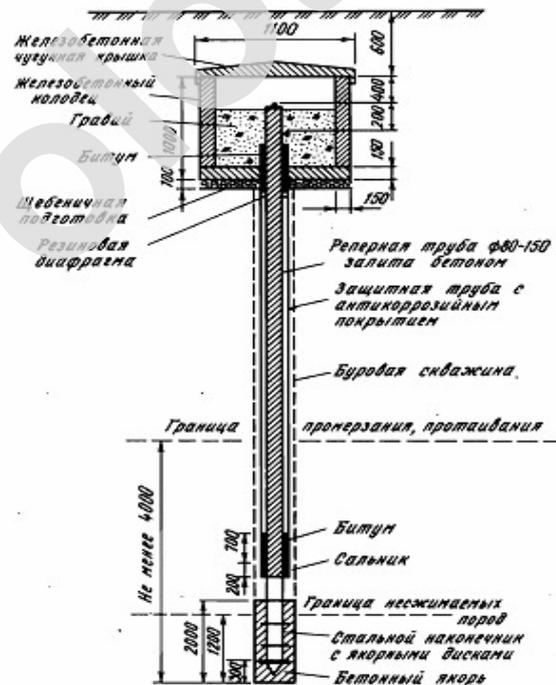


Рис. 3. Вековой трубчатый репер. Тип 175к



Рис. 4. Новый заложённый фундаментальный репер. Внешний вид



Рис. 5. Новый заложённый фундаментальный репер

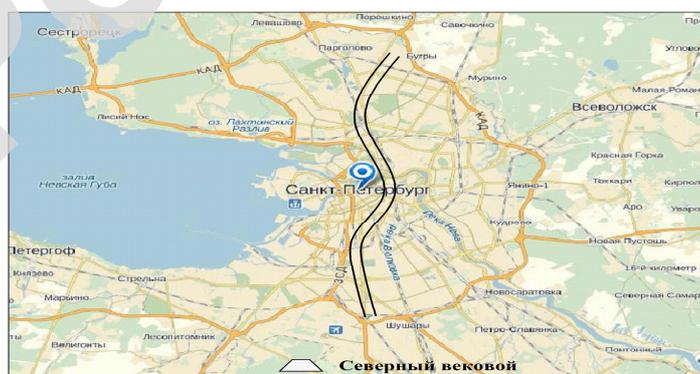


Рис. 6., а



Рис. 6 б

Линия нивелирования № 8 (рис. 7) проходит по г. Санкт-Петербургу с севера на юг через исторический центр города. Данная линия имела самую высокую степень сложности ее выполнения из-за большой транспортной нагрузки и скопления людей. Работы выполнялись в ночное время суток в период «белых ночей». Особое внимание уделено секции нивелирования, проходящей по Литейному мосту. Для достижения требуемой точности на данном участке уменьшалась максимальная длина плеча, работы проводились при минимальной нагрузке на мост и его вибрации. В качестве связующих точек использовались стальные дюбель-гвозди.



Условные обозначения:

-  - фундаментальный или вековой репер
-  - линия нивелирования I класса

Рис. 7. Схема расположения линии нивелирования № 8

При нивелировании по плотному грунту применялись стальные косяки, по мягкому и влажному грунту деревянные колья с гвоздями в торцах. В местах резкого перепада высот использовались трехметровые инварные рейки.

Для выполнения нивелирования I класса использовался поверенный цилиндрический нивелир Trimble Dini03 (рис. 8) с односторонними прецизионными штрих-кодowymi рейками длиной один, два и три метра (по две рейки). Рейки снабжены круглыми уровнями с ценой деления 10 мм, натяжение инварных полос – 20 ± 1 кг. Для взятия отсчетов на стенных марках и реперах использовались рейки длиной 1 м.

Этому прибору для выполнения измерений требуется всего 30см сегмента на штрих-кодовой рейке, что позволяет с одной станции измерить больше превышений.

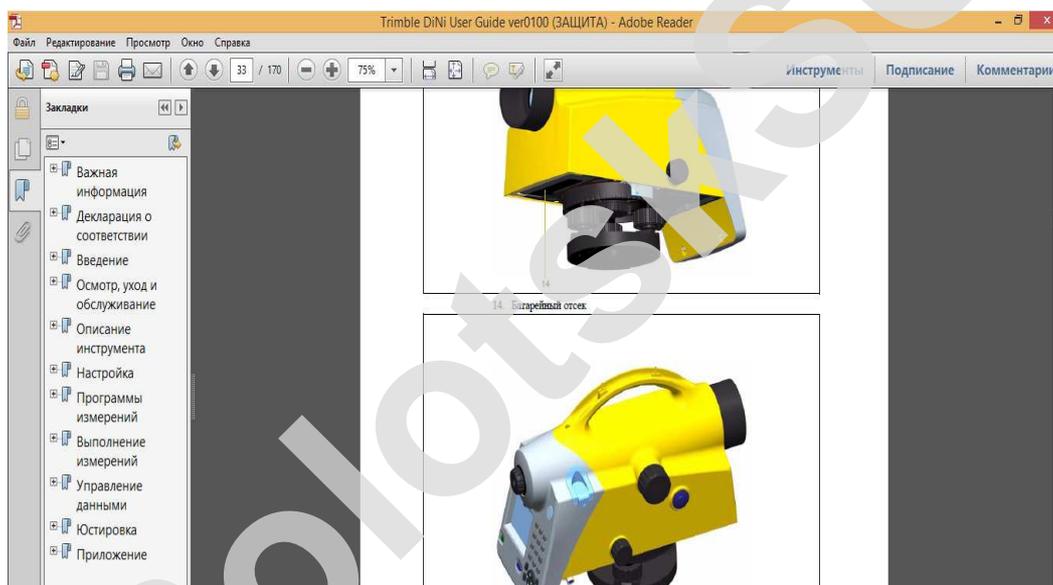


Рис.8. Нивелир Dini 03

Для автоматического контроля параметров измерений производилась настройка прибора через пункт меню и вводилась информация: номер репера, номер станции, программа наблюдений, единицы измерения, дискретность результатов измерений, приращение номеров точек.

Исходными для выполнения высокоточного нивелирования I класса являлись узловые пункты I класса, которые были определены при ранее выполненных работах по нивелированию.

Нивелирная трасса до начала работ разбивалась с помощью калибровочного троса, а также дальномером нивелира для соблюдения условий допустимых неравенств плеч на станции.

Нивелирование I класса производилось в прямом и обратном направлениях способом из середины по двум парам костылей, образующих две отдельные линии: правую, соответствующую ходу, по правым костылям, и левую по левым костылям.

Поскольку инварные штрих кодовые рейки односторонние, поэтому измерения на станции велись с изменением между приемами горизонта прибора.

В прямом и обратном направлениях нивелирование выполнялось по одной и той же трассе. При этом количество станций в секции было определено четным и по возможности одинаковым. При перемене направления нивелирования рейки менялись местами.

При работе на станции соблюдался следующий порядок наблюдений (прямой ход) (таблица).

В обратном ходе порядок взятия отсчетов меняется на противоположный.

Таблица

Порядок наблюдений на станциях при нивелировании I класса

Нечетная станция, правая линия	Нечетная станция, левая линия	Четная станция, правая линия	Четная станция, левая линия
1 Приведение пузырька установочного уровня на середину			
2 отсчет по задней рейке	2 отсчет по задней рейке	2 отсчет по передней рейке	2 отсчет по передней рейке 3 отсчет по задней рейке
3 отсчет по передней рейке	3 отсчет по передней рейке	3 отсчет по задней рейке	
4 Изменение горизонта прибора и повторное приведение пузырька уровня на середину			
5 отсчет по передней рейке	5 отсчет по передней рейке	5 отсчет по задней рейке	5 отсчет по задней рейке 6 отсчет по передней рейке
6 отсчет по задней рейке	6 отсчет по задней рейке	6 отсчет по передней рейке	
Схема измерений: (ЗППЗ) _{пр} (ЗППЗ) _{лев}		(ППЗП) _{пр} (ППЗП) _{лев}	

Допуски для производства нивелирования I класса на ГДП: длина визирного луча должна быть не более 50 м и не менее 15 м; разность плеч не более 0,3 м; накопление разностей плеч на секции не более 0,8 м. Расхождение по секции средних значений превышений прямого и обратного ходов и превышений, полученных по левой и правой линии должны быть не более 2 мм (по правой линии), 1 мм (по левой линии).

Камеральная обработка результатов нивелирования выполнялась в программном комплексе CREDO-НИВЕЛИР. В конечный результат об-

работки и уравнивания входит: схема нивелирования I класса на территории Санкт-Петербурга; ведомости анализа и обработки полученных данных; накопление разностей превышений нивелирования I класса; расхождения прямых и обратных ходов; СКП на 1 км хода; характеристики качества нивелирования; ведомость превышений и высот нивелирования I класса.

Важным показателем камеральной обработки результатов нивелирования является проведение сравнительного анализа результатов измерений работ прошлых лет с данными, полученными в процессе выполнения нивелирования I класса. Это обстоятельство дает возможность определить тенденцию к общему уменьшению отметок в среднем со скоростью 3–5 мм/год.

Для характеристики трассы нивелирования был построен профиль местности по отметкам реперов на линии 8 (рис. 8). На нем наглядно видно, что по трассе имеются существенные перепады высот, что затрудняло процесс высокоточного нивелирования.



Рис. 8

График накопления разностей превышений изображен на рисунке 9. На основании анализа этого графика можно сделать следующие выводы;

– движение нивелирных знаков обусловлено объективными факторами, т.е. современными движениями земной коры или ее деформациями

в результате хозяйственной деятельности человека, а не ошибками измерений, плохой закладкой репера, сезонными колебаниями грунта;

– самыми подвижными являются первые десять реперов, так как они находятся в городе со множеством каналов, расположенных на болотистых землях, и с большой транспортной нагрузкой.

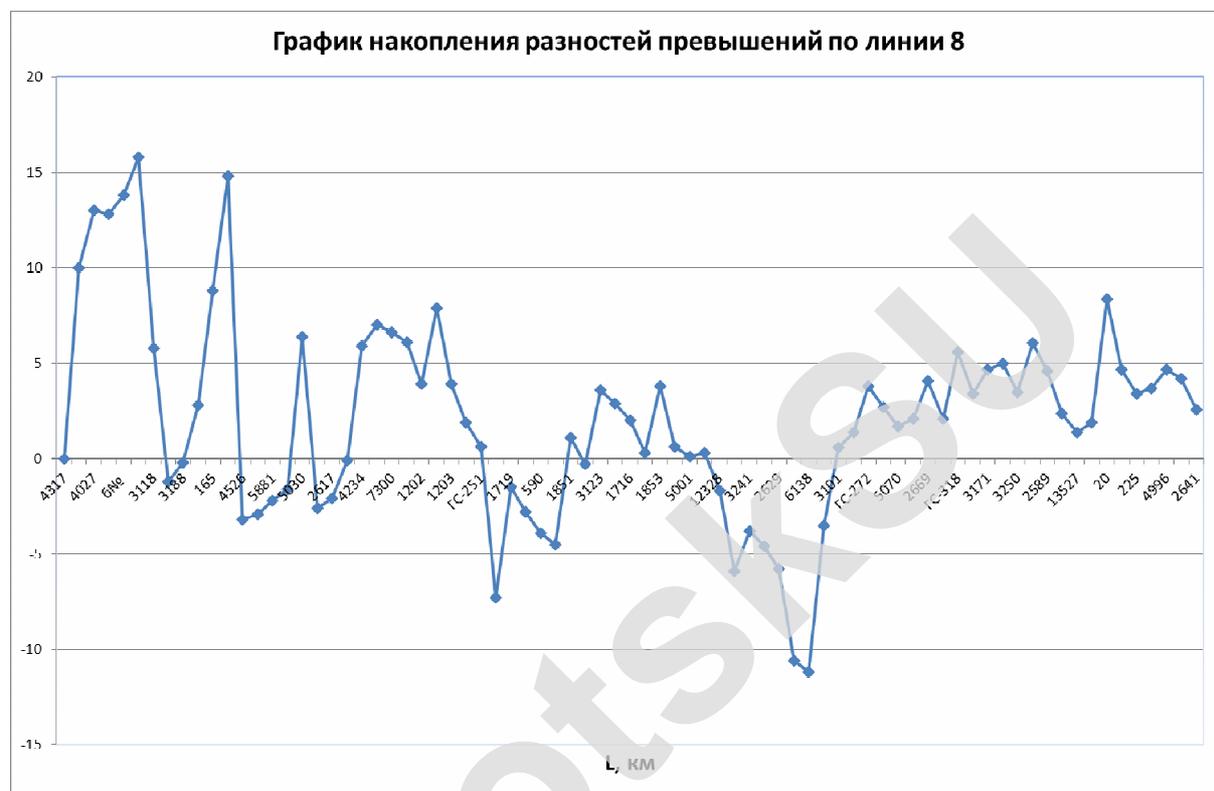


Рис. 9

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов / Федеральная служба геодезии и картографии России. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2004. – 244 с.
2. Шароглазова, Г.А. Применение геодезических методов в геодинимике : учеб.-метод. пособие / Шароглазова Г.А. – Новополюк : ПГУ, 2002. – 192 с.

SOME FEATURES OF CLASS I LEVELLING AT THE ST PETERSBURG GEODESIC POLYGON

A. CRYUK

This article reviews some of the features of class I levelling at the St Petersburg geodesic polygon, which are as follows: in the survey and reconstruc-

tion of existing geodetic points network, including satellite methods; class I double levelling by the digital levelling box DiNi03 within St Petersburg and the environs; in office processing levelling results in the programme package CREDO-level.

The work carries out a comparative analysis of the levelling results of previous years and the data obtained in the course of high-precision measurements. There were determined deformations of the benchmarks to 3–5 mm / year, which were caused by modern vertical movements and subsidence of the earth's surface as a result of economic activity.

УДК 528.16:681.3

ПРИМЕНЕНИЯ GPS-ПРИЕМНИКОВ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ТОЧНОСТИ ДЛЯ ОТГРАНИЧЕНИЯ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ

канд. техн. наук О.В. КРАВЧЕНКО

(Белорусский государственный технологический университет)

Рассмотрены вопросы применения автономных и относительных методов спутниковых определений координат под пологом древостоя. Приведены результаты точности определения координат пунктов навигационными и геодезическими GPS-приемниками. Выдвинуты предложения по повышению точности и надежности результатов спутниковых измерений.

Выполнение геодезических измерений с применением GPS-оборудования для целей лесоустройства и данных учета лесного фонда имеет существенные преимущества перед традиционными методами геодезических измерений.

Такие методы дают возможность автоматизировать процесс сбора и навигационной привязки данных лесных измерений, исключают необходимость прямой видимости между пунктами, позволяют выполнять наблюдения в любую погоду, как в дневное, так и в ночное время и др. В то же время применение GPS-оборудования при работе под пологом древостоя имеет свои особенности, затрудняющие прохождения сигналов от спутников до GPS-приемников, что отрицательно сказывается на точности позиционирования.

Целью исследований является анализ точности результатов автономных и относительных методов спутниковых определений с возможностью

дальнейшего использования полученных данных для отграничения лесных участков.

Полевые измерения выполнены на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза навигационными приемниками GPS Etrex, GPSmap 60С фирмы Garmin и одночастотными приемниками геодезического класса Trimble R3.

Навигационными приемниками были выполнены измерения под кронами деревьев в стандартном режиме и с подключением функции приема сигналов со спутников EGNOS.

Результаты исследований представлены в таблице

Таблица

Результаты оценки точности навигационных определений

Режим измерений	Приемник Garmin GPSmap			Приемник Garmin Etrex		
	m_x	m_y	$M_{x,y}$	m_x	m_y	$M_{x,y}$
Стандартный режим	6,45	7,61	9,98	6,85	9,94	12,08
Прием сигналов со спутников EGNOS	7,88	8,46	11,56	9,11	10,41	13,84

Проанализировав данные таблицы, можно с определенной долей уверенности сказать, что использование сигналов EGNOS не только не улучшает, а даже ухудшает точность определения координат. Это объясняется отсутствием на территориях нашей республики и России сети базовых станций, которые бы могли правильно и точно вычислять ионосферные задержки и через геостационарные спутники ретранслировать их пользователям.

Данные исследований свидетельствуют о том, что точность определения координат опорных пунктов навигационными приемниками находится в пределах 10–2 м в плане, что вполне достаточно для выполнения привязки аэро- и космических снимков при создании тематических карт лесных ресурсов. Эти данные соответствуют данным, приведенным в [1–2].

Если использовать для привязки материалов аэрокосмических съемок существующие планы или карты, то следует учитывать, что средняя погрешность положения точек и контуров на таких картах и планах обычно составляет 0,75 мм в масштабе карты [1].

Например, точность определения контуров на топографической карте масштаба 1:50 000 соответствует на местности расстоянию в 30–40 м, а с использованием GPS-приемника дает точность в пределах 10–12 м.

При использовании одночастотных приемников геодезического класса Trimble R3 в режиме быстрая статика точность определения координат опорных пунктов составляет порядка 0,15 см в плане [3].

Точность определения границ лесных площадей в плане кинематическим режимом колеблется в пределах от 1,4 м до 2 м и зависит от породного состава.

Таким образом, при работе приемниками навигационного класса для получения точности выше 10–12 м в плане необходимо предварительно проводить выбор соответствующих мест расположения опорных точек, а при возможности и необходимости выполнять расчистку этих мест от растительности.

При работе одночастотными GPS-приемниками для повышения точности и надежности геодезической информации необходимо на этапе планирования спутниковых измерений:

- получать альманах, включающий данные о спутниках, их положении, времени восхождения и нахождения в пределах заданной территории;
- определять лучшие «окна» для спутниковых измерений.

При проведении полевых измерений:

- количество наблюдаемых спутников над каждым определяемым пунктом должно быть не менее 6;
- делать избыточные измерения;
- для кинематических режимов съемки увеличивать время пребывания (количество эпох измерений) на пункте 5–6 раз по сравнению с установленным в приемнике по умолчанию, то есть до начала полевых измерений рекомендуется создавать свой собственный стиль съемки в приемнике.

На этапе постобработки результатов в камеральных условиях:

- проводить анализ данных со спутников;
- исключать те промежутки времени, когда прием сигналов был слабым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парахин, С.В. Поиск пунктов ГГС с помощью навигационного приемника GPS и ГИС «Карта 2005» / С.В. Парахин, О.Н. Бейчук, Л.С. Терентьева // Геопрофи. – 2007. – № 2. – С.16–18.
2. Манович, В.Н. Применение навигационных приемников GPS для построения цифровых карт и планов лесных ресурсов/ В.Н. Манович, В.В. Максимук // Геопрофи. – 2003. – № 5. – С. 7–8.
3. Кравченко, О.В. Исследование точности координирования пунктов одночастотной спутниковой аппаратурой Trimble R3 под пологом древостоя / О.В. Кравченко // Науки о Земле на современном этапе : сб. статей V Межд. научно-практ.конф., Москва, 2012 г. – С. 45–49.

APPLICATIONS OF GRS-RECEIVERS OF DIFFERENT CLASSES OF EXACTNESS FOR TAKING OF WOOD LOTS

O. KRAVCHENKO

In the article the questions of application of autonomous and relative methods of satellite determinations of co-ordinates are considered under pologom of drevostoya. The results of exactness of determination of co-ordinates of points are resulted by navigation and geodesic receivers. Done suggestion on the increase of exactness and reliability of results of the satellite measurings.

УДК 528.48

КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

д-р техн. наук, проф. В.Г. БУРАЧЕК, Т.Н. МАЛИК
(Университет новейших технологий, Украина)

Рассматривается актуальная задача повышения степени автоматизации инженерно-геодезического мониторинга деформаций сложных инженерных сооружений в период эксплуатации. Концепция позволяет решать комплекс задач: сквозной автоматизированный геодезический контроль положения элементов всего инженерного сооружения в целом с повышенной точностью и оперативностью, в том числе мониторинг элементов инженерного сооружения в ограниченных или недоступных для визуальных измерений местах; контроль техногенной опасности инженерного сооружения в режиме реального времени.

Ключевые слова: геодезический мониторинг деформаций, деформация сооружения, безопасность персонала, оптико-электронные приборы.

Исследование поведения контроля инженерных сооружений в после-строительный период является важным этапом введения в эксплуатацию новых сооружений и зданий. Применяемые методы контроля деформаций сооружений содержат большой объем ручного труда, являются неоперативными, их точность не всегда отвечает современным требованиям.

В [1–2] рассмотрена разработка высокоточной оптико-электронной системы контроля деформаций инженерных сооружений. Система состоит

из электронных блоков: управления, оценки состояния конструкции инженерного сооружения, мониторинга деформаций сооружения, сигнализации и оповещения и др. Система контроля основана на методе контроля положения элементов сооружения путем фотоэлектрического измерения отклонений элементов сооружения с помощью фотоэлектрической цепи, созданной каналами двойного визирования, содержащими кольцевой источник излучения света, объективы и двойную фотоприемную матрицу.

Обобщенная блок-схема створной системы контроля деформаций двойной фотоэлектрической цепи (ДФЭЦ) на линейном участке инженерного сооружения, состоящего из n оптико-электронных приборов состоит из следующих основных блоков [1] (рис. 1).

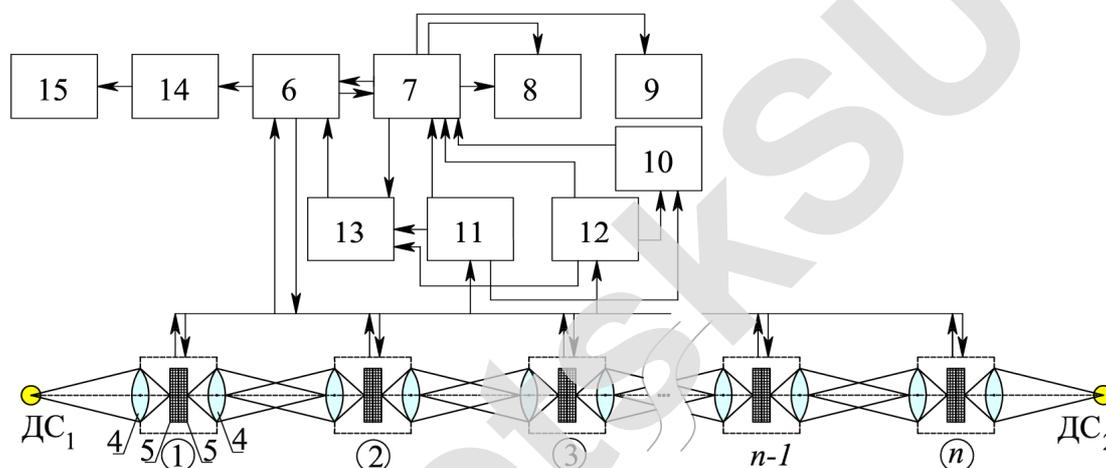


Рис. 1. Блок-схема системы ДФЭЦ на линейном участке инженерного сооружения:

1, 2, ..., $n-1$, n – оптико-электронные двуканальные приборы системы ДФЭЦ; ДС₁, ДС₂ – визирные опорные марки створа; 4 – объективы приборов системы ДФЭЦ, установленные в оправе; 5 – блоки двойных фотоэлектрических матриц; 6 – блок управления; 7 – блок регистрации, преобразования и обработки информации; 8 – блок индикации; 9 – блок записи и хранения информации; 10 – блок оценки состояния жесткости конструкций инженерного сооружения; 11 – блок мониторинга осадки ΔZ ; 12 – блок мониторинга деформаций пространственной сети ΔX , ΔY , ΔZ ; 13 – блок оценки техногенной ситуации; 14 – блок сигнализации и оповещения; 15 – средства связи

Полученные изображения визирных марок на матрицах преобразуются в электрические сигналы с отсчетами a_1 и a_2 величин проекций лучей на двух осях каждой из матриц. Угол между векторами лучей, сходящихся на матрице, будет равен

$$\beta = 180^\circ - \left(\frac{a_1 \cdot \rho''}{f_1} + \frac{a_2 \cdot \rho''}{f_2} \right),$$

где $f_1 = f_2 = f$ – фокусные или рабочие расстояния объективов O_1 и O_2 прибора ДФЭЦ, $\rho = 206265''$; следовательно

$$\beta = 180^\circ - \frac{(a_1 + a_2)}{f} \rho'' . \quad [1].$$

Приборы ДФЭЦ составляют створную линию с двойной фотоэлектрической привязкой приборов друг к другу. Из линии ДФЭЦ создают плоскую или пространственную сеть, встроенную в конструкцию инженерного сооружения.

В качестве референтных линий (на рисунке 2 они обозначены как линии I-I, II-II, III-III, IV-IV) используют систему ДФЭЦ, которую развивают в фундаментной части здания (или перекрытии первого этажа) и привязывают к опорным геодезическим знакам-маркам 1, установленным и закрепленным в стабильных зонах местности [1].

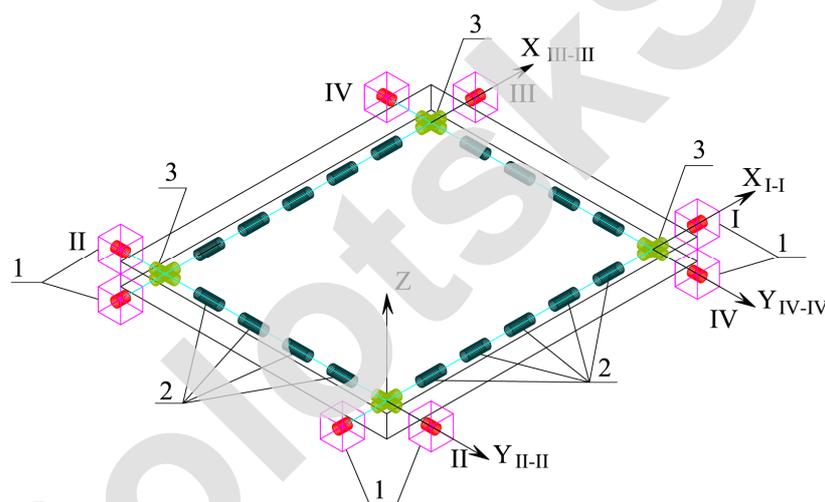


Рис. 2. Схема расположения приборов ДФЭЦ в фундаментной части сооружения:

1 – фундаментальная (опорная) геодезическая визирная марка; 2 – двойной оптико-электронный прибор ДФЭЦ; 3 – четырехканальный (крестообразный) оптико-электронный прибор ДФЭЦ; I-I, II-II, III-III, IV-IV – створные линии ДФЭЦ

Автоматическая встроенная в инженерное сооружение система двойной фотоэлектрической цепи позволяет осуществлять в реальном масштабе времени контроль деформаций сооружения и формировать сигнальную информацию о состоянии геометрии элементов сооружения. Это является важным при эксплуатации техногенноопасных сложных инженерных сооружений и обеспечивает своевременное предупреждение об опасности разрушения в сооружении и принятии решения об эвакуации людей и ценного оборудования из опасной зоны.

Высокая точность системы ДФЭЦ дает возможность применять створные линии и пространственные сети ДФЭЦ в прецизионных сооружениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурачек, В.Г. Автоматизированная система точного геодезического контроля деформаций инженерных сооружений / В.Г. Бурачек, Т.Н. Малик, О.В. Лиховолов // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. / под ред. В.С. Шварцфельда. – Хабаровск : ДВГУПС, 2015. – Вып. 3. – С. 86–98.
2. Оптико-электронный вузол : пат. України на винахід № 101052, МПК G01C 5/00 (2013.01) / В.Г. Бурачек, Т.М. Малик, А.О. Кравченко, Н.М. Ликова ; Коледж інформаційних технологій та землевпорядкування Національного авіаційного університету. – № а201103113; заявл. 17.03.2011; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4. – 4 с. : іл.

THE CONCEPT OF AUTOMATED GEODETIC DEFORMATION MONITORING OF ENGINEERING STRUCTURES

V. BURACHEK, T. MALIK

The report focuses on solving urgent problems of raising the degree of automation of engineering and geodetic deformation monitoring of complex engineering structures during the operation. The concept allows us to solve complex problems: a through automated geodetic position control elements of all engineering structures with increased accuracy and efficiency, including monitoring of the engineering structure elements in limited or inaccessible for visual measurement locations; control of technogenic danger engineering structure in real-time.

Keywords: the geodetic deformation monitoring, deformation of a construction, safety of the personnel, optical electronic devices.

УДК 528.22.551.24 (075.8)

ВЛИЯНИЕ ОШИБОК ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА ПАРАМЕТРЫ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ

канд. техн. наук, доц. Г.А. ШАРОГЛАЗОВА,

д-р физ.-мат. наук В.Н. КОРОВКИН

(Полоцкий государственный университет, Беларусь)

Рассматривается проблема ошибок исходных данных при определении характеристик деформаций земной коры, определяемых на геодинимических полигонах по разностям уравненных координат между эпохами

измерений. Показано, что эта проблема не снимается при переходе на спутниковые средства измерений.

Ключевые слова: современные движения земной коры, геодинамический полигон, повторные геодезические измерения

Как известно, при определении характеристик горизонтальных деформаций земной коры по уравниваем величинам на локальных геодинамических полигонах (ГДП) существует проблема ошибок исходных данных. Появление этих ошибок обусловлено природными, а не инструментальными причинами. Поэтому она существует независимо от того, наземными или спутниковыми методами мы выполняем геодезические измерения. Проблема влияния ошибок исходных данных на характеристики современных движений земной коры (СДЗК) детально исследовалась при обработке результатов наземных геодезических измерений на ГДП [1, 2, 5]. К характеристикам горизонтальных деформаций земной коры тогда же были отнесены:

1. Разности наклонных дальностей.
2. Векторы горизонтальных смещений.
3. Компоненты деформаций, определяемые в соответствии с теорией упругости.

Сейчас из всех названных характеристик акцент сделан на векторы горизонтальных смещений, которые максимально зависят от системы отсчета и ошибок исходных данных.

$$R_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}; \quad (1)$$

$$\alpha_{R_i} = \arctg \left(\frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \right) \pm 180^\circ, \quad (2)$$

где R_i – длина вектора смещений на i -том пункте сети;

$\Delta x_i, \Delta y_i$ – разности уравниваемых координат между двумя сравниваемыми циклами измерений на i -м пункте сети;

α_{R_i} – дирекционный угол направления вектора смещений на i -м пункте сети.

Для уменьшения влияния ошибок исходных данных на векторы горизонтальных смещений при обработке плановых сетей на ГДП в [2] Даниловым предложено использовать Гельмертово преобразование, т.е. выполнить трансформирование координат 2-ой эпохи в соответствии с фор-

мулами (3) и векторы смещений определить уже по разностям трансформированных координат (формулы (4–5)).

$$\begin{aligned} X_i &= a + K_1 x_i - K_2 y_i; \\ Y_i &= b + K_1 y_i + K_2 x_i, \end{aligned} \quad (3)$$

где x_i, y_i – координаты пунктов в новой системе;

X_i, Y_i – координаты пунктов в старой системе;

a, b, K_1, K_2 – неизвестные параметры трансформирования, из которых a, b – смещения начала новой системы координат относительно старой соответственно по осям X, Y

$$K_1 = m \cos \alpha, \quad K_2 = m \sin \alpha,$$

где m – изменение масштаба новой системы координат относительно старой;

α – угол поворота новой системы координат относительно старой.

$$R_i = \sqrt{(x'_i - X_i)^2 + (y'_i - Y_i)^2}; \quad (4)$$

$$\alpha_{Ri} = \arctg \frac{(y'_i - Y_i)}{(x'_i - X_i)} \pm 180^\circ, \quad (5)$$

где x'_i, y'_i – трансформированные координаты новой эпохи.

Точность трансформирования m_T или точность вставки сети новой эпохи в систему стабильных пунктов сети старой эпохи оценивается по формуле

$$m_r = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r R_i^2}{r}}, \quad (6)$$

где R_i – значения векторов смещений на стабильных пунктах, по координатам которых были определены параметры трансформирования.

Для определения 4-х параметров трансформирования достаточно 2-ух пунктов с известными координатами в две сравниваемые эпохи. Данилов составлял переопределенную систему линейных уравнений и определял параметры трансформирования по способу наименьших квадратов.

Система стабильных пунктов у Данилова, по которым вычислялись параметры трансформирования, выбиралась по разностям измеренных величин между эпохами и по геолого-геофизическим данным. Однако на практике оказалось, что можно применить другой подход к выбору системы стабильных пунктов для определения параметров трансформирования, например, метод комбинаторики. Тогда для одной сети в результате получится несколько практически равноценных групп стабильных пунктов, приводящих к различным параметрам трансформирования и соответственно отличающимся векторным схемам. Далее, если мы на ГДП имеем 3 и более эпохи геодезических измерений, то при сравнении 1-ых двух эпох получим одну систему стабильных пунктов, а при сопоставлении последующих – уже другую систему стабильных пунктов. Это приведет в конечном итоге к несопоставимости полученных векторных схем.

Для исключения данной проблемы был выполнен анализ на возможность определения параметров трансформирования по всем пунктам сети, без деления их на стабильные и мобильные. Оказалось, что такой подход приводит к более достоверным результатам, чем подход определения параметров трансформирования по ограниченной совокупности пунктов сети.

Для уверенности в обоснованности такого простого подхода в каждом конкретном случае можно найти допустимый процент мобильных пунктов от общего числа всех пунктов в сети в зависимости от величин реальных смещений, при котором этими смещениями можно будет пренебречь, не теряя точности конечного результата, то есть точности определения параметров трансформирования.

Такой расчет рекомендуется произвести по формуле М.Д. Герасименко [6]

$$\frac{m}{n} \leq 0,11 \frac{\sum_{i=1}^n \left((X_i^2 + Y_i^2) \cdot W_i^2 \right)}{R^2 \frac{\sum_{i=1}^m (X_i^2 + Y_i^2)}{m}}, \quad (7)$$

где m – число мобильных пунктов;

n – число всех пунктов в сети;

X, Y – координаты пунктов;

R – средняя величина реальных (вызванных тектоническими причинами) смещений на мобильных пунктах;

W – «смещения», вызванные ошибками исходных данных и случайными погрешностями измерений.

Расчеты по формуле (7), выполненные для плановых сетей Камчатских ГДП, состоящих в среднем из 25 пунктов, показали, что ввиду малости величин реальных смещений на прогностических полигонах определение параметров трансформирования по всем пунктам сети является более надежным, чем нахождение этих параметров согласно методике Данилова, т.е. по ограниченной совокупности стабильных пунктов. Однако совершенно очевидно, что если повторные геодезические измерения на ГДП выполнены с целью регистрации последствий сильных землетрясений, то вычисление параметров трансформирования не может быть выполнено по всем пунктам сети, т.е. здесь подход Данилова становится определяющим.

Для уменьшения влияния ошибок исходных данных на векторы горизонтальных смещений, определяемых по разностям уравненных координат, используют также методику, основанную на теории уравнивания свободных геодезических сетей [1, 9–10], что, на наш взгляд, более эффективно, чем предыдущий метод. Под свободными геодезическими сетями здесь понимаются сети с недостаточным числом исходных данных для однозначного закрепления их в отсчетной системе (положение сети относительно начала системы координат, масштаб сети, ориентировка).

Согласно теории уравнивания свободных геодезических сетей решение системы нормальных уравнений

$$A^T P A X = A^T P l, \quad (8)$$

где X – вектор неизвестных параметров (поправок к приближенным координатам);

A – матрица коэффициентов при неизвестных размером $n \times m$;

P – матрица весов;

l – вектор наблюдений,

находится под двумя условиями

$$V^T P V = \min \quad X^T X = \min. \quad (9)$$

И имеет вид

$$X = -N^+ L, \quad (10)$$

где N^+ – псевдообратная матрица,

$$N^+ = (A^T P A)^+.$$

При обработке плановых сетей на ГДП координатная система, относительно которой получают решение (10), задается центром сети, т.е. средним значением координат всей сети ($X_{cp.}$, $Y_{cp.}$) для начальной эпохи.

На практике плановые сети на ГДП часто уравнивают по разностям измеренных величин между сравниваемыми циклами. Для этого случая формулы (8–10) переписутся в виде

$$N\delta x + L = 0, \quad (11)$$

где δx – вектор разностей координат двух эпох;
 N – матрица коэффициентов нормальных уравнений;
 L – матрица свободных членов.

$$\delta x = -N^+ L \quad (12)$$

N^+ может быть определена методом спектрального разложения. Решение (12) находится при двух условиях

$$V^T P V = \min \text{ и } \delta x^T \delta x = \min \quad (13)$$

где V – вектор поправок к результатам измерений;
 P – весовая матрица измерений.

Для оценки точности применяется общеизвестная методика, основанная на использовании корреляционной матрицы уравненных разностей координат

$$K_{\delta x} = \mu_0^2 N^+, \quad (14)$$

где μ_0 – средняя квадратическая ошибка единицы веса, полученная из уравнивания.

Строго говоря, необходимость выполнения 2-ого из условий (13) накладывает некоторые ограничения на реальные смещения мобильных пунктов, что не совсем корректно. В строгом смысле матрица N^+ должна определяться только по стабильным пунктам, а решение находится относительно координатного центра стабильных пунктов. То есть здесь, как и при использовании метода трансформирования, встает вопрос выбора стабильных пунктов со всеми вытекающими отсюда проблемами неоднозначности определения векторов горизонтальных смещений. Очевидно, что и в этом случае формула (7) может оказаться полезной, и при соблюдении заложенного в ней требования решение достаточно получить по всем пунктам сети.

Современные геодезисты, выполняя геодезические измерения на ГДП спутниковыми методами, используют подход привязки пунктов локального ГДП к пунктам IGS (International GNSS Service) сети. По всей вероятности,

они полагают, что выбрав отсчетную систему в виде далеких от исследуемой территории и надежных с точки зрения центров и измерительной информации IGS пунктов, им удастся уйти от проблемы ошибок исходных данных. С этой целью они делят пункты ГДП на долговременные и рядовые, и на долговременных пунктах выполняют существенно более длительные серии наблюдений. Такой подход осуществлен на ГДП «Белорусская АЭС», спутниковая сеть которого состоит из 17 пунктов и включает 4 долговременных. Долговременные пункты привязаны к пяти пунктам IGS сети (рисунок).

Результаты наблюдений на долговременных пунктах в обе сравниваемые эпохи уравнивают по программе обработки длиннобазисных спутниковых сетей, например, Bernese [8]. Координаты пунктов получают, соответственно, для каждой эпохи различные. Затем с полученными координатами как исходными выполняют уравнивание каждой эпохи по программному продукту к используемым спутниковым приемникам, например, Trimble business Centre, и вычисляют координаты оставшихся (рядовых) пунктов ГДП и, соответственно, векторы горизонтальных смещений, которые, как правило, получаются нереально большими. Трансформирование координат по параметрам трансформирования, найденным по координатам двух эпох на долговременных пунктах, практически не улучшает результат.

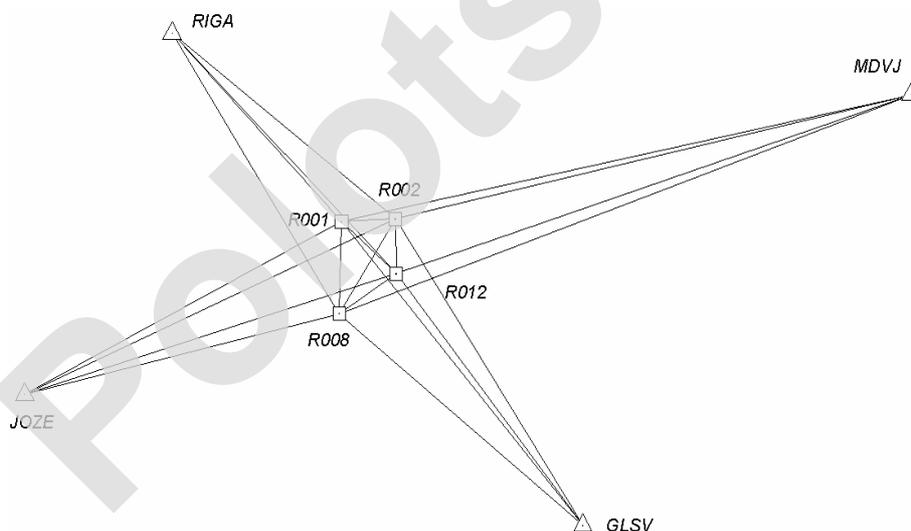


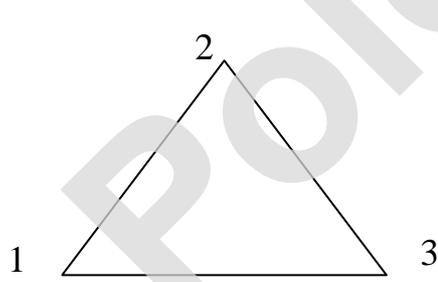
Рис. Схема привязки 4 долговременных пунктов ГДП «Белорусская АЭС» (*R001, R002, R008, R0012*) к пунктам IGS сети (*RIGA, MDVJ* (Менделеево), *JOZE, GLSV*(Киев))

Изложенный подход к выполнению математической обработки был исследован в [7]. Результаты исследования показали, что он не оправдал себя, так как усложнил методику измерений и математической обработки, в результате которой получились нереально большие векторы смещений, и

привел к возникновению большого числа вопросов, включая и проблему ошибок исходных данных. Там же сделан вывод, что оптимальным подходом к обработке сетей на локальных ГДП является уравнивание в программном продукте используемого высокоточного спутникового оборудования без привязки к IGS пунктам относительно одного центрального пункта сети ГДП, принятого за стабильный. На наш взгляд, такой подход максимально приближает к уравниванию сетей ГДП как свободных, без исходных пунктов, о чем говорилось выше.

Обратимся далее еще к одной группе характеристик горизонтальных деформаций, широко используемых при обработке повторных геодезических измерений на локальных ГДП [3, 4, 6, 11–12]. В этой группе деформационные характеристики, названные компонентами деформаций, определяются по результатам геодезических измерений на основе теории упругости по разностям непосредственно измеренных геодезических величин между эпохами, а также по разностям уравненных координат. Остановимся на нахождении компонентов деформаций по разностям уравненных координат между эпохами наблюдений как наиболее распространенном на практике.

Как известно, в соответствии с теорией дифференциального описания деформаций сплошных сред к компонентам деформаций отнесены следующие характеристики: дилатация Q , максимальное и минимальное растяжения $E1$, $E2$, направления максимального и минимального растяжений φ_{E1} , φ_{E2} , максимальный сдвиг γ_m и вращение w . Они вычисляются для каждого треугольника геодезической сети, принимаемого за конечный элемент, из решения системы линейных уравнений (15) по формулам (17–21).



$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta Y_1 = X_1 e_{21} + Y_1 e_{22} + b \\ \Delta X_1 = X_1 e_{11} + Y_1 e_{12} + a \\ \Delta X_2 = X_2 e_{11} + Y_2 e_{12} + a \\ \Delta Y_2 = X_2 e_{21} + Y_2 e_{22} + b \\ \Delta X_3 = X_3 e_{11} + Y_3 e_{12} + a \\ \Delta Y_3 = X_3 e_{21} + Y_3 e_{22} + b \end{array} \right. \quad (15)$$

где 1–2–3 – треугольник геодезической сети;

a, b – величины поступательного перемещения по осям X , Y ;

ΔX , ΔY – разности координат пунктов треугольника сети;

X , Y – координаты пунктов треугольника сети для любой из сравниваемых эпох, обычно берутся для первой;

$e_{11}, e_{12}, e_{21}, e_{22}$ компоненты тензора деформаций T_{ij} (16).

$$|T_{ij}| = \begin{vmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{21} & e_{22} \end{vmatrix}, \quad (16)$$

$$Q = \frac{e_{11} + e_{22}}{2}, \quad (17)$$

$$E1 = Q + \frac{1}{2} \sqrt{(e_{11} - e_{22})^2 + (e_{12} + e_{21})^2}, \quad (18)$$

$$E2 = Q - \frac{1}{2} \sqrt{(e_{11} - e_{22})^2 + (e_{12} + e_{21})^2}, \quad (19)$$

$$\gamma_m = E1 - E2 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2}, \quad (20)$$

где γ_m – максимальный сдвиг;

$\gamma_1 = (e_{11} - e_{22})$ и $\gamma_2 = (e_{12} + e_{21})$ – компоненты сдвига.

$$\phi_{E1, E2} = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(-\frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right) + A^0. \quad (21)$$

Компоненты деформации замечательны тем, что они существенно в меньшей степени, чем векторы горизонтальных смещений, подвержены влиянию ошибок исходных данных. Согласно исследованиям Есикова Н.П. [9] сдвиговый компонент деформаций γ_m полностью, а оставшиеся компоненты частично инвариантны к отсчетной системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасименко, М.Д. Определение современных движений земной коры из повторных измерений / Герасименко М.Д., Шароглазова Г.А. // Геодезия и картография. – 1985. – № 7. – С. 25–29.
2. Данилов, В.В. Методы обработки повторных геодезических измерений, проводимых в целях выявления горизонтальных деформаций земной коры / Данилов В.В. // Тр. геофизического ин-та. – 1949. – №5 (132). – С. 115–133.
3. Есиков, Н.П. Тектонофизические аспекты анализа современных движений земной поверхности / Есиков Н.П. – М. :Наука, 1979. – 152 с.
4. Кучай, В.К. Поле тектонических напряжений, сейсмичность и орогенез / Кучай В.К. // Геофизические поля и сейсмичность. – М. : Наука, 1975. – С. 144–159.
5. Остач, О.М. Методическое руководство по геодезическим работам на геодинамических полигонах / Остач О.М., Дмитроченков В.Н. – М. : ЦНИИГАиК, 1984.
6. Шароглазова, Г.А. Применение геодезических методов в геодинамике / Шароглазова Г.А. – Новополюцк : ПГУ, 2002. –192 с.

7. Шароглазова, Г.А. Анализ методики обработки повторных ГНСС наблюдений на геодинамических полигонах АЭС / Г.А. Шароглазова, В.В. Ялтыхов, К.И. Маркович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2015. – №16. – С. 114-117.
8. Bernese GNSS Software, Version 5.2 Tutorial.
9. Brunner, F.K. A comparison of computation methods for crustal strains from geodetic measurements / F.K. Brunner, Coleman R. and Hirsch // Tectonophysics. – 1981. – V. 71.
10. Koch, K.R. Multivariate hypothesis tests for detecting Recent crustal movements / K.R. Koch and Fritsch D. // Tectonophysics. – 1981. – V. 71.
11. Tsuboi, C. Investigation on the deformation of Earth' s crust found by precise geodetic means / C. Tsuboi. // Jap. J. Astron. Geophys. – 1933. – 10, 93.
12. Frank, F.C. Determination of the Earth Strains from Survey Data / F.C. Frank. – Bul. Seismol Soc. Am. – 1933. – 56. – P. 34 – 42.

INFLUENCE OF ERRORS OF INPUT DATAS ON PARAMETERS OF HORIZONTAL DEFORMATIONS OF CRUST ON GEODYNAMIC GROUNDS

G. SHAROGLAZOVA, V. KOROVKIN

Article is devoted to a problem of errors of input datas when determining characteristics of the deformations of crust determined on geodynamic grounds by differences of the balanced coordinates between eras of measurements. It is shown that this problem is not removed upon transition to satellite measuring instruments.

Keywords: *modern movements of the Earth's crust, the geodynamic polygon repeated geodetic measurements.*

УДК 528.22.551.24 (075.8)

ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА «ПОЛОЦКАЯ ГЭС»

канд. техн. наук, доц. Г.А. ШАРОГЛАЗОВА, К.И. МАРКОВИЧ

(Полоцкий государственный университет, Беларусь);

А.А. СВЯТОГОРОВ

(«НПЦ по геологии» НАН Беларуси);

канд. техн. наук, доц. В.В. ЯЛТЫХОВ

(Полоцкий государственный университет, Беларусь)

Рассматривается организация классического геодинамического полигона на территории, подверженной взаимообусловленному влиянию тектонических и техногенных факторов. Показана необходимость участия при проектировании полигона специалистов различных наук о Земле. Особое внимание

уделено качественной закладке центров геодезических пунктов и их оптимальному расположению, а также методике высокоточных геодезических измерений и математической обработке результатов этих измерений.

Ключевые слова: современные движения земной коры, геодинамический полигон, повторные геодезические измерения, дистанционное зондирование, тектонический разлом

Известно, что разработка месторождений полезных ископаемых, строительство и эксплуатация ГЭС, магистральных трубопроводов, тоннелей и других инженерных сооружений в совокупности с природной тектонической активностью района могут усилить геологическую опасность до катастрофического уровня [1–2]. Поэтому проблема взаимообусловленного влияния тектонических и техногенных факторов на земную кору и состояние окружающей среды является актуальной во всем мире. В Республике Беларусь эта проблема достаточно остро стоит для таких объектов и территорий, как Старобинское месторождение, каскад ГЭС на реке Западная Двина, места пролегания магистральных трубопроводов.

В исследуемом Полоцком регионе также наблюдаются взаимообусловленные влияния техногенных и тектонических факторов на состояние земной коры. К основным техногенным факторам здесь следует отнести возведение Полоцкой ГЭС и прохождение магистрального нефтепровода Полоцк – Унеча, к тектоническим – его принадлежность к Полоцко-Курземской зоне тектонических разломов [3].

Полоцкая ГЭС запроектирована на реке Западная Двина у деревни Лучно и является частью каскада ГЭС на Западной Двине, состоящего из проектируемых и возводимых Белорусских ГЭС (Полоцкой, Бешенковичской, Витебской, Верхнедвинской) и построенных в 30–70-е годы прошлого столетия Латвийских ГЭС (Кегумская, Плявиньская и Рижская общей мощностью более 1000 мегаватт) (рис. 1).

Общим для всех перечисленных ГЭС является не только их расположение на одной реке, но и принадлежность к одной активной тектонической структуре: Полоцко-Курземскому поясу тектонических разломов (рис. 2). Указанный пояс разломов охватывает обширную территорию, протягивающуюся в субширотном направлении примерно на 800 км при ширине 120–200 км, начиная от г. Вязьма (Россия), далее следуя через Беларусь и Прибалтику предположительно до острова Готланд (Швеция). На севере и на юге он ограничен протяженными краевыми разломами: Лиепайско – Локневским и Южным (Полоцким).



Рис. 1. Каскад ГЭС на реке Западная Двина

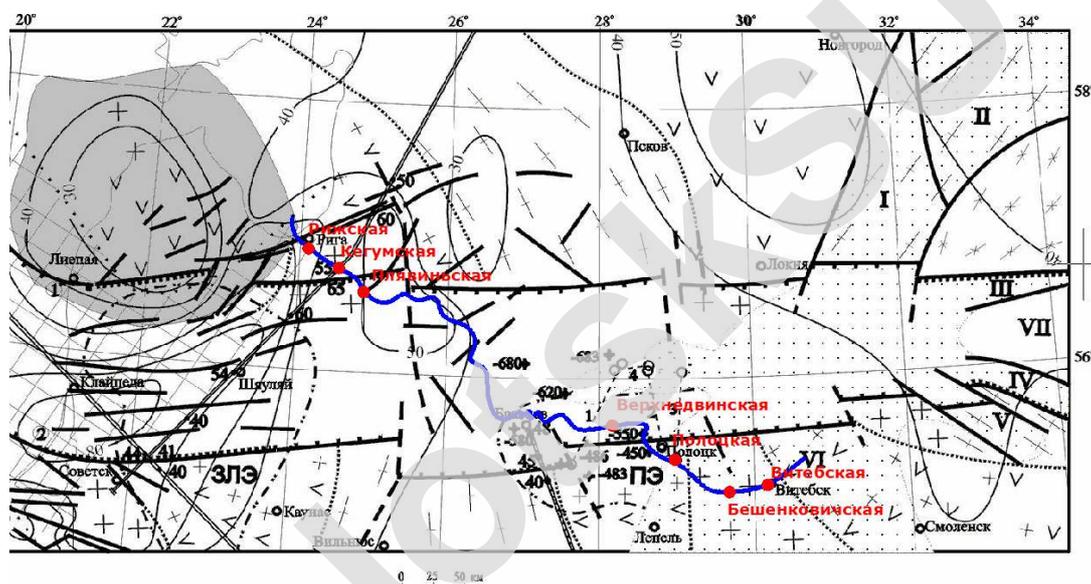


Рис. 2. Полоцко-Курземский пояс тектонических разломов [3] и расположение каскада ГЭС (Рижская, Кегумская, Плявиньская, Верхнедвинская, Полоцкая, Бешенковичская, Витебская) на реке Западная Двина

Статистика сейсмической активности в районе латвийских ГЭС следующая: 1976 г. – землетрясение в Эстонии силой 6 баллов, ощущалось и в Риге; 2004 г. – Калининградское землетрясение силой 6 баллов, в Латвии – 5 баллов; декабрь 2004 г. – мерзлотные землетрясения в Риге и Даугавпилсе. Аналогичная сейсмическая картина может наблюдаться и на входящих в каскад Белорусских ГЭС, включая и Полоцкую. Поэтому в 2006 г. Полоцким государственным университетом совместно с Институтом геологических наук и Центром геофизического мониторинга НАНБ в районе Полоцкой ГЭС были выполнены предпроектные геодинамические исследования [4], основными результатами которых явилось следующее.

Территория Полоцкой ГЭС расположена в зоне влияния тектонических разломов: Полоцкого, Чашникского и Туровлянского (рис. 3).

1. На площадке строительства Полоцкой ГЭС присутствует [Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., 2006] сейсмическая опасность от возникновения местных небольших, а также сильных землетрясений других регионов.

2. На устойчивость данного инженерного сооружения могут неблагоприятно повлиять и ослабленные грунты тектонических разломов, где максимально проявляются деформации не только тектонического происхождения, но и вследствие действия сезонных и технологических факторов.

3. Рекомендуемый уровень сейсмостойкости – 7 баллов.

4. Рекомендуется организация геодинамического полигона.

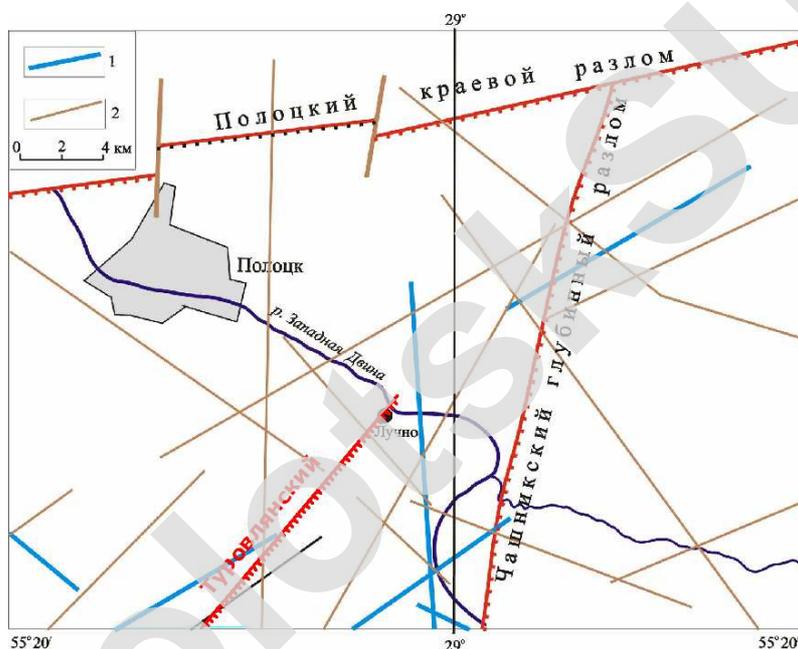


Рис. 3. Схема расположения тектонических разломов в районе Полоцкой ГЭС (По Каратаеву):

1 – флексурно-разломные зоны активизации; 2 – разломы кристаллического фундамента; Туровлянский разлом установлен по данным геофизических исследований 2006 г.

Исходя из приведенных результатов, в 2014 г. в районе Полоцкой ГЭС был запроектирован геодинамический полигон (ГДП) в виде ГНСС сети, расположение пунктов в которой выбрано, сообразуясь с необходимостью опроса Полоцкого, Чашникского и Туровлянского разломов, а также с учетом конфигурации имеющейся здесь дорожной сети (рис. 5).

С целью повышения надежности выбора мест закладки центров пунктов относительно опрашиваемых разломов на проектируемом ГДП

«Полоцкая ГЭС» было выполнено структурное дешифрирование материалов аэрокосмических съемок (МАКС) на площади 670 кв. км силами отдела аэрокосмических исследований государственного предприятия «НПЦ по геологии» НАНБ.

Исходными данными служили: космические снимки Landsat 5ТМ масштабов 1:100 000, 1:500 000 и 1:1 000 000, а также комплект материалов аэрофотосъемки различных масштабов и лет залета, необходимых для расшифровки и уточнения спутниковых данных.

Методически исследования проводились в 2 этапа.

Первый этап включал получение, компьютерную обработку и подготовку к работе материалов аэро- и космических съемок (МАКС), а также анализ и обобщение всех имеющихся материалов предшествующих геолого-геофизических работ и научных исследований, предварительное структурное дешифрирование МАКС и сопоставление рабочих схем результатов дешифрирования.

На втором этапе было проведено повторное дешифрирование МАКС, обработаны все имеющиеся данные, составлена карта результатов дешифрирования МАКС, а также пояснительная записка к ней о проведенных исследованиях.

Исследования осуществлялись с применением современных ГИС-технологий. Все полученные данные интегрировались в программную среду ArcGis 10.0. Картографические материалы представлены на бумажной основе в масштабе 1:100 000 (для удобства использования) и в электронном виде в масштабе 1:25 000.

Для дешифрирования был использован ниже перечисленный комплект разнообразных по информативности, масштабам, времени залетов и техническим характеристикам материалов аэрокосмических съемок:

- многозональные синтезированные (синтез каналов 4-5-3) космические снимки масштаба 1:100 000 и 1:500 000, полученные с американского космического спутника Landsat 5ТМ 2011 года съемки, хорошего качества;
- аэрофотоснимки масштабов 1:25 000 и 1:50 000, черно-белые хорошего качества залета 1979 г.

Компьютерная обработка космических изображений была направлена, прежде всего, на улучшение качества их изображения. Проводилась в программном продукте Erdas Imagine 9.1 компании Leica Geosystems. Данная система позволяет производить полный цикл обработки космических изображений от получения «сырого» снимка до создания тематической картографической продукции.

Поканальные изображения могут выявлять отдельные закономерности развития природных компонентов (например, в инфракрасной зоне хо-

рошо выделяются затопленные и переувлажненные территории, в зеленой зоне – четко выделяется здоровая растительность и т. п.), однако для целостного восприятия и детального дешифрирования космических изображений необходимо использовать синтезированные изображения.

Синтез изображений в Erdas Imagine выполняется автоматически, что реализовывается путем одновременной загрузки в тело программы изображения во всех каналах и выбором оператором наиболее подходящей комбинации каналов. Получающиеся цветные изображения формируются по принципу передачи цветов в палитре RGB. Результаты синтеза сохраняются в отдельный файл с расширением *.img, который используется для дальнейшей работы.

Проанализировав результаты синтеза в различных комбинациях каналов, нами была выбрана комбинация 4-5-3. Остановка на данной комбинации обусловлена тем, что при данном варианте синтеза наиболее четко прослеживаются элементы, отражающие структурно-геологическое строение – линеаменты и кольцевые структуры, блоки земной коры.

Космические снимки, полученные сканерными аппаратами, оказались пригодными для выявления крупных структурных форм и наиболее протяженных космотектонических линеаментов, отождествляемых с глубинными региональными разломами и их зонами.

Аэрофотоматериалы использовались для уточнения результатов дешифрирования космических снимков и для выявления трещинно-разрывной тектоники и структурно-геоморфологических объектов.

Для качественного дешифрирования МАКС и последующей обработки полученных данных были собраны как специальная опубликованная литература, так и архивные документы по геологии, геофизике и тектонике района работ, которые помогли ознакомиться с районом, его геологическими и структурно-тектоническими особенностями, гравитационным и магнитным полями, сейсмогеологическими данными.

Структурное дешифрирование материалов аэрокосмической съемки (МАКС) было посвящено выявлению и картированию структурно-тектонических и геоморфологических особенностей территории, а также трещинно-разрывной сети.

Дешифрирование проводилось на ландшафтно-индикационной основе по общей схеме: обнаружение-опознание-интерпретация и трансформация. В качестве основного метода использован контрастно-аналоговый, т.е. выделение участков, обладающих характерным фотоизображением, основными компонентами которого являются фототон и рисунок. Были выяв-

лены дешифровочные признаки, которые встречаются не случайно, а образуют закономерные сочетания в различных природно-территориальных зонах. В нашем случае для региона Восточно-Европейской платформы дешифровочные признаки относятся к разряду косвенных.

Разломы распознавались на снимках в виде протяженных, иногда прерывистых, прямолинейных или слабоизогнутых в плане узких аномалий фототона, резких спрямленных границ между двумя градациями фототона или различными рисунками фотоизображения. В рельефе – это спрямленные участки русла Зап. Двины и ее притоков, прямолинейные протяженные (более 0,5 км) уступы, участки долин рек, цепочки впадин, угловатость форм рельефа, линейно вытянутые увлажненные участки днищ, впадин, ареалов растительности. Для их обнаружения тщательно анализировались не только фототон и рисунок фотоизображения, но и его структура. Были выявлены участки с аномальными значениями фототона, рисунка фотоизображения, закономерно ориентированные элементы ландшафта.

Для отбраковки объектов, связанных с проявлением антропогенной деятельности и экзогенными процессами, результаты дешифрирования сопоставлялись с топографическими, геоморфологическими и другими специальными картами. Выявленные при дешифрировании объекты после тщательного камерального анализа были перенесены с МАКС на топооснову масштаба 1:100 000.

Все собранные и вновь полученные данные после тщательной обработки и анализа легли в основу составления карт и результирующих выводов. В итоге получена «Космоструктурная карта по данным структурного дешифрирования материалов аэрокосмических съемок (мозаика Landsat) геодинамического полигона «Полоцкая ГЭС» (рис. 4), карта «Результаты структурного дешифрирования материалов космической съемки (мозаика Landsat, синтез каналов 4-5-3), а также выполнена их интерпретация. Ключом к расшифровке дешифровочной информации послужили картографические и текстовые материалы различных видов геологического, геофизического, структурно-тектонического и геоморфологического содержания, включая и результаты [4].

Выполненное структурное дешифрирование МАКС в исследуемом районе показало, что территория ГДП «Полоцкая ГЭС» в структурном отношении имеет разломно-блоковое строение, отражающее интенсивные глубинные процессы, происходящие в земной коре на современном этапе тектонического развития. Положение тектонических разломов Полоцкого, Чашникского и Туровлянского на рисунке 3 в точности совпало с положением разломов с повышенной проницаемостью осадочного чехла на кос-

моструктурной карте (см. рис. 4). Кроме того, проведенные исследования позволили:

- выявить общий план предполагаемых тектонических нарушений, их концентрацию;
- определить характер выявленных нарушений, размеры, протяженность, взаимосвязь;
- определить зоны предполагаемых тектонических нарушений, зоны разломных узлов и мегатрещиноватости, определяющих повышенную геодинамическую опасность мест их проявления;
- выявить ранее неизвестный блок земной коры, активный на современном этапе тектонического развития, определяющий потенциальную опасность проявления современных геодинамических процессов;
- обосновать и определить наиболее рациональное размещение мест закладки глубинных реперов на ГДП «Полоцкая ГЭС» (рис. 5).

Космоструктурная карта по данным структурного дешифрирования материалов аэрокосмических съемок (мозаика Landsat) геодинамического полигона "Полоцкая ГЭС". Минск, 2015 г. Масштаб 1:100 000



Рис. 4. Космоструктурная карта по данным структурного дешифрирования материалов аэрокосмических съемок (мозаика Landsat) геодинамического полигона «Полоцкая ГЭС»

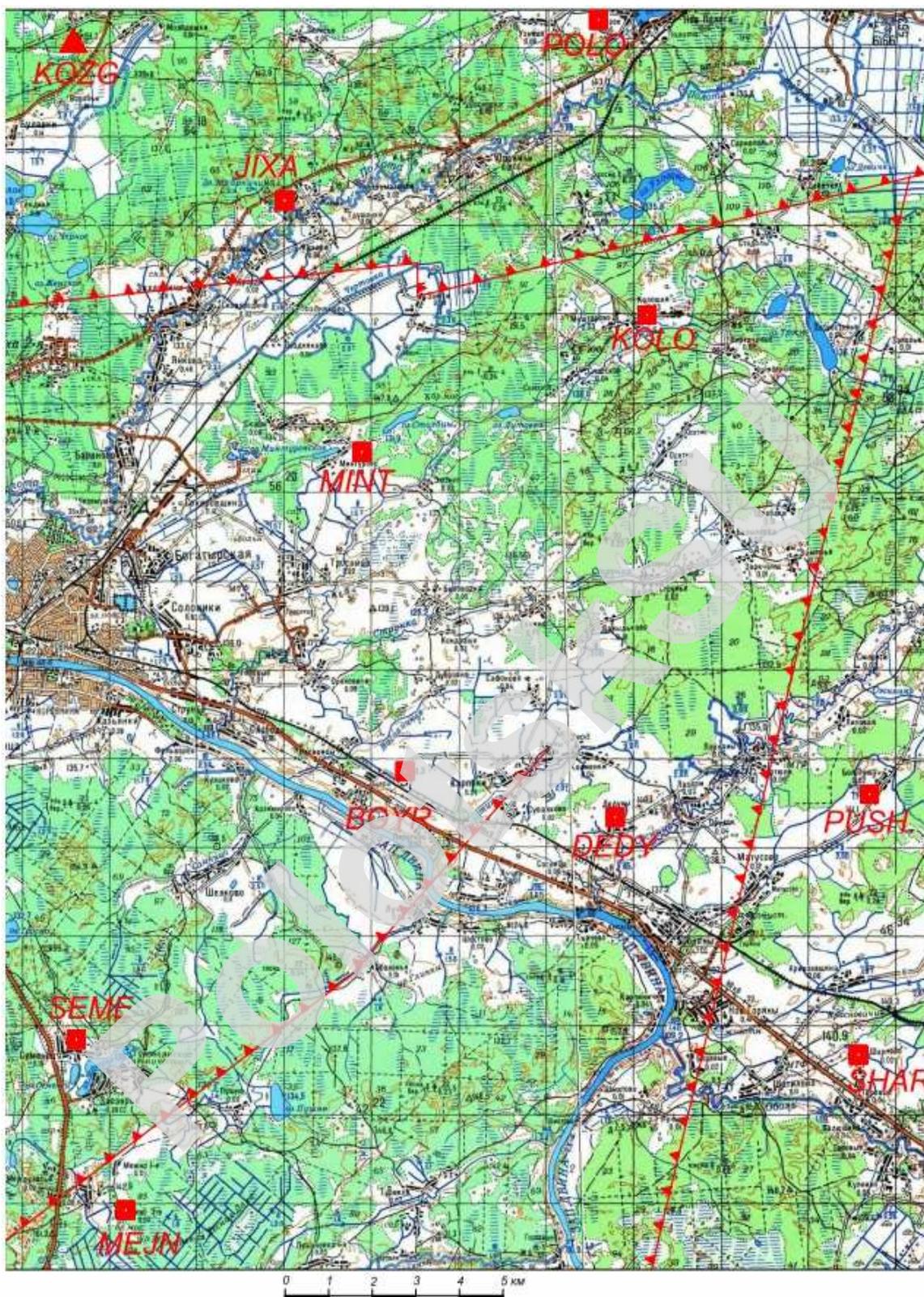
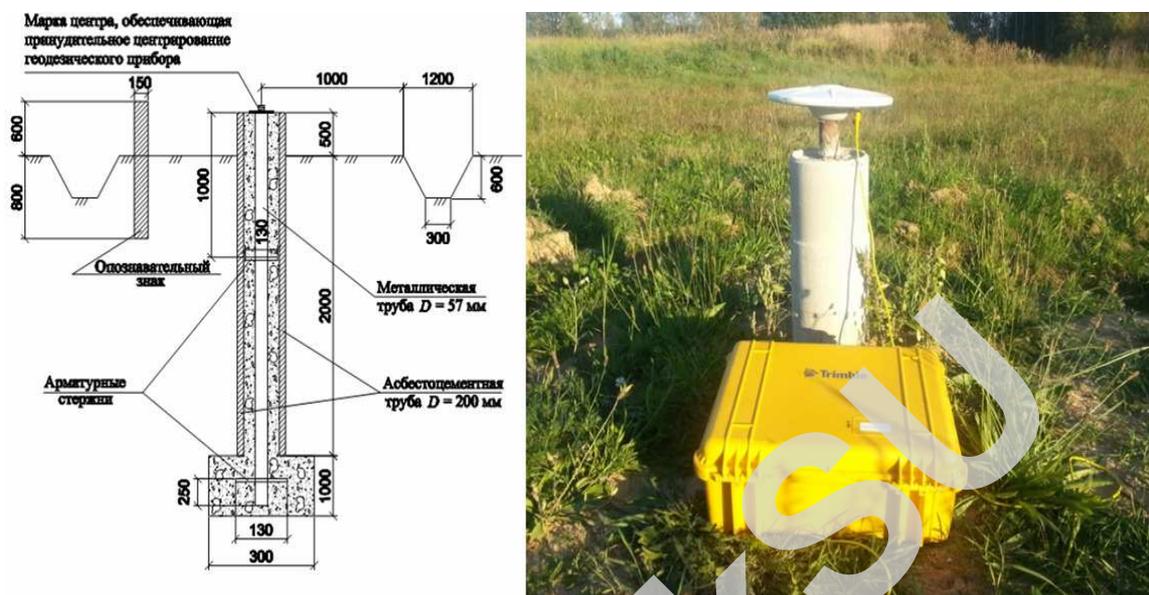


Рис. 5. Расположение тектонических разломов и пунктов геодинамического полигона в районе Полоцкой ГЭС: DEDY, BOYR, SEME, MEJN – пункты, контролирующие Туровлянский разлом; POLO, KOLO, JIXA, MINT – Полоцкий; DEDY, KOLO, PUSH, SHAR – Чашникский

Все представленные на рисунке 5 пункты ГДП «Полоцкая ГЭС» закреплены центрами, заложенными на глубину 3 м, и обеспечены устройствами для принудительного центрирования (рис. 6).



а

б

Рис. 6. Конструкция центров пунктов на геодинамическом полигоне Полоцкая ГЭС с маркой:

а – обеспечивающей принудительное центрирование спутниковых антенн;
 б – вид центра с приспособлением для принудительного центрирования спутниковых антенн на местности

Проект геодезической сети на ГДП «Полоцкая ГЭС» и разработка методики ГНСС наблюдений.

Схема геодезической сети на ГДП «Полоцкая ГЭС» показана на рисунке 7 а. Для связи пунктов ГДП «Полоцкая ГЭС» и пунктов Полоцкого геодинамического профиля [5] к представленным на рисунке 5 пунктам в сеть включен пункт КОЗГ (Козьи горки нов.), который по результатам геофизических исследований находится вне зоны Полоцкого разлома.

Геодезическое оборудование и методика производства ГНСС измерений выбраны, исходя из необходимости достижения точности измерений не хуже 2–3 мм в плане и 5–7 мм по высоте. На основании приборной точности оборудования принято решение в процессе измерений использовать пять двухчастотных спутниковых приемников фирмы Trimble: четыре приемника R7 с антенной Zephyr Geodetic Model-2 и один приемник R8 с антенной Internal Model-2.

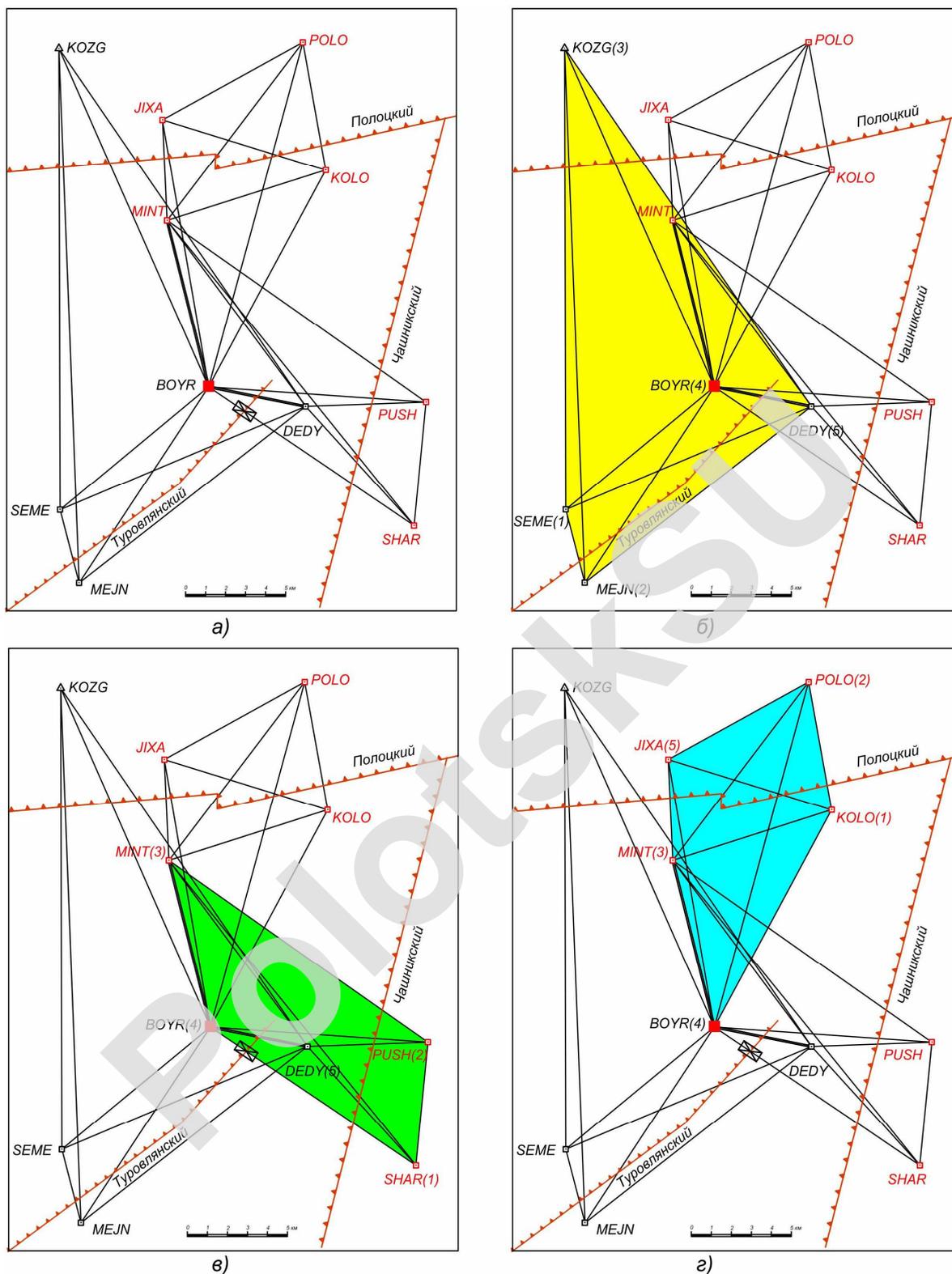


Рис. 7. Схема геодезической сети на ГДП «Полоцкая ГЭС»:
а – общая схема сети ГДП «Полоцкая ГЭС»; *б* – схема 1-ой расстановки (пункты DEDY, BOYR, SEME, MEJN, KOZG); *в* – схема 2-ой расстановки (пункты DEDY, BOYR, MINT, PUSH, SHAR); *г* – схема 3-ей расстановки (пункты BOYR, MINT, POLO, KOLO, JIXA); (1), (2),(3), (4), (5) – номера приемников

Для выполнения ГНСС наблюдений в сети ГДП (см. рис. 7 а) запроектировано три расстановки спутниковых приемников (см. рис. 7 б–г), которые образуют серию. Программа ГНСС наблюдений в сети состоит из двух серий измерений, произведенных с интервалом не менее суток, с контролем сходимости результатов между сериями.

На каждой схеме расстановок в скобках на пункте обозначен номер приемника. Приемникам R7 с антенной Zephyr Geodetic Model-2 присвоены номера 1, 2, 4, 5, приемнику R8 Internal Model-2 – номер 3. Сторона *BOYR – DEDY* является связующей между первой и второй расстановками, сторона *BOYR-MINT* – связующей между второй и третьей, пункт *BOYR* – связующий во всех расстановках в серии. Исходя из максимальной длины стороны сети (около 30 км), длительность сеанса измерений в расстановке, необходимая для достижения требуемой точности, установлена в 6 часов.

Полевые наблюдения на ГДП «Полоцкая ГЭС» планируется выполнять ежегодно в сентябре строго по выше изложенной методике, сохраняя ее неизменной, включая и порядок расстановки приемников в сериях наблюдений.

Методика математической обработки результатов ГНСС наблюдений на ГДП, как и методика полевых измерений, принята одинаковой во все эпохи наблюдений с использованием программного продукта Trimble Business Center версия 1.11.

Система координат отнесена к пункту *BOYR* (Бояры).

Для обеспечения контролей результатов измерений и обработки уравнивание в каждую эпоху измерений принято выполнять трижды: каждая серия отдельно, а затем обе серии совместно. По результатам отдельной обработки каждой серии выполняется оценка точности по известной формуле разностей двойных измерений.

$$m = \sqrt{\frac{\sum(d^2)}{2n}}, \quad (1)$$

где m – средняя квадратическая погрешность измерения;

d – разность между сериями оцениваемой величины, полученной из уравнивания каждой серии измерений в эпоху;

n – число разностей (линий или превышений).

Характеристики точности результатов спутниковых наблюдений на ГДП «Полоцкая ГЭС» даны в таблице 1.

**Характеристики точности результатов спутниковых наблюдений
на ГДП «Полоцкая ГЭС»**

m_s , мм		m_h , мм	
2014	2015	2014	2015
$\pm 0,9$	$\pm 2,9$	$\pm 6,7$	$\pm 6,0$

Заключение. Созданием ГДП «Полоцкая ГЭС» заложена надежная основа для организации долговременного мониторинга СДЗК в Полоцком регионе, вызванных взаимообусловленными влияниями тектонических и техногенных факторов. Исследования на геодинамических полигонах методом повторных геодезических измерений должны выполняться высококвалифицированными специалистами, владеющими глубокими теоретическими и практическими знаниями по производству высокоточных геодезических измерений и их математической обработке, знаниями смежных наук о земле (геологии, геофизики, сейсмологии), а также обладать качествами исследователя. Актуальным для Беларуси является издание нормативно-технических материалов по выполнению геодезических работ на геодинамических полигонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трифонов, В.Г. Стихийные бедствия в системе современных геодинамических процессов / В.Г. Трифонов // Современная геодинамика и глубинное строение территории СССР. – М. : Наука, 1990. – С. 11–16.
2. Шароглазова, Г.А. Проектирование геодинамических исследований в районах взаимообусловленных влияния тектонических и техногенных факторов на состояние земной коры / Г.А. Шароглазова // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2012. – №8. – С. 166-171.
3. Гарецкий, Р.Г. Полоцко-Курземский пояс разломов / Р.Г. Гарецкий [и др.] // Доклады национальной академии наук Беларуси. – 2002. – Т. 46, № 6 – С. 85–89.
4. Выполнение предпроектных геодинамических исследований в районе предполагаемого строительства Полоцкой ГЭС : отчет о НИР / Полоцкий гос. ун-т ; Г.А. Шароглазова, А.Г. Аронов, Г.И. Каратаев. – Новополоцк, 2006. – 64 с. – ХД НИР №6 – 1153/26552.
5. Шароглазова, Г.А. Методика выполнения высокоточных повторных геодезических измерений на Полоцком геодинамическом микрополигоне / Г.А. Шароглазова, С.К. Товбас, А.Н. Соловьев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2013. – № 8. – С. 114–117.

ORGANIZATION OF GEODYNAMIC POLYGON «POLOTSK HYDROELECTRIC POWER STATION»

**G. SHAROGLAZOVA, K. MARKOVICH,
A. SVYATOGOROV, V. YALTYHOV**

Article is devoted to the organization of the classical geodynamic ground in the territory subject to interdependent influence of tectonic and anthropogenic factors. Need of participation at projection of the ground of experts of various sciences about Earth is shown. The special attention is given to qualitative laying of the centers of geodetic points and their optimum arrangement, and also a technique of high-precision geodetic measurements and mathematical processing of results of these measurements.

Keywords: *modern movements of the Earth's crust, the geodynamic polygon repeated geodetic measurements, remote sensing tectonic fault*

УДК 004.056.2:528.061.6

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ ТОЧКИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ИСККУСТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИХ ПРИЕМ

д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, А.И. ЯРИЦА
(Полоцкий государственный университет, Беларусь)

Системно исследованы факторы, снижающие точность оценки координаты точки приема сигналов искусственного спутника Земли геодезическими приемниками, установленными на пунктах спутниковой системы точного позиционирования, размещенных на подстилающей поверхности Земли либо на наземных сооружениях. Показана возможность повышения точности оценки применением конструкционных стабильных по параметрам материалов с улучшенными механическими, тепловыми виброизолирующими свойствами.

Ключевые слова: *спутниковая система точного позиционирования, постоянно действующие пункты, робастная оценка, случайные воздействующие факторы.*

Теория, методики, конструктивные и технологические решения в геодезической и картографической деятельности в последнее время основаны на применении спутниковой системы позиционирования GPS [1]. Использование GPS-измерений в Республике Беларусь реализовано с помощью спутниковой системы точного позиционирования (ССТП). Основной целью использования Спутниковой системы точного позиционирования Республики Беларусь является получение координат и высот пунктов геодезического и съемочного обоснования топографических съемок, планирования территорий, проектно-изыскательских работ в строительстве, исполнительных съемок и другого вида работ. Точностные и временные характеристики ССТП в режиме обработки реализуются определением координат пунктов (точек) в ITRS (в реализации ITRF2005) в статическом режиме со средней квадратической погрешностью 0,01 м в плане и 0,02 м по высоте при времени наблюдений 1 час [2].

Точностные и временные характеристики ССТП в режиме реального времени реализуются определением координат объектов в ITRS (в реализации ITRF2005) в статическом режиме со средней квадратической погрешностью 0,02 м в плане и 0,03 м по высоте [2].

Основой инфраструктуры ССТП являются постоянно действующие пункты (ПДП), находящиеся на подстилающей поверхности Земли. ССТП РБ объединяет 90 действующих ПДП и 8 вводимых ПДП в ближайшее время.

Основное требование, предъявляемое к пункту, это стабильность, долговечность и неподвижность конструкции. ПДП часто располагают на крышах здания, используя при этом тип центра 192 [3].

Правила выбора места и установки постоянно действующих пунктов [4]:

- открытость местности вокруг геодезического пункта, отсутствие препятствий по углу возвышения более 10–15°;
- отсутствие отражающих поверхностей, которые могли бы влиять на многолучевость;
- отсутствие мощных радио- и телевизионных передатчиков или других излучающих радиотехнических устройств;
- отсутствие движущегося транспорта.

Для обеспечения более высоких точностных характеристик ССТП необходимо оценивать параметрические неопределенности ПДП, возникающие из-за возмущающих случайных воздействий. Основные факторы, влияющие на снижение стабильности и неподвижности конструкции ПДП: вибрация, смена пор года, температурные колебания, ветровые нагрузки. Эти факторы в основном оказывают возмущающее влияние на неподвижность ПДП относительно горизонтальной плоскости [5].

Фактором, оказывающим наибольшее смещение по вертикали, является атмосферное давление. Максимальное вертикальное смещение, вызванное изменением атмосферного давления, может достигать 0,025 м с периодом несколько суток [6].

Влияние внешних возмущающих факторов на неподвижность точки приема сигналов ИСЗ можно наблюдать на примере постоянно действующих пунктов международной GPS-службы (IGS) (рисунок 1 а– в) [7].

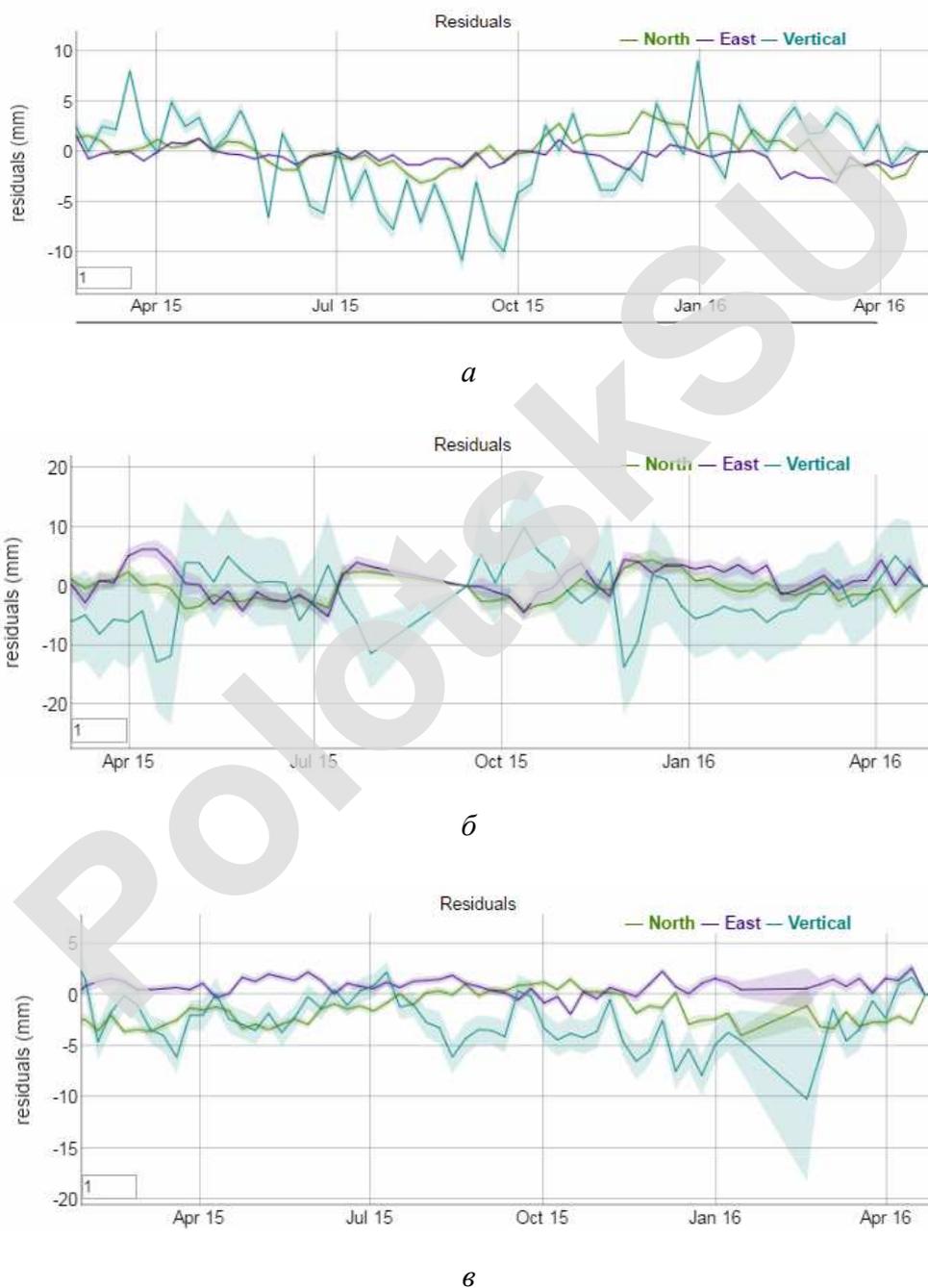


Рис. 1. Смещение ПДП:
а – Украина; Киев; б – Итикава; Япония; в – Южная Африка

На графиках зеленым цветом обозначено смещение планового положения пункта по направлению севера (North), фиолетовым цветом смещение по направлению востока (East), а бирюзовым цветом изменения пункта по высоте (Vertical). Как видно, на примере, этих трех пунктов, наибольшее смещение происходит по высоте. Так же можно сделать вывод о зависимости влияния вертикального смещения пункта на его положение в горизонтальной плоскости. В данной работе мы уделим внимание анализу факторов, влияющих на горизонтальное смещение пункта.

Вибрации. Вибрация является важным случайным влияющим фактором. Для увеличения точностных характеристик измерительной информации необходимо снижать влияние вибрации на ПДП. Пункты ССТП Республики Беларусь располагают на несущих стенах здания, тем самым снижают влияние вибраций на точность измерений. Стоит отметить, что действующие в нашей стране сеть является аналогом по своему принципу действия международной GPS-службы (IGS). ПДП этой сети по своему геометрическому расположению центра можно разделить на наземные и расположенные на крышах зданий. Для придания стабильности геометрического положения и снижения влияния вибраций наземные пункты чаще всего закладывают в скальные породы. А пункты, находящиеся на крышах зданий, устанавливают на отдельных платформах или стальных вышках.

Место установки ПДП нужно выбирать на значительном расстоянии от магистральных трубопроводов, железнодорожных путей, автодромов, заводских цехов с работающими установками и др. Если существует необходимость расположения ПДП рядом с источником вибраций, можно применять песочные подушки, амортизаторы, а также виброизолированные двойные фундаменты. Данные фундаменты предназначены для снижения ударного воздействия на пункты и демпфирования упругих волн [8]. Для снижения влияния вибрации в конструкции пункта также можно применить материалы, обладающие виброизолирующими свойствами.

Смена пор года. Воздействие этого фактора приводит к разрушению пунктов от коррозии. Вследствие постоянной смены температур, железобетонные конструкции пунктов расширяются и сжимаются. Это неизбежно приводит к возникновению трещин, в которые затем попадает влага и на арматуре возникают коррозионные процесс. Подверженный такому воздействию пункт теряет свою стабильность, неустойчив к влиянию вибраций и других нагрузок. Так, появления значительных трещин период собственных колебаний железобетонных конструкций увеличивается на 50–110% [9].

Для защиты от воздействия постоянного перепада температур, в конструкции ПДП можно заменить железную арматуру пункта на арматуру, состоящую из композитных материалов, более стойкую к воздействию влаги и температуры [10]. Так же можно заменить железобетон на более устойчивый к коррозии, перепадам температур материал. Таким материалом является, например, гранит, выдерживающий перепады температур до 100 градусов, а так же за счет присутствия кварца в составе, имеющий высокую твердость и устойчивость к коррозии.

Температура. Важнейшее влияние на стабильность ПДП влияет температура. Средняя температура Беларуси равна $+5,4^{\circ}\text{C}$. Максимальная зарегистрированная температура воздуха $+44^{\circ}\text{C}$, а минимальная -40°C . Стоит учитывать, что почва нагревается сильнее. Здесь максимальная зарегистрированная температура равна $+66^{\circ}\text{C}$, т.е. перепады температур составляют $70-100^{\circ}\text{C}$. При таком тепловом воздействии, основываясь на коэффициентах линейного теплового расширения материалов, можно посчитать, что стальной стержень длиной один метр будет расширяться более чем на 1 мм. Примерно такую же погрешность даст и конструкция из бетона. Низким коэффициентом линейного теплового расширения обладают такие материалы как кварц, гранит и современные композитные материалы [5].

Ветер. Ветровое воздействие переменное во времени, а значит, является случайным воздействующим фактором. Ветер воздействует на изменение положения точки горизонтальной плоскости. Воздействие ветра на здание – это сложный аэродинамический процесс трудоемкий для точного описания. Однако для зданий простых форм возможно приблизительно представить этот процесс. В работе рассмотрены ветровые нагрузки только для простых прямоугольных зданий, как наиболее часто встречающиеся. На рисунке 2 представлена ветровая нагрузка на простое прямоугольное здание.

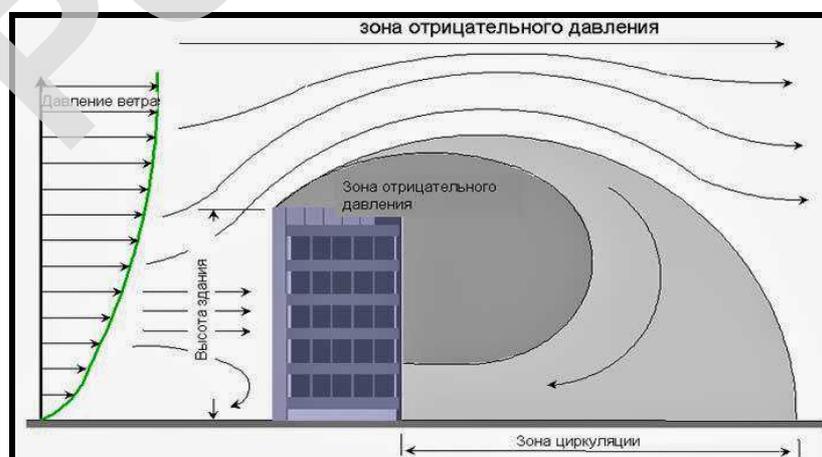


Рис. 2. Распределение ветровой нагрузки на здание

Особенности расчета: для каждого здания учитывают преобладающее направление ветров. Преобладающее направление ветров определяется по «розе ветров» для данного района. Направления ветра дает возможность определения наветренной и подветренной стороны здания. Наветренная сторона – это сторона здания, на которую непосредственно воздействует ветровая нагрузка. Подветренная сторона имеет зону отрицательного давления. Именно в этой зоне на подветренной стороне для повышения точностных характеристик спутниковых измерений рекомендуется установка ПДП. Важным моментом является то, что ветровая нагрузка увеличивается с увеличением высоты.

Для действующих пунктов ветровую нагрузку рассчитывают по величине средней составляющей ветровой нагрузки W_m на высоте Z над поверхностью земли по формуле (1) [11]:

$$W_m = W_0 \cdot K \cdot C, \quad (1)$$

где W_0 – нормативное значение ветрового давления;

K – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте.

C – аэродинамический коэффициент, учитывающий изменение направления давления нормальных сил в зависимости от того с какой стороны находится скат по отношению к ветру, с подветренной или наветренной стороны (+ 0,8 – для наветренного фасада, -0,6 – для подветренного фасада).

Чтобы определить W_0 нужно выбрать район, в котором будет расположен наш ПДП.

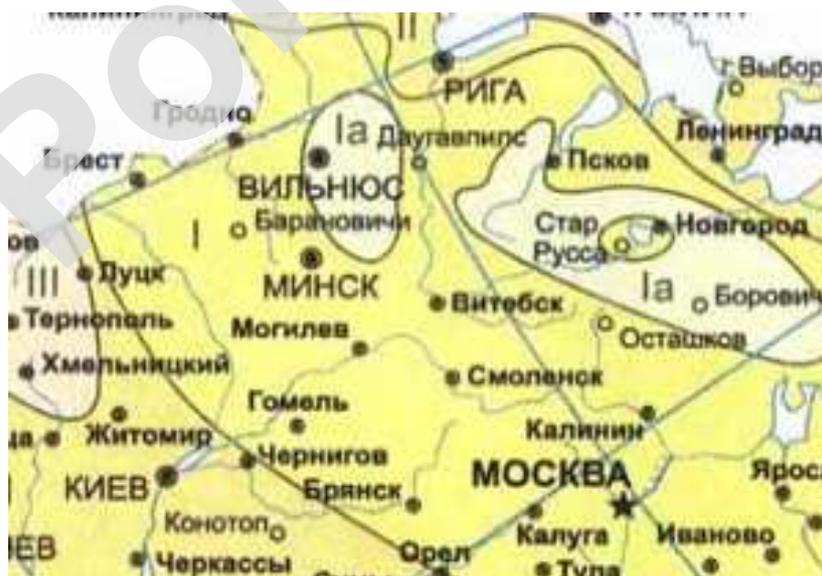


Рис. 3. Карта ветровых районов Беларуси

Фактически вся Беларусь находится в ветровом районе первой категории. Затем в таблице 1 выбираем нужное значение ветрового давления [11].

Таблица 1

Нормативное значение ветрового давления

Нормативное значение ветрового давления								
Ветровые районы	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
W_0 , кПа	0,24	0,32	0,42	0,53	0,67	0,84	1,0	1,2
W_0 , кг/м ²	24	32	42	53	67	84	100	120

K_z – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте. Его значения зависят от высоты здания и характера окружающей местности. Выбираем значение коэффициента K_z из таблицы 2.

Таблица 2

Значение коэффициента K_z

Значение коэффициента K_z			
Высота	Открытая местность	Закрытая местность, покрытая препятствиями более 10 метров	Городские районы, с высотой застройки более 20 метров
До 5м	0,75	0,5	0,4
От 5 до 10м	1,0	0,65	0,4
От 10 до 20м	1,25	0,85	0,53

Рассчитаем ветровую нагрузку для ПДП спутниковой системы точного позиционирования Республики Беларусь, установленного на крыше четырехэтажного здания школы в г.п. Оболь, Витебская обл., Шумилинский район.

Используя рисунок 3, определяем, что Витебская область относится к первому ветровому району $W_0 = 32$ кг/м². Так как здание выше 10 м и имеет рядом с собой постройки, то выберем коэффициент $K = 0.85$ таблицы 2.

Значение аэродинамического коэффициента C принимаем равным 0,8, так как пункт находится на наветренной стороне здания.

Тогда, нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки

$$W_m = 32 \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 21,8 \text{ кг/м}^2.$$

Из этого можно сделать вывод, что для повышения точности координат точки приема сигналов ИСЗ, ПДП желательно располагать на под-

стилающей поверхности земли. Если по каким-либо причинам реализовать это не получается то, что бы максимально снизить влияние ветра, пункты следует устанавливать на несущих стенах здания с подветренной стороны.

Повышение точности координат точки приема сигналов ИСЗ основывается на выборе геометрического положения ПДП, его конструкции, а так же обусловлена робастностью основных механических и тепловых свойств материала, который используют при строительстве. К основным робастным свойствам следует отнести коэффициент линейного теплового расширения, коррозионную стойкость, устойчивость к влиянию вибрации. Предложено виброизоляцию ПДП обеспечивать амортизаторами, песочными подушками, двойным фундаментом, а также применением вибропоглощающих материалов. Для максимального снижения влияния ветровых нагрузок, перед установкой ПДП следует составить «розу ветров» и установить этот пункт на подветренную сторону здания. При выборе здания следует отдать предпочтение зданиям с высотой до 5 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пыко, Т.В. Основные направления модернизации государственной геодезической сети Республики Беларусь / Т.В. Пыко // Земля Беларуси. – 2007. – № 4. – С. 35 – 36.
2. Республиканское унитарное предприятие аэрокосмических методов в геодезии "Белэрокозмогеодезия" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geo.by/ru/for-organizations/precise-positioning-service>.
3. Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь. Порядок создания геодезической сети 1 класса : ТКП 119-2007(03150) / Государственный комитет по имуществу Респ. Беларусь. – Минск, 2009. – 47 с.
4. Техническая инструкция по созданию и реконструкции геодезических сетей в населенных пунктах : приказ Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 16 февр. 2010 г., № 37.
5. Ярица, А.И. Стабилизация возмущающих воздействий на прием сигналов искусственного спутника Земли / А.И.Ярица, В.К. Железняк // Вестн. ПГУ. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2016. – № 4. – С. 61–65.
6. Дробышев, М.Н. Совершенствование методических приемов оценки вертикального перемещения точек земной поверхности : автореф... дис. канд. техн. наук / М.Н. Дробышев. – М. : ИФЗ, 2016. – 15 с.
7. International GNSS Service [Электронный ресурс].
8. Банкетов, А.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование : учеб. для машиностроительных вузов / А.Н. Банкетов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1982. – 576 с.

9. Ньюмарк, Н. Основы сейсмостойкого строительства: / Э. Розенблюэт ; сокр. пер. с англ. ; под ред. Я.М. Айзенберга. – М. : Стройиздат, 1980. – 344 с.
10. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия : ГОСТ 31938 – 2012. – М. : Стандартинформ. 2014. – 34 с.
11. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия : ТКП EN 1991-1-4-2009 (02250). – Минск, 2010. – 127 с.

PRECISION ENHANCEMENT FOR COORDINATES OF THE POINT FOR RECEIVING ARTIFICIAL SATELLITE SIGNALS BY MEANS OF STABILIZING THE PERTURBING ACTIONS ON THEIR RECEPTION

V. ZHELEZNYAK, A. YARYTSA

The factors that reduce the accuracy of the estimate coordinates of the reception signal of an artificial Earth satellite by the geodetic receivers, which were installed at locations satellite of system exact positioning, were placed on the underlying structures or on the ground surface of the Earth were systematically examined. There was showed a possibility of increasing the accuracy of estimation using the parameters of stable structural materials with improved mechanical, thermal anti-vibration properties.

Keywords: *satellite system of the exact positioning, permanent items, robust estimation, random influencing factors.*

УДК 528.236

ПРОБЛЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ С ОШИБКАМИ В ОБЕИХ СИСТЕМАХ

канд. техн. наук, доц. А.М. ДЕГТЯРЕВ, А.С. ИВАШНЁВА
(Полоцкий государственный университет, Беларусь)

Задача трансформирования координат в геодезии возникает достаточно часто. Не смотря на широту использования и кажущуюся понятность процесса двумерного трансформирования, есть ряд важных вопросов, которые на сегодняшний день требуют дополнительного исследования. Один из них – это возможность учета ошибок в обеих сис-

темах координат при решении задачи трансформирования. Представлены вычислительные результаты и выводы о целесообразности использования модели Гаусса-Гельмерта при преобразовании систем координат.

Ключевые слова: трансформирование, система координат, модель Гаусса-Марково, модель Гаусса-Гельмерта, аффинная модель, элементы преобразования, традиционные способы, нетрадиционные способы, метод наименьших квадратов.

Преобразование координат на плоскости применяется во многих отраслях науки. Также такого рода задачи часто решаются в геодезии. В большинстве практических случаев задача такого рода решается, когда часть сети вставляется в сеть с другой системой координат; когда определяются элементы деформации различных объектов; когда главные оси объектов включаются в государственную систему; в фотограмметрических работах; в географических информационных системах для объединения карты из различных источников и т.д.

Задачу трансформирования координат на плоскости как частный случай линейных преобразований можно сформулировать следующим образом. Есть координаты (x, y) для n точек в старой системе K_C и есть координаты (X, Y) для этих же точек в новой системе K_H . Необходимо найти оптимальную функцию перехода f от старой системы координат к новой:

$$K_H = f(K_C), \quad (1)$$

Большинство преобразований координат для геодезических задач можно свести к обычному линейному преобразованию, которое в самом общем случае включает сдвиги и изменения масштаба по двум осям, вращение осей одной системы координат относительно другой. Тогда в качестве функции преобразования f используют линейную функцию с матрицей преобразования A и вектором сдвига b вида

$$K_H = A \cdot K_C + b, \quad (2)$$

Такого рода преобразования носят название аффинные. В формуле (2) $A = \begin{bmatrix} a & b \\ d & e \end{bmatrix}$, $b = \begin{bmatrix} c \\ f \end{bmatrix}$, a, b, c, d, e и f – коэффициенты линейного аффинного преобразования на плоскости.

Систему (2) можно записать в развернутом виде для i -той точки как [1]

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \cdot x_i + b \cdot y_i + c \\ d \cdot x_i + e \cdot y_i + f \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где X_i, Y_i, x_i, y_i – координаты в новой и старой системах соответственно.

Очевидно, что для однозначного определения параметров преобразования между двумя отдельными системами координат достаточно три общих точки. В геодезической практике для контроля и оценки точности берется избыточное число точек, что приводит к переопределенной системе (3).

Эта система может быть решена традиционными и нетрадиционными методами с получением необходимых элементов преобразования. Под традиционными способами мы будем подразумевать способы, которые решают задачу по методу наименьших квадратов (МНК) с учетом ошибок в новой системе координат, а под нетрадиционными – способы, которые решают задачу по МНК с учетом ошибок в обеих системах.

Традиционные способы применяются для решения модели Гаусса-Маркова, которая учитывает ошибки определения положения координат только в новой системе [2]

$$l + v = A \cdot x, \quad (4)$$

где A – матрица плана для математической модели,

l – координаты в новой системе,

x – вектор неизвестных параметров,

v – поправки в новую систему координат.

Но совершенно очевидно, что ошибки существуют как в новой системе координат, так и в старой. В некоторых применениях, когда требуется более точный результат преобразования, как например, при анализе деформаций сооружений, где миллиметры играют важную роль, возникает необходимость учета ошибок в обеих системах, чтобы избежать дополнительной потери точности. В таких случаях необходимо применять более реалистичные, нестандартные методы трансформирования.

Одна из возможностей решения такой задачи трансформирования, и таким образом, повышения точности получения элементов преобразования это использование модели Гаусса-Гельмерта, которая учитывает тот факт, что на результаты оказывают влияние, как ошибки в старой

системе координат, так и в новой. Основная формула модели имеет следующий вид [2]:

$$l + v = (A - v_A) \cdot x, \quad (5)$$

где v_A – поправки в матрицу плана для математической модели, и таким образом, поправки в старую систему координат.

По состоянию изученности данного вопроса на основе литературных источников можно сказать, что научные исследования, связанные с традиционными способами трансформирования, проводились нашими учеными (Е. Г. Бойко, А. В. Буткевич, Н. Г. Кель, К. Михайлович, В. П. Подшивалов, В. Ю. Минько и т.д. [3], [4]) и зарубежными (F. R. Helmert, J. Greenfield, Wolf, P. R. и т.д. [5]). Что касается научных исследований по преобразованию на основе модели Гаусса-Гельмерта, которая учитывает ошибок в обеих системах и решается нетрадиционными способами, то в русскоязычной геодезической литературе, в том числе белорусской, можно говорить об отсутствии таких исследований.

У нас в Беларуси и в странах постсоветского пространства при преобразовании координат учитывают ошибки только в новой системе координат или вообще их не учитывают, в тоже время в зарубежных странах в основном применяют модель Гаусса-Гельмерта. Практически во всех зарубежных программах по обработке (Adjust, JAG3D и др.) есть возможность произвести вычисления по модели Гаусса-Гельмерта с учетом ошибок в обеих системах.

В данной статье была поставлена цель – выяснить, при каких условиях для преобразования координат целесообразно применять математическую модель Гаусса-Маркова, с учетом ошибок в одной системе координат, а когда целесообразно применять математическую модель Гаусса-Гельмерта, которая учитывает ошибки координат в обеих системах.

Для выяснения целесообразности применения той или другой модели был выполнен вычислительный эксперимент.

Эксперимент проводился на основе смоделированных данных, когда известны истинные значения координат и параметры связи (табл. 1). Рассматривалось десять точек с известными координатами в старой системе OXY (рис. 1). Использовались точные параметры преобразования, относительно которых были вычислены точные значения координат данных точек в новой системе $O'X'Y'$. Были сгенерированы случайные числа, имеющие нормальный закон распределения с заданными характеристиками, принимаемые за ошибки, которыми затем искажались координаты в ста-

рой, новой или в обеих системах. Сгенерированные ошибки и искаженные координаты приведены в таблице 2.

Таблица 1

Исходные координаты и параметры связи

Координаты в старой системе, м		Элементы преобразования	Координаты в новой системе, м	
1750.125	3250.258	угол вращения - 30°	-736.543	5338.918
1500.589	5750.297	угол нарушения ортогональности - 3°	-3038.296	8334.261
2780.965	4710.547	масштаб по X – 1,2	-858.258	7794.475
3220.698	6990.125	масштаб по Y – 1,5	-2263.595	10926.037
4008.654	570.587	сдвиг по X – 100 м	3799.770	3322.994
3510.851	3280.956	сдвиг по Y – 200 м	1068.178	6433.972
4102.651	5780.254		-358.628	9933.184
5170.623	4000.286		2205.401	8334.757
6560.564	6010.542		2007.574	11697.635
6290.464	2780.468		4365.715	7472.123

Таблица 2

Сгенерированные ошибки и искаженные координаты

Ошибки в координаты X, м	Ошибки в координаты Y, м	Искаженные координаты в старой системе координат, м		Искаженные координаты в новой системе координат, м	
0.336	0.444	1750.461	3250.702	-736.207	5339.362
-0.604	-0.574	1499.985	5749.723	-3038.900	8333.687
0.359	-0.534	2781.324	4710.013	-857.899	7793.941
0.815	-0.405	3221.513	6989.720	-2262.780	10925.632
0.244	-1.472	4008.898	569.115	3800.014	3321.522
0.517	0.719	3511.368	3281.675	1068.695	6434.691
0.363	0.162	4103.014	5780.416	-358.265	9933.346
-0.152	-0.377	5170.471	3999.909	2205.249	8334.380
0.147	0.685	6560.711	6011.227	2007.721	11698.320
-0.394	-0.856	6290.070	2779.612	4365.321	7471.267

По модели Гаусса-Маркова выполнялся расчет элементов преобразования (табл. 3):

- без учета весов;
- с учетом весов в новой системе, когда они одинаковы для всех координат;
- с учетом весов в новой системе координат относительно ошибок, которыми искажались координаты.

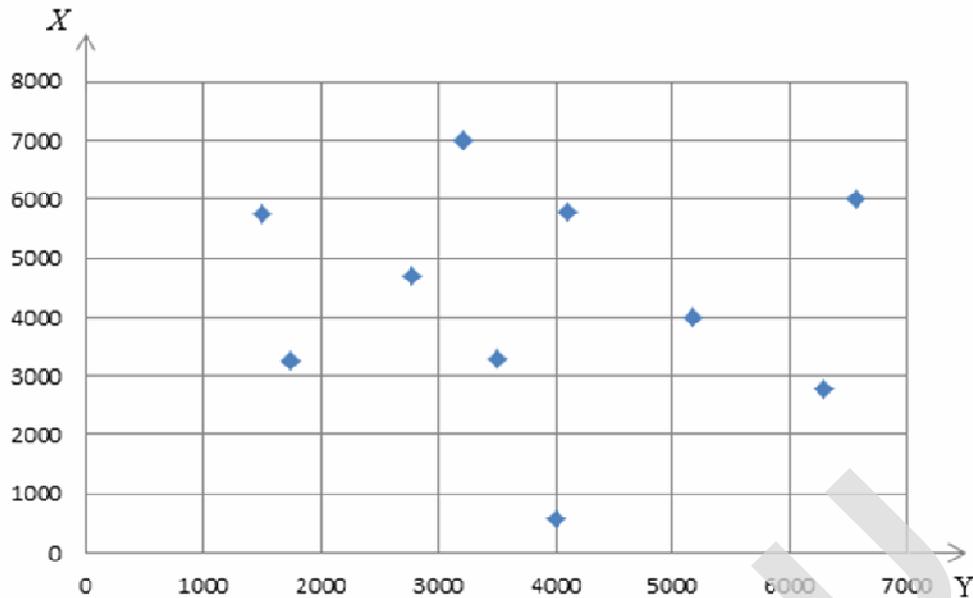


Рис. 1. Схема расположения точек в старой системе координат

При этом эксперимент по модели Гаусса-Маркова был также поставлен с условием, что новая система является безошибочной, а старая искаженной. Это было сделано с целью определения влияние ошибок старой системы, которые не учитываются в этой модели, на результат. Выполнялся эксперимент для таких же случаев учета весов (табл. 3).

Таблица 3

Вычисленные элементы преобразования на основе модели Гаусса-Маркова

Математическая модель	Без учета весов	С учетом весов (все веса одинаковые $1/\sigma^2$)	С учетом весов (веса $1/\sigma_i^2$)
Модель Гаусса-Маркова (ошибки внесены в новую систему координат)	$p = 30^{\circ}00'06,4''$ $2^{\circ}59'38,7''$ 1.1999749399 1.5001137325 100.176 199.036	$p = 30^{\circ}00'06,4''$ $2^{\circ}59'38,7''$ 1.1999749399 1.5001137325 100.176 199.036	$p = 30^{\circ}00'14,7''$ $2^{\circ}59'31,5''$ 1.1999912822 1.5001191783 100.284 198.839
Модель Гаусса-Маркова (ошибки внесены в старую систему координат)	$p = 29^{\circ}59'53,3''$ $3^{\circ}00'10,6''$ 1.2000465425 1.4997736828 99.029 201.108	$p = 29^{\circ}59'53,3''$ $3^{\circ}00'10,6''$ 1.2000465425 1.4997736828 99.029 201.108	$p = 29^{\circ}59'37,4''$ $3^{\circ}00'41,9''$ 1.2000275298 1.4995476823 98.751 202.608

Далее выполнялся расчет элементов преобразования по модели Гаусса-Гельмерта (табл. 4):

- без учета весов;
- с учетом весов в старой и в новой системах, когда они одинаковы для всех координат;
- с учетом весов в старой и в новой системах относительно ошибок, которыми искажались координаты.

Таблица 4

Вычисленные элементы преобразования на основе модели Гаусса–Гельмерта

Математическая модель	Без учета весов	С учетом весов (все веса одинаковые $1/\sigma^2$)	С учетом весов (веса $1/\sigma_i^2$)
Модель Гаусса-Гельмерта	$p = 30^{\circ}00'01,3''$ $2^{\circ}59'48,0''$ 1.2000269009 1.4998831459 99.205 м 200.143 м	$p = 30^{\circ}00'01,3''$ $2^{\circ}59'48,0''$ 1.2000269009 1.4998831459 99.205 м 200.143 м	$p = 29^{\circ}59'34,0''$ $3^{\circ}00'12,0''$ 1.1999815513 1.4997724825 98.754 м 201.161 м

Для удобства анализа рассчитывались отклонения полученных элементов преобразования от заложенных элементов (табл. 5–6).

Таблица 5

Отклонения полученных элементов преобразования от заложенных элементов на основе модели Гаусса–Маркова

Математическая модель	Без учета весов	С учетом весов (все веса одинаковые $1/\sigma^2$)	С учетом весов (веса $1/\sigma_i^2$)
Модель Гаусса-Маркова (ошибки внесены в новую систему координат)	$p = 0^{\circ}00'06,4''$ $0^{\circ}00'21,3''$ $2.50 \cdot 10^{-5}$ $1.14 \cdot 10^{-4}$ 1.176 м 0.964 м	$p = 0^{\circ}00'06,4''$ $0^{\circ}00'21,3''$ $2.50 \cdot 10^{-5}$ $1.14 \cdot 10^{-4}$ 1.176 м 0.964 м	$p = 0^{\circ}00'14,7''$ $0^{\circ}00'28,5''$ $8.72 \cdot 10^{-6}$ $1.19 \cdot 10^{-4}$ 1.284 м 1.161 м
Модель Гаусса-Маркова (ошибки внесены в старую систему координат)	$p = 0^{\circ}00'06,7''$ $0^{\circ}00'10,6''$ $4.65 \cdot 10^{-5}$ $2.26 \cdot 10^{-4}$ 0.971 м 1.108 м	$p = 0^{\circ}00'06,7''$ $0^{\circ}00'10,6''$ $4.65 \cdot 10^{-5}$ $2.26 \cdot 10^{-4}$ 0.971 м 1.108 м	$p = 0^{\circ}00'22,6''$ $0^{\circ}00'41,9''$ $2.75 \cdot 10^{-5}$ $4.52 \cdot 10^{-4}$ 1.249 м 2.608 м

**Отклонения полученных элементов преобразования от заложенных элементов
на основе модели Гаусса–Гельмерта**

Математическая модель	Без учета весов	С учетом весов (все веса одинаковые $1/\sigma^2$)	С учетом весов (веса $1/\sigma_i^2$)
Модель Гаусса-Гельмерта	$p = 0^{\circ}00'01,3''$ $0^{\circ}00'12,0''$ $2.69 \cdot 10^{-5}$ $1.17 \cdot 10^{-4}$ 0.795 м 0.143 м	$p = 0^{\circ}00'01,3''$ $0^{\circ}00'12,0''$ $2.69 \cdot 10^{-5}$ $1.17 \cdot 10^{-4}$ 0.795 м 0.143 м	$p = 0^{\circ}00'26,0''$ $0^{\circ}00'12,0''$ $1.84 \cdot 10^{-5}$ $2.27 \cdot 10^{-4}$ 1.246 м 1.161 м

По полученным результатам сделаны следующие выводы:

1. Если веса координат точек одинаковые (независимо какой они величины), то нет необходимости их учитывать при трансформировании, так как элементы преобразования получаются такими же, как в случае неучета весов, а значения весов значимы только для оценки точности.

2. Расчет элементов преобразования по модели Гаусса-Маркова с ошибками только в старой системе координат показал, что ошибки в данной системе, которые невозможно учесть с помощью традиционных способов, оказывают значительное влияние на конечный результат.

3. Ожидаемого результата не получено при расчете элементов преобразования по модели Гаусса-Гельмерта, так как получены наибольшие отклонения от заложенных элементов, когда ожидалось наименьшие. С большой долей вероятности это может быть связано с некорректным учетом весов. Данный вывод достаточно существенный и требует своего дальнейшего и тщательного исследования, что должно привести к повышению точности определения элементов трансформирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дегтярев, А.М. Идентификация модели трансформации в геодезии на основе аффинного преобразования / А.М. Дегтярев, В.В. Ялтыхов // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2013. – № 2(49). – С. 71–74.
2. Akyilmaz, O. Total least squares solution of coordinate transformation / O. Akyilmaz // Survey Review. – 2007. - № 39 (303). – С. 68–80.
3. Бойко, Е.Г. Исследование методов перехода от одной системы плоских координат к другой / Е.Г. Бойко, С.А. Ванин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – №2. – С. 20–26.
4. Михайлович, К. Геодезия (уравнительный вычисления) / К. Михайлович ; пер. с сербско-харватского С.В. Лебедева. – М. : Недра, 1984. – 448 с.
5. Ghilani, Charles D. Adjustment computations: spatial data analysis / Charles D. Ghilani, Paul R. Wolf. – Hoboken : JOHN WILEY & SONS, INC., 2006. – 632 с.

THE PROBLEM OF THE COORDINATE TRANSFORMATION WITH ERRORS IN BOTH SYSTEMS

A. DEGTARYOV, A. IVASHNIOVA

The task of the coordinate transformation occurs often enough in geodesy. Despite the wide use and clarity of the process of the two-dimensional transformation there are a number of important questions that require an additional research today. One such issue is the possibility of accounting errors in the two coordinate systems in solving the transformation task. The computational results and the conclusions about the expediency of using of the Gauss-Helmert model in coordinate transformation are presented in the article.

Keywords: *transformation, coordinate system, Gauss-Markov model, Gauss-Helmert model, affine model, transformation elements, traditional methods, non- traditional methods, least square method.*

УДК 527.8

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В АЭРОНАВИГАЦИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

П.А. ЮЗЕФСВИЧ, В.Я. ЛОБАЗОВ

(Геодинамика, Россия)

Конвергенция последних реализаций общеземных систем координат к системе ITRF делает их различия несущественными с точки зрения требований ИКАО к представлению координат и высот аэронавигационных объектов. Иная ситуация с высотами – различия ортометрических и нормальных высот выходят за нормативные допуски, нерегулярны и зачастую вызваны ошибками исходных данных, особенно в удаленных и труднодоступных регионах.

Ключевые слова: *ИКАО, аэронавигационные данные, геоцентрические системы координат, нормальная высота, ортометрическая высота.*

Системы координат, применяемые для международной аэронавигации, должны удовлетворять определенным требованиям в части концепции и реализации. Глобальная сеть международного авиасообщения требует единой общеземной системы координат для опубликования аэронавигационных данных. Требование опубликования распространяется на всех участников, подписавших Чикагскую конвенцию о международной граждан-

ской авиации и вошедших в ИКАО. Опубликование аэронавигационных данных в стандартном виде и в соответствии с заданными характеристиками точности, разрешения и целостности определено в нормативных документах, являющихся приложениями к Чикагской конвенции (например, Приложение 15 «Службы аэронавигационной информации»). Указанные стандарты и требования едины для всех государств, вне зависимости от национальных стандартов, принятых локальных координат и высотной основы, а также от режимов секретности.

Одной из задач, выполняемых ИКАО в части аэронавигации, сегодня является смена всей концепции обработки информации. Суть процесса состоит в тезисе «от сервиса – к менеджменту» и означает постепенный перевод всего массива аэронавигационной информации – от навигационных карт и брифингов полета до процедуры обмена короткими навигационными сообщениями (т.н. NOTAM) – в цифровую форму с подготовкой всей соответствующей инфраструктуры сбора информации, ее обработки и передачи – и, в конечном счете – в перепоручении автоматическим информационным системам функций и операций, ранее доверенных только квалифицированному специалисту (оператору или диспетчеру) в зоне его ответственности. Процесс этого перехода занимает не одно десятилетие и разделен на три основные фазы и множество ступеней и процедур, прописанных в документе ИКАО «AIS to AIM Roadmap» или Дорожная карта ИКАО (рис. 1).

Дорожная Карта ИКАО AIS – AIM (2009)

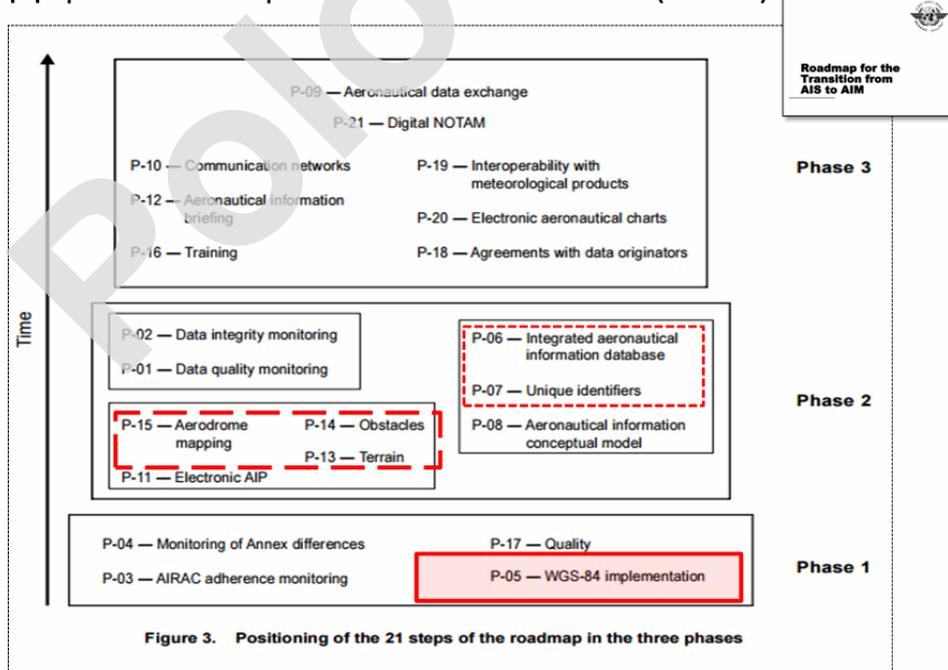


Рис. 1. Дорожная карта ИКАО

В начале Фазы 1 (см. рис. 1) стоит требование проведения геодезической съемки в системе WGS-84, успешно выполненное, благодаря повсеместному внедрению GNSS. Сегодня решаются задачи создания электронных баз данных аэродрома (AMDB), съемка и поддержание в актуальном состоянии баз данных по препятствиям и представление данных о рельефе (eTOD), централизованное предоставление государствами в уполномоченные органы ИКАО баз данных eTOD, разработка системы уникальных идентификаторов и средств описания объектов.

Национальные требования к съемке и опубликованию информации об аэронавигационных объектах, выраженные в приказах Минтранса РФ и документах МАК, в общем и целом повторяют требования ИКАО (таблица). Требуемая точность геодезической съемки (0.5 м) обеспечивается современными средствами с большим запасом. При этом система ПЗ-90.11, реализованная в системе ГЛОНАСС и установленная Постановлением Правительства от 28.12.2012 г. для целей навигации имеет формальные отличия от WGS-84.

Любая система координат изначально представляется в двух видах: концепции и реализации. Если концепция построения всех общеземных систем схожая, то реализации систем WGS-84, ПЗ-90 и ITRS/ITRF весьма различны. Точность реализации системы выражается, в том числе, точностью апостериорных и предсказанных орбит спутников. Здесь вне конкуренции система ITRF, в основе реализации которой лежат четыре фундаментальные технологии (GNSS, SLR, VLBI и DORIS), имеющая самое большое число наземных измерительных станций, в том числе пунктов коллокации, сочетающих несколько разнородных типов измерительных средств.

Начиная с 2002 г. (выход реализации системы WGS-84 версии G1150) системы WGS-84 и ITRF объявлены согласованными на уровне 10 см. Последние реализации WGS-84 G1674 и G1762 содержат в себе модели и алгоритмы Рекомендаций Международной службы вращения Земли (IERS Conventions 2010, Technical Notes 36), что позволяет их считать согласованными на уровне первых единиц сантиметров с системой ITRF-2008. Согласно справочному документу по системе ПЗ-90.11, эта система имеет почти нулевые параметры сдвига и разворота осей координат относительно ITRF-2008 и не имеет отличия в масштабе. На рисунке 2 показан процесс конвергенции систем координат WGS-84, ITRF-xx и ПЗ-90.xx. В скобках рядом с названием указана референцная эпоха, к которой отнесены координаты в координатных каталогах.

**Требования к качеству данных (точности, разрешению и целостности)
согласно Приказу №269 Минтранса РФ от 15.07.2010**

Превышение абсолютная/относительная высота	Точность, тип данных	Разрешение	Классификация целостности данных
Превышение аэродрома вертодрома	0.5 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные
Геодезическая высота аэродрома/вертодрома	0.5 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные
Порог ВПП или порог FATO (неточные заходы на посадку)	0.5 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные
Геодезическая высота на пороге ВПП или FATO, в геометрическом центре TLOF (неточные заходы на посадку)	0.5 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные
Порог ВПП или FATO (точные заходы на посадку)	0.25 м или 1 фут результат съемки	0.5 м или 1 фут	1×10^{-8} критические
Геодезическая высота на пороге ВПП или FATO, в геометрическом центре TLOF точные заходы на посадку	0.25 м или 1 фут результат съемки	0.5 м или 1 фут	1×10^{-8} критические
Абсолютная / относительная высота пролёта препятствий	Как указано в док. PANS-OPS Doc8168)	-	1×10^{-5} важные
Относительная высота пересечения порога ВПП (точные заходы на посадку)	0.5 м или 1 фут результат съемки	0.5 м или 1 фут	1×10^{-8} критические
Препятствия в зонах захода на посадку и взлёта	1 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные
Препятствия в зонах полётов по кругу и на аэродроме/вертодроме	1 м или 1 фут результат съемки	1 м или 1 фут	1×10^{-5} важные

Год	WGS-84	ITRFxx	ПЗ-90.xx
	реализация (референцная эпоха)		
(до 2000 г.)	...		
2002	G1150 (2001.0)	ITRF2000 (2000.0)	ПЗ-90.02
2006	ITRF2005 (2000.0)		
2011	ITRF2008 (2005.0) ПЗ-90.11 (2010.0)		
2012	G1674 (2005.0)		
2013	G1762 (2005.0) (конвенции IERS 2010)		
2016	ITRF2014 (2010.0)		

Рис. 2. Реализации геоцентрических систем координат

Последняя реализация ITRF-2014, по сравнению с предыдущей системой ITRF-2008, имеет незначительные отличия в координатах и новую референдную эпоху – 2010.0. В основе ITRF-2014 положены те же четыре перечисленные базовые технологии. Разница заключается в том, что система ITRF-2014 получена путем повторной обработки и переуравнивания измерений за 20-летний период в соответствии с рекомендациями Конвенции IERS 2010. Изменился также подход к вычислению смещений пунктов на заданную эпоху – теперь эти смещения описываются с помощью моделей сейсмических событий и вычисления соответствующих поправок в линейные векторы.

Говоря о системах высот в аэронавигации, следует иметь в виду, что принципиальное различие между высотами в геометрическом и физическом смысле проявляется при использовании разных способов измерения высоты полета воздушного судна: барометрическим высотомером или системой GNSS, дополненной системами дифференциальной коррекции.

Во втором случае необходимо иметь в виду различие между отсчетными эллипсоидами WGS-84 и ПЗ-90: разница размеров их больших полуосей проявляется в том, что геодезические высоты в системе ПЗ-90.11 больше высот в системе WGS-84 на 1 метр, что превышает в 4 раза допуски ИКАО. Об этом необходимо помнить при опубликовании координат и особенно высот навигационных ориентиров.

Системы высот в физическом определении, сходные между собой по принципу построения, различаются в деталях реализации. Наиболее распространены ортометрические и нормальные высоты. В первом случае предполагается, что отсчетная поверхность – геоид, каким-то образом задана, например, ее можно построить, имея модель гравитационного поля Земли (ГПЗ). Системы нормальных высот не требуют какой-либо модели геоида, но для них необходимы данные высокоточного нивелирования и гравиметрической съемки.

Нормативные документы ИКАО предписывают использовать в качестве физической системы высот MSL (Mean Sea Level) – т.е. «высоты над уровнем моря», под которыми понимаются ортометрические высоты, полученные с использованием модели геопотенциала EGM-96. Изучение характеристик модели и ее сравнение с современной моделью геопотенциала EGM-2008 указывает на недостаточную точность ортометрических высот EGM-96 по сравнению с требуемыми ИКАО точностными характеристиками. Как и ожидалось, модель EGM-2008, имеющая в шесть раз более высокое разрешение, чем EGM-96, с этой точки зрения более предпочтитель-

на. Высотная основа для навигации в РФ осталась прежней – Балтийская система нормальных высот 1977 г.

В 2015 г НПЦ «Геодинамика» МИИГАиК проводил сравнительный анализ нормальных высот в Балтийской системе 1977 г. с ортометрическими высотами EGM-96 и EGM-2008. Сравнение проводилось для 772 пунктов на 68 гражданских аэродромах России, разделенных по четырем географическим регионам, включая пункты ОГС, контрольные точки, пороги ВПП и характерные точки профилей ВПП. Анализ показал, что расхождения между нормальными и ортометрическими высотами обеих моделей носят неравномерный характер и их абсолютная величина, как случайная, так и систематическая, увеличивается с Запада на Восток. Расхождение нормальных высот с ортометрическими для модели EGM-96 оказалось выше в 1.5 раза по сравнению с этими же величинами для модели EGM-2008.

По набору из 143 пунктов ГГС, взятому независимо от перечисленного массива, были вычислены контрольные остаточные разности передачи высотной отметки от каждого из пунктов аэродрома, принятого за исходный на каждый из контрольных пунктов ГГС по формулам спутникового нивелирования, где для вычислений приращений аномалии высоты использовалась модель EGM-2008. Остаточные разности, помещенные на график зависимости от углового расстояния между пунктами, приведены на рисунке 3.

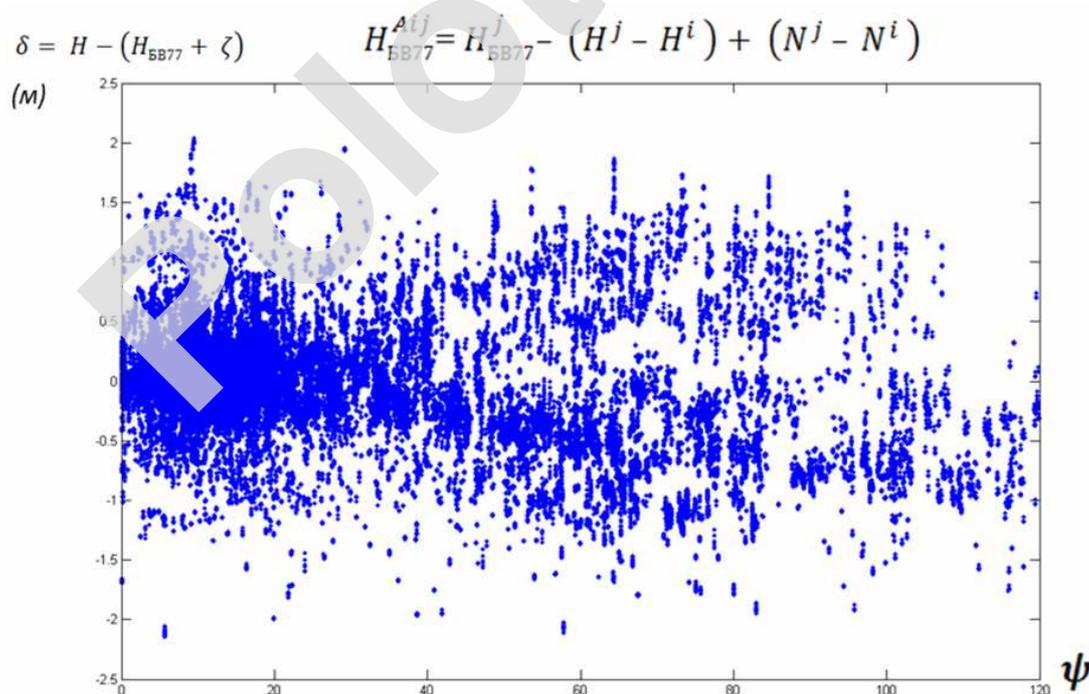


Рис. 3. Остаточные разности геодезических высот

График позволяет судить о применимости метода спутникового нивелирования для передачи высот на большие расстояния. Как видно, ошибки могут легко достигать величин в 1.5 м. При слабо выраженной систематической зависимости от величины расстояния, очевидно, что основным источником ошибок здесь являются ошибки исходных данных, т.е. каталожные значения нормальных высот местных пунктов. Такой вывод не будет неожиданным, учитывая, что исходные отметки некоторых удаленных аэродромов, в том числе в Якутии, на Камчатке, Чукотке и Дальнем Востоке едва ли могли быть получены высокоточным нивелированием от реперов Главной высотной основы. Таким образом, задача перехода в Балтийскую систему высот спутниковыми методами может решаться только на локальном участке и от ближайших пунктов высотной основы, при этом достоверность значений их высотных отметок должна быть подтверждена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Roadmap for the Transition from AIS to AIM, ИКАО, 2009.
2. Службы аэронавигационной информации : Конвенции о международной гражданской авиации, приложение 15. – ИКАО, 2004.
3. Terrain and Obstacle Data Manual, EUROCONTROL, 2015.
4. ГКИНП (ГНТА)–01–006–03 Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. – М. : ЦНИИГАиК, 2004.
5. Параметры Земли 1990 года (ПЗ-90.11) : справочный документ, ВТУ ГШ ВС РФ, 2014.
6. Об опубликовании аэронавигационных данных аэродромов гражданской авиации, аэродромов совместного базирования и воздушных трасс Российской Федерации : приказ № 269 Минтранса РФ от 15 июля 2010 г.
7. The Development of the Joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96, NASA/TP–1998–206861 / F.G. Lemoine, [et al.]. – 1998.
8. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008// Presentation from the 2008 EGU General Assembly Meeting / N.K. Pavlis [et al.]. – 2012.
9. The Development and Evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) / N.K. Pavlis [et al.] // Journal of Geophysical Research Atmospheres 04/2012; 118(5). – Vol. 117, B04406. – 2012.

COORDINATE SYSTEMS IN AERONAVIGATION. CURRENT STATE AND PERSPECTIVES

P. YUZEFOVICH V. LOBAZOV

Convergenton of the last realizations of global coordinate systems toward ITRF reduce differences between them to non-essential values comparing to the ICAO requirements for data representation and publishing of coordinates

of aeronautical objects. Another situation concerning height systems: given orthometric and normal heights show irregular differences exceeding the accuracy limits. These differences may also be referred to uncertainties in local heights especially in distant and arduous regions.

Keywords: *ICAO, aeronautical data, global coordinate systems, normal heights, orthometric heights.*

УДК 528.3

ДЕМАРКАЦИЯ ТОЧКИ СТЫКА ГОСУДАРСТВЕННЫХ ГРАНИЦ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ЛИТОВСКОЙ РЕСПУБЛИКИ И РЕСПУБЛИКИ ПОЛЬША

М.С. ШЕВНЯ

(Балтийское аэрогеодезическое предприятие, Россия)

Рассмотрены последовательность действий и синхронизация приемов трех государств (Российской Федерации, Литовской Республики и Республики Польша) при демаркации точки стыка государственных границ.

Ключевые слова: *демаркация границы, демаркационные карты, точки стыка государственных границ.*

Проблемы международно-правового оформления государственных границ относятся к наиболее острым и сложным проблемам развития и становления государства. Российская Федерация получила в наследство от СССР отдельные не решенные до конца пограничные проблемы с некоторыми государствами и вообще не оформленные границы с республиками бывшего СССР. Сразу остро встал вопрос установления границ с государствами, не входящими в СНГ (Литва, Латвия и Эстония), вступивших в ЕС.

Поэтому в 1992г. по взаимной договоренности были начаты переговоры по оформлению российско-литовской государственной границы. Начинала работу на экспертном уровне делимитационная комиссия созданная распоряжением тогдашнего губернатора Калининградской области Ю. Маточкина под руководством Первого заместителя губернатора в то время Г. Чмыхова. В дальнейшем работу проводила делимитационная комиссия, созданная Постановлением Совета Министров Правительства Российской Федерации от 15 февраля 1993 г. № 131-9 «О создании Комиссии по делимитации границ между Российской Федерацией и Литовской Республикой».

Постановлением Правительства Российской Федерации №1038 от 15 августа 1997г. «О создании Комиссии по делимитации государственной границы и разграничению морских пространств между Российской Федерацией и Литовской Республикой» состав и задачи Комиссии были расширены. Председателем Комиссии назначен посол по особым поручениям МИДа А.А. Обухов.

Однако процесс делимитации затянулся на пять лет. И только 24 октября 1997 г. Президент Российской Федерации Б. Ельцин и Президент Литовской Республики А. Бразаускас в Москве подписали Договор между Российской Федерацией и Литовской Республикой о российско-литовской государственной границе. Парламентом Литовской Республики этот Договор был ратифицирован лишь 19 октября 1999 г. (за ратификацию проголосовало 89 депутатов из 141, что свидетельствовало о напряженной внутриполитической борьбе в Литве).

Процесс ратификации Договора парламентом Российской Федерации затянулся до мая 2003 года (по литовским оценкам по причине намерений России затормозить вступление Литвы в НАТО) и июне 2003 г. вступил в силу.

Первый этап международно-правового оформления государственной границы между двумя государствами, длившийся более 10 лет, был завершен. Созданы политические и технические условия для дальнейшего продолжения оформления границы, открыт путь следующему этапу – демаркации.

Однако прошло еще два года прежде чем 20 октября 2005 г. распоряжением № 630 Председателя Правительства Российской Федерации М. Фрадкова была образована российская делегация в Совместной Российско-Литовской демаркационной комиссии. Следует отметить, что в соответствии с международными правилами делимитация выполняется отдельными комиссиями сопредельных государств, а демаркация – совместной демаркационной комиссией, состоящей из делегаций этих государств. Решением Правительства Литвы бывшая делимитационная комиссия в 2005 г. преобразована в литовскую часть делегации в Совместной Российско-Литовской демаркационной комиссии.

Председателем Российской делегации в Совместной Российско-Литовской демаркационной комиссии назначен Чрезвычайный и Полномочный Посол МИДа Российской Федерации А.А. Обухов. От Роскартографии в комиссию включены А.В. Ларченков – заместитель главного инженера Московского АГП (заместитель Председателя делегации) и М.С. Шевня – директор ФГУП «Балт АГП». В дальнейшем в состав де-

легации включались А.Г. Бусаров – заместитель главного инженера Московского АГП (2006–2008гг.), Ю.В. Пальчиков – начальник экспедиции, и.о. генерального директора Московского АГП (2008–2009 гг.). С уходом из делегации Ю.В. Пальчикова вся работа по топографо-геодезическому и картографическому обеспечению и проведению гидрографических работ по демаркации государственной границы Российской Федерации с Литовской Республикой легла на плечи директора ФГУП «Балт АГП».

В состав делегации включены также представители МИДа России, ФСБ, Министерства обороны, Минтранса, Администрации Калининградской области (Ю.С. Шалимов – вице-премьер Правительства Калининградской области) и др.

Председатель Российской делегации в Совместной Российско-Литовской демаркационной комиссии, Чрезвычайный и Полномочный Посол Российской Федерации А.А. Обухов работал в делимитационной комиссии Российской Федерации (Председатель Комиссии). Отрадно, что и значительная часть делегации Литовской Республики в Совместной Российско-Литовской демаркационной комиссии, которую возглавил заместитель директора Департамента Восточной Европы и Центральной Азии МИД Литвы З. Куметайтис, так же работала в делимитационной комиссии Литовской Республики. Первые же заседания Совместной демаркационной комиссии показали положительное влияние этого обстоятельства. Несмотря на восьмилетний перерыв, комиссия без дополнительных предварительных дискуссий и согласований приступила к решению организационных, технических и технологических вопросов демаркации.

Первая встреча российской и литовской делегаций в Совместной Российско-Литовской демаркационной комиссии состоялась в Москве, 8–9 февраля 2006 года. Уже в начале встречи удалось договориться вести переговоры на русском языке, что обеспечивало существенное продвижение в работе и только итоговые протоколы и материалы заседаний оформлять на двух языках. Тем не менее, в дальнейшем переводчикам обеих сторон приходится нередко прилагать немалые усилия для обеспечения идентичности текстов на русском и литовском языках. В дальнейшем это позволило добиваться терминологического единообразия в документах демаркации.

В ходе встречи было начато согласование проекта Положения о Совместной Российско-Литовской демаркационной комиссии.

Был затронут вопрос о порядке обмена уведомлениями о завершении внутригосударственных процедур, необходимых для вступления в силу российско-литовско-польского Соглашения об определении точки стыка государственных границ от 25 октября 2005 года.

Таким образом, Совместная Российско-Литовская демаркационная комиссия была создана и приступила к работе. Однако в ходе разработки Инструкций по выполнению демаркационных работ возникало немало споров и дискуссий. При их разработке Российская делегация опиралась на опыт выполнения демаркационных работ на других участках государственной границы Российской Федерации, в первую очередь российско-китайской границы, протяженность которой значительно превышает российско-литовскую границу и в связи с чем имела свои особенности и в первую очередь требованиям по точности определения линии прохождения границы. Литовская делегация, имевшая к тому времени значительный опыт демаркации границ Литвы с Латвией и Польшей и заканчивающая демаркацию границы с Белоруссией, опиралась в первую очередь на опыт демаркации границы с Белоруссией и повышенные точностные требования к определению линии прохождения границы. Так, если при демаркации российско-казахстанской государственной границы руководитель рабочей группы по картографо-геодезическому обеспечению демаркации границы мог самостоятельно принять решение при расхождениях ± 30 м в определении прохождения линии государственной границы, то любое расхождение в определении прохождения линии государственной границы между Российской Федерацией и Литовской Республикой выносилось на заседание Совместной Российско-Литовской демаркационной комиссии.

Непросто решался и вопрос выбора системы координат для демаркации границы. Каждая страна располагала собственными системами координат, референц-эллипсоидами с разными параметрами и картографическим материалом в разных системах координат и в разных проекциях. Делимитационная карта масштаба 1: 50 000 была составлена в системе координат Советского Союза (России) 1942 года (СК-42). Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2000 г. №568 для использования при производстве геодезических и картографических работ на территории Российской Федерации с 1 июля 2002 г. введена более высокоточная система геодезических координат 1995 года (СК-95).

В связи с отказом делегации Литвы принять для демаркации систему координат СК-42, принятую при делимитации государственной границы, предложенная делегацией Литвы для демаркации государственная система координат Литвы LKS-94 и разработанная на ее основе для территории Литвы проекция LTM (применена не международная разграфка Земли 6-градусными зонами, а в качестве осевого меридиана использован $L[0] = 24^\circ$ с целью уменьшения деформаций линий и площадей (уменьше-

ны на отдельных частях территории Литвы в 5 раз), делегацией Российской Федерации была отклонена.

В итоге было принято компромиссное решение, координаты пограничных знаков (B,L и x, y) определять в единой европейской системе координат EUREF-89, эллипсоид GRS-80 (параметры: большая полуось 6 378 137 м, сжатие = 1/298,257222101) в универсальной поперечно-цилиндрической проекции Меркатора (UTM). Абсолютные высоты пограничных знаков определять в принятой в Российской Федерации Балтийской системе высот 1977 года. Одновременно, при принятии этого решения, обе делегации учитывали и то обстоятельство, что в обозримом будущем к переговорному процессу подключиться и делегация Польши в связи с демаркацией точки стыка трех границ в соответствии с российско-литовско-польским Соглашением «Об определении точки стыка государственных границ Российской Федерации, Литовской Республики и Республики Польша» от 25 октября 2005 года. Это Соглашение было подписано в МИДе Литвы от имени государств директором Консульского департамента МИДа Литвы З. Куметайтисом, заместителем директора Юридического бюро Комендатуры по охране границы Польши В. Поплавским и послом по особым поручения МИДа России А. Обуховым.

Межправительственное соглашение об определении точки стыка государственных границ России, Литвы и Польши вступило в силу 20 июля 2006 г. Данный документ закрепил положение о месте пересечения госграниц Литвы, Польши и России. Эта точка находится в трех километрах к югу от озера Виштынецкое. Прямо в точке схождения трех границ находился пограничный знак № 1987. Этот знак был установлен в первые послевоенные годы в процессе демаркации советско-польской государственной границы во исполнение Договора между СССР и Польшей от 16 августа 1945 года и представляет собой четырехгранную пирамиду – бетонный монолит. Его более крупные габариты по сравнению с другими центровыми столбами на советско-польской границе объясняются тем, что он был установлен в точке поворота границы, а также тем обстоятельством, что здесь советско-польская государственная граница сходилась с административной границей Литовской ССР и границей Восточной Пруссии – будущей Калининградской области.

В г. Виштитис (Литва), 18–19 сентября 2007 года состоялась 1-я встреча российской, литовской и польской делегаций по вопросам реализации Соглашения между Правительством Российской Федерации, Правительством Литовской Республики и Правительством Республики

Польша об определении точки стыка государственных границ. Встреча в Виштитисе явилась первым заседанием Совместной российско-литовско-польской демаркационной комиссии, учрежденной ст. 2 Соглашения между Правительством Российской Федерации, Правительством Литовской Республики и Правительством Республики Польша об определении точки стыка государственных границ и перед ней ставилась задача определить внешний вид, форму и размеры пограничного знака, обозначающего точку стыка, установить его и составить соответствующие документы демаркации.

В ходе встречи выяснилось, что позиции Сторон в вопросе о внешнем виде пограничного знака в точке стыка государственных границ трех государств на данном этапе существенно расходятся.

Российская делегация высказалась за то, чтобы сохранить бетонный монолит, установленный в центре пограничного знака № 1987, надев на него колпак из титанового сплава. В дополнение к монолиту Стороны установили бы вокруг него свои пограничные столбы. В комплексе все это и составило бы пограничный знак в точке стыка государственных границ. Аргументируя свой подход, российская делегация обратила внимание на простоту и экономичность подобного решения.

Делегации Литвы и Польши выдвинули, фактически, заранее согласованный подход. Они выступили за установление в точке стыка нового пограничного знака. В этой связи литовцы представили проект площадки под новый знак в виде круга диаметром в 10 метров. Поляки, опираясь на свой опыт обозначения точек стыка границ со Словакией и Чехией, а также с Украиной и Белоруссией, предложили в центре круглой площадки, разработанной литовцами, поставить трехгранный обелиск из красного финского гранита. На его гранях был бы высечен герб соответствующего государства, а внизу название знака – «Виштынец». Дополнительных пограничных столбов вокруг знака литовско-польский проект не предусматривал.

Председатель польской делегации З. Шлензак возражал против сохранения бетонного монолита в качестве знака точки стыка. Монолит обветшал, утверждал он, и «в любой момент может развалиться». Вместе с литовской делегацией, польская делегация отмечали, что монолит имеет и отклонение от вертикальной оси. На нем отсутствует центровая отметка, а, будучи четырехгранной формы, он не может быть сориентирован в направлении трех граничащих государств. Соответственно, на нем нельзя установить и государственную символику.

Делегациям была предоставлена возможность ознакомиться на месте с состоянием пограничного знака № 1987. Осмотр показал, что знак

действительно нуждается в ремонте, а прилегающая территория – в обустройстве. Дело в том, что пограничный знак № 1987 уже более полувека находится на косогорье, и это не способствовало его устойчивости.

По ходу встречи литовская и польская делегации представили также соображения по структуре и содержанию проектов демаркационных документов. При этом Председатель литовской делегации З. Куметайтис отметил, что их предметное рассмотрение возможно только после достижения согласия по внешнему облику пограничного знака в точке стыка.

В г. Голдап (Польша), 6–7 февраля 2008 года прошло 2-е заседание Совместной российско-польско-литовской демаркационной комиссии по обозначению на местности точки стыка государственных границ Российской Федерации, Республики Польша и Литовской Республики. Несомненным успехом заседания стало достижение продвижения в ключевом вопросе – о внешнем облике пограничного знака, который будет установлен в точке стыка. Встречное предложение российской делегации позволило обеспечить взаимопонимание, что новый пограничный знак «Виштынец» заменит существующий бетонный монолит, стоящий в центре пограничного знака № 1987.

Новый пограничный знак «Виштынец» будет представлять собою гранитный монолит. Российская делегация также отметила, что ранее представленный польский проект монолита в виде трехгранника не позволяет, в силу специфики прохождения линий границы в районе точки стыка, правильно ориентировать изображения государственных гербов и названий государств на гранях монолита в направлении соответствующих государств. В этой связи российская делегация внесла предложение о придании гранитному монолиту не треугольной, а цилиндрической формы, что снимало бы проблему адекватной ориентировки изображений на нем государственной символики. Делегации достигли принципиального согласия, что расходы будут распределяться между сторонами в равных долях.

Однако, чтобы установить в точке стыка новый гранитный пограничный знак высотой 1,75 м и диаметром 0,5 м (по оценке специалистов аналогов которому в современной истории нет не только в Европе, но и в мире и предприимчивые поляки уже включили это место в туристические маршруты) выйти на 8-ю (итоговую) встречу в Москве 5–6 июля 2011 года предстояло провести еще 5 (пять) заседаний Совместной российско-польско-литовской демаркационной комиссии по обозначению на местности точки стыка государственных границ Российской Феде-

рации, Республики Польша и Литовской Республики. Все заседания проходили напряженно и в непростых дискуссиях. Председатель польской делегации З. Шлензаку непременно хотелось, чтобы в основу обсуждения на заседаниях была всегда непременно положена польская схема. Российская делегация терпеливо убеждала польскую и литовскую делегации внимательно приглядеться и к нашим инициативам – они обеспечивают хорошую основу для практической работы по достижению компромиссных решений. При этом авторами таких решений, в конечном счете, будут все равно все три делегации. Ближе к итоговой встрече Председатель польской делегации З. Шлензак стал более конструктивен.



Рис. 1. Демонтаж пограничного знака № 1987 (11.05.2010 г.)

В Москве, 5–6 июля 2011 года состоялось 8-е (заключительное) заседание Совместной российско-литовско-польской комиссии по обозначению на местности точки стыка государственных границ Российской Федерации, Литовской Республики и Республики Польша.

В ходе заседания делегации окончательно согласовали и сверили итоговые демаркационные документы, предусмотренные статьей 2 Соглашения между Правительством Российской Федерации, Правительством Литовской Республики и Правительством Республики Польша об опреде-

лении точки стыка государственных границ от 27 октября 2005 года и относящиеся к пограничному знаку «Виштынец», установленному в точке стыка государственных границ России, Литвы и Польши.

Демаркационными документами стали Протокол-описание точки стыка государственных границ Российской Федерации, Литовской Республики и Республики Польша и приложения к нему:

- Приложение 1 – чертеж пограничного знака «Виштынец»;
- Приложения 2а, 2б, 2с и 2д – фотографии пограничного знака «Виштынец»;
- Приложение 3 – Карта района точки стыка государственных границ Российской Федерации, Литовской Республики и Республики Польша (рис. 2);
- Приложение 4 – Протокол пограничного знака «Виштынец».

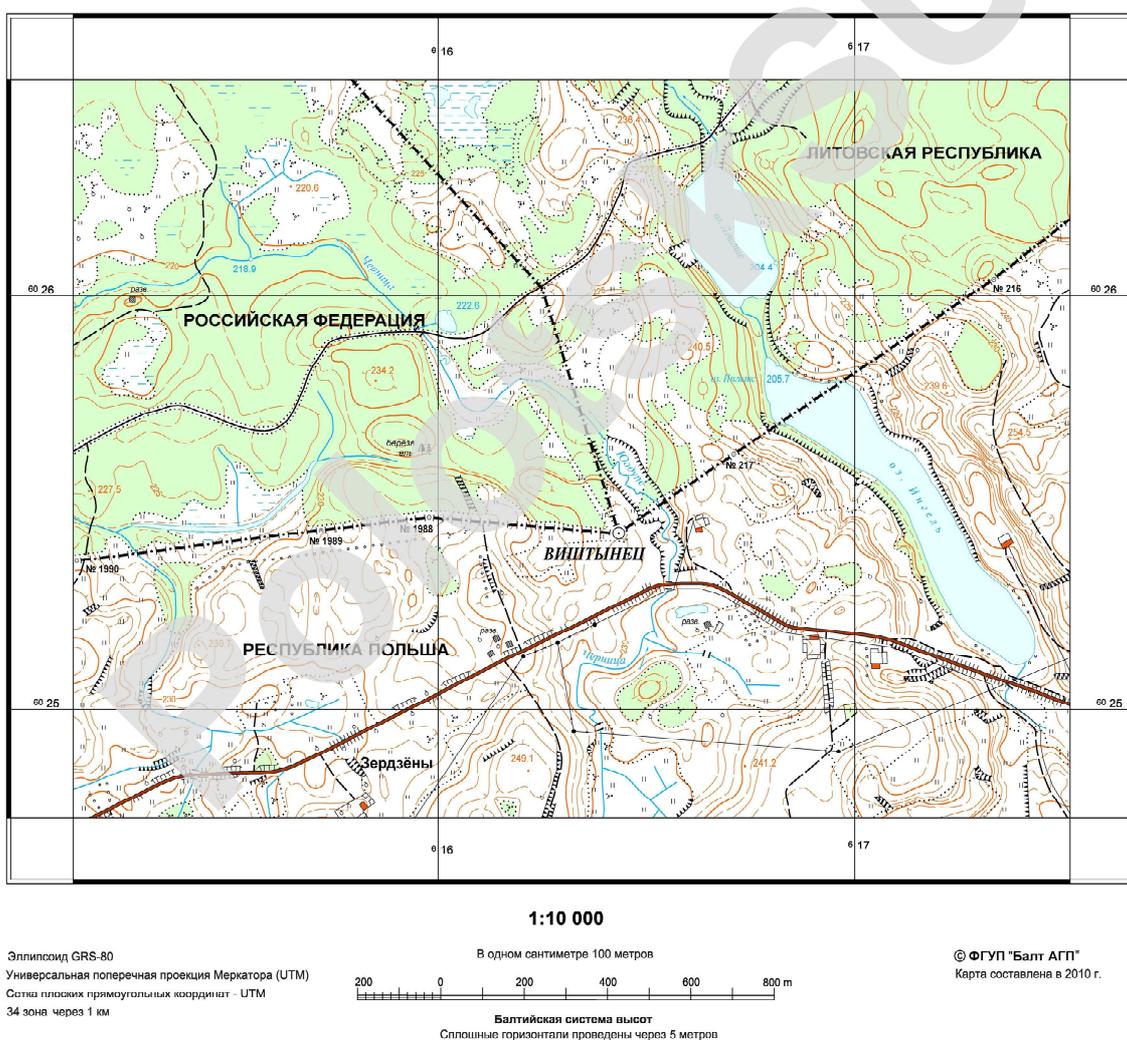


Рис. 2. Карта района точки стыка государственных границ Российской Федерации, Литовской Республики и Республики Польша

Делегации подтвердили, что установка пограничного знака «Виштынец» осуществлена в соответствии с инструкциями, утвержденными Комиссией. Центр установленного пограничного знака «Виштынец» совпадает с центром демонтированного пограничного знака № 1987. Это означает, что ключевое требование, содержащееся в статье 1 Соглашения между Правительством Российской Федерации, Правительством Литовской Республики и Правительством Республики Польша об определении точки стыка государственных границ от 27 октября 2005 года, реализовано.

Председатели делегаций подписали Протокол-описание точки стыка государственных границ Российской Федерации, Литовской Республики и Республики Польша, Карту района точки стыка государственных границ Российской Федерации, Литовской Республики и Республики Польша, а также Протокол пограничного знака «Виштынец» (рис. 3).



Рис. 3. Подписание документов демаркации точки стыка границ
(Москва, 6.07.2011 г.)

Совместная российско-литовско-польская демаркационная комиссия по обозначению на местности точки стыка государственных границ Российской Федерации, Литовской Республики и Республики Польша констатировала, что задачи по демаркации точки стыка государственных границ Российской Федерации, Литовской Республики и Республики Польша, вытекающие из Соглашения, выполнены в полном объеме.



Рис. 4. Пограничный знак «Виштынец»

ЛИТЕРАТУРА

1. Рожков-Юрьевский, Ю.Д. К вопросу установления государственных границ и разграничения морских пространств Российской Федерации на участке Калининградской области / Ю.Д. Рожков-Юрьевский // Вестн. БФУ им. И. Канта». – 2013. – Вып. 3.

THE DEMARCATION OF THE JUNCTION POINT OF THE RUSSIAN FEDERATION BORDER, THE REPUBLIC OF LITHUANIA AND THE REPUBLIC OF POLAND

M. SHEVNYA

The actions of three governments (Russian Federation, Lithuania and Poland) are examined in succession and synchronized the methods in demarcation of the border joint points.

Keywords: the demarcation of the border, demarcation maps, the joint points.

О КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ КОЛЕБАНИЯМИ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД И ИЗМЕНЕНИЯМИ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

д-р техн. наук, проф. В.И. КОСТИЦЫН

*(Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Россия)*

Для скважин геодинамического полигона «Предуралье» в Пермском крае установлены корреляционные зависимости между изменениями уровня подземных вод и силы тяжести. На основании корреляционной зависимости между колебаниями уровня грунтовых вод и изменениями силы тяжести в опорных пунктах (скважинах) можно определять уровень воды в ближайших пунктах, выполняя в них повторные гравиметрические наблюдения без бурения скважин.

***Ключевые слова:** геодинамический полигон, изменения силы тяжести, колебания уровня грунтовых вод, корреляционная зависимость.*

Рассмотрим применение гравиметрии для определения уровня грунтовых вод на примере геодинамического полигона «Предуралье» в Пермском крае. Известно, что пространственно-временные преобразования верхней части разреза определяются, главным образом, динамикой грунтовых вод. Известны два типа колебаний уровня грунтовых вод (УГВ): длиннопериодные (сезонные) и короткопериодные (суточные). В длиннопериодных колебаниях основным источником питания являются сезонные атмосферные осадки в виде дождя и снега, создающие закономерный ход изменениям запасов воды. Этот тип колебаний УГВ характеризуется в течение года двумя максимумами (весна, осень) и двумя минимумами (зима, лето). Короткопериодные колебания обусловлены воздействием в пределах суток метеорологических (дождя, снега), техногенных (промышленных утечек воды, сливов) и других факторов. Непредсказуемость колебаний второго типа, их характера, времени и интенсивности проявления, а также наложение на колебания первого типа значительно затрудняют их изучение.

Для изучения динамики грунтовых вод проведены повторные гравиметрические наблюдения (мониторинг) в пунктах профилей и одновременно гидрогеологические измерения в скважинах [1]. На основании син-

хронных гравиметрических и гидрогеологических измерений могут быть установлены зависимости между изменениями уровня грунтовых вод (УГВ) и силы тяжести (СТ) в опорных пунктах (скважинах), если они имеются, а затем можно будет определить уровень грунтовых вод в ближайших пунктах гравиметрической сети [2], где отсутствуют гидрогеологические скважины.

Технология гравиметрического мониторинга. Для определения уровня грунтовых вод с помощью гравиметрических наблюдений использовали принцип максимальной локальной точности между двумя соседними пунктами в каждую серию измерений. На полигоне установлен основной опорный пункт в виде бетонного монолита, углубленного в землю до твердого основания на 1,0–1,5 м и с верхней гранью $0,7 \times 0,7$ м, от него проводились все гравиметрические измерения [2–4].

Остальные пункты полигона выбирали так, чтобы они покрывали всю исследуемую площадь и располагались друг от друга на небольшом расстоянии (от 1–5 м до 25–200 м) в зависимости от конкретных геоморфологических и гидрогеологических условий. Пункты должны иметь постоянные высоты, надежно закреплены на местности, чтобы их можно было использовать в течение многих лет.

Предположим, что в начальный момент времени определено положение уровня грунтовых вод в скважинах (опорных пунктах), измерены значения силы тяжести на опорных и рядовых пунктах. Через несколько дней (месяцев) проводят новую серию повторных измерений силы тяжести на всех пунктах относительно основного опорного пункта с одновременным измерением уровня грунтовых вод в гидрогеологических скважинах. Получим вариации силы тяжести (δg) на опорных и рядовых пунктах, а также изменения УГВ (δH) в скважинах (опорных пунктах). Если будет установлена корреляционная зависимость между δg и δH для опорных пунктов (скважин), то далее находим уровень грунтовых вод для рядовых пунктов по изменениям в них силы тяжести.

Геодинамический полигон «Предуралье». Для изучения гидрогеологического режима в естественных геологических условиях был создан геодинамический полигон «Предуралье» в бассейне р. Сылвы (рис. 1) на территории заказника «Предуралье» (Пермский край). Полигон включает 12 гидрогеологических скважин, оборудованных фильтрами, и 55 гравиметрических пунктов в виде бетонных монолитов, углубленных в землю до твердого основания на 1,0–1,5 м [5].

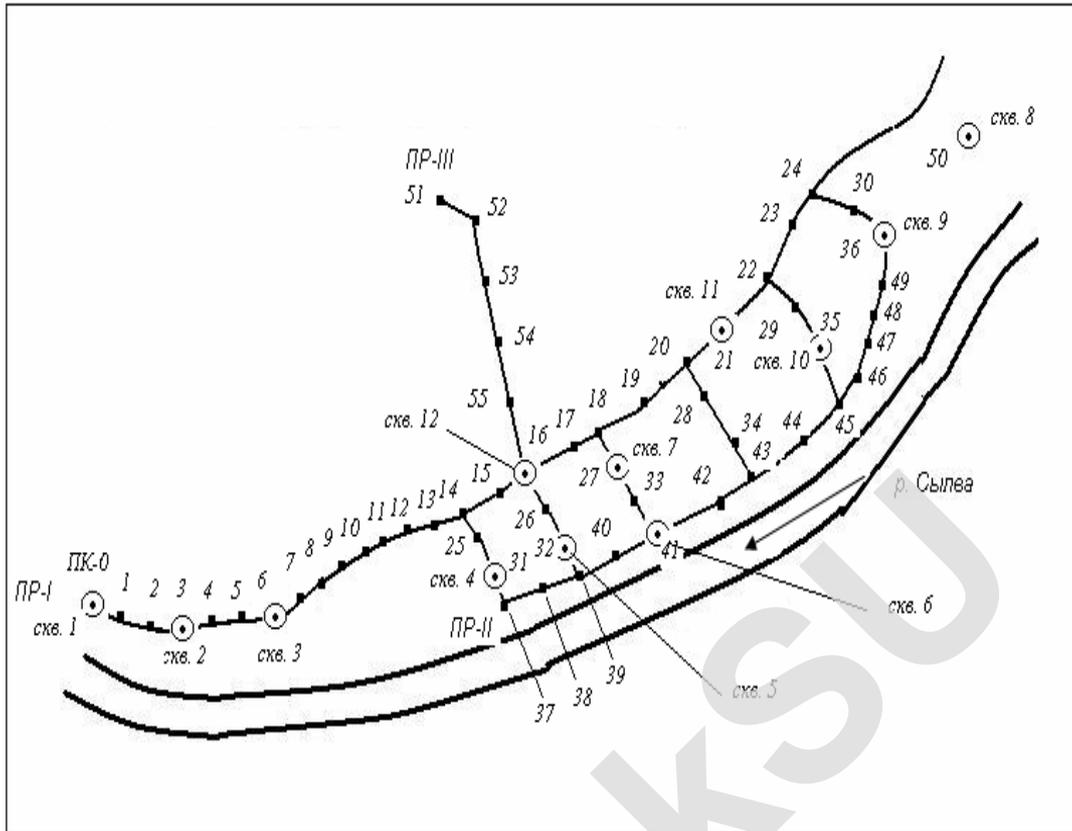


Рис. 1. Схема геодинамического полигона «Предуралье»

Геологический разрез, изученный по керну скважин, представлен породами четвертичного и пермского возраста. *Четвертичные отложения* – это песчаные глины, тугопластичные, с обломками известняков до 4 см. Мощность глин составляет 1,5–3,0 м. Ниже залегают глинистые песчаники, слабые по прочности, ближе к подошве песчано-галечные отложения. Мощность толщ изменяется от 1 до 4 м. *Пермские отложения* представлены сильно разрушенными известняками, с обломками 5–20 см, а ниже – трещиноватыми и железистыми известняками, с признаками окремнения; трещины заполнены известковой супесью. Кровля их расположена на глубине от 1 до 7 м, мощность составляет 3–8 м. Ниже расположены известняки артинского возраста, в кровле трещиноватые, а затем крепкие, с признаками ожелезнения и окремнения. Кровля отложений расположена на глубине от 6 до 9 м.

Для примера на рисунке 2 приведены геолого-технические разрезы для скважин 5 и 11 (см. рис. 1), расположенных на разных участках полигона и имеющих разные глубины водоносного горизонта. В скважинах установлены сетчатые фильтры (диаметр 127 мм), поэтому уровень грунтовых вод в них соответствует уровню водоносного горизонта.

Шкала глубин, м	Глубина залегания, м		Мощность слоя, м	Литологический разрез и конструкция скважины	Описание пород	Мощность водонасыщенного горизонта, м
	кровли	подолы				
1.0	0.0	0.4	0.4		Глина плотная	
	0.4	1.9	1.5		Глина тугопластичная песчанистая	
2.0	1.9	5.0	3.1		Известняк разрушенный до обломков (по 30 см), в промежутках известковая супесобразная порода, на 4.0-4.5 м - песчаник	
3.0					Известняк трещиноватый, трещины заполнены известковой супесью, часто известняк разрушен до обломков, железистый с признаками окремнения и окварцевания	
4.0					Известняк монолитный, признаки окремнения	
5.0	5.0	9.6	4.6			Н = 10.4-7.5 = 2.9
6.0	9.6	10.4	0.8			

а

Шкала глубин, м	Глубина залегания, м		Мощность слоя, м	Литологический разрез и конструкция скважины	Описание пород	Мощность водонасыщенного горизонта, м
	кровли	подолы				
2.0	0.0	6.0	6.0		Известняк в кровле сильно разрушен (глыбы 5-20 см), далее трещиноватый, железистый, плотный, с признаками окремнения, трещины заполнены известковистой супесью	
4.0					Известняк в кровле трещиноватый, очень крепкий с признаками ожелезнения и окремнения	
6.0						Н = 24.0-16.2 = 7.8
8.0						
10.0						
12.0						
14.0						
16.0						
18.0						
20.0						
22.0						
23.0						

б

Рис. 2. Геолого-технические разрезы скважин: а – 5 и б – 11 геодинамического полигона «Предуралье»

По данным гидрогеологических наблюдений глубина залегания уровня грунтовых вод в разных скважинах изменяется от 1,2 до 18,3 м, а амплитуда колебаний в одной и той же скважине между замерами в период весеннего половодья и летней межени достигает 6 м.

Для скважин 5 и 11 приведены графики изменения силы тяжести и уровня грунтовых вод за период с конца мая по начало сентября (рис. 3–4).

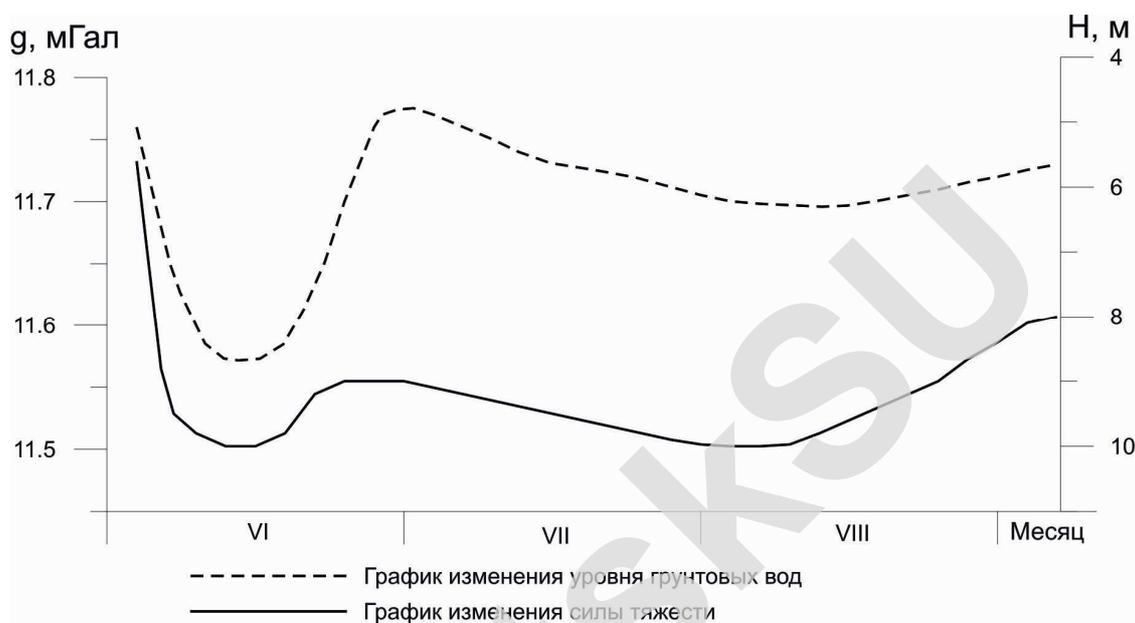


Рис. 3. Графики изменения силы тяжести и уровня грунтовых вод для скв. 5

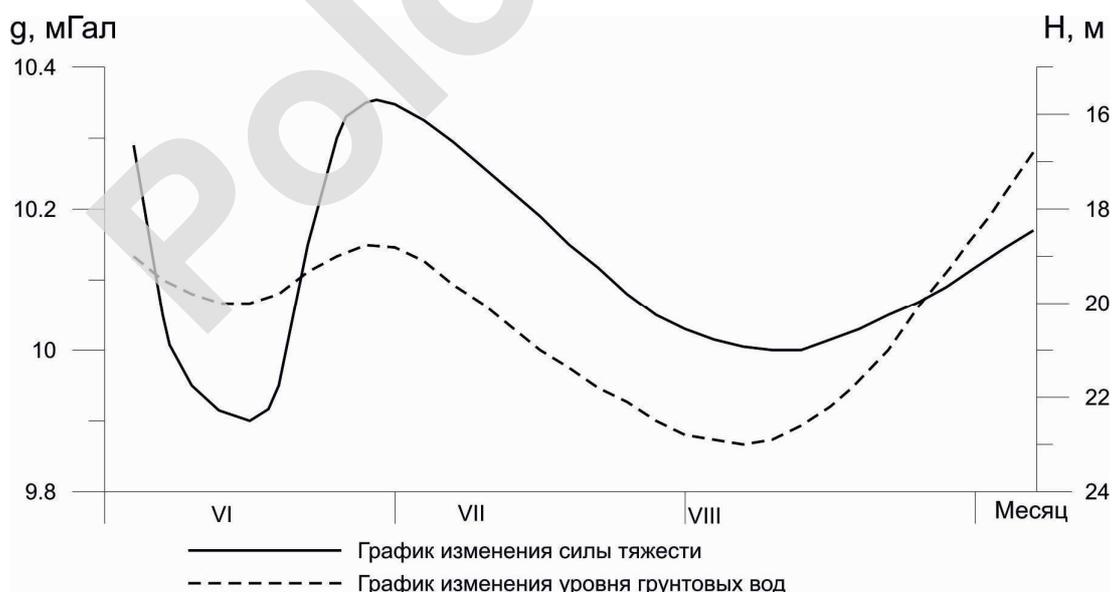


Рис. 4. Графики изменения силы тяжести и уровня грунтовых вод для скв. 11

На основании выполненных исследований установленные корреляционные зависимости между изменениями силы тяжести и уровня грунтовых вод, которые имеют следующий вид для скважины 5:

$$y = 14,7 - 4,45x,$$

для скважины 11

$$y = 34,6 - 5,95x.$$

Коэффициент корреляции для скважины 5 получился 0,76 и скважины 11–0,80. Согласно теории вероятности можно считать, что между колебаниями уровня грунтовых вод и изменениями силы тяжести существует корреляционная зависимость. Аналогичные корреляционные зависимости получены для других скважин геодинамического полигона. Коэффициенты корреляции изменяются от 0,75 до 0,92.

При повторных гравиметрических наблюдениях на одном и том же пункте геологический разрез остается постоянным, а изменяется только аномальная масса за счет разного количества атмосферных осадков, что приводит затем к колебаниям уровня грунтовых вод. Поэтому можем считать, что полученные вариации гравитационного поля происходят, главным образом, за счет колебаний уровня грунтовых вод [5–7].

Таким образом, для скважин геодинамического полигона «Предуралье» в Пермском крае установлены корреляционные зависимости между изменениями уровня подземных вод и силы тяжести. Следовательно, зная корреляционную зависимость между колебаниями уровня грунтовых вод и изменениями силы тяжести в опорных пунктах (скважинах), можно определять уровень воды в ближайших пунктах, выполняя в них повторные гравиметрические наблюдения без бурения скважин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костицын, В.И. Влияние гидрогеологического режима на результаты высокоточных гравиметрических наблюдений / В.И. Костицын // Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. – 1974. – Вып. 12. – С. 75–78.
2. Костицын, В.И. Возможности гравиметрии при изучении динамики подземных вод / В.И. Костицын, А.И. Колосов // Геологические исследования и охрана окружающей среды на Западном Урале. – 2007. – С. 81–83.
3. Вихирев, Б.В. Влияние изменения во времени гидрогеологических факторов на силу тяжести / Б.В. Вихирев // Повторные гравиметрические наблюдения. – М. : Нефтегеофизика, 1976. – С. 4–23.

4. Курбанов, М.К. Изучение влияния изменений уровня грунтовых вод на высокоточные измерения силы тяжести в районе Ашхабадского геодинамического полигона / М.К. Курбанов, О.Б. Кирста // Повторные гравиметрические наблюдения. – М. : Нефтегеофизика, 1983. – С. 104–109.
5. Костицын, В.И. Перспективы гравиметрии при решении некоторых задач гидрогеологии / В.И. Костицын // Проблемы и задачи инженерно-строительных изысканий. – Пермь : ВерхнекамТИСИЗ, 2008. – С. 186–198.
6. Long-term and seasonal gravity changes at the Strasbourg station and their relation to crustal deformation and hydrology / M. Amalvict [et al.] // Journal of Geodynamics. – 2004. – 38. – P. 343–353.
7. Harnisch, G. Hydrological influences in long gravimetric data series / G. Harnisch // Journal of Geodynamics. – 2006. – 41.– P. 278–287.

ABOUT CORRELATION DEPENDENCE BETWEEN VARIATIONS OF WATER-TABLE AND GRAVITATIONAL FORCE CHANGES

V. KOSTITSYN

For the wells of geodynamic test site “Preduralie” (Perm Krai) the correlation dependences between variations of water-table and gravitational force changes were determined. Based on the correlation dependences between variations of water-table and gravitational force at base-stations (wells) it is possible to estimate the water-table level at neighboring survey-points without drilling, performing the repeated gravity measurements.

Keywords: *geodynamic test site, gravitational force variations, water-table variations, correlation dependence.*

УДК 528.4

ДЕМАРКАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В.С. ХОМИЧ

(Белгеодезия, Беларусь)

Представлены теоретические аспекты обозначения государственной границы Республики Беларусь, анализ текущего состояния демаркации, перспективы демаркации. Методика демаркации государственной границы и общие правила проведения работ по обозначению границы, а также итоговые документы демаркации также освещены в публикации.

В соответствии с Конституцией Республики Беларусь (ст. 9) «Территория Республики Беларусь является естественным условием существования и пространственным пределом самоопределения народа, основой его благосостояния и суверенитета Республики Беларусь. Территория Беларуси едина и неотчуждаема».

В современный период в Республике Беларусь, как и во всем мире в целом, происходят значительные геополитические и социально-экономические изменения. Последним значимым событием стал распад СССР, который создал проблему международно-правового оформления государственной границы для бывших союзных республик, ставших новыми независимыми государствами. Работа по завершению международно-правового оформления Государственной границы тесно взаимосвязана с обеспечением конституционных основ и национальной безопасности Республики Беларусь, целостности ее территории и неприкосновенности ее границ.

Государственная территория – один из основных признаков государства, определяющий пространство, на которое распространяется суверенитет и власть государства. Каждое государство заинтересовано в ясном определении пределов своей территории, поскольку территориальные споры с соседями рождают много трудностей, а порой чреваты военными конфликтами. Под территорией понимается не только ее сухопутная часть, но также внутренние воды, территориальное море, воздушное пространство над территориями субъектов. Внутренние воды состоят из рек, озер, заливов, лиманов и др. Воздушное пространство по сложившейся правовой практике включает высоту до 100 км.

В пределах своей территории государство осуществляет территориальное верховенство, заключающейся в легитимизации публичной власти.

Справедливое территориальное разграничение имеет определяющее значение как для безопасности и сотрудничества сопредельных государств, так и для международной стабильности. Не случайно граница государства считается барометром международных отношений, так как нерешенность пограничных вопросов представляет потенциальный источник угроз безопасности государств, а их отсутствие, наоборот, способствует развитию взаимовыгодного сотрудничества.

Следовательно, установление границ государства приобретает важное политическое, экономическое и военное значение и входит в компетенцию высших органов государственной власти.

Законом Республики Беларусь «О Государственной границе Республики Беларусь» в статье 15 особо выделяется проблема международно-правового оформления государственной границы: «Государственная граница устанавливается и изменяется в соответствии с международными договорами Республики Беларусь. Установление государственной границы, если иное не предусмотрено международными договорами Республики Беларусь, включает в себя делимитацию и демаркацию Государственной границы. Не установленные с сопредельными государствами участки Государственной границы подлежат закреплению международными договорами Республики Беларусь».

Из этого Закона следует, что часть Государственной границы оформлена в международно-правовом отношении, а значительная ее часть еще подлежит оформлению при общей протяженности более 3517 км (табл.).

Таблица

Протяженность участков государственной границы

Протяженность участков государственной границы, оформленных в международно-договорном отношении (км)			
	Всего	Сухопутный	Водный
Из них с:			
Латвийской Республикой	172,9	60,6	112,3
Литовской Республикой	678,8	379,9	298,9
Республикой Польша	398,6	190,9	207,7
Протяженность участков государственной границы, не оформленных в международно-договорном отношении (км)			
Украиной	около 1084	около 744	около 340
Российской Федерацией	около 1283	около 888	около 395

Содержание международно-правового оформления государственной границы включает в себя три компонента:

- собственно установление государственной границы (делимитация и демаркация);
- установление режима государственной границы;

– создание международно-правовой базы для регулирования правоотношений в приграничных районах и на путях международных сообщений, прилегающих к границе.

Международно-правовое оформление государственной границы – двусторонний или многосторонний международный переговорный и организационно-технологический процесс по заключению международных (межгосударственных, межправительственных и межведомственных) договоров (соглашений, протоколов, меморандумов и т.д.).

Составной частью международно-правового оформления государственной границы является установление ее режима.

Режим государственной границы устанавливается как актами внутреннего законодательства страны, так международными договорами.

Установление государственной границы проходит обычно в два этапа.

На первом этапе, который называется **делимитация**, сопредельные государства путем переговоров определяют общее прохождение линии государственной границы, составляют ее описание, наносят линию границы на карту (белорусско-литовская и белорусско-латвийская государственная граница нанесена на топографическую карту масштаба 1:10 000 и 1:50 000 соответственно, а советско-польская – масштаба 1:25 000) и закрепляют результаты делимитации межгосударственным договором. Картографическое обеспечение делимитации Государственной границы включает:

- подбор исходных картографических материалов;
- создание делимитационной карты;
- составление описания прохождения Государственной границы.

Материалы делимитации государственной границы служат международно-правовым основанием для второго этапа установления границы – **демаркации** – это проведение линии государственной границы на местности с обозначением ее специальными пограничными знаками. Картографо-геодезическое обеспечение демаркации Государственной границы включает:

- вынос на местность и закрепление пограничными знаками линии делимитации Государственной границы;
- определение пространственного положения Государственной границы в системах координат и высот, принятых в Республике Беларусь и сопредельном государстве;
- подготовку документов, обеспечивающих достоверное и однозначное восстановление геодезическими методами положения Государственной границы на местности в случае утраты элементов ее обозначения.

К вопросам установления границы относятся еще два специфических процесса: ректификация и редемаркация границы.

Необходимость в их проведении возникает в силу различных обстоятельств. Это могут быть войны, обмен территориями по согласованию сопредельных государств, образование новых государств в рамках существовавших границ (Африка, СССР, Югославия), результаты проверки границы, изменение русел пограничных рек и т.д.

Ректификация границы – незначительное уточнение, изменение линии госграницы, связанное с возникновением необходимости ее отклонения на местности от положения, предусмотренного ранее принятыми договорными документами. Как и документы делимитации, документы ректификации составляются на высшем государственном уровне и подлежат ратификации.

Редемаркация границы – совместная проверка и, в случае необходимости, восстановление на местности, демаркированной государственной границы. Редемаркация предусматривает:

- ремонт пограничных знаков,
- восстановление утраченных и установку дополнительных пограничных знаков,
- составление описания прохождения государственной границы и протоколов пограничных знаков и других документов, аналогичных документам демаркации.

Она проводится с периодичностью, как правило, определяемой договорами о режиме границы.

Делимитация, демаркация, ректификация, редемаркация границы осуществляются совместно делегациями или комиссиями обоих сопредельных государств, иными словами, они носят международный характер.

Полномочия республиканских органов государственного управления в сфере установления государственной границы Республики Беларусь распределены следующим образом:

- Министерство иностранных дел;
- Государственный пограничный комитет;
- Государственный комитет по имуществу.

Линия государственной границы между Республикой Беларусь и сопредельными государствами на местности обозначается основными (рис. 1), переходными (рис. 2), озерными (рис. 3), речными (рис. 4), промежуточными (рис. 5), стыковыми и специальными пограничными знаками (рис. 6).



Рис. 1. Основной пограничный знак



Рис. 2. Переходный пограничный знак



Рис. 3. Озерный пограничный знак



Рис. 4. Речной пограничный знак



Рис. 5. Промежуточный пограничный знак



Рис. 6. Специальный пограничный знак

Для сравнения: на белорусско-литовской государственной границе установлено 1957 пограничных знаков при протяженности 678,8 км, на белорусско-латвийской – 417 при протяженности 172,912 км, на белорусско-польской – 667 при протяженности 398,8 км. На границе между Францией и Италией протяженностью 515 км, установлено более 700 пограничных

знаков, на канадско-американской границе (протяженность около 9 тыс. км, из них сухопутной около 5 тыс. км) установлено около 8 тыс. пограничных знаков, на норвежско-финской границе протяженностью 699 км (обозначен только сухопутный участок протяженностью 414 км) установлено 208 пограничных знаков, на аргентино-болливийской границе протяженностью 745 км установлено 375 пограничных знаков и т.д. Всем пограничным знакам присваиваются порядковые номера, отсчет начинается со стыкового пограничного знака, которому вместо порядкового номера присваивается собственное наименование. При этом на участках Государственной границы с каждым из сопредельных государств пограничные знаки нумеруются отдельно.

Координаты пограничных знаков определяются от пунктов общей геодезической сети (далее – ОГС), расположенных на территории Республики Беларусь и сопредельного государства вдоль государственной границы. Так в 2013 году были произведены спутниковые измерения на пунктах общей геодезической сети, расположенных на территории Республики Беларусь и Республики Польша (рис. 7). В ОГС было включено:

- на территории Республики Беларусь 18 пунктов государственной геодезической сети и 2 постоянно действующих пункта (ПДП ССТП) – Брест и Гродно;

- на территории Республика Польша 18 пунктов и 5 постоянно действующих пунктов: Suwalki, Sokoika, Hajnowka, Biala Podlaska, Wlodawa.

Измерения производились с использованием технологии GPS в статическом режиме, одним сеансом продолжительностью 4 часа. В измерении участвовало не менее 6 GPS-приемников. В первой расстановке наблюдалось 6 пунктов, во второй и последующих расстановках (для связи разносуточных наблюдений) в измерения включалось два пункта предыдущей расстановки. Аналогичную методику расстановки GPS-приемников выполняла и польская сторона на пунктах ОГС, расположенных на территории своего государства.

По договоренности белорусской и польской сторон измерения проводились одновременно, т.е. начинались и заканчивались по согласованному графику, как на белорусской территории, так и польской территории специалистами соответствующих сторон. График наблюдений в основном был выполнен.

Средние расхождения пространственных прямоугольных координат пунктов ОГС в системах ITRF 2005 (эпоха 2008,31) и ETRF 2000 (эпоха 2011,00), полученными белорусской и польской сторонами, составляют 0,011 м.

Данные расхождения говорят о том, что созданная ОГС однородна и может использоваться для дальнейших геодезических определений.

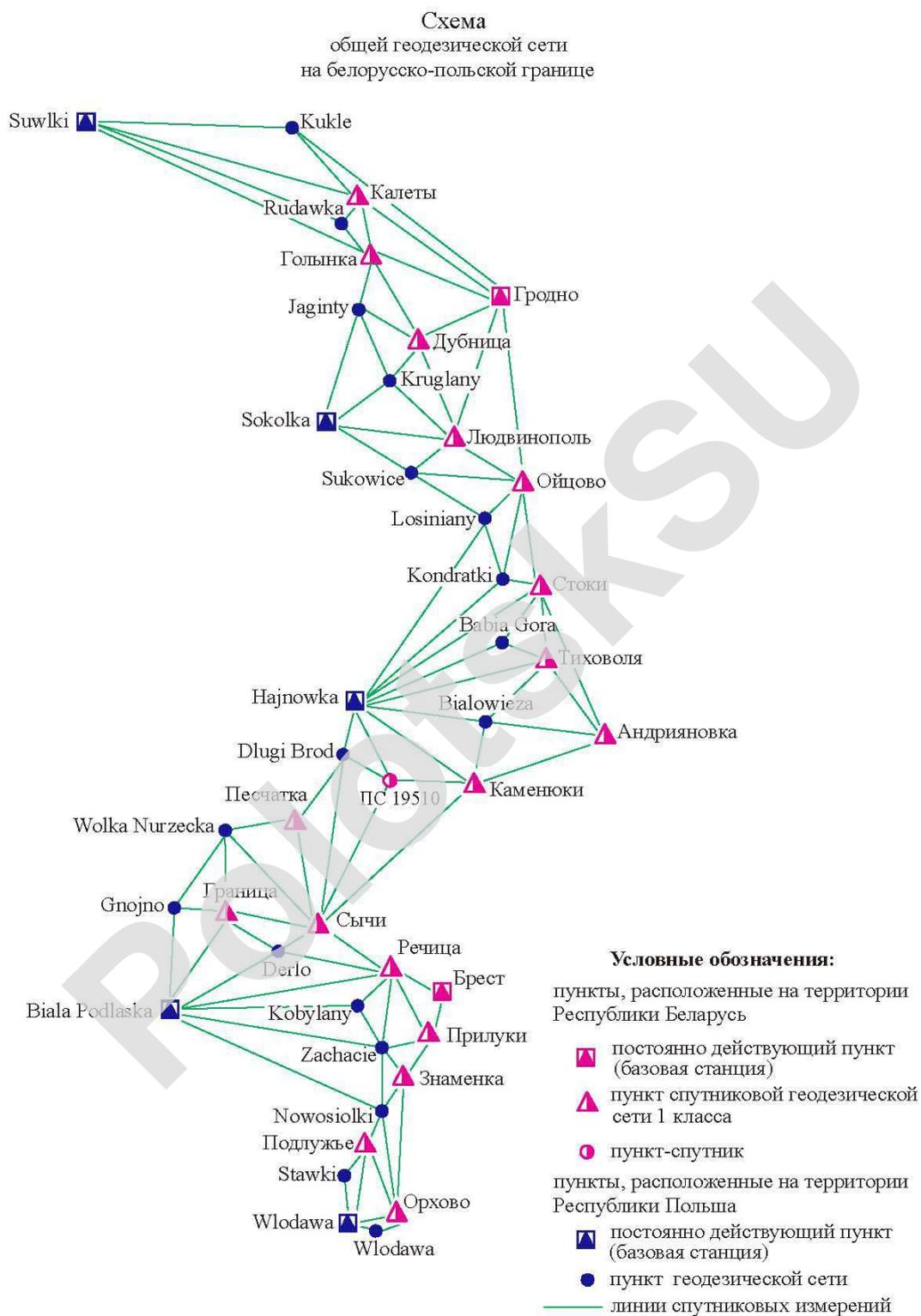


Рис. 7. Общая геодезическая сеть

По результатам демаркационных работ подготавливаются окончательные документы демаркации:

- демаркационная карта масштаба 1:10 000;
- протоколы пограничных знаков;
- каталог координат пограничных знаков со схемой геодезической сети; описание государственной границы, с таблицей государственной принадлежности островов.

Окончательные документы составляются на языках сторон и брошюруются в тома (рис. 9).



Рис. 9. Окончательные документы демаркации

На демаркационной карте отображается линия государственной границы, пограничные знаки и элементы ситуации. Все географические названия и пояснительные надписи на карте даются по государственной принадлежности: на территории Республики Беларусь – на белорусском языке, на сопредельной территории – на языке стороны. Зарамочное оформление соответствует альтернату демаркационной карты.

Разбивка листов демаркационной карты обеспечивает наименьшее их количество при оптимальном отображении линии государственной границы и территории двух государств (по 1-му километру в обе стороны от границы).

По состоянию на 2016 год:

– оформлены в международно-договорном отношении участки Государственной границы с Латвийской Республикой (172,9 км), Литовской Республикой (678,8 км), Республикой Польша (398,6 км), установлено 3046 пограничных знака, при этом выполнено:

– совместная проверка на речных участках и замена пограничных знаков на сухопутных участках с Республикой Польша;

– оформлена демаркация стыка Государственных границ Республики Беларусь, Литовской Республики и Латвийской Республики (рис. 10).



Рис. 10. Стыковой пограничный знак «Людвиново»

– проведена и оформлена демаркация стыка Государственных границ Республики Беларусь, Латвийской Республики и Российской Федерации;

– оформлена демаркация стыка Государственных границ Республики Беларусь, Литовской Республики и Республики Польша;

– проведена и оформлена делимитация стыка Государственных границ Республики Беларусь, Украины и Республики Польша;

Предстоит:

– оформить участки с Украиной (около 1084 км) и Российской Федерацией (при необходимости) (около 1283 км);

– провести и оформить делимитацию и демаркацию стыка Государственных границ Республики Беларусь, Украины и Российской Федерации;

– провести и оформить демаркацию стыка Государственных границ Республики Беларусь, Украины и Республики Польша (работы уже ведутся).

Пределы Государственной территории определяются государственной границей. Значение государственных границ велико для каждого государства, поскольку они обозначают пределы принадлежащей ему территории со всеми ее ресурсами, являющимися материальными условиями жиз-

ни всякого общества. Государственные границы определяют также пределы территориального верховенства государства, то есть полной и исключительной власти государства, обеспеченной всеми средствами принуждения, предусмотренными его законодательством. Четкое разграничение принадлежащих государствам ресурсов и пределов их верховной власти имеет существенное значение для предотвращения конфликтов между ними и развития мирного сотрудничества на границах.

Границы, как элемент общественно-политической жизни человечества, представляют собой историческое явление. Историческое в том смысле, что их когда-то не было, на определенном этапе развития человеческого общежития они появились и не исключено, что наступит время, когда их не будет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конституция Республики Беларусь // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 1999. – № 1, 1/0.
2. О государственной границе Республики Беларусь : Закон Респ. Беларусь от 21 июля 2008 г. № 419-3 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г. – № 184, 2/1516.
3. Декларация о государственном суверенитете Республики Беларусь // Ведамасці Вярховнага Савета Рэспублікі Беларусь. – 1991. – № 31.
4. О придании границе Республики Беларусь с Российской Федерацией, Украиной, Литовской Республикой и Латвийской Республикой правового статуса Государственной границы : постановление Верховного Совета Респ. Беларусь, 11 июня 1993 г., № 2379-ХІІ // Ведамасці Вярховнага Савета Рэспублікі Беларусь. – 1993. – № 21.
5. Об утверждении окончательных документов по демаркации государственной границы между Республикой Беларусь и Литовской Республикой : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 2. нояб. 2007 г., № 1447 // Национальный реестр правовых актов Республика Беларусь. – 2007. – № 5/26089.
6. Об утверждении окончательных документов демаркации государственной границы между Республикой Беларусь и Латвийской Республикой : Постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 20 янв. 2009 г., № 55 // Национальный реестр правовых актов Республика Беларусь. – 2009. – № 5/29171.
7. Архипов, А.И. Картографо-геодезическое обеспечение установления государственной границы Республики Беларусь / А.И. Архипов, В.С. Хомич // Земля Беларуси. – 2007. – № 1. – С. 4–5.
8. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь, утв. Указом Президента Респ. Беларусь, 9 нояб. 2010 г., № 575.
9. Лукашук, И. Международное право. Особенная часть: учебник / И. Лукашук. – М. : Изд-во БЕК, 1997. – 390 с.
10. Международное публичное право : учебник / под ред. К. Бекяшева. – М. : Проспект, 1998. – 608 с.
11. Павловский, А.А. Комментарий к закону «О государственной границе Республики Беларусь / А.А. Павловский, В.Ф. Ермолович. – Минск : Амалфея, 2003.

THE REPUBLIC OF BELARUS STATE BORDER DEMARCATION

V. KHOMICH

The article provides theoretical aspects of the Republic of Belarus state border delineation the demarcation status analysis and the demarcation perspective. Methods of the border demarcation and the border delineate general rules as well as the outcome documents of demarcation also covered in the publication.

УДК 528.2/5

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРОВ-ГЕОДЕЗИСТОВ В ГРУЗИИ

канд. техн. наук В.В. МКРТЫЧЯН

(Белорусский национальный технический университет)

Рассмотрены вопросы подготовки инженеров – геодезистов в Грузии. Показана история и структура Грузинского технического университета (ГТУ). Отмечены особенности подготовки инженеров геодезистов в ГТУ.

Республика Грузия является парламентской республикой. Она является участником Болонского процесса направленного на сближение и гармонизацию систем высшего образования стран Европы с целью создания единого европейского пространства высшего образования.

Геодезическая деятельность регулируется Законом Грузии о геодезической и картографической деятельности от 1998 года. Закон Грузии о высшем образовании был принят в 2004 году.

История Грузинского технического университета (ГТУ) начинается в 1922 году. В 1933 году он преобразован в Транскавказский индустриальный институт. Свое нынешнее название университет получил в 1992 году.

В настоящее время в университете функционируют следующие факультеты:

- Строительный. Декан – Зураб Геденидзе, профессор.
- Энергетики и связи. Декан – Гия Арабидзе, профессор.
- Горного дела и геологии. Декан Анзор Абшилава, профессор.
- Химической технологии и металлургии. Декан – Нугзар Церетели, профессор.

– Транспорта и машиностроения. Декан – Отар Гелашвили, профессор. Архитектуры, градостроительства и дизайна. Декан – Гоча Микиашвили, профессор.

– Информатики и систем управления. Декан – Зураб Цверадзе, профессор.

– Бизнес-инженерный. Декан – Русудан Кутателадзе, профессор

– Международная школа дизайна. Декан факультета – Николоз Шавишвили, профессор.

На базе университета происходит обучение бакалавров, магистров, а также предлагаются различные докторские программы.

Девиз университета: «Наука обширная, жизнь короткая».

Подготовка инженеров-геодезистов осуществляется на горно-геологическом факультете. При факультете на кафедре инженерной геодезии и геоинформатики обучение проводится по двум направлениям: инженерная геодезия и маркшейдерия и ГИС, дистанционное зондирование и обработка данных.

В составе кафедры всего 17 преподавателей, в основном пенсионного возраста. Зарботная плата заведующего кафедрой составляет 1000 лари, а преподавателей – 400–800, что соизмеримо с зарплатой в БНТУ.

Для решения проблем самофинансирования и поддержки кадров, при кафедре создана частная компания, в которую входят заведующий и преподаватели. Компания создана при поддержке ректората на базе университета (рис. 1).



Рис. 1. Структура горно-геологического факультета

Уставом компании предусматривается, что проработавшие десять лет и более получают соответствующую долю от уставного фонда. В компании работают наряду с преподавателями и студенты. Обучение некоторых перспективных студентов осуществляется за счет этой компании. Таким образом, решаются многие вопросы финансирования и решения текущих кадров. Компания обеспечивает учебный процесс необходимым современным оборудованием, программами, оплачивает поездки преподавателей на многие зарубежные конференции и форумы и т.д.

На базе университета происходит подготовка бакалавров, магистров, а также проводятся различные докторские программы.

Обучение бакалавра 4 года. Обучение платное и составляет 1000 евро в год. Государство оплачивает при хорошей успеваемости от 50 до 100% стоимости обучения.

Общежитие студентам не предоставляется т.к. в них живут беженцы из Абхазии и Южной Осетии.

Программа подготовки инженеров-геодезистов состоит из курса обучения в семестре – 15 недель. Каждые 5 недель – экзамен, а в конце курса – окончательный экзамен.

Наряду с традиционными геодезическими дисциплинами студенты изучают: «Основы геологии», «Маркшейдерия», «Горное дело», «Геодезическое обеспечение горнодобывающей отрасли», «Минералогия» и т.п.

Оценка студентов осуществляется по следующей системе классификации:

- 91–100 – А – отлично
- 81–90 – В – очень хорошо
- 71–80 – С – хорошо
- 61–70 – D – удовлетворительное
- 51–60 – E – достаточное
- 41–50 – FX – не прошел (с возможностью повторить экзамен)
- 0–40 – F – не удалось (без возможности повторить экзамен)

Учебная геодезическая практика по дисциплинам проходит на территории университета.

По просьбе руководства кафедры мною была прочитана лекция о современном состоянии геодезической отрасли в Беларуси. К удивлению, оказалось, что большинство студентов и даже некоторые молодые преподаватели не владеют русским языком.

После распада СССР геодезическая отрасль Грузии была в составе Землеустроительной службы, что привело ее к полному упадку. С 2004 года она включена в ведение Министерства юстиции. С этого времени вопросы геодезии регламентируются законом Грузии «О публичном реестре», кото-

рый запрещает государственным предприятиям и организациям выполнение геодезических работ. Картографо-геодезическая информация исключена из перечня сведений, составляющих государственную тайну.

Топографо-геодезические работы не лицензируются, ими занимаются только частные компании. По состоянию на 2013 год количество таких компаний составляло 115.



Рис. 2. В одной из аудиторий кафедры инженерной геодезии и геоинформатики

В настоящее время потребность в инженерах-геодезистах в Грузии составляет 100–150 инженеров в год.

В завершении визита был организован встреча с деканом географического факультета Тбилисского государственного университета имени Джавахишвили.

Девиз или главный принцип университета: «Изоляция в обучении высшей школы – недопустима»

Географический факультет университета разделен на два департамента:

1. Физическая география
2. Общая география (политические, социальные, экономические вопросы.)

География выборов, география городов и ГИС.

Обучение платное и составляет 1000 евро в год. Государство оплачивает 50–100% стоимости обучения успевающим студентам.

Профессорский состав университета обязательно должен читать лекции в зарубежных ВУЗах (не менее двух ВУЗов в год) и публиковаться в зарубежных изданиях.



Рис. 3. Беларуская делегация на встрече с деканом географического университета Тбилисского государственного университета имени Иване Джавахишвили

Студенческое самоуправление является важным фактором высшего образования в Грузии. Один из примеров его влияния – протесты студентов Тбилисского государственного университета, требующих отставки ректора, которого они обвиняли в связи со спецслужбами, привели к его увольнению и назначению нового ректора.

Совершенно очевидны достижения руководства Грузии в поддержке высшего геодезического образования, понимая, что молодое поколение своего рода индикатор интеллектуального и духовного развития страны.

TRAINING OF ENGINEERS-GEODESISTS IN GEORGIA

B. MKRTYCHYAN

This article briefly addresses the state of the geodetic industry and issues pertaining to the training of geodetic professionals in Georgia as well as reflects the history and structure of the Georgia University of Technology. The article also underlines the unique attributes of the training of engineers and geodetic professionals at GUT.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ

УДК 358:528

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

канд. воен. наук, доц. В.К. УТЕКАЛКО, В.В. БИРЗГАЛ

(Военная академия Республики Беларусь);

А.Н. КРЮЧКОВ

(Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси)

Использование разнородных программных продуктов, форматов представления данных, технологий становится главным препятствием по созданию единого информационного пространства государства.

Одним из путей решения данной проблемы является создание единых стандартов языка описания моделирующего пространства. Однако отсутствие работ по стандартизации объектов оперативно-тактической обстановки, языков управления и других элементов информационного обеспечения (стандарты представления объектов, обмена, взаимодействия компонент и т.д.) не позволяет решить данную проблему.

Очевидно, выбор единой базовой ГИС-платформы должен стать первым этапом по созданию единого информационного пространства государства.

Отличительной чертой военных конфликтов нового типа конца XX и начала XXI в. стало возрастание роли информационных аспектов в обеспечении действий вооруженных сил. Этому способствовало бурное развитие информационных технологий, которые начали вторгаться во все области человеческой деятельности, включая военную сферу. Обеспечение информационного превосходства над противником стало одним из решающих факторов достижения успеха в войне.

По мнению руководства МО США, в вооруженных конфликтах и локальных войнах нового столетия выиграет тот, кто сможет быстрее собрать многоплановые, постоянно меняющиеся данные о ходе боя, проанализировать их, сделать правильные выводы, принять верное решение и быстро довести его до подчиненных. Для гарантированной победы необходимо

достичь над противником так называемого информационного превосходства, что позволит упредить его в принятии правильного решения в планировании хода боевых действий. Для реализации этих задач в настоящее время производственные мощности США (как Министерства обороны, так и гражданских организаций) обеспечивают создание более 300 видов геоинформационных документов для ВС США и их союзников [1]. Объемы и разнообразие таких документов, содержащих информацию о местности, состоянии атмосферы и космического пространства, состоянии своих войск и противника, зависят от масштаба использования военной силы и территории вооруженного конфликта.

Анализ задач, решаемых Вооруженными Силами Республики Беларусь, Российской Федерации и других стран СНГ. при подготовке и в ходе проведения различных тренировок, учений, а также средств и методов их решения свидетельствует о серьезном отставании в вопросах использования геоинформационных систем и технологий от армий США, ФРГ и ряда других развитых стран [2–4].

Очевидно, что неслучайно в концепции национальной безопасности Республики Беларусь редакции 2010 г. отдельным направлением ее обеспечения выделено приоритетное развитие инновационных технологий. К ним, безусловно, относятся информационные технологии вообще и геоинформационные и навигационные технологии в частности.

Геоинформационные технологии одновременно с наращиванием своих узкоспециализированных возможностей по обработке географической информации имеют тенденцию к упрощению интерфейса и представления любому пользователю доступных функций по обработке пространственных данных. Общеизвестно, что геоинформация доминирует в 70% объема всей циркулирующей информации [5, 6]. В этой связи использование ГИС-пакетов специалистами и рядовыми пользователями в своей повседневной деятельности, наряду с привычными уже офисными программами, становится реальностью. Современные стандартные функциональные возможности ГИС-пакетов позволяют в режиме реального времени оперативно построить по табличным данным или отредактировать тематическую картограмму, оперативно подготовить для печати отчет, иллюстрированный текстом, рисунками, таблицами, фотографиями, картами.

Следствием развития знаний по геоинформатике и универсальности применения ГИС-технологий является их активное использование в таких отраслях деятельности человека, как география, экология, архитектура и градостроительство, транспорт, археология, биология, территориальное управление, управление учреждением, предприятием, населенным пунк-

том, регионом и др. Уже сейчас они становятся императивом при решении управленческих задач вне зависимости от конкретной предметной области.

Современные информационные и сетевые технологии в военном деле являются основой для интеграции географически рассредоточенных органов управления, средств разведки, наблюдения и целеуказания, группировок войск и средств поражения в высокоадаптивную глобальную систему.

В настоящее время появились новые инструменты, которые отражают современный уровень геоинформатики и находят все большее применение. К ним можно отнести средства сложного многофакторного пространственного анализа и подготовки высококачественных синтезированных изображений на основе цифровых карт, снимков и оперативной обстановки.

Геоинформационные технологии позволяют перейти к объединенной системе планирования, сформировать единую картину ситуационной осведомленности, разработать современные методы контроля и управления средствами вооруженной борьбы, включая беспилотные и роботизированные комплексы, повысить прозрачность и оперативность работы тыла и снизить уровень передового присутствия посредством формирования виртуально удаленных штабов и других органов управления.

Однако использование разнородных программных продуктов, форматов представления данных, технологий, основанных на различной идеологии формирования, обработки и хранения пространственных данных становится главным препятствием по созданию единого информационного пространства государства.

На наш взгляд есть два пути решения данной проблемы:

1) создание единых классификаторов и правил цифрового и графического описания объектов местности и оперативно-тактической обстановки (ОТО) – *унификация и стандартизация правил цифрового и графического описания объектов топоосновы и ОТО*;

2) выбор единой базовой ГИС-платформы, на базе которой должны реализовываться все военные приложения.

Создание единых стандартов языка описания моделирующего пространства, метаданных, сценариев – необходимый и обязательный этап в процессе формирования единого информационного пространства вооруженных сил, сопряжения различных уровней управления. Основу информационного обеспечения средств получения данных об объектах ОТО составляют унифицированные и стандартизированные правила цифрового и графического описания объектов топоосновы и ОТО, формализованные протоколы обмена, графические и текстовые документы.

Проблема состоит в том, что если еще геопространственная информация в какой-то мере стандартизирована (работы выполнялись еще в советское время), то стандартизация объектов ОГО, языков управления и других элементов информационного обеспечения (стандарты представления объектов, обмена, взаимодействия компонент и т.д.) отсутствует и работы в этой области не ведутся.

Очевидно, выбор единой базовой ГИС-платформы должен стать первым этапом по созданию единого информационного пространства государства.

Трудности возникают при необходимости выбора одной из множества предлагаемых ГИС. Они вызваны отсутствием объективной методики оценки ГИС с точки зрения ее пригодности для решения задач.

Чтобы определить целесообразность использования конкретной ГИС, необходимо знать, насколько она удовлетворяет требованиям, обусловленным спецификой задач, решаемых при обработке геопространственной информации.

Затрудняет правильный выбор тех или иных программных средств ГИС и отсутствие их четкой классификации.

При всем многообразии целей, областей, операций информационного моделирования, проблемной ориентации и иных атрибутов, характерных для создаваемых и действующих ГИС, логически и организационно в них можно выделить ряд функциональных блоков, часто называемых подсистемами или модулями, выполняющими более или менее четко определенные функции (рисунок). Это модули ввода данных, хранения и манипулирования, моделирования и анализа, вывода и управления. Каждый блок поддерживается совокупностью технологических операций, которые, как правило, оформляются в виде самостоятельных взаимосвязанных друг с другом или независимых структурных единиц (модулей).

Средства ввода данных в ГИС включают разнообразные ручные планшетные цифрователи, сканирующие устройства планшетного и барабанного типа, телевизионные устройства, гибридные средства ввода, стереоприборы и другие средства преобразования аналоговых изображений в цифровую форму. Как правило, в эту группу операций входят программные средства растр-векторных преобразований, картографические редакторы и другие программные средства.

Средства хранения и манипулирования геопространственными данными включают средства управления базами данных либо универсальные, либо прикладные собственной разработки, а также функции пространст-

венных запросов к базам данных: картографической, тематической, технологической.

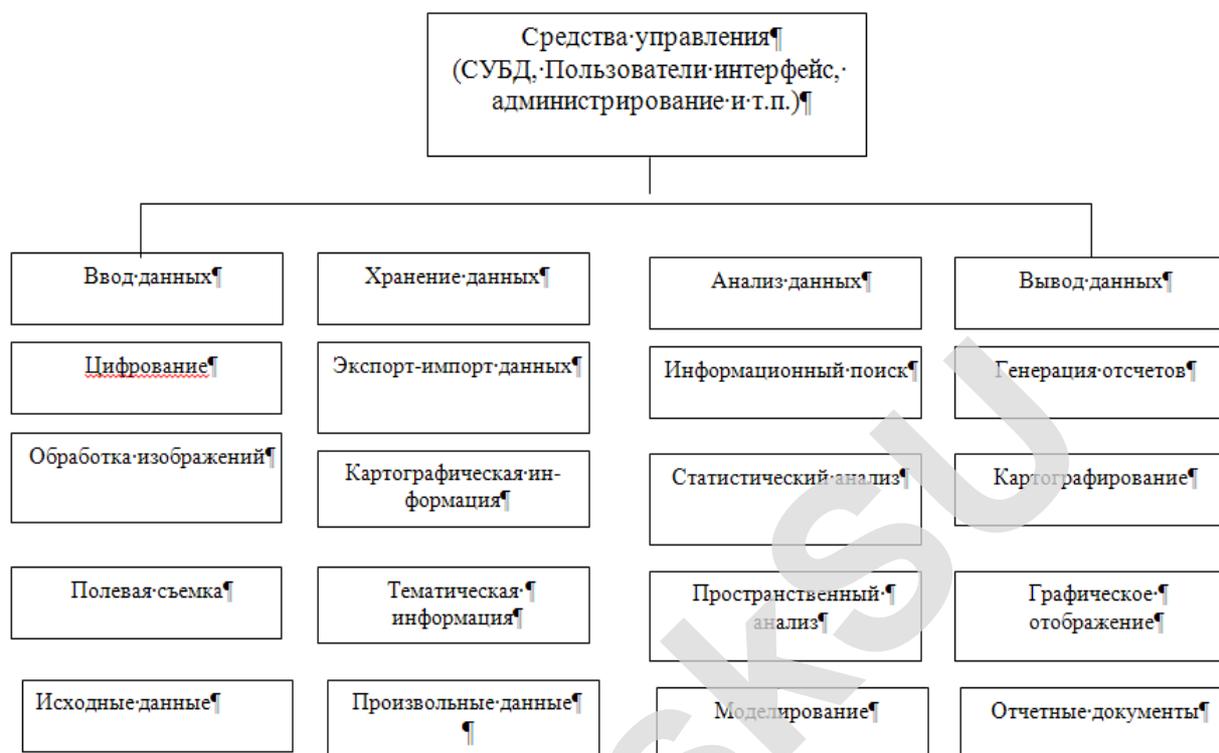


Рис. Модули геоинформационной системы

Модуль пространственного анализа и моделирования является одним из наиболее ключевых средств ГИС. Функциональная полнота средств анализа и моделирования в основном и определяют универсальность и эффективность той или иной ГИС. Сюда, как правило, входят базовые операции пространственного анализа и прикладные задачи, определяющие объектную ориентацию ГИС.

К базовым операциям относятся такие группы операций, как измерительные операции, полигональные операции (наложение полигонов, определение принадлежности точки контуру и другие), преобразование систем координат и проекций, аналитические и моделирующие операции (отбор объектов по заданным критериям, сетевые задачи, обработка данных геодезических съемок, построение буферных зон и другие), анализ поверхностей (создание и обработка ЦМР), цифровая обработка данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и некоторые другие операции.

Средства вывода обеспечивают документирование результатов анализа, тематического моделирования и обработки в виде тематических карт и/или диаграмм, графиков, текстовых документов. Сюда входят средства

вывода изображений на различные устройства документирования, а также средства подготовки отчетных документов – картографическая и деловая графика, поддержка библиотек условных знаков и шрифтов, формирование легенды тематических карт, зарамочного оформления и другие.

Средства управления ГИС включают операции доступа к внутренним и внешним базам данных, пользовательский интерфейс, систему организации доступа к функциональным процедурам системы, средства разработки и интегрирования в ГИС пользовательских приложений и другие.

Понятно, что полным набором всех средств практически не обладает ни одна ГИС и, в зависимости от проблемной ориентации, в ней могут доминировать средства одного функционального блока и ограниченно представляться другие блоки операций.

Краткое рассмотрение структуры и состава функциональных блоков ГИС важно с точки зрения их классификации места ГИС среди других информационных систем.

ГИС обладают тремя основными характерными свойствами: наличием пространственных баз данных, координатной привязкой объектов моделирования и анализа и средствами пространственного анализа. Видимо, из этого надо исходить, учитывая целевую направленность информационной системы и глубину использования цифровых моделей при пространственном анализе.

По мнению многих специалистов в области информационных технологий, применение ГИС является одним из перспективных направлений развития автоматизированных систем управления войсками (АСУВ), призванных существенно повысить эффективность решения наиболее трудоемких задач автоматизации процессов управления войсками (силами).

ГИС военного назначения как информационная составляющая национальной безопасности Республики Беларусь должна обеспечивать должностных лиц органов управления различного уровня:

- информацией о местности;
- поддерживать коллективную работу с пространственными данными, в том числе с оперативной обстановкой;
- решать геоинформационные задачи и поддерживать программные интерфейсы для функций ГИС, встраиваемой в АСУВ, другие автоматизированные системы и комплексы, обеспечивающие удаленный доступ к пространственным данным;
- их отображение в виде 2D- и 3D-моделей в заданной системе условных знаков;

– решение прикладных задач с использованием современных сетевых технологий обработки данных.

Одной из основных ошибок при определении и практическом апробировании некоторых методических подходов к построению ГИС военного назначения (ВН) в составе автоматизированных систем управления является то, что ГИС ВН рассматриваются в первую очередь как средство формирования и отображения оперативной обстановки на электронных картах [6, 7].

Исходя из вышеизложенного, в наибольшей степени подходят для решения задач соответствующего компонента АСУВ ГИС с развитой ГИС-платформой, реализующие широкий перечень базовых функций по интегрированной обработке и анализу разнородных данных, управлению базами данных и ситуационному моделированию.

ГИС должна обеспечивать интеграцию различного вида данных (растровых, векторных, матричных, текстовых) с целью решения прикладных задач и создания синтезированных изображений моделируемой обстановки на основе единых стандартов, форматов, классификаторов описания пространственной информации.

В качестве инструментальных геоинформационных систем для создания ГИС ВН могут быть использованы мощные зарубежные программные продукты, разработанные для различных аппаратных и программных платформ, такие как ArcInfo, MapInfo, WinGIS и ряд других.

Все указанные выше продукты обеспечивают анализ геопространственной информации с использованием различных источников (карты, снимки) и форм представления (векторная, растровая, матричная) информации в виде 2D- и 3D-моделей имеют достаточно развитые языки создания пользовательских приложений и хорошо поставленный сервис по обслуживанию и сопровождению поставляемых продуктов. Как правило, базовые пакеты этих продуктов стоят достаточно дорого (стоимость, например, пакета ArcInfo для рабочих станций составляет около 25 000 долларов США, для персональных компьютеров – около 3 000 долларов), не обладают полным составом функций, работают в собственной закрытой от пользователя информационной среде, что практически делает невозможным их модернизацию и сопровождение собственными силами, и зачастую очень сложны в эксплуатации.

В настоящее время настройка на конкретного пользователя – самая основная тенденция для ГИС ВН. Готовый программный продукт должен быть доработан для конкретных заданий. На примере развития программ-

ных продуктов разных разработчиков четко прослеживается эволюция в подходе к созданию ГИС. Если раньше это был небольшой набор логически законченных программных продуктов, то сейчас все большее внимание уделяется развитию инструментальных средств. Инструментальные средства можно представить как большой набор модулей, из которых можно построить сложную систему для конкретных пользователей и задач (заданий), при этом опираясь на общий информационный фундамент в виде стандартов, обменных форматов, классификаторов и т.д. Для реализации такого подхода необходима ГИС, которая позволяет создавать и поддерживать цифровые модели оперативной обстановки для решения конкретных задач.

Исходя из этих задач, а также возможности разработки многообразных программных ГИС-приложений, необходимых для решения специальных задач, самостоятельного расширения функциональности базового программного продукта, сопоставимого интерфейса, наличия полного комплекта документации, по своим функциональным возможностям и быстродействию возможно использование российских программных продуктов, таких как ГИС «Панорама», ГИС «Оператор», ГИС «Карта-2011», и средства для разработки ГИС-приложений – Gis ToolKit Free.

Однако при использовании зарубежных программных продуктов, кроме функциональных требований, предъявляются как требования к безопасности информации, так и к авторским правам на разрабатываемые приложения, правам собственности на создаваемую продукцию, гарантийным обязательствам и другим.

В первую очередь ГИС военного назначения должна отвечать требованиям безопасности информации в части контроля отсутствия не декларированных возможностей и соответствия реальных функциональных возможностей возможностям, изложенных в документации на программный продукт. А это достигается в первую очередь открытостью программного кода как используемой операционной системы, так и самого программного продукта. Выполнить это требование, как и ряд других требований, для зарубежных программных продуктов весьма затруднительно.

В объединенном институте проблем информации (ОИПИ) НАН Беларуси в рамках опытно-конструкторской работы, выполненной в интересах Министерства обороны Республики Беларусь, был разработан программный комплекс поддержки принятия решений (ГИС-ВН), который включает в себя полный перечень базовых функций по пространственному анализу свойств местности, нанесению оперативно-тактической обстанов-

ки и визуализации растровых и векторных моделей местности, решению специальных задач. Практическая реализация использования базовых функций по пространственному анализу свойств местности уже осуществлена в НИР «Альманах» (обоснование облика и тактико-технических требований к объединенной системе навигации, связи и опознавания), ОКР «Формула» (разработка подвижного навигационно-топографического комплекса), «Фараон» (разработка подвижного навигационно-геодезического комплекса) и ряде других ОКР.

Тестирование и опытная эксплуатация ГИС ВН показали, что комплекс требует развития как в части его базовых функций, так и в переходе от базовых функций к методикам и технологиям оперативного анализа обстановки на основе базовых функций, а также по расширению функциональных возможностей при работе с ОТО, множеством карт по оптимизации используемых ресурсов ПЭВМ. С другой стороны, комплекс поддержки принятия решений (ГИС-ВН) разработан в кроссплатформенном исполнении и функционирует в средах ОС Windows и ОС Linux, осуществлена поддержка широкого перечня картографических проекций и систем координат, реализованы специальные задачи в части:

- оценки тактических свойств местности по характеру рельефа, условиям маскировки и наблюдения, условиям проходимости для произвольно задаваемого района;
- выбора площадок по заданным параметрам (отсутствие или наличие объектов, удаленность от них, крутизна склонов и т.д.);
- выбора оптимального маршрута по заданным критериям с возможностью обхода возникающих препятствий;
- расчета запаса топографических карт.

Стандартизация геопространственной информации в ГИС ВН обеспечивается базовым информационным обеспечением (БИО), поддерживающим векторные форматы F20S, SXF, Shape, DXF, MID/MIF. В состав БИО входит Единая система классификации и кодирования топографической информации, правила цифрового описания объектов, правила отображения электронных карт, правила кодирования имен файлов цифровых карт местности и пространственных моделей местности, таблицы соответствия форматов SXF и F20S и др. Другими словами выполнена определенная работа по унификации информационного обеспечения с другими системами, разрабатываемыми и используемыми в интересах Вооруженных Сил Республики Беларусь, других силовых структур и организаций в части геопространственной информации.

Исходя из анализа возможностей геоинформационных систем и проблем, связанных с их созданием и использованием, можно предположить, что наиболее перспективным программным продуктом для использования в Вооруженных Силах Республики Беларусь в качестве геоинформационной системы военного назначения является комплекс поддержки принятия решений (ГИС-ВН).

Однако его применение в полном объеме возможно только после выполнения определенных организационно-технических мероприятий.

Первостепенной задачей является модернизация программного продукта, в ходе которой должны быть не только устранены выявленные в процессе тестирования и опытной эксплуатации недостатки, но и значительно увеличен перечень задач, решаемых геоинформационной системой военного назначения путем расширения функциональных возможностей базовых функций в части работы с множеством цифровых карт местности, покрывающих большие регионы, нанесения и редактирования объектов оперативно-тактической обстановки, формировании графических отчетных документов.

Особая необходимость возникла в создании библиотек функций на основе разработанных базовых процедур для использования их в целях создания собственных приложений для решения различных военно-прикладных задач, что обеспечит полную информационную совместимость разрабатываемых приложений в интересах вооруженных сил. В зависимости от уровня сложности решаемых задач необходимо использовать соответствующие программные и аппаратные средства.

Для организации информационного обмена в части ОТО с другими программными комплексами, уже разработанными в интересах Министерства обороны Республики Беларусь и других силовых структур, использующих обменный формат SXF, необходимо провести работу по унификации информационного обеспечения, по примеру реализованной в ГИС ВН унификации геопространственной информации.

Однако, на наш взгляд, выбор единой базовой ГИС-платформы является полумерой в создании единого геоинформационного пространства государства.

Необходима разработка нормативно-правовой базы при создании Единого геоинформационного пространства государства (Концепция), так как анализ действующей нормативно-правовой базы, на наш взгляд, не позволяет выявить официальный подход к пониманию сущности геоинформационной политики в области обороны.

Создание единых стандартов языка описания моделирующего пространства (единых классификаторов и правил цифрового и графического описания объектов местности и оперативно-тактической обстановки, унификация и стандартизация правил цифрового и графического описания объектов топоосновы и ОТО) – необходимый и обязательный этап в процессе формирования единого информационного пространства вооруженных сил, сопряжения различных уровней управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геоинформационное обеспечение ВС США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gistechник.ru/pub/3-publik/37-ws.html>.
2. Беленков, В.В. Основные направления применения геоинформационных технологий в военном деле [Электронный ресурс] / В.В. Беленков, М.М. Корж. – Режим доступа: <http://gisinfo.ru/item/41.htm>.
3. Исследование и обоснование основных тактико-технических требований и облика вычислительно-коммуникационной системы с учетом особенностей сетевых подходов к военным действиям; шифр «Система-И» : отчет о НИР / ОИПИ НАН Беларуси. – Минск, 2013. – 376 с.
4. ГИС – отставание признано угрозой для России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cnews.ru/news/top/index.shtml?2006/05/18/201510>.
5. Гуральник, А.М. Геоинформационные системы: вопросы разработки / А.М. Гуральник // Военная мысль. – 2004. – № 6.
6. Воронкин, С.Г. Концептуальные вопросы создания геоинформационной технологии военного назначения / С.Г. Воронкин, А.И. Трубецкой // Информация и космос. – 2005. – № 4. – С. 53–64.
7. Дмитрий Кандауров – специалист в области автоматических систем управления. Реальное преимущество [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nvo.ng.ru/armament/2010-11-12/10_computer.html.

CURRENT QUESTIONS OF THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE GEOINFORMATION SYSTEMS IN MILITARY PURPOSES

V. UTEKALKO, V. BIRZGAL, A. KRUCHKOV

The usage of heterogeneous program products, formats of data representation, technologies is becoming the main balk in the government's united information space creation.

One of the solutions to this problem is the development of the common standards of the simulation terrain description language. But the lack of the

warfare setting's standardization works, control languages and other information's elements (object representation standards, exchange, components cooperation, etc.) can't solve this problem.

Obviously, the choice of the common basic GIS-platform should become the first stage in the creation of the government's united information space.

УДК 528.9:681.3.06

**ПРОГРАММНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА
ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕСТНОСТИ (ГИС-ВН)**

канд. военных наук, доц. В.К. УТЕКАЛКО

(Военная академия Республики Беларусь);

А.Н. КРЮЧКОВ, Е.Е. СОТИКОВА

(Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси)

Необходимость оперативной обработки и использования цифровой информации о местности совместно с другой разнородной информацией (оперативно-тактической, разведывательной, метеорологической и др.) обуславливает необходимость разработки средств поддержки принятия решения в управлении войсками и оружием, построенных на принципах геоинформационных систем ГИС-технологий.

Функциональные возможности геоинформационных систем иногда сводятся к нанесению элементов оперативно-тактической обстановки, ее редактированию и только к этому.

По нашему мнению, геоинформационная система военного назначения должна обеспечивать интеграцию, унифицированное представление, обработку и документирования разнородных данных, необходимых должностным лицам органов военного управления и штабов для оценки обстановки и принятия решения по управлению войсками.

В статье рассматривается программно-информационный комплекс анализа свойств местности для решения оперативно-тактических задач на основе цифровых карт местности и данных дистанционного зондирования Земли ГИС-ВН.

Мировой опыт участия вооруженных сил различных стран в военных конфликтах свидетельствует о возрастании объемов и разнообразия данных, используемых при планировании, организации и проведении операций (специальных боевых действий). Повышаются также требования к оперативности получения и обработки данных и их актуальности. При этом для решения различных задач по управлению войсками и оружием требуются различные виды цифровой информации о местности (ЦИМ): электронные топографические и специальные карты, фотодокументы, материалы космической и воздушной разведки, пространственные модели местности и т.д.

Необходимость оперативной обработки и использования ЦИМ совместно с другой разнородной информацией (оперативно-тактической, разведывательной, метеорологической и др.) обуславливает необходимость разработки средств поддержки принятия решения в управлении войсками и оружием, построенных на принципах геоинформационных систем (ГИС) и ГИС-технологий. Такие средства, интегрированные с автоматизированными системами управления войсками и информационно-справочными системами вооруженных сил, представляют собой геоинформационные системы военного назначения (ГИС ВН).

Такая система должна обеспечивать интеграцию, унифицированное представление, обработку отображения и документирования разнородных данных, необходимых должностным лицам органов военного управления и штабов для оценки обстановки и принятия решений по управлению войсками.

При этом в ряде случаев возникает ситуация, когда функциональные возможности программного обеспечения, используемого на пункте управления, сводятся к нанесению элементов оперативно-тактической обстановки, ее редактированию и только к этому. По нашему мнению, отображение графической части решения, безусловно, важная составляющая геоинформационного обеспечения поддержки принятия решения, но далеко не единственная. Графическое отображение (нанесение) элементов боевого порядка (оперативного построения) пусть и с соблюдением требований оперативно-тактических нормативов, но без учета всей совокупности условий и факторов боевой обстановки (в том числе, и не в последнюю очередь, действительного состояния местности), не позволяет вести речь о выработке обоснованного решения. Использование современных средств вооруженной борьбы (беспилотных авиационных комплексов, высокоточного оружия, командно-измерительных комплексов и т.п.) не снижает,

а повышает значимость учета особенностей местности для эффективного их применения.

Рассмотрим программно-информационный комплекс (ПИК) анализа свойств местности для решения оперативно-тактических задач на основе цифровых карт местности (ЦКМ) и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (ГИС-ВН).

Реализация ПИК основана на определенном наборе базовых функций:

- обработка множества карт и снимков;
- анализ поверхности;
- анализ свойств местности;
- нанесение оперативно-тактической обстановки (ОТО);
- визуализация 2D- и 3D-моделей ЦКМ и данных ДЗЗ;
- формирование графических документов.

Обработка множества карт и снимков включает такие задачи, как формирование ЦКМ на произвольный район с заданным объектовым составом и создание атласа. Территория, на которой планируется решение задач оперативного анализа местности и моделирования различных ситуаций, может иметь произвольную конфигурацию и площадь и покрываться произвольным числом карт одного или разного масштабов. Формирование произвольного района цифровой карты местности осуществляется с помощью операций сшивки (склейки) и нарезки цифровой картографической информации. В этот же блок входят и операции отбора объектов по заданным ключам и формирования цифровой модели заданного объектового состава, что позволяет, исключив из состава отображения второстепенные объекты для решения конкретной задачи, повысить читаемость электронной карты. Для работы с большим объемом ЦКМ используется механизм создания атласа карт и его использования для управления набором данных.

К блоку функций анализа поверхности относятся функции формирования матриц высот рельефа (МВР) и местности (МВМ), содержащие информацию об относительных высотах объектов, которые служат основой для оперативного решения задач в области анализа поверхностей и изучения форм рельефа [1, 2]. Анализ поверхности рельефа включает такие задачи, как построение профилей рельефа, зон видимости, трехмерных моделей местности, определение направления и крутизны скатов, расчет объема выемок и высот точек местности, вычисление расстояний и площадей с учетом рельефа [3]. Все эти задачи решаются с использованием МВР и МВМ, которые формируются на территорию любых конфигурации и размера, с необходимым шагом дискретизации. Функции анализа поверхности

являются базовыми для многих приложений при моделировании или анализе размещения элементов обстановки на местности.

Анализ свойств местности включает оптимизационные сетевые задачи определения подступов к объектам и кратчайшего расстояния с учетом ограничений и характеристик дорожной сети; получения информационных справок о свойствах местности; построения буферных зон; выделения и формирования статистических справок по объектам, попадающим в буферные зоны; поиска пространственной смежности и ближайшего соседа; поиска по различным ключам и некоторые другие. Задачи анализа свойств местности применяются для информационной поддержки результатов моделирования и принятия оперативных решений.

Функции информационной поддержки являются базовыми для ряда приложений при решении задач по электронной карте. Они используются при определении маршрутов перемещения войск и военной техники, планировании мероприятий по эвакуации людей, техники, материальных ресурсов и т.д.

Формирование слоя проходимости по дорогам и вне дорог реализуется с учетом свойств техники. В отдельный слой записываются объекты-маски для отображения естественных препятствий и дорог с мостами на них.

Информационные справки о состоянии местности включают средства получения справочной информации о географических и атрибутивных характеристиках объектов местности, статистической информации об объектах.

Реализована функциональная возможность автоматизированной оценки местности по характеру рельефа, по условиям наблюдения и маскировки, по степени пересеченности и по условиям проходимости в изучаемом районе. При этом результатом выполнения операций по оценке местности являются графические построения, наглядно отображающие объекты естественных масок с возможностью получения информации о маскировочной емкости каждой из них, объекты дорожной сети с информацией об их пропускной способности, дорожные сооружения, удовлетворяющие и не удовлетворяющие заданным характеристикам. Графическая информация сопровождается текстовыми сообщениями с подробной информацией об отнесении участка местности к тому или иному типу по каждому тактическому свойству с тактическими выводами из их оценки.

Реализована задача автоматизированного поиска площадок с определенными требованиями: ограничениями по крутизне склона, наличию, от-

сутствию или удаленности от объектов. Использование данной функции позволяет должностным лицам опираться на предлагаемые программой варианты при определении районов размещения огневых средств, авиации непосредственной поддержки и других элементов, гарантированно исключая не пригодные для их размещения районы.

Поиск объектов по ключам позволяет осуществить их нахождение: в пределах заданного расстояния вокруг точки; в пределах заданного расстояния от объекта (поиск ближайшего соседа); примыкающих к заданному объекту; попадающих в заданный полигон; пересекающих заданный объект; по семантическим и статистическим характеристикам.

Поиск ближайшего соседа обеспечивает нахождение в ЦКМ и отображение необходимого объекта. Это может быть населенный пункт, больница скорой помощи, водоем и т.д. Задача выполняется как для одиночных объектов, так и для группы объектов.

В ПИК включены функции прямого и обратного преобразования данных из векторного обменного формата цифровой информации SXF редакции 3.0 и 4.0 во внутренний формат представления цифровой картографической информации F20S. Кроме того, обеспечивается конвертация в такие форматы, как MID/MIF, Shape и импорт данных в эти форматы.

В ПИК включен блок решения задач топогеодезического обеспечения таких как, расчет запаса топографических карт, который включает следующие функции:

- определение потребности в одном номенклатурном листе карт каждого масштаба, выраженной в бригадных нормах (принятая единица в системе топогеодезического обеспечения) и экземплярах;
- определение районов накопления запасов карт по каждому масштабу и для различной потребности;
- определение количества номенклатурных листов карт каждого масштаба на определенный район;
- определение общего количества карт каждого масштаба на район выполнения задачи.

Все данные по расчету запаса топографических карт сохраняются в виде текстовых документов.

Нанесение и редактирование ОТО производится с помощью инструментов редактора и библиотеки специальных условных знаков. С их помощью отображается боевая обстановка, передаются ее качественные и количественные характеристики, показываются положение подразделений (частей, соединений), характер действий, количество сил и средств,

цель действий и способы ее достижения и т.д. ПИК позволяет создавать разнообразные библиотеки условных знаков и, манипулируя ими, создавать слои различной тематической информации.

Средства визуализации ЦКМ и данных ДЗЗ включают функции отображения цифровых карт и снимков, управления отображением (управление составом карт, масштабирование, скроллинг и др.), отображения пользовательских слоев, обработки цифровых снимков и ряд других функций.

Оптимальная объектовая нагрузка на площадь экрана монитора достигается путем частичной разгрузки изображения и использования принципов генерализации при изменении масштаба отображения, а также за счет манипулирования различными слоями информации. Одним из подходов, по которому выполняется генерализация, является видимость каждого объекта в заданном для него диапазоне масштабов. Предусмотрен также вывод объектов электронной карты на экран монитора по критерию приоритета вывода одного класса объектов перед другим. Последовательность вывода объектов достигается посредством назначения приоритетов слоям и объектам электронной карты согласно таблице атрибутов.

Графическое документирование включает функции формирования зарамочного оформления и легенды карты, подготовки к печати, оформления отчетных документов.

ГИС-ВН функционирует в едином информационном пространстве, которое включает [4]:

- систему классификации и кодирования объектов местности для всех видов и масштабов карт;
- систему классификации и кодирования объектов оперативно-тактической обстановки;
- правила цифрового описания объектов местности и объектов оперативно-тактической обстановки;
- форматы представления картографической и специальной информации;
- библиотеки условных знаков и шрифтов для отображения объектов местности и оперативной обстановки.

Информационное обеспечение реализуется на основе объектно-ориентированных структур цифрового описания объектов и единого представления метрической, семантической и топологической информации об объекте в базе данных.

В ряде случаев имеет место подход к геоинформационной системе военного назначения только как к средству нанесения и отображения оперативно-тактической обстановки. Средства ГИС выступают в качестве

«электронного фломастера». Такой подход преобладает в ходе проведения командно-штабных военных игр, командно-штабных и штабных тренировок, в процессе которых отрабатывается комплект документов управления, а действия самих войск на местности не предусматриваются. Только опытные командиры (начальники) в таких условиях делают акцент на обоснованность принимаемых решений с учетом особенностей местности. Интерес к актуальной топогеодезической информации, ее всестороннему анализу и оценке резко повышается в условиях выполнения реальной боевой (учебно-боевой) задачи. ПИК ГИС-ВН предоставляет пользователю значительно более широкие возможности по сравнению с другими программными средствами именно по автоматизированному изучению и оценке местности и ее элементов.

При этом для решения иных военно-прикладных задач предпочтительным может быть использование других программных пакетов. Существовавший до недавнего времени взгляд на геоинформационное обеспечение вооруженных сил посредством использования одной версии одного программного обеспечения нам представляется не совсем рациональным. Такой пакет будет излишне тяжеловесным и перегруженным функциональными возможностями, не востребованными для большинства пользователей. Мировая практика развития геоинформационных систем и приложений свидетельствует о модульности их создания под конкретный перечень задач. Такой подход, на наш взгляд, может и должен быть использован в рамках геоинформационных систем военного назначения.

Программные средства ПИК ГИС-ВН обеспечивают нанесение элементов обстановки в сетевом режиме с разграничением доступа, просмотр и редактирование классификаторов и библиотек условных знаков. Учитывая, что ГИС-ВН реализована в кроссплатформенном исполнении для работы в операционных системах Windows и Linux ее широкое использование на пунктах управления может стать мощным инструментом поддержки принятия решения на тактическом и оперативно-тактическом уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы оперативного анализа местности на основе моделей цифровых карт и аэрокосмоснимков / А.Н. Крючков [и др.] // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 329–340.
2. Инструментальные средства оперативного анализа местности для построения систем принятия решений при чрезвычайных ситуациях / А.Н. Крючков [и др.] // Искусственный интеллект. – 2011. – № 3. – С. 371–381.

3. Геоинформационные системы военного назначения : учеб. пособие / В.К. Утекалко [и др.] ; под ред. Г.П. Кобелева. – Минск : ВА РБ, 2009. – 244 с.
4. Геоинформационные системы и технологии как информационная составляющая национальной безопасности Республики Беларусь / В.К. Утекалко, А.Н. Крючков, В.В. Бирзгал // Вестн. Военной академии. – 2015. – № 2 (47). – С. 73–78

SOFT-INFORMATION COMPLEX OF THE DECISION MAKING SUPPORT ON THE BASIS OF THE TACTICAL TERRAIN FEATURES

V. UTEKALKO, A. KRUCHKOV, E. SOTIKOVA

The necessity of on-line processing and the usage of the digital information of the terrain together with other heterogeneous information- tactical, reconnaissance, meteorological, etc, determines the necessity of the development of the resources of the decision making support in troops and weapons handing, organized in geoinformation system's technologies.

Functional capabilities of geoinformation systems sometimes come to the application of the warfare setting elements, its editing and only to this.

We consider that GIS of military purpose should enable integration, unified presentation, processing and documentation of the heterogeneous data, which are necessary for military leadership officers and staff for estimation of the situation and decision making on handing of troops.

In this article we research soft-information complex of the terrain features analysis for the tactical tasks solution based on the digital maps and earth remote sensing data.

УДК 528.946

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ ГИС-АНАЛИЗ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПО ЦИФРОВЫМ КРУПНОМАСШТАБНЫМ КАРТАМ

***д-р с.-х. наук Н.В. КЛЕБАНОВИЧ,
С.Н. ПРОКОПОВИЧ, А.Р. КАШАПОВ***
(Белорусский государственный университет)

Предложена сравнительная генетико-морфометрическая характеристика почвенного покрова административных районов Беларуси на двух уровнях визуализации почвенной информации: М 1 : 10 000 и 1 : 50 000 на

типовом уровне по таким параметрам, как средняя площадь элементарных почвенных ареалов, коэффициенты расчлененности и изрезанности, форма границы.

Почвенная карта представляет собой уменьшенное в соответствии с масштабом изображение почвенного покрова определенной территории, т.е. его модель. Картографирование почвенного покрова – это не только метод раскрытия закономерностей пространственного распределения почв – почвенные карты являются основой для агропроизводственной оценки почв и разработки конкретных мероприятий по поднятию их плодородия, охране и наиболее эффективному использованию [1].

Основная цель крупномасштабных почвенных исследований – изучение современного состояния почвенного покрова и закономерностей взаиморасположения почвенных контуров с отражением результатов в виде картографической модели. Цифровое представление почвенного покрова дает новые возможности картометрического и морфометрического анализа территории, появляется возможность учитывать геометрию и морфометрию почвенных контуров (таблица), которая представляет собой следствие действия факторов дифференциации почвенного покрова и в то же время может служить индикатором характера связей между компонентами почвенного покрова. Поэтому лучше говорить не о геометрической, а о генетико-геометрической характеристике почвенных контуров, которая описывается площадью, формой и степенью изрезанности границ, динамическими характеристиками элементарных почвенных ареалов (ЭПА) [2].

Морфометрический ГИС-анализ почвенного покрова Клецкого, Пуховичского и Червенского районов выполнен в программе ArcGIS, по слою «Почвы» ЗИС административных районов (далее – М) 1: 10 000, а также по оцифрованным районным почвенным картам М 1: 50 000. Хотя эти районы почти полностью лежат в одной провинции, генетико-геометрически и морфологически ЭПА существенно контрастируют.

Анализ почвенных карт и инвентаризация почвенного покрова данных районов четко указывает на преобладание полугидроморфных почв над автоморфными в Пуховичском и Червенском районах (на 11,6% и 6% соответственно) и обратную ситуацию в Клецком районе (автоморфные почвы доминируют над полугидроморфными на 7,1%).

Площадь почвенных контуров на самом низком уровне картографирования, а именно разновидности, колеблется в очень широком диапазоне.

Для дерново-подзолистых почв типичны крупные ареалы (в среднем более 6–7 га) относительно изоморфной и ассиметричной формы (KP и $K_{изр}$ – более 0,3), так как элементарные почвенные ареалы в генетическом плане, в основном орогенного и литогенного видов ЭПА. Наибольшую среднюю площадь имеют контура, развивающиеся на тяжелых почвах (главным образом, лессовидных суглинках). Наибольшее как количество контуров, так и их площадь, во всех трех районах представлена дерново-подзолистыми почвами супесчаного гранулометрического состава.

Таблица

Морфометрические особенности типов почв

Типы почв	Слой «Почвы» ЗИС М 1:10 000 Клецкого района (308 разновидностей)			Слой «Почвы» ЗИС М 1:10 000 Пуховичского района (458 разновидностей)			Слой «Почвы» ЗИС М 1:10 000 Червенского района (359 разновидностей)		
	$S_{ср}$, га	KP	$K_{изр}$	$S_{ср}$, га	KP	$K_{изр}$	$S_{ср}$, га	KP	$K_{изр}$
ДП	10,6	0,40	0,52	9,2	0,49	0,54	9,45	0,38	0,51
ДПБ	10,7	0,51	0,40	8,1	0,65	0,31	7,2	0,59	0,37
ДБ	7,6	0,51	0,37	3,1	0,83	0,39	4,05	0,70	0,35
БП	-	-	-	1,1	0,63	0,50	3,45	0,88	0,52
ТБ _н	8,7	0,39	0,45	7,0	0,62	0,41	5,85	0,65	0,37
ТБ _в	4,1	0,28	0,52	3,9	0,58	0,56	1,8	0,88	0,46
АДБ	4,7	0,53	0,42	4,6	1,41	0,33	3,75	0,96	0,33
АТБ	11,55	0,40	0,37	4,3	0,78	0,42	6,15	0,67	0,34
АП	4,6	0,51	0,46	5,6	1,32	0,38	4,2	0,63	0,38

Примечание. $S_{ср}$ – средняя площадь контура, KP – коэффициент расчлененности, $K_{изр}$ – коэффициент изрезанности границ, ДП – дерново-подзолистые, ДПБ – дерново-подзолистые заболоченные, ДБ – дерновые заболоченные, БП – болотно-подзолистые ТБ_н – торфяно-болотные низинные, ТБ_в – торфяно-болотные верховые, АДБ – аллювиальные дерновые и дерновые заболоченные, АТБ – аллювиальные болотные, АП – антропогенно-преобразованные.

Значительно уступают им по размерам контура дерново-подзолистых заболоченных почв (в среднем около 4–5 га). Контура данного типа в значительной степени дифференцированы в зависимости от степени увлажнения. Если дерново-подзолистые глеевые и глеевые с иллювиально-гумусовым горизонтом в среднем имеют площадь менее 2 га и в большинстве своем изоморфной формы ($K_{изр} > 0,3$), то дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные и глееватые соизмеримы с автоморфными

(от 4 до 13 га) с вытянутыми и разветвленно-ассиметроидными формами границ, что подтверждают относительно низкие коэффициенты изрезанности ($K_{изр}$ составляет 0,1–0,15).

Такие же формы границ характерны и для дерновых заболоченных почв, но в среднем по размеру данные контура почти в два раза уступают дерново-подзолистым заболоченным почвам. Генетически контура этих двух типов почв, в отличие от дерново-подзолистых почв, относятся к гидrogenному виду ЭПА.

Наиболее сложную форму имеют ЭПА аллювиальных дерновых и дерновых заболоченных и аллювиальных болотных типов почв. Их коэффициенты изрезанности границ почти во всех районах меньше 0,2, и отслеживается такая же тенденция временно избыточно увлажненные и глееватые почвы имеют более изрезанную границу и большую среднюю площади по сравнению с глеевыми и иловато-торфяно-глеевыми. Как следствие, первые ЭПА в большей степени имеют линейную и разветвленно-ассиметроидную форму, вторые – ассиметроидную. Все ЭПА данных типов генетически относятся к флювиальным видам ЭПА.

Разнообразие форм ЭПА торфяно-болотных почв, которые затруднительно охарактеризовать определенной формой ЭПА, объясняется их генезисом. ЭПА данных почв в основном относятся к гидrogenным и топогенным видам ЭПА. Средний размер контуров данных почв, в зависимости от проявления того или иного фактора почвообразования, может колебаться от 0,8 до 11 га с относительно усредненными значениями формы и изрезанности границ.

Районные почвенные карты Беларуси создаются в масштабе 1: 50 000, и несмотря на то, что данные карты относятся к крупномасштабным, основным способом отражения почвенного покрова на них является способ генерализации картографического материала М 1: 10 000. Учитывая ценз отбора традиционно принятый для почвенных карт (0,5 см²), на районной почвенной карте не должно быть почвенных контуров с размерами менее 12 га. Только два типа почв (дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные) возможно отразить на районных картах относительно достоверно. Остальные контура в той или иной степени должны подвергнуться как геометрической, так и классификационной генерализации, что приводит к неизбежному укрупнению таксонов легенды (для аналоговых почвенных карт Клецкого, Пуховичского и Червенского районов – 68, 86 и 72

разновидности соответственно) и слиянию контуров, как следствие, уменьшению коэффициентов расчленения и изрезанности границ.

Следует отметить, что именно по субъективным причинам на районных почвенных картах в значительной степени укрупнены контура дерново-подзолистых почв, развивающиеся на суглинках – более чем в 5 раз, на песках – более чем в 10–20 раз. В силу значительных площадей данных контуров на картах М 1: 10 000 картограф-почвовед при создании районных почвенных карт подвергал контура данных почв и более мелких соседних именно геометрической генерализации, а не классификационной. Это в итоге привело к несоизмеримому увеличению автоморфных почв за счет уменьшения почв полугидроморфного ряда. Например, дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные почвы на картах М 1: 10 000 Клецкого района имеют среднюю площадь контуров (1073 контура) – 13 га, что позволяет сохранить данный таксон на районной почвенной карте М 1: 50 000 без значительных изменений, однако на аналоговой районной карте данные почвы представлены только 247 контурами средней площадью 9,9 га. При соизмеримом уменьшении данных почв в Пуховичском и Червенском районах примерно в 2–2,5 раза, на районных почвенных картах контуров ДПБ₁ меньше в 4–6 раз.

В целом коэффициенты расчленения и изрезанности характеризуют укрупненные и сглаженные контура. Наибольшую извилистость границ сохранили аллювиальные дерновые заболоченные и аллювиально болотные типы почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимова, Т. И. Почвенная съемка / Т. И. Евдокимова. – М. : Изд-во МГУ, 1987. – 270 с.
2. Прокопович, С.Н. Разработка методики и технологии создания цифровых крупно- и среднемасштабных почвенных карт на основе использования ГИС-технологий / С.Н. Прокопович // Вестн. БГУ. Сер. 2: Химия, биология, география. – 2014. – № 2. – С. 75–80.

MORPHOMETRIC GIS ANALYSIS OF SOIL ON LARGE-SCALE DIGITAL MAPS

N. KLEBANOVICH, S. PROKOPOVICH, A. KASHAPOV

The article presents a comparative genetic and morphometric characteristics of the soil cover administrative districts of Belarus on two levels of visu-

alization of soil information: M 1: 10 000 and 1: 50 000 at the level of types for the following parameters such as the average size of the elementary soil areas, the coefficients of dissection and irregularity, the shape of the borders.

УДК 550.83

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

канд. геол.-минерал. наук, доц. И.Ю. МИТЮНИНА

*(Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Россия)*

Приведены практические примеры решения геолого-геофизических задач на базе геоинформационной системы ArcGIS10 (ESRI Inc.). Представлена технология построения скоростной модели верхней части разреза на основе комплексной интерпретации материалов сейсморазведки МОГТ, высокоточной гравиразведки и электроразведки ВЭЗ. Предложен вариант автоматизации процесса подсчета запасов нефти объемным методом.

Ключевые слова: *Геоинформационная система ArcGIS 10, сейсморазведка 3D, гравиразведка, электроразведка ВЭЗ, скоростная модель верхней части разреза, подсчет запасов нефти, объемный метод.*

В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) используются в геологоразведочной отрасли главным образом как универсальные базы пространственных данных. В то же время наличие в современных полнофункциональных ГИС широкого спектра инструментов геоанализа позволяет осуществлять в рамках геоинформационных технологий решение целого ряда геолого-геофизических задач. В работе приведены некоторые примеры решения геологоразведочных задач в геоинформационной системе ArcGIS (ESRI Inc., США).

Создание скоростной модели верхней части разреза по комплексу геофизических методов

В сейсморазведке МОГТ, особенно при площадных системах наблюдений, весьма остро стоит проблема подготовки статических поправок, включающих скоростные неоднородности пород верхней части разреза (ВЧР) из времен регистрации целевых отражающих горизонтов [4].

К настоящему времени разработано множество способов прогнозной оценки статических поправок по данным других геофизических методов: гравиразведки, электроразведки ВЭЗ, магниторазведки [1, 2, 10, 11]. Большинство из них основано на использовании корреляционных зависимостей между средней скоростью распространения сейсмических волн в ВЧР и характеристиками горных пород, определяемыми этими методами.

В рамках геоинформационной системы ArcGIS 10.1 нами [7] разработана технология построения скоростной модели верхней части разреза, которая позволяет учесть всю информацию об особенностях строения ВЧР, полученную комплексом скважинной сейсморазведки и наземных геофизических наблюдений.

Технология была опробована на одном из участков сейсморазведочных работ 3D, расположенном в пределах Соликамской депрессии Предуральяского краевого прогиба. Сейсмические наблюдения были проведены ОАО «Пермнефтегеофизика» по регулярной пространственной системе многократных перекрытий типа «Крест». По сейсмическим профилям 3D была также выполнена гравиметрическая съемка масштаба 1:10 000 (Горный институт УрО РАН). Ранее на данной территории по редкой сети профилей проводились сейсморазведочные работы 2D и электроразведочные работы ВЭЗ. Кроме того, имеется достаточно большой объем углубленных скважин, где были выполнены микросейсмокаротажные (МСК) работы по изучению скоростного строения ВЧР.

Создание скоростной модели верхней части разреза по комплексу геофизических методов осуществлялось в несколько этапов. Вначале для площади сейсмической съемки 3D были рассчитаны статические поправки по материалам каждого из методов исследования [1, 6, 10].

Затем в геоинформационной системе ArcGIS была проведена геообработка grid-моделей статических поправок, полученных различными методами, и их сопоставление с помощью процедуры взвешенного наложения растровых слоев.

Предварительно для каждого слоя было проведено ранжирование объектов с учетом вероятной точности расчета статической поправки. Вес отдельной точки в пределах одной grid-модели (слоя) выбирался с учетом ее удаленности от пункта наблюдения соответствующего метода. Затем растровые модели статических поправок, рассчитанные по данным каждого метода, умножались на соответствующий грид весов и осуществлялось их суммирование (рис. 1).

При этом вклад каждого слоя в итоговую модель определялся с помощью ввода весового коэффициента слоя, который соответствовал коэффициенту корреляции (R) между значениями статических поправок, полученных данным методом, и Δt_{cm} по данным СК (МСК).

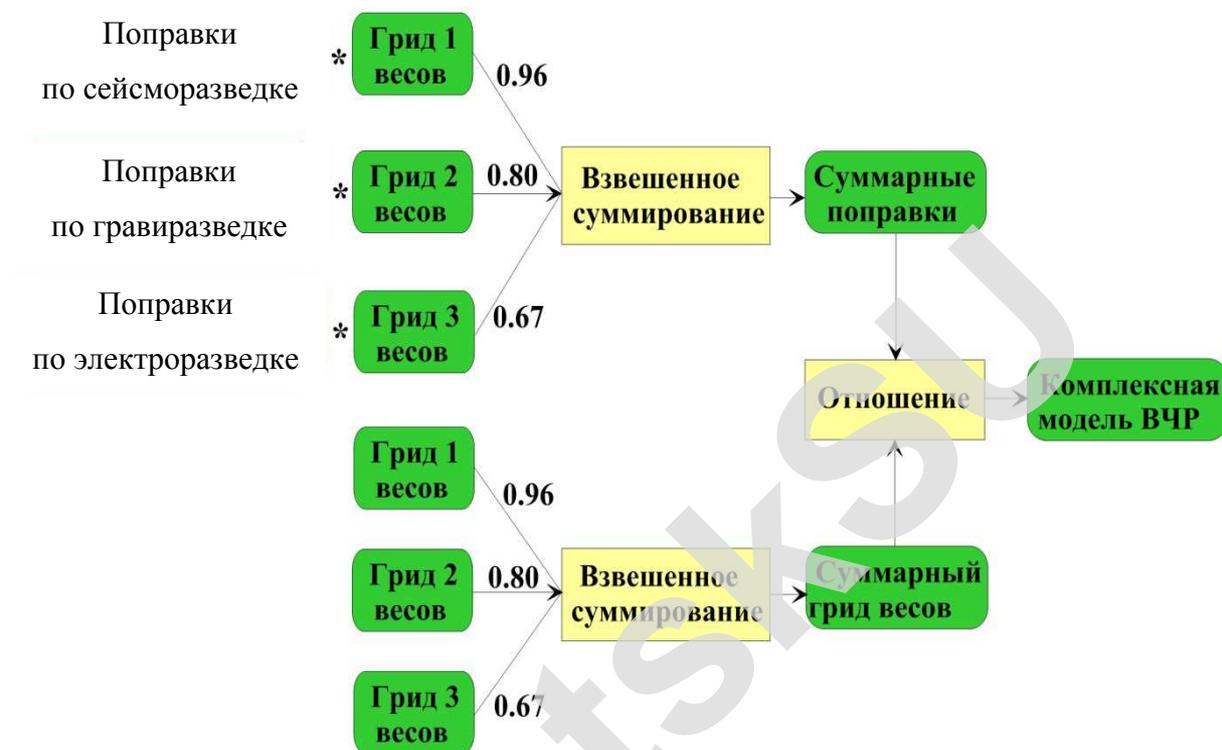


Рис. 1. Блок-схема создания комплексной модели ВЧР

Оценка точности статических поправок, вычисленных по комплексу геофизических методов (рис. 2, а), проведена путем сравнения их с данными МСК. Среднеквадратическое отклонение значений поправок составило $\pm 2,3$ мс. Для сравнения погрешность статических поправок, рассчитанных в ОАО «Пермнефтегеофизика» по временам первых вступлений в комплексе Millennium (Green Mountain Geophysics) и использованных при промышленной обработке материалов сейсморазведки 3D, равна $\pm 3,3$ мс (рис. 2, б).

Автоматизация процесса подсчета запасов нефти объемным методом

В настоящее время при подсчете запасов углеводородов используется объемный метод, сущность которого заключается в определении массы нефти или газа, приведенных к стандартным условиям, залегающих в пустотном пространстве пород-коллекторов [6].

Важнейшим параметром при подсчете запасов является объем продуктивной части пласта $F \cdot h_{эфф}$, который определяется в большинстве случаев путем умножения горизонтальной проекции площади залежи на среднее значение вертикальной эффективной нефтенасыщенной толщины пласта $h_{эфф}$. При этом площадь нефтеносности (F) устанавливается на основе данных пробуренных скважин и их испытания.

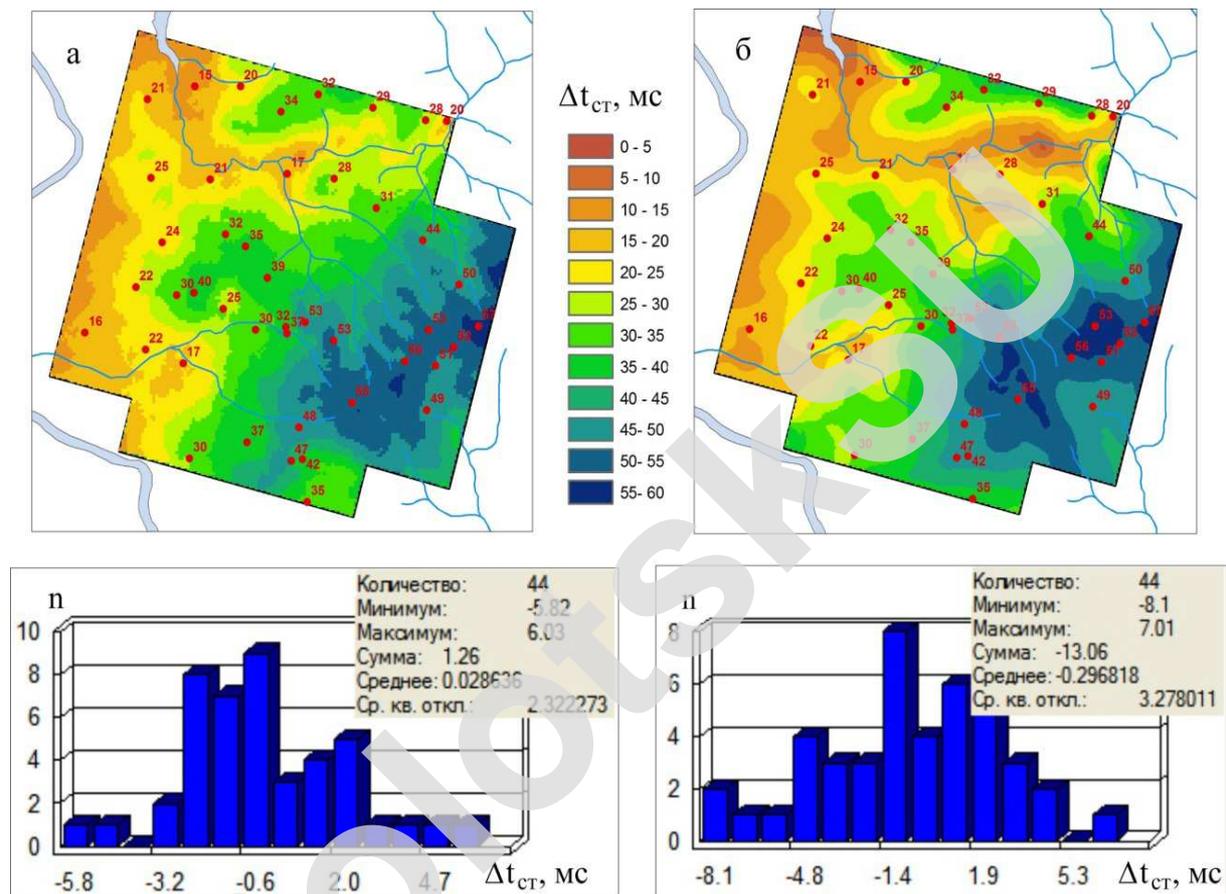


Рис. 2. Карты статических поправок и гистограммы распределения погрешностей определения поправок в точках МСК, полученные по комплексу геофизических методов (а) и по материалам площадных наблюдений в комплексе Millennium (б)

Геоинформационная система ArcGIS предоставляет широкие возможности для реализации процедуры подсчета запасов углеводородов объемным методом. Технология осуществляется с помощью инструментов ArcToolbox и включает несколько этапов:

- расчет грид модели распределения эффективных нефтенасыщенных толщин и построение карты изопахит;
- выделение в пределах контура нефтеносности отдельных участков планиметрии и вычисление их площади;

- определение средних нефтенасыщенных толщин в пределах каждого участка планиметрии;
- подсчет суммарных запасов углеводородов для участков насыщения коллекторов.

Для автоматизации процесса вычислений нами составлена модель обработки, представленная на рисунке 3. В модели сохраняется весь технологический процесс, что позволяет, во-первых, осуществлять вычисления в пакетном режиме, и, во-вторых, проводить расчеты повторно, изменяя наборы входных параметров.

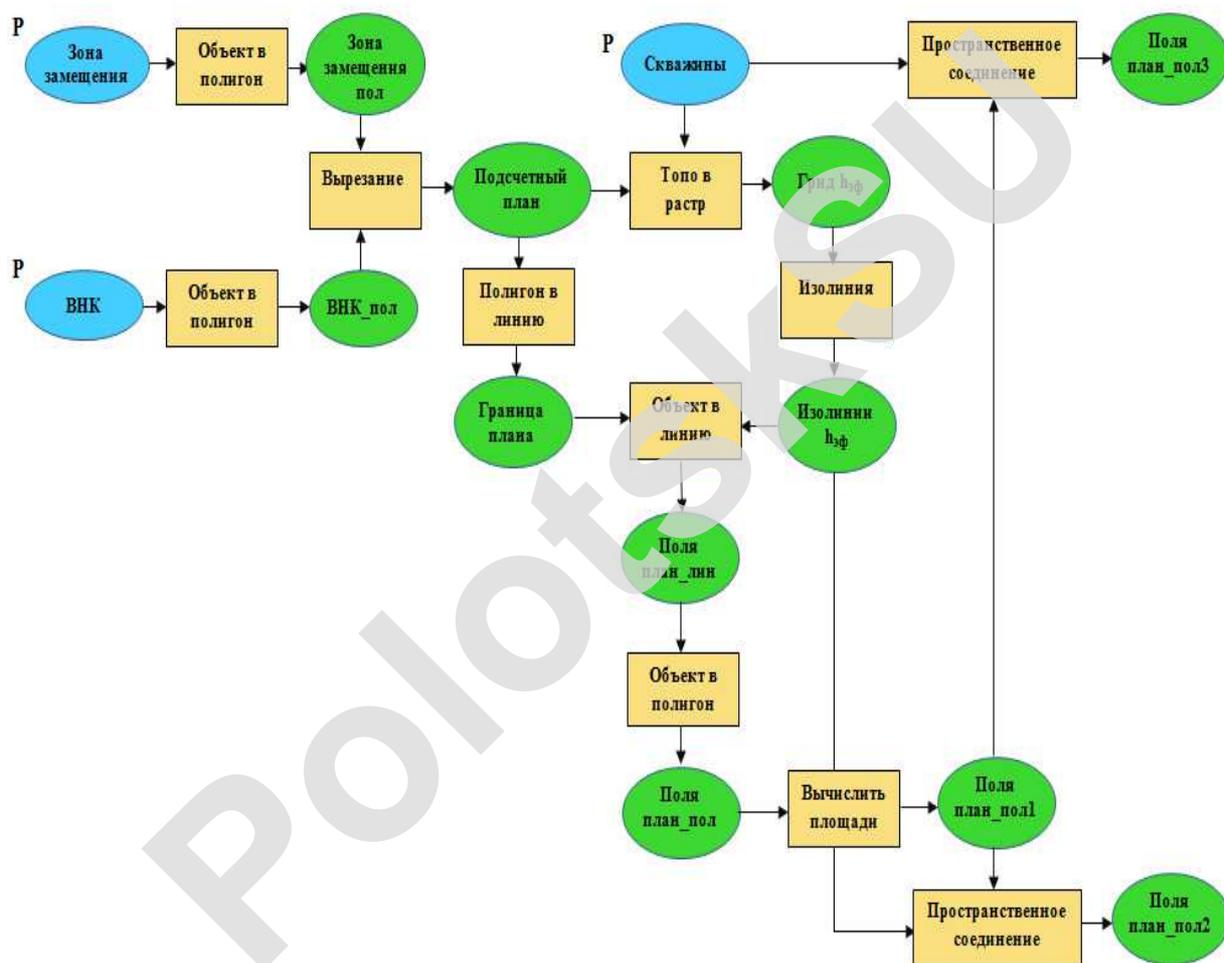


Рис. 3. Блок-схема подсчета запасов нефти объемным методом

В качестве параметров модели (Р) используются следующие исходные данные:

- линейный слой, описывающий контур нефтеносности (*ВНК*);
- линейный слой границ замещения коллекторов (*Зона замещения*);
- точечный слой скважин (*Скважины*) с отметками пластопересечений и значений эффективных нефтенасыщенных толщин.

На выходе имеем полигональные слои участков планиметрии (*Поля плен_пол2* и *Поля плен_пол3*), атрибутивные таблицы которых содержат информацию о площади каждого поля и отмеченных в его пределах значениях эффективных нефтенасыщенных толщин. Вычисление средневзвешанного по площади значения $h_{эфф}$, а также суммарных запасов углеводородов осуществляется в табличном редакторе на основе резюмирования и соединения таблиц атрибутов.

Модель обработки была опробована при подсчете запасов нефти на ряде месторождений Пермского края. Отличие полученных результатов от представленных к защите в ГКЗ не превышает 3%, что не выходит за пределы допустимых пределов точности.

На отдельных этапах данной работы и производстве вычислений принимали участие студенты геологического факультета Пермского государственного университета А.А. Дерендяева [3], Г.С. Морозова [9], Н.В. Кулакова [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков, С.Г. Технология определения статических поправок по гравиметрическим данным / С.Г. Бычков // Геофизика. – 2009. – № 3. – С.65–68.
2. Бычков, С.Г. Учет влияния неоднородностей верхней части разреза по сейсмическим и гравиметрическим данным / С.Г. Бычков, И.Ю. Митюнина // Известия вузов. Нефть и газ. – 2009. – № 5. – С. 22–27.
3. Дерендяева, А.А. Применение геоинформационных систем для подсчета запасов углеводородов объемным методом / А.А. Дерендяева // Геология в развивающемся мире : сб. науч. тр. V науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Пермь / Перм. гос. нап. исследоват. ун-т. – Пермь, 2012. – С. 178–181.
4. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. Современные технологии / В.С. Козырев [и др.]. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 227 с.
5. Кулакова, Н.В. Геомоделирование при подсчете запасов углеводородов / Н.В. Кулакова // Сб. докладов XVII Уральской молодежной научной школы по геофизике. – Екатеринбург : ИГ УрО РАН, 2016. – С. 101–103.
6. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / под ред. В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. – М. ; Тверь : ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003.
7. Митюнина, И.Ю. Методика комплексирования геофизических методов при создании скоростной модели верхней части геологического разреза / И.Ю. Митюнина // Геофизика. – 2014. – № 5. – С. 41–45.
8. Митюнина, И.Ю. Первые волны на сейсмограммах МОВ и изучение верхней части разреза / И.Ю. Митюнина, Б.А. Спасский, А.П. Лаптев // Геофизика. – 2003. – № 5. – С. 5–12.
9. Морозова, Г.С. Построение трехмерной геологической модели продуктивного пласта при помощи геоинформационной системы ArcGIS 9.3 / Г.С. Морозова // Геоло-

- гия в развивающемся мире : сб. науч. тр. V науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Пермь / Перм. гос. нац. исследоват. ун-т. – Пермь, 2012. – С. 166–169.
10. Степанов, Ю.И. Применение электроразведки при изучении ВЧР при сейсмических работах / Ю.И. Степанов, В.А. Поносов // Геофизические методы поисков и разведки. – Пермь : ПГУ, 1983. – С 121–124.
 11. Near-surface P-velocity modeling by integrated seismic, EM, and gravity data: examples from the Middle East / D. Colombo [et al.] // First Break. – 2008. – № 10. – P. 91–102.

USE OF GEOINFORMATION TECHNOLOGY TO SOLVE GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL PROBLEMS

I. MITUNINA

Practical examples of the solution of geological and geophysical problems based on geographic information system ArcGIS 10 (ESRI Inc.) are given. The technology of velocity near-surface model building on the basis of complex interpretation of seismic CMP data, high-precision gravity measurements and vertical electrical sounding. A variant of the automation of inventory counting process oil volumetric method is suggested.

Key words: *Geographic information system ArcGIS 10, 3D seismic, gravity exploration, vertical electrical sounding, velocity near-surface model, estimates of petroleum, volumetric method*

УДК 528.7

АНАЛИЗ ФОРМУЛ РАСЧЕТА РАЗРЕШЕНИЯ ПРИ СКАНИРОВАНИИ АЭРОНЕГАТИВОВ

канд. техн. наук, доц. А.А. МИХЕЕВА

(Полоцкий государственный университет, Беларусь)

Выполнен анализ для формул расчета разрешения при сканировании аэронегативов, приведенных в Инструкции по фотограмметрическим работам при создании топографических карт и планов. В основу разработки положена Инструкция по фотограмметрическим работам по созданию цифровых топографических карт и планов Роскартографии.

Нормативно-технические документы должны неоднократно редактироваться и все требования тщательно проверяться, чего не было сделано с рассматриваемыми инструкциями.

Нормативные документы играют очень важную роль особенно в наше время, когда уровень образования падает и молодые специалисты не всегда в состоянии выбрать оборудование и методику выполнения тех или других работ, оценить ожидаемую точность полученных результатов.

В нормативных документах не должно быть двойных толкований, жаргонных слов и тем более ошибок.

В случае использования аналоговых снимков на ЦФС негативы сканируют на фотограмметрическом сканере.

Перед сканированием снимков согласно инструкциям по фотограмметрическим работам [1, 2] рекомендуется выполнить расчет оптимального элемента геометрического разрешения, исходя из требуемой точности определения плановых координат V_s (0,2 мм) и высот V_z (0,2 h) точек фотограмметрической модели, передачи разрешающей способности исходного снимка R (в мм^{-1}), разрешающей способности графического фотоплана 70 мкм, масштаба карты (плана) $1:M_k$, масштаба обрабатываемых снимков $1:M_c$, величины фокусного расстояния камеры f , базиса фотографирования на снимке b , высоты сечения рельефа h_c .

Величины элементов разрешения составят [1, 2]:

- для обеспечения точности определения плановых координат P_s :

$$P_s = \frac{M_k}{2M_c} V_s; \quad (1)$$

- для обеспечения точности определения высот P_z :

$$P_z = \frac{f}{2bM_c} V_z; \quad (2)$$

- для обеспечения разрешающей способности графических фотопланов P_p :

$$P_p = 70 \frac{M_k}{M_c}; \quad (3)$$

- для обеспечения разрешающей способности снимка P_R :

$$P_R = \frac{0,4}{R}. \quad (4)$$

В первых двух формулах цифра 2 – коэффициент, учитывающий потерю точности из-за процессов обработки: сканирования, опознавания, стереонаведения и измерения точек [1, 2]. За окончательное из разрешений P_S, P_Z, P_P, P_R берется их минимальное значение.

Воспользуемся примером из инструкции по фотограмметрическим работам [1], где для расчета приняты следующие параметры (табл. 1).

Начнем с формулы (3).

Не совсем понятно, что означает термин графический фотоплан. Возможно, здесь речь идет о графических планах, т.е. об уже созданной карте без фотоизображения? Кроме того не понятно, что такое 70 мкм и почему 70? В инструкции не должно быть ни спорных, ни двойных толкований.

Таблица 1

**Параметры аэрофотосъемки,
создаваемого плана и разрешений при сканировании**

M_k	M_c	$h, \text{м}$	$f, \text{мм}$	$l \times l, \text{см}$	$R, \text{мм}^{-1}$	$P_S, \text{мкм}$	$P_Z, \text{мкм}$	$P_P, \text{мкм}$	$P_R, \text{мкм}$
2000	10000	1	100	18×18	40	20	14	14	10

Расчеты свидетельствуют (формула (4)) что геометрическое разрешение для обеспечения разрешающей способности снимка $P_R = 10$ мкм. Как видим, мы получили наименьший размер геометрического разрешения для выполнения качественного дешифрирования, который и должен быть применен для сканирования снимков.

Для дешифрирования очень большое значение имеет разрешающая способность как аэрофотонегатива, так и цифрового изображения.

При расчете по формуле (4) в инструкции принята разрешающая способность исходного снимка $R = 40 \text{ мм}^{-1}$.

Разрешающую способность цифрового снимка R можно рассчитать по формуле [3]:

$$R = \frac{1}{2P_R} = 50 \text{ мм}^{-1}. \quad (5)$$

Разрешающая способность, вычисленная по формуле (5), не соответствует величине принятой в инструкции. Коэффициент 0,4 в формуле (4) ошибочен. Нами определен новый коэффициент 0,5, и формула (4) должна иметь вид

$$P_R = \frac{0,5}{R} = 12,5 \text{ мкм}, \quad (6)$$

то есть чтобы получить разрешающую способность $R = 40 \text{ мм}^{-1}$, снимки необходимо сканировать с разрешением 12,5 мкм. Это тоже наименьший размер геометрического разрешения.

В этом случае разрешающая способность цифрового изображения будет такая же, как и на снимке. Но тогда зачем рассчитывать остальные величины разрешения при сканировании? Ведь больше, чем снимок имеет, получить при сканировании невозможно.

Да и так ли важно обеспечивать разрешающую способность снимка? Правильнее было бы привести в инструкции расчет размера разрешения при сканировании для обеспечения качественного дешифрирования.

Математическое выражение вероятности распознавания простых объектов P имеет вид [3]

$$P = \exp \left[- \left(B \frac{A}{L} \right)^2 \right] = e^{-\left(\frac{BA}{L} \right)^2} = 0,75. \quad (7)$$

где L – геометрический размер простого объекта (диаметр, диагональ, длина и т.п.), который сможем отдешифрировать с вероятностью P ; B – коэффициент распознавания формы простого объекта; A – разрешение аэрофотоснимка, указывающее размер минимального еще отдельно изобразившегося на снимке объекта.

Разрешение аэрофотоснимка A можно рассчитать по формуле [3]:

$$A = \frac{M_c}{2R}. \quad (8)$$

Кроме разрешения снимка A и размера объекта L , который сможем дешифрировать камерально, большое влияние на достоверность распознавания оказывает форма объекта. Объекты, имеющие одинаковые размеры, но отличающиеся по форме, воспринимаются по-разному и распознаются с различной степенью достоверности. И влияние этого фактора принято выражать через коэффициент B (коэффициент распознавания формы) [3].

В своей книге [3] А.Н. Живичин и В.С. Соколов отмечают, что требовать, чтобы вероятность качественного дешифрирования была равна или близка к единице, не всегда целесообразно и возможно. Считается вполне удовлетворительным результат дешифрирования, характеризующийся вероятностью распознавания 0,75. При этом большинство задач будет выполнено с минимумом затрат на производство дешифрирования [3].

Наиболее сложно будет дешифровать объекты, имеющие небольшие размеры, соизмеримые с разрешением аэроснимков.

Выполнив анализ условных знаков [4, 5], мы пришли к выводу, что отображаемые на картах (планах) разных масштабов объекты, имеющие минимальные размеры будут круглой формы. В связи с чем рассмотрим вопрос расчета вероятности распознавания объектов, имеющих круглую форму.

На основании формулы (7) вероятность 0,75 будет при $\left(B\frac{A}{L}\right) = 0,53$, тогда

$$L = \frac{BA}{0,53}. \quad (9)$$

Значение L для круглых объектов имеет вид

$$L = \frac{BA}{0,53} = \frac{0,97A}{0,53} = 1,8302A. \quad (10)$$

Для вывода формулы расчета разрешения при сканировании для обеспечения дешифрирования с вероятностью 0,75, мы на основании формулы (8) определили, какая разрешающая способность будет достаточна, чтобы увидеть объект:

$$R = \frac{M_c}{2A}. \quad (11)$$

На основании формулы (10) нашли значение A

$$A = \frac{L}{1,8302}. \quad (12)$$

Полученное значение A из формулы (12) подставили в формулу (11):

$$R = 1,8302 \frac{M_c}{2A}. \quad (13)$$

С учетом (13) формула разрешения при сканировании приняла вид

$$P_d = \frac{2L0,5}{1,8302M_c} = \frac{L}{1,8302M_c}, \quad (14)$$

которую можно назвать формулой расчета разрешения при сканировании для обеспечения качественного дешифрирования P_d .

Формула (14) учитывает масштаб снимка и размер распознаваемого круглого объекта L с вероятностью 75%.

Для проверки формул инструкции (1) и (2) мы преобразовали эти формулы, подставив вместо средних ошибок средние квадратические (СКО) и решив их относительно СКО.

Средние квадратические ошибки определения плановых координат имеют вид (15) и (16):

$$m_{x,y} = \frac{2,5P_s M_c}{\sqrt{2}}, \quad (15)$$

а формула (2) будет

$$m_z = \frac{2,5P_z b M_c}{f}. \quad (16)$$

Анализировались полученные результаты элементов разрешения при сканировании по формулам предрасчета точности определения координат точек местности, которые не дали однозначных результатов (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Средние квадратические ошибки определения плановых координат, м

Выражение $m_{x,y}$	$m_{x,y} = 2,5 \cdot M_c \sigma$	$m_{x,y} = 1,5 \cdot M_c \sigma$	$m_{x,y} = \frac{2,5 P_s M_c}{\sqrt{2}}$	Требуемая точность $m_{x,y} = 1,25 \frac{v_s M_k}{\sqrt{2}}$	По эллипсам погрешно- стей
Значение $m_{x,y}$, м	0,250	0,150	0,354	0,354	0,075

Таблица 3

Значения средней квадратической ошибки определения высот, м

f , мм	70	100	140
$m_z = 1,12 \frac{f M_c}{b} \sigma$	0,076	0,109	0,152
$m_z = 1,63 \frac{H}{b} \sigma = 1,63 \frac{f M_c}{b} \sigma$	0,111	0,158	0,222
$m_z = 2,3 \frac{f M_c}{b} \sigma$	0,156	0,224	0,313
$m_z = \frac{2,5 P_z b M_c}{f}$	0,900	0,630	0,450
$m_z = \frac{2,5 P_z f M_c}{b}$	0,340	0,486	0,681
По эллипсам погрешностей	0,108	0,155	0,216

Требуемая точность $m_z = 1,25 V_z = 1,25 \cdot 0,2 \cdot h_c = 0,25$ м.

В формулах СКО измерений координат на снимке σ была принята равной половине величин разрешений при сканировании, указанных в таблице 1 [6]

$$\sigma = \frac{P_s}{2} = \frac{P_z}{2}. \quad (17)$$

Величина σ включает ошибки сканирования, внутреннего ориентирования, распознавания и наведения марки на точку, поэтому не понятно назначение коэффициента 2 в формулах (1) и (2).

Как видим, при определении точности высот средние квадратические ошибки в формулах предрасчета точности прямо пропорциональны f и обратно пропорциональны b .

Мы решили, что авторы инструкций [1, 2] описались и в формуле (2) базис фотографирования на снимке b должен быть в числителе, а фокусное расстояние f – в знаменателе, тогда

$$P_z = \frac{bV_z}{2fM_c}. \quad (18)$$

Формула (18) показывает, что с увеличением фокусного расстояния размер разрешения при сканировании уменьшается, что и должно быть.

Формула определения СКО определения высот в этом случае имеет вид

$$m_z = \frac{2,5P_z f M_c}{b}. \quad (19)$$

Но и после того как b и f поменяли местами, видно (табл. 3), что формулы расчета разрешения при сканировании дают значительное занижение точности по отношению к данным, полученным по формулам предрасчета точности.

Так как формулы предрасчета точности не дали однозначных результатов, мы выполнили анализ, используя эллипсы погрешностей, которые, как утверждают А.С. Чеботарев [7] и другие, дают более полное и более правильное понятие об ошибках. Результаты расчетов приведены в таблицах 2 и 3.

Наиболее подробно в геодезии рассмотрены эллипсы погрешностей для определения точности получения координат путем решения прямых засечек [7, 8]. В фотограмметрии положение точек также определяется путем решения прямых засечек. Мы посчитали углы засечки и точность определения углов в зависимости от точности измерения координат на снимках и точности определения фокусного расстояния.

Анализируя полученные значения в таблице 2, можно сделать вывод, что формулы предрасчета точности дают значительное занижение точности. Средняя квадратическая ошибка определения высот (табл. 3), близкая к значениям эллипса погрешности, получена по формуле с коэффициентом 1,63.

Мы приняли данные, определенные по эллипсам ошибок за истинные. На их основе были получены формулы предвычисления средних квадратических ошибок определения как плановых координат $m_{x,y}$, так и высот m_z . Рекомендовано пользоваться следующими формулами:

$$m_{x,y} = 0,75M_c\sigma, \quad (20)$$

$$m_z = 1,59\frac{M_c f}{b}\sigma, \quad (21)$$

На основе формул (20) и (21) мы получили формулы расчета разрешения при сканировании для обеспечения точности определения как плановых координат, так и высот, которые имеют вид

$$P_s = 0,25\frac{v_s M_k}{M_c}, \quad (22)$$

$$P_z = 0,34\frac{V_z b}{fM_c}. \quad (23)$$

Однако для производства возможно и необходимо ввести поправочный коэффициент, особенно если нет уверенности в высокой квалификации персонала, но не 2, а меньший, например, 1,2 – 1,3, который поставить в знаменатель формул (18) и (19). В таком случае эти формулы примут следующий вид:

$$P_s = 0,25\frac{v_s M_k}{1,2(1,3)M_c}, \quad (24)$$

$$P_z = 0,34\frac{V_z b}{1,2(1,3)fM_c}. \quad (25)$$

Применяя коэффициент 2, придется либо увеличить масштаб фотографирования в два раза, что приведет к увеличению работ в два раза, либо сканировать снимки с разрешением меньше в два раза, что также приведет к увеличению работ.

Точность измерения координат на снимке σ определяется величиной разрешения при сканировании.

Формулы расчета разрешения при сканировании, приведенные в рассматриваемых инструкциях [1, 2], дают занижение точности по отношению к данным, полученным по эллипсам погрешностей. Для обеспечения более высокой точности выбирают более крупный масштаб фотографирования, что приводит к увеличению объема выполняемых работ.

Формулы расчета при сканировании целесообразно использовать в том случае, когда аэросъемка уже выполнена. Если аэросъемка не выполнена, то целесообразнее вычислять масштаб фотографирования для обеспечения заданной точности на основании формул (20) и (21).

Инструкция или кодекс – это руководство к действию. Сотрудники предприятий должны неукоснительно следовать требованиям инструкций. Поэтому нормативные документы должны неоднократно редактироваться и все требования тщательно проверяться, чего не было сделано с рассматриваемыми инструкциями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании топографических карт и планов. – Минск : УП «БелНИЦЗЕМ», 2003. – 78 с.
2. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 78 с.
3. Живичин, А.Н. Дешифрирование фотографических изображений / А.Н. Живичин, В.С. Соколов. – М. : Недра, 1980. – 253 с.
4. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500. – М. : Недра, 1989. – 286 с.
5. Руководство по картографическим и картоиздательским работам / Редакционно-издат. отд. ВТС ; В.А. Бабичев [и др.]. – М., 1978. – 111с.
6. Книжников, Ю.Ф. Зависимость точности стереоскопических измерений от размера пиксела цифровых снимков / Ю.Ф. Книжников // Геодезия и картография. – 2003. – № 4. – С. 32–41.
7. Чеботарев, А.С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятности / А.С. Чеботарев. – М. : Геодиздат, 1958. – 606 с.
8. Селиханович, В.Г. Геодезия / В.Г. Селиханович. – М. : Недра, 1981. – 388 с.

ANALYSIS OF FORMULAE FOR RESOLUTION CALCULATION WHEN SCANNING THE AERIAL NEGATIVES

A. MIKHEEVA

The paper examined the formulae for resolution calculation when scanning the aerial negatives provided by the Instructions for photo charting work while creating topographic maps or plans. – Minsk, Belarusian National Scien-

tific Research Center for Survey, 2003. The authors of the specified document posit that its conceptual basis lies in the Instruction for charting work while creating topographic maps or plans at Roskartographia, Moscow, Central Scientific Research Center for Survey, 2002.

The instructions should be edited multiple times and all requirements must be thoroughly validated, which was not completed for the mentioned documents.

Keywords: *resolution ability, decoding, aerial photography, preliminary accuracy calculation, aerial negatives.*

УДК 502.17(476)

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ГИС, ИНТЕГРИРОВАННЫХ С ДАННЫМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**канд. биол. наук А.Р. ПОНТУС, М.С. КУДРЯКОВ,
А.А. СВЯТОГОРОВ**

(Научно-производственный центр по геологии, Беларусь)

Приведены основные результаты и данные по разработке комплексной региональной информационно-аналитической системе управления для поддержки и принятия управленческих решений, прежде всего, на областном и районном уровнях.

Ключевые слова: *информационно-аналитическая система, управленческие решения.*

Разрабатываемая комплексная региональная информационно-аналитическая система управления предназначена для поддержки и принятия управленческих решений на областном и районном уровнях.

Комплексная региональная система управления размещается на имеющихся программно-аппаратных комплексах областных и районных исполкомов с использованием существующей сети РУП «Белтелеком» и системы сотовой связи.

Одно из главных направлений применения системы – разработка и принятие управленческих решений на основе комплексного анализа имеющихся данных по региону. Развитие информатизации в регионах идет

по эволюционному пути. Сначала идет информационное насыщение по ведомственному признаку как на уровне области в целом, так и на уровне районных исполкомов, происходит формирование локальных информационных ресурсов, автоматизируется деятельность в отдельных сегментах. При этом отсутствует целостное всеобъемлющее видение ситуации. Если необходимо в рамках решения какой-либо задачи использовать данные из различных информационных ресурсов, то возникают проблемы их согласования, определения реального первоисточника и документального подтверждения этой информации.

Эта задача в той или иной мере характерна для всех наших регионов. Для оптимального управления социально-экономическим развитием региона необходим комплексный подход к объединению и согласованию информации, необходимо развитие отдельных информационных ресурсов как комплекса взаимодействующих систем, определяющего целостное, всеобъемлющее видение ситуации.

Комплексная региональная информационно-аналитическая система в основе своей должна базироваться на уже существующих или планируемых к созданию информационных системах и ресурсах на двух уровнях – областном и районном и следовать следующим принципам:

- регламентированная актуализация данных;
- регламентированный доступ к необходимым информационным ресурсам;
- регламентированный вертикальный информационный обмен.

Ведомственные информационные системы отвечают за определенный информационный сегмент региона. При этом информационный обмен между ними, как правило, не реализован совсем. Данные в различных информационных системах дублируются, не производится их актуализация, что приводит к существенным временным задержкам в реализации перспективных инвестиционных проектов, связанных с рациональным и обоснованным размещением новых объектов различного назначения и использованием природно-ресурсного потенциала региона, когда требуется одновременное представление информации из нескольких источников. Для решения таких проблем как раз и предназначена комплексная региональная информационно-аналитическая система, которая позволяет, с одной стороны, упростить процессы обмена и согласования данных между различными информационными системами, с другой – предоставить доступ к уже согласованным данным и аналитике на их основе в первую очередь с учетом пространственных объектов на картографической основе. Для этого необходимо реализовать дополнительную функцию в каждой информационной

системе, интегрируемой в единое информационное пространство, – необходимо ее адаптировать к информационному взаимодействию, желательно полностью в автоматическом режиме, обеспечивая при этом интеграцию на уровне согласования данных. При этом все существующие информационные системы органов государственной власти и местного самоуправления должны сохраниться. Преемственность технологий – основная задача при построении системы. Специалисты должны работать с теми технологиями, которые им привычны. Исключение составляют направления, которые не были автоматизированы ранее. Здесь развитие информационных технологий должно осуществляться по жестко регламентированным правилам интеграции. Во все вновь создаваемые информационные системы необходимо уже на этапе проектирования закладывать интеграцию с комплексной информационно-аналитической системой.

Комплексная региональная информационно-аналитическая система функционально делится на два уровня:

- уровень принятия управленческих и политических решений, который потребляет интегрированные информационные ресурсы и представляет их в согласованном, комплексном виде;
- уровень формирования информационных ресурсов и решения ведомственных задач.

Отличительной чертой разрабатываемой информационной системы и ее преимуществом, обосновывающей необходимость создания именно такой ГИС, является возможность структурировать данные различных баз данных и других информационных ресурсов по конкретным объектам и территориям региона на картографической основе. Наглядность, возможность отображения на электронной карте различных объектов по одним и тем же специфическим признакам в различных точках региона одновременно, мгновенное получение табличных и других данных, характеризующих эти объекты, будут незаменимым инструментом для принятия управленческих решений. Отличительной особенностью таких ГИС является не только возможность многоаспектного совместного анализа пространственных и атрибутивных данных, но и своевременность, актуальность и высокая информативность за счет обеспечения возможности интеграции в систему технологий космического мониторинга и данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) космических аппаратов БКА, Канопус, а также перспективной целевой аппаратуры ДЗЗ (радарной и мультиспектральной съемки), съемки с беспилотных летательных аппаратов, данных, получаемых с мобильных устройств. Опыт других стран показывает целесооб-

разность использования как ведомственной картографической информации, так и материалов, получаемых из открытых источников, таких как OpenStreetMap, ESRI, Bing и других. На данный момент накоплен достаточный объем материала о территории Республики Беларусь с Белорусского космического аппарата. При разработке должны выдерживаться стандарты организации Open Geospatial Consortium (далее – OGC): Web Feature Service (WFS); Web Map Service (WMS) и Geography Markup Language (GML), что обеспечит возможность доступа к данным настольными ГИС с сохранением функциональных возможностей при работе с пространственными данными (редактирование объектов, формирование тематических карт и отчетов). Разработка должна вестись на основе программных средств, распространяемых с открытым исходным кодом (Open Source), и реализовываться на основе базовых программных продуктов исключительно с открытыми исходными кодами с использованием общепринятых международных стандартов и технологий. Для обеспечения информационного взаимодействия с внешними информационными системами и ресурсами должны применяться стандарты OGC Web Map Service (WMS), Web Map Tile Service (WMTS), Web Feature Service (WFS) и стандарты для интеграции в сервис-ориентированную архитектуру SOAP. Разрабатываемая система должна позволять осуществлять доступное размещение информационных ресурсов и предоставлять их потребителям как сервисы и обеспечивать набор следующих компонентов:

- хранилище пространственных и атрибутивных данных, обеспечивающее хранения всех видов данных в промышленной СУБД;
- банк пространственных данных космического мониторинга, предоставляющий возможности по организации единого хранилища данных космического мониторинга для всех пользователей системы;
- геопортал, позволяющий осуществлять работу с пространственными данными, их визуализацию и пространственный анализ. Подсистема сервисов работы с данными, включающая в себя средства доступа пользователей к отраслевым сервисам, в том числе описание предметных моделей данных, средства визуализации, редактирования атрибутивных и документальных данных, средства автоматизированного импорта и экспорта всех видов данных, установку прав доступа к информационным ресурсам системы, формирование отчетов и деловой графики и другой функционал, необходимый для работы с отраслевыми решениями или осуществления контрольных полномочий.

Базовый набор программ для формирования подобной ГИС:

PostGIS – хранилище пространственных данных на базе свободно распространяемого сервера PostgreSQL;

QuantumGIS (QGIS) – инструментальная ГИС для профессиональной обработки пространственных данных, с помощью библиотеки GDAL поддерживается более 50 растровых и более 20 векторных форматов, включая ESRI – Shape, MapInfo – mif/midi tab/dat; Autodesk – DXF и другие. Имеется собственный модуль обработки растровых изображений, позволяющий выполнять геопривязку и имеющий несколько алгоритмов трансформации растров.

MapServer – серверная часть для построения интернет-геопорталов и интернет-приложений, обеспечивающий формирование и выдачу изображения по стандарту WMS.

OpenLayers – набор скриптов на языке JavaScript, встраиваемых в интернет-сайты для организации клиентской части работы с пространственными данными по протоколу WMS и WFS.

Таким образом, геоинформационная платформа, сформированная на базе упомянутых информационных программных продуктов, обеспечивает единое информационное пространство геоданных и может применяться на уровне регионов как для создания отдельных отраслевых решений, так и для создания на основе этих сервисов, а также интегрированных с ней существующих информационных систем единого информационного пространства региона и построения комплексной региональной информационно-аналитической системы поддержки принятия управленческих решений, ориентированной на решение задач руководства региона по устойчивому управлению социально-экономическим состоянием всего региона в целом и повышение его инвестиционной привлекательности.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF INTEGRATED REGIONAL INFORMATION AND ANALYTICAL MANAGEMENT SYSTEM BASED ON OPEN GIS INTEGRATED WITH REMOTE SENSING DATA

A. PONTUS, M. KUDRYAKOVA. SVYATOGOR

The article presents the main results and data on the development of an integrated regional information-analytical management system to support management decision-making and above all both at the regional and district levels.

Key words: *information-analytical system, management decisions.*

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ИХ КОМБИНАЦИЙ ПРИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ

*канд. геогр. наук, доц. А.А. ТОПАЗ, Т.В. ЛЯХ
(Белорусский государственный университет)*

Представлены результаты экспериментальных исследований по цифровой обработке мультиспектральных данных Белорусского космического аппарата. На примере космического снимка территории ландшафтного заказника «Озеры» выполнен анализ методов обработки мультиспектральных данных, их комбинаций и преобразований. Выявлено, что по мультиспектральному снимку БКА наличие четырех спектральных каналов позволяет рассчитать 10 вегетационных индексов и 4 главные компоненты.

Ключевые слова: *мультиспектральные данные дистанционного зондирования Земли; космические снимки; методы цифровой обработки изображения; спектральные преобразования; вегетационные индексы; метод главных компонент.*

В настоящее время применение мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в совокупности с их соответствующей цифровой обработкой позволяет получать достоверную и подробную информацию о земной поверхности. Однако, к сожалению, потребители этих данных не всегда обладают полным представлением обо всех средствах и способах их применения. Особенно актуальна эта проблема в связи с запуском Белорусского космического аппарата (БКА), а именно: какое количество спектральных индексов можно получить по снимку БКА и какова их практическая ценность (достоверность информации); возможно ли применить сложные алгоритмы преобразования к данным с БКА.

Цель наших исследований заключалась в анализа и оценке возможностей методов обработки мультиспектральных данных, их комбинаций и преобразований применительно к данным ДЗЗ, полученным БКА.

Объектом исследования была выбрана территория ландшафтного заказника республиканского значения «Озеры». Заказник основан 5 марта 1990 г. согласно Постановлению Совета Министров Белорусской ССР с це-

лью сохранения ценных экологических систем с редкими видами растений и животных, занесенными в Красную книгу. Расположен заказник на западе Гродненской области, в Гродненском и Щучинском районах. Его площадь составляет 240 км². На территории заказника расположено более 20 озер, которые дренируются мелкими ручьями. Около 93% площади заказника занимают лесные фитоценозы. На их распознавание и был сделан акцент в проводимых исследованиях.

В породном составе лесных фитоценозов абсолютное доминирование имеют сосновые сообщества, на долю которых приходится около 70% площади лесов. По берегам озер и рек, а также у болот встречаются черноольховые и березовые леса. Незначительную площадь занимают широколиственные насаждения – менее 1% [5]. К территории заказника прилегают сельскохозяйственные земли, населенные пункты, торфоразработки. Таким образом, заказник «Озеры» является сложным лесным и водно-болотным природным комплексом, местами нарушенным хозяйственной деятельностью (мелиорацией торфяников, вырубками леса, застройкой, сельскохозяйственной освоенностью).

В исследованиях использовались космические снимки Белорусского космического аппарата с уровнем обработки спутниковых данных «С» – ортотрансформированные изображения в проекции UTM и системе координат WGS-84. Основные параметры съемочных систем БКА представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики БКА [4]

Параметр съемочной системы	Панхроматическая	Мультиспектральная
Тип орбиты	солнечно-синхронная	
Высота орбиты, км	510	
Пространственное разрешение, м	2,1	10,5
Полоса захвата, км	Не менее 20	
Спектральный диапазон, мкм	0,54–0,86	0,46–0,84
Количество спектральных каналов	1	4 синий: 0,46–0,52 мкм зеленый: 0,52–0,60 мкм красный: 0,63–0,69 мкм ближ. ИК: 0,75–0,84 мкм
Радиометрическое разрешение	8 бит на пиксел	
Формат файлов	GeoTIFF	

Спутниковые данные на территорию заказника «Озеры» были предоставлены географическому факультету НИРУП «Геоинформационные

системы» в соответствии с договором №20/2013-ДЗЗ/Б от 18.11.2013 г., заключенном между УП «Геоинформационные системы» и БГУ. На снимках отображена территория заказчика по состоянию на 16 августа 2015 г.

Обработка данных ДЗЗ производилась в программном продукте ENVI с помощью встроенных базовых функций. Использовались инструменты визуализации, инструменты расчета спектральных индексов (Vegetation Index Calculator, NDVI, Band Math) и главных компонент (Forward PCA Rotation).

Анализируя возможности спектральной обработки данных ДЗЗ с БКА, в первую очередь следует отметить, что сами по себе снимки в отдельных спектральных каналах несут в себе полезную информацию о земной поверхности. Например, при изучении водоемов могут быть использованы снимки в синем и зеленом диапазоне, при дешифрировании растительного покрова незаменимы снимки в красном и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах.

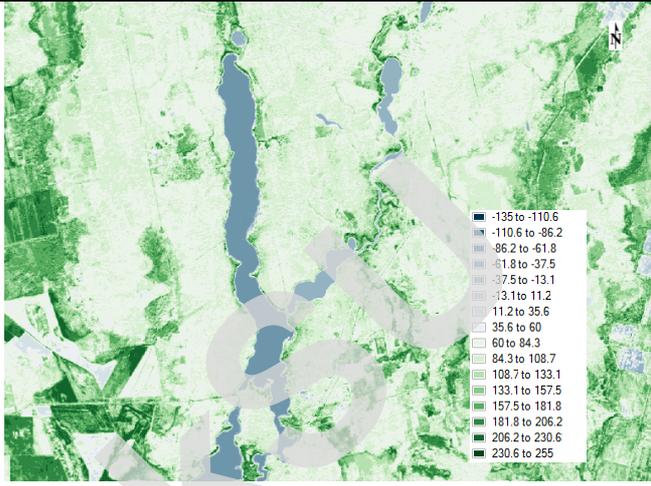
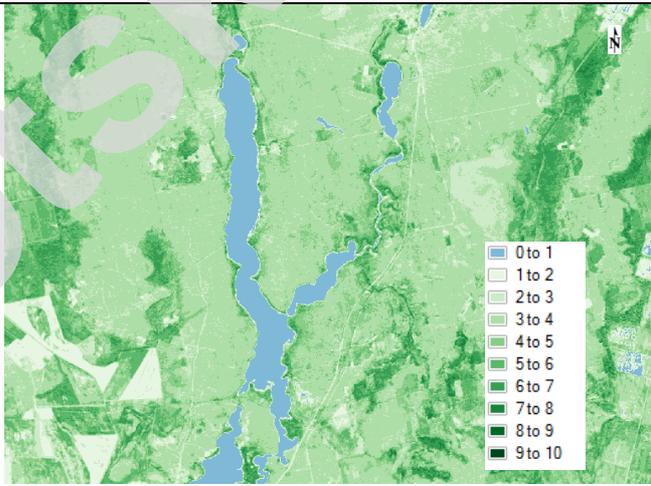
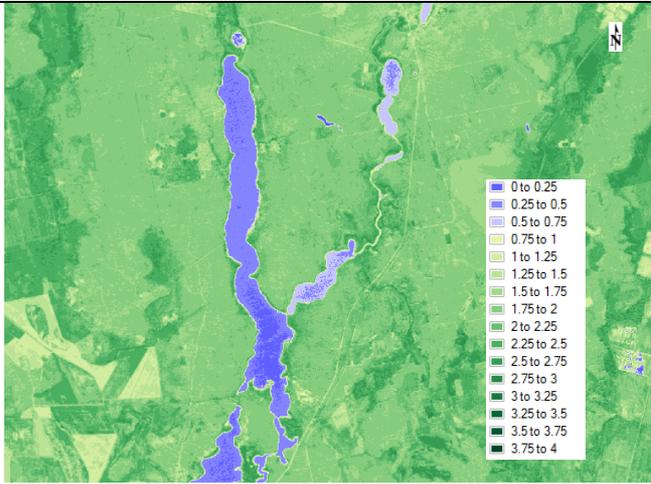
Однако наиболее эффективной формой одновременной передачи информации, содержащейся на отдельных зональных черно-белых снимках одной и той же территории, является синтез материалов многозональной съемки, позволяющий проводить комплексный анализ зональных изображений. Используя мультиспектральные данные БКА, можно создавать различные варианты синтеза, включая две наиболее популярные комбинации каналов: «естественные цвета» и «искусственные цвета». Первая комбинация – (3-2-1) «естественные цвета» – используется, как правило, при изучении водоемов, городских территорий и других антропогенных объектов, полезна при первичном просмотре материалов съемки и визуальном дешифрировании. Область применения другой комбинация – (4-3-2) «искусственные цвета» – несколько шире: изучение состояния растительности, мониторинг и анализ сельскохозяйственных угодий, мониторинг увлажненности почв, дифференциация лиственных и хвойных пород [1–3].

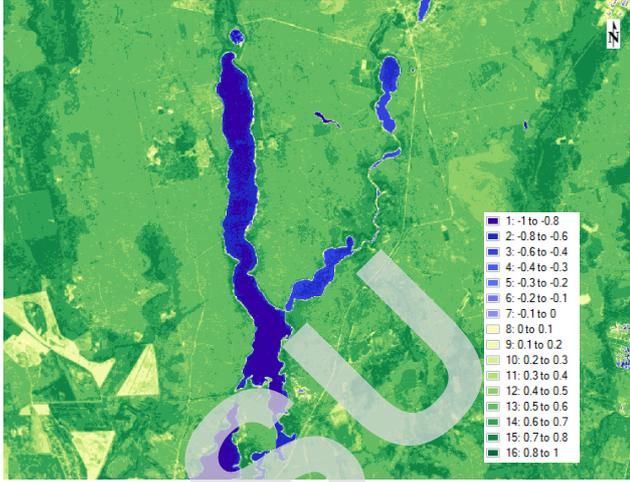
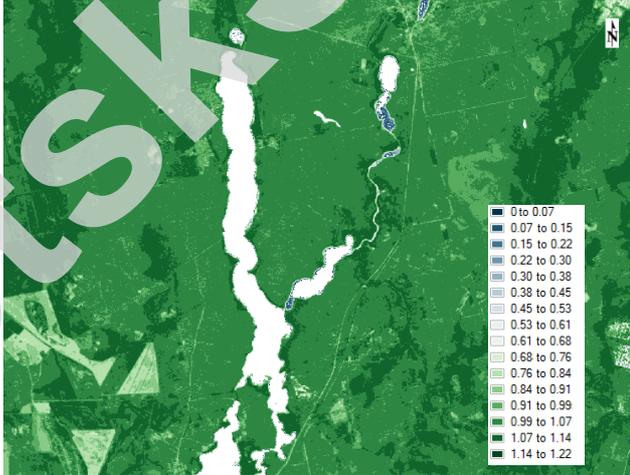
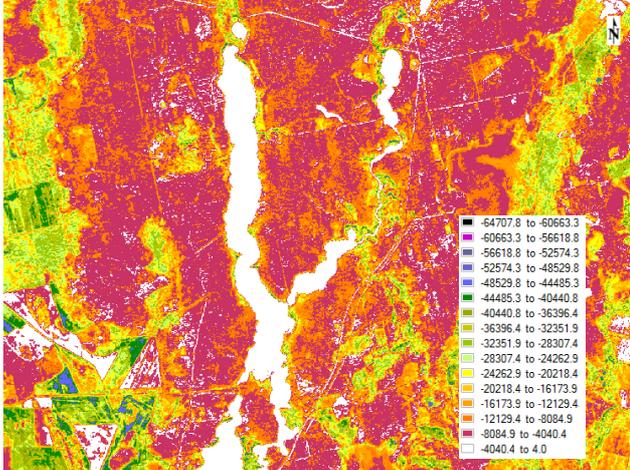
Но наиболее полное представление о растительном покрове дают вегетационные индексы (ВИ). Они основаны на математических операциях с каналами изображения. Чаще всего используется две наиболее информативные в плане растительности зоны спектра: красная и ближняя инфракрасная. В красной области спектра находится максимум поглощения солнечного излучения хлорофиллом растений, а в ближнем ИК диапазоне – область максимального отражения клеточных структур листа. Таким образом, здоровая, фотосинтезирующая растительность характеризуется меньшим отражением в видимой красной зоне и большим в ближней ИК. Всего

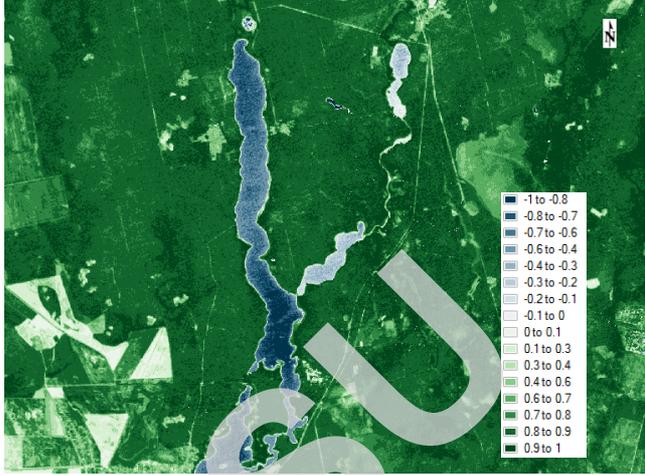
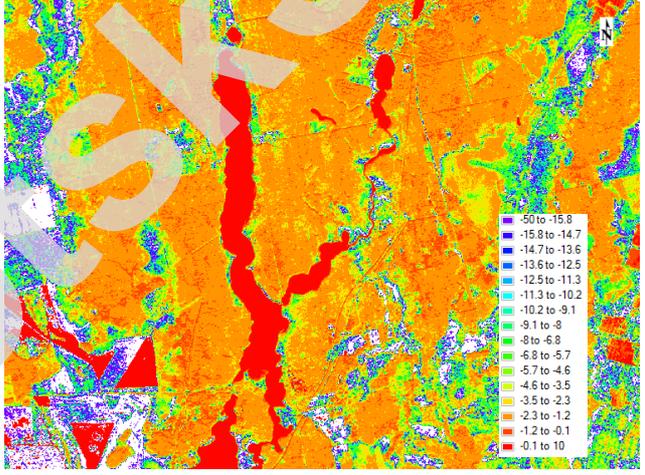
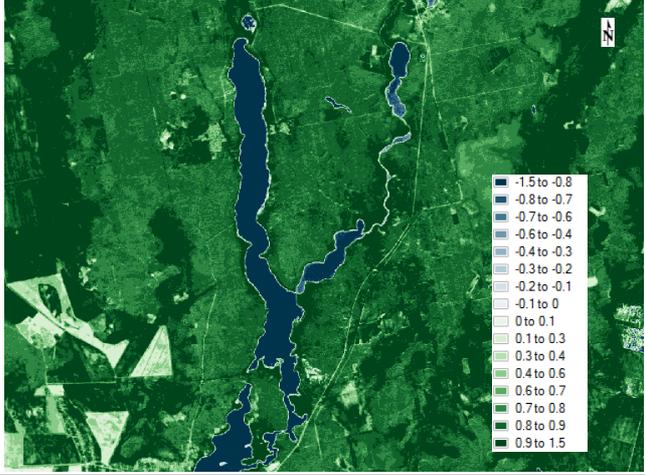
по снимку БКА было получено 10 ВИ без дополнительных расчетов: разностный ВИ, относительный ВИ, нормализованный разностный ВИ и несколько их модификаций (таблица 2).

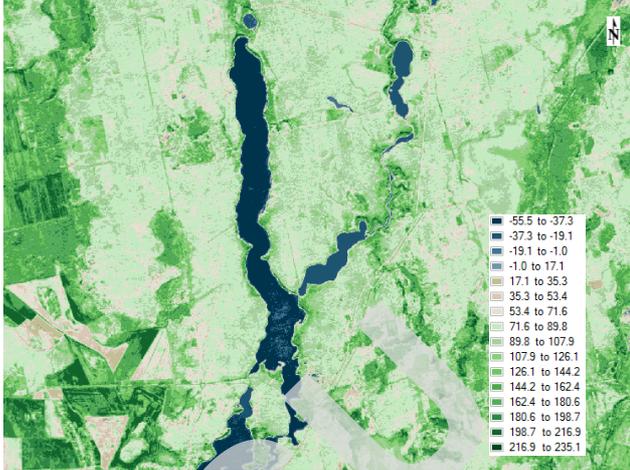
Таблица 2

Вегетационные индексы, рассчитанные по космическому снимку БКА

Название индекса и формула расчета	Цветокодированное изображение
<p>Разностный ВИ (DVI)</p> $DVI = band4 - band3$	
<p>Относительный ВИ (Simple Ratio)</p> $Simple\ Ratio = \frac{band4}{band3}$	
<p>Преобразованный относительный ВИ (TSR)</p> $TSR = \sqrt{\frac{band4}{band3}}$	

Название индекса и формула расчета	Цветокодированное изображение
<p>Нормализованный разностный ВИ (NDVI)</p> $NDVI = \frac{band4 - band3}{band4 + band3}$	
<p>Преобразованный нормализованный разностный ВИ (TNDVI)</p> $TNDVI = \sqrt{\frac{b4 - b3}{b4 + b3} + 0.5}$	
<p>Индекс глобального мониторинга окружающей среды (GEMI)</p> $GEMI = E * (1 - 0.25 * E) - \frac{b3 - 0.125}{1 - b3}$ <p>где</p> $E = 2 \frac{(b4^2 - b3^2) + 1.5 + b4 + 0.5 * b3}{b4 + b3 + 0.5}$	

Название индекса и формула расчета	Цветокодированное изображение
<p>ВИ устойчивый к влиянию атмосферы (ARVI)</p> $ARVI = \frac{b4 - (2 * b3 - b1)}{b4 + (2 * b3 - b1)}$	
<p>Расширенный индекс озелененности (EVI)</p> $EVI = 2.5 \frac{b4 - b3}{b4 + 6 * b3 - 7.5 * b1 + 1}$	
<p>Почвенный ВИ (SAVI)</p> $SAVI = (L + 1) \frac{b4 - b3}{b4 + b3 + L},$ <p>где L принимает значение от 0 до 1 в зависимости от плотности растительности (0 – наибольшая, 1 – наименьшая)</p>	

Название индекса и формула расчета	Цветокодированное изображение
<p>Модифицированный почвенный ВИ (MSAVI2)</p> $MSAVI\ 2 = (L + 1) \frac{b_4 - b_3}{b_4 + b_3 + L},$ <p>где</p> $L = 1 - \frac{2 * b_4 + 1 - \sqrt{(2 * b_4 + 1)^2 - 8 * b_4 * b_3}}{2}$	

На полученных цветокодированных изображениях хвойный лес отображается светло-зеленым оттенком, чуть темнее – березовые леса, самые темные – черноольховые. Самые низкие значения ВИ имеет водная поверхность и непродуктивные земли, в свою очередь, растительность имеет наибольшие значения ВИ.

В целом все вычисленные вегетационные индексы позволяют идентифицировать виды земель и породный состав леса с примерно одинаковой достоверностью. Выбор того или иного ВИ зависит от сомкнутости растительного покрова и чистоты атмосферы. В случае с разреженной растительностью лучше использовать группу индексов, корректирующих влияние почвы, чтобы избежать ошибок интерпретации. Если на снимке не производилась атмосферная коррекция, то целесообразно использовать ВИ, корректирующий влияние атмосферной дымки. В иных случаях лучше использовать наиболее надежные и проверенные индексы: NDVI и относительный ВИ, поскольку их чувствительность к изменениям растительного покрова наибольшая, что дает более достоверный результат.

При обработке данных ДЗЗ используются также сложные преобразования, основанные на линейной перестройке осей в пространстве спектральных параметров. Одним из таких методов является метод главных компонент. Если расчет ВИ основан на корреляции спектральных характеристик объектов в разных зонах, то этот метод намерено разрушает эти взаимосвязи для получения качественно новых изображений. Кроме того, такие спектральные преобразования используются для уменьшения количества каналов изображения.

При наличии четырех спектральных каналов по снимку с БКА возможен расчет четырех главных компонент (рис. 1). Наиболее информативными являются две первые. Первая компонента имеет наибольший спектральный контраст и поэтому наиболее информативна. Полезную информацию можно получить также и по второй компоненте. Виды земель по этим изображениям различимы лучше всего. На изображении первой компоненты четко выделяются водные объекты, урбанизированные земли, хорошо различаются сельскохозяйственные угодья и лесные территории. Изображение второй компоненты позволяет дифференцировать непродуктивные земли, водные объекты и состав лесной растительности. Последние компоненты могут содержать в себе полезную информацию, но чаще всего, содержат больше шумов и не используются в анализе. Композитное изображение из первых главных компонент в полной мере отображает характеристики местности (рис. 2). Недостаток этого метода заключается в отсутствии стандарта отображения объектов. На разных снимках при одинаковой обработке одни и те же объекты будут визуализироваться различными цветами. Это создает некоторые неудобства при дешифрировании и выделении классов земной поверхности, т.к. необходимо сопоставлять результат обработки с исходным снимком.

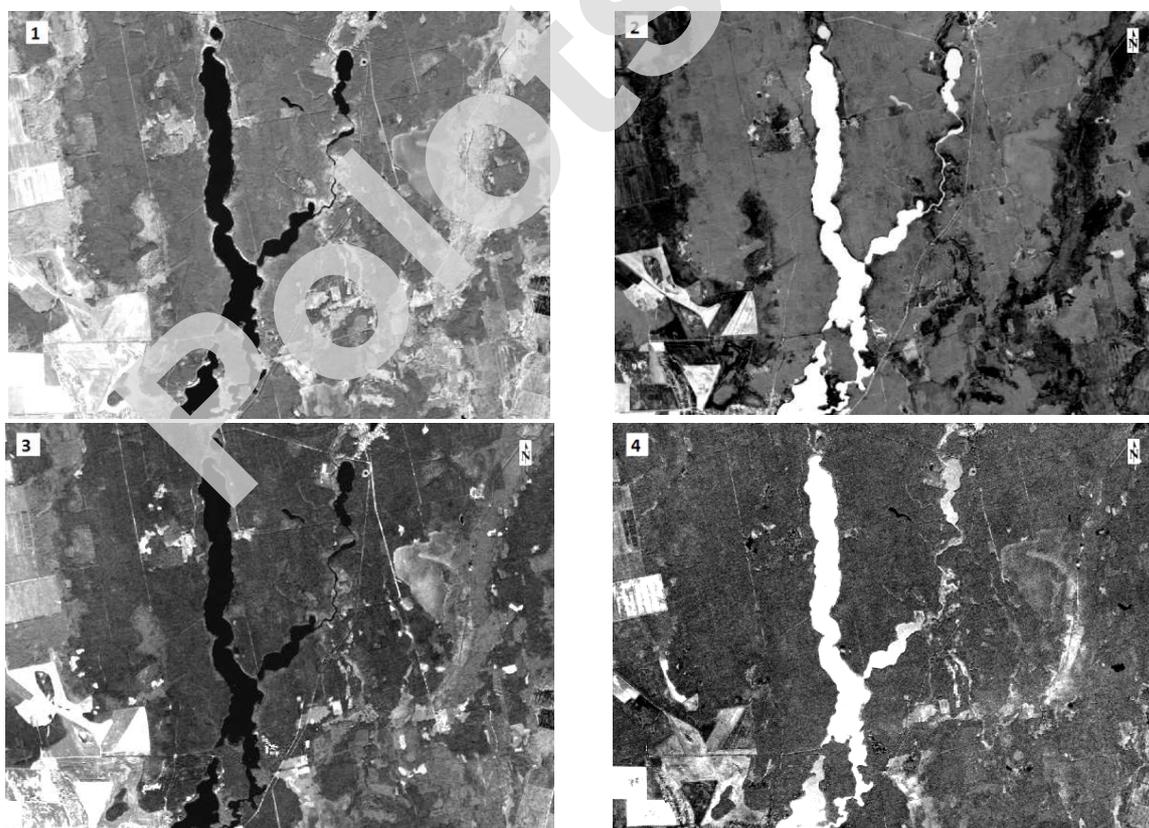


Рис. 1. Изображения главных компонент

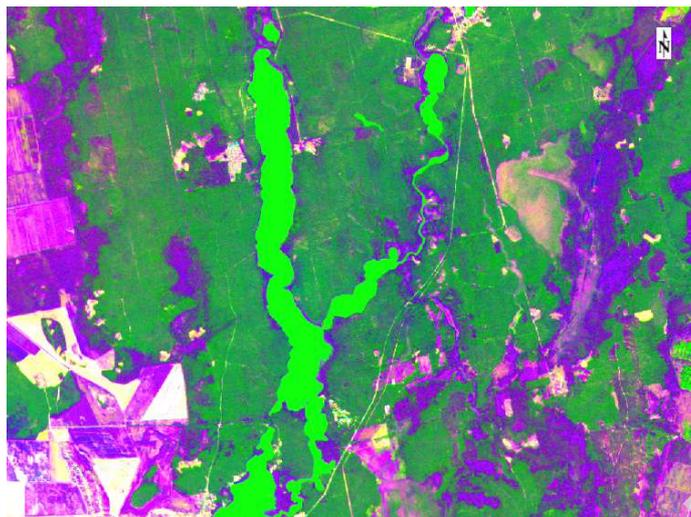


Рис. 2. Композитное изображение первых трех главных компонент

Таким образом, выполненные исследования показали, что по мультиспектральному снимку БКА наличие четырех спектральных каналов позволяет рассчитать 10 вегетационных индексов и 4 главные компоненты.

В ходе сравнения результатов анализа снимка с картографическими материалами по заказнику «Озеры» выявлено, что данные, полученные в результате спектральных преобразований, являются достоверными, интерпретация классов земной поверхности выполнена корректно. Встречаются неточности в некоторых сложных вегетационных индексах, что может быть связано с влиянием атмосферных и почвенных шумов.

Полученные данные позволяют оперативно и достоверно провести идентификацию видов земель (распознавание породного состава лесной растительности, культурной растительности), по индексным изображениям возможно проводить картирование растительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дистанционное зондирование: количественный подход / Ш. М. Дейвис [и др.]; под общ. ред. Ф. Х. Свейна, Ш. Дейвиса. – М. : Недра, 1983. – 415 с.
2. Жиленев, М. Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке / М. Ю. Жиленев // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 56–64.
3. Кравцов, С. Л. Обработка изображений дистанционного зондирования Земли (анализ методов) / С. Л. Кравцов. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2008. – 256 с.
4. Национальная академия наук УП «Геоинформационные системы» [Электронный ресурс] / УП «Геоинформационные системы». – Минск, 2016. – Режим доступа: <http://gis.by>. – Дата доступа: 20.03.2016.
5. Проведение инвентаризации и изучение состояния республиканского ландшафтного заказника «Озеры» : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. гос. ун-т ; рук. Б. П. Власов. – Минск, 2006. – 66 с. – № ГР 20063462.

USE OF MULTISPECTRAL REMOTE SENSING DATA AND COMBINATIONS IN DIGITAL PROCESSING

A. TAPAZ, T. LIAKH

The article presents the results of experimental research on the digital processing of the Belarusian spacecraft multispectral data. The analysis of multispectral data processing, their combinations and transformations was made on the basis of satellite image landscape reserve "Ozery". It was found that the existence of 4 spectral channels on BKA multispectral image allows to calculate 10 vegetation indexes and 4 principal components.

Keywords: Multispectral remote sensing data, satellite images; methods of digital image processing; spectral transformation; vegetation indices; the principal component analysis.

УДК528.8

К ВОПРОСУ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

М.В. ВОЛОШИНА

(Полоцкий государственный университет, Беларусь)

Рассмотрена возможность совместного анализа результатов двойной (многократной) классификации космического снимка для пространственного анализа различий в распределении по классам легенды как дополнительной характеристики оценки достоверности карт классификаций и улучшения результатов классификации.

Автоматизированное дешифрирование (классификация) космических снимков как метод тематического картографирования используется на протяжении последних десятилетий. Его преимущества – оперативность, детальный и точный анализ яркостных различий, использование значительного по сравнению с визуальным методом количества исходных кана-

лов (многокомпонентность), включая синтезированные изображения, индексы. Однако все еще серьезным недостатком остается недостаточно высокая по сравнению с визуальным дешифрированием достоверность окончательных результатов, особенно при использовании значительного числа классов легенды. На достоверности результатов сказываются особенности метода: анализ на уровне пикселей, ограниченные возможности работы с косвенными признаками, пространственным размещением объектов, определением формы объектов. Методы автоматизированного дешифрирования постоянно совершенствуются, частично преодолевая отмеченные недостатки, используя текстурные признаки объектов, возможности совместного анализа данных различных диапазонов съемки, гибридные методы автоматизированного дешифрирования, принципы объектно-ориентированного программирования, алгоритмы нечеткой логики и т.п.

Результаты автоматизированного дешифрирования как картографические произведения, оцениваются в принципе по тем же основным критериям, что и карты и другие картографические произведения, но особое внимание, учитывая специфику метода получения картографических материалов, уделяется показателям достоверности дешифрирования. Оценка достоверности результатов выполняется на основе визуального контроля (качественный показатель) и с помощью статистических показателей, сопровождаемых матрицей ошибок. Диагональные элементы матрицы представляют количество верно классифицированных пикселей, недиагональные элементы характеризуют ошибки пропуска и ложные включения. Разработаны и применяются статистические показатели оценки достоверности, полученные по элементам матрицы ошибок. Однако ни эти показатели, ни матрица ошибок не дают пространственных оценок достоверности классификации снимка. При этом в самой практике оценки достоверности результатов классификации отсутствует обязательная или рекомендательная процедура пространственной оценки результатов автоматизированного дешифрирования. В некоторых современных специализированных программных продуктах в области обработки данных дистанционного зондирования имеются возможности получения например карты вероятности результатов классификации (MultiSpec), однако и этот инструмент далек от рассматриваемой сути пространственного анализа результатов классификации, т.к., например, низкая вероятность, полученная априори, может соответствовать высокой достоверности классификации конкретных пикселей и наоборот.

Ключевым вопросом в процедуре оценки достоверности по статистическим показателям является контрольная (тестовая) выборка точек. Используются разные подходы к созданию контрольной выборки и в зависимости от параметров (общее количество контрольных точек и по классам, методика размещения тестовых точек и т.д.) результаты оценки достоверности могут варьироваться, что способствует субъективности результатов оценки достоверности и соответственно выбора наилучшего результата классификации. При оценке достоверности следует стремиться к объективным результатам дешифрирования, оценки достоверности, привлекать дополнительные возможности повышения качества дешифрирования.

Несмотря на достаточное развитие методов классификации космических снимков, для получения достоверных результатов дешифровщику зачастую приходится применять поочередно или последовательно несколько методов классификации, варьировать параметры, уточнять обучающую выборку особенно при достаточно сложном наборе информационных классов и в качестве окончательного принимать лучший по результатам оценки достоверности и визуального анализа результат, а остальные не использовать. В случае получения значительно худших результатов оценки достоверности для неиспользуемых карт, такой подход себя оправдывает, но бывает, что несколько карт классификации оцениваются в принципе равнозначно высоко и, выбирая один основной результат, остальные можно использовать для совместного анализа карт классификации, а именно соответствий и несоответствий.

Рассмотрим возможности такого подхода на примере. Предположим, классификация снимка выполнена дважды, используя независимые алгоритмы или/и обучающие выборки или/и наборы каналов и т.п. В ходе классификации снимка получены карты классификации с легендой, состоящей из трех классов (рисунок). При этом оба результата показывают приемлемо высокие, схожие результаты оценки достоверности, используя матрицу ошибок и визуальный анализ. Несоответствие в результатах классификации на картах классификаций представим серым цветом.

1	1	1	3
1	1	3	3
2	2	2	3
2	2	2	3

2	1	1	3
2	1	3	3
2	2	3	1
2	2	3	1

Рис. Пример результатов классификации космического снимка, используя два разных подхода к классификации

Если предположить, что классификация выполнена, используя относительно высокую степень независимости результатов, то можно предположить, что пиксели, окрашенные на рисунке белым, т.е. одинаково классифицированные в ходе обеих классификаций, будут иметь более высокое доверие результатам, в то время как окрашенные серым цветом пиксели, т.е. отнесенные к разным классам в результате классификаций, требуют дополнительного анализа.

Сравнительный анализ карт классификации можно выполнять по аналогии с постклассификационным методом выявления изменений по данным дистанционного зондирования, только в качестве исходных данных применяются не карты на определенные даты, а карты классификаций одного снимка, но используя разные подходы. Получив таким образом карту несоответствий, можно далее выполнить:

- визуальный анализ несоответствий,
- количественную оценку несоответствий,
- совместный пространственный анализ достоверности по контрольным точкам, обучающей выборке,
- индикацию участков, требующих уточнения при полевом контроле.

Кроме того, пространственный анализ несоответствия результатов классификации может быть использован для улучшения результатов классификации, уменьшив неточность отдельных классификаций, анализа обучающей выборки и повышение ее репрезентативности.

TO THE QUESTION OF SPATIAL ANALYSIS OF ACCURACY ASSESSMENT OF REMOTE SENSING DATA CLASSIFICATION

M. VALOSHYNA

The article discusses the opportunity of joint analysis of results of double (multiple) classification of space scene for spatial analysis of differences in distribution between classes of legend for the purpose of additional spatial characteristics of accuracy assessment as well as classification improvement.

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ГИС ВИТЕБСКА

А.Б. ТОРБЕНКО, д-р геол.-минерал. наук, проф. **А.Н. ГАЛКИН**,
канд. геол.-минерал. наук **И.А. КРАСОВСКАЯ**

(Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, Беларусь)

На современном этапе развития науки важное место в исследовании городской среды отводится картографированию, особенно новым геоинформационным методам его обеспечения, открывающим широкие возможности для комплексного и оперативного отображения информации, ее анализа и моделирования. Малая изученность концепций и методов геоинформационного обеспечения картографирования геоморфологической среды и экологического состояния урбанизированных территорий выдвигает данную проблему в число наиболее актуальных.

Ключевые слова: геоинформационная система (ГИС), геоинформационное картографирование.

В последние годы наблюдается тенденция расширения применения ГИС в работах, посвященных экологическому состоянию урбанизированных территорий, в том числе их эколого-геоморфологической оценке (Пасхина, 2013 и др.). Однако большинство исследователей используют геоинформационные системы скорее как инструмент электронного картографирования, создавая тематические эколого- и инженерно-геоморфологические карты, оставляя без внимания возможности данных технологий по работе с информацией, и там, где инструментарий ГИС был бы полезен, его возможности остаются не удел (Брагин, 2005). В современных городских ГИС информация об окружающей среде представлена в лучшем случае данными по загрязнению, а особенности рельефа отражены лишь на топографической основе. Несмотря на то, что цифровая модель рельефа сопровождает многие ГИС урбанизированных территорий, она выполняет роль не более чем основы для эффективной подачи разнородной информации о городской среде. Кроме того, в существующих ГИС отсутствует информация о базовом уровне данных по характеристикам окружающей среды (например, данные бурения при строительстве, микроклиматические наблюдения пунктов мониторинга гидрометеослужб и др.), которые могут существенно расширить возможности применения информационных систем.

Нами предпринята попытка создать геоинформационную систему, которая учитывала бы все перечисленные нюансы и удовлетворяла запросам практики градостроения и устойчивого развития урбанизированных территорий на примере города Витебска.

Для решения поставленных задач нами использовались возможности ГИС-платформ Mapinfo Professional и ArcGIS, а также ряд других программ (Easy Trace, Photoshop и пр.). Явными плюсами Mapinfo Professional являются относительное быстрое действие, обеспеченность всем спектром инструментов современного ГИС-анализа и построения карт, широкая распространенность, интуитивная понятность интерфейса, возможность обмена данными с другими ГИС-платформами. В процессе работ применялся практически весь спектр аналитических возможностей данной ГИС – инструменты районирования, построения тематических карт и графиков, Vertical Mapper и т.д.

В отличие от Mapinfo Professional, ArcGIS более «тяжеловесна» и поэтому требует для нормальной работы серьезного аппаратного обеспечения, что редко доступно для рядового пользователя. Однако если решить эту проблему, то сетевые возможности и блок аналитики, особенно в случае с инженерно-геоморфологическими исследованиями, на наш взгляд, у этой ГИС выше.

Таким образом, базы данных и основные карты, отражающие геоморфологические условия и характеристики окружающей среды, выполнялись нами в Mapinfo Professional (рис. 1), но некоторые элементы анализа данных и картографирования базировались на возможностях ArcGIS (рис. 2). Кроме того, возможности ГИС позволили использовать также широко распространенные Excel и Access.

Единой основой для пространственной привязки баз данных ГИС территории Витебска является цифровая топографическая карта города в масштабе 1:10000, что позволяет, во-первых, без проблем использовать любые данные ГИС в желаемом сочетании (например, оценить взаимосвязь распространения загрязнения воздуха и рельефа), а во-вторых, проводить исследования с высокой степенью детализации. Кроме того, в данной геоинформационной системе в качестве подложки используются карты широко распространенных интернет-сервисов Open Street Map и Google Map, что значительно раздвигает рамки использования данных и возможности системы.

Геоинформационная система условно разделена на несколько блоков, которые фактически представляют собой связанные базы данных. В первом блоке представлены данные о характеристиках фоновых естест-

венно-антропогенных условий по геоморфологии и четвертичным отложениям, подземным и поверхностным водам, общим климатическим характеристикам и микроклиматическим особенностям территории, влияющим на развитие рельефообразующих процессов, биогенным факторам развития рельефа. Базовые данные представлены не только оцифрованными тематическими картами городской территории, но и первичными материалами, такими, как данные о четвертичных отложениях и уровне грунтовых вод по скважинам бурения, морфометрические показатели рельефа и др.

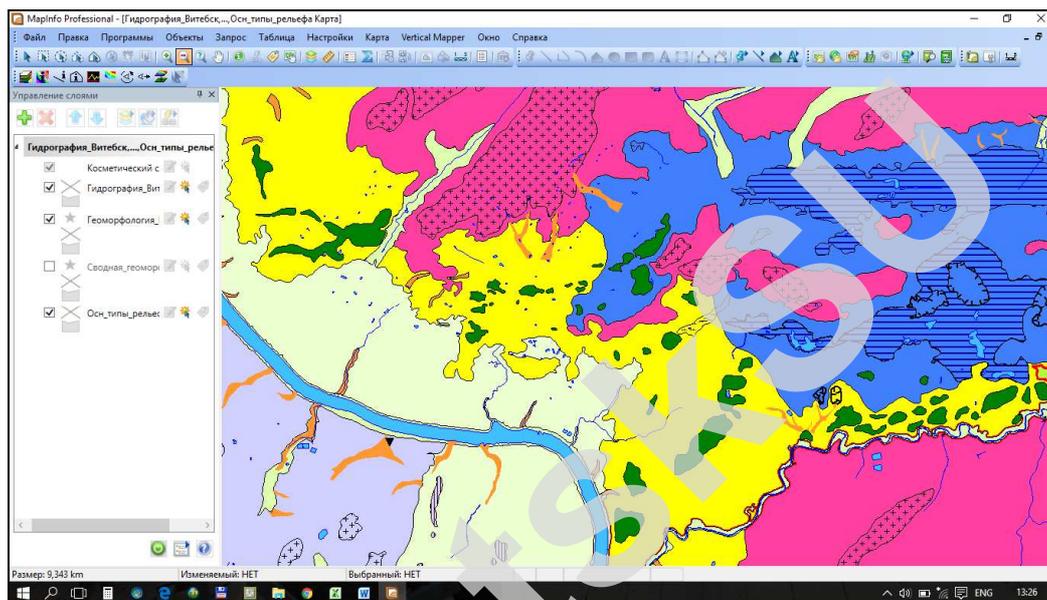


Рис. 1. Фрагмент геоморфологической карты Витебска (MapInfo Professional)

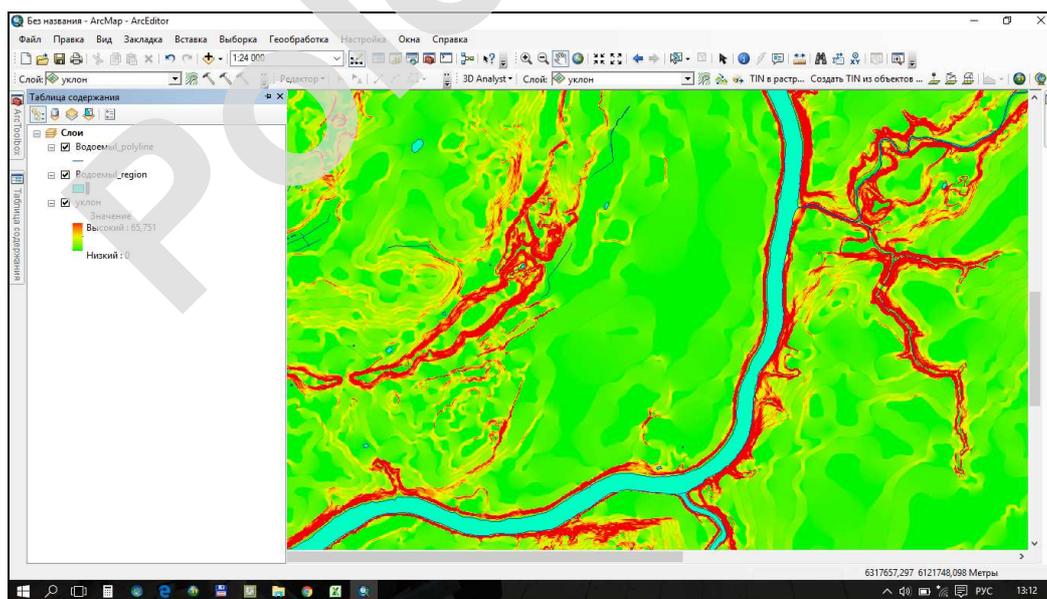


Рис. 2. Анализ рельефа Витебска (уклон поверхности) средствами модуля ArcGIS 3DAnalyst

Во втором блоке сконцентрирована информация, касающаяся показателей антропогенных (техногенных) условий рельефообразования (строительство, гидротехнические работы, деятельность, связанная с земляными работами, и др.), загрязнения различных сред в пределах территории и влияния его на геолого-геоморфологические особенности территории.

На основании данных первых двух блоков в результате использования механизма запросов и других аналитических возможностей геоинформационных систем производится оценка и анализ инженерно-геоморфологических условий, что визуализируется в виде тематических и интегральных карт, которые формируются исходя из конкретных запросов пользователя ГИС. Традиционно оценивается общая степень напряженности экологической ситуации, проводится эколого-геоморфологическое районирование, морфодинамический анализ и анализ распространения опасных геоморфологических процессов.

В инструментарии ГИС предусмотрено автоматическое построение карт экспозиции и крутизны склонов, трехмерных изображений рельефа и ряд других возможностей, которые облегчают инженерно-геоморфологический анализ территории (рис. 3).

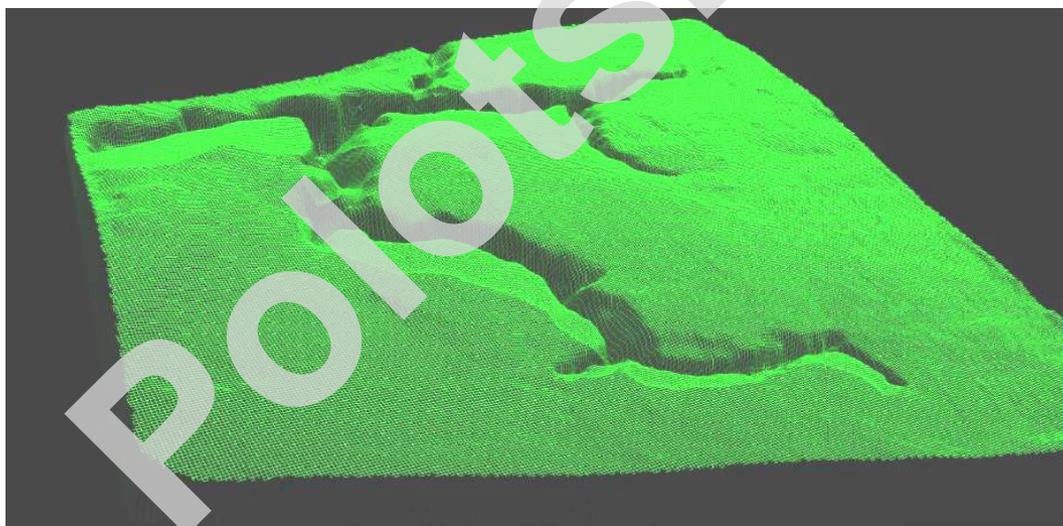


Рис. 3. Каркасная модель рельефа в Mapinfo Professional

Таким образом, использование геоинформационных систем как инструмента для хранения данных, анализа и визуализации результатов в инженерно-геоморфологических исследованиях городских территорий имеет большие перспективы, но используется пока не в полной мере. Создаваемая нами инженерно-геоморфологическая ГИС Витебска на основе ГИС-платформы Mapinfo Professional призвана объединить и упорядочить по

возможности наиболее полный массив исходных данных о характеристиках фоновых естественно-антропогенных и антропогенных условий рельефообразования. Сформированная база данных позволит оперативно решать практически любые аналитические задачи в области развития городской территории, где требуется учет особенностей рельефа, и представлять результаты таких исследований в доступной и привлекательной для заказчика форме. В настоящее время визуальными результатами работы создаваемой ГИС является ряд тематических карт для территории города (гипсометрическая, крутизны и экспозиции склонов, геоморфологическая, четвертичных отложений, морфодинамическая и т.д.), которые планируется объединить в инженерно-геоморфологический атлас Витебска.

SPECIAL ASPECTS OF ENGINEERING GEOMORPHOLOGICAL GIS OF VITEBSK

A. TORBENKO, A. GALKIN, I. KRASOVSKAYA

At the present stage of development of science an important place in the study of the urban environment is given to mapping, especially geoinformation methods of its provision, which offers great opportunities for an integrated and efficient visualization of information, its analysis and modeling. Poor study of the concepts and methods of geoinformation support of mapping of geomorphological environment and ecological state of urban areas raises the problem as one of the most urgent.

Keywords: *Geographic Information System (GIS), GIS mapping.*

УДК 528.9

ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОН СТАВРОПОЛЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ)

А.А. ЛЕБЕДЕВ

*(Московский государственный университет геодезии и картографии,
Россия)*

На основе предложенного метода дешифрирования определены границы г. Ставрополя и проведено зонирование селитебных ландшафтов.

Выявлено увеличение площади селитебных территорий и изменение пространственного расположения различных городских ландшафтов.

Ключевые слова: селитебные ландшафты, Ставрополь, зонирование, дистанционное зонирование земли.

Селитебные ландшафты относятся к классу антропогенных и подразделяются на 2 подкласса: городские и сельские [8]. В настоящее время интерес к селитебным ландшафтам обусловлен усилением темпов урбанизации и ростом агломераций. Рост населения обычно сопровождается ростом площади населенных пунктов и изменением плотности населения, что неблагоприятно сказывается на состоянии окружающей среды, в силу чего необходим мониторинг изменения количества населения и площади населенных пунктов. Что касается количества населения, то данные о нем обновляются систематически в ходе государственных переписей населения (примерно 1 раз в 10 лет), тогда как сведения об изменении площади населенных пунктов, или селитебных ландшафтов, обновляются эпизодически, и в настоящее время практически нет единой общей методики их учета. Необходимость мониторинга названных процессов связана с тем, что они сопровождаются ростом нагрузки на окружающую среду, в первую очередь на природные ландшафты. В этой связи принято говорить о селитебной нагрузке на естественные (коренные) ландшафты, или о селитебной освоенности ландшафтов [1–3, 5–7]. Для Юга России, где находится изучаемая территория, эти проблемы актуальны в связи тем, что в регионе отмечается положительная динамика численности населения.

Селитебные ландшафты формируются при взаимодействии географических и исторических факторов, в результате чего образуется городская территория – географическая система, основной особенностью которой является ее пространственная структура. Она характеризуется своеобразным географическим положением, рельефом, гидрографической сетью, почвенно-растительным покровом и т.п. Помимо этого, ей присущ ряд своеобразных условий, отвечающих специфическим потребностям человека, а именно: биологическим, трудовым, экономическим, социальным. В результате в пределах городских территорий возникают новые свойства, отличающие ее от природных (естественных) ландшафтов. По своему функциональному назначению городская территория делится на следующие зоны:

– селитебную зону, в которой размещаются жилые микрорайоны и кварталы; участки административно-общественных учреждений и учреждений культурно-бытового обслуживания населения;

– внеквартальные зеленые насаждения и спортивные сооружения общего пользования; улицы и площади; отдельные промышленные предприятия невредного производственного профиля, склады, устройства внешнего транспорта; неудобные для застройки и еще не использованные участки;

– промышленные зоны, в которых размещаются промышленные предприятия с обслуживающими культурно-бытовыми учреждениями, улицами, площадями и дорогами, зелеными насаждениями;

– транспортные зоны, занимаемые устройствами внешнего транспорта;

– коммунально-складские зоны;

– санитарно-защитные зоны, отделяющие промышленные предприятия и транспортные устройства от жилья [9].

Сочетание различных элементов городской среды в конечном итоге и составляют совокупную территорию города.

Цель работы – провести зонирование территории города Ставрополя и проследить изменения, произошедшие в течение 15 лет (с 2000 по 2015 гг.). Под зонированием в данном случае понимается выделение на территории города участков:

I. Естественная лесная растительность (парки, старые кладбища).

II. Техногенные объекты, со значительной площадью искусственного покрытия, участки сплошного искусственного покрытия («асфальто-бетон»: промышленные площадки, внутриквартальная высотная застройка, зоны ведения строительных работ).

III. Участки переходного типа (малоэтажная застройка, кварталы с многоэтажной застройкой, имеющие древесно-кустарниковые насаждения внутри дворов).

В начале работы возникла необходимость в определении сезона года, дешифрирование которого позволило бы получить необходимые результаты. Экспериментальным методом было установлено, что оптимальный результат для территории города Ставрополя получается при обработке снимков, полученных в августе и сентябре. В связи с чем дальнейшая работа проводилась со снимками, датированными 29.02.2015 и 12.09.2000 г.

Перед тем как приступить к дешифрированию территории города необходимо установить его границы. Для этого нами была проведена работа по дешифрированию (определению границ) селитебной застройки.

Собственно процессу дешифрирования предшествовала радиометрическая коррекция снимка (Radiometric Correction), а именно тепловая атмосферная коррекция (Thermal Atmospheric Correction). Проведение коррек-

ции необходимо для устранения контрастного выделения на снимке более теплых участков поверхности, в частности, участков селитебной застройки. Далее для получения менее детального изображения использовалась фильтрация снимка (Co-occurrence measures), после которой выбирался наиболее точный результат. После проведения фильтрации проводилось преобразование спектрального канала (с длиной волны 0,4826–0,4850 нм в зависимости от даты снимка).

После подготовки изображения (коррекция, фильтрация, преобразование) было осуществлено дешифрирование снимка с целью выявления площади селитебной застройки. Для этого применялся рабочий набор Classification Workflow (неуправляемая классификация). Экспериментально установлено, что оптимальный результат получается при проведении классификации по 5 классам одного из 3-х слоев преобразованного канала. Полученные результаты сохранялись в виде векторного изображения для дальнейшей обработки в программном комплексе MapInfo. Полученные результаты не были подвергнуты последующей постклассификационной обработке, так как данная операция существенно огрубляла точность полученных результатов (укрупнению ошибочных полигонов и изменение их границ). К тому же данную операцию можно провести с не меньшей эффективностью в программном комплексе MapInfo без изменения и сглаживания границ интересующих полигонов (рис. 1) [4].

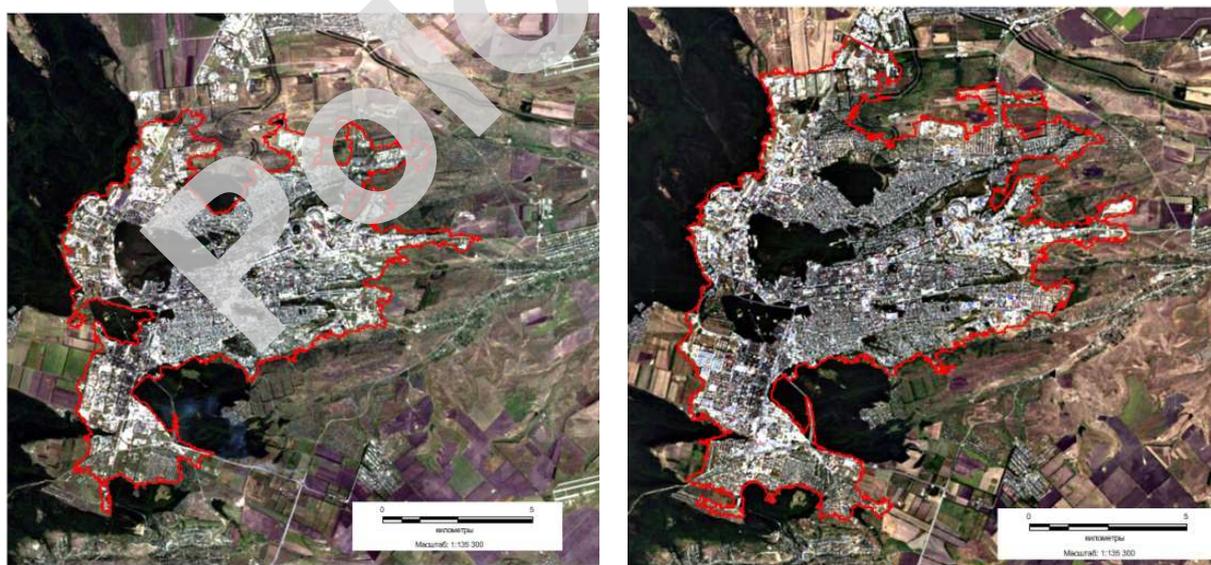
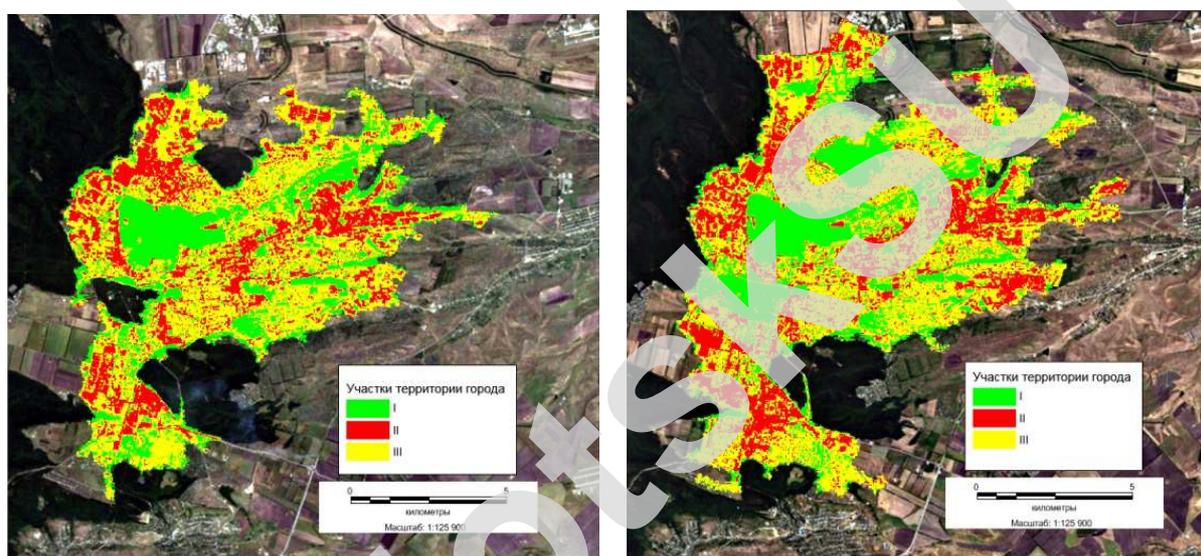


Рис. 1. Границы селитебной застройки г. Ставрополя, по состоянию: *а* – на 2000 г.; *б* – на 2015 г.

Получив границы селитебной застройки, стало возможным провести зонирование территории непосредственно внутри границ города. Был вырезан его участок по линии полученной границы (Apply Mask) и проведена его атмосферная коррекция (FLAASH).

В нашем случае наличие растительности является основным критерием, установленным нами для отнесения исследуемого участка к той или иной зоне, поэтому дальнейшее дешифрирование снимка проведено на основании результатов, полученных после применения индекса Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Непосредственно процесс дешифрирования проводился в программном комплексе ArcGis (рис. 2).



а

б

Рис. 2. Зонирование территории г. Ставрополя, по состоянию: *а* – на 2000 г.; *б* – на 2015 г.

Из полученных данных (таблица) видно, что за последние 15 лет произошел значительный рост селитебной территории, но отношение площадей различных типов городских территорий практически не изменились. Колебания площадей составляют менее 1%. Рост зоны II произошел из-за постепенной застройки частного сектора многоэтажными домами, а так же начала строительства новых микрорайонов за границами селитебной застройки, определенной по состоянию на 2000 год. Увеличение площади естественных лесов – участков переходного типа – проходило в основном за счет «окружения» городом естественных лесов: Члинского и Кругленького, а также постепенным разрастанием города за счет дачных поселков. Кроме того, небольшой процент изменения связан с переходом

одной и той же территории в другой тип, не изменяя непосредственно тип самой застройки. Данный факт (погрешность) возникает из-за увеличения количества зеленых (древесных) насаждений на приусадебных участках в частном секторе, разрастания древесной растительности во дворах многоэтажных домов.

Таблица

Дата снимка	Общая площадь участка		I		II		III	
	км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%
12.09.2000 г.	78,06	100,00	19,43	24,89	19,34	24,78	39,29	50,33
29.02.2015 г.	102,89	100,00	25,85	25,12	25,19	24,48	51,85	50,39

ЛИТЕРАТУРА

1. Атаев, З. В. Динамика селитебной освоенности ландшафтов формирующейся Махачкалинско-Каспийской агломерации (на основе данных дистанционного зондирования) / З. В. Атаев, В. В. Братков // Мониторинг. Наука и технологии. – 2013. – № 4. – С. 11–16.
2. Селитебная нагрузка на ландшафты Северного Кавказа / З. В. Атаев [и др.] // Юг России: экология, развитие. – 2012. – № 4. – С. 100–107.
3. Атаев, З. В. Современная селитебная освоенность ландшафтов Северо-Восточного Кавказа / З. В. Атаев, Ш. Ш. Заурбеков, В. В. Братков // Известия Дагестан. гос. пед. ун-та. Естественные и точные науки. – 2010. – № 1 (10). – С. 71–74.
4. Лебедев, А. А. Изменение селитебной освоенности Ставропольской возвышенности по данным дистанционного зондирования (на примере г. Ставрополя) / А. А. Лебедев // ИнтерКарто/ИнтерГИС-21 Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение : материалы Междунар. науч. конф., Краснодар, Сочи, Сува (Фиджи), 12–19 нояб. 2015 г. – Краснодар, 2015. – С. 213–216.
5. Мамонов, А. А. Тенденции изменения селитебной освоенности ландшафтов Дагестана / А. А. Мамонов, З. В. Атаев, В. В. Братков // Известия Дагестан. гос. пед. ун-та. Естественные и точные науки. – 2013. – № 3 (24). – С. 99–105.
6. Мамонов, А. А. Оценка изменения площади города Махачкала на основе данных дистанционного зондирования / А. А. Мамонов, В. В. Братков // Современные проблемы геологии, географии и геоэкологии (секция географии) : всероссийская науч.-практ. конф., посвященная 150-летию со дня рождения В. И. Вернадского, Грозный, 25–28 марта 2013 г. – Махачкала : АЛЕФ, 2013. – С. 126–128.
7. Мамонов, А. А. Оценка изменения селитебной освоенности ландшафтов контактной полосы Терско-Сулакской и Приморской низменностей Дагестана на основе данных дистанционного зондирования / А. А. Мамонов, В. В. Братков, З. В. Атаев // Известия Дагестан. гос. пед. ун-та. Естественные и точные науки. – 2013. – № 1 (22). – С. 84–89.

8. Мильков, Ф. Н. Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения / Ф.Н. Мильков. – М. : Мысль, 1973. – 224 с.
9. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений : строительные нормы и правила СНиП 2.07.01-89. – утв. пост. Госстроя СССР от 16 мая 1989 г. № 78 ; с изм. от 13 июля 1990 г., 23 дек. 1992 г., 22 июля 1993 г. – Режим доступа: <http://capitalstroy-74.ru/snp/233-snip-20701-89>.

**ASSESSMENT OF CHANGES
OF FUNCTIONAL AREAS OF STAVROPOL
(BASED ON THE MATERIALS OF REMOTE SENSING)**

A. LEBEDEV

Based on the proposed method of photointerpretation the border of Stavropol is determined and zoning of residential landscapes is conducted. An increase of residential areas as well as changing of spatial location of different urban landscapes are detected.

СОДЕРЖАНИЕ

Геодезия, гравиметрия и геодинамика

<i>Непоклонов В.Б., Абакушина М.В.</i> Современное состояние цифровых моделей геоида в континентальных районах	3
<i>Железняк Л.К., Соловьев В.Н., Михайлов П.С.</i> Современная морская гравиметрия	11
<i>Бычков С.Г., Долгаль А.С., Костицын В.И., Симанов А.А., Хохлова В.В.</i> Современные процедуры редуцирования высокоточных гравиметрических данных	20
<i>Бурачек В.Г., Боровой В.А., Малик Т.Н., Коберник И.М.</i> Методика определения нормальных высот	27
<i>Аронов А.Г., Аронова Т.И., Сероглазов Р.Р., Аронов В.А.</i> Современная система сейсмологического мониторинга в Республике Беларусь	30
<i>Чибуничев А.Г., Говоров А.В., Курков В.М., Смирнов А.В.</i> Испытательный полигон МИИГАиК для тестирования калибровки и сертификации беспилотных летательных систем	36
<i>Горобец В.П., Ефимов Г.Н., Столяров И.А.</i> Опыт российской федерации по установлению государственной геодезической системы координат 2011 года	48
<i>Михайлов В.И., Коляго М.Л., Крюк А.В.</i> О некоторых особенностях нивелирования I класса на Санкт-Петербургском геодинамическом полигоне	66
<i>Кравченко О.В.</i> Применение GPS-приемников различных классов точности для отграничения лесных участков	75
<i>Бурачек В.Г., Малик Т.Н.</i> Концепция автоматизированного геодезического контроля деформаций инженерных сооружений	78
<i>Шароглазова Г.А., Коровкин В.Н.</i> Влияние ошибок исходных данных на параметры горизонтальных деформаций земной коры на геодинамических полигонах	81
<i>Шароглазова Г.А., Маркович К.И., Святогоров А.А., Ялтыхов В.В.</i> Организация геодинамического полигона «Полоцкая ГЭС»	90
<i>Железняк В.К., Ярица А.И.</i> Повышение точности координат точки приема сигналов искусственных спутников земли стабилизацией возмущающих воздействий на их прием	103
<i>Дегтярёв А.М., Ивашинова А.С.</i> Проблема преобразования координат с ошибками в обеих системах	111
<i>Юзефович П.А., Лобазов В.Я.</i> Системы координат в аэронавигации, современное состояние и перспективы	119

<i>Шевня М.С.</i> Демаркация точки стыка государственных границ Российской Федерации, Литовской республики и Республики Польша	126
<i>Костицын В.И.</i> О корреляционной зависимости между колебаниями уровня грунтовых вод и изменениями силы тяжести	137
<i>Холмич В.С.</i> Демаркация Государственной границы Республики Беларусь	143
<i>Мкртычян В.В.</i> Подготовка инженеров-геодезистов в Грузии	154

Геоинформационные системы и технологии. Дистанционное зондирование территории

<i>Утекалко В.К., Бирзгал В.В., Крючков А.Н.</i> Актуальные вопросы разработки и применения геоинформационных систем военного назначения	159
<i>Утекалко В.К., Крючков А.Н., Сотикова Е.Е.</i> Программно-информационный комплекс поддержки принятия решений на основе анализа оперативно-тактических свойств местности (ГИС-ВН)	170
<i>Клебанович Н.В., Прокопович С.Н., Кашанов А.Р.</i> Морфометрический ГИС-анализ почвенного покрова по цифровым крупномасштабным картам	177
<i>Митюнина И.Ю.</i> Использование геоинформационных технологий для решения геолого-геофизических задач	182
<i>Михеева А.А.</i> Анализ формул расчета разрешения при сканировании аэронегативов	188
<i>Понтус А.Р., Кудряков М.С., Святогоров А.А.</i> Разработка и создание комплексной региональной информационно-аналитической системы управления на основе открытых ГИС, интегрированных с данными дистанционного зондирования Земли	197
<i>Топаз А.А., Лях Т.В.</i> Применение мультиспектральных данных дистанционного зондирования земли и их комбинаций при цифровой обработке	202
<i>Волошина М.В.</i> К вопросу пространственной характеристики оценки достоверности результатов автоматизированного дешифрирования космических снимков	212
<i>Торбенко А.Б., Галкин А.Н., Красовская И.А.</i> Особенности инженерно-геоморфологической ГИС Витебска	215
<i>Лебедев А.А.</i> Оценки изменения функциональных зон Ставрополя (по материалам дистанционного зондирования)	220

Научное издание

**ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ, КАДАСТР, ГИС –
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Материалы международной научно-технической конференции

(Новополоцк, 9 – 10 июня 2016 г.)

В двух частях
Часть 1

Текст печатается в авторской редакции

Ответственный за выпуск *Г. А. Шароглазова*

Технический редактор *Д. М. Севастьянова*
Компьютерная верстка *О. П. Михайлова*
Дизайн обложки *К. С. Болтрушевич*

Подписано в печать 27.10.2016. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 13,23. Уч.-изд. л. 11,98. Тираж 110 экз. Заказ 1555.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.