

На правах рукописи

Бойков Александр Владимирович

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКАЯ
РЕАЛИЗАЦИЯ КООРДИНАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ МЕЖЕВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ
(ПРОЕКТ «МОСКВА»)**

Специальность 25.00.32 – Геодезия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА-2008

Работа выполнена на кафедре Астрономии и космической геодезии Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК)

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор
Краснорылов Игорь Ильич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Татевян Сурия Керимовна

доктор технических наук, профессор
Шануров Геннадий Анатольевич

Ведущая организация: 29 НИИ Минобороны России

Защита диссертации состоится « » 2008 г. в часов на заседании диссертационного совета Д.212.143.03 в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по адресу 105064, Москва, К-64, Гороховский пер., 4 (ауд.).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК)

Автореферат разослан « » _____ 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ю.М. Климков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Современные тенденции развития отраслей экономики и науки предъявляют повышенные требования к картографо-геодезическому обеспечению, в том числе, к точности геодезической информации. В связи с этим в настоящее время ведётся активная работа по внедрению спутниковых технологий в области кадастра недвижимости, что предусмотрено Федеральной целевой программой «Создание автоматизированной системы ведения государственного земельного кадастра и государственного учёта объектов недвижимости (2002–2007гг.)». В землеустройстве, впервые в Российской Федерации, внедрена Спутниковая система межевания земель (проект «Москва»), основанная на использовании сети постоянно действующих референцных станций. Это качественно новый уровень развития применяющихся в последнее время спутниковых технологий, что обеспечивает ещё более высокую эффективность по точности и производительности. При полном развёртывании системы ГЛОНАСС Спутниковая система без особых технических затруднений может быть перенастроена на использование системы ГЛОНАСС или совместное использование систем ГЛОНАСС и GPS.

Точность получаемых с помощью Спутниковой системы координат зависит как от точности определения взаимного положения референцных станций Спутниковой системы, так и от точности определения положения всей сети референцных станций относительно геоцентрической системы координат. Положение референцных станций вследствие природных и техногенных воздействий может изменяться, что приведёт к ошибкам в определении координат объектов. Поэтому основным содержанием практической реализации координатной основы, наряду с геодезической привязкой сети референцных станций к системе координат ITRF2000, является также мониторинг созданной координатной основы, что подразумевает и наличие методов его реализации.

Вместе с тем, Спутниковая система может быть использована не только для координатного обеспечения кадастра. Она может быть применена в геодезии, строительстве, в других сферах научной и хозяйственной деятельности, где требуется определение координат объектов на уровне средних квадратических ошибок первых единиц сантиметров или даже миллиметров. Это открывает, в частности, возможности применения Спутниковой системы для мониторинга геологической среды, в том числе определения смещений грунтов, сооружений, крупных природных образований, например, участков земной коры и разломов в ней, территорий, подверженных сильным техногенным воздействиям, таких, как территория Московского мегаполиса, или его локальных областей (типа Нагатинской поймы) и т.д.

Применение Спутниковой системы при решении этих задач требует разработки методов создания и мониторинга координатной основы Спутниковой системы, метода мониторинга смещений грунтов и сооружений с её использованием, обеспечивающих необходимую точность получения координат объектов.

С учетом вышеизложенного автор полагает, что тема диссертации является **актуальной** и имеет важное научное и практическое значение.

Цель и задачи диссертации. Целью диссертации является разработка методов создания и мониторинга координатной основы Спутниковой системы (проект «Москва»), практическая реализация координатной основы Спутниковой системы, разработка, испытание и внедрение метода мониторинга смещений грунтов и сооружений. В соответствии с этой целью в диссертации решались следующие задачи:

1. Обоснование требований к точности координатного обеспечения кадастра недвижимости и на основе этого обоснование требований к точности создания координатной основы Спутниковой системы.

2. Разработка методов создания и мониторинга координатной основы Спутниковой системы.
3. Практическая реализация координатной основы Спутниковой системы в виде координат референчных станций в системе координат ITRF2000.
4. Разработка, испытание и внедрение метода мониторинга смещений грунтов и сооружений с применением Спутниковой системы.

Научная новизна и результаты, выносимые на защиту. Предлагаемая диссертация является первой в России работой по созданию и мониторингу координатной основы сети референчных станций, создающих поле дифференциальных поправок.

Новыми и выносимыми на защиту являются следующие результаты:

1. Обоснование требований к координатному обеспечению кадастра недвижимости и на этой основе обоснование требований к координатной основе Спутниковой системы.
2. Методы создания и мониторинга координатной основы Спутниковой системы.
3. Метод мониторинга смещений грунтов и сооружений с использованием Спутниковой системы.
4. Условия оптимизации определения и применения параметров перехода между плоскими системами координат.

Практическая значимость результатов, выносимых на защиту, заключается в том, что созданная автором координатная основа в виде координат референчных станций обеспечивает эффективное применение Спутниковой системы при решении координатных задач широким кругом пользователей. В первую очередь это относится к координатному обеспечению кадастра недвижимости на территории Москвы и Московской области. Спутниковая система используется более чем 50 землеустроительными частными и государственными предприятиями для определения границ землепользований,

планово-высотной подготовки аэрофотоснимков, определения координат центров фотографирования при аэрофотосъёмке, разрешения земельных споров. С её применением в качестве высокоточного измерительного средства спроектирована и создана геодезическая инфраструктура аэропорта Домодедово (НФП «Талка-TDB») и аэродрома ЛИИ им. Громова (г.Жуковский). Активно используется ГУП «Мосгоргеотрест» при геодезическом обеспечении строительства на территории г.Москвы, предприятием ПК «Румб» при реконструкции Ленинградского проспекта, проектировании и строительстве 4-го транспортного кольца в г.Москве, Институтом физики Земли РАН при изучении смещений грунтов и сооружений в пойме Москва-реки, Московским областным БТИ при координировании объектов недвижимости, ФГУП «НИИПИградо строительства» Московской области при планировании территорий и т.д. Основные результаты, полученные в диссертации, внедрены в Спутниковой системе.

Апробация диссертационных исследований проведена на научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных МИИГАиК 2006 и 2007 гг., на конференции ФГУП «Госземкадастрсъёмка-ВИСХАГИ» в 2007г.

Публикации. Основные результаты исследований по теме диссертационной работы опубликованы в трёх печатных работах в журналах, включенных в перечень ВАК, из них две подготовлены самим автором, одна в соавторстве, а также в шести научно-технических и технических отчётах, разработанных в Центре спутниковых технологий (ЦСТ) ФГУП «Госземкадастрсъёмка» – ВИСХАГИ с участием автора.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка использованной литературы (всего 88 наименований, в том числе 36 на английском языке). Работа изложена на 182 страницах машинописного текста, содержит 59 рисунков и 43 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертации, формулировки цели работы и её научной новизны, основные научные результаты, полученные автором при разработке диссертации.

1. Анализ требований к координатной основе создания и ведения государственного кадастра недвижимости.

В первой главе проведён анализ требований к точности определения границ земельных участков и объектов недвижимости, разработаны предложения по изменению этих требований с учётом применения новой технологии на основе сети референцных станций, разработаны требования к координатной основе Спутниковой системы (проект «Москва»). Эти результаты получены лично автором. Кроме того, в ней рассмотрены современные методы определения координат объектов, методы математической обработки кодовых и фазовых измерений ГНСС с учётом возмущающих факторов, системы координат и времени, применяемые в спутниковых технологиях, описаны возможности Спутниковой системы по определению координат объектов. Спутниковые технологии, особенно дифференциальные спутниковые системы, обладая высокой точностью и высокой производительностью, обеспечивают решение большинства координатных задач во всех сферах хозяйственной деятельности, в том числе геодезических задач по координатному обеспечению кадастра недвижимости. Учитывая высокую точность, они также могут использоваться и для решения геодинимических задач с определением координат объектов со средними квадратическими ошибками на уровне первых единиц миллиметров. Предложения по изменению требований к координатному обеспечению кадастра сводятся к изменению точности определения и плотности пунктов опорной межевой сети. С внедрением новой технологии опорная межевая сеть может быть представлена более редкой, чем в настоящее время, сетью, например ГГС или сетью референцных станций, со средними квадратическими ошибками

взаимного положения на уровне 1 см, что обеспечит определение координат поворотных точек границ земельных участков со средними квадратическими ошибками 3 см. Взаимное положение референчных станций, участвующих в геодинамических исследованиях, мониторинге смещений грунтов и сооружений должно быть определено со средними квадратическими ошибками на уровне первых единиц миллиметров. Вся сеть референчных станций должна быть привязана к координатной системе ITRF2000 со средними квадратическими ошибками на уровне первых единиц сантиметров.

Координатная основа Спутниковой дифференциальной системы в виде координат референчных станций должна обеспечивать определение с необходимой точностью координат объектов в государственной системе координат (СК-95) или в иных системах координат, имеющих связь с государственной системой и связанных с системой координат ITRF2000.

2. Методы создания и мониторинга координатной основы Спутниковой системы (проект «Москва»).

Во второй главе проведён анализ современных средств и методов создания и мониторинга координатной основы спутниковых систем точного позиционирования. Разработаны методы создания и мониторинга координатной основы Спутниковой системы (проект «Москва»), а также условия оптимизации решения в задаче определения параметров связи двух плоских систем координат, что используется при создании координатной основы государственного кадастра недвижимости.

В качестве опорных станций для привязки сети референчных станций к системе координат ITRF2000 были выбраны ближайšie к Московскому региону станции сети IGS, координаты и собственные движения которых определены в системе ITRF2000. Математическая обработка спутниковой информации выполнена по программе Бернского университета. Определяемыми параметрами явились координаты референчных станций в системе координат ITRF2000.

Вычислительный процесс осуществлялся с применением метода наименьших квадратов.

С учётом расположения референчных станций Спутниковой системы на территории Московской области автором предложено несколько вариантов определения координат референчных станций в системе ITRF2000:

1. Привязка в едином решении всех референчных станций к опорной сети в системе координат ITRF2000 с применением программы Бернского университета.

2. Привязка в едином решении к опорной сети 6 центральных референчных станций, а затем привязка к ним остальных 16 референчных станций с использованием программ Бернского университета или Ski-pro фирмы Leica Geosystems.

3. Привязка к опорной сети одной референчной станции, затем привязка к ней остальных станций с использованием программ Бернского университета или Ski-pro.

С теоретической точки зрения наиболее строгим (за счёт использования программы Бернского университета), но и более трудоёмким, является первый вариант. С практической же точки зрения предпочтительны второй и третий варианты, как менее трудоёмкие. На экспериментальном материале показана приемлемость (с точки зрения точности определения координат) всех выше перечисленных вариантов. Как менее затратные, в Спутниковой системе использованы второй и третий варианты. В качестве начального пункта в третьем варианте может была принята одна из центральных, наиболее устойчивых в плане изменения координат, станция, выбранная по результатам мониторинга.

При создании координатной основы для мониторинга смещений грунтов и сооружений со средними квадратическими ошибками референчных станций на уровне первых единиц миллиметров изменения координат референчных станций

описываются тригонометрическими рядами Фурье.

Для равноотстоящих узлов при точечной квадратичной аппроксимации уклонения ΔB_i , $\Delta L_i \cos B$, ΔH_i от среднего описываются полиномом k -го порядка

$$\Delta_i = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{j=1}^k \left[\alpha_j \cos \frac{j\pi}{N} t + b_j \sin \frac{j\pi}{N} t \right], \quad \Delta_i = \begin{bmatrix} \Delta B_i \\ \Delta L_i \cos B \\ \Delta H_i \end{bmatrix},$$

$$\alpha_j = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{2N-1} \Delta_i \cos \frac{j\pi}{N} t, \quad b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{2N-1} \Delta_i \sin \frac{j\pi}{N} t,$$

где $2N$ – число равноотстоящих узлов, $i, t = 0, 1, \dots, 2N - 1$, $j = 0, 1, \dots, k$.

Гармоника с номером j , амплитудой A_j и фазой Φ_j описывается выражениями

$$A_j \sin \left(\frac{j\pi}{N} i + \Phi_j \right) = A_j \sin \left(j\omega t + \Phi_j \right) = a_j \cos \frac{j\pi}{N} i + b_j \sin \frac{j\pi}{N} i,$$

$$A_j = \left(a_j^2 + b_j^2 \right)^{1/2}, \quad \operatorname{tg} \Phi_j = \frac{a_j}{b_j}, \quad \omega = \frac{\pi}{N} = \frac{1}{T}.$$

Основные требования к координатной основе Спутниковой системы сводятся к необходимости привязки сети референчных станций, как единого построения, к системе ITRF2000 со средними квадратическими ошибками на уровне первых единиц сантиметров. Взаимное положение референчных станций, участвующих в определении координат объектов, должно определяться со средними квадратическими ошибками на уровне 1 см и менее, а взаимное положение референчных станций, участвующих в мониторинге смещений грунтов и сооружений - со средними квадратическими ошибками на уровне первых единиц миллиметров. Спутниковая система в ее современном составе отвечает этим требованиям. Но работа с точностью на уровне миллиметров требует тщательного поддержания координатной основы Спутниковой системы. Необходимо знать координаты референчных станций в произвольный момент времени и скорости изменения координат, то есть собственные движения референчных станций, которые являются следствием природных и техногенных

воздействий. Эти воздействия приводят к смещениям практически любых центров на уровне миллиметров и более. В связи с изложенным можно констатировать, что задача мониторинга координатной основы Спутниковой системы заключается в периодическом определении координат сети референционных станций (как единого построения) в системе ITRF2000 со средними квадратическими ошибками менее 5 см, во взаимном положении станций, участвующих в определении координат объектов, менее 1 см, во взаимном положении референционных станций, участвующих в мониторинге смещений грунтов и сооружений, на уровне 1–2 мм, в поддержании этой точности в течение всего срока функционирования Спутниковой системы.

Для мониторинга созданной координатной основы Спутниковой системы с учётом её специфики разработана следующая схема.

1. Определение координат начального пункта (референционной станции) или 6 центральных референционных станций в системе ITRF2000. Смещение начального пункта или общее смещение сети из 6 станций относительно предыдущего положения не должно превышать 1 см. Смещение начального пункта или сети из 6 центральных станций приведёт к смещению всей сети референционных станций и, как следствие, к изменению на эту же величину параметров перехода от системы ITRF2000 к государственной и местным системам координат, что в свою очередь приведёт к изменению координат объектов. При установленной точности координат поворотных точек границ земельных участков на уровне средних квадратических ошибок 3 см смещение начального пункта или общее смещение всей сети по любой из координат на величину 1 см является допустимым. При расхождениях больше 1 см требуется выяснение причин и принятие решения о целесообразности переопределения координат референционных станций.

2. Определение взаимного положения всех референционных станций в едином решении с принятием в качестве исходных начального пункта или 6 центральных

станций. При расхождениях полученных координат с ранее определёнными более 2–3 см также требуется выяснение причин и принятие решения о целесообразности изменения координат станций. Основным критерием здесь также является величина смещения всей сети референцных станций относительно предыдущего положения. Оно не должно превышать 1 см по каждой координате. Отклонение координат конкретной станции на 2-3 см от предыдущего положения является допустимым, поскольку определение координат объектов по технологии Спутниковой системы осуществляется не менее чем от 3-х референцных станций, что ослабляет воздействие на результат ошибок координат одной станции.

3. При вводе в строй новых референцных станций или уточнении координат отдельных станций их положение определяется, принимая в качестве исходных начальный пункт или несколько соседних станций. Положение всей сети станций с уточненными координатами отдельных станций также проверяется на общее смещение сети, которое не должно превышать 1 см. В противном случае требуется изучение явления и принятие решения о дальнейших шагах.

Состоятельность этой схемы мониторинга координатной основы проверена в исследованиях третьей главы.

Мониторинг локальной сети референцных станций, предназначенной для мониторинга смещений объектов, осуществляется с использованием математического аппарата в виде временных рядов Фурье. В районе расположения объекта мониторинга выбираются не менее трёх опорных (референцных) станций так, чтобы объект находился внутри или на границе фигуры, образованной выбранными станциями. Наличие трех референцных станций необходимо для точного определения координат объекта мониторинга, контроля точности, который заключается в сравнении координат объекта, вычисленных от трёх и более референцных станций, контроля измерительной информации референцных станций, контроля стабильности положения их точек

относимости. Интервал измерений, на котором определяется собственное движение референчных станций, равен одному году, что позволяет выявить сезонные изменения координат. Аппроксимация движений референчных станций по каждой из координат осуществляется с помощью рядов Фурье 4-го порядка.

Для перехода от геоцентрической системы координат ITRF2000 к местным плоским системам координат необходимо точно определять параметры перехода. При определении только плановых координат для вычисления параметров перехода необходимо иметь не менее двух пунктов с известными координатами в обеих системах координат. Оптимальным вариантом является наличие четырёх и более пунктов, равномерно рассредоточенных в зоне, для которой вычисляются параметры перехода, при этом определяемый объект должен находиться внутри геометрической фигуры, образованной этими пунктами. При перемещении объекта из центра фигуры к её границам ошибки пересчёта возрастают в 2 раза, за границами фигуры более, чем в 2 раза.

3. Практическая реализация создания и мониторинга координатной основы Спутниковой системы (проект «Москва»).

В третьей главе приведены данные о практической реализации координатной основы Спутниковой системы и определении собственных движений трех референчных станций. Для этого были проведены три вычислительных кампании: в апреле и октябре 2004г., в марте 2005г. Каждая кампания состояла из 5 определений (с недельным интервалом между определениями), выполненных по суточным файлам измерений. Опорными станциями послужили станции сети IGS, в том числе станция Обнинск (Россия). Результатами вычислений являются координаты референчных станций в системе координат ITRF2000, используемые для вычисления координат объектов в режимах реального времени и постобработки. Сравнение результатов позволило на основе многократных определений оценить точность определения координат точек относимости антенн референчных станций в системе координат ITRF2000,

а также их устойчивость во времени.

В таблице 1 приведены расхождения между решениями в апреле и октябре 2004 г. (апрель–октябрь).

Таблица 1.

Расхождения между решениями

Название референцной станции	Отклонение координат (мм) (апрель – октябрь)		
	ΔB	$\Delta L \cos B$	ΔH
Агашкино	7.03	7.13	-3.00
Ершово	3.98	7.08	-10.80
Лесной	9.01	9.41	-12.50
Лыткино	3.82	10.85	-9.20
Москва	8.61	6.84	-6.80
Ногинск	5.52	8.77	-11.60
Среднее	6.33	8.35	-8.98
СКО	6.65	8.48	9.55

Из полученных результатов следует главный вывод: решения, полученные в октябре и апреле 2004 г., близки между собой. Максимальное расхождение - 12.5 мм в высоте станции Лесной, в среднем расхождения составляют менее 1 см, что в соответствии с допусками, приведёнными в главе 2, является допустимым.

На основе координат 6 референчных станций, определенных в системе ITRF2000, осуществлена привязка остальных 16 референчных станций. Проведенные вычисления по привязке 22 референчных станций позволяют сделать следующие выводы:

1. Средние квадратические ошибки привязки 6 референчных станций к сети IGS в системе ITRF2000 по измерениям одних суток, вычисленные по уклонениям от среднего, составляют по широте 3 мм, долготе 5 мм и высоте 4 мм. Средние квадратические ошибки координат из общего решения составляют по всем координатам 1 мм.

2. Средние квадратические ошибки определения координат остальных 16 станций относительно 6 центральных станций по измерениям одних суток составляют по любой из координат менее 2 мм, а из общего решения менее 1 мм.

Это объясняется высокой точностью их привязки к 6 центральным станциям, удаленным от них на расстояния до 100 км, координаты которых хорошо согласованы между собой. Общее заключение состоит в том, что привязка всех станций к сети IGS в системе ITRF2000 осуществлена со средними квадратическими ошибками координат менее 1 см.

Очередное определение координат 22 станций выполнено в марте 2005г. по той же схеме, что и в октябре 2004г. Отклонения координат март 2005г. - октябрь 2004 г. приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Отклонения решений март 2005г. – октябрь 2004г

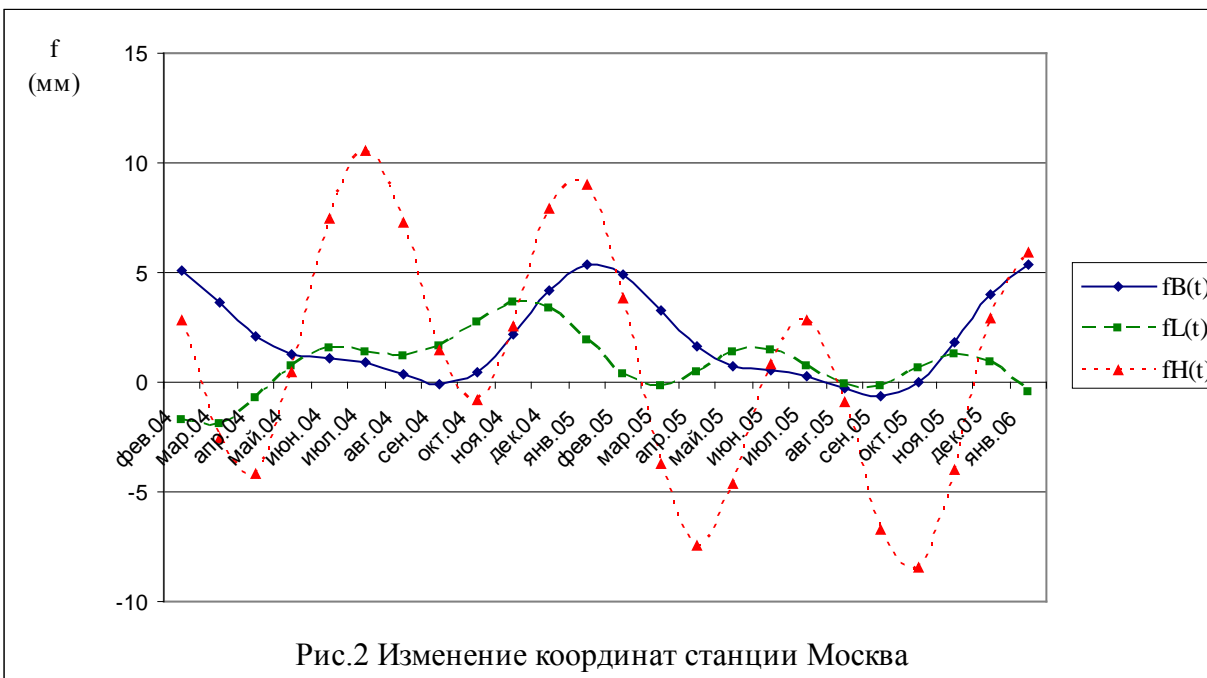
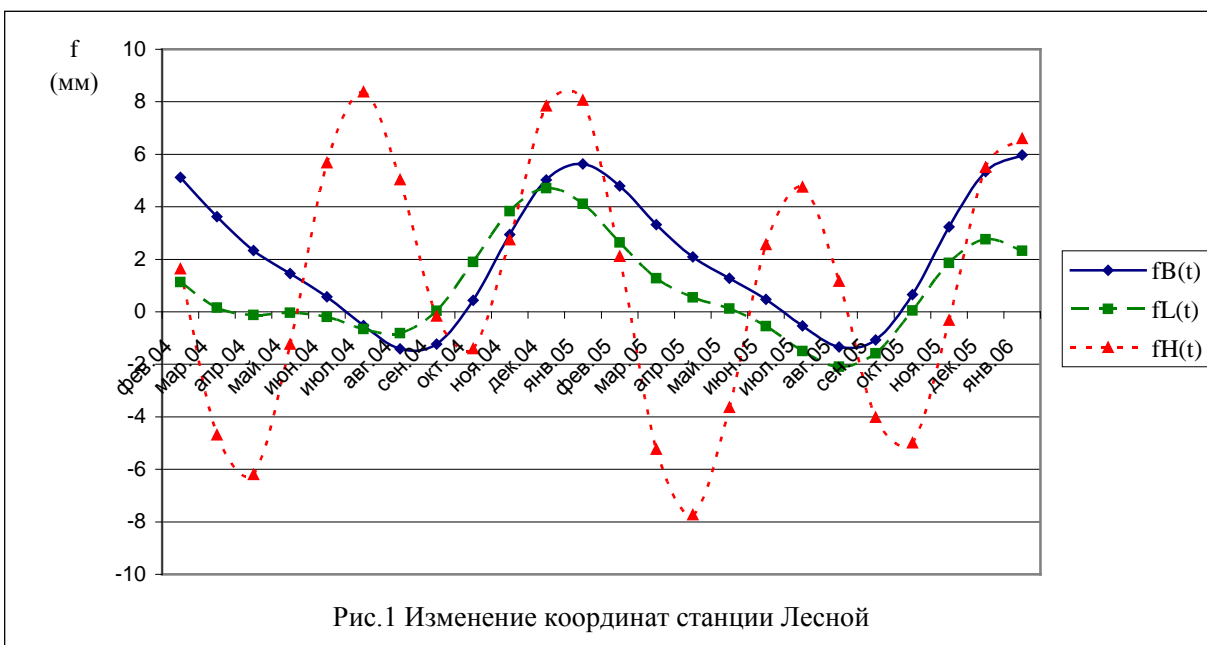
№	Референцная станция	Отклонение координат (мм)			№	Референцная станция	Отклонение координат (мм)			
		ΔB	$\Delta L \cos B$	ΔH			ΔB	$\Delta L \cos B$	ΔH	
1	Агашкино	14.50	-7.55	-4.50	12	Клин	-2.47	-3.21	-1.70	
2	Ершово	11.78	-2.99	-10.00	13	Коломна	-3.42	-3.54	-4.40	
3	Лесное	17.77	-3.78	-11.20	14	Кривандино	2.75	-1.02	0.60	
4	Лыткино	13.51	-4.47	-10.70	15	Лотошино	0.96	-4.20	3.10	
5	Москва	17.74	-4.73	-5.40	16	Орево	2.28	2.87	-2.00	
6	Ногинск	14.90	-0.97	-8.50	17	Романцево	13.85	-5.75	-8.70	
7	Авсюнино	1.23	1.16	2.10	18	Рошаль	-1.14	-1.66	-2.20	
8	Белоомут	1.02	1.88	-1.30	19	Серпухов	4.01	-1.80	-2.10	
9	Бужаниново	0.40	-4.06	-9.40	20	Ступино	-1.57	0.28	-0.80	
10	Дубна	-2.71	-5.48	-6.30	21	Веселево	-1.08	0.83	2.40	
11	Гора	-3.39	-0.73	5.00	22	Зарайск	3.12	-0.26	-2.60	
							Среднее	4.73	-2.24	-3.57
							СКО	8.68	3.47	5.86

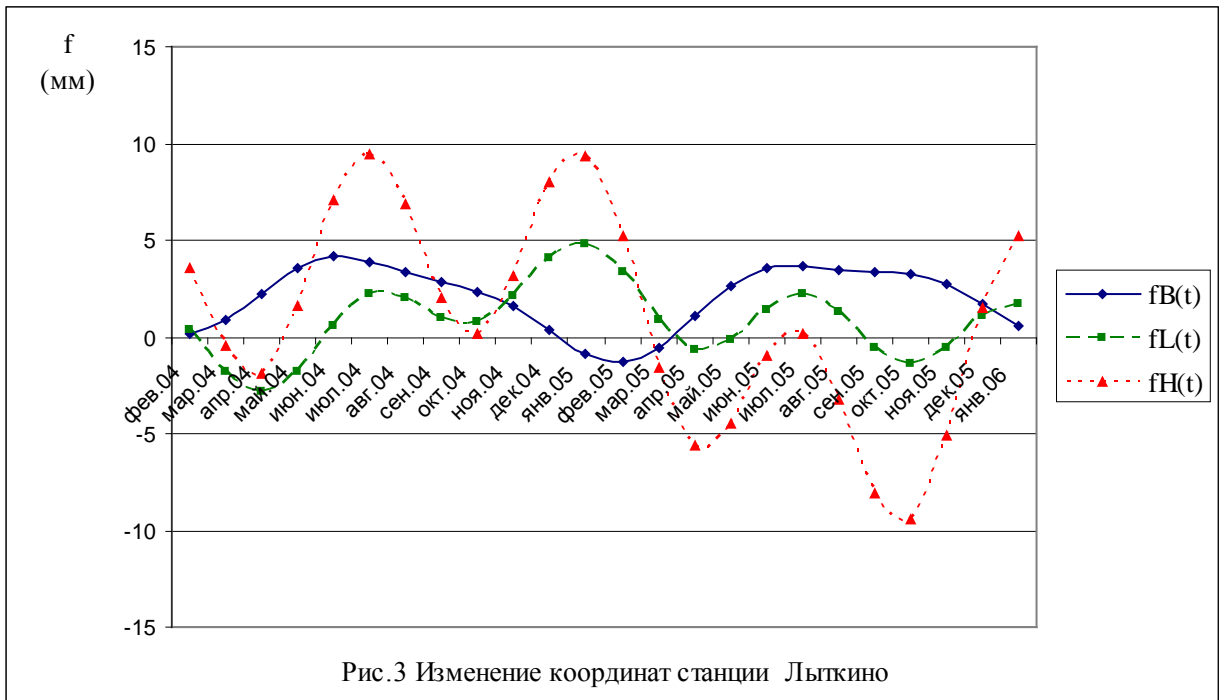
Из полученных результатов следует вывод: отклонения координат станций, полученных в апреле 2004 г. и марте 2005 г., от опорных координат (октябрь 2004 г.) составляют менее 2 см, общее же смещение сети станций составляет менее 1 см. Поэтому координаты, полученные в октябре 2004 г., приняты для применения в Спутниковой системе и не подлежат изменению до следующего определения, в зависимости от результатов которого может быть принято решение об их изменении или продлении их срока действия.

Собственные движения станций Лесной, Москва и Лыткино на годовом

интервале наблюдений определены относительно станции Обнинск, модель движения которой известна. Собственные движения станций в виде изменения координат (функций f) описываются рядами Фурье 4-го порядка.

Численные значения функций f для станций Лесной, Москва, Лыткино в графической форме представлены на рис. 1 – 3.





Из рис. 1-3 следует, что движение всех станций в плане (по широте и долготе) происходит по периодическому закону, без вековых смещений. По высоте станция Лесной также не имеет тренда, в то время как станции Москва и Лыпкино изменяют свое положение с отрицательным знаком (оседают) со скоростью 3.5 мм в год. Этот результат согласуется с результатами, полученными ранее по многочисленным геодезическим измерениям.

Средние квадратические ошибки положения любой из трех референчных станций, вычисленные с аппроксимацией текущих координат рядом Фурье 4-го порядка и составляющие по широте 1.1 мм, по долготе 1.1 мм, по высоте 1.0 мм, согласуются со средними квадратическими ошибками, вычисленными по невязкам в треугольнике Лесной–Москва–Лыпкино и составляющими 1.5 мм, 1.9 мм, 1.0 мм соответственно по широте, долготе и высоте. Этого и следовало ожидать, поскольку при вычислении средних квадратических ошибок по результатам аппроксимации координат рядами Фурье 4-го порядка и невязкам в треугольнике Лесной–Москва–Лыпкино собственные движения станций были исключены.

4. Исследование возможностей Спутниковой системы по мониторингу смещений грунтов и сооружений.

В четвёртой главе проведено исследование возможностей Спутниковой системы (проект «Москва») по мониторингу смещений грунтов и сооружений.

В качестве объекта мониторинга выбрана референсная станция Ершово, что позволило провести исследование на временном интервале в один год. Другим экспериментом, выполненным на основе производственного материала и подтверждающим эффективность метода мониторинга, разработанного автором, является мониторинг смещений грунтов в пойме Москвы-реки (г. Москва, Борисовские пруды).

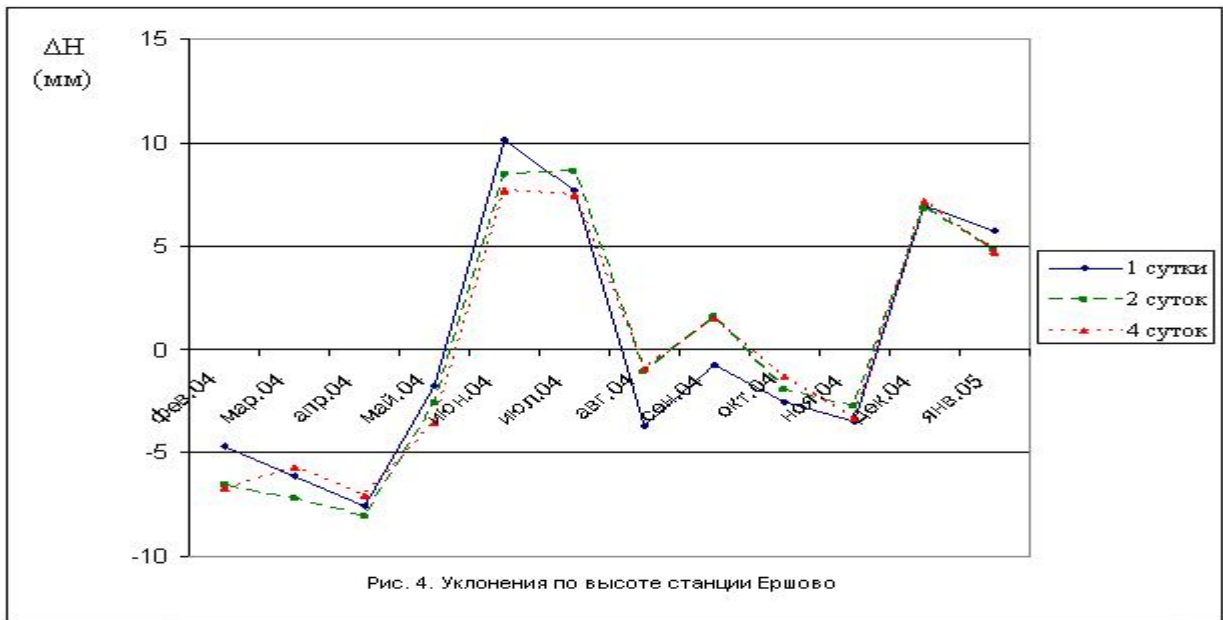
Опорными для мониторинга станции Ершово послужили референчные станции Лесной, Москва, Лыткино. Измерительная информация на объекте мониторинга и опорных станциях сформирована суточными файлами на 1, 2, 3, 4 числа каждого месяца, всего обработано таким образом 48 суточных, 12 четырехсуточных и 12 двухсуточных (на 1, 2 числа каждого месяца) файлов в период 01.02.2004 г. – 04.01.2005 г.

С координатами каждой из опорных станций на текущие моменты времени вычислены координаты станции Ершово по четырёхсуточным интервалам наблюдений. Уклонения от среднего координат станции Ершово, вычисленных в совместном решении от станций Лесной, Лыткино, Москва, составляют по абсолютной величине не более 5 мм по широте, 8 мм по долготе и 10 мм по высоте. На рис. 4 показано распределение уклонений по высоте.

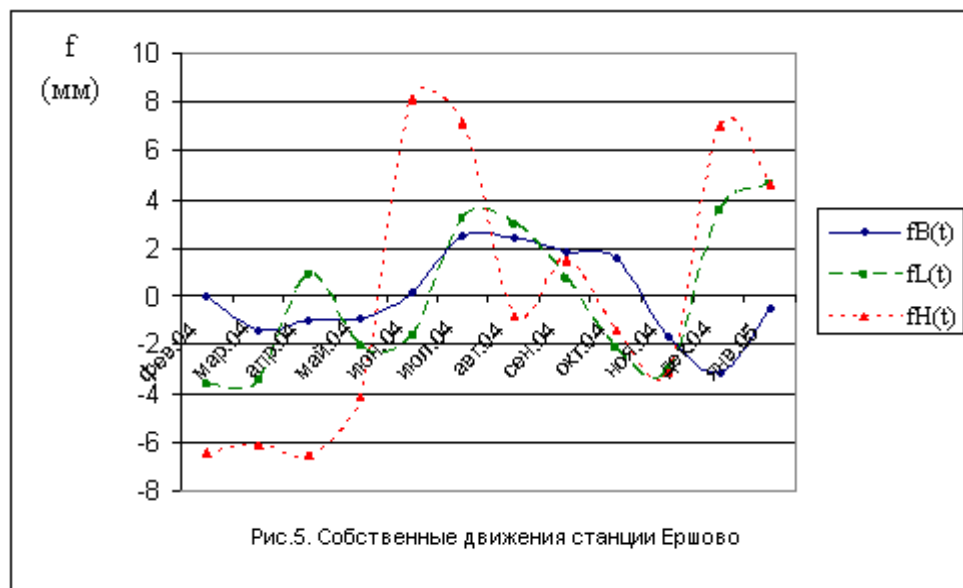
Указанные уклонения содержат собственное движение станции Ершово на годичном интервале. Выполнив их аппроксимацию рядами Фурье 4-го порядка, запишем собственное движения станции Ершово в координатной в форме

$$B - B_0 = f_B, (L - L_0) \cos B = f_L, H - H_0 = f_H.$$

На рис.5 показаны функции f_B, f_L, f_H .



После исключения собственного движения станции остаточные уклонения по абсолютной величине составили не более по широте 1.5 мм, по долготе 1.1 мм, по высоте 0.6 мм. Средние квадратические ошибки каждой из координат станции Ершово, вычисленные по этим уклонениям, составили менее 1 мм.



Для подтверждения эффективности разработанного метода мониторинга смещений грунтов и сооружений использован производственный материал. В 2006 г. по заказу ГУП «Мосводоканал» ИФЗ РАН совместно с Центром

спутниковых технологий, по методу, разработанному автором и при его непосредственном участии, выполнен мониторинг смещений грунтов в пойме Москвы-реки в районе Борисовских прудов (г.Москва, Сабурово). Объект мониторинга имеет площадь примерно 900×500 м, перепад высот составляет примерно 16 метров. На этой площади на глубину 3.5 м заложены 8 бетонных свай, выступающих над поверхностью земли на 1 м. В их верхней части установлены устройства принудительного центрирования для антенн спутниковых приёмников. Схема взаимного расположения этих 8 точек и использованных для определения их координат референчных станций Спутниковой системы приведена на рис.6. Спутниковые измерения выполнены двухчастотными приёмниками SR530, которые прошли метрологическую поверку на полигоне ВНИИФТРИ, а после окончания работ повторно были поверены на полигоне ЦНИИГАиК в Троице-Сельцах.

Измерения на объектах мониторинга с помощью Спутниковой системы были выполнены 20 сентября и 24 октября 2006 г.

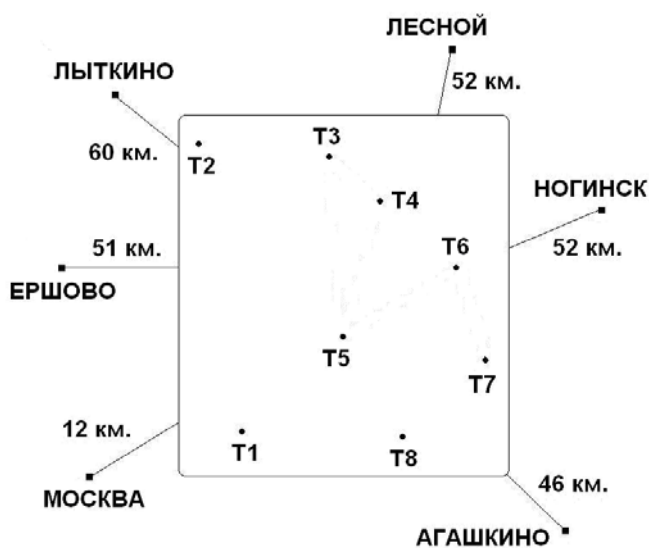


Рис.6

Требование Заказчика работ состояло в определении координат 8 заложённых точек, а затем и смещений грунта на этом склоне со средней квадратической ошибкой 5 мм. По измерительной информации, накопленной в течение 12 часов на 8 точках и 6 референчных станциях Спутниковой системы по программе Ski-Pro вычислены

координаты 8 точек на две даты.

Разности координат, полученных 20 сентября и 24 октября, приведены в таблице 3.

Разности координат

N/N точек	Разности 20.09 – 24.10		
	Δx (мм)	Δy (мм)	Δh (мм)
T1	3	-1	-2
T2	0	-1	2
T3	2	-1	-3
T4	-1	-2	-1
T5	3	-4	5
T6	-1	-3	-2
T7	2	-1	1
T8	2	-2	-3
среднее	1	-2	0

Из сравнения координат, полученных в сентябре и октябре, следует вывод об отсутствии заметных смещений грунта. Также можно сделать вывод о том, что координаты объекта мониторинга определились со средними квадратическими ошибками первых единиц миллиметров, что согласуется с результатами мониторинга референционной станции Ершово.

Заключение. Учитывая цель диссертации, заключающейся в разработке методов создания и мониторинга координатной основы Спутниковой системы (проект «Москва»), практической реализации координатной основы путём геодезической привязки сети референчных станций к системе координат ITRF2000, разработке, испытании и внедрении метода мониторинга смещений грунтов и сооружений, в работе получены следующие основные результаты.

1. Обоснованы требования к координатной основе Спутниковой системы. Точность геодезической привязки сети референчных станций к системе координат ITRF2000 должна характеризоваться средними квадратическими ошибками менее 5 см по каждой из координат, взаимное положение референчных станций должно быть определено со средними квадратическими ошибками 1 см по каждой координате, а взаимное положение референчных станций, участвующих в мониторинге смещений грунтов и сооружений, должно

быть определено со средними квадратическими ошибками первых единиц миллиметров. Изменены требования к точности определения координат и плотности пунктов ОМС, координат поворотных точек границ земельных участков. Можно отказаться от создания ОМС в традиционном виде, заменив её сетью референчных станций и ГГС, использование которых гарантирует определение координат поворотных точек границ земельных участков со средними квадратическими ошибками 3 см.

2. Разработаны методы создания и мониторинга координатной основы Спутниковой системы с экспериментальным подтверждением их эффективности. Мониторинг координатной основы предусматривает периодическое определение координат всех референчных станций в системе координат ITRF2000, определение взаимного положения станций с точностью на уровне средних квадратических ошибок первых единиц миллиметров, что предполагает создание моделей собственных движений референчных станций, как функций времени. Определены оптимальные условия определения параметров перехода от системы координат ITRF2000 к государственной (СК-95) и местным системам координат.

3. Осуществлена практическая реализация координатной основы в виде координат референчных станций в системе ITRF2000. Разработанный метод позволил осуществить привязку референчных станций к системе координат ITRF2000 со средними квадратическими ошибками менее 1 см по каждой координате, осуществить мониторинг, который подтвердил точность привязки на уровне средних квадратических ошибок менее 1 см. Подтверждением высокой точности координат референчных станций стал сертификат соответствия, выданный ВНИИМС Госстандарта России № 03.009.0293 от 31.10.2005 г.

4. Определены модели собственных движений ряда референчных станций, которые обеспечивают точность взаимного положения станций на уровне ошибок первых единиц миллиметров и используются при осуществлении мониторинга смещений грунтов и сооружений. Доказательством состоятельности проведённых

работ по вычислению координат референчных станций, мониторингу их положения, а соответственно и разработанных методов, стало совпадение полученных автором результатов с результатами ранее проведённых исследований традиционными геодезическими методами. Обеими технологиями обнаружено вековое смещение (оседание) южной части Московского мегаполиса со скоростью 3.5 мм в год.

5. Разработан метод мониторинга смещений грунтов и сооружений с использованием Спутниковой системы, получено экспериментальное подтверждение его эффективности. При благоприятных условиях наблюдений мониторинг может быть осуществлён на уровне средней квадратической ошибки по каждой координате 1 мм, при неблагоприятных - на уровне средней квадратической ошибки по каждой координате первых единиц миллиметров. Сравнение результатов мониторинга в пойме Москва-реки, полученных спутниковой и традиционными технологиями, подтвердило приведённые точностные характеристики.

Полученные автором результаты внедрены в производственную деятельность Спутниковой системы и обеспечили её широкое применение государственными и частными предприятиями в работах по геодезическому обеспечению кадастра недвижимости, строительства, планирования территорий, мониторинга смещений грунтов и сооружений.

По теме диссертации автором самостоятельно и в соавторстве опубликованы следующие работы:

- Бойков А.В. О выводе параметров связи систем координат WGS-84 и СК-63 //Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка.-2006.-№5.
- Бойков А.В. О координатном обеспечении референчных станций Спутниковой системы межевания земель //Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка.-2007.-№1.
- Бойков А.В., Булаева Е.А., Монахова М.А. Возможности Спутниковой

системы по высокоточному определению координат объектов //Геодезия и картография.-2006.-№8.-с.5–10.

Кроме того, результаты исследований автора нашли отражение в следующих научно-технических и технических отчётах, выполненных в ФГУП «Госземкадастръёмка» – ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий):

- Научно-технический отчет. Разработка технологии точного определения координат объектов с использованием Спутниковой системы (проект "Москва"). – М. : ФГУП «Госземкадастръёмка» – ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий). 2006.–104 с.
- Научно-технический отчет. Мониторинг координатной основы Спутниковой системы точного позиционирования (проект "Москва"). – М. : ФГУП «Госземкадастръёмка» – ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), 2006. –49 с.
- Технический отчет. Определение координат референцных станций Спутниковой системы межевания земель г. Москвы и Московской области в системе ITRF2000 на эпоху 1997.0. – М. : ФГУП «Госземкадастръёмка» – ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), апрель 2004.–10 с.
- Технический отчет. Определение координат референцных станций Спутниковой системы межевания земель г. Москвы и Московской области в системе ITRF2000 на эпоху 1997.0. – М. : ФГУП «Госземкадастръёмка» – ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), Октябрь 2004.–24 с.
- Технический отчет. Определение координат референцных станций Спутниковой системы межевания земель г. Москвы и Московской области в системе ITRF2000 на эпоху 2006.172. – М. : ФГУП «Госземкадастръёмка» – ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), 2006.–9 с.
- Технический отчет. Определение параметров перехода от системы координат WGS-84 к государственной и местным системам координат. – М. : ФГУП «Госземкадастръёмка» – ВИСХАГИ (Центр спутниковых технологий), 2005.–70 с.