

ВВЕДЕНИЕ

С середины 90-х годов наибольший прогресс в решении разнообразных геодезических задач был достигнут за счет широкого внедрения современных спутниковых технологий определения координат. Повсеместному применению спутниковых технологий (GPS /ГЛОНАСС) способствовали такие определяющие факторы, как возможность выполнения полевых работ в любых физико-географических и климатических условиях, отсутствие необходимости в прямой видимости между пунктами и более высокий уровень точности по сравнению с традиционными геодезическими методами.

Для успешного и быстрого внедрения новых, революционных по тому времени, технологий необходимо было тщательно изучить особенности их использования в топографо-геодезическом производстве, адаптировать к характерным для нашей страны условиям и подготовить соответствующих специалистов. Эти предпосылки привели к созданию в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) в 1992 году специализированного научно-исследовательского центра «Геодинамика».

Штатную основу центра составили специалисты, в большинстве своем выпускники МИИГАиК, работавшие в аэрогеодезических предприятиях – Власов С.С., Рыхальский Ю.К., Юдин А.П. (Магаданское АГП), Рыхальская О.В. (МАГП); специализированных научно-исследовательских институтах – Генике А.А., Бланк Л.М., Ширенин А.М. (ЦНИИГАиК); Максимов К.Ю. (ЦНПО «Комета»); Лобазов В.Я., Мещеряков А.М. (29 НИИ МО РФ); а также выпускники университета Баранова О.В., Каменская А.А., Юзефович П.А. и Коврова М.Г. На протяжении 12 лет работы центра в нем проходили производственную практику, готовили дипломные работы и стажировались десятки студентов университета, которые

впоследствии ушли на производство подготовленными специалистами: Баранова О.В., Петряшин А.Г., Сарайкин М.С., Дмитриев А.Е., Бакарасов Е.В., Васильев И.В., Глазков А.А., Захарова Ю.А., Воронкова М.И., Полякова Е.А., Щурина Л.Ю., Гладышев А.К., Маркин С.А., Лубнин В.С., Лукина Н.В.

Небольшой состав высококлассных специалистов привлекал для выполнения отдельных работ как студентов и выпускников университета, так и специалистов различных организаций. Контакты центра с 29 НИИ МО, ЦНИИГАиК, ИФЗ, Государственным астрономическим институтом РАН, Гос НИИ ГА «Аэропроект», аэрогеодезическими (Московское АГП, Самарское АГП, Верхневолжское АГП, Ростовское АГП, Красноярское АГП,) и землеустроительными предприятиями (Владимирский ГИПРОЗЕМ, ВИСХАГИ) позволяли решать практически любые производственные и научно-исследовательские проблемы.

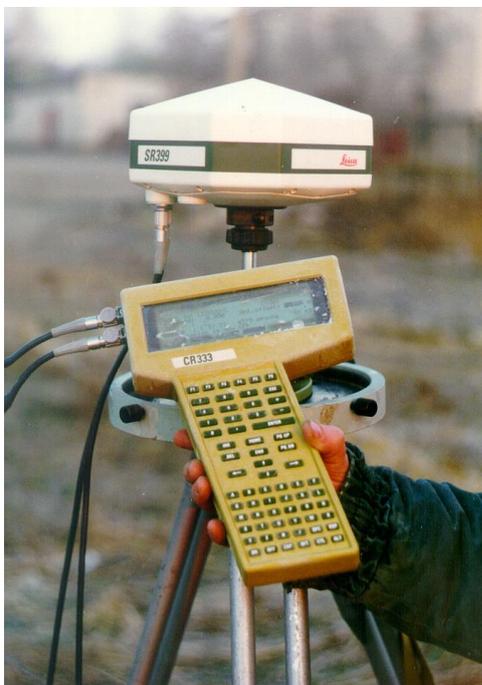
При создании центра в 1992 году его руководителем был назначен Лобазов Виктор Яковлевич – выпускник МИИГАиК 1980 г., до 1989 г. служивший в 29 НИИ МО РФ, с 1989 по 1991 гг. работавший маркшейдером в институте ГИПРОЦВЕТМЕТ.

Учитывая научную направленность работы центра, наряду с руководителем центра, занимающимся производственными вопросами, был назначен научный руководитель Генике Аркадий Александрович, возглавивший научные работы центра. Генике А. А. закончил МЭИС в 1954 г., до 1989 г. работал в ЦНИИГАиК, с 1989 г. работал и преподавал в университете.



Руководство университета, поставив перед собой задачу создать современный научно-производственный центр, решило не только кадровую задачу, собрав в университете ведущих специалистов научного и производственного направления, но и оснастило центр самым современным на тот период спутниковым оборудованием.

В начале 90-х годов на Российском рынке появились и стали внедряться в топографо-геодезическом производстве первые приборы спутниковой системы позиционирования (GPS). Одной из первых моделей аппаратуры GPS на российском рынке была модель Wild GPS System 200 концерна Лейка, Швейцария.



Швейцарский концерн взял на себя полное оснащение создаваемого центра спутниковой аппаратурой и компьютерной техникой. Специалисты концерна провели обучение и постоянно оказывали всевозможную поддержку сотрудникам центра «Геодинамика». Большая помощь в работе была оказана российским представительством концерна – фирмой «ГФК» и ее в первую очередь руководителем Б. Хиллером., также выпускником университета.

Задачи, за решение которых взялся коллектив центра с первых дней его создания, определялись возрастающим интересом геодезических и землеустроительных организаций к переходу на современную технологию, основанную на использовании геодезических спутниковых систем позиционирования, и ограниченностью информации по их реальному применению.

Повышенный интерес к проблеме использования в топографо-геодезическом производстве таких глобальных спутниковых систем позиционирования, как система GPS, был вызван, прежде всего, тем, что применение спутниковых методов в геодезии создает значительный экономический эффект за счет использования принципиально новых подходов к проведению на местности геодезических измерений. При этом исключается необходимость в постройке геодезических наружных знаков, существенно ослабляется зависимость результатов измерений от состояния атмосферы и других нежелательных факторов (пыль, дым, туман и др.), значительно снижающих производительность труда полевых топографо-геодезических партий. Вместе с тем, анализ точностных возможностей спутниковой аппаратуры потребителя, базирующейся на применении фазовых методов измерений, свидетельствуют о том, что потенциальная точность спутниковых измерений существенно выше, чем у традиционных геодезических методов измерений, которые приходится проводить в наиболее изменчивых приземных слоях атмосферы.

Начиная с 1992 года, специалисты центра организовали и провели ряд экспериментальных и производственных работ с этой аппаратурой. Работы предусматривали всесторонние исследования станций Wild System 200 и последующих модификаций – System 300/500 в сочетании с их использованием на производственных

объектах различных организаций, и проведение анализа на основе полученных материалов по следующим направлениям:

- ◆ оценка производственных условий, которые обеспечивают эффективную замену традиционной геодезической технологии на новую, использующую спутниковые геодезические системы позиционирования;
- ◆ оценка эффективности использования систем GPS в различных режимах функционирования для выполнения геодезических, землеустроительных и маркшейдерских работ;
- ◆ соответствие точностных характеристик получаемых конечных результатов (координаты и высоты пунктов) классам точности, принятым в топографо-геодезическом и маркшейдерском производствах.

Учитывая многогранность поставленных вопросов, были выполнены различные по своему характеру работы с использованием систем GPS, включая следующие виды работ:

- ◆ создание каркаса высокоточной государственной геодезической сети страны;
- ◆ создание высокоточных городских геодезических сетей;
- ◆ определение координат пунктов государственной геодезической сети 1-го – 4-го классов;
- ◆ создание уникальных по точностным характеристикам локальных сетей на геодинамических полигонах, промышленных объектах;
- ◆ создание локальных геодезических сетей отраслевого назначения, используемых при организации и проведении землеустроительных работ;
- ◆ определение координат точек съемочного обоснования и опознаков для крупномасштабной аэрофотосъемки;
- ◆ определение координат пунктов опорной геодезической сети карьера, координат буровых скважин для взрывных работ,

профилирование дорожной сети карьера, определение координат пунктов деформационной сети карьера;

- ◆ геодезическое обеспечение безопасности полетов в гражданской авиации.

Кроме производственных задач, имеющих непосредственное практическое значение, проводились комплексные исследования системы и ее точностных характеристик.

Также при проведении производственных и исследовательских работ, наряду с точностными характеристиками системы, оценивались эксплуатационные характеристики, имеющие немаловажное значение при оценке эффективности ее использования в производстве:

- ◆ загруженность станций системы по времени в зависимости от их режимов работы;
- ◆ общее время выполнения работ и загруженность автотранспорта по времени;
- ◆ продолжительность непрерывной работы системы в течение рабочего дня и оценка факторов, определяющих время непрерывной работы;
- ◆ организация связи между станциями;
- ◆ состав и квалификация обслуживающего персонала;
- ◆ надежность системы, влияние на ее работу внешних факторов.

Из общего многообразия исследовательских, научных и производственных работ, проведенных центром, целесообразно остановиться на наиболее интересных, которые отражают новизну решения проблемы, ее актуальность или нетрадиционный подход к применению спутниковых технологий.

РАБОТЫ ПО СОЗДАНИЮ КАРКАСА ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ СТРАНЫ

К одной из первостепенных задач, вошедших в сферу деятельности специалистов центра «Геодинамика», следует отнести, прежде всего, участие в проведении комплекса мероприятий по построению в нашей стране новой государственной геодезической сети России на базе современных спутниковых технологий. При разработке таких основополагающих директивных документов, как «Концепция перехода топографо-геодезического производства на автономные методы координатных спутниковых определений» и «Основные положения о государственной геодезической сети России», в составлении которых принимали участие сотрудники центра, должное внимание было уделено не только общим принципам построения упомянутых сетей на современном техническом уровне, но и обоснованию основополагающих методов спутниковых наблюдений на пунктах создаваемой сети и обработки получаемых при этом результатов наблюдений.

В процессе практической реализации, связанной с построением фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) и высокоточной геодезической сети (ВГС) коллектив сотрудников НИЦ «Геодинамика» принял участие в проведении полевых геодезических работ программы 2003 года и в обработке материалов полевых наблюдений этого года.

МИИГАиК выступил ответственным предприятием в бригаде 5-го маршрута, предоставив наблюдателя и двухчастотный приемник GPS для наблюдений на пунктах ВГС. Работы были начаты на пункте Курган 9 июля.



Работа проводилась совместно со специалистами АГП Уралаэрогеодезия, которое предоставило двух помощников и GPS приемник для привязки к пункту ВГС пунктов ГГС и ГВО, а также обеспечило транспортом и необходимым оборудованием для работы бригаду на всех четырех пунктах ВГС.

Маршрут работы бригады №5

<i>Пункт ВГС</i>	<i>Время наблюдений</i>
<i>1. Курган</i>	<i>с 10.07 по 17.07</i>
<i>2. Красноуфимск</i>	<i>с 20.07 по 25.07</i>
<i>3. Агрыз</i>	<i>с 28.07 по 03.08</i>
<i>4. Яранск</i>	<i>с 6.08 по 9.08</i>

Многосуточные наблюдения на пунктах были выполнены практически без сбоев. Данные измерения производились одновременно с измерениями 22 бригад, работавших от Дальнего Востока до Урала.

Не менее важным элементом работы по созданию сети ВГС являлся этап обработки данных.

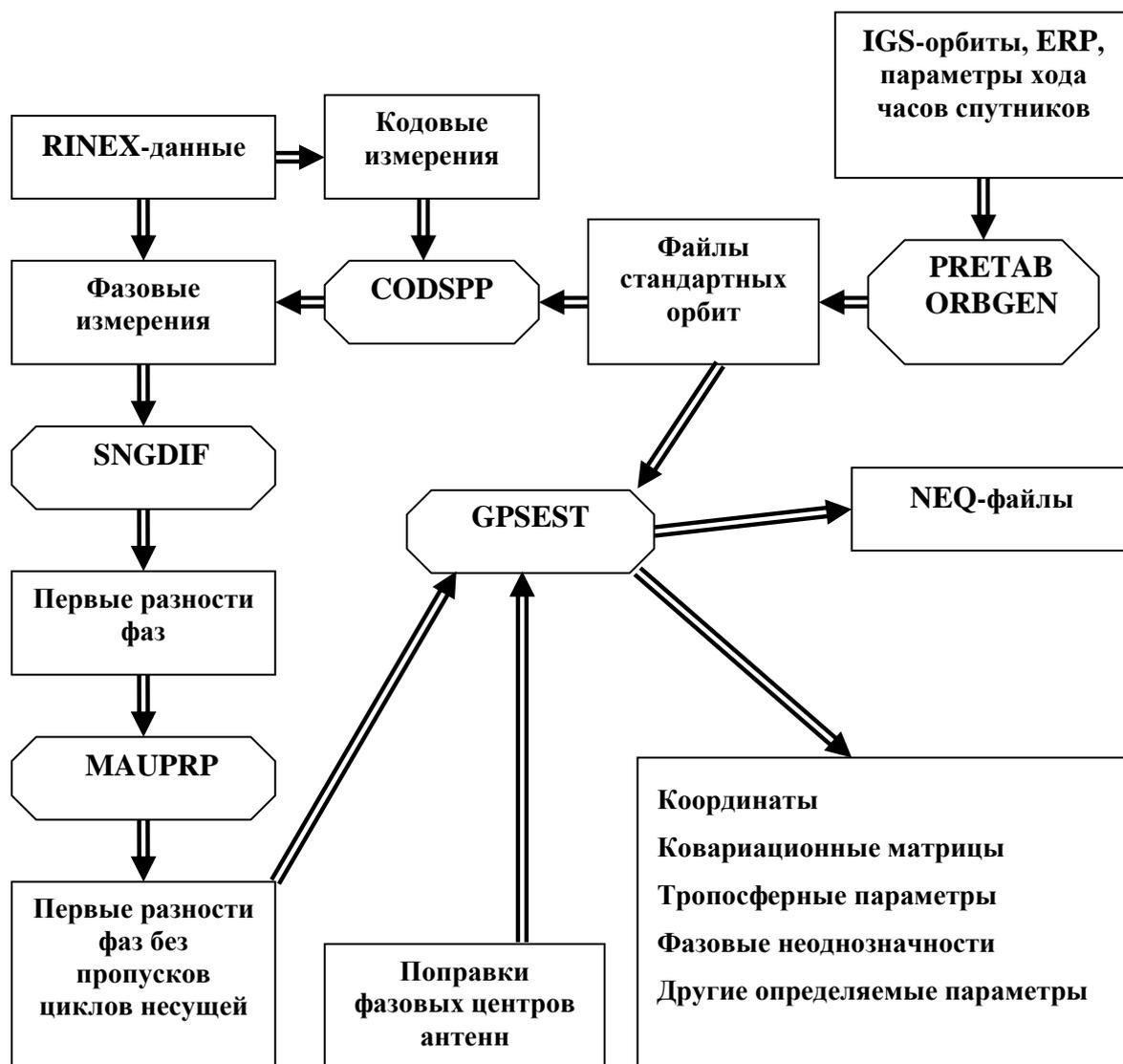
В середине 90-х годов по договоренности с концерном Leica и Бернским университетом в центр «Геодинамика» была поставлена профессиональная программа обработки спутниковых данных BERNESE, на базе которой произведена основная обработка мировой геодезической сети.

Учитывая, что в России опыта обработки таких крупных геодезических построений, выполненных с использованием спутниковых технологий, никто не имел, в порядке эксперимента часть данных по одному из фрагментов сети ВГС была передана для обработки в центр «Геодинамика». При обработке фрагмента сети, имеющего протяженность более двух тысяч километров и включающего в себя 30 пунктов, специалистами центра были опробованы два различных метода обработки сети: лучевой и сетевой.

При лучевом методе координаты каждого пункта сети ВГС определялись непосредственно от пунктов международной сети без учета связей с другими пунктами российской сети. В качестве исходных принимались пункты IGS, имеющие координаты в системе ITRF97.

При сетевом методе обработки в уравнивание принимались и учитывались связи между пунктами внутри обрабатываемого фрагмента.

Технологию обработки материалов спутниковых наблюдений, не вдаваясь в расшифровку отдельных процедур можно представить в виде блок-схемы, где на каждом этапе обработки от исполнителя требуется принятие грамотного обоснованного решения.



Данная работа была выполнена специалистами центра Юдиным А.П. и Юзефовичем П.А. при научном руководстве Генике А.А.



СОЗДАНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ГОРОДСКИХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Наряду с участием в построении современных государственных опорных геодезических сетей, одними из первых экспериментальных работ, проведенных в центре «Геодинамика», были работы по созданию городских геодезических сетей.

Первым городом, в котором были выполнены работы по реконструкции геодезической сети, явился **Каунас**. Тесные контакты специалистов университета со специалистами Литвы – Кузмицкас А. (Каунасский ТИСИЗ, директор) и Тамутис З. (Каунасский технический университет, профессор) позволили провести первые экспериментальные измерения. Особенностью данной работы, подчеркивающей ее пионерское значение, явилось то, что впервые специалистами НИЦ «Геодинамика» для проведения работы были собраны все спутниковые приемники концерна Leica, находящиеся в России, – всего 6 станций.

При проектировании и создании реконструированной сети Каунаса были впервые обозначены ключевые моменты построения городских геодезических сетей с использованием спутниковых технологий, которые впоследствии учитывались при проведении других работ:

- ◆ сеть должна максимально отвечать задачам, стоящим перед службами города, по точности, достоверности, оперативности обновления информации;
- ◆ полученная в ходе работ по реконструкции сети геодезическая информация должна стать метрологической основой единой геоинформационной системой г. Каунаса;
- ◆ геодезическая информация должна быть совместима с геодезическими, фотограмметрическими, картографическими и

другими данными, полученными ранее и собираемыми для создания геоинформационной системы города;

- ◆ поверхность относимости должна обеспечивать максимальное соответствие картографической информации об объектах, в первую очередь размеров и взаимного положения, их действительному состоянию;
- ◆ выбор поверхности относимости должен отвечать интересам большинства организаций, являющихся пользователями геодезических и картографических данных, и быть ориентированным на решение насущных проблем города, в первую очередь проблем, связанных с городским кадастром, экологией, жилищным, промышленным и транспортным строительством;
- ◆ при обработке сети наряду с материалами спутниковых наблюдений должны рационально использоваться материалы ранее выполненных высокоточных геодезических работ, в том числе проведенных по традиционной геодезической технологии;
- ◆ при создании сети должны быть максимально использованы ранее заложенные и сохранившиеся пункты существующих городской и ведомственной сетей;
- ◆ сеть города Каунаса должна иметь связь с региональными сетями и государственной геодезической сетью страны.

С учетом вышеизложенного реконструкция сети Каунаса проводилась в следующей последовательности:

1. Три пункта городской сети были привязаны к трем пунктами новой исходной геодезической сети страны (Meskonsis, Dainavele и Saseliai).
2. Далее была выполнена привязка этих пунктов к сохранившимся пунктам старой ГГС 1942 года (Piluona, Stumbriske и Singaliai).

3. После чего, с опорой на эти три пункта, были выполнены определения координат 24 пунктов городской геодезической сети.
4. Окончательные значения координат городской геодезической сети были вычислены как в старой системе координат, так и в новой, что обеспечило преемственность геодезических и картографических данных.

Работы по определению координат пунктов геодезической сети г. Каунаса были проведены за три дня: с 26 по 28 июля 1993 г. Время наблюдений составляло на пунктах опорных государственных геодезических сетей – до 4 часов при длинах линий до 50 км; и на пунктах городской геодезической сети – по 1 часу при длинах линий до 10 км. Все измерения производились синхронно.

Многие проблемные вопросы, которые были выявлены по результатам измерений и, не в последнюю очередь, по результатам обработки материалов в г. Каунас, были учтены при последующих работах по созданию городских геодезических сетей (Челябинск, Иваново, Н. Новгород, Владимир).

При построении сети города **Владимир**, были максимально учтены преимущества спутниковой технологии, обеспечивающие решение задач, стоящих перед различными службами города. Эту сеть можно по праву отнести к образцовой геодезической сети для небольшого города

Реконструкция городской геодезической сети г. Владимира с помощью высокоточных спутниковых измерений выполнена при участии специалистов НИЦ «Геодинамика» МИИГАиК, Верхневолжского АГП и Владимирского Горкомзема в период с 29.09.97 г. по 05.10.1997 г. Работой – полевой подготовкой, измерениями и обработкой руководил Власов С.С.



Ранее геодезическая сеть г. Владимира, объединяющая триангуляционные и полигонометрические построения разных лет, выполненные различными ведомствами по разным нормативным документам, не удовлетворяла по точности современным и перспективным направлениям развития инфраструктуры города.

Целью выполненных работ было создание высокоточной опорной геодезической сети г. Владимира для обеспечения однородной геодезической основой городского кадастра с точностью взаимного положения пунктов порядка 1-2 см на расстояниях 3-5 км и упорядочения связей между существующими геодезическими сетями (системами координат) на уровне города и района.

За период с июля по сентябрь 1997 г., специалистами НИЦ «Геодинамика» МИИГАиК и Владимирского Горкомзема была проведена работа по подготовке объекта к полевым работам. В общей

сложности отрекогносцировано и обследовано более 50 пунктов геодезической сети г. Владимира и области.

Полевые работы по созданию опорной геодезической сети г. Владимира выполнялись с использованием трех приемников SR 399 и пяти приемников SR 299 (двухчастотные, девятиканальные приемники) спутниковой системы WILD GPS SYSTEM 200/300 (Leica, Швейцария). Средняя квадратическая ошибка измерения базисной линии в режиме Static для данных приемников составляет $5 \text{ мм} + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D$, где D – длина базисной линии.

Полевая предварительная обработка результатов спутниковых измерений проведена с помощью пакета программ SKI фирмы Leica. При окончательной обработке материалов использованы программы обработки спутниковых измерений BERNESE и SKI.

Программа построения сети состояла из 2-х этапов:

1. Создание каркаса, включающего пункты 1, 2 классов и наиболее надежные с точки зрения GPS-измерений и конфигурации объекта пункты городской сети.
2. Последовательное заполнение сети синхронными измерениями по секциям.

В течение полевых работ за 6 рабочих дней проведен 21 сеанс спутниковых измерений восемью GPS-станциями:

- ◆ 1-й сеанс продолжительностью 9 часов для создания и привязки каркасной сети к системе EUREF (4 станции на пунктах каркаса); в течение данного сеанса остальные 4 станции осуществляли наращивание каркасной сети
- ◆ два синхронных сеанса по 4 часа:
 - привязка пунктов 2 класса;
 - привязка городских и прилегающих к городу пунктов отвечающих требованиям конфигурации сети и GPS-измерений (без помех);

- ◆ 18 сеансов по 2 часа на пунктах опорной геодезической сети.

Учитывая достаточно высокую плотность проектируемой сети и то обстоятельство, что средние длины измеряемых сторон в заполняющих треугольниках составляли менее 5 – 10 км, была принята двухчасовая продолжительность сеансов синхронных измерений в секциях.

Заполнение опорной сети осуществлялось последовательными сеансами измерений по площади объекта с использованием восьми GPS-станций. В каждом сеансе образовывалась центральная система (секция) с захватом пунктов смежных секций (3-4 пункта) и пунктов каркаса, при этом в каждой секции выполнялись двойные измерения по 2 часа с переустановкой антенны (изменение высоты прибора, повторное центрирование), что обеспечивало контроль и независимые измерения лучевых и замыкающих сторон треугольников. В течение рабочего дня измерения выполнялись на двух секциях последовательно, то есть, после четырех часов работы (2 двухчасовых сеанса) на одной секции, часть станций, согласно расписанию, перемещалась на смежную. По мере последовательного заполнения сети выполнялась повторная установка станций на пункты каркасной сети, что давало избыточные измерения и дополнительный контроль.

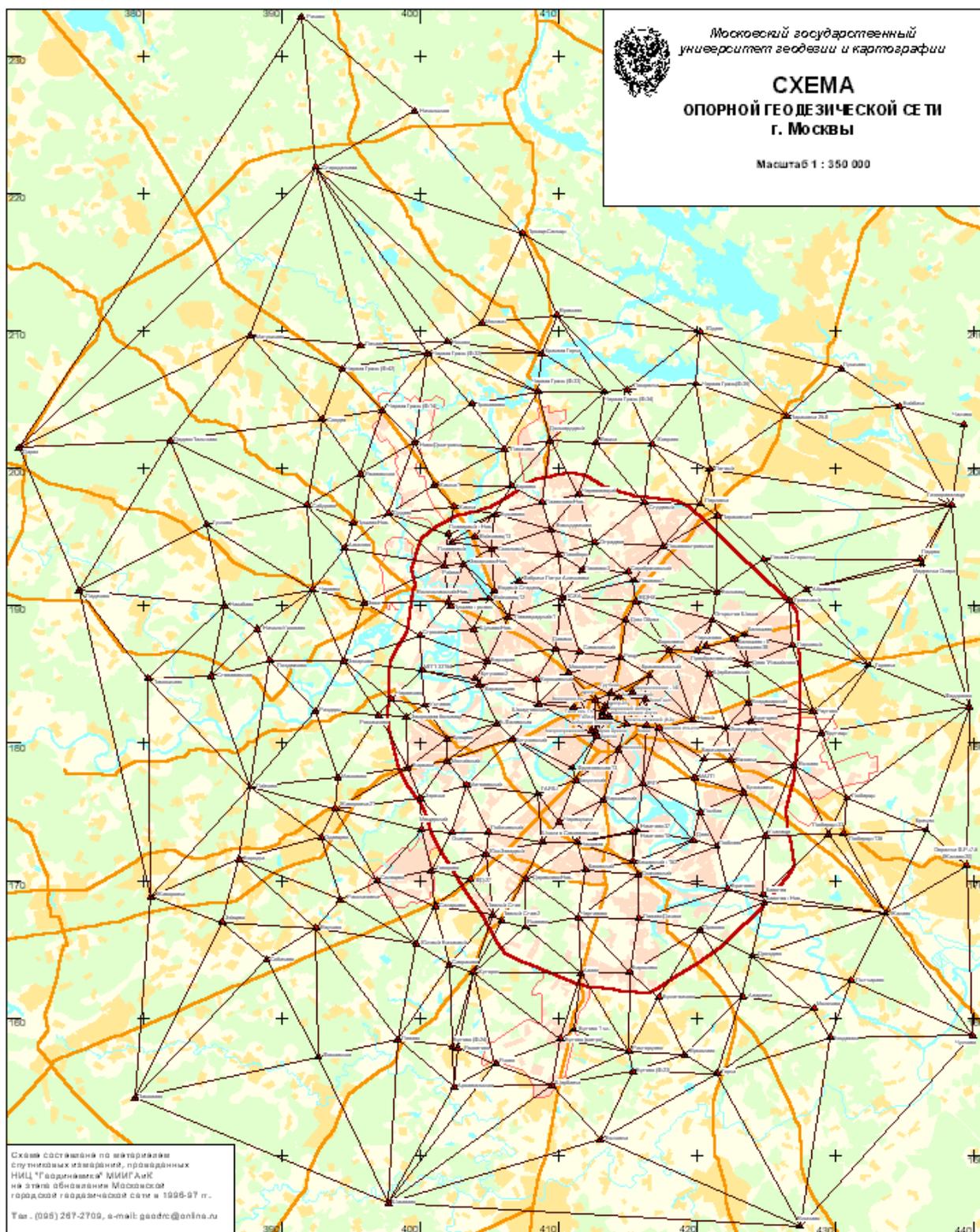
- ◆ средняя квадратическая ошибка одной базисной линии:
 $m_s = 0.006$ м.
- ◆ средняя квадратическая ошибка уравнированного (в данном случае среднего из двух) значения базисной линии: $M_s = 0.0042$ м.
- ◆ относительная ошибка измеренной базисной линии:
 $m_s/S_{cp} = 1/950\ 000$.
- ◆ относительная ошибка уравнированного значения базисной линии:
 $M_s/S_{cp} = 1/1\ 350\ 000$.

Средние расхождения по абсолютным значениям разностей приращений координат WGS-84 составили:

- ◆ по оси X – 6 мм,
- ◆ по оси Y – 6 мм,
- ◆ по оси Z – 10 мм,
- ◆ для измеренных сторон – 6 мм.

Используя полученный опыт в построении городских геодезических сетей, специалисты НИЦ «Геодинамика» совместно с учеными кафедры высшей геодезии по заданию Правительства Москвы выступили в качестве основных исполнителей при создании опорной геодезической сети **г. Москвы**.

При организации и проведении работ была учтена специфика применения спутниковых измерений в городских условиях, проявляющаяся как в выборе мест расположения пунктов (в основном на крышах зданий), так и учете влияния различных источников ошибок, а также повышенного уровня радиопомех, характерных для крупных городов.



Развитая коллективом сотрудников МИИГАиК сеть охватывает не только территорию города, но и прилегающие к нему регионы. На площади 50 x 50 км было размещено более 220 пунктов.

В процессе выполнения полевых работ было использовано 22 станции, в том числе 6 станций МИИГАиК. Для участия в работах кафедра высшей геодезии привлекла 2 группы студентов, заменив им практику по высшей геодезии на геодезическом полигоне. Многие организации также оказали помощь, предоставив спутниковую аппаратуру и специалистов. Всего в проведении работ участвовало одновременно более 50 человек. Достаточно высокий уровень проводимой работы потребовал от всех специалистов центра максимальной собранности. Руководство университета уделяло данной работе постоянное внимание и оказывало помощь. Общее руководство работой осуществлял ректор университета профессор Савиных В.П.; производственными работами руководил Лобазов В.Я.; оперативным решением научных вопросов, включая выбор стратегии измерений, занимались Генике А.А. и заведующий кафедрой высшей геодезии Карпушин Ю.Г.; текущей организацией, планированием и проведением полевых наблюдений – Рыхальский Ю.К.; сбором информации и предварительной ее обработкой – Мещеряков А.М.; оформлением материалов (абрисы, описания пунктов, создание цифровой модели) занималась группа под руководством Ковровой М.Г.





Измерения на пунктах сети производились синхронно, что позволило получить большое количество избыточных измерений, способствующих повышению точности и надежности координатных определений. Все полевые измерения были выполнены в течение двух месяцев.

Последующая обработка результатов наблюдений позволила сделать объективные выводы о том, что относительная точность координатных определений для созданной сети, как в плане, так и по высоте оценивается на уровне лучше, чем одна миллионная.

Основные характерные особенности сети

- ◆ опорная геодезическая сеть города включает 222 пункта:
 - 3 исходных пункта – МИИГАиК, Менделеево, Звенигород



- 36 пунктов геодинамической сети;
- 183 пункта – рядовые пункты.
- ◆ В процессе наблюдений участвовало до 22 станции GPS.
- ◆ Выполнено 36 сеансов наблюдений.
- ◆ Продолжительность сеансов 6 часов.
- ◆ Связей между пунктами не менее 12.
- ◆ Повторные наблюдения выполнены на 67 пунктах.

- ◆ Относительная погрешность измерений по повторным наблюдениям линий составила 1 : 4 700 000.
- ◆ Погрешность взаимного положения пунктов сети, полученная по результатам уравнивания сети в системе координат WGS 84 составила 6 мм.

Учитывая уникальность стоящей перед учеными задачи, обработку сети, включая уравнивание, производили различными методами специалисты разных организаций – Максимов В.Г. (29 НИИ МО), Ефимов Г.Н. (МАГП), Мещеряков А.М. и Карпушин Ю.Г. (МИИГАиК).

Результаты работы были высоко оценены Правительством Москвы и геодезической общественностью: Лауреатами высшей геодезической награды – премии имени Ф.Н. Красовского стали четыре сотрудника университета: Савиных В.П., Ямбаев Х.К., Карпушин Ю.Г. и Лобазов В.Я.

Наряду с опорной геодезической сетью на территории Москвы и в прилегающих к ней регионах по инициативе ученых университета была создана геодинамическая сеть, предназначенная для отслеживания деформационных процессов на территории московского региона.

Построению геодинамической сети г. Москвы, пункты которой должны были обоснованно отражать происходящие деформации поверхности изучаемого региона, предшествовали достаточно детальные геологические и геоморфологические исследования, позволившие идентифицировать зоны трещиноватости и флексурно-разрывные зоны. С учетом расположения этих зон была спроектирована геодинамическая сеть.

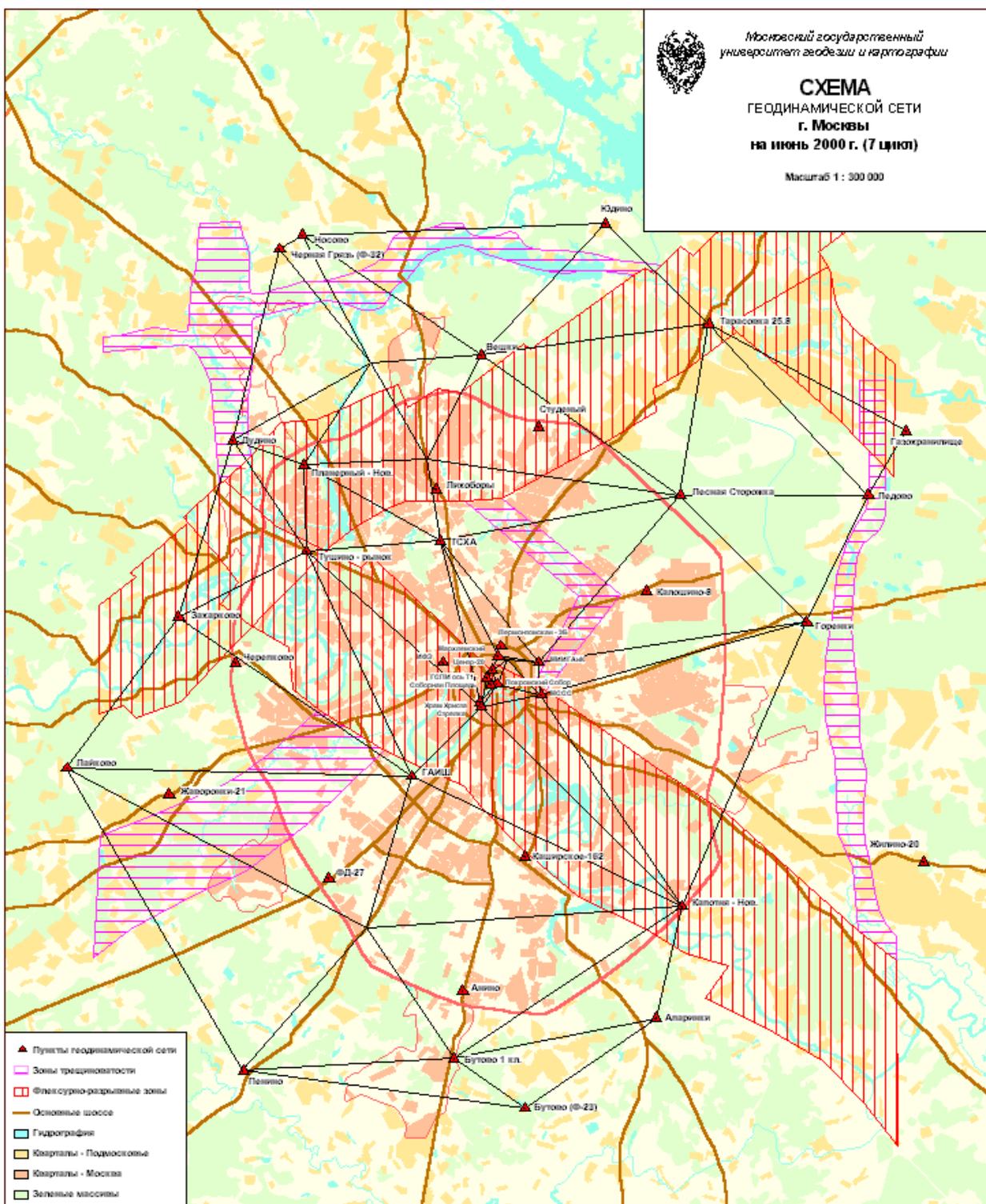
Сеть охватывает площадь около 2 000 кв. км и включает в себя около 40 пунктов. С целью выявления активности отдельных участков геологической среды выбранные пункты сети были приурочены к

различным структурным зонам. При этом в сеть были включены целый ряд пунктов, достаточно удаленных от зон активного техногенного воздействия на среду. Такой подход позволил более объективно оценить значения возникающих деформаций. Повышенное внимание было уделено центральной части города, подземная часть которой подвержена повышенным антропогенным воздействиям. В этом регионе была увеличена плотность геодинимической сети, и был произведен более тщательный выбор мест расположения пунктов сети.

Высокая потенциальная точность современных спутниковых методов координатных определений создали все предпосылки для организации высокоэффективного геодинимического мониторинга, позволяющего охватывать территории самых различных размеров.

Вместе с тем, для реализации повышенного уровня точности, характерного для геодинимических сетей, были предусмотрены двукратные наблюдения, относящиеся к различным суткам, а также сеансы наблюдений повышенной протяженности. Центрировка устанавливаемой на пунктах аппаратуры осуществлялась с максимальной тщательностью. Кроме того, была доработана методика обработки результатов измерений с тем, чтобы имелась возможность обоснованного отделения показателей, характеризующих смещение каждого конкретного пункта сети, от собственных спутниковым наблюдениям ошибок измерений.

По завершении полевых работ каждого цикла наблюдений специалистами производилась обработка полученных результатов, позволяющая судить о смещениях пунктов сети как в горизонтальной плоскости, так и по вертикали за период наблюдений.



Обобщенный предварительный анализ результатов проведенных полевых спутниковых измерений свидетельствует о том, что смещения пунктов в горизонтальной плоскости носили достаточно случайный характер и оценивались, в большинстве случаев,

величинами на уровне нескольких миллиметров. Лишь на отдельных пунктах упомянутые смещения лежали в диапазоне от 10 до 27 мм.

Более интересная картина вырисовалась для вертикальных деформаций. Нетрудно было установить повышенный уровень таких деформаций и определенную региональную закономерность, проявляющуюся через расположение оседаний и поднятий отдельных пунктов. Особое внимание при этом было уделено участку, охватывающему центральную часть города, где были зарегистрированы оседания на уровне единиц сантиметров.

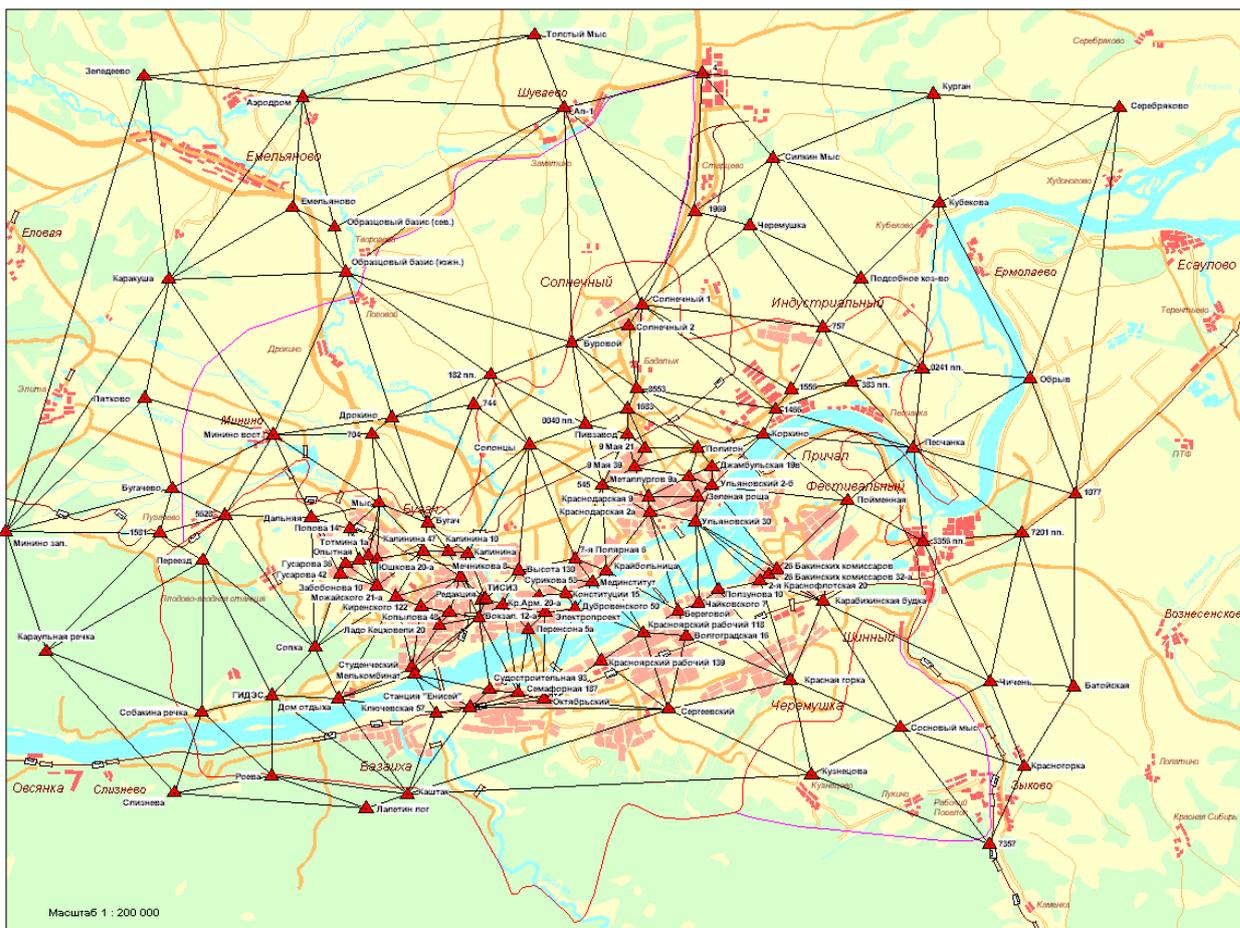
Причинами опускания земной поверхности могли являться изменение уровня подземных вод и образование региональных депрессионных воронок, огромное давление на грунт, оказываемое находящимися на территории Москвы 39 000 жилых зданий и 2 800 промышленных объектов, а также особенности современного тектонического процесса, характерного для данного региона.

Первые три года (1996 – 1998 гг.) наблюдения на пунктах геодинимической сети города производились два раза в год, с 1999 года – один раз в год. Такая периодичность наблюдений, как показали результаты наблюдений, достаточна для геодинимической оценки деформационных процессов, протекающих в регионе.

Полученный опыт создания городских геодинимических сетей был многократно использован при создании опорных и городских геодинимических сетей в других городах России.

Так одним из наиболее удачных проектов центра «Геодинимика», в котором был обобщен весь предыдущий опыт построения городских сетей, явилась опорная городская и геодинимическая сеть г. **Красноярск**.

Схема городской геодезической сети г. Красноярска



Согласно Техническому заданию, в Красноярске предусматривалось создание обновленной городской геодезической сети, которая по всем основным техническим характеристикам должна была отвечать требованиям заинтересованных организаций, обеспечивающих эксплуатацию и дальнейшее развитие всего городского хозяйства. Кроме того, такая сеть должна была органически вписываться в государственную опорную геодезическую сеть, которая создается в настоящее время современными спутниковыми методами. Наряду с этим учитывался и тот факт, что г. Красноярск расположен в регионе с повышенной сейсмической активностью. Возникающие за счет сейсмических и техногенных воздействий деформации земной поверхности могли быть причиной серьезных разрушений различных городских объектов. С учетом этого реконструируемая сеть должна была быть адаптирована к созданию на её основе высокоточного геодезического мониторинга,

позволяющего отслеживать возникающие деформации приповерхностных геологических структур.

Перечисленные выше требования нашли своё отражение в Концепции, и Техническом проекте реконструкции ГГСК. Эти требования приняты в качестве отправных при разработке общей принципиальной схемы ГГСК, выполнении предсъёмочных работ, организации и проведении полевых спутниковых наблюдений, обработке и анализе результатов измерений, а также при формировании современной базы данных.

СОЗДАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Накопленный в процессе создания Московской и Красноярской геодинимической сети опыт был использован для создания локальных геодинимических полигонов в зонах расположения крупных природных и искусственных инженерных объектов. Необходимость достаточно глубокого понимания процессов воздействия техногенных факторов на геолого-геоморфологическую обстановку объекта требует организации и проведения периодических натурных наблюдений, включая сбор и обработку данных, их анализ и интерпретацию получаемых материалов. В результате этого можно создать адекватную деформационную модель приповерхностных слоев и своевременно разработать мероприятия по защите объектов и сооружений.

Учитывая актуальность проводимых в рассматриваемой области исследований, университету в конце 90-х годов было поручено начать систематические наблюдения по изучению деформаций участка земной поверхности и памятников архитектуры на территории Московского Кремля.

Московский государственный университет геодезии и картографии заключил договор с Дирекцией Государственного

историко-культурного музея заповедника «Московский Кремль» в рамках которого специалисты центра «Геодинамика» начали выполнять наблюдения за осадками фундаментов исторических зданий и сооружений Московского Кремля.

Работы включали:

- ◆ высокоточную нивелировку деформационных марок, заложенных на внутренних и внешних стенах памятников архитектуры Московского Кремля;
- ◆ высокоточные угловые наблюдения наклона колокольни Ивана Великого;
- ◆ обобщение данных и статистический анализ по материалам нивелировок памятников.

Первые работы по наблюдению за деформациями памятников архитектуры Московского Кремля были начаты в середине 30-х годов с целью изучения деформаций оснований памятников, сбора и обобщения материалов для прогноза развития деформационных процессов и разработки мероприятий по сохранению уникальных сооружений Московского Кремля.

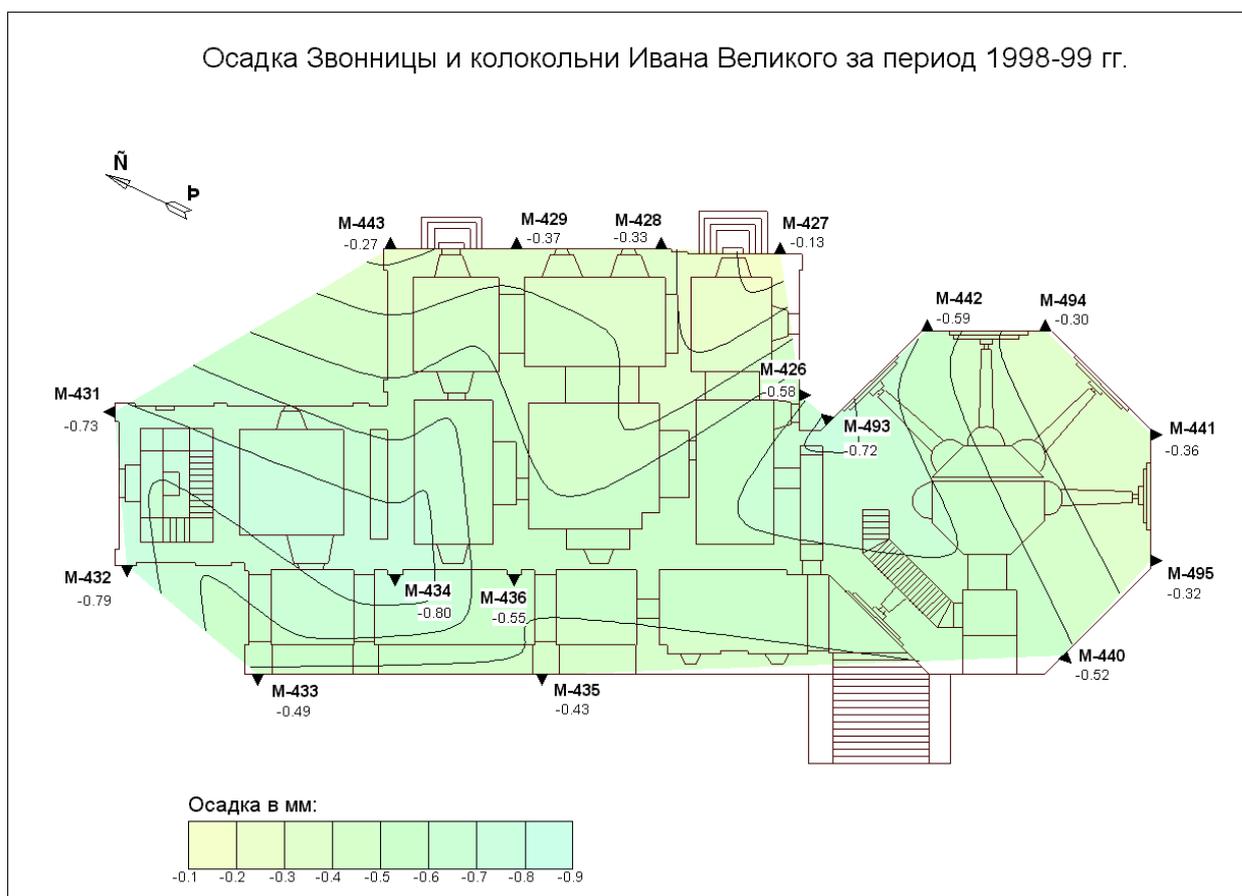
За истекшее время был накоплен достаточно большой статистический материал по деформационным процессам объектов. Но за прошедшие более чем шестьдесят лет, к сожалению, организации-исполнители неоднократно менялись, изменялась схема закладки деформационных марок, технология и точность наблюдений, по отдельным сооружениям проводились реставрационные работы и работы по укреплению фундаментов, в ходе которых часть марок утрачивалась и на их место или рядом закладывались новые. Поэтому было достаточно трудно построить объективную картину развития деформационных процессов по всем памятникам Кремля. Сбор данных по различным источникам продолжался более года, поэтому

удалось представить многие фрагменты того как «живут» памятники Московского Кремля.

На примере анализа осадок деформационных марок ряда памятников, по которым удалось собрать наиболее полную информацию, была сделана попытка построения общей картины деформаций за достаточно продолжительный период времени. В качестве примера можно продемонстрировать развитие деформационных процессов за один из десятилетних периодов по Звоннице и Колокольне Ивана Великого, по которым были собраны наиболее полные данные.

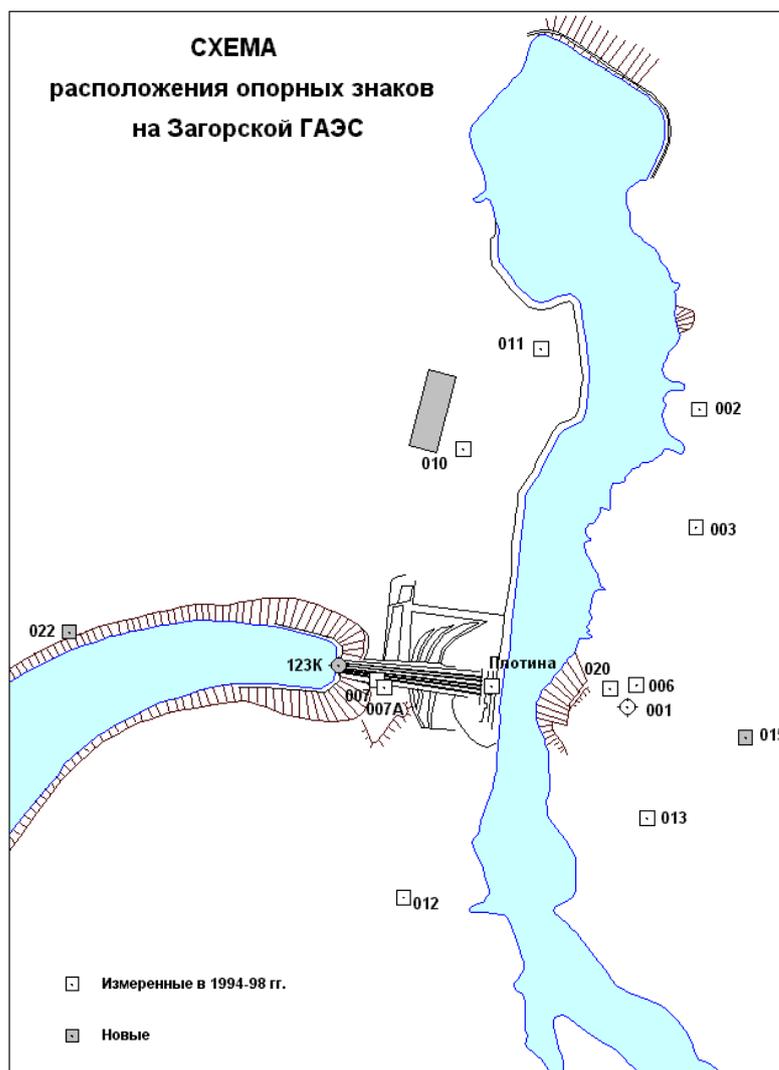
Интерес в проведении данной работы заключался и в том, что, наряду с анализом геоданных, предстояло изучить геологическое строение региона и технологию строительства, которой пользовались наши предшественники. Полученные результаты работы были представлены в Дирекцию музея для организации и проведения ремонтных работ памятников.





Более 10 лет специалисты центра «Геодинамика» ведут спутниковые наблюдения за развитием деформационных процессов на **Загорской гидроаккумулирующей электростанции**, для создания которой понадобилась реализация двух искусственных бассейнов с перепадом высот более 100 м. Бассейны соединены между собой шестью (до 2001 года пятью, см. фото) крупногабаритными трубопроводами. Уровень воды в бассейнах за счет закачки и сброса воды меняется ежедневно на 9 м, что обуславливает существенную переменную во времени динамическую нагрузку на поверхностные геологические структуры. В процессе сооружения и эксплуатации данной электростанции было зафиксировано несколько опасных оползневых проявлений, что вызвало необходимость в организации постоянного отслеживания деформаций земной поверхности. В зоне расположения этого

гидроузла был создан геодинамический полигон, включающий 5 опорных и около 30 рабочих пунктов.



Спутниковые координатные определения на такой сети производятся по специальной программе два раза в год при различных климатических условиях (весенне-летних и осенне-зимних). Достигнутый миллиметровый уровень точности позволяет достаточно надежно отслеживать изучаемые смещения.

При дальнейшем проведении исследований на геодинамическом полигоне Загорской ГАЭС планируется организация комплексных исследований, включающих в себя как спутниковые координатные определения, так и результаты гидрологических и геофизических исследований.



Большой комплексной работой явилась для специалистов МИИГАиК и центра «Геодинамика» работа по подготовке проекта создания Самотлорского геодинамического полигона. Крупнейшее месторождение в России требовало серьезной реконструкции. Предстоящая кардинальная реконструкция Самотлорского нефтедобывающего комплекса, а также актуальность и практическая значимость данной проблемы для других месторождений России, подчеркнули целесообразность и своевременность решения вопроса о необходимости комплексного изучения современных природно-техногенных геодинамических процессов на территории Самотлорского нефтяного месторождения путем создания геодинамического полигона и проведения на нем комплексного геодинамического мониторинга.

Эти мероприятия явились составной частью мероприятий по контролю и управлению за разработкой месторождения с целью

обеспечения промышленной и экологической безопасности систем и объектов ОАО «Самотлорнефтегаз» и «Черногорнефть».

Инициаторами работы по комплексному геодинамическому мониторингу Самотлорского месторождения выступили главный маркшейдер месторождения Клесов А.И. и профессор Ямбаев Х.К. Руководителем работы по разработке технологии мониторинга был назначен Лобазов В.Я.

Создание эффективной технологии мониторинга природно-техногенных геодинамических процессов и разработка научно-методических принципов оценки геодинамического риска должны были обеспечить защищенность природно-технических систем ОАО «Самотлорнефтегаз» и ОАО «Черногорнефть» от возможного воздействия геодинамических процессов природно-техногенного генезиса на период разработки Самотлорского нефтяного месторождения.



Актуальность проблемы для Самотлорского нефтяного месторождения усиливалась его уникальностью, а именно: размерами, значительным углеводородным потенциалом, сложным внутренним строением и значительным периодом его эксплуатации и объемами извлеченного сырья. Прогнозные оценки уровня и масштаба природно-техногенных процессов, которые могли сопровождать дальнейшую длительную эксплуатацию Самотлорского нефтяного месторождения, и вероятных негативных последствий могли быть получены только при наличии надежной информации о современной геодинамической обстановке в районе нефтедобывающего комплекса.

Исходя из вышеизложенного и имея в виду дальнейший период эксплуатации Самотлорского нефтяного месторождения, первоочередными мероприятиями Технического проектирования явились:

1. Создание Самотлорского комплексного геодинамического полигона и организация работ по мониторингу современных деформационных процессов природного и техногенного происхождения.
2. Установление роли геодинамического фактора как одной из причин аварийности скважин.
3. Разработка системы оценок риска (прогнозирования) возможных аварий, связанных с геодинамическим фактором.
4. Оценка возможностей разработки превентивных мер и рекомендаций по предотвращению аварий скважин.

СХЕМА ПЛАНОВОЙ СЕТИ

ОБЪЕКТ: САМОТЛОРСКИЙ ТЕХНОГЕННЫЙ ПОЛИГОН

- Исходный пункт триангуляции 2 класса
- ▲ Пункт триангуляции 3 класса
- ▲ Пункт, определяемый GPS-аппаратурой
- Пункт, совмещенный с пунктом полигонометрии
- Пункт, совмещенный с грунтовым репером
- Базисная сторона, по которой выполнялись GPS-измерения



После проведения всестороннего изучения материалов по месторождению и его обследования для организации мониторинга учеными университета и центра «Геодинамика» (Лобазов В.Я., Генике А.А., Ямбаев Х.К., Федосеев Ю.Г., Зверев А.Т., Юзефович А.П., Миронов А.С. и др.) были предложены к реализации следующие методы:

- ◆ Исходная информация о современной деформационной ситуации должна быть получена из повторных спутниковых наблюдений с использованием GPS-приемников.
- ◆ Одновременно со спутниковыми деформационными наблюдениями на территории месторождения закладывается две региональные линии повторного нивелирования для изучения современных вертикальных движений земной поверхности. Проектируемые линии совмещаются с GPS-пунктами и сторонами между ними.
- ◆ Рядом с нивелирными пунктами заложены долговременные гравиметрические пункты для проведения повторных высокоточных гравиметрических наблюдений и изучения вариаций силы тяжести.
- ◆ Проводятся определения пространственно-временных вариаций скоростей сейсмических волн, а также пространственно-временных изменений локального геомагнитного поля.
- ◆ Выполняются повторные гелиометрические наблюдения, которые являются достаточно эффективным площадным методом выявления и трассирования активных разломов.

Предложенный университетом Технический проект прошел экспертизу в Исполнительной дирекции службы геодинамических наблюдений Минтопэнерго России и Институте геологии и разработки горючих ископаемых (ИГиРГИ) Минтопэнерго РФ и РАН и

был рекомендован для практической реализации на Самотлорском месторождении и других нефтяных и газовых месторождениях России.

Уникальность проведенной работы заключалась в комплексном объединении самых современных технологий, применяемых в геодезии, геологии, геофизике и ряде других смежных направлениях.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

В 90-ые годы одними из самых активных потребителей геодезической информации стали землеустроительные и кадастровые организации России.

Начавшиеся в 90-х гг. XX в. социально-экономические и земельные преобразования в России выявили серьезные пробелы в теории и методах ведения земельного кадастра и затронули проблему распределения и использования земельных ресурсов страны, которые ранее были монопольной собственностью государства.

Осуществление земельной реформы (со всеми необходимыми элементами ее обеспечения, включая инвентаризацию и межевание земель, создание систем государственного земельного кадастра, регистрации прав, оценки земель и пр.) обеспечивало увеличение социального, инвестиционного, налогового потенциала земли и превращению ее в мощный самостоятельный фактор экономического роста регионов и страны в целом.

Для того чтобы экономическо-географическая, социальная, правовая и другая необходимая информация отвечала поставленным задачам, она должна иметь хорошую метрологическую основу, состоящую из обновляемой, высокоточной, представленной в современном цифровом виде топографо-геодезической и картографической информации, объединенной в единую

геоинформационную систему, которая имеет связь с экономическими, правовыми, социальными, техническими и другими данными.

Внедрение новых современных технологий сбора геоданных, таких как спутниковые системы позиционирования и электронные тахеометры, и систем регистрации и анализа данных, их графического представления, обобщения графической и семантической информации на основе геоинформационных систем, совмещенных с базами данных, обеспечивали существенное ускорение процессов учета и регистрации земель. Но в основе проводимых работ должен стоять строгий научно-обоснованный системный подход. Только реальная, а не декларируемая, связь науки с производством могла обеспечить оперативное решение задач, стоящих перед землеустроительными службами.

В 1994 году МИИГАиК на совещании руководителей Комитетов по земельным ресурсам и землеустройству Центрального региона в Суздале представил свою программу участия университета в организации и проведении землеустроительных работ, которая была ориентирована на решение проблем регионального уровня и включала следующие моменты:



- ◆ Создание единой координатной землеустроительной основы на территорию региона.
- ◆ Проведение на территории региона работ по созданию и координированию пунктов опорной межевой сети.

- ◆ Проведение работ по реконструкции городских геодезических сетей.
- ◆ Создание цифровых моделей для крупных населенных пунктов.
- ◆ Проведение работ по закреплению на местности и координированию границ населенных пунктов.
- ◆ Проведение работы по инвентаризации населенных пунктов.
- ◆ Внедрение и сопровождение ГИС-программ на уровне земельных комитетов.
- ◆ Обучение специалистов комитетов и землеустроительных организаций современным приборам и технологиям.

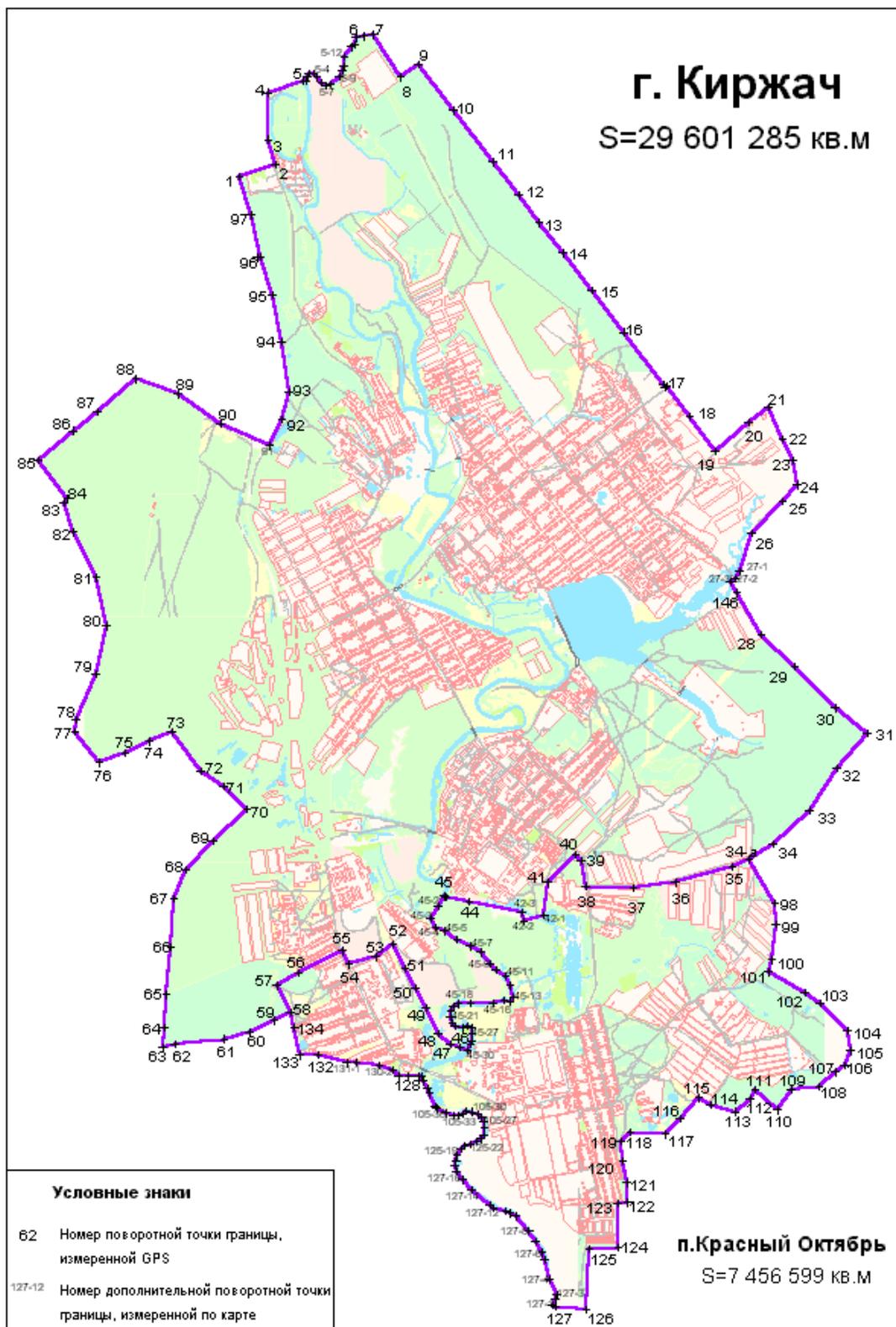
Программа была принята к реализации во Владимирской области (Председатель комитета – Будников Владимир Трофимович).

На этапе подготовки программы и ее внедрении большую помощь университету оказали Будников В.Т., Скорняков Г.Н. – руководитель областной кадастровой палаты, Макаров Б.К. – председатель земельного комитета г. Суздаль. В обсуждении программы участвовали специалисты высшей школы из Гамбурга.

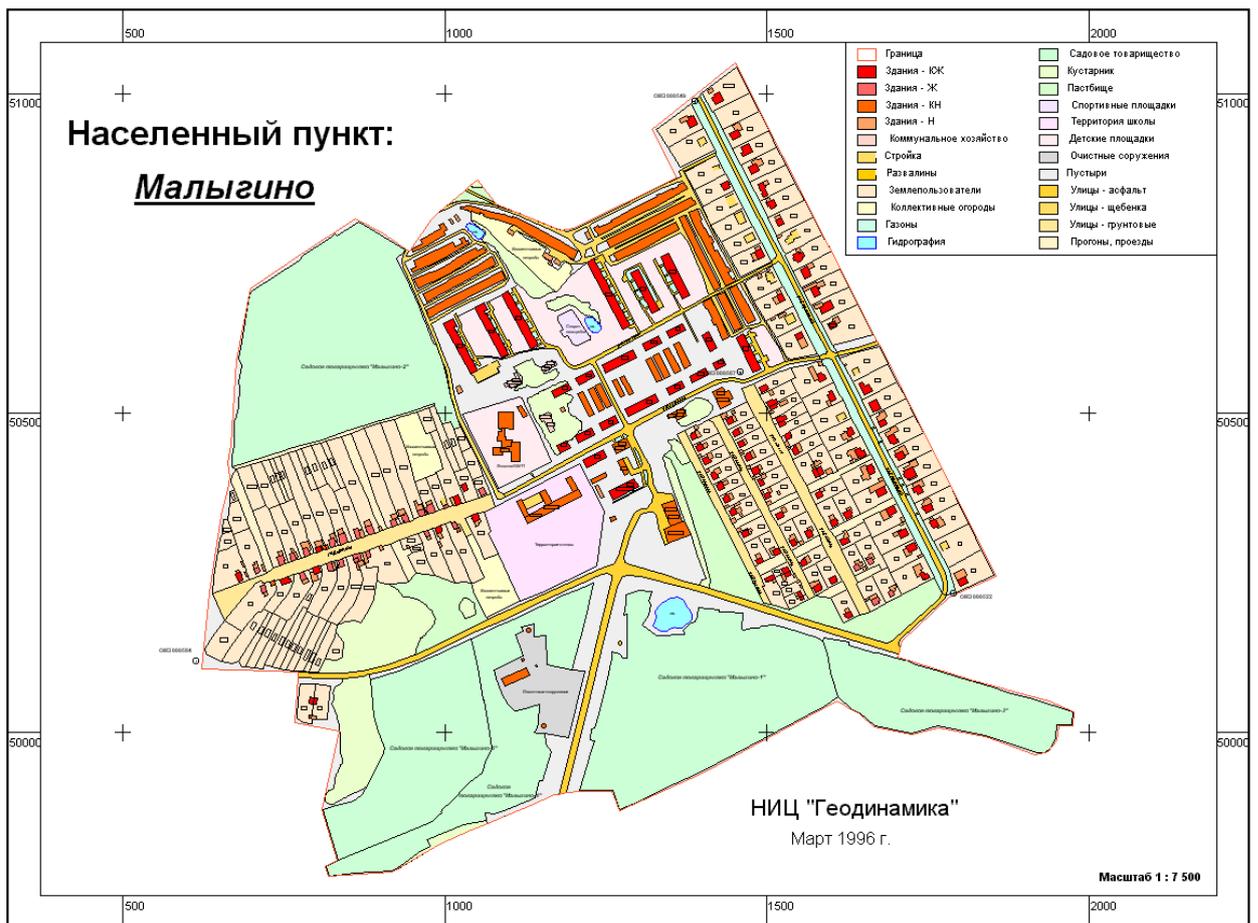


Реализация программы, после ее обсуждения со специалистами областного и районных комитетов и соответствующей адаптации к реальным условиям области и задачам, стоящим перед комитетами,

- ◆ В крупных городах области, включая Владимир, Суздаль, Киржач, Покров и в ряде других, проведены работы по реконструкции городских геодезических сетей и восстановлению границ населенного пункта.



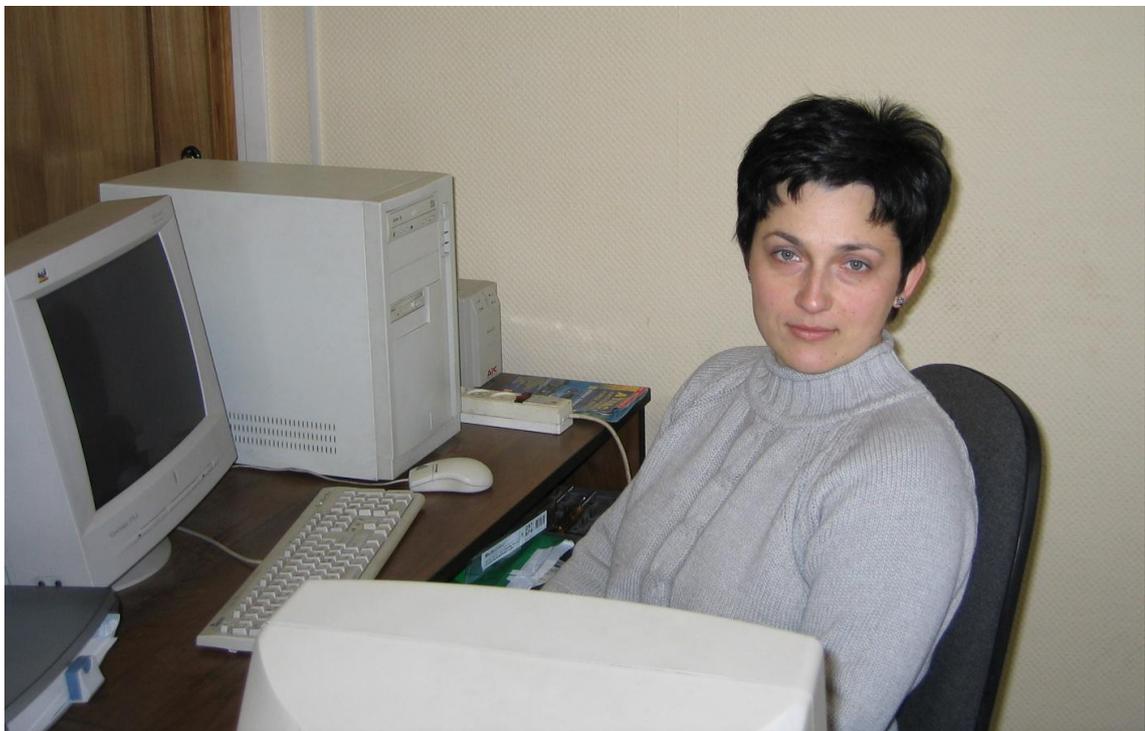
- ◆ В нескольких десятках сельских населенных пунктах проведена сплошная инвентаризация земель.



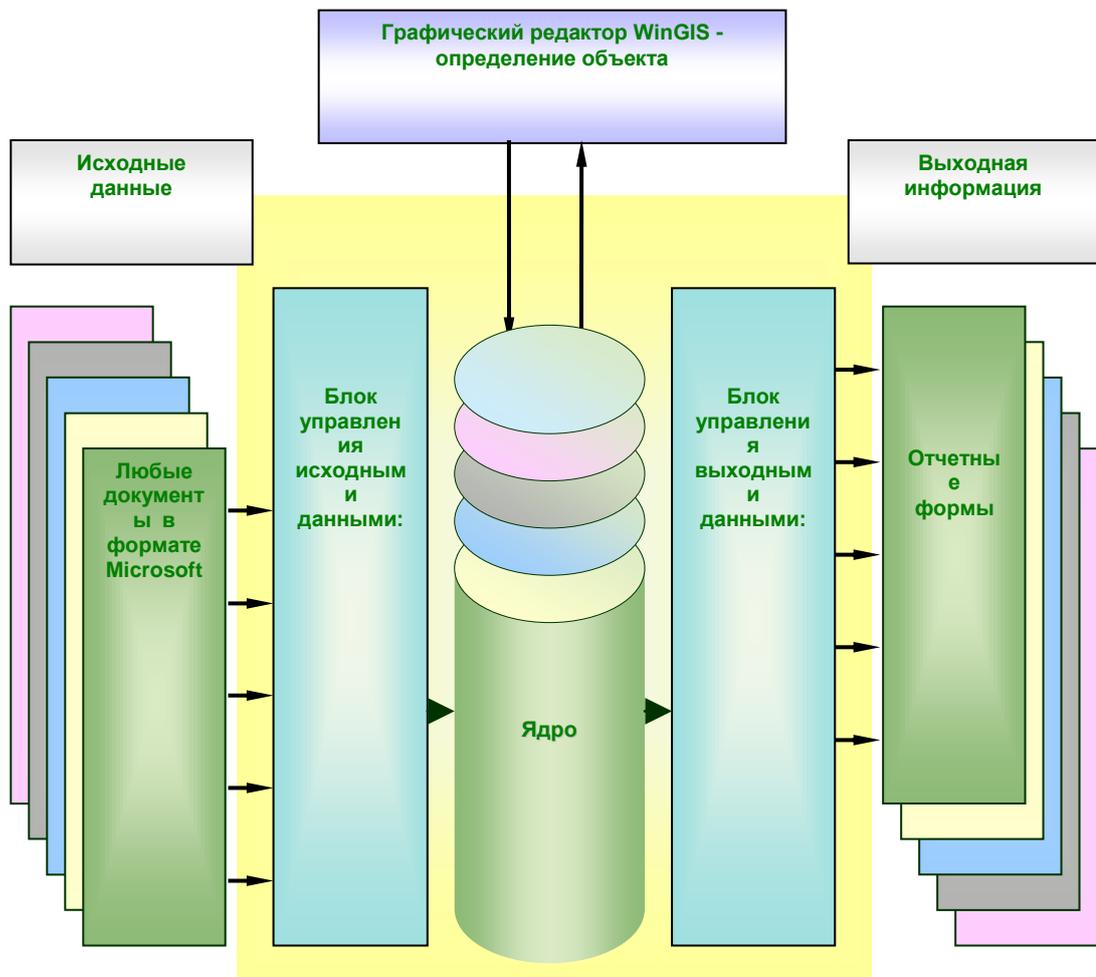
- ◆ В городе Суздаль проинвентаризировано более 80% земель.



- ◆ В крупных городах области на основе имеющегося картографического материала созданы цифровые модели и проведено кадастровое деление территорий.
- ◆ Базовым программным геоинформационным пакетом в области является WinGIS. Одной из задач специалистов НИЦ «Геодинамика» университета в конце 90-х годов было сопровождение и внедрение этого пакета в производство. База данных землепользований, работающая в комплексе с программой WinGIS, была разработана научным сотрудником НИЦ «Геодинамика» Рыхальской О.В.



- ◆ С начала реализации программы несколько десятков человек из области прошло обучение в университете.



1995 - проведение научно-практического семинара в г.Киржач с участием фирм Leica и Progis

1996 - обучение 3 специалистов на фирме Progis, Австрия

1996 - участие в международном научно-практическом семинаре в Австрии (Progis).

1996 - тестирование вычислительных центров земельных комитетов с целью установки пакета WinGIS

1996 - участие в организации и проведении международного научно-практического семинара в г.Суздаль

1997 - обучение 18 специалистов земельных комитетов на б/о «Круглое озеро»

1993-2000 сопровождение работ с геоинформационным пакетом WinGIS

На сегодняшний день область, по оценкам многих специалистов, располагает одной из лучших среди Российских регионов опорной межевой сетью, что позволяет успешно решать проблему создания единого на территории области земельного кадастра.

Отработанная технология сотрудничества университета с землеустроительными службами Владимирской области может быть успешно реализована и со службами других регионов.

УЧАСТИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ УНИВЕРСИТЕТА В МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРОЕКТАХ

Внедрение новых спутниковых технологий в середине 90-х годов послужило толчком для организации крупных международных научных проектов, позволяющих организовать наблюдения за динамическими изменениями во времени не только ограниченных локальных территорий но и крупных участков земной поверхности. Одним из таких крупных проектов Европейского масштаба, в котором приняло участие 18 университетов Европы, включая и МИИГАиК, явился проект SELF 2: ***«Изменение уровня моря в Средиземноморье, взаимодействие климатических процессов и вертикальных движений земной коры»***

Проект SELF II являлся развитием проекта SELF, проведенного Комиссией Европейского Сообщества (Брюссель, Бельгия) в рамках программы VEGENER (Международный комитет по глобальной геотектонике и экологии мирового пространства).

Целями проекта SELF II являлось решение следующих вопросов:

A. Усовершенствование долгосрочного мониторинга колебаний уровней Черного и Средиземного морей с применением самых передовых методов геодезии.

B. Изучение уровней Черного и Средиземного морей в прошлом с целью понимания процессов, происходящих в настоящее время.

С. Изучение эффектов взаимодействия атмосферы с океаном и движений земной коры в прибрежных районах с целью оценки опасности возникновения природных катаклизмов.

В рамках измерительной кампании проекта SELF II проводилось:

а) первичное определение скоростей вертикального движения реперов мареографов и их точностная оценка;

б) оптимизация стратегий GPS и гравиметрических измерений с точки зрения материальных затрат с помощью двух специально разработанных экспериментов;

с) оценка временных изменений силы тяжести вследствие влияния окружающей среды;

д) получение дополнительной мареографической информации от соответствующих организаций стран – участниц проекта и ее качественный контроль;

е) детальная оценка качества и полезности существующих мареографов и соответствующих им данных об уровне моря;

ф) для выбранных регионов побережья Средиземного моря сбор геоморфологических данных и седиментологических показателей о предшествующем уровне моря и соответствующих палеоклиматических условиях и палеоусловиях окружающей среды;

г) вычисление временных (сезонных и годовых) и пространственных изменений топографии поверхности Средиземного и Черного морей, с использованием альтиметрических измерений, полученных от спутников ERS-1, ERS-2 и TOPEX;

h) заполнение пробела между мареографическими измерениями в прибрежной зоне и альтиметрическими в открытом океане для двух выбранных районов побережья при помощи бортового лазерного альтиметра;

i) объединение наборов данных, полученных при помощи спутниковой радиоальтиметрии, лазерной альтиметрии и мареографов;

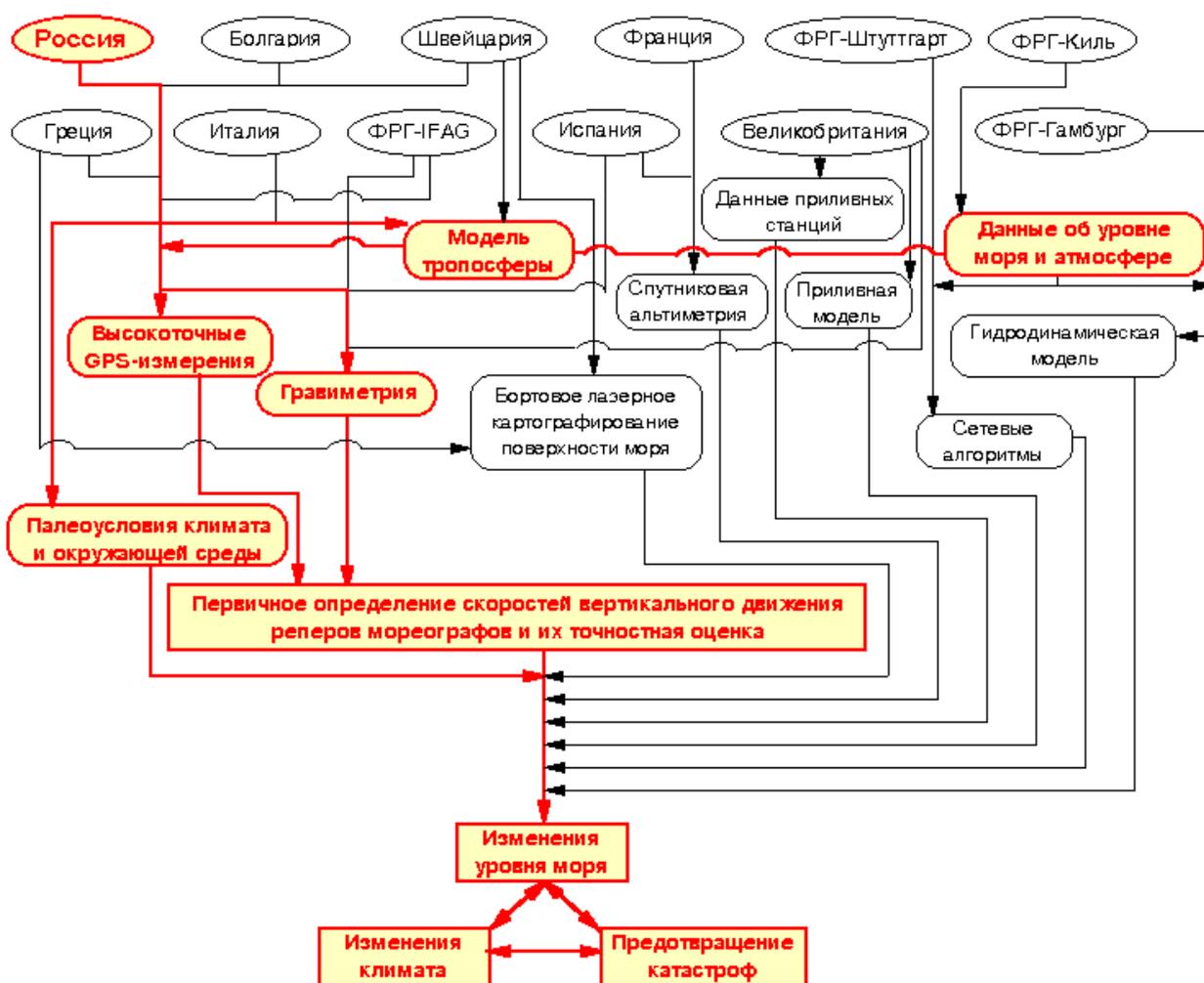
j) разработка гидродинамических и математических моделей, описывающих взаимодействие атмосферы и океана.

Работа осуществлялась по заказу Комиссии Европейского Сообщества.

Координатор проекта – Болонский университет (Италия).

Участники проекта: научные организации Англии, Болгарии, Германии, Греции, Испании, России, Франции и Швейцарии.

Блок-схема распределения работ между участниками SELF



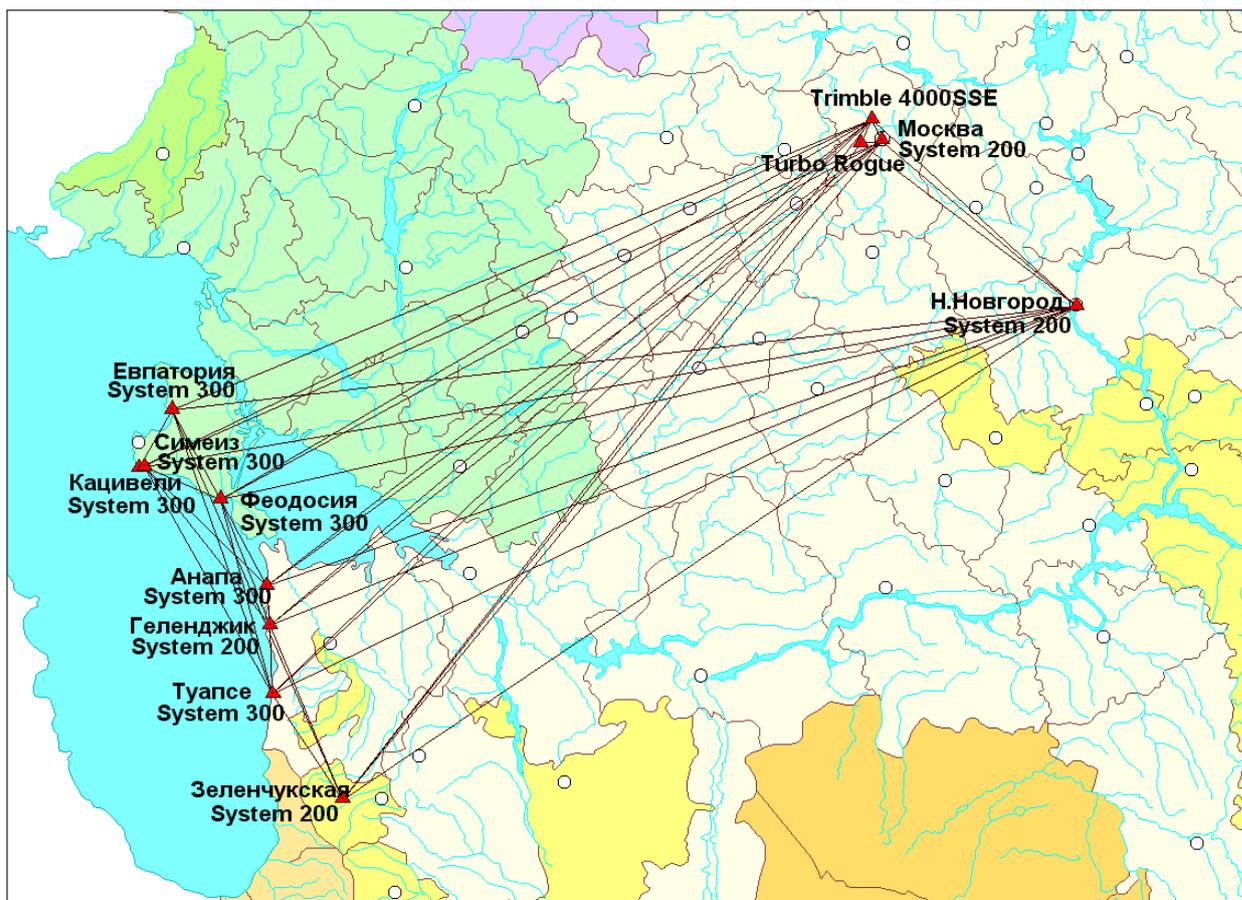
Российская сторона была представлена в проекте SELF II впервые как самостоятельный контрактор. Главным участником проекта с Российской стороны является Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК) (руководитель проекта – проф. В.П. Савиных, ответственный исполнитель проекта – Лобазов В.Я.).

В рамках проекта SELF II МИИГАиК провел в 1997 г. высокоточные спутниковые GPS наблюдения на 8 пунктах, расположенных в регионах Крыма и Черноморского побережья Кавказа, в том числе на 6 пунктах (Евпатория, Кацивели, Феодосия, Анапа, Геленджик, Туапсе), заложенных IfAG возле приливных станций (мареографов) на побережье Черного моря, и на 2 пунктах, расположенных на обсерваториях Симеиз и Зеленчукская возле пунктов лазерной локации спутников (SLR), задающих опорную систему координат IGS; выполнил обработку GPS наблюдений, а также осуществил сбор и анализ данных, полученных с метеорологических спутников.

Программа наблюдений включала:

- ◆ двухчастотные измерения в течение 5 суток (120 часов) с синхронными перерывами на всех пунктах для замены карточек памяти;
- ◆ угол отсечки – 15° ;
- ◆ запись на карточки памяти эпохами по 30 секунд;
- ◆ определение метеорологических параметров через каждые 2 часа на всех пунктах;
- ◆ использование (при возможности) данных метеорологических постов, расположенных в регионе работ.

Схема проведенных GPS наблюдений





Одна из существенных особенностей Международного проекта состояла в его дальнейшем продолжении и расширении. В рамках развития проекта силами МИИГАиК были дополнительно выполнены:

- ◆ спутниковые наблюдения на территории Болгарии (руководитель группы – Максимов К.Ю.);



- ◆ спутниковые наблюдения в регионе Каспийского моря, где за последние годы наблюдаются большие изменения уровня моря;
- ◆ спутниковые наблюдения в районе Архангельска.

Опыт в организации и проведении высокоточных спутниковых наблюдений пригодился специалистам НИЦ «Геодинамика» при участии в создании геодезического полигона г. Каира (Республика Египет).

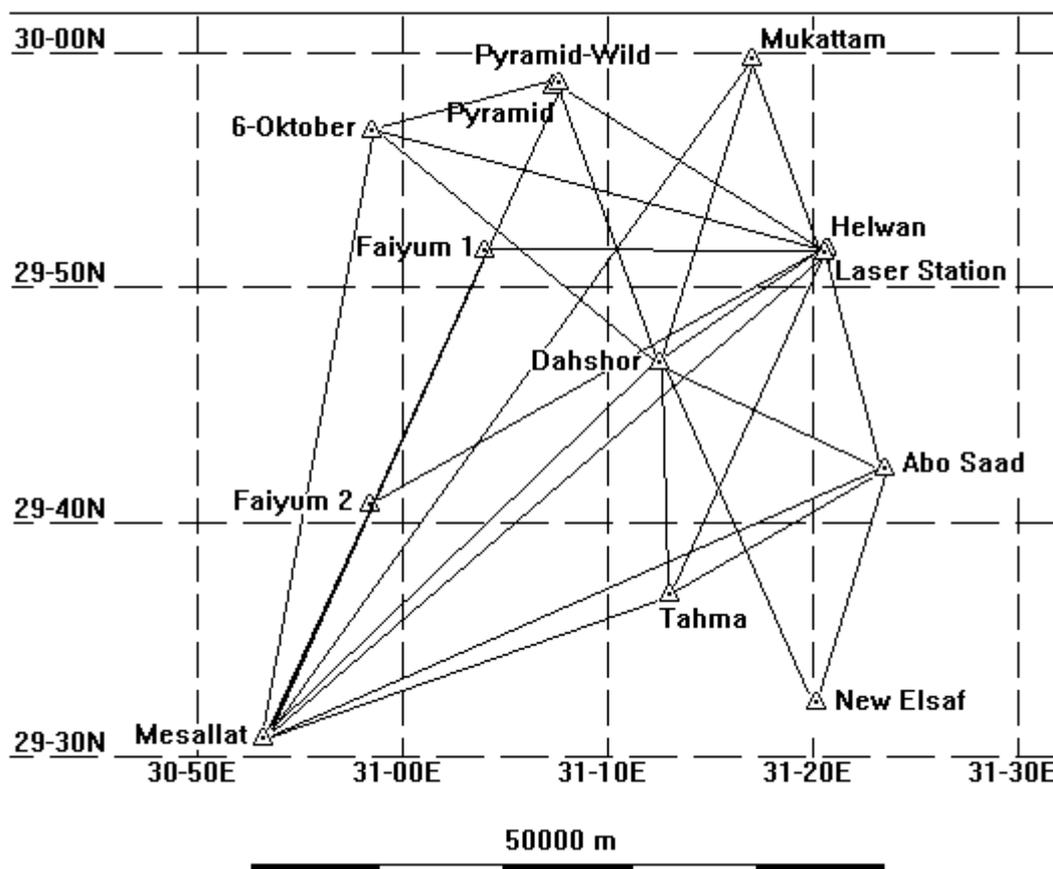
В 1995 г. сотрудниками университета при непосредственном участии сотрудников Национального Исследовательского Института Астрономии и Геофизики были проведены спутниковые наблюдения второго цикла на пунктах геодезической сети г. Каира. Работа проводилась в соответствии с соглашением между МИИГАиК и Национальным Исследовательским Институте Астрономии и Геофизики (г.Каир, Египет).

Программа наблюдений второго цикла «Cairo 1995» на геодезической сети г. Каира производилась по схеме измерений «Cairo 1994», произведенных в апреле-мае 1994 г. с использованием GPS-приемников TRIMBLE NAVIGATION, с учетом последующего ее развитие с помощью аппаратуры WILD GPS System 200.

Геодезическая сеть, спроектированная и заложенная вокруг г. Каира включала в себя 24 деформационных пункта, восемь из которых определены в первом цикле с использованием GPS-приемников TRIMBLE NAVIGATION.



Общая схема геодинамической сети «Cairo 1995» и GPS-измерений второго цикла приведена на рисунке.



Программа второго цикла измерений, согласованная с представителями NRIAG, предусматривала выполнение измерений тремя высокоточными геодезическими приемниками Wild GPS System 200 в период с 12 по 24 января 1995 г. Измерения производились непрерывно в течение 8 часов с 7 до 15 часов (по времени GPS).

Обработка результатов измерений производилась с использованием пакета SKI-1.09 и включала:

- ◆ определение координат исходного пункта в системе WGS-84;
- ◆ обработку базисных линий;
- ◆ уравнивание результатов наблюдений.

Уравнивание результатов измерений выполнялось с использованием программы «ADJUSTMENT» из пакета SKI-1.09 в следующем порядке:

- ◆ уравнивание сети с двумя исходными пунктами;
- ◆ уравнивание свободной сети.

Анализ результатов уравнивания измерений выполнялся по уравненным значениям координат пунктов и заключался в сравнении результатов уравнивания сетей «Cairo 1995» и «Cairo 1994».

Как показали результаты окончательной обработки точность уравненных координат сети «Cairo1995» оказалась лучше, чем точность сети «Cairo 1994» за счет большего количества связей. Погрешности пунктов сети не превысили 5 мм для плановых координат и 12 мм для высот. Исключением явились пункты, имеющие не более двух направлений на смежные пункты.

УЧАСТИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ НИЦ «ГЕОДИНАМИКА» В НАУЧНЫХ РАЗРАБОТКАХ

До середины 90-х годов в производстве шли дискуссии на предмет: какая аппаратура и программное обеспечение лучше и точнее. Проведенные специалистами центра «Геодинамика» эксперименты, как в Каире, так и в России, показали, что высокоточная спутниковая аппаратура практически всех ведущих фирм, при грамотном использовании аппаратуры и программного обеспечения, дает практически одинаковые результаты. Данные результаты относятся как к аппаратуре работающей со спутниками системы GPS, так и со спутниками системы ГЛОНАСС.

В период с 20 по 30 октября 1997 года специалистами ЦНИИМАШ, МИИГАиК (НИЦ «Геодинамика»), ЦНИИГАиК и ГЦ «Землемер» была проведена подготовка и проведение экспериментальных полевых геодезических работ по определению

координат пунктов в Московской области на основе использования спутниковых измерений по КА КНС ГЛОНАСС и GPS «Навстар».

Работы выполнялись в соответствии с разработанной ЦНИИМАШ Программой проведения экспериментальных работ по НИР «Системные исследования путей реализации спутникового дифференциального метода позиционных определений для решения задач геодезии в народнохозяйственных отраслях РФ» (Шифр «Геоид»).

Цель эксперимента – проведение сеансов ГЛОНАСС/GPS-измерений, одновременно на геодезических опорных и определяемых пунктах, с задачей последующей отработки вопросов построения региональных спутниковых дифференциальных геодезических систем (СДГС), разработки отечественного математического и программного обеспечения и организации сервисного обслуживания пользователей КНС ГЛОНАСС и GPS.

Результаты полевых экспериментальных работ:

- ◆ В эксперименте участвовало 24 оператора.
- ◆ Для проведения измерений использовалось:
 - 8 спутниковых геодезических двухчастотных GPS-приемников (Trimble, Leica, Turbo Rogue)
 - 6 спутниковых геодезических одночастотных GPS-приемников (Leica, Ashtech)
 - 4 спутниковых геодезических совмещенных одночастотных ГЛОНАСС/GPS-приемников GG-24 (Ashtech).

Построение сети опорных пунктов предполагало построение двух вариантов временного рабочего прототипа региональной СДГС для Московской области.

1. Первый вариант – расположение опорных пунктов по внешнему контуру при базах между опорными и определяемыми пунктами до $\sim 100 \div 200$ км.

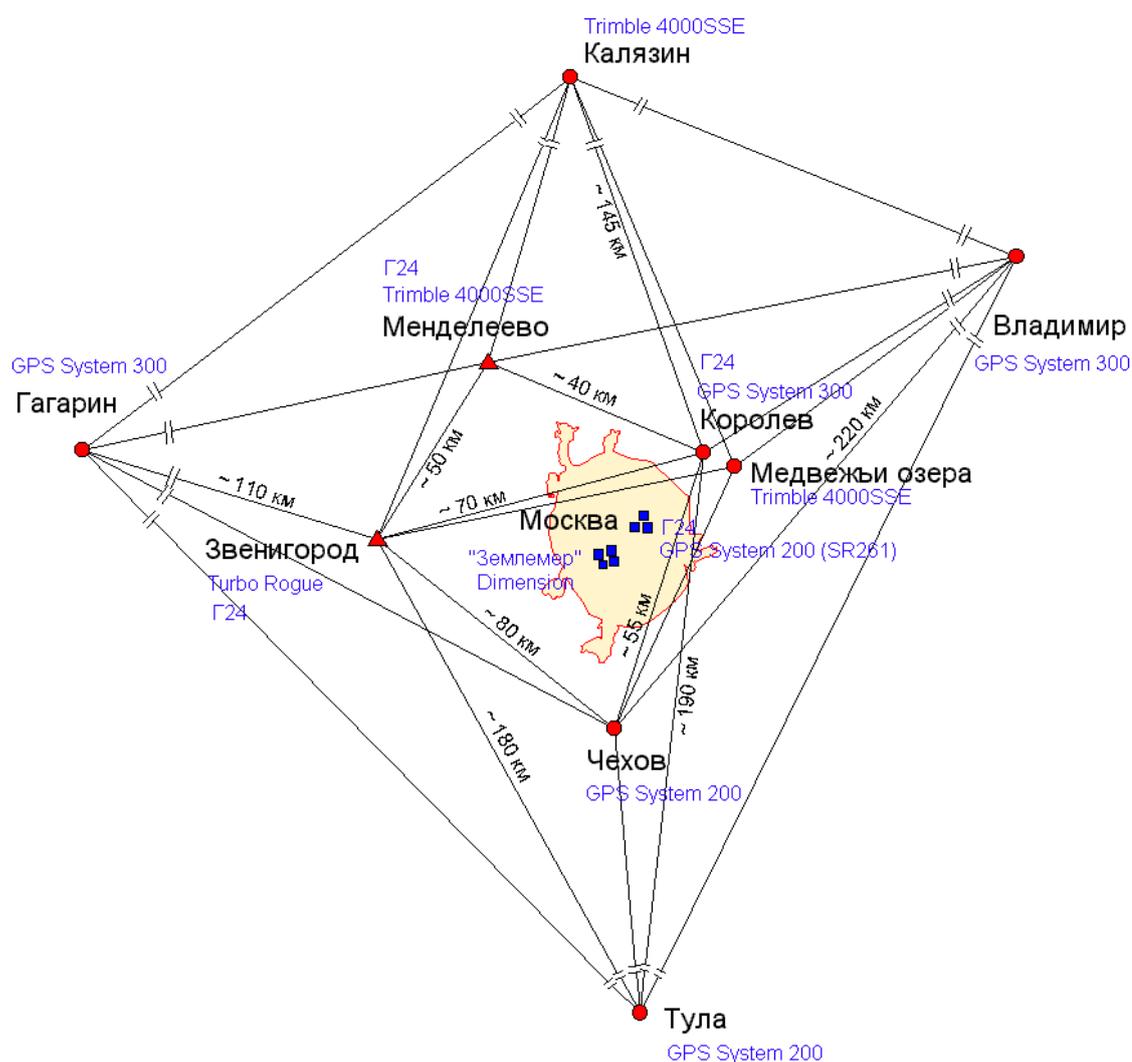
2. Второй вариант – расположение опорных пунктов по ближнему контуру при базах между опорными и определяемыми пунктами до $\sim 40 \div 60$ км.

В качестве определяемых пунктов были назначены семь пунктов Московской геодезической сети:

- ◆ МИИГАиК (3 пункта);
- ◆ Горный университет (4 пункта).

Руководство полевыми работами осуществлял Генике А.А. – научный руководитель НИЦ «Геодинамика» (МИИГАиК).

Непосредственно измерения на пунктах выполнялись 29 и 30 октября 1997 г. Измерения на пунктах выполнялись в сложных метеорологических условиях (снегопад, низкие температуры).



Был проведен ночной сеанс измерений с 21 ч. 00 мин. 29 октября 1997 г. до 3 ч. 00 мин. 30 октября 1997 г. и дневной сеанс 30 октября с 9 ч. 00 мин. до 15 ч. 00 мин.

Обработка результатов измерений производилась четырьмя научными организациями с использованием различного зарубежного и отечественного программного обеспечения. В качестве эталонных значений координат были приняты значения, полученные в НИЦ «Геодинамика» на программном обеспечении «BERNESE».

Программа проведения экспериментальных работ была успешно выполнена. Был получен большой объем ценной измерительной информации, последующая обработка которой позволила получить новые научные и практические результаты в области использования КНС ГЛОНАСС и GPS в народном хозяйстве и науке.

Наличие в университете профессионального программного обеспечения «BERNESE» поставило НИЦ «Геодинамика» на один уровень с ведущими вычислительными центрами мира. При создании крупных геодезических построений спутниковыми методами, наиболее важным моментом является интеграция построенной сети в мировую сеть. Эта работа может быть произведена с учетом данных со стационарных пунктов международной сети IGS.

Европейская часть сети IGS



GMT Mby 16 16:10:39 2002

Общий объем информации, который следует включать в обработку при работе на профессиональном программном обеспечении, можно проиллюстрировать на примере обработки опорной геодезической сети Азербайджана, выполненной специалистами центра.

Описание	Источник информации	Файлы
Измерительная информация на пунктах сети в формате RINEX	Данные измерений	Akst3490.02o ... Zard3500.02o
Измерительная информация со станций IGS в формате RINEX	Глобальные центры хранения данных IGS	Ankr3490.02o ... Zwen3520.02o
Координаты и скорости смещений ITRF2000	Международная Служба Вращения Земли, Европейский центр определения орбит	ITRF2000_GPS.SSC igs_00.crd igs_00.vel
Точные эфемериды спутников GPS	Центральное Бюро IGS	igs11446.sp3 ... igs11453.sp3,
Параметры вращения Земли	Центральное Бюро IGS	igs11447.erp igs11457.erp
Информация о рабочем состоянии системы GPS	Европейский центр определения орбит (CODE)	sat_2002.crx
Поправки фазовых центров антенн	Европейский центр определения орбит (CODE)	phase_igs.01

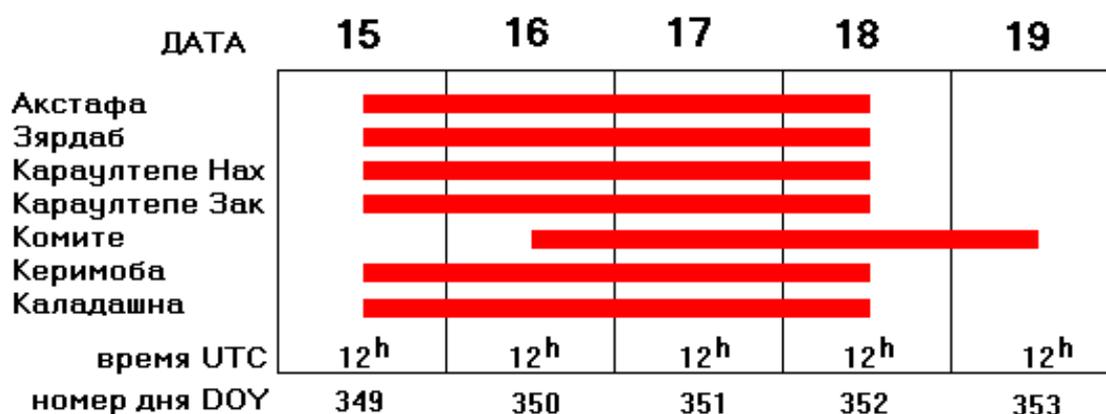
В обработке участвовали данные измерительной кампании, проведенной в декабре 2001 г. и охватывавшей семь пунктов государственной геодезической сети Азербайджана. Измерения выполнялись специалистами Азербайджана с использованием приемников серий LEICA-300 и LEICA-500.

Поставленная перед специалистами НИЦ «Геодинамика» задача обработки GPS-измерений сети была логически разделена на два последовательных этапа:

Первый этап – получение координат ITRF одного из пунктов сети;

Второй этап – использование этого пункта как исходного для обработки и уравнивания оставшейся части сети.

Временная диаграмма работы приемников сети GPS



Реализация первого этапа предусматривает совместную обработку данных с выбранного центрального пункта сети – Зярдаб с измерениями полученными от постоянно работающих станций IGS, которые на данном этапе обработки являются исходными по отношению к определяемому пункту сети.

Схема сети GPS

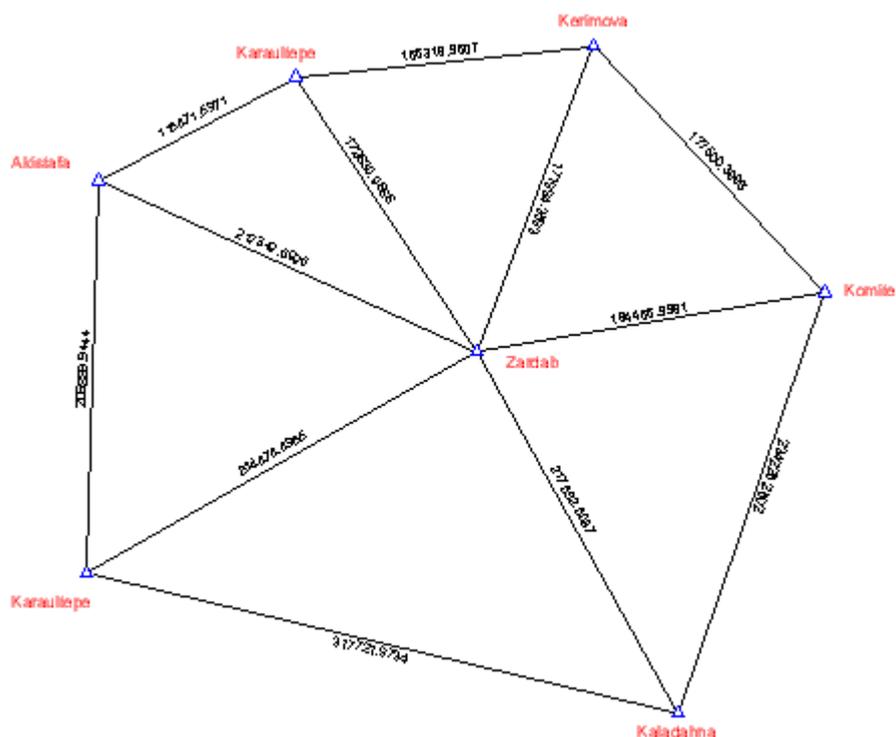
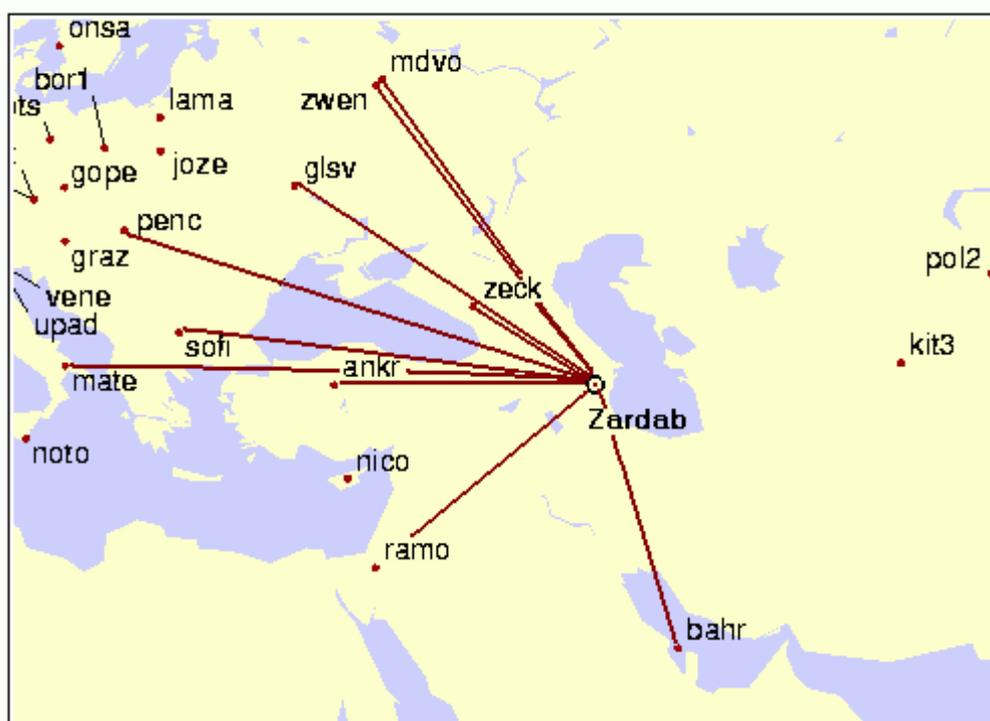


Схема привязки к сети IGS



На втором этапе обрабатывалась вся сеть с учетом новых значений координат исходного пункта. Окончательные значения координат пунктов опорной сети после завершения обработки были получены в системе IGS со следующими значениями погрешностей.

Название пункта	M_{H,мм}	M_{B,мм}	M_{L,мм}
Зярдаб	10	1	2
Актафа	13	2	2
Караултепе (Зак)	20	2	3
Керимоба	20	2	3
Каладашна	15	1	3
Караултеп (Нах)	12	2	3
Комите	12	2	3

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

Россия, как член ИКАО с 1999 года, в соответствии с «Руководством по всемирной геодезической системе – 1984 (WGS-84)», приступила к системной, практической реализации геодезического обеспечения аэропортов.

Высокие требования к точности производства геодезических работ, предъявляемые ИКАО, должны обеспечить потребности авиации в точности и достоверности навигационных данных в течение, как минимум, ближайших пятнадцати лет. Данное обстоятельство требует от организаций, исполняющих геодезические работы, обеспечения как высоких точностей и качества их выполнения, так и учета разнообразных специфических условий дальнейшего применения получаемых результатов.

Полученные при производстве работ на территории аэродрома геодезические данные имеют несколько основных направлений:

- ◆ формирование аэронавигационного паспорта аэродрома;
- ◆ создание цифровых баз данных;
- ◆ создание трехмерной модели района аэродрома;
- ◆ расчет метеоминимума аэродрома;
- ◆ создание плана аэродрома;
- ◆ диспетчеризация транспортных средств;

- ◆ моделирование работы систем управления воздушного движения в районе аэродрома.

Более 15 лет специалисты центра и университета участвуют в работах по геодезическому и навигационному обеспечению аэродромов России, включая:

- ◆ топографическую съемку территории аэродрома масштаба 1:500 – 1:5000;
- ◆ съемку подземных коммуникаций на территории аэродрома;
- ◆ съемку препятствий на приаэродромной территории;
- ◆ определение ровности полосы;
- ◆ координирование объектов аэродрома в системе координат WGS-84;
- ◆ съемку АНО на территории аэродрома и трассах в требуемых системах координат (WGS-84, ПЗ-90, СК-95, СК-42).

Университет включен в перечень организаций, рекомендованных Департаментом ГР ОрВД ГС ГА Минтранса России для проведения геодезической съемки АНО на аэродромах и воздушных трассах РФ.

Применение новых технологий и приборов требует перед их внедрением проведения многократных проверок, подтверждающих достижение заявленных преимуществ. Центр «Геодинамика» неоднократно выступал в качестве экспериментального центра ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект» и проверял возможность и целесообразность внедрения новых технологий.

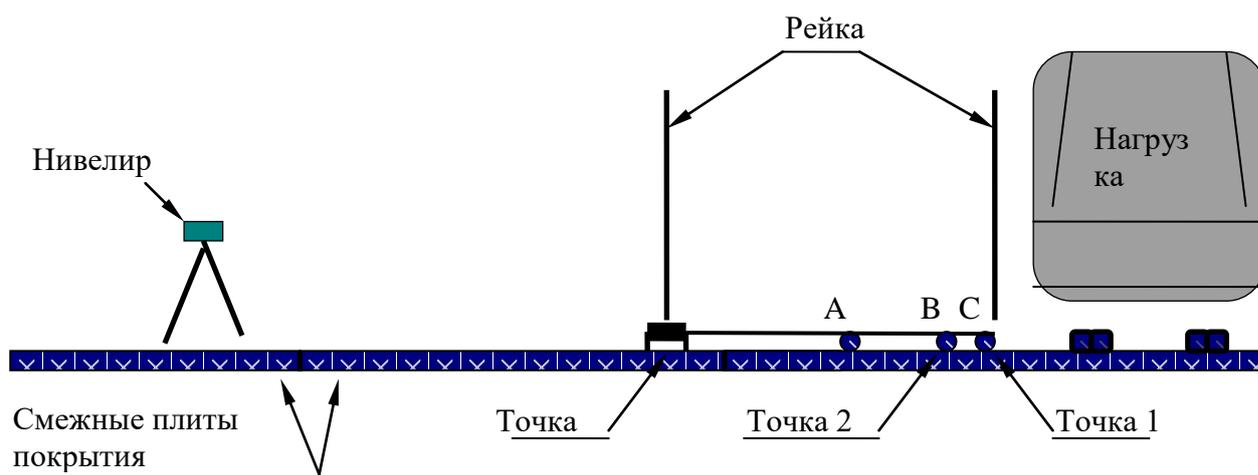
Одними из таких экспериментальных работ явились тестовые работы в аэропорту Шереметьево по оценке возможности применения нивелира-автомата NA3003 для измерения высотной деформации покрытия аэродрома и спутниковой аппаратуры Wild GPS System300 при проведении высокоточных нивелирных работ по оценке ровности покрытия взлетной полосы аэродрома.

Испытания проведены в мае 1999 года сотрудниками НИЦ «Геодинамика» МИИГАиК совместно с представителями ГПИ НИИ ГА «Аэропроект» на аэродроме «Шереметьево-2».

Программа испытания электронного нивелира НА 3003 предусматривала следующее.

На аэродроме были намечены ряд точек – отдельные плиты, из которых состоят рулежные дорожки и перрон аэродрома. На выбранную плиту на 15-20 минут устанавливалась нагрузка 110-тонн. В качестве нагрузки служил топливный заправщик самолетов. Состояние нагружаемой плиты определялось одновременно двумя способами. В первом случае с помощью трех микрометров часового типа А, В и С (см. рисунки), прикрепленных магнитами к алюминиевой штанге длиной 3,5 м.





Во втором случае состояние нагружаемой плиты определялось с помощью электронного нивелира НА3003 с использованием двух штрихкодowych реек, устанавливаемых на алюминиевых «пятках» в соответствующие точки №№ 0, 1 и 2. При этом основание штанги (неподвижная точка «0») и нивелир устанавливались на соседнюю плиту.

После выполнения измерений нагрузка снималась и с помощью тех же способов отслеживалась динамика возвращения испытываемой плиты в исходное (не нагруженное) состояние.

Программа измерений включала две серии отсчетов по двум рейкам при нагрузке на плиту и по одной серии отсчетов после снятия нагрузки. Каждая серия состояла из 10 отсчетов в автоматическом режиме с оценкой точности по внутренней сходимости

На измерения в каждой серии затрачивалось не более 40 секунд, а в целом на всю программу – порядка 6-10 минут.

Всего были выполнены измерения на семи измерительных точках (плитах).

При этом на первых двух (измерение № 1 и № 2) штрихкодowa рейка устанавливалась в точке № 1, которой соответствует максимальный прогиб испытываемой плиты и в «неподвижной

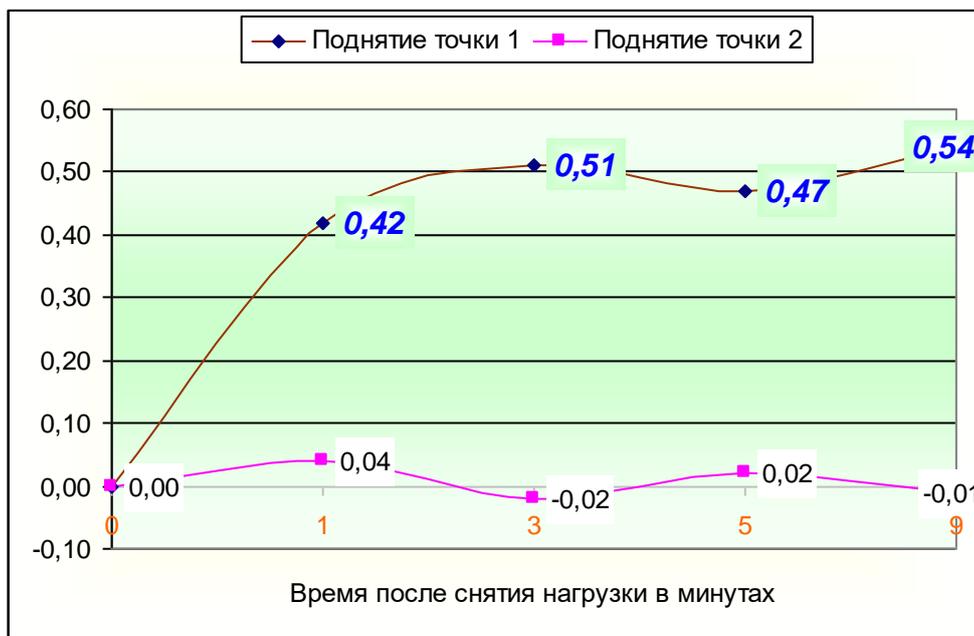
точке 0». Расстояние между этими двумя точками соответствует длине алюминиевой штанги. Определения на нулевой точке выполнялись для того, чтобы убедиться, что соседняя плита не испытывает деформации. Это предположение подтвердилось результатами измерений – максимальная разница отсчетов между сериями на неподвижную точку составила 0.04 – 0.07 мм, что соответствует предельной ошибке ($\approx 2\sigma$) измерений, полученной в данной работе.

На остальных пяти плитах штрихкодвые рейки устанавливались на точках № 1 и № 2, которым соответствует максимальный прогиб плиты. Расстояние между этими точками составляло для разных установок от 55 до 59 см. Фиксирование состояния нагруженной плиты выполнялось минимум двумя сериями. Это позволило оценить точность снятия отсчета, как по двойным измерениям, так и в целом по выборке средних квадратических ошибок среднего отсчета из десяти измерений.

Динамика восстановления исходного состояния плиты после снятия нагрузки, как уже сказано выше, отслеживалась по результатам трех однократных серий.

Результаты выполненных измерений были представлены в виде диаграмм и таблиц для каждой измерительной точки, по которым видно, что для всех семи испытываемых плит этот процесс носит волнообразный характер.

Средняя квадратическая погрешность определения высоты точки с помощью электронного нивелира НА 3003 по результатам оценки из серий многократных измерения, полученная по внутренней сходимости отдельных однократных результатов, не превысила 0.044 мм.



Экспериментальные исследования по оценке возможности выполнения высокоточного нивелирования с помощью GPS-аппаратуры должны были ответить на вопрос, возможно ли ускорить и соответственно снизить стоимость работ по оценке ровности ИВПП. Программа эксперимента включала измерения с помощью двух спутниковых станций WILD GPS System 300, одна из которых (референц-станция) была установлена на штативе непосредственно на перроне, а вторая (подвижная станция) на багажной тележке, которую перемещали по ИВПП.

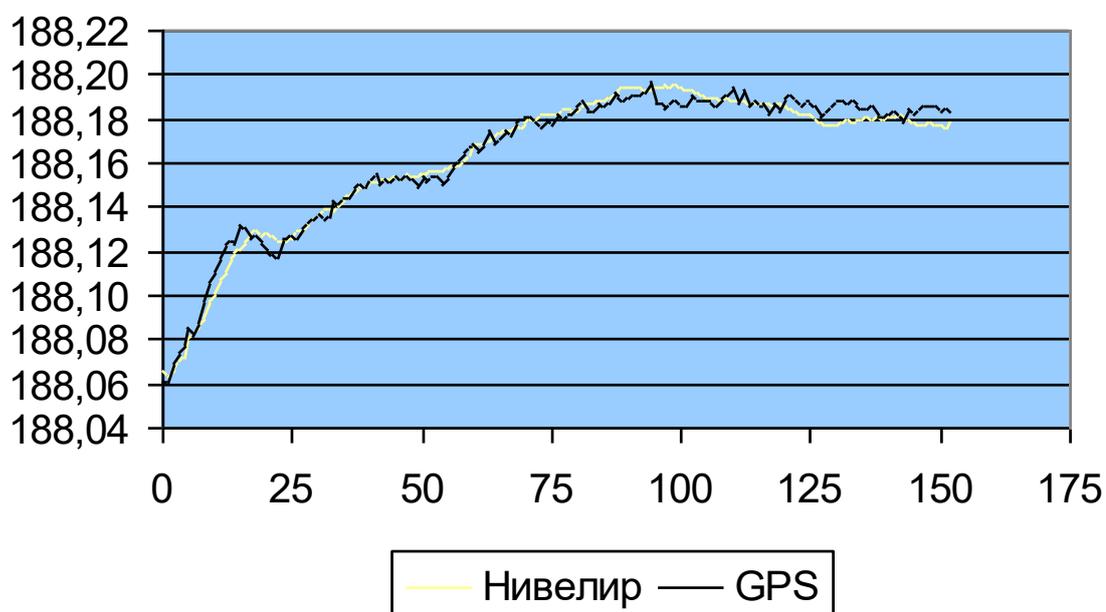
Измерения были выполнены в режиме «кинематика в полете» с дискретом записи эпох 1 секунда, для чего тележку с подвижной станцией провозили с постоянной скоростью по выбранному маршруту. Скорость передвижения тележки была выбрана такой, чтобы обеспечить определение высот профиля с пикетажем через 0,5 метра.

Полученные результаты спутниковых определений были обработаны на программе SKI версии 2.2 и вычислены геодезические высоты точек профиля относительно эллипсоида WGS-84.

Для контроля точности определения высот были выполнены дополнительные измерения высот при прогоне тележки в обратном направлении.

В ходе эксперимента были получены высоты 220 точек профиля на участке протяженностью 110 метров.

Графическое представление профиля приведено на рисунке, по которому может быть сделан вывод о высокой точности полученных результатов. Средняя квадратическая погрешность определения высот точек по оси ИВПП с интервалом 0.5 м с помощью аппаратуры GPS в режиме «кинематика в полете» составила 0.006 мм.



Временные затраты при выполнении нивелирования покрытий аэродромов описанным способом определяются в основном дискретностью записи эпох (отсчетов) спутниковыми приемниками. В данной работе был применен 1 секундный дискрет записи. Таким образом, на выполнение нивелировки выбранного участка длиной 110 метров в прямом направлении было затрачено не более 4-5 минут и столько же для проложения обратного хода. При нивелировании полосы длиной до 3000 м общее время не превысит 150 минут. При

этом целесообразно нивелирование выполнять в прямом и обратном направлении.

Одной из наиболее важных работ, проводимых на приаэродромной территории, являются работы по определению местоположения аэронавигационных ориентиров аэродрома в мировой геодезической системе координат WGS-84, а также проведение съемки препятствий на приаэродромной территории.

В период с июля 2003 г. по февраль 2004 года такая работа была выполнена Московским Государственным Университетом Геодезии и Картографии (МИИГАиК) в соответствии с договором, заключенным с ОАО «Международный аэропорт Шереметьево».

Выполненные полевые работы включали в себя:

- ◆ создание сети опорных геодезических пунктов аэродрома;
- ◆ съемку аэронавигационных ориентиров аэродрома в мировой геодезической системе координат WGS-84;
- ◆ определение местоположений и высот препятствий.

Значения координат аэронавигационных ориентиров и препятствий на приаэродромной территории представлены:

- ◆ в мировой геодезической системе координат WGS-84;
- ◆ в Российской геодезической системе координат ПЗ-90;
- ◆ координаты препятствий, дополнительно, в системе координат аэродрома.

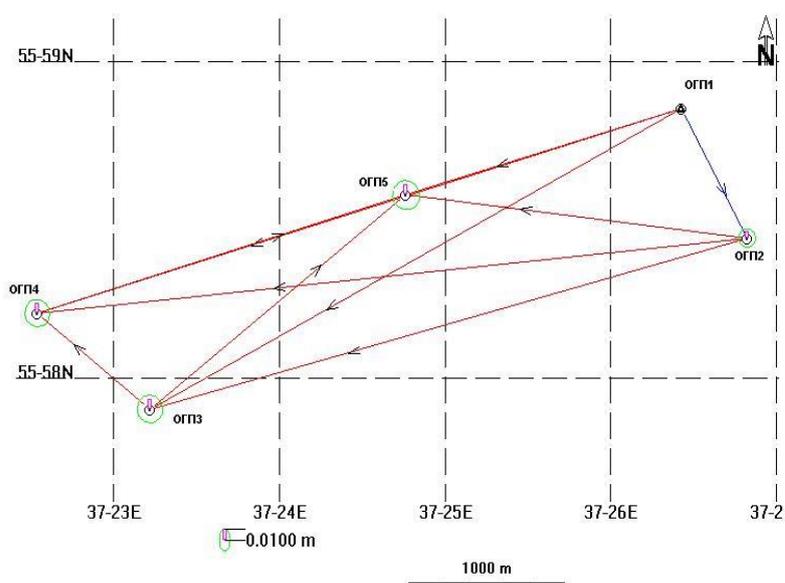
Значения высот аэронавигационных ориентиров и препятствий на приаэродромной территории представлены:

- ◆ геодезическая высота в СК WGS-84;
- ◆ геодезическая высота в СК ПЗ – 90;
- ◆ ортометрическая высота EGM96;
- ◆ ортометрическая высота в Балтийской системе высот 1977 года;
- ◆ для высот препятствий, дополнительно, даны приращения высот относительно КТА.

Создание сети опорных геодезических пунктов (рис) включало:

- ◆ рекогносцировку закладку пунктов;
- ◆ GPS-измерения;
- ◆ обработку выполненных GPS-измерений с использованием программы BERNESE (версия 4.2) и SKI (версия 3.2).

Опорная геодезическая сеть аэродрома Шереметьево



С использованием спутниковой аппаратуры определены аэронавигационные величины:

- ◆ координаты контрольной точки аэродрома (КТА);
- ◆ магнитное склонение;
- ◆ координаты порогов ВПП;
- ◆ координаты мест стоянок воздушных судов;
- ◆ координаты рулежных дорожек.



- ◆ дальний приводной радиомаркерный маяк (ДПРМ);
- ◆ ближний приводной радиомаркерный маяк (БПРМ);
- ◆ курсовой радиомаяк (КРМ);
- ◆ глиссадный радиомаяк (ГРМ).
- ◆ всенаправленный (азимутальный) УКВ радиомаяк (VOR),
- ◆ дальномерно-измерительное устройство (DME).

Определение координат навигационных средств выполнено в системе координат WGS-84 методом прямой геодезической привязки к двум пунктам опорной сети аэродрома.

Для построения профиля взлетно-посадочных полос выполнено профилирование с помощью GPS аппаратуры. Результаты обработки представлены в Балтийской системе высот 1977 года и WGS-84.

Определение координат препятствий выполнено в соответствии с требованиями "Методических рекомендаций по проведению геодезической съемки АНО на гражданских аэродромах и воздушных трассах России" и Поправки №6 к "МОС НГЭА".

В результате выполненных геодезических работ получены координаты аэронавигационных ориентиров аэродрома Шереметьево в мировой геодезической системе координат WGS-84 и Российской геодезической системе координат ПЗ-90, а также координаты

препятствий в зонах захода на посадку и взлета, зоне визуального маневрирования и на аэродроме.

Полученные результаты работ направлены на экспертизу в ФУГП ГосНИИ «АЭРОНАВИГАЦИЯ» и получили положительную оценку.

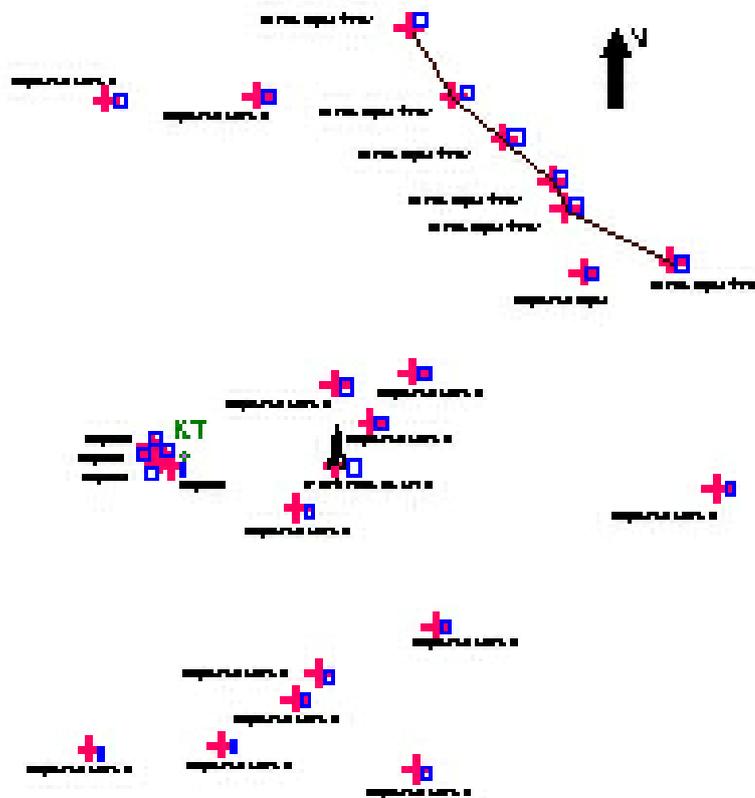
Наиболее массовыми работами по геодезическому обеспечению безопасности полетов являются работы связанные с координированием препятствий на приаэродромной территории. В пределах 50-ти километровой зоны должны быть выявлены объекты (определены координаты и высоты), которые могут являться препятствиями для авиационных средств.

Специалистами центра работы по определению координат и высот были проведены для 45 аэропортов России.

На всех вертолетных площадках Москвы, включая больницы и гостиничные комплексы, также проводилась съемка препятствий, но зона съемки ограничена 5-ю км.. Многие горнолыжные курорты России имеют вертолетные площадки, для которых работа по определению препятствий является актуальной.



Схема расположения препятствий на территории, прилегающей к ВП



Применение специалистами центра новых технологий и приборов позволило существенно повысить не только точность и достоверность данных по препятствиям, но и сократить время на проведение всего комплекса работ.

ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ

Учитывая перспективность упомянутых выше спутниковых методов координатных определений, специалисты центра «Геодинамика» МИИГАиК на протяжении ряда лет уделяют повышенное внимание не только вопросам проведения широкомасштабных научных исследований и производственных работ с использованием спутниковой аппаратуры в различных областях но и занимаются вопросами подготовки кадров, владеющих современными

методами решения различных геодезических задач на основе использования спутниковых методов.

По затронутым вопросам в МИИГАиК всем студентам геодезического профиля читается обширный курс по спутниковым системам местоопределения и проводятся, как учебные, так и производственные практики по работе со спутниковой аппаратурой и комплексом вычислительных средств соответствующего назначения. Наряду с этим систематически организуются курсы по подготовке специалистов производственных организаций для работы с такой аппаратурой, включая и сопутствующую обработку получаемых данных. Большинство операторов из подразделений Роскартографии Роскомзема и геодезических служб стран ближнего зарубежья прошли обучение на таких курсах.

Ежегодно 5-6 человек проходят производственную и преддипломную практику в центре. Для наглядности можно привести тематики дипломов за 2004 год:

- ◆ Джамаль Саад «Технология применения аппаратуры GPS для комплексного геодезического обеспечения безопасности полетов в ГА».
- ◆ Лубнин В.С. «Применение GPS-технологий при создании координатной основы муниципальных образований».
- ◆ Маркин С.А. «Современные ГИС и GPS-технологии при инвентаризации линейных объектов».
- ◆ Лукина Н.В. «Математическое моделирование вертикальных деформаций памятников архитектуры государственного историко-культурного музея-заповедника “Московский Кремль”».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщенный анализ производственных и научных работ, проведенных центром «Геодинамика» за последние 12 лет, свидетельствует о том, что коллектив центра успешно справился с поставленными руководством университета задачами. На протяжении этого времени специалисты центра неоднократно становились инициаторами внедрения новых технологий, не только учились сами, но и учили других применять современные приборы и методы в геодезическом производстве. Монографии, инструкции, многочисленные статьи и доклады на конференциях и совещаниях – все это способствовало внедрению новых GPS и ГИС-технологий в производство.

Но наряду с решенными проблемами коллектив центра видит и ставит перед собой новые задачи. В первую очередь это вопросы:

- ◆ метрологического обеспечения спутниковых технологий – как аппаратуры, так и программного обеспечения;
- ◆ совершенствования нормативной базы применения новых технологий;
- ◆ расширения круга решаемых задач с использованием новых приборов в сочетании с традиционными геодезическими методами.

А также решение других задач в смежных, связанных с геодезией, областях.