

# Космическая геодезия и высокоточная гравиметрия в современной геодинاميке



**В.Е.Жаров, А.В.Копаев, В.К.Миллюков**

# **Основания для работы**

**Федеральная целевая программа  
«Глобальная навигационная система»**

**Проект «Единая система координатно-временного  
и навигационного обеспечения Российской  
Федерации»**

## **Глобальные задачи, имеющие общегосударственное значение:**

- 1) определение и контроль небесной системы отсчета и ее реализаций в виде каталогов координат внегалактических радиоисточников;**
- 2) определение и контроль земной системы отсчета и ее реализаций в виде каталогов координат и скоростей опорных станций;**
- 3) постоянный мониторинг параметров ориентации земной системы относительно небесной системы, включающих параметры вращения Земли, прецессионные и нутационные углы;**
- 4) определение динамических систем отсчета и их реализаций в виде теорий движения тел Солнечной системы и космических аппаратов в ближнем и дальнем космосе;**
- 5) установление параметров гравитационного поля и параметров фигуры Земли и тел Солнечной системы;**
- 6) мониторинг параметров земной атмосферы и ионосферы и среды в околоземном и межпланетном пространстве;**
- 7) разработка теоретического и метрологического фундамента КВНО, построение теорий, моделей и методов для обеспечения требуемой точности решения перечисленных задач при их практическом применении.**

## **Региональные задачи, имеющие общегосударственное значение:**

- **распространение единых геодезических систем координат, высот и гравиметрической системы;**
- **физическая реализация на территории государства национальных систем координат, высот и гравиметрической системы;**
- **распространение на территории государства национальных шкал времени;**
- **государственное картографо-геодезическое обеспечение и геодезическое обеспечение кадастровых, геологоразведочных, геофизических, изыскательских и других работ**

## Локальные задачи:

- **создание местных и специальных геодезических сетей;**
- **навигационное обеспечение полётов воздушных судов на местных авиалиниях;**
- **геодезическое обеспечение крупных строительных работ на суше и на воде, трассировка и прокладка коммуникаций, горно-маркшейдорских работ, работ по обследованию и расчистке водоёмов, в том числе водоёмов-охладителей атомных электростанций;**
- **создание цифровых карт;**
- **мониторинг состояния и динамики местных геодинамических, в том числе техногенных процессов;**
- **локальный контроль движений и деформаций искусственных сооружений и природных объектов.**

## Требования к точности самого навигационного обеспечения

- вычисление точных орбит спутников ГЛОНАСС (с погрешностями менее 10 см) и точных поправок бортовых шкал времени (погрешности менее 1 нс);
- решение задач астрометрии, небесной механики и астрофизики (ошибка определения координат источников  $\pm 1-10$  мкс дуги);
- уточнение параметров вращения Земли (погрешность определения координат полюса  $< 0,1$  мс дуги, ориентации оси вращения  $0,05-0,1$  мс дуги, времени UT1  $10-20$  мкс с разрешением 1 час)
- решение задач геодезии и геодинамики (ошибка определения координат пунктов  $\pm 1-3$  мм с разрешением 1 час);
- Расхождение национальной шкалы времени UTC(SU) со шкалой всемирного координированного времени UTC менее 10 нс;
- Погрешность сличений ГЭВЧ с системой вторичных эталонов менее 10 нс.

# Требуемые точности для построения координатной основы территории РФ

Координатная основа закрепляется путем построения фундаментальной астрономо - геодезической и высокоточной геодезической сетей

Погрешность определения (к 2011 г.):  
координат наземных пунктов  $< 1$  см  
скорости смещения пункта  $< 0,3$  см/год

Погрешность определения баз:

- 1) Для построения высокоточной основы для развития государственной геодезической сети:  $3 \text{ мм} + 5 \times 10^{-8} D \text{ мм}$  на каждые 1000 км
- 2) Для решения задач глобальной и региональной геодинамики:  
20-30 мм при неограниченных расстояниях
- 3) Для решения задач региональной геодинамики:  
 $3 \text{ мм} + 5 \times 10^{-7} D \text{ мм}$  при расстоянии между пунктами 150-200 км
- 4) Для решения задач локальной геодинамики:  
 $3 \text{ мм} + 1 \times 10^{-7} D \text{ мм}$  при расстоянии между пунктами 25-30 км

## Что мы имеем?

**6 двухчастотных приемников ГЛОНАСС/GPS**

**(4 установлены стационарно)**

**2 цезиевых стандарта частоты**

**2 гравиметра ZLS**

**1 гравиметр Scintrex**

**Программные комплексы Bernese, Oasis**

# BERNESE 5.0

Разработчик: Астрономический институт Бернского университета (Швейцария).

Назначение:

- научно-исследовательская работа в учебных и научных учреждениях;
- высокоточные геодезические работы;
- централизованная обработка сети постоянно действующих GPS-приемников.

Используется примерно в 300 центрах мира.

Программный комплекс состоит из:

- около 90 программ и около 1000 подпрограмм и функций;
- около 400 000 строк программного текста;
- графической оболочки с системой меню.

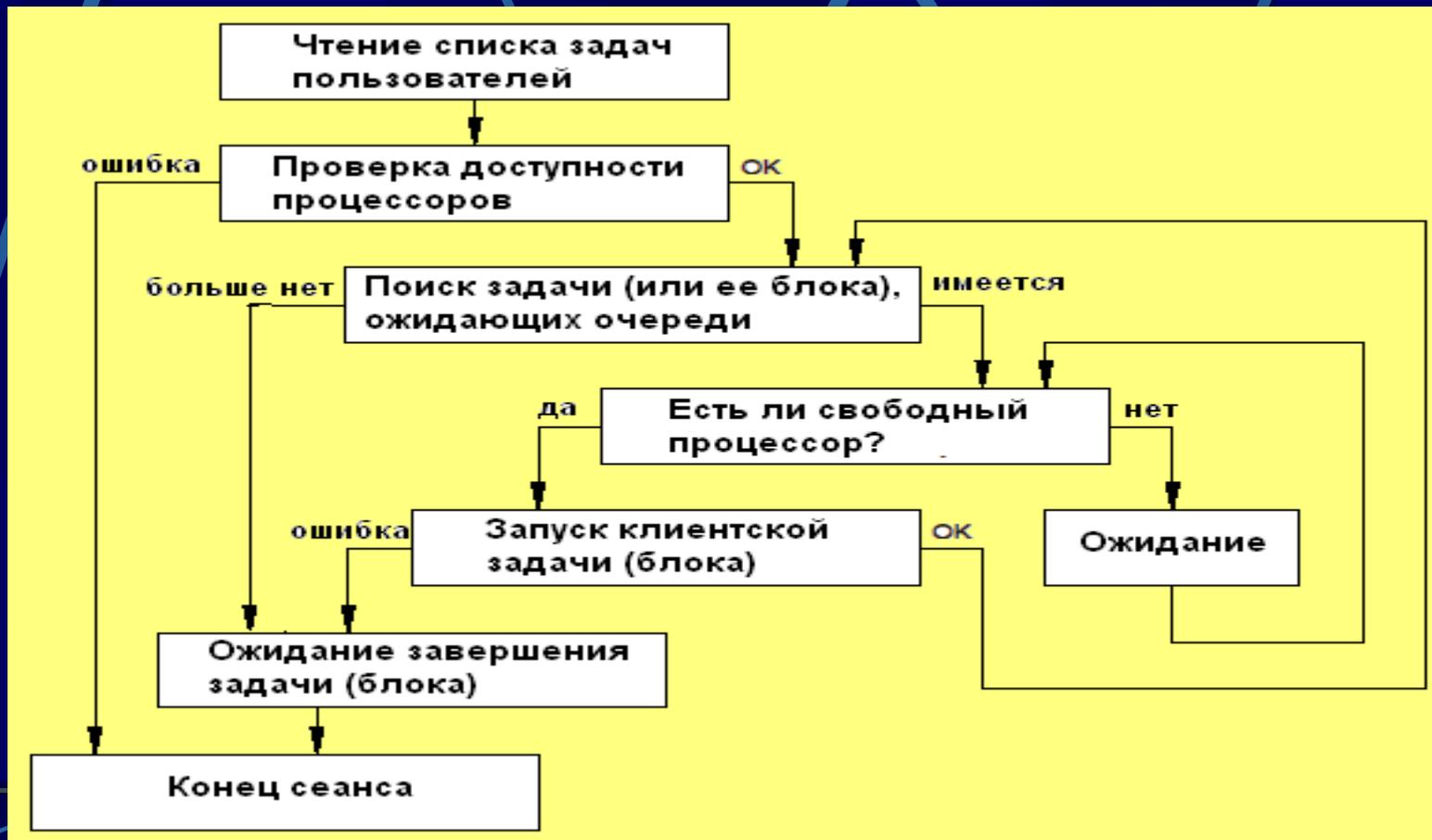
Язык программирования, платформы, требования:

- язык программирования Fortran 90;
- работает в среде PC/Windows, UNIX, LINUX;
- использует библиотеку Qt (Trolltech), Perl.

## Типичные решаемые задачи:

- все высокоточные геодезические приложения со статичными объектами с использованием метода двойных разностей фазовых измерений;
- определение динамических параметров квазистатичных объектов (материковых плит, центра масс Земли, сдвиг и поворот геодезических сетей);
- автоматизированная обработка данных измерений постоянно действующей сети станций GPS и ГЛОНАСС с помощью встроенной системы управления процессом вычислений ВРЕ;
- мониторинг состояния тропосферы в локальном, региональном и глобальном масштабах;
- моделирование параметров ионосферы в локальном, региональном и глобальном масштабах;
- определение орбитальных параметров спутников;
- определение параметров вращения Земли (координат полюса, длительности суток, изменение составляющих нутации);
- обработка измерений GPS, ГЛОНАСС по отдельности и совместно;
- вычисление поправок бортовых и наземных часов безразностным методом с целью решения задач службы времени (сличения часов);
- точное позиционирование в автономном режиме;
- кинематическое позиционирование (определение координат в движении, в том числе – координат низкоорбитальных спутников, на которых установлены приемники GPS);
- обработка данных лазерной локации ИСЗ.

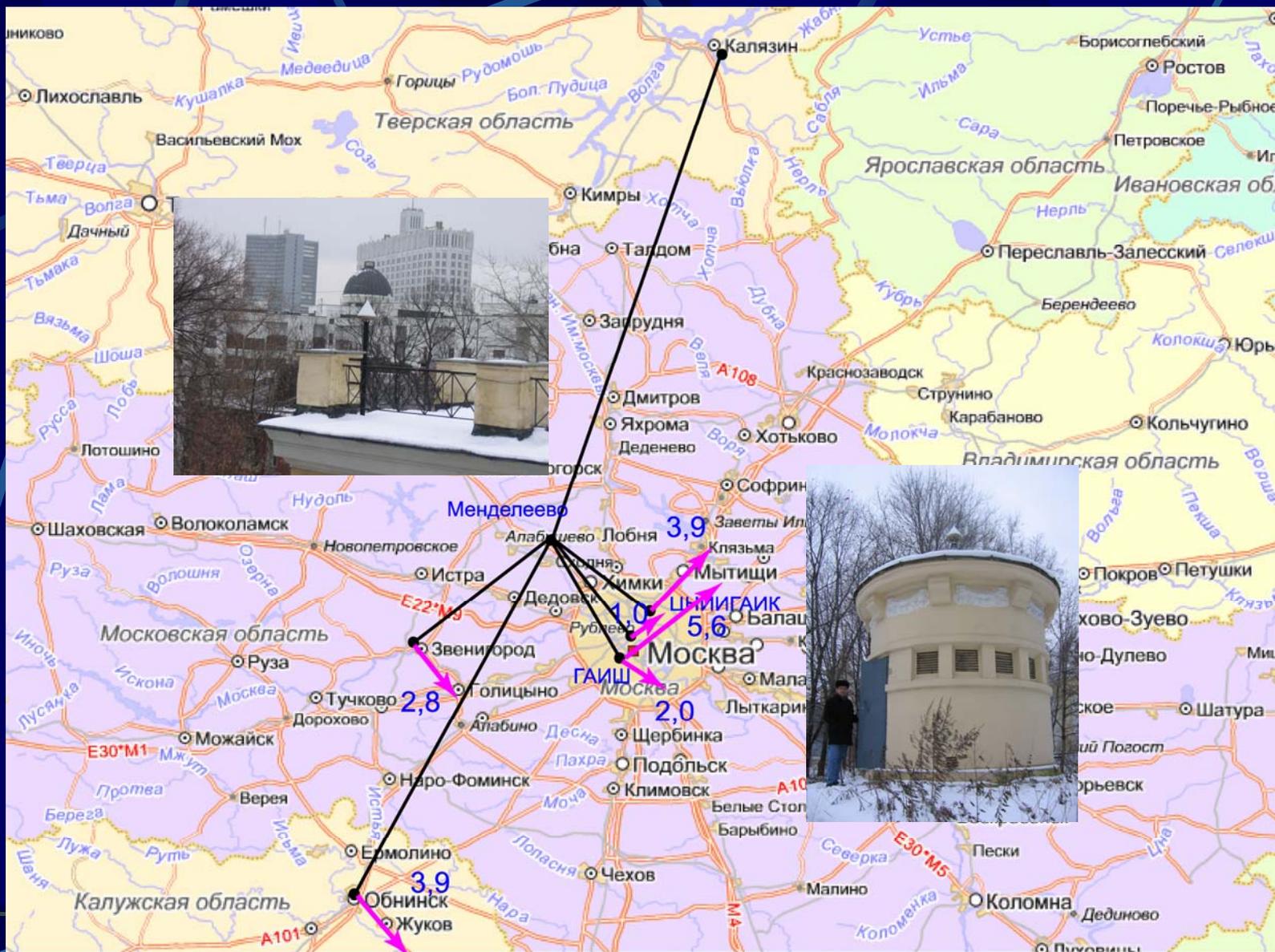
Особенностью реализации данного программного комплекса является возможность его работы в многопользовательском режиме. Он может быть установлен на многопроцессорной компьютерной системе в составе локальной сети. Для управления работой в комплексе имеются блоки, анализирующие загруженность каждого из процессоров и оперативной памяти и обеспечивающие их оптимальное использование. Это очень важно в связи с весьма большими, как правило, объемами измерительной информации GPS/ГЛОНАСС и громоздкостью вычислительных алгоритмов.

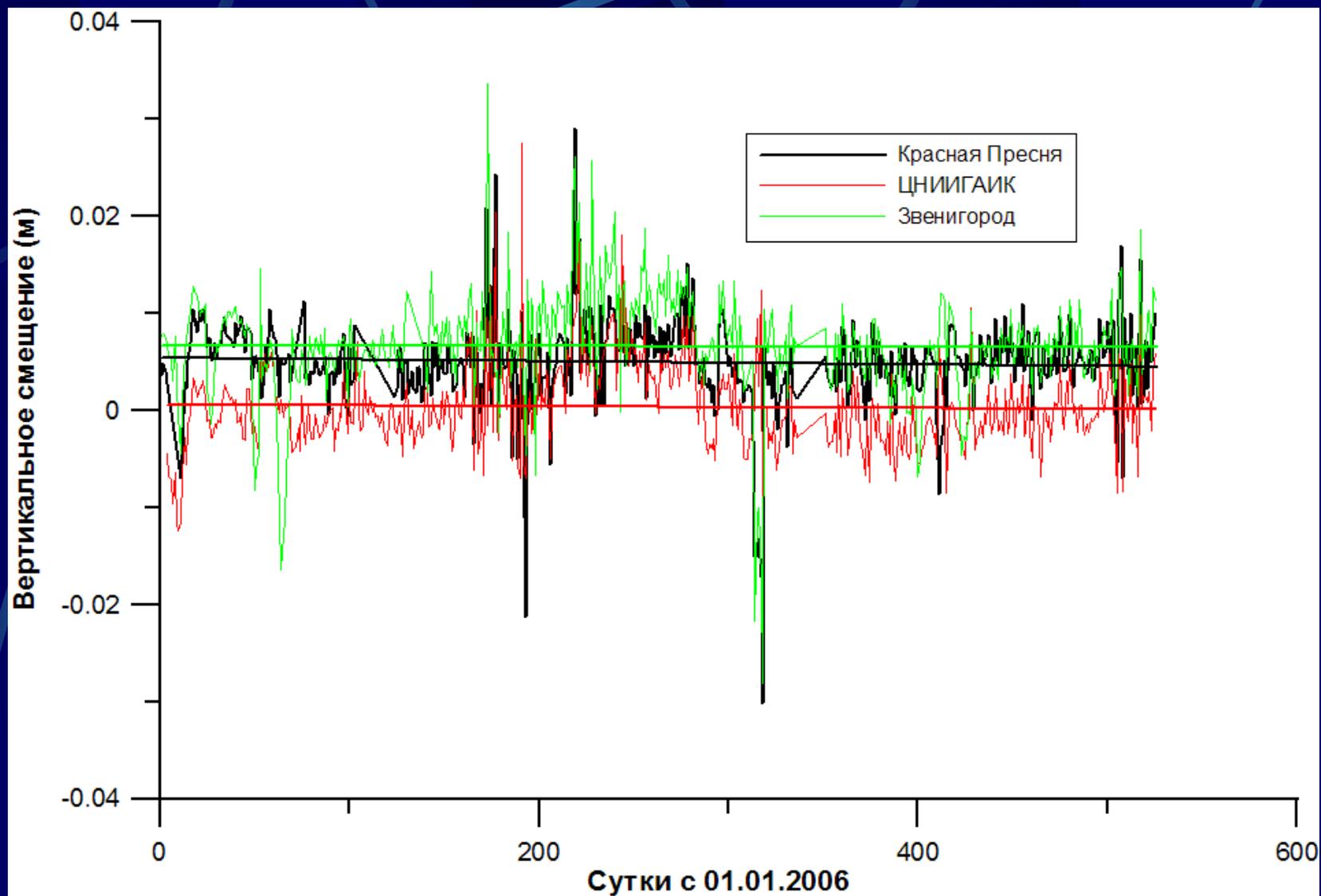


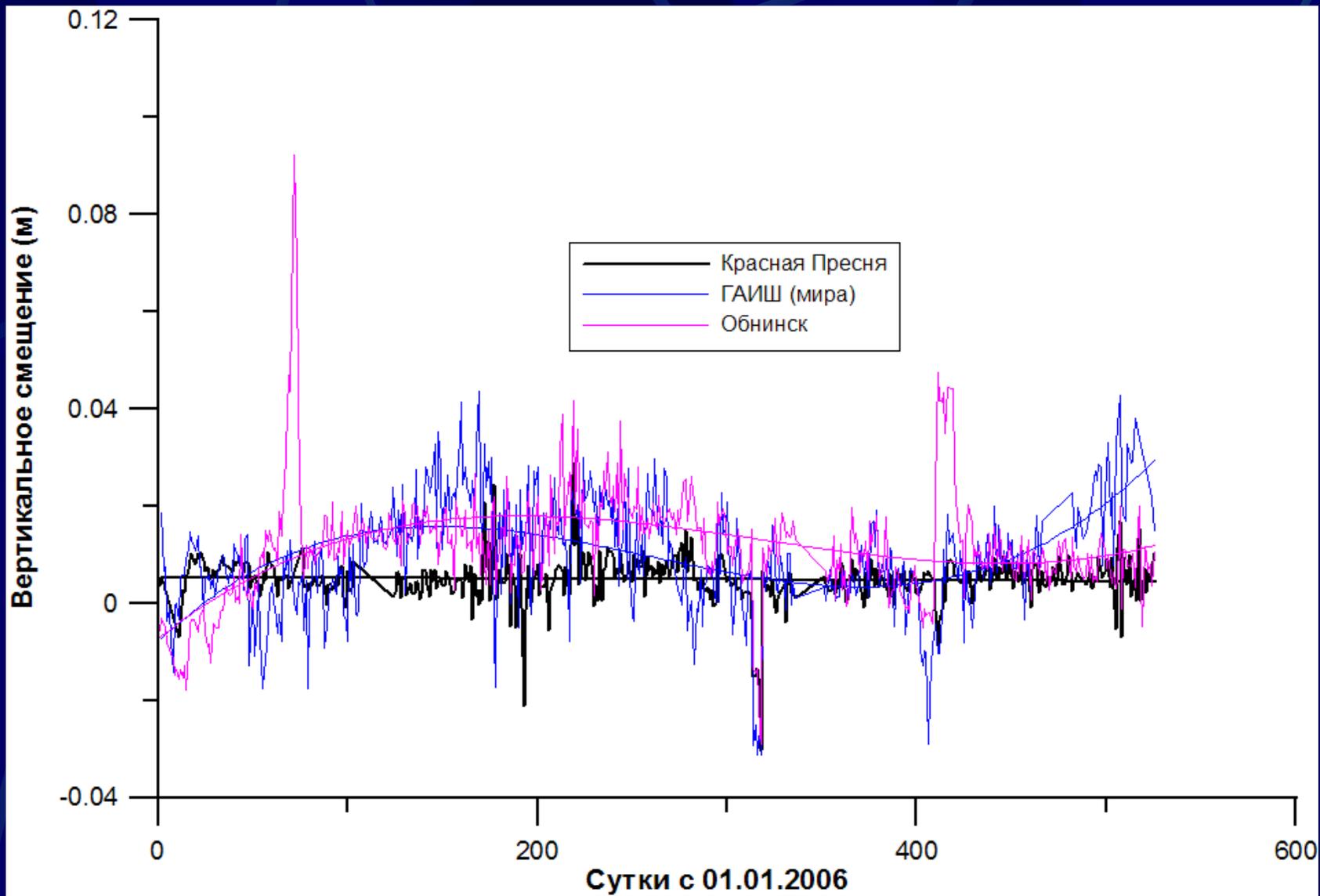
**Благодаря этим особенностям имеется возможность широкого использования программного комплекса BERNESE через локальную сеть ГАИШ — МГУ как для учебных целей, так и для выполнения научных исследований, в частности:**

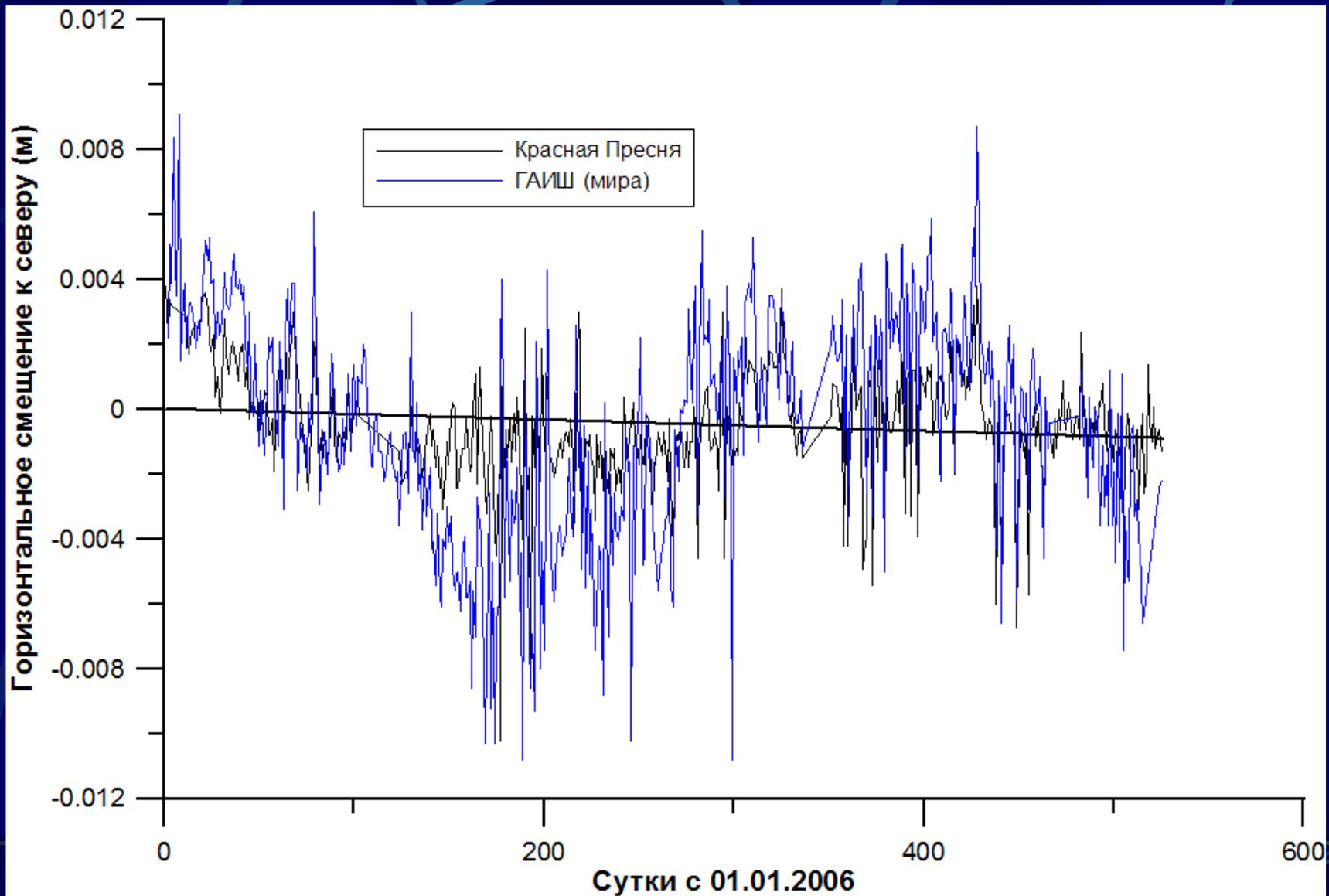
- 1. обработки в оперативном режиме измерений постоянно действующих на стационарных пунктах ГАИШ приемников GPS/ГЛОНАСС типа JPS Legacy (двух в Москве и одного на станции Терскол), а также приемника GPS Trimble в ГАИШ;**
- 2. обработки измерений локальных геодезических сетей, развиваемых ГАИШ в поддержку своих гравиметрических и геофизических исследований;**
- 3. оперативных вычислений параметров орбит спутников модернизируемой системы ГЛОНАСС по данным российских и зарубежных средств измерений;**
- 4. участие в работе Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ) в качестве центра анализа и поставщика измерительной информации; участие в работе Международной геодинамической службы IGS в качестве центра сбора и анализа GPS / ГЛОНАСС / GALILEO измерений, действующего в режиме почти реального времени**

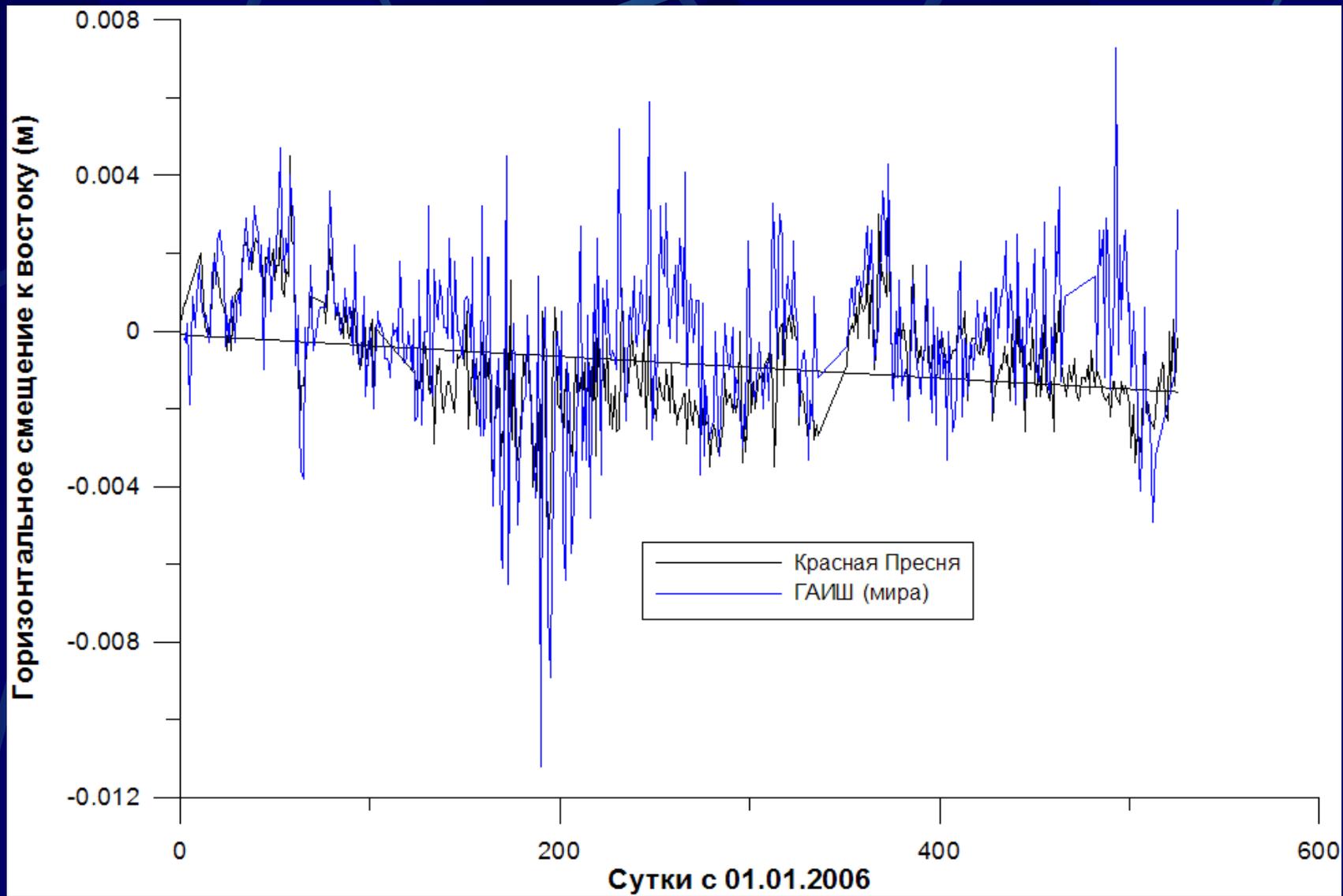
# Динамика Московского региона











## Базовая станция в Калязине

MJD	H(м)	$\Delta H(\text{м})$	$\Delta N$ "	$\Delta E$ "
53920	139.3573	-0.0017	-0.000328	-0.000399
53921	139.3608	0.0018	-0.000283	-0.000278
53922	139.3583	-0.0007	0.000022	0.000038
53923	139.3585	-0.0005	0.000001	-0.000081
53924	139.3549	-0.0041	-0.000102	-0.000067
53925	139.3517	-0.0073	0.000626	0.000169
53926	139.3525	-0.0065	0.000105	0.000307
54283	139.3583	-0.0007	0.000239	-0.000182
54284	139.3555	-0.0035	0.000542	0.000096
54285	139.3579	-0.0011	0.000215	-0.000210
54286	139.3524	-0.0066	0.000652	0.000081
54287	139.3533	-0.0057	0.000615	-0.000042
54288	139.3636	0.0046	0.000601	0.000090
54289	139.3652	0.0062	0.000523	0.000081
54290	139.3683	0.0093	0.000587	0.000187





Вулкан Эльбрус

Станция "Мир"

Пик Терскол

Терскол "Блямба"

Азау

Чегет

Поселок Эльбрус

База ГАИШ МГУ

8.94 км

Image © 2007 DigitalGlobe  
Image © 2007 TerraMetrics  
© 2007 Europa Technologies

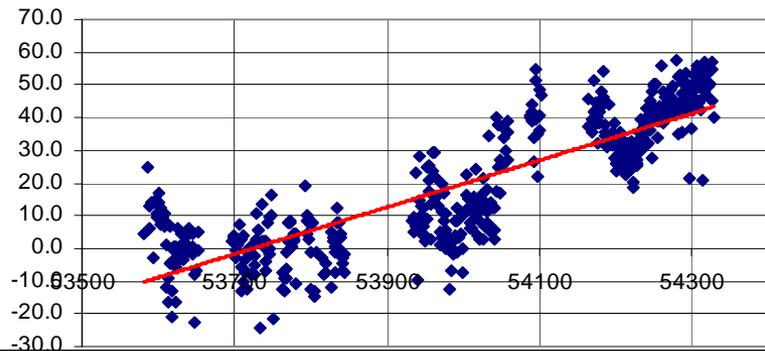
Google

Координаты 43°17'44.72" С 42°34'03.31" В Поточковая передача 100%

Высота камеры 30.88 км

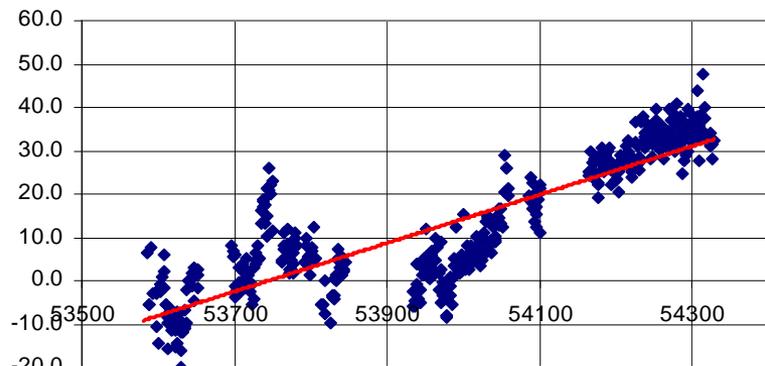
deltaH

$$y = 0.0717x - 3851.6$$



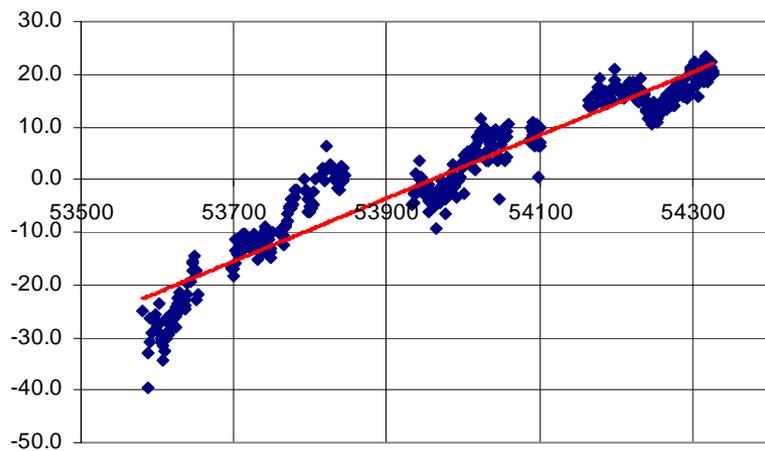
delta(N)

$$y = 0.0558x - 2996.9$$

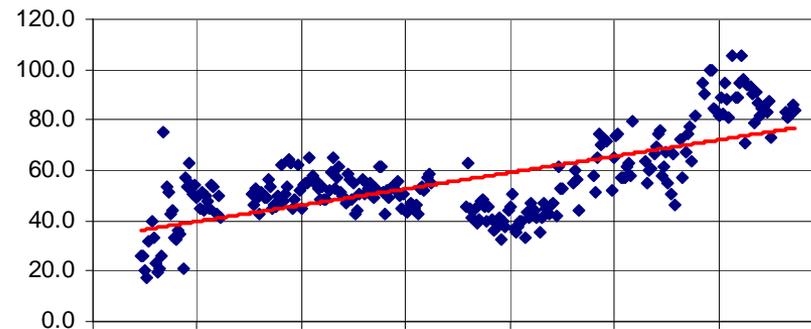


delta(E)

$$y = 0.0598x - 3224.6$$

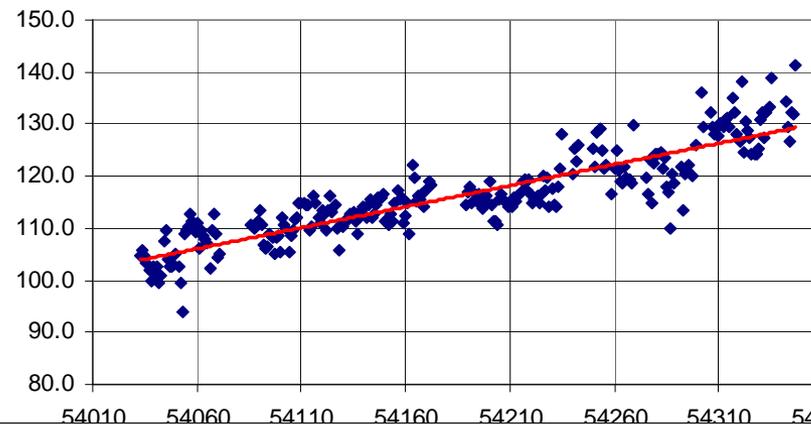


$$y = 0.1294x - 6953.6$$



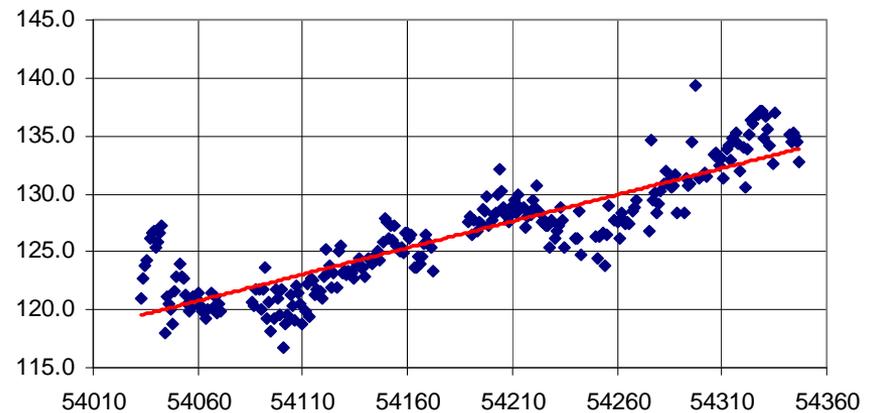
deltaN

$$y = 0.0811x - 4276.7$$



deltaE

$$y = 0.0458x - 2354.4$$



# Выводы

Введены в действие стационарные пункты наблюдений спутников GPS/ГЛОНАСС

Освоено программное обеспечение

Мы можем решать указанные ниже задачи даже с более высокой точностью.

- 1) Построение высокоточной основы для развития государственной геодезической сети:  $3 \text{ мм} + 5 \times 10^{-8} D \text{ мм}$  на каждые 1000 км
- 2) Решение задач глобальной геодинамики: 20-30 мм при неограниченных расстояниях
- 3) Решение задач региональной и локальной геодинамики:  $3 \text{ мм} + 5 \times 10^{-7} D \text{ мм}$  при расстоянии между пунктами 150-200 км

К сожалению все решения получены только по наблюдениям спутников GPS!!!

## **Задачи**

**Использование при обработке спутников ГЛОНАСС:  
уточнение орбит, вычисление поправок к бортовым  
часам**

**Автоматизация сбора данных**

**Организация онлайн-обработки; использование  
часовых серий для уточнения параметров вращения  
Земли**

**Вхождение в международную сеть IGS**

## **Состав группировки КНС ГЛОНАСС на 22.11.2007г.**

<b>Всего в составе ОГ ГЛОНАСС</b>	<b>20 КА</b>
<b>Используются по целевому назначению</b>	<b>9 КА</b>
<b>На этапе ввода в систему</b>	<b>3 КА</b>
<b>Временно выведены на техобслуживание</b>	<b>4 КА</b>
<b>На этапе вывода из системы</b>	<b>4 КА</b>