

1



Российская академия наук
Научная станция в г. Бишкеке

Лаборатория изучения современных движений земной
коры методами космической геодезии (ЛГПС)



Методические задачи и проблемы GPS наблюдений (на примере Бишкекского геодинамического полигона)

Кузиков Сергей Иванович

Бишкек-Москва – 2012 г.

Методические задачи в решении проблем точности GPS наблюдений

- 1) Навигационные спутниковые системы.
- 2) GPS и современные движения земной коры.
- 3) Сети измерений.
- 4) Оснащение и условия измерений пунктов.
- 5) Обработка GPS данных программой GAMIT/GLOBK.
- 6) Оценка среднего сигнала и ошибки векторной системы.
- 7) Определение абсолютной точности суточных GPS измерений.
- 8) Корректность анализа векторных систем.

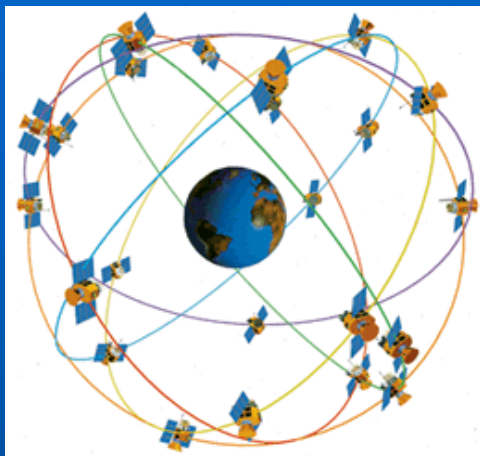
Навигационные спутниковые группировки

1. GPS (США),
2. ГЛОНАСС (Россия),
3. GALILEO (Европейское сообщество),
4. BeiDou COMPASS (Китай),
5. ...

Параметры сравнительной оценки

1. Доступность, количество одновременно видимых спутников
(из 6-12 фиксируемых спутников, только 1-4 – ГЛОНАСС).
2. Регистрирующее оборудование
(Trimble, Topcon, Ashtech, Turbo Rogue, Leica).
3. Наличие и развитие программного обеспечения
(GAMIT/GLOBK, BERNES).
- 4) Банк данных и дополнительная информация для обработки
(<http://www.unavco.org/>).

Система Глобального Позиционирования (GPS – Global Positioning System)



GPS – система навигационных спутников Земли (≥ 24 , в 6 плоскостях, обращение – 12 часов, высота ~ 20200 км), группа наземных станций слежения и корректировки, служба вспомогательной информации.

GPS позволяет в течении нескольких минут с точностью до первых метров круглосуточно определять положение объекта с GPS-навигатором, находящегося под открытым небом и не зависимо от погодных условий.

Если на специально оборудованном пункте проводить GPS измерения в течение нескольких суток соответствующей аппаратурой и затем эти GPS данные подвергнуть специальной обработке, то возможно получить координаты пункта с точностью до нескольких миллиметров.



GPS исследования современных движений земной коры (СДЗК)

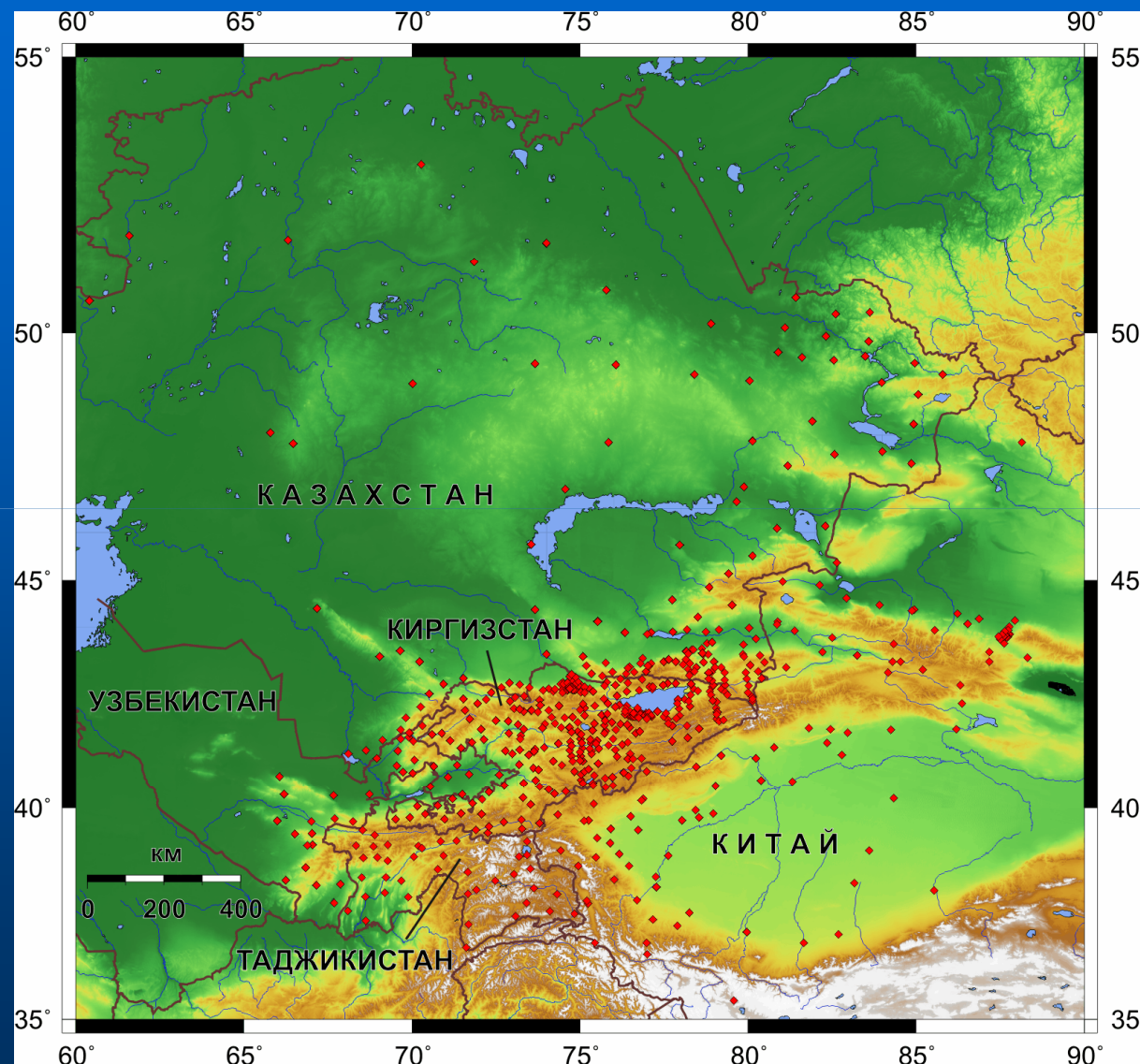
Если величины ошибок позиционирования меньше уровня смещений пунктов, то GPS может быть использован как прямой метод при геодинамических исследованиях для определения количественных параметров современного движения приповерхностной части земной коры.

При этом пункты наблюдений должны быть оборудованы таким образом, чтобы обеспечить многократную высокоточную привязку антенны к измеряемой реперной марке. А сама марка не должна испытывать движений, связанных с экзогенными и техногенными процессами, если только не стоит задача их исследования.

Для получения адекватных и качественных оценок СДЗК естественно стремление иметь в пределах исследуемого района сеть с максимальной плотностью GPS пунктов, и желательно с перманентным режимом наблюдения. Однако достичь этого практически никому не удастся.

Основным параметром СДЗК пока остается усредненная за несколько лет скорость GPS пункта при эпизодических (одно измерение в течение 1-3 суток за 1-3 года). Лишь изредка исследуются временные вариации параметров движения пунктов, с дискретностью в год, месяц или день.

Центрально-Азиатская GPS сеть

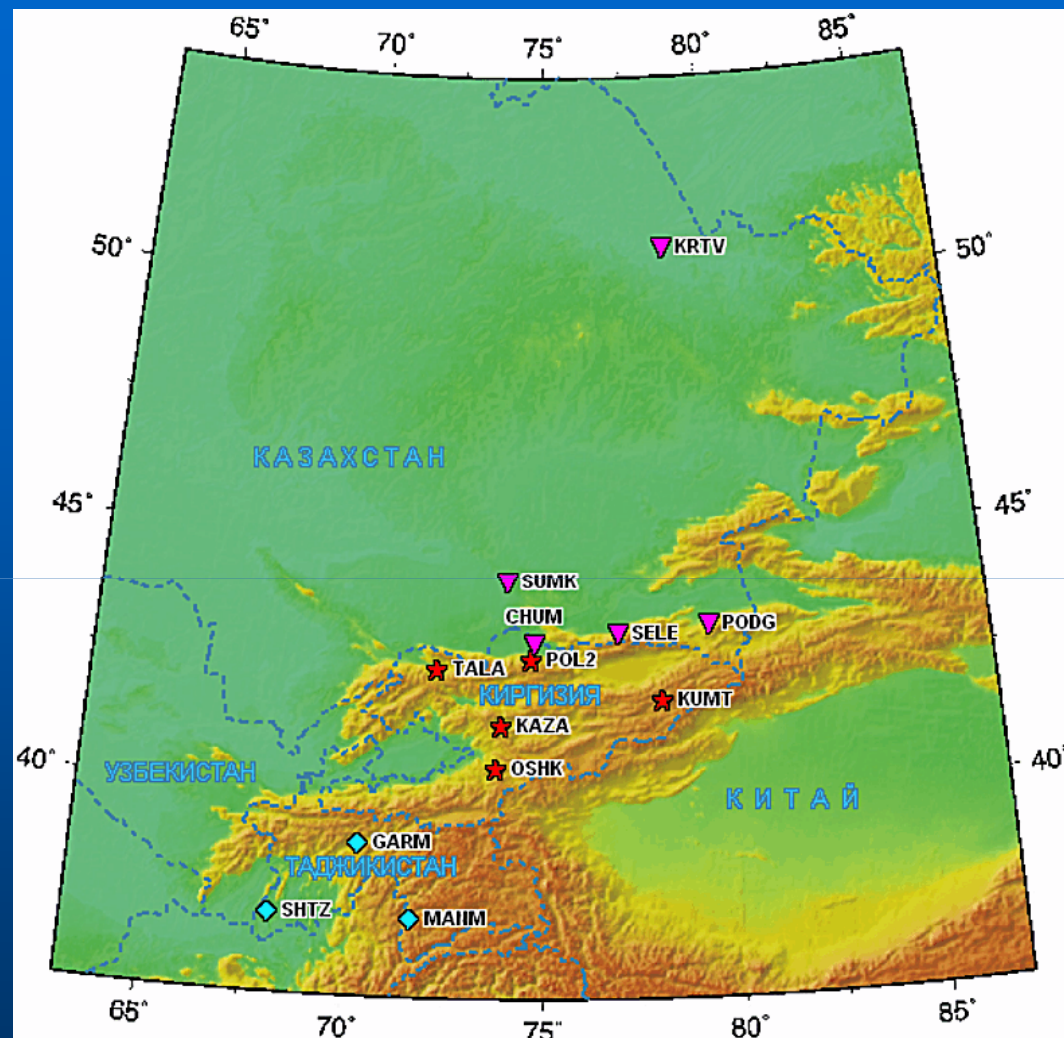


Становление GPS сети в Центральной Азии началось в 1992 г.

В настоящее время она объединяет 639 пунктов на территории Киргизии (319), Казахстана (169), Таджикистана (42), Узбекистана (35) и Китая (74).

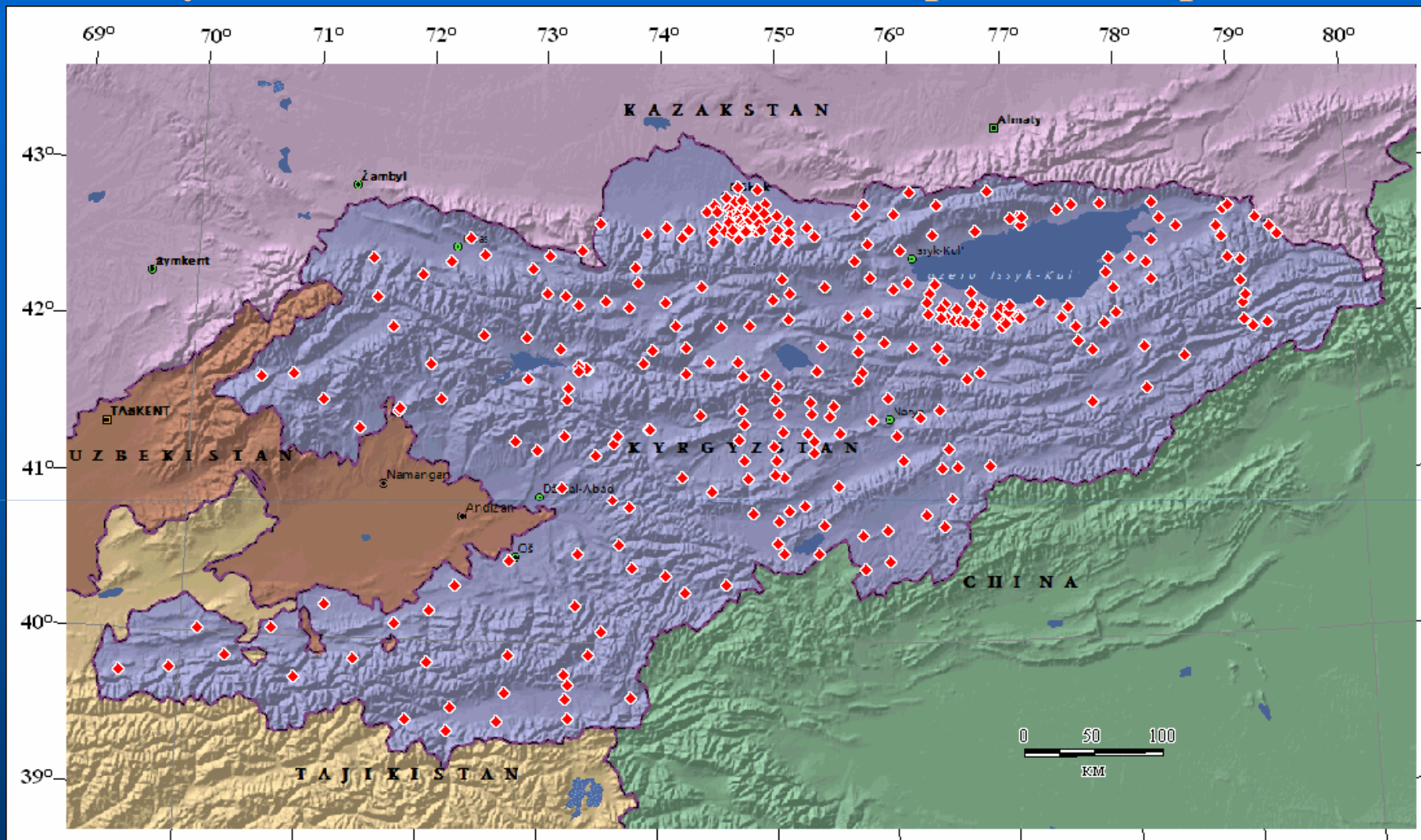
Для этих пунктов есть данные хотя бы одного GPS измерения в базе данных НС РАН.

GPS станции непрерывного наблюдения



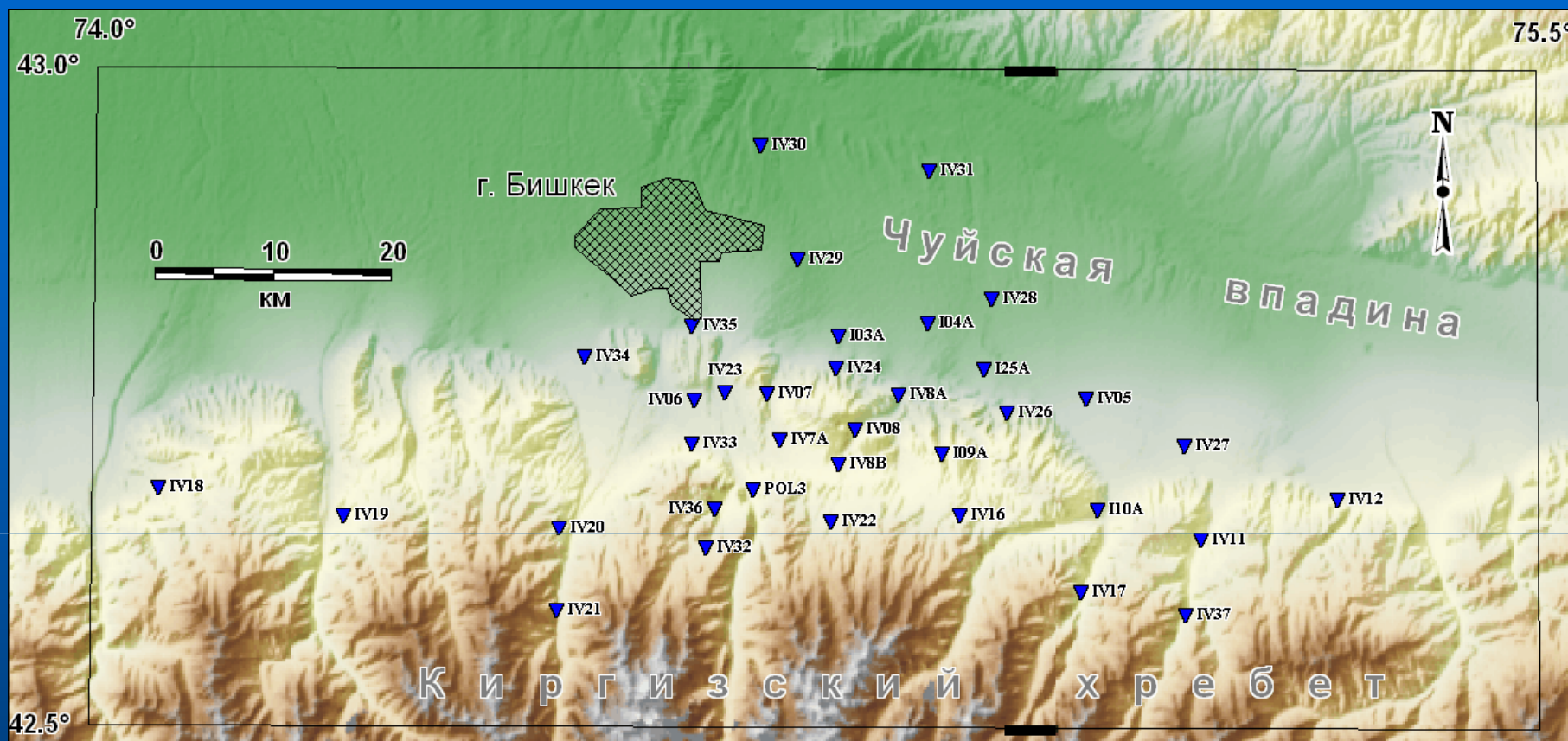
Положение 13 перманентных GPS станций, с которых НС РАН производит сбор данных в пределах Казахстана (5), Киргизстана (5) и Таджикистана (3).

Пункты эпизодического GPS измерения в Киргизии



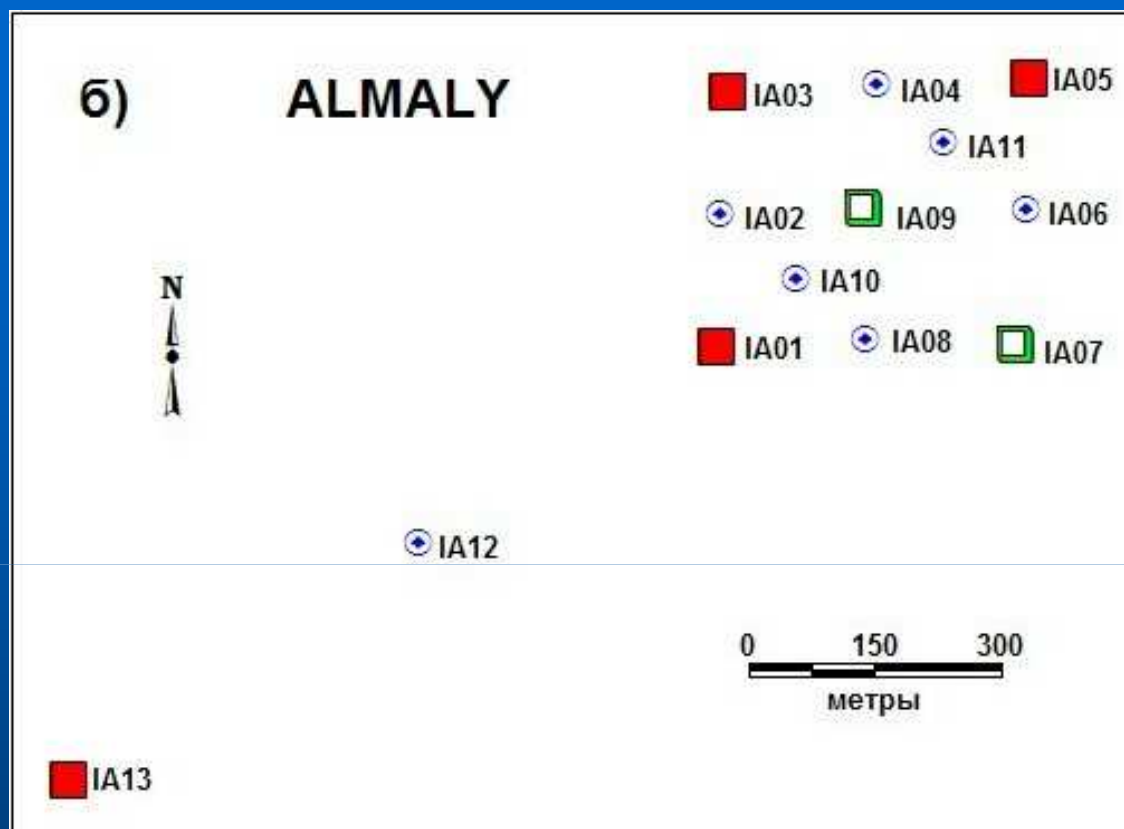
Распределение по территории Киргизии 319 GPS пунктов, которые удалены друг от друга в среднем на 30-35 км, при максимальной дистанции до 200 км. Первые GPS наблюдения произведены в 1992г. За малым исключением GPS измерения продолжаются и сейчас не реже 1-3 года силами ИС РАН.

Бишкекская локальная GPS сеть



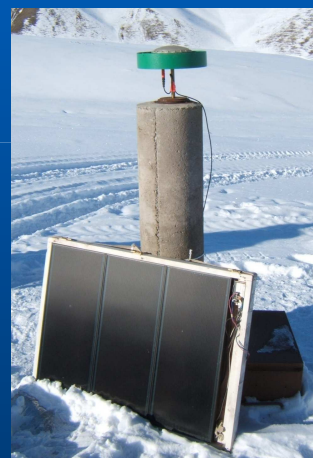
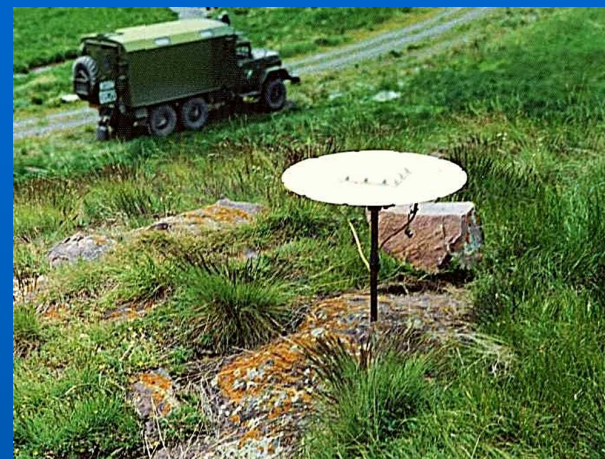
Заложена в 1997г и первоначально состояла из 25 пунктов. В первое время частота опросов локальной GPS сети достигала 16 раз год. В 2002-2003гг. проведено расширение и уплотнение локальной сети до 50 пунктов. В настоящее время регулярному измерению подлежат 36 пунктов 4 раза в год 4-мя полевыми бригадами. Пункты находятся друг от друга на расстоянии от 2 до 40 км и среднее расстояние между ними составляет ~ 9 км.

10 Перманентные GPS измерения на геодезической площадке



Положение GPS станций непрерывного наблюдения (квадратные цветные маркеры) на фундаментальных тумбах площадки ALMALY. Зеленые маркеры – пункты, измеряемые до середины 2007 г; красные – пункты, на которых ведутся GPS наблюдения по настоящее время. Расстояния между тумбами от 220 до 1420 м, в среднем – ~610 м.

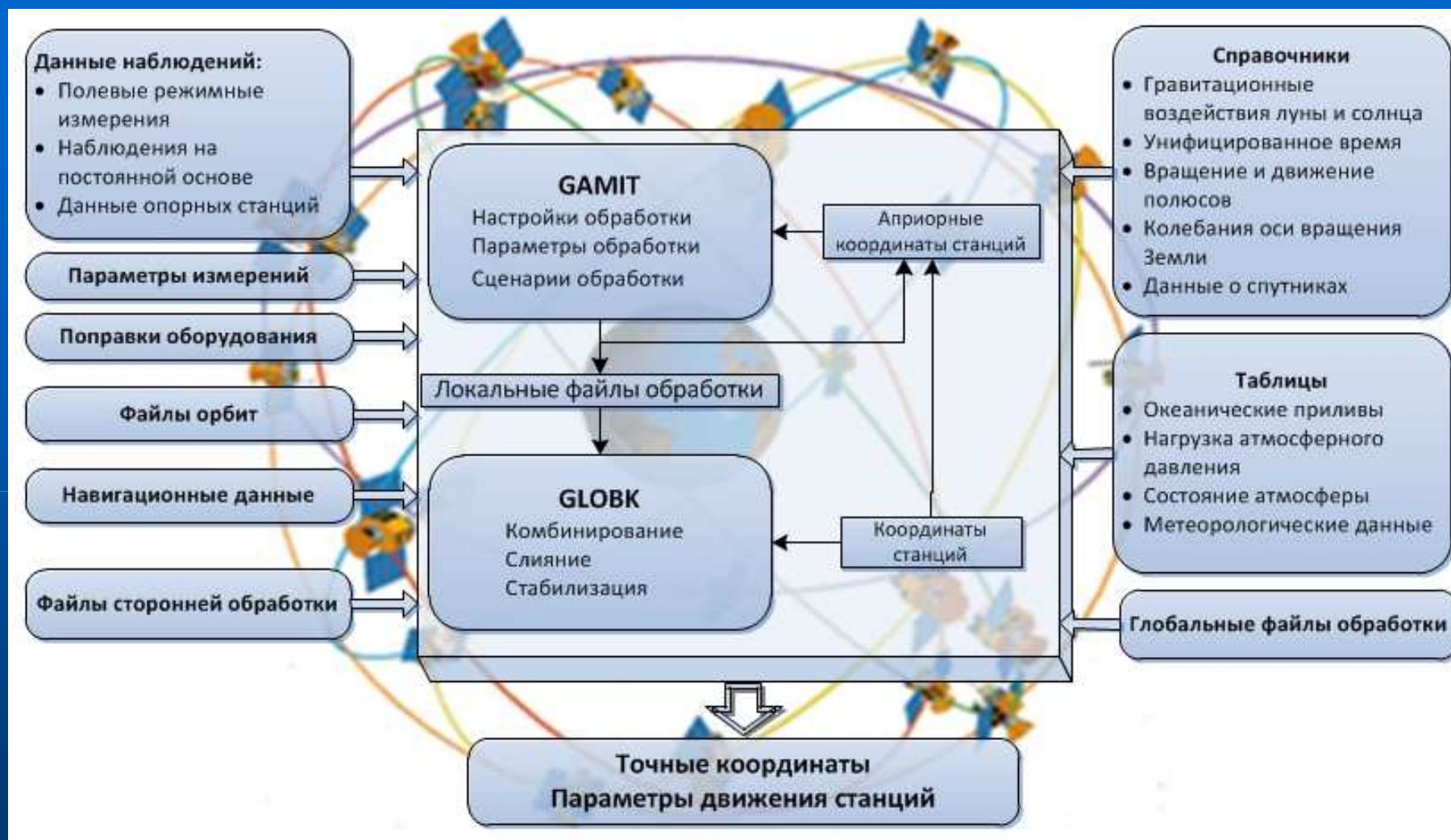
Оснащение и условия измерений GPS пунктов



С 1992 г измерения региональных пунктов Центрально-Азиатской GPS сети выполнялись с использованием геодезического штатива.

С 1995 года в ИС РАН разработана технология и изготовлено оборудование для закладки и измерения GPS пунктов на штыревом основании с принудительным резьбовым (или втулочным) центрированием.

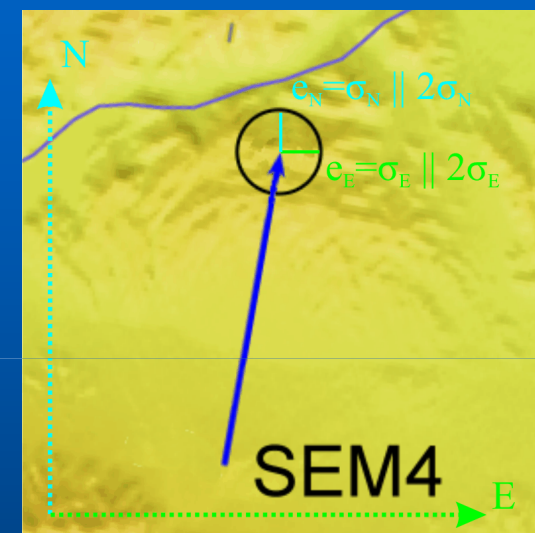
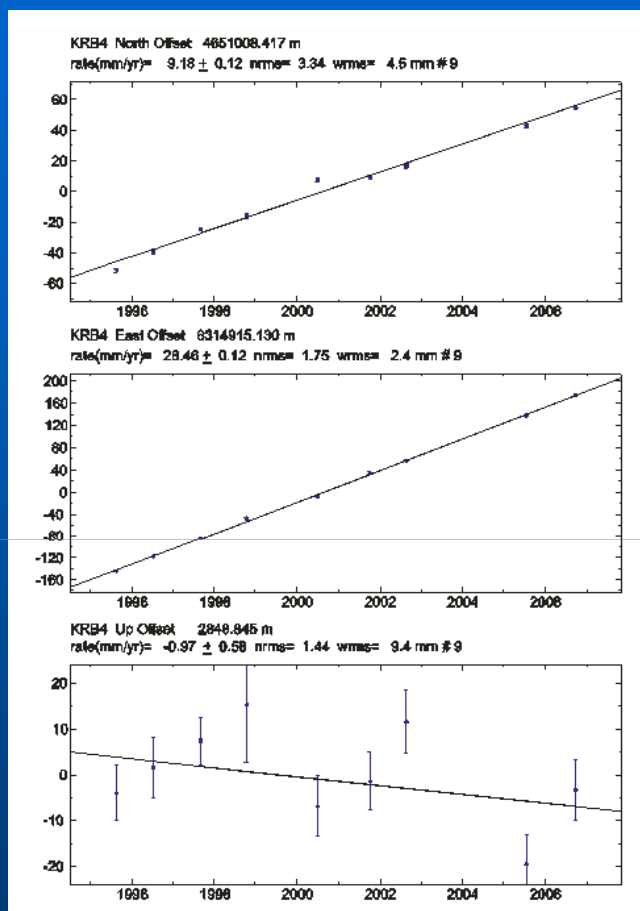
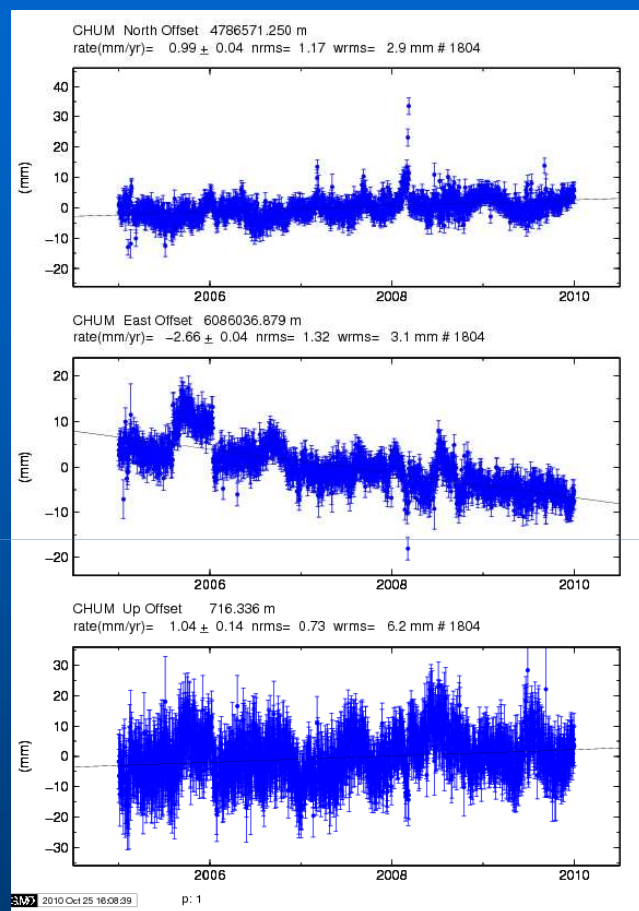
В 2007 г американские коллеги предложили использование раскладной двух реечной опоры при GPS измерениях



Настройка GAMIT/GLOBK и разработка специальных процедур выбора стабилизированных систем отсчета позволяют уменьшить ошибки расчетов и более отчетливо обозначать геодинамические компоненты движений.

Обработка GPS данных пакетом GAMIT/GLOBK

Временные ряды координат и оценки ошибок скорости



Параметры вектора скорости определяются по каждой компоненте прямолинейной аппроксимации временного ряда координат.

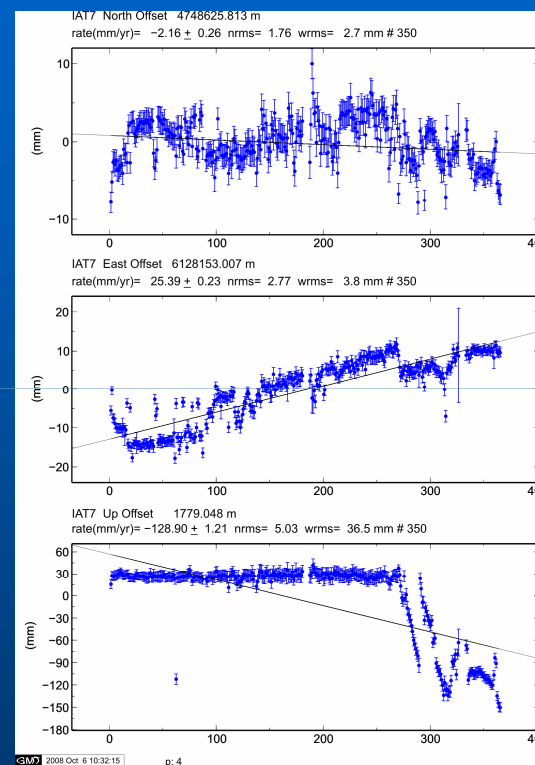
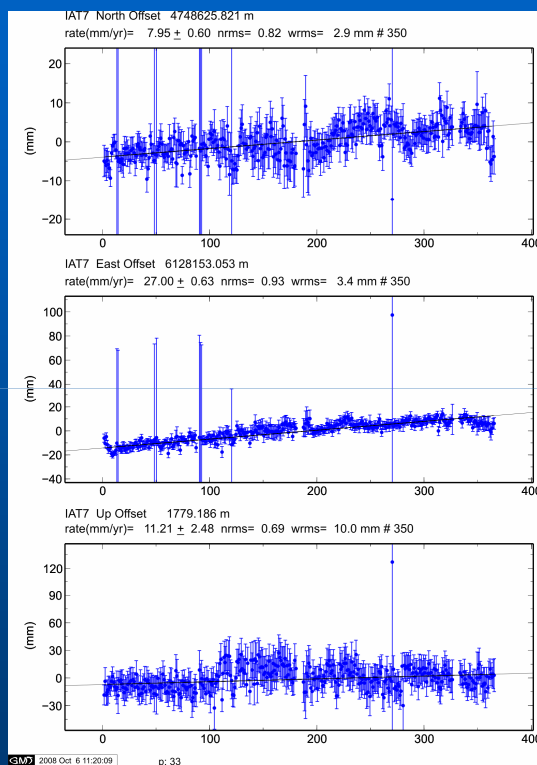
Покомпонентная оценка ошибок вектора скорости чаще принимается как 1 или 2 стандартных отклонения (σ) координаты от прямолинейного тренда.

Обработка GPS данных пакетом GAMIT/GLOBK

Проблема выбора условий стабилизации системы отсчёта

Измерения пункта IAT7 за 2006 г, стабилизация по IGS станциям:

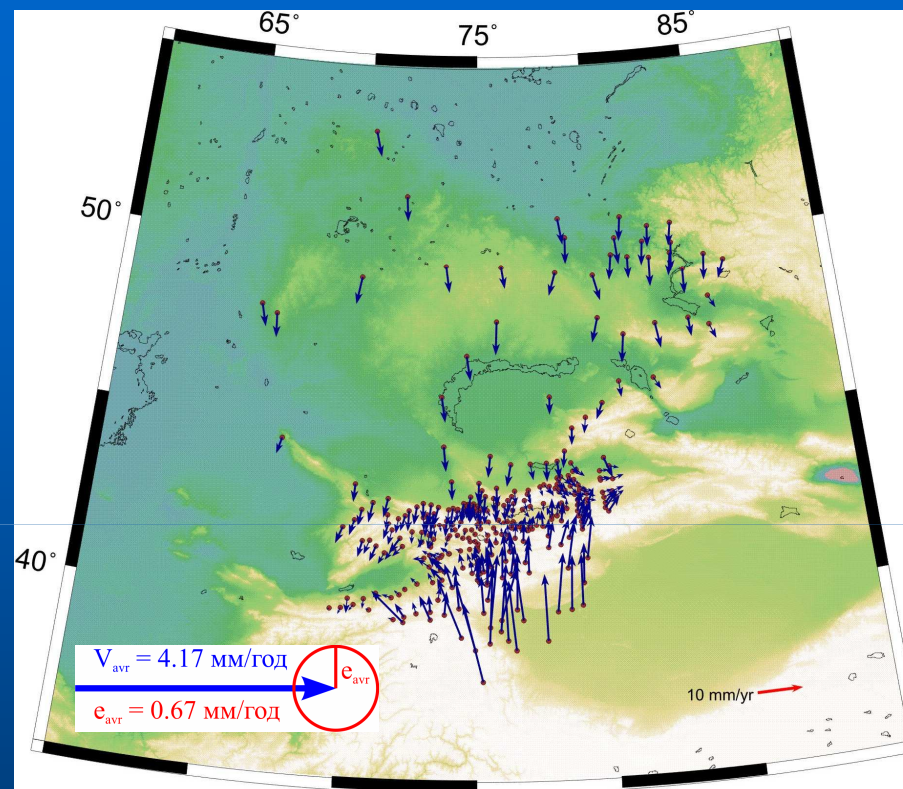
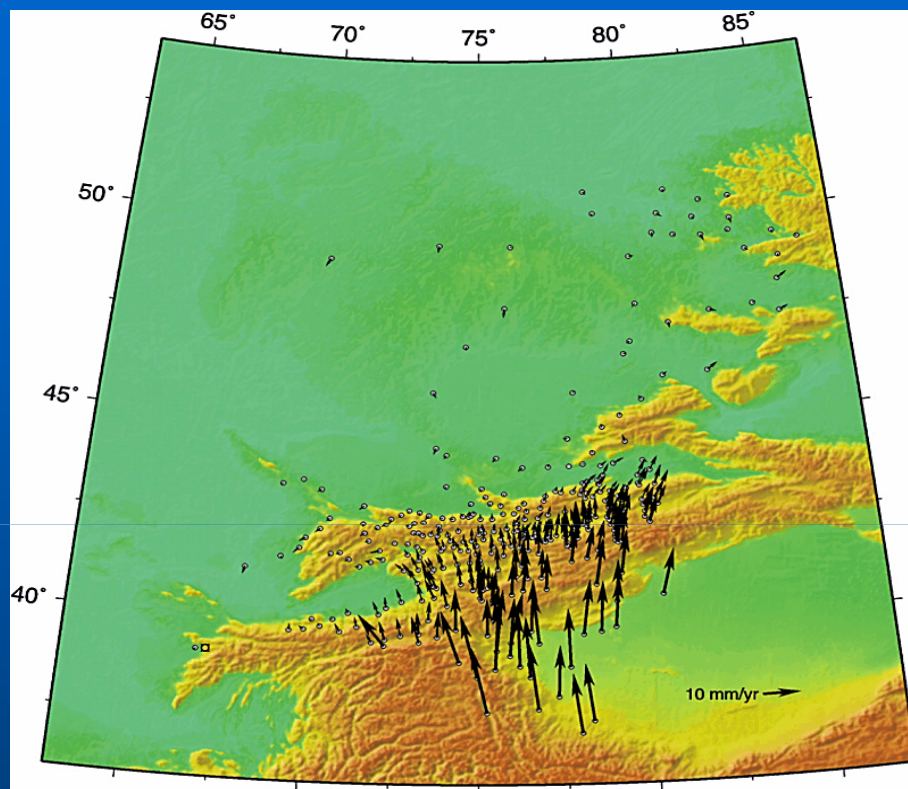
90 глобальным **4 ближайшим**



При разном наборе стабилизирующих станций и разных параметрах их использования можно получить существенные различия во временных рядах координат для одних и тех же данных.

При обработке первичных GPS данных и расчёте векторов скорости пока нет строгих правил выбора стабилизирующих IGS станций.

15 Оценка среднего минимального сигнала и средней ошибки векторной системы

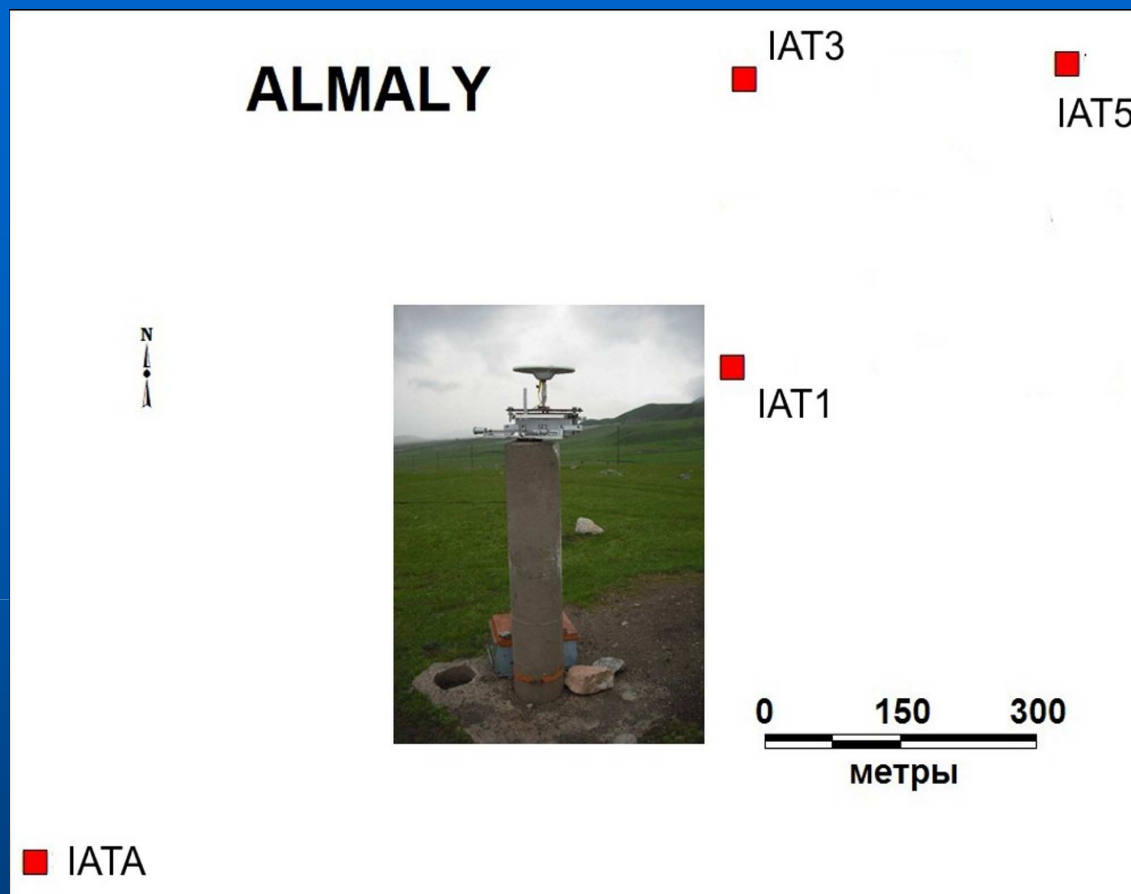


Для системы 323 горизонтальных векторов скорости ($\sigma_{NE} \leq 1 \text{ мм/год}$) Центрально-Азиатской GPS сети за 1995-2005 гг. наблюдений была применена процедура перехода к минимизирующей системе отсчёта. В результате система отсчета смещается в пространственный центр данных и сумма всех векторов становится равна нулю. Остался только полезный сигнал для анализа внутренней структуры. Средняя длина векторов скорости составила 4.17 мм/год, а среднее значение $2\sigma_{NE} = 0,67 \text{ мм/год}$. Эту величину можно считать средней ошибкой данной векторной системы, которая составляет $\sim 16\%$ от среднего вектора скорости.



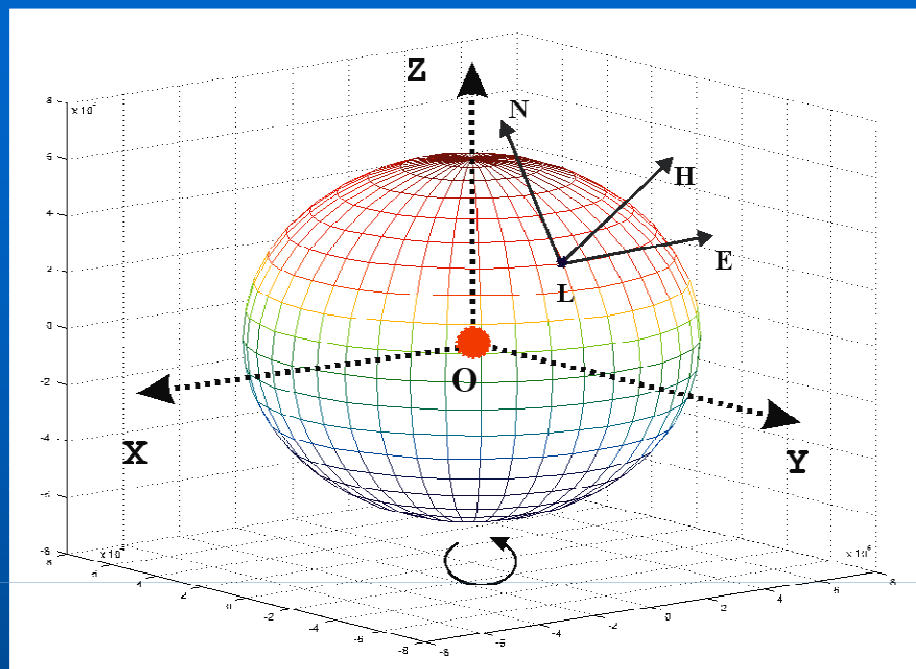
Инструмент изготовлен сотрудниками ИС РАН, позволяет искусственно смещать геодезические приборы в трехмерном пространстве на заданные величины от 1мм до 8-20 см.

17 Эксперимент по смещению GPS антенны 3D-корректором



Для оценки порога точности определения трехмерных координат GPS методом были проведены специальные измерения на четырех тумбах геодезической площадки в течении 6 полных суток. На пункте IAT1 GPS антенна была закреплена на 3D-корректоре для изменения положения антенны в трех направлениях (N, E, H) по схеме $0+2+4+6+8+10=30$ мм. Новое положение антенны устанавливалось в начале новых суток по Гринвичу с 30 минутным перерывом.

Переход к локальной системе координат

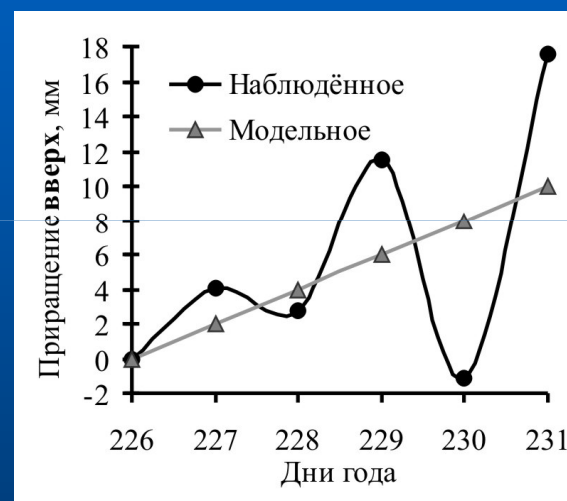
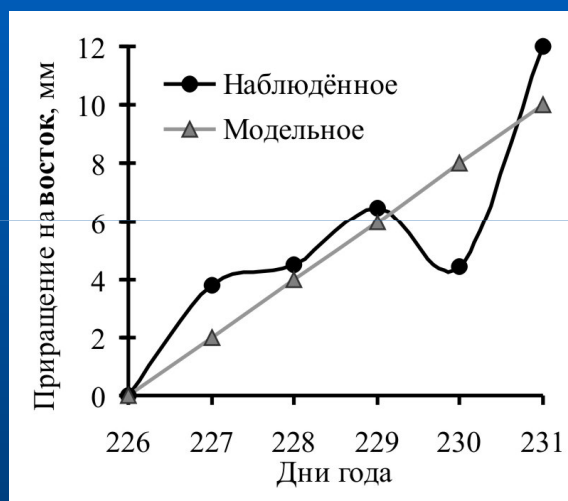
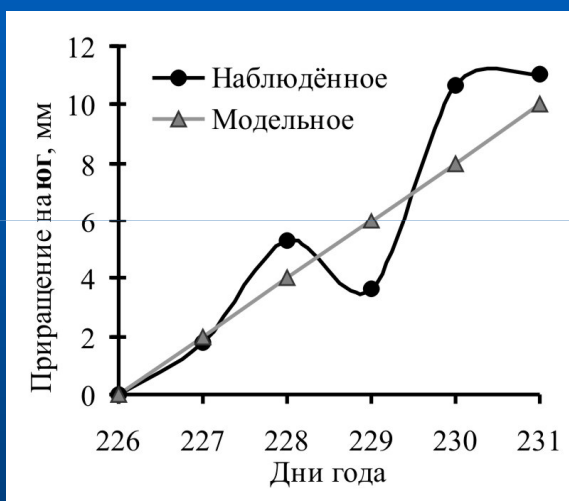
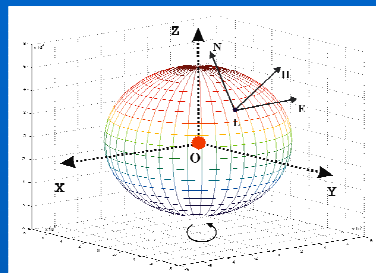


Посуточные положения пунктов рассчитывались ПО GLOBK в Картезианской геоцентрической системе координат – OXYZ. O - центр масс Земли; OZ – ось вращения, соединяет южный и северный полюса; плоскость XOZ проходит через меридиан Гринвича.

Смещения антенны на IAT1 происходило в локальной системе координат – LNEH, где L - Центр системы координат выбирается исследователем; LH – ось вертикальной компоненты; LN – ось северной компоненты, пересекает ось OZ; LE – ось восточной компоненты.

Координаты точки $M(x;y;z)$ из OXYZ преобразуются в координаты $M(n,e,h)$ LNEH известными стандартными формулами.

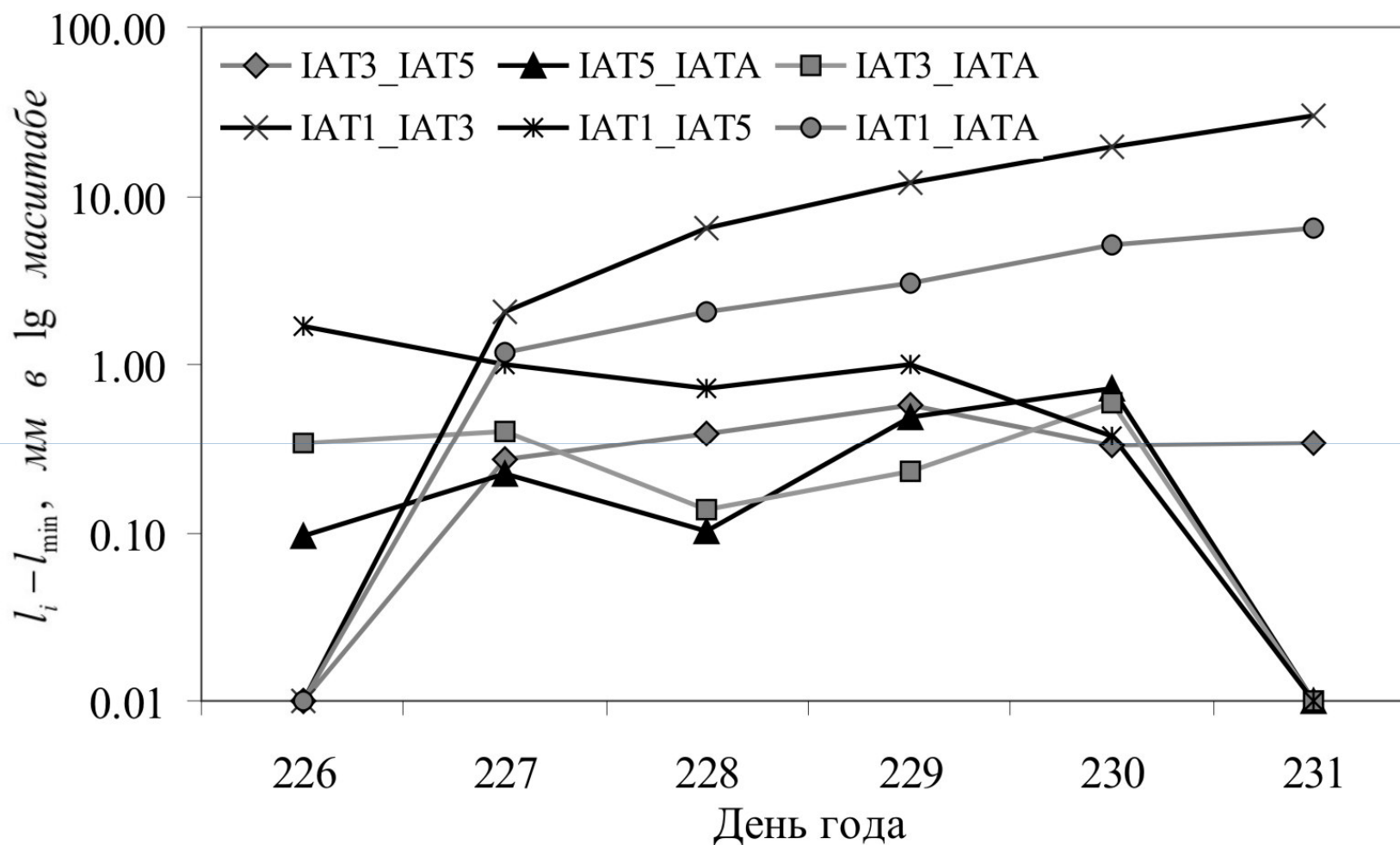
Результаты сравнения при переходе к локальной системе координат через усредненный статичный центр L



Модельные и наблюдаемые графики посуточных приращений координат пункта IAT1. Наблюдённые приращения компонент вычислены относительно усредненного статичного пространственного центра L .

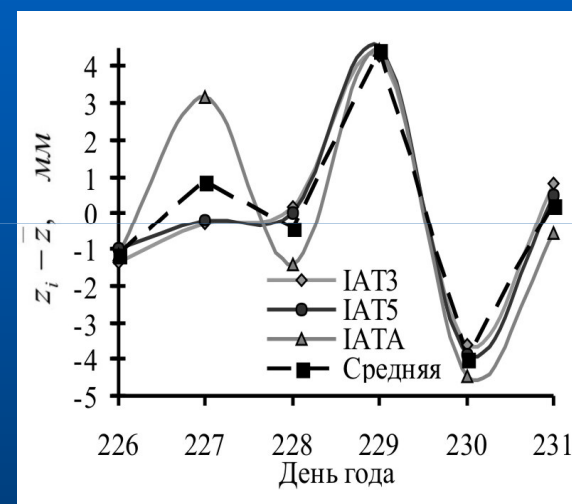
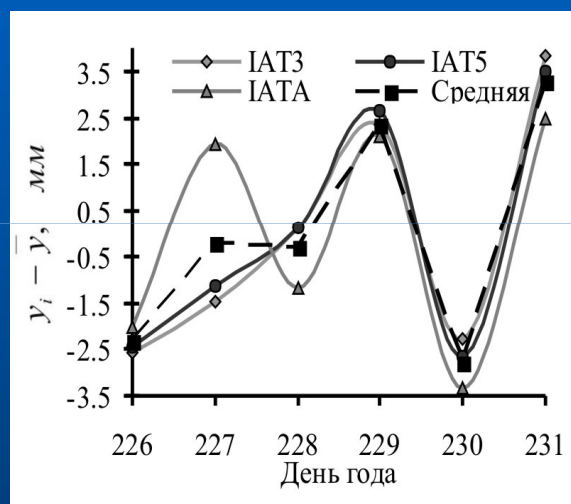
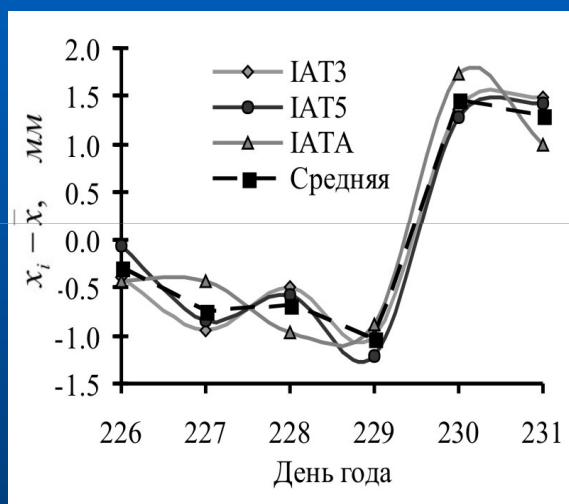
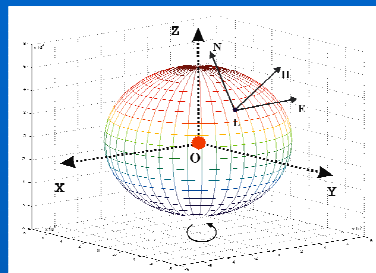
При этом, максимальные значения посуточных расхождений оцененных по GPS данным движений от реальных смещений по северной компоненте составляет ~ 2.7 мм, по восточной — ~ 3.7 мм, а по вертикали — ~ 9.1 мм.

Посуточные вариации длин базовых линий между GPS пунктами



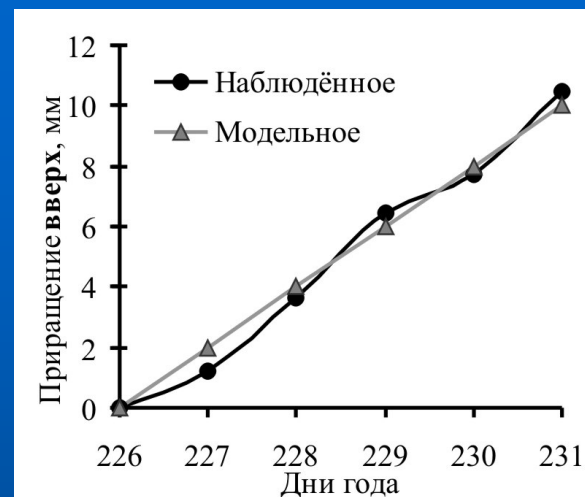
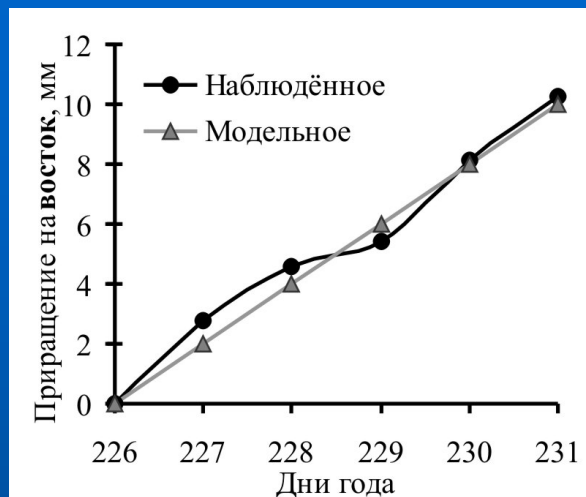
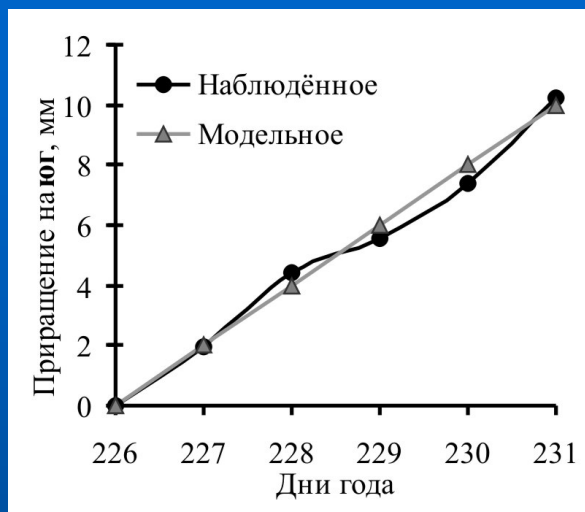
Базовые линии между не смещаемыми GPS станциями IAT3, IAT5, IATA изменяются в пределах 0,7 мм за весь период эксперимента.

Переход к локальной системе отсчета через ежедневно меняющийся центр L



Вариации центрированных координат недвижимых пунктов IAT3, IAT5, IATA в $OXYZ$. Пунктирные линии – средние графики посуточного положения недвижимых пунктов по каждой компоненте. Квадратные маркеры – начало координат на каждые сутки для $LNEH(i)$. По сути проведена операция стабилизации системы отсчета.

Результаты сравнения при переходе к локальной системе отсчета через усредненный за каждый день центр L



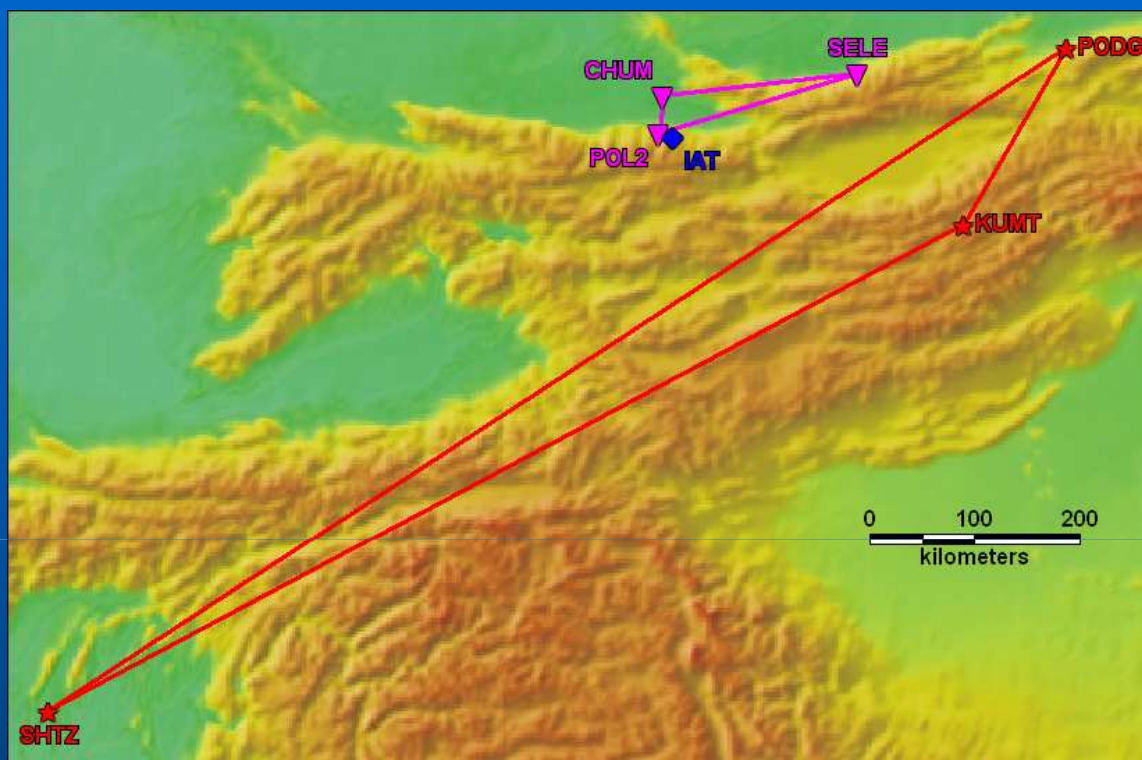
Вариации координат N, E и H в стабилизированной локальной системе отсчета недвижимых станций достигают: 0.4 мм, 0.7 мм и 4 мм соответственно.

При этом, максимальные значения посуточных расхождений оцененных по GPS данным движений от реальных смещений составляют:

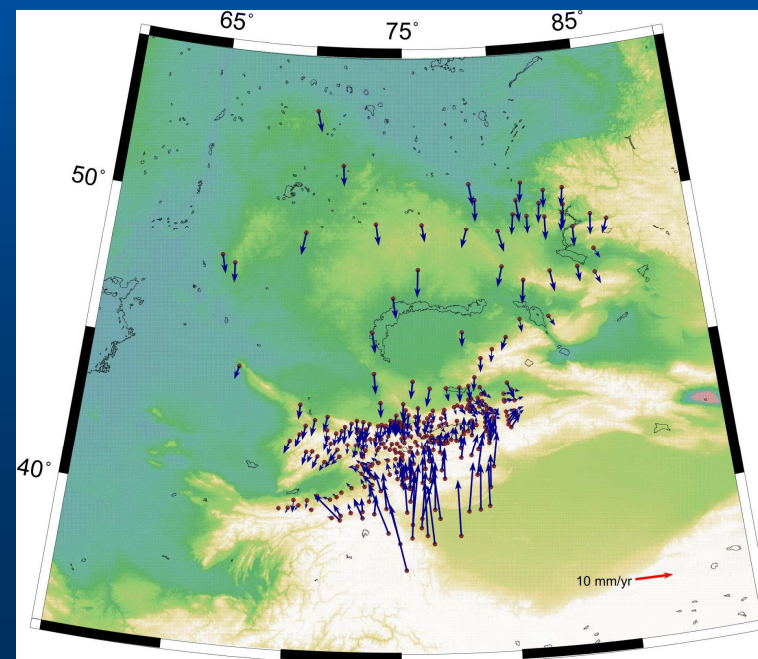
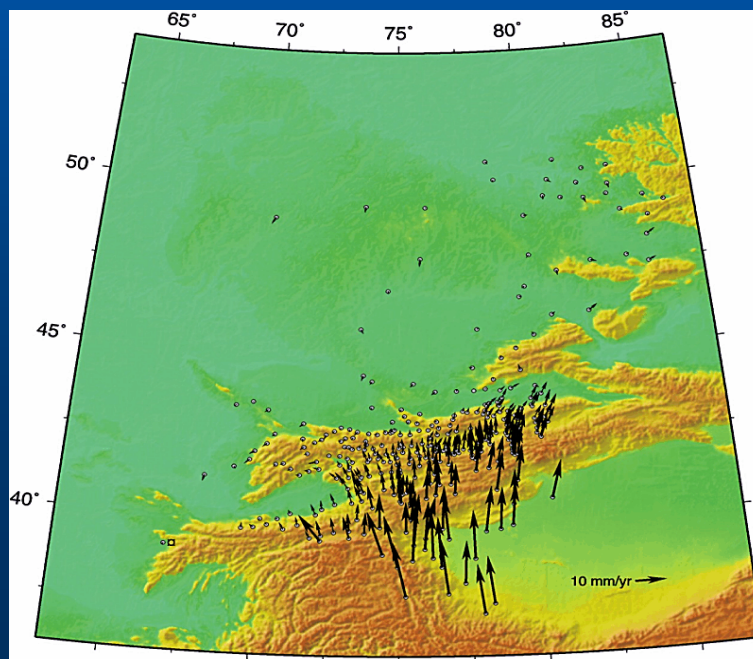
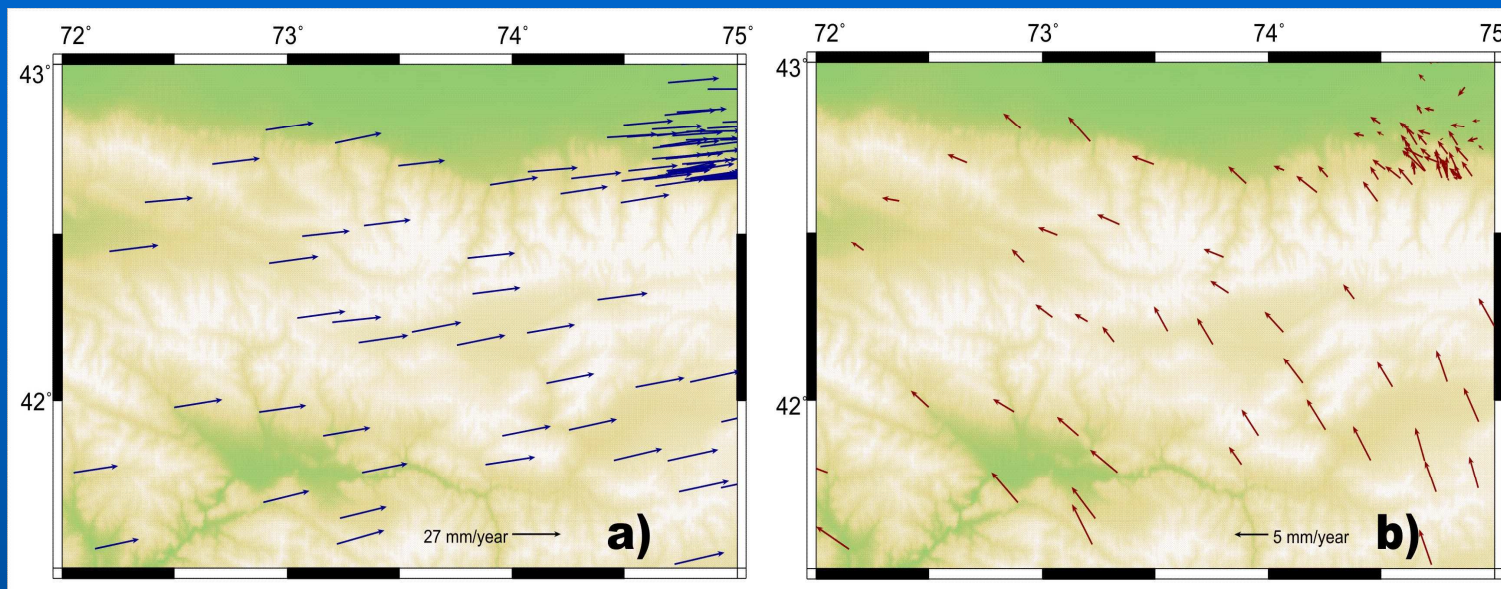
GPS пункты для стабилизации	Ср. расст., км	Ср. коэфф. корр. для координат	Точность воспроизв-я движений, мм:		
			Северная	Восточная	Вертикальн.
IAT3, IAT5, IATA	0.97	0.89	0.62	0.78	0.80

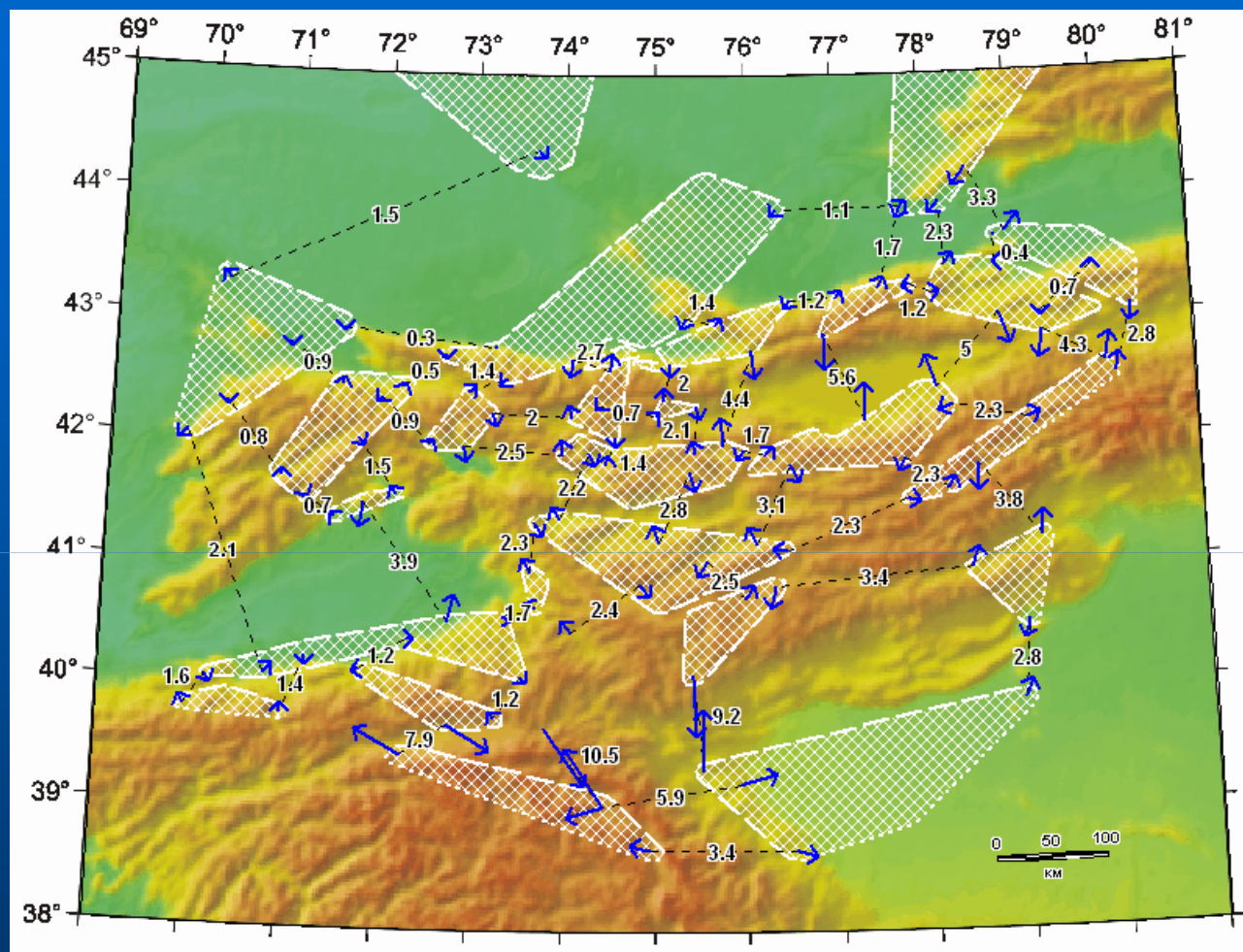
23

Результаты сравнения наблюдаемых и реальных смещений при удалении пунктов стабилизации



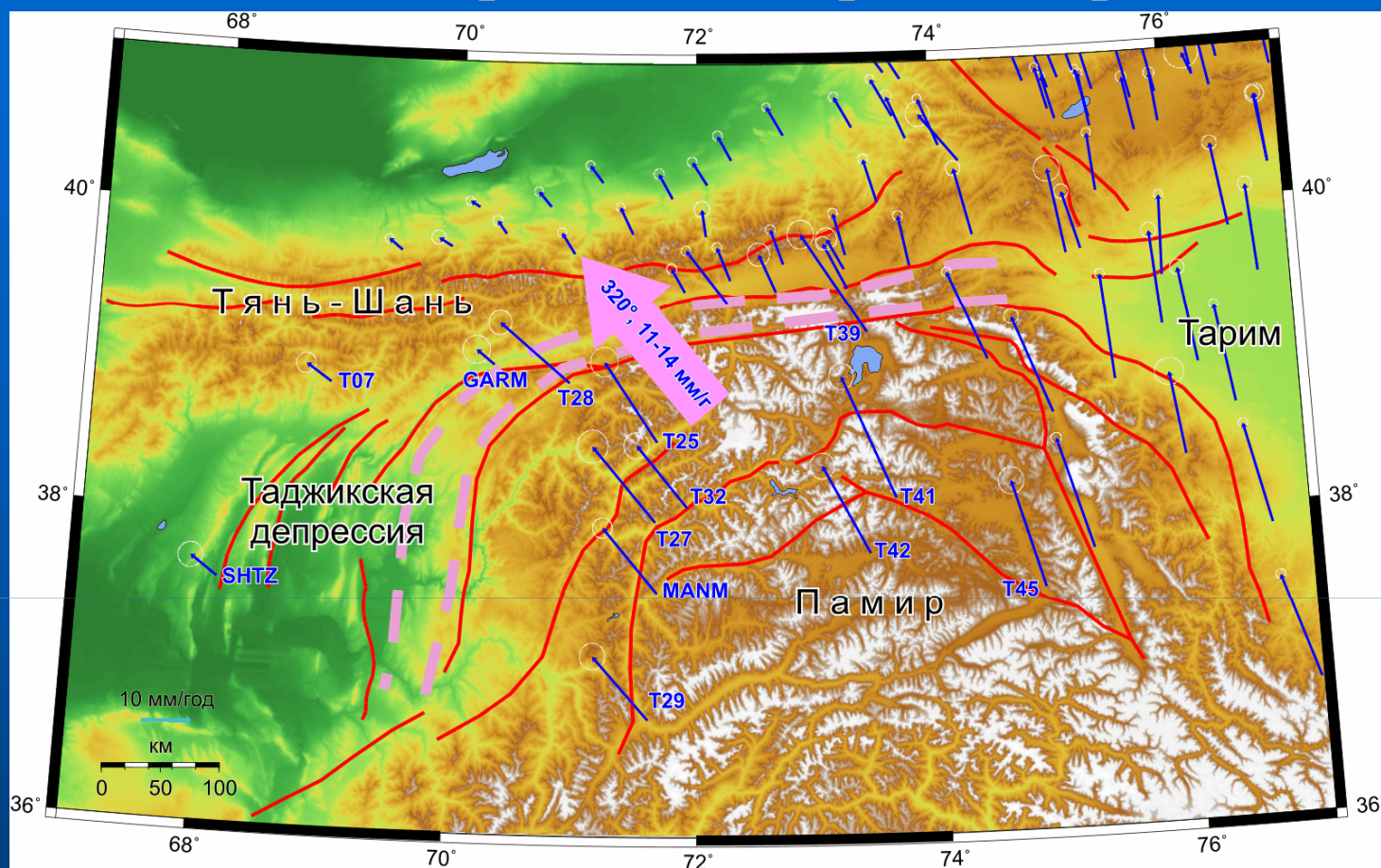
GPS пункты для стабилизации системы отсчета	Среднее расстояние, км	Средн. коэфф. корр. между коорд.	Точность воспроизведения движений по компонентам, мм:		
			Северная	Восточная	Вертикальная
IAT3, IAT5, IATA	0.77	0.89	0.62	0.78	0.80
SELE, CHUM, POL2	139.63	0.86	1.34	0.86	3.62
KMTR, PODG, SHTZ	777.85	0.73	2.39	1.41	6.70





Величины скоростей
междоменных
смещений в несколько
раз превышают
отклонения скоростей
от скоростей жёсткого
целого внутри доменов
(ср. ~ 0.35 мм/год).

Парные относительные смещения точек квазижестких доменов. Пунктир соединяет пункты, движущиеся друг относительно друга в направлении стрелок. Длины стрелок пропорциональны величинам модельных векторов скорости в мм/год. Каждый домен характеризуется параметрами вращения.



Горизонтальные векторы скорости в районе Памирских гор за 2007-2010 гг. измерений в системе отсчета EURA 2005. Сиреневым пунктиром обозначена зона максимальных потерь скорости. Сиреневая стрелка – направление и скорость современных движений Памирского горного массива относительно Тянь-Шаня и Таджикской депрессии. Между крайними пунктами Памира фиксируются различия векторов скорости в 3-10 мм/год.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

