

Изучение кинематики
горизонтальных перемещений
Верхнего Приамурья методами
космической геодезии

Докладчик: Жижерин Владимир Сергеевич,
аспирант ИГиП ДВО РАН

Научный руководитель: д.г.-м.н. Сорокин А.А.

Навигационные системы NAVSTAR GPS и ГЛОНАСС состоят из трёх основных подсистем:



Сравнительные характеристики систем ГЛОНАСС и GPS

Космический сегмент систем ГЛОНАСС и GPS

Подсистема космических аппаратов ГЛОНАСС



Подсистема космических аппаратов GPS



Показатель	ГЛОНАСС	GPS
Число КА в полной орбитальной группировке	24	24
Число орбитальных плоскостей	3	6
Число КА в каждой плоскости	8	4
Наклонение орбиты	64,8°	55°
Высота орбиты, км	19 130	20 180
Период обращения спутника	11 ч. 15 мин. 44 с	11 ч. 58 мин. 00 с
Система координат	ПЗ-90	WGS-84
Срок активного существования, лет	3	7,5
Число КА, выводимых за один запуск	3	1
Несущая частота:		
L1	1598,0625—1604,25	1575,42
L2	7/9 L1	60/77 L1
Число элементов кода:		
C/A	511	1023
P	51 1000	2,35x10 ¹⁴
Уровень внутрисистемных радиопомех, дБ	-48	-21,6

Подсистема контроля и управления состоит из:

- центра управления навигационной системой со своим мощным вычислительным центром
- развёрнутой сети станций измерения управления и контроля, связанных между собой
- центром управления каналами связи и наземного эталона времени и частоты “атомных часов”, для синхронизации бортовых “атомных часов” спутников (этот эталон более высокоточный, чем те, что установлены на спутниках).

Сегмент наземного комплекса управления системы Глонасс



Сегмент наземного комплекса управления системы GPS



Навигационная аппаратура потребителей состоит из навигационных приемников и устройств обработки, предназначенных для приема навигационных сигналов спутников и вычисления собственных координат, скорости и времени.

Основные группы пользователей



Геодезия и маркшейдерия



Кадастровые работы



Деформационный мониторинг



Строительство



Точное земледелие



Управление строительной техникой



Коммунальное хозяйство

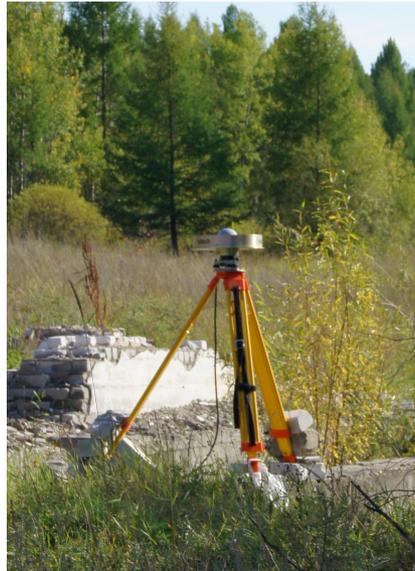
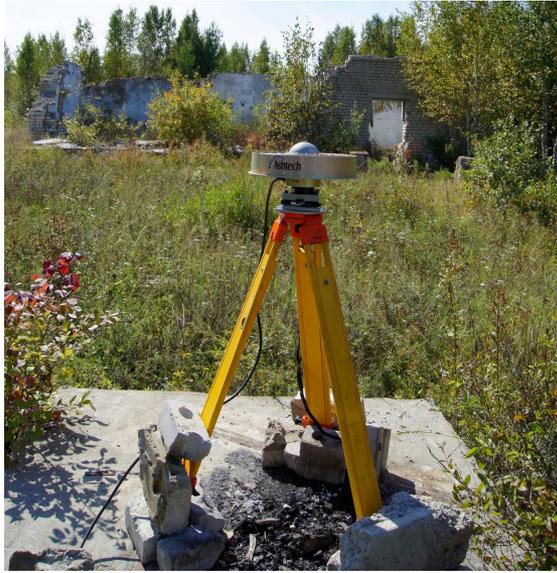


Гидрография и портовые операции



Службы быстрого реагирования

Примеры установки GNSS оборудования на реперных пунктах геодезической сети.

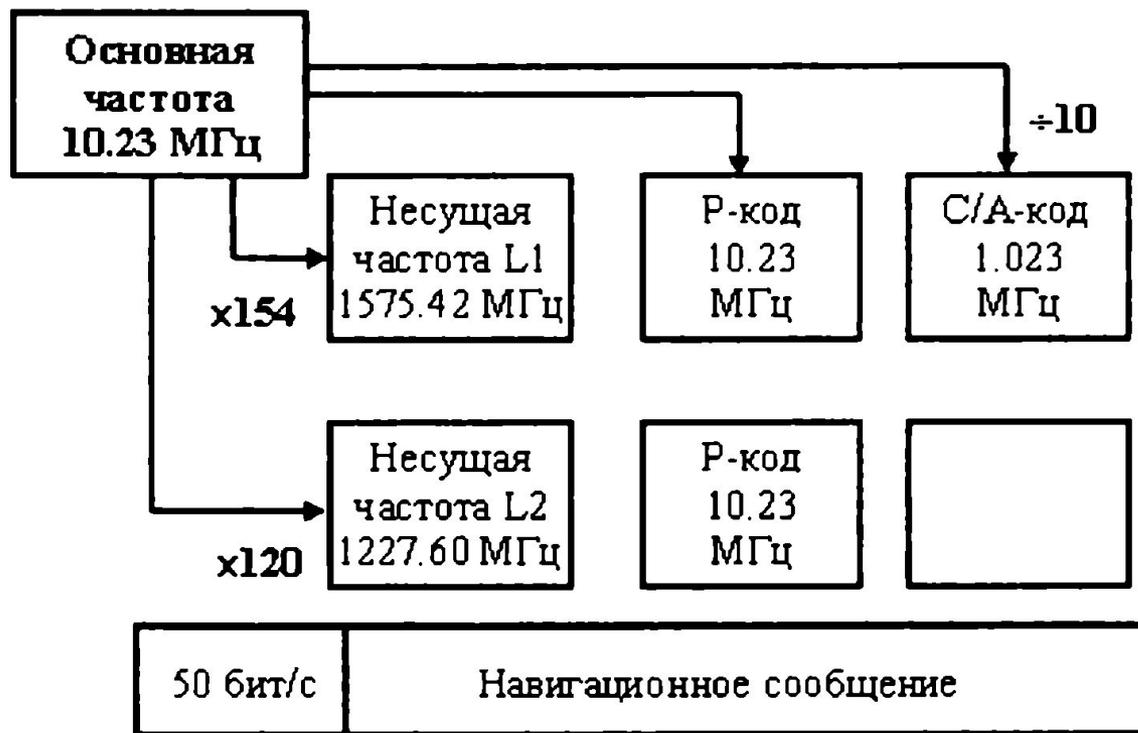




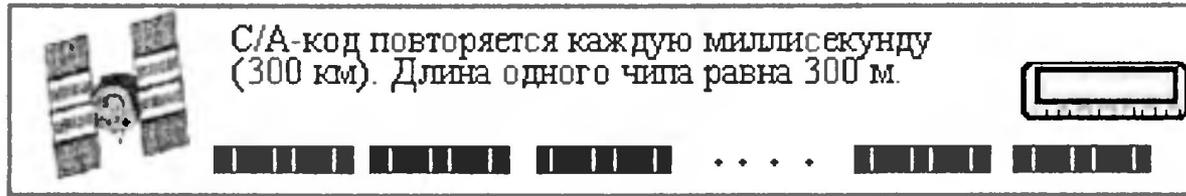
Если измерить расстояние от спутника до приемника сигнала, то с помощью этого радиуса можно описать сферу (поверхность шара), на которой расположен GPS-приемник. Расстояние до второго спутника позволяет описать еще одну сферу. Пересечение двух сфер дает круг. Точка, координаты которой следует определить, находится где-то на этом круге. Сфера, описываемая вокруг третьего спутника, в двух точках пересекается с этим кругом. Одну из точек пересечения можно отбросить, поскольку она имеет слишком высокую скорость или находится над или под поверхностью Земли. Четвертый спутник необходим для того, чтобы вносить корректировку. Если пересечение круга со сферой, описанной вокруг четвертого спутника, укажет на другую точку, то компьютер приемника по специальному алгоритму сможет устранить ошибку и вычислить точные координаты.

Высокоточные геодезические измерения с использованием GPS выполняются на основе фазы несущей волны. Такие наблюдения основываются на разности между фазой несущей волны, в сигнале, принятом от спутника, и фазой гетеродина в ресивере.

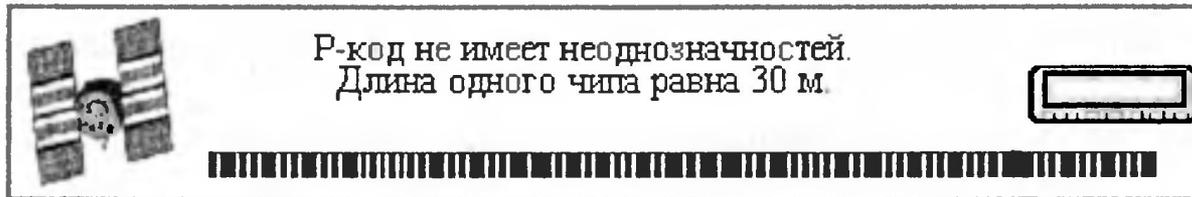
Структура GPS сигнала



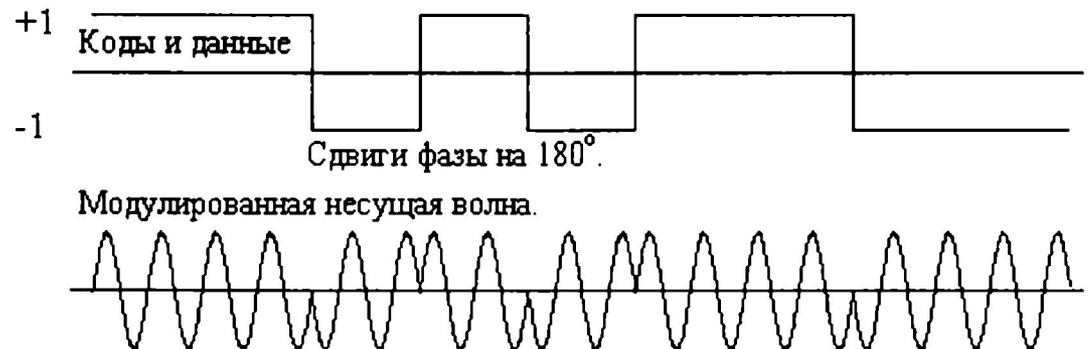
C/A код укладывается в расстояние между приемником и спутником не менее 67 раз



Расстояние, измеренное по P-коду, не имеет неоднозначности

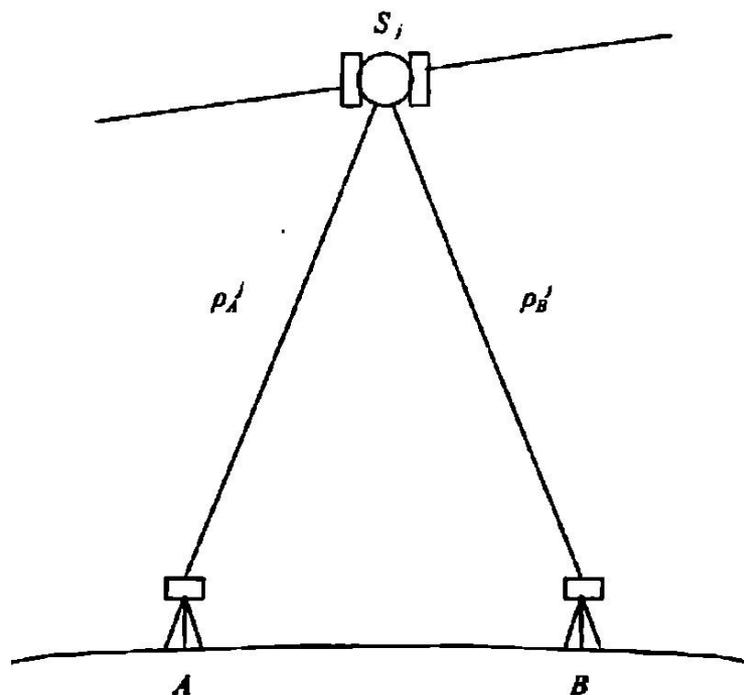


Бинарная парафазная
МОДУЛЯЦИЯ несущей
частоты,
уникальная для
каждого спутника

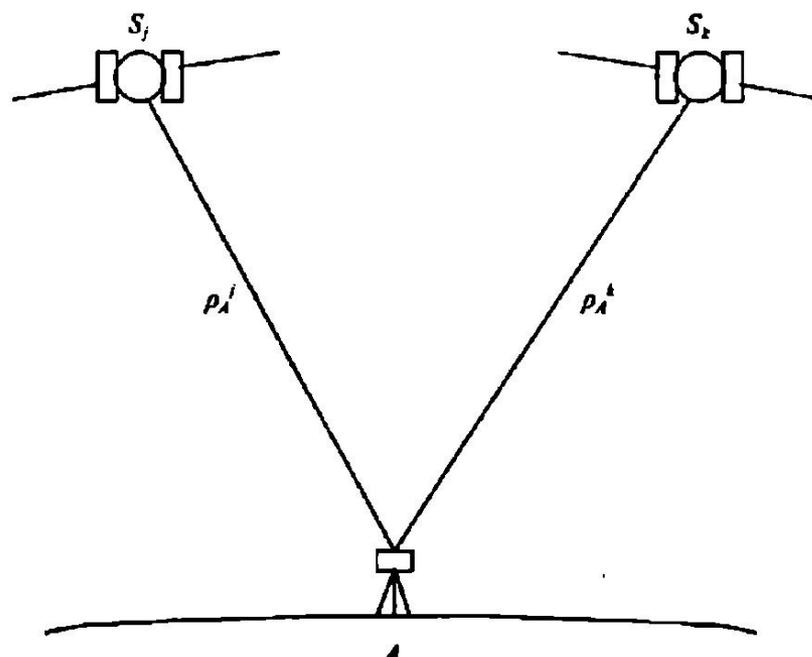


Одна из основных технических проблем при использовании спутниковых систем навигации - **синхронизация часов**. Если разность хода часов на спутнике и ресивере составляет всего 1 микросекунду (10^{-6} с), то неопределенность в определении расстояния до спутника составит 300 м.

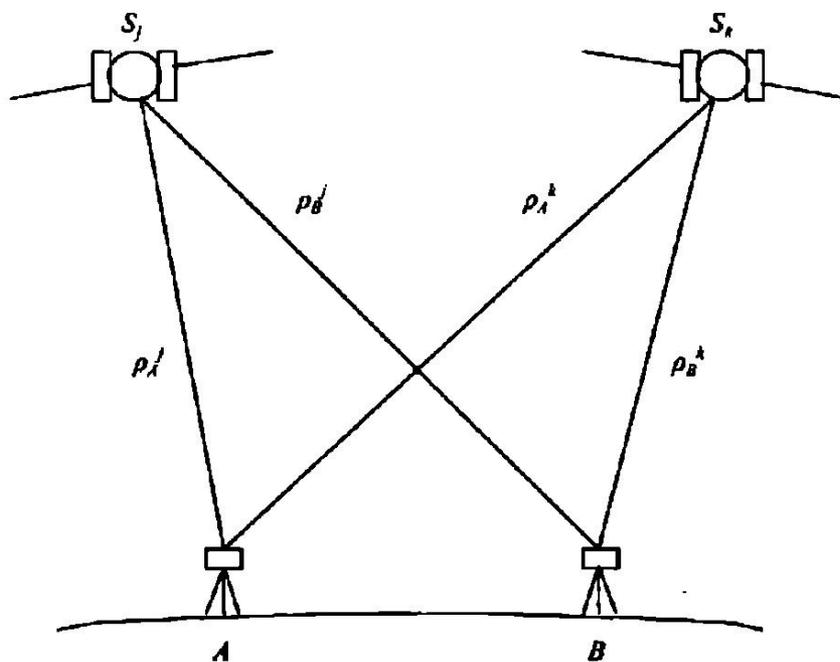
Для единственного спутника разности фазы (или псевдо-дальностей) сигналов, принятых одновременно в каждой из двух наземных станций, показывают действие смещения или неустойчивости часов спутника. Такие измерения обычно называются – первыми разностями. Если станции близко расположены, вычисление разностей между станциями также уменьшает влияние тропосферной и ионосферной рефракции на распространение радиосигналов.



Данные полученные одной наземной станцией одновременно от двух спутников дают возможность исключить поправки, обусловленные неточностью показаний часов приемника, но не исключенными тогда оказываются погрешности часов на спутнике.



На основе совместного рассмотрения вышеперечисленных первых разностей, был предложен дифференциальный метод измерений, получивший название вторые разности. Этот метод получил наиболее широкое распространение в прецизионных геодезических измерениях. Суть метода в использовании не менее двух приемников, которыми одновременно наблюдаются не менее двух спутников, что позволяет устранить неточность хода часов как на приемниках, так и на спутниках, значительно повышая, таким образом, точность позиционирования.



Общая технология обработки GNSS данных

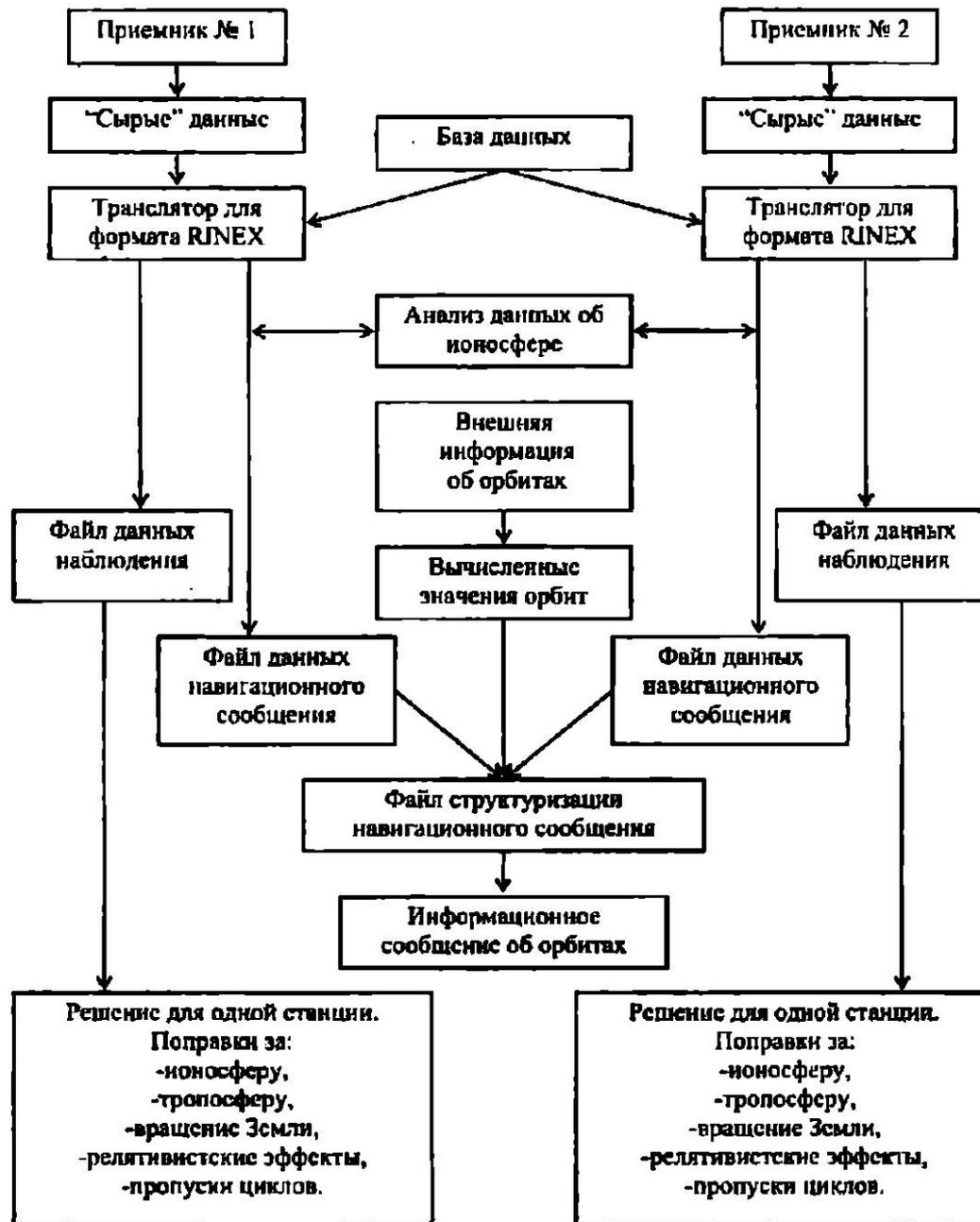
Подготовка GNSS данных к обработке

- конвертация «сырых» данных в формат RINEX
- конвертация RINEX файлов во внутренний формат пакета
- получение а-приорных (приближенных) координат всех пунктов и приведение их к заданной эпохе
- подготовка информации о параметрах используемого спутникового оборудования и методике измерений
- подготовка (получение через Internet) вспомогательной информации (EOP-файлы, модели океанических приливов, модели ионосферы и тропосферы, апостериорные эфемериды GNSS спутников и т.д.)
- установка параметров обработки данных

Обработка GNSS данных

- предварительный анализ GNSS данных – сглаживание, фильтрация грубых ошибок, восстановление срывов цикла и т.д.
- разрешение неоднозначности фазовых измерений (полное или частичное)
- вычисление компонент базовых линии в сети, а затем положений пунктов сети или непосредственное получение положений пунктов сети без формирования базовых линий для каждой эпохи измерений (кинематика) или набора эпох (обычно среднесуточные решения). Положения пунктов, обычно вычисляются в заранее выбранной СК (глобальной или локальной)
- формальная оценка точности полученных результатов (вычисление СКО)

Обобщенная блок схема обработки GPS-данных



```

2.11      OBSERVATION DATA  M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
teqc 2009Oct19      20101004 23:21:35UTC PGM / RUN BY / DATE|
BLAG      MARKER NAME
BLAG      MARKER NUMBER
GNSS Observer      Trimble      OBSERVER / AGENCY
4814K54997      TRIMBLE NETR5      Version 3.50      REC # / TYPE / VERS
      TRM55971.00      ANT # / TYPE
-2488607.1902 3240761.6543 4881219.7508      APPROX POSITION XYZ
      0.0000      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1      WAVELENGTH FACT L1/2
7 C1 C5 L1 L2 L5 P1 P2      # / TYPES OF OBSERV
30.0000      INTERVAL
Forced Modulo Decimation to 30 seconds      COMMENT
2010 9 29 0 0 0.0000000 GPS      TIME OF FIRST OBS
0      RCV CLOCK OFFS APPL
15      LEAP SECONDS
CARRIER PHASE MEASUREMENTS: PHASE SHIFTS REMOVED      COMMENT
      END OF HEADER
10 9 29 0 0 0.0000000 0 18G06G14G16G20G23G25G29G30G31G32R01R07
      R08R09R10R18R19R20
24133460.867 5      -4507113.401 5 -3472739.15846
      24133459.64846
24541060.047 5      -4339937.918 5 -3365732.84945
      24541058.25445
21073369.289 7      -20510663.745 7 -15904064.15848
      21073365.71548
24604446.125 6      611853.402 6 1108575.43946
      24604443.89546
22501917.875 7      -9725232.924 7 -7100738.70247
      22501912.62947
24639669.617 6 24639668.715 8 -3187086.938 6      -2373897.160 8
22017977.430 7      -15806167.412 7 -12298949.62348
      22017975.27048
24156560.938 5      18608089.604 5 14495845.89646
      24156560.22746
20724806.227 7      -23318329.839 7 -18151918.94249
      20724802.26249
24717750.617 6      25285.031 6 214097.83846
      24717748.92646

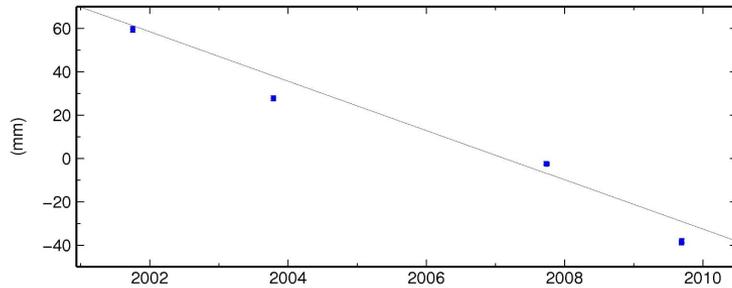
```

Структура RINEX
 файла данных
 наблюдения.

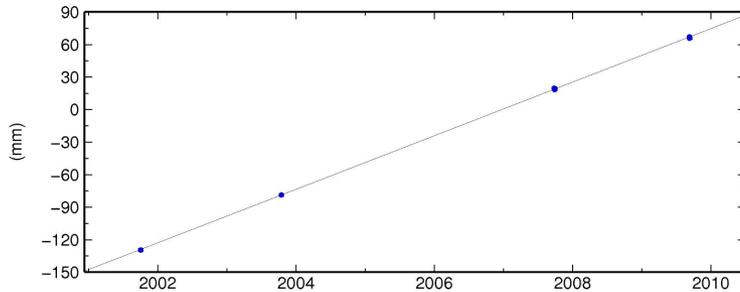
Используется в
 специальных
 программных
 комплексах
 постобработки GPS
 данных.

Временные ряды, полученные в результате обработки GPS данных

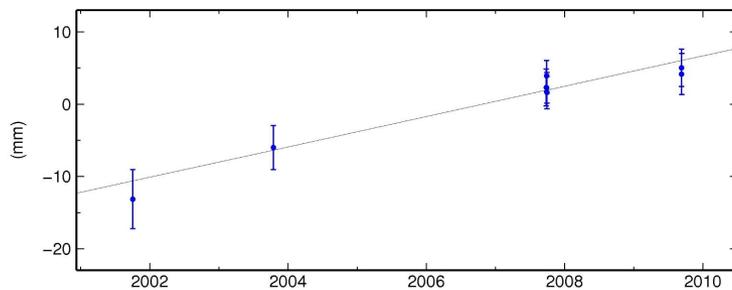
POLT North Offset 5556277.969 m
rate(mm/yr)= -11.38 ± 0.15 nrms= 8.79 wrms= 7.3 mm # 8



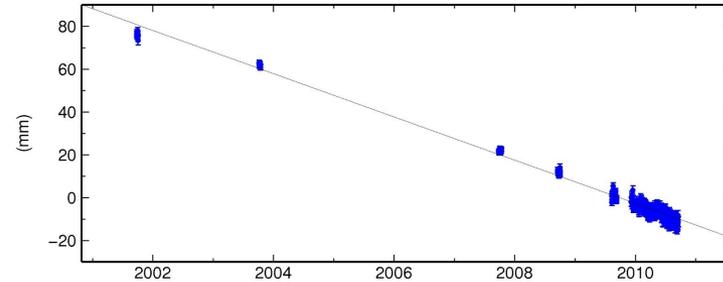
POLT East Offset 9191535.709 m
rate(mm/yr)= 24.68 ± 0.12 nrms= 1.15 wrms= 0.7 mm # 8



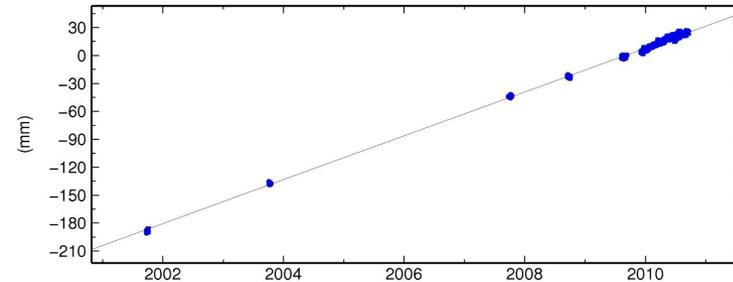
POLT Up Offset 186.606 m
rate(mm/yr)= 2.10 ± 0.46 nrms= 0.56 wrms= 1.4 mm # 8



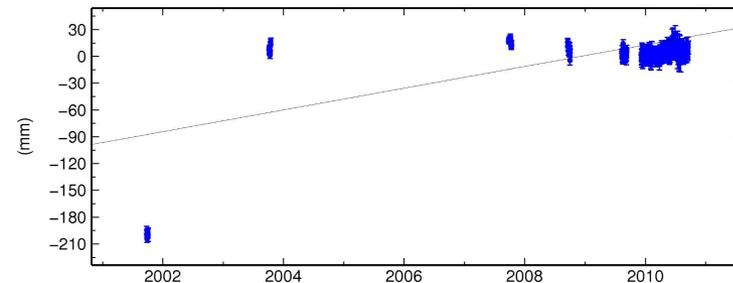
BLAG North Offset 5594563.548 m
rate(mm/yr)= -10.09 ± 0.04 nrms= 1.11 wrms= 2.0 mm # 363



BLAG East Offset 9075906.422 m
rate(mm/yr)= 23.56 ± 0.03 nrms= 1.09 wrms= 1.6 mm # 363

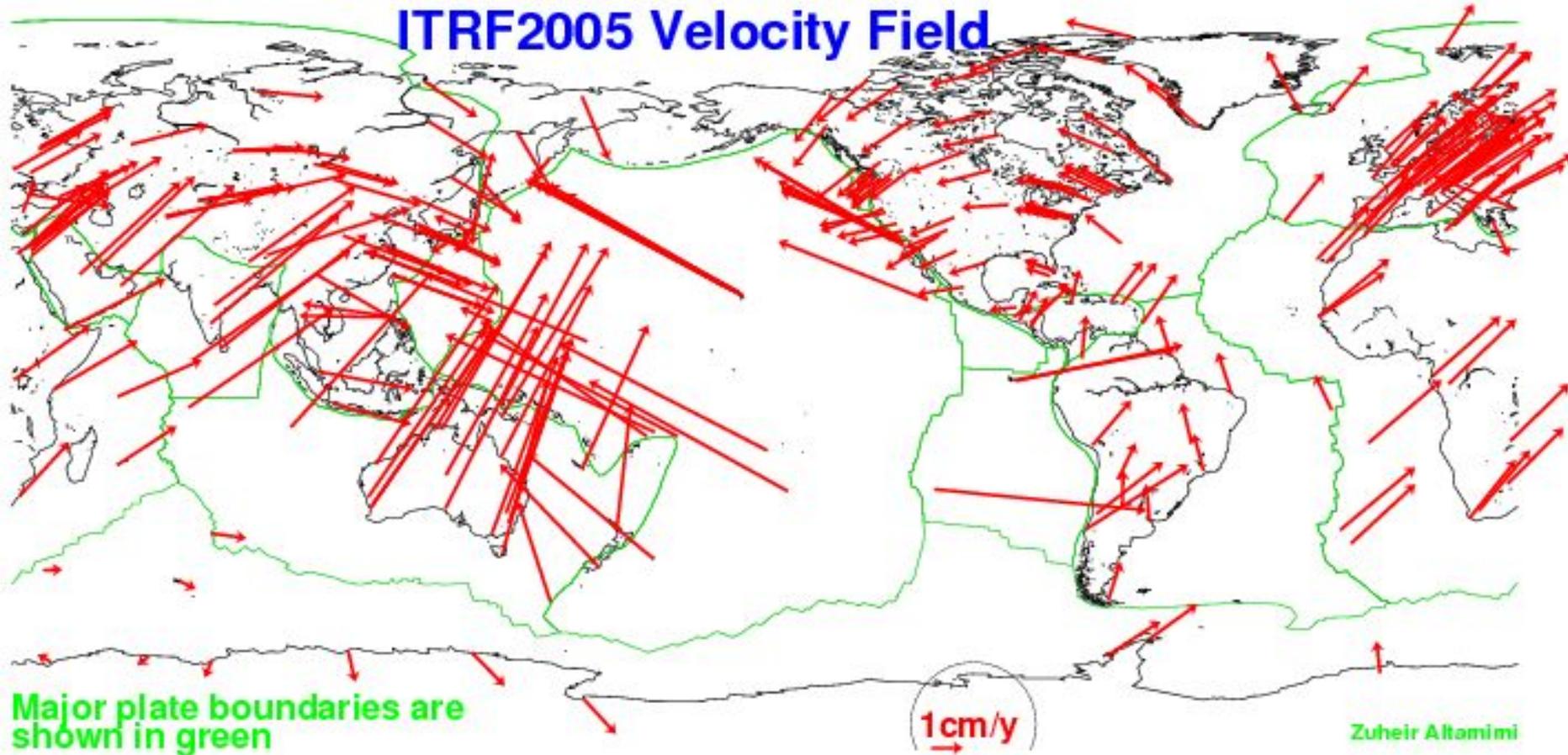


BLAG Up Offset 151.873 m
rate(mm/yr)= 12.16 ± 0.13 nrms= 6.23 wrms= 35.2 mm # 363

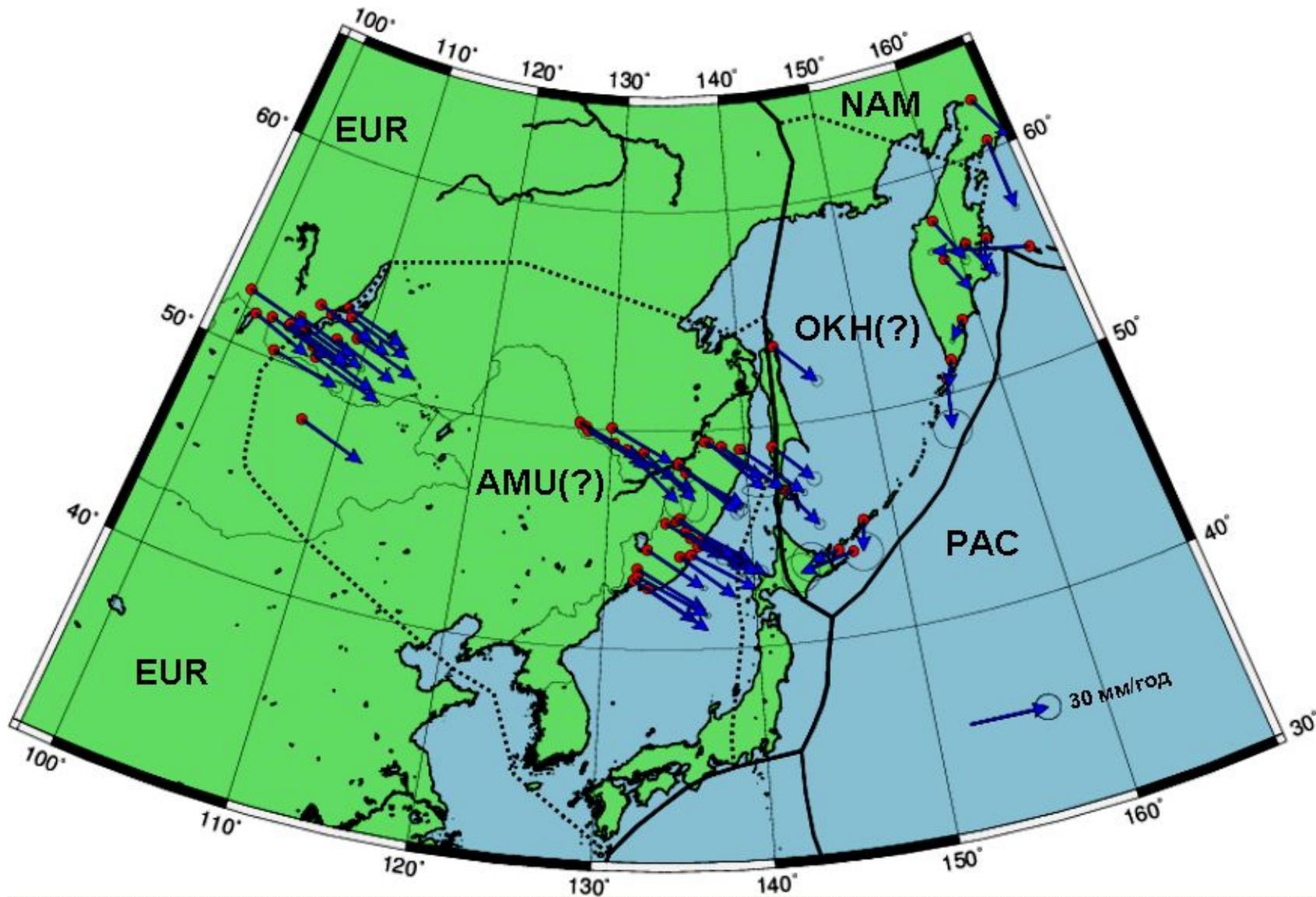


Поле скоростей пунктов сети IGS в СК ITRF2005

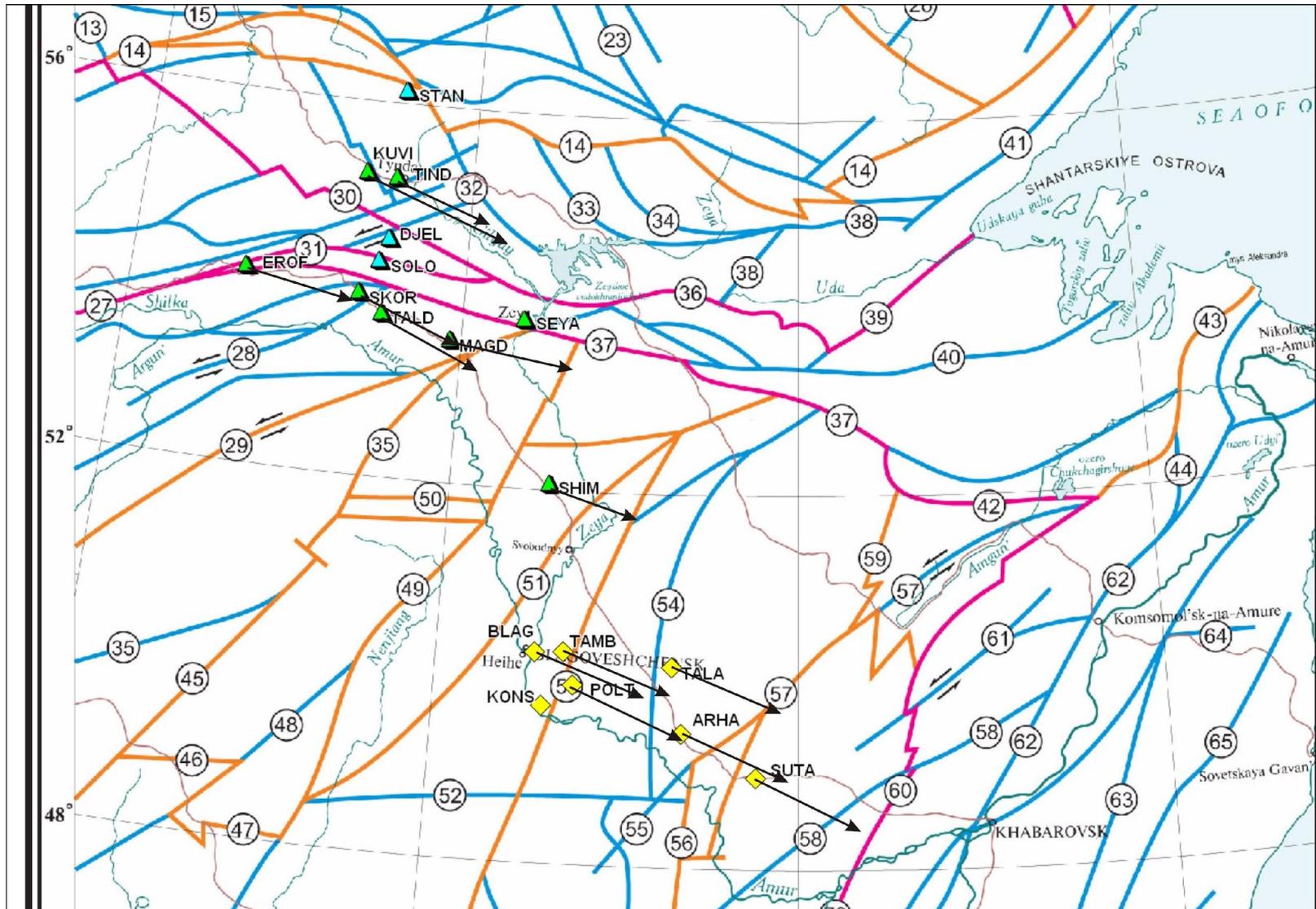
ITRF2005 Velocity Field



Среднегодовые скорости смещения GNSS пунктов Дальнего Востока России в СК ITRF2000



Среднегодовые скорости смещения GNSS Верхнего Приамурья в СК ITRF2005



Игнорирование деформаций земной коры может привести к:



Спасибо за внимание