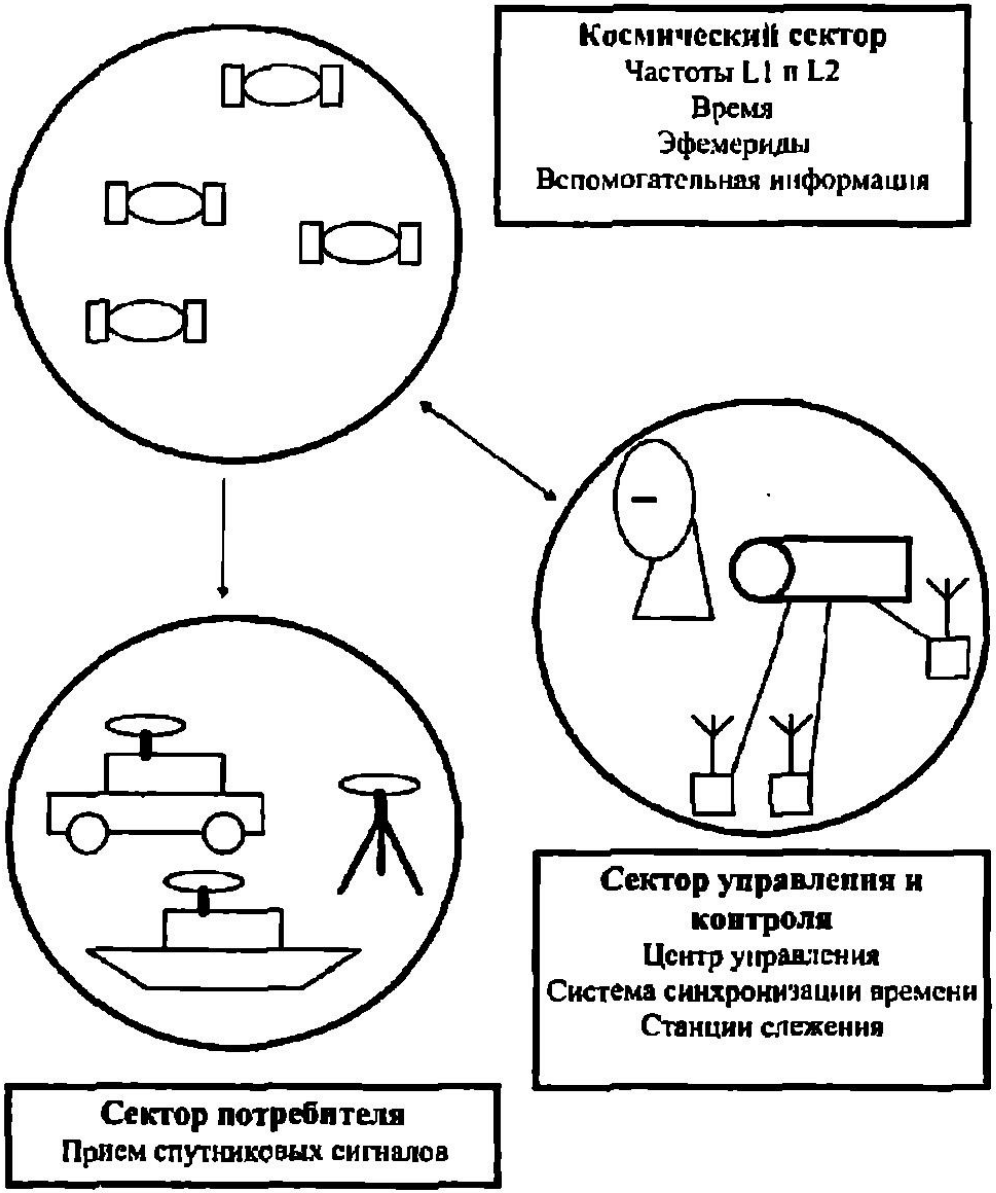
Изучение кинематики горизонтальных перемещений Верхнего Приамурья методами космической геодезии

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:



Космический сегмент систем ГЛОНАСС и GPS

Сравнительные характеристики систем ГЛОНАСС и 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	64,8º	55º
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 L2	 1598,0625—1604,25 7/9 L1	 1575,42 60/77 L1
Число элементов кода: C/A P	 511 51 1000	 1023 $2,35 \times 10^{14}$
Уровень внутрисистемных радиопомех, дБ	-48	-21,6

Подсистема контроля и управления состоит из:

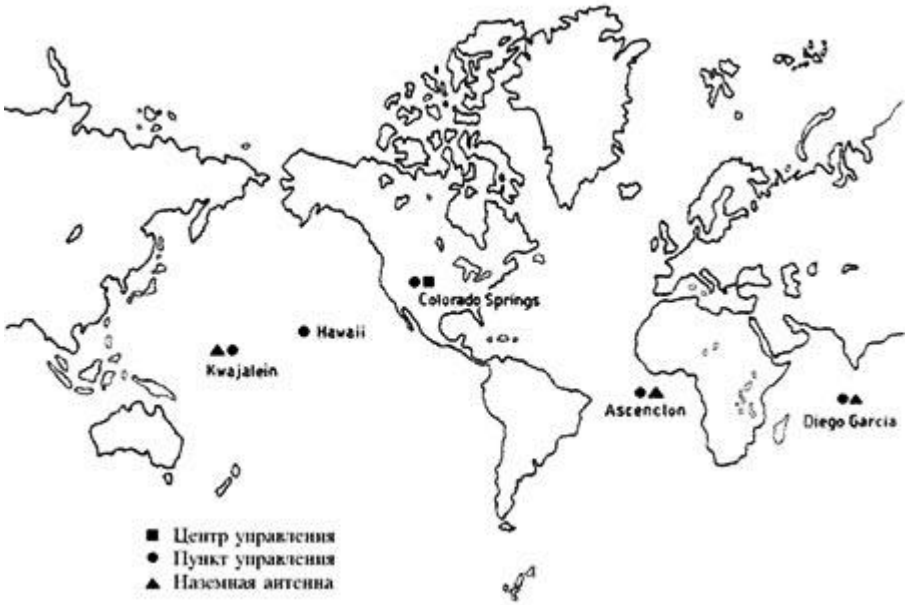
- центра управления навигационной системой со своим мощным вычислительным центром

- 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

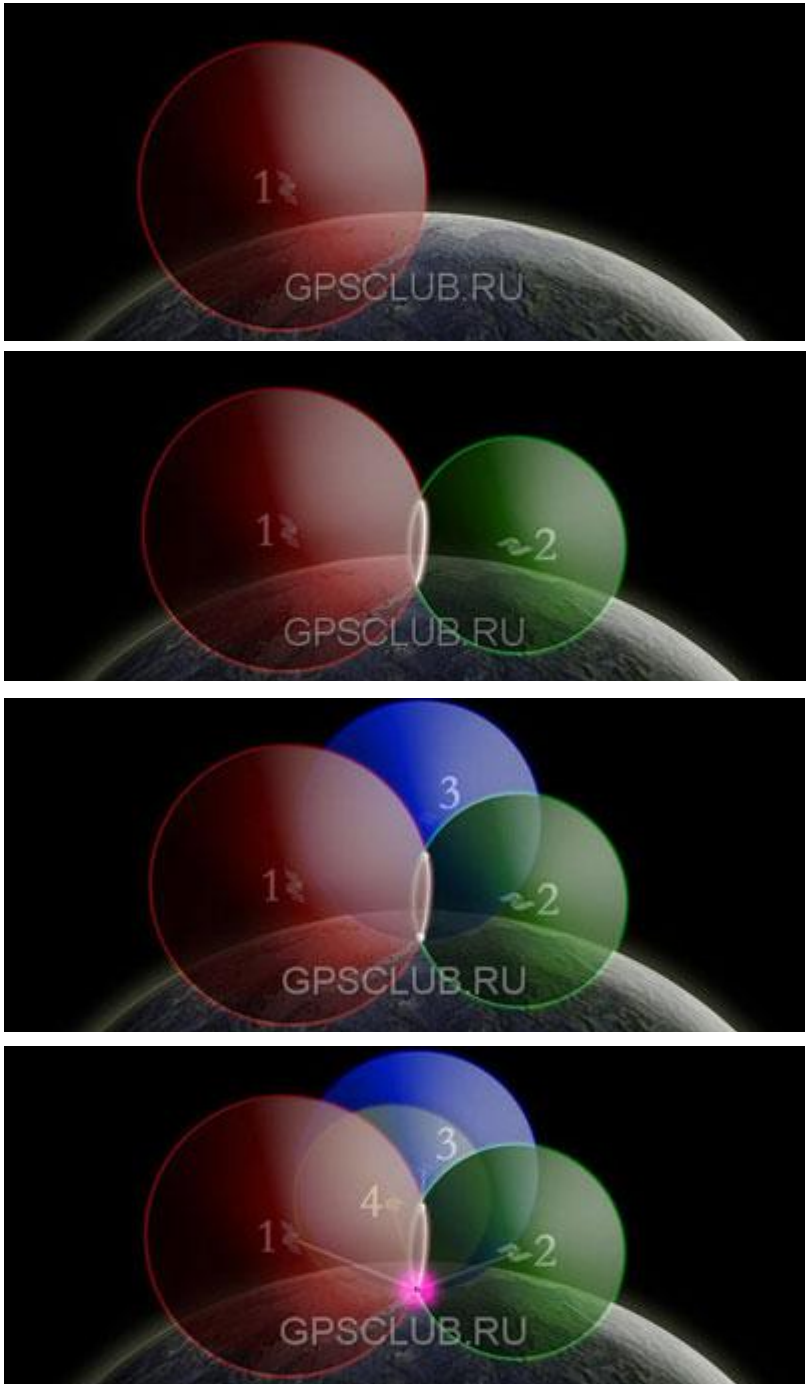
Управление строительной техникой

Коммунальное хозяйство

Гидрография и портовые операции

Службы быстрого реагирования

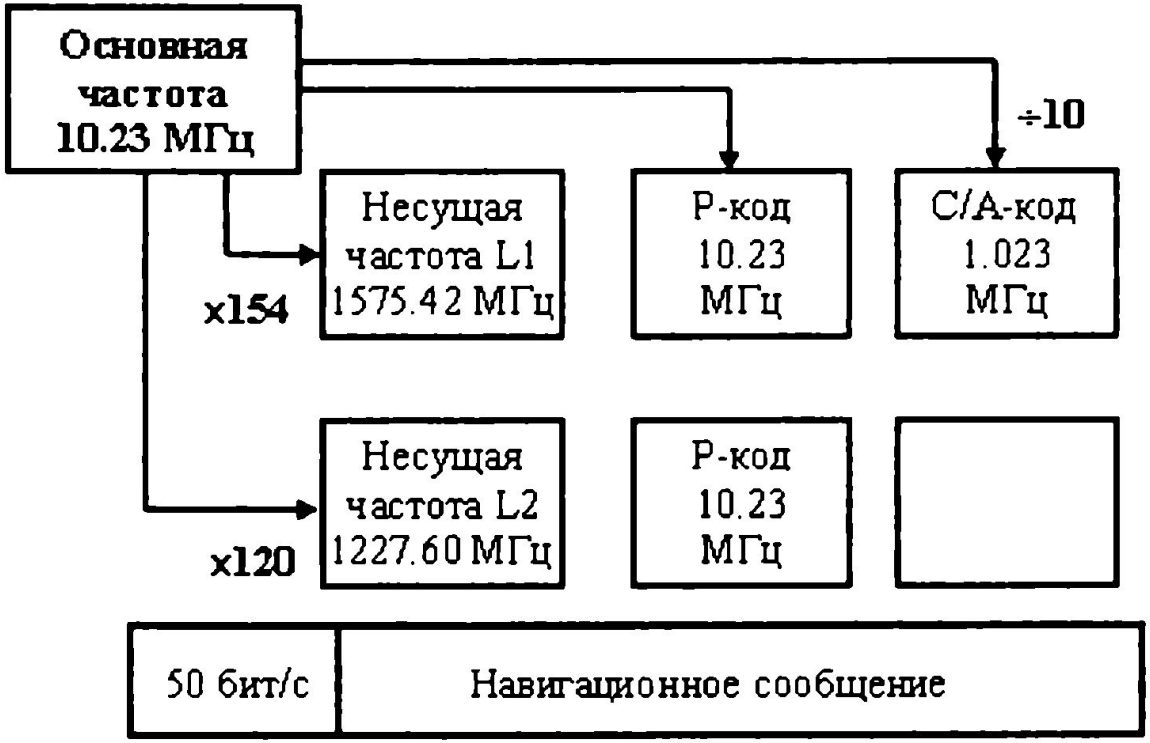
Примеры установки GNSS оборудования на реперных пунктах геодезической сети.



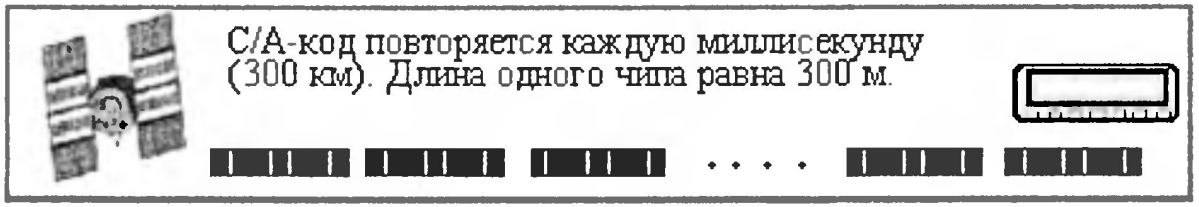
Если измерить расстояние от спутника до приемника сигнала, то с помощью этого радиуса можно описать сферу (поверхность шара), на которой расположен GPS-приемник. Расстояние до второго спутника позволяет описать еще одну сферу. Пересечение двух сфер дает круг. Точка, координаты которой следует определить, 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.

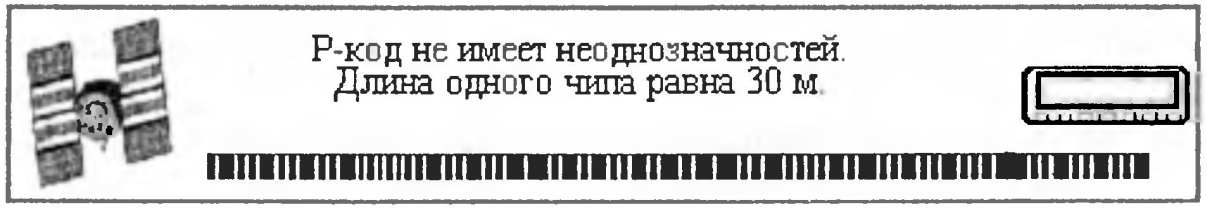
Структура GPS сигнала



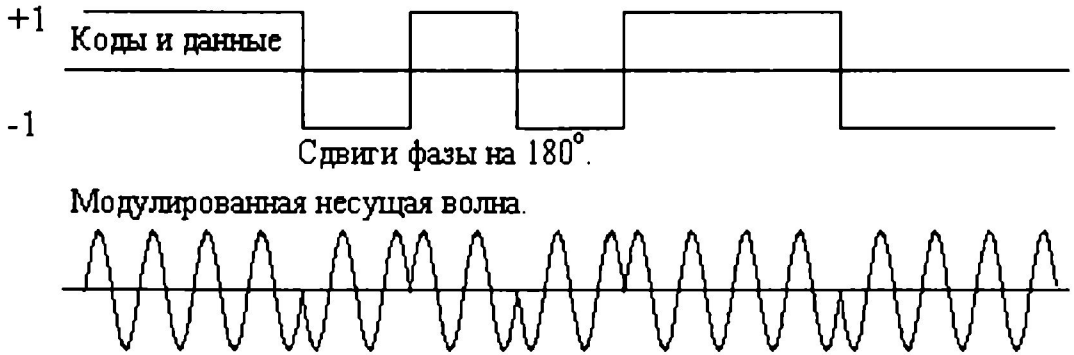
С/А код укладывается в расстояние между приемником и спутником не менее 67 раз



Расстояние, измеренное по Р-коду, не имеет неоднозначности

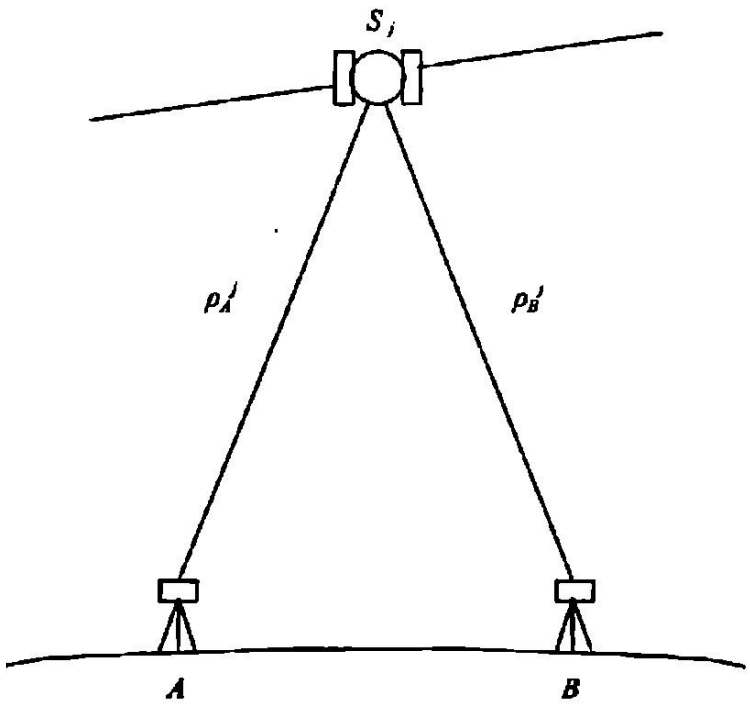


Бинарная парафазная модуляция несущей частоты, уникальная для каждого спутника

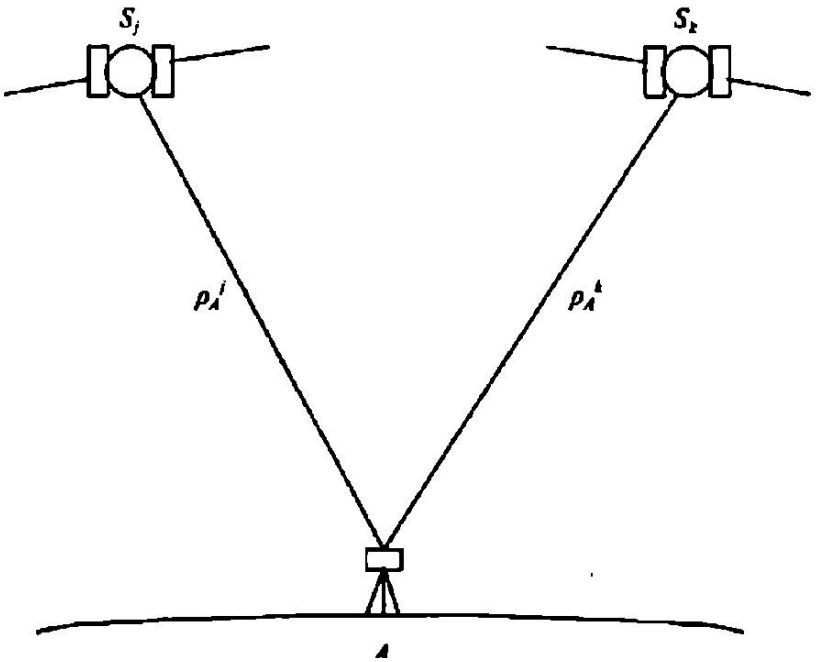


Одна из основных технических проблем при использовании спутниковых систем навигации - **синхронизация часов**. Если разность хода часов на спутнике и ресивере составляет всего 1 микросекунду (10^{-6} с), то неопределенность в определении расстояния до спутника составит 300 м.

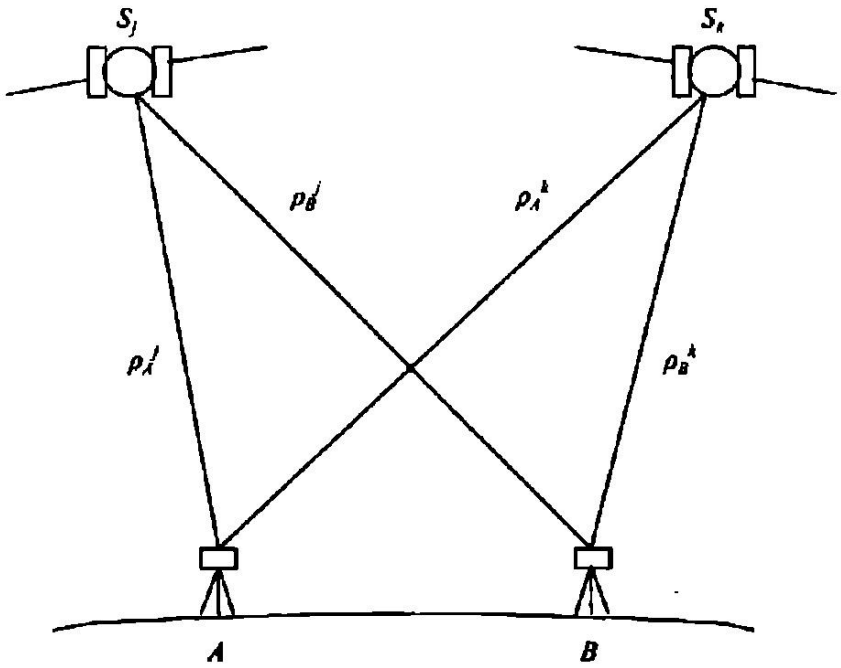
Для единственного спутника разности фазы (или псевдо-дальностей) сигналов, принятых одновременно в каждой из двух наземных станций, показывают действие смещения или неустойчивости часов спутника. Такие измерения обычно называются – первыми разностями. Если станции близко расположены, вычисление разностей 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

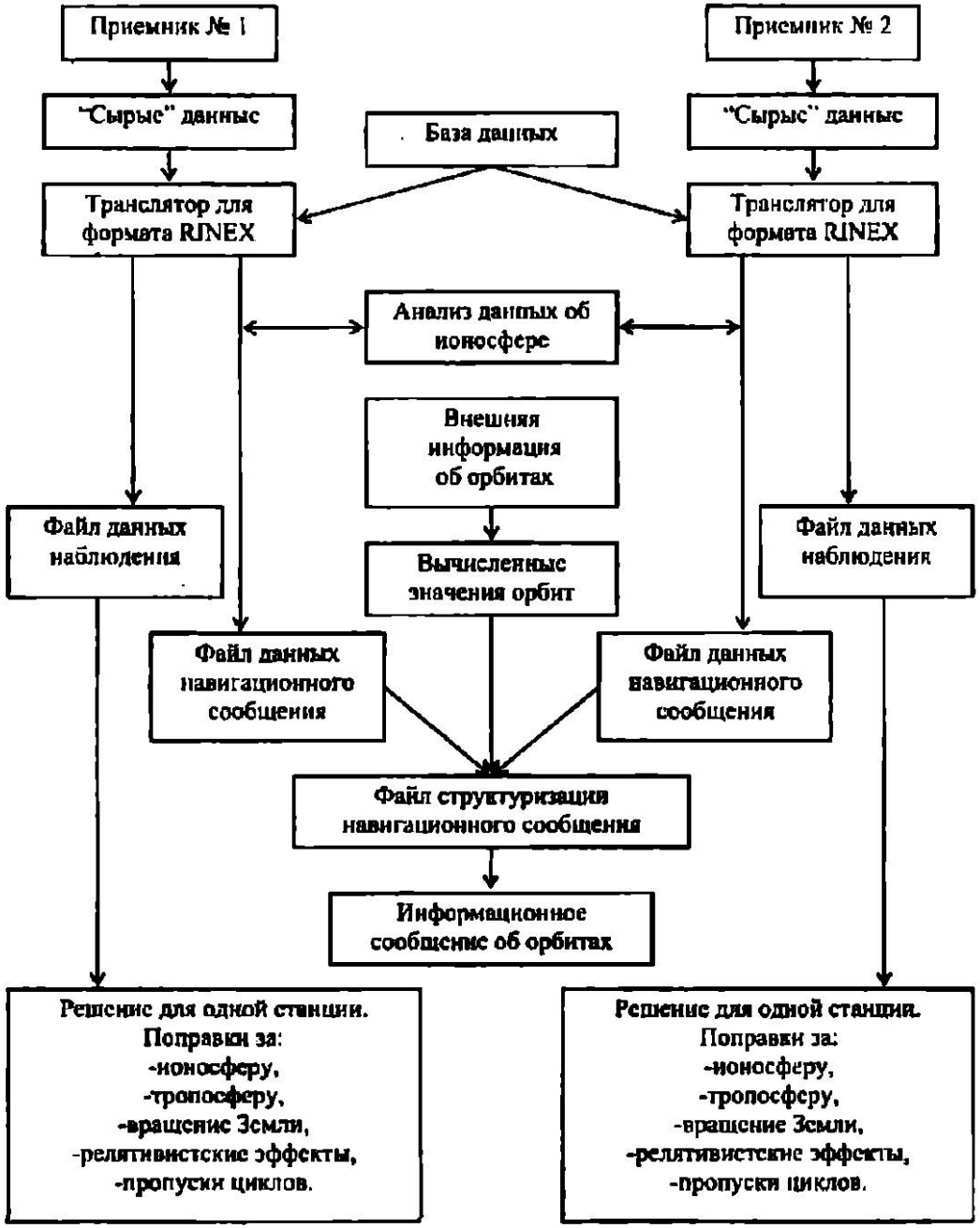
Подготовка GNSS данных к обработке

- 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 лини 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

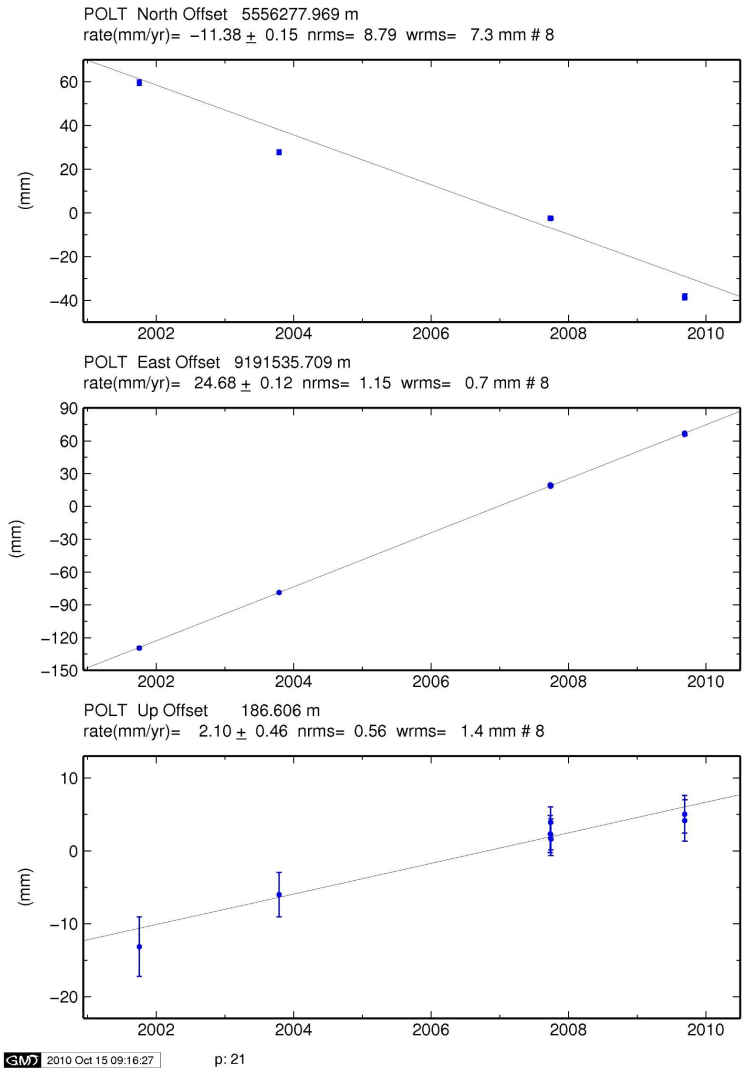


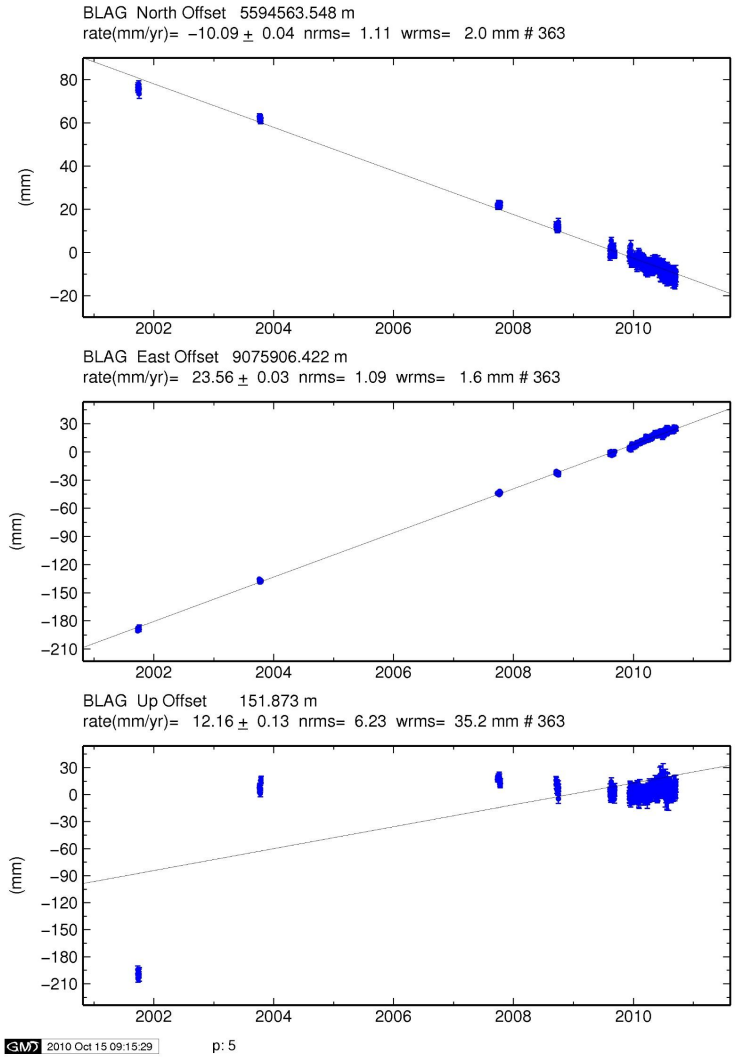
```
     2.11           OBSERVATION DATA    M (MIXED)           RINEX VERSION / TYPE
teqc  2009Oct19                         20101004 23:21:35UTCPGM / RUN BY / DATE
BLAG                                                        MARKER NAME
BLAG                                                        MARKER 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.

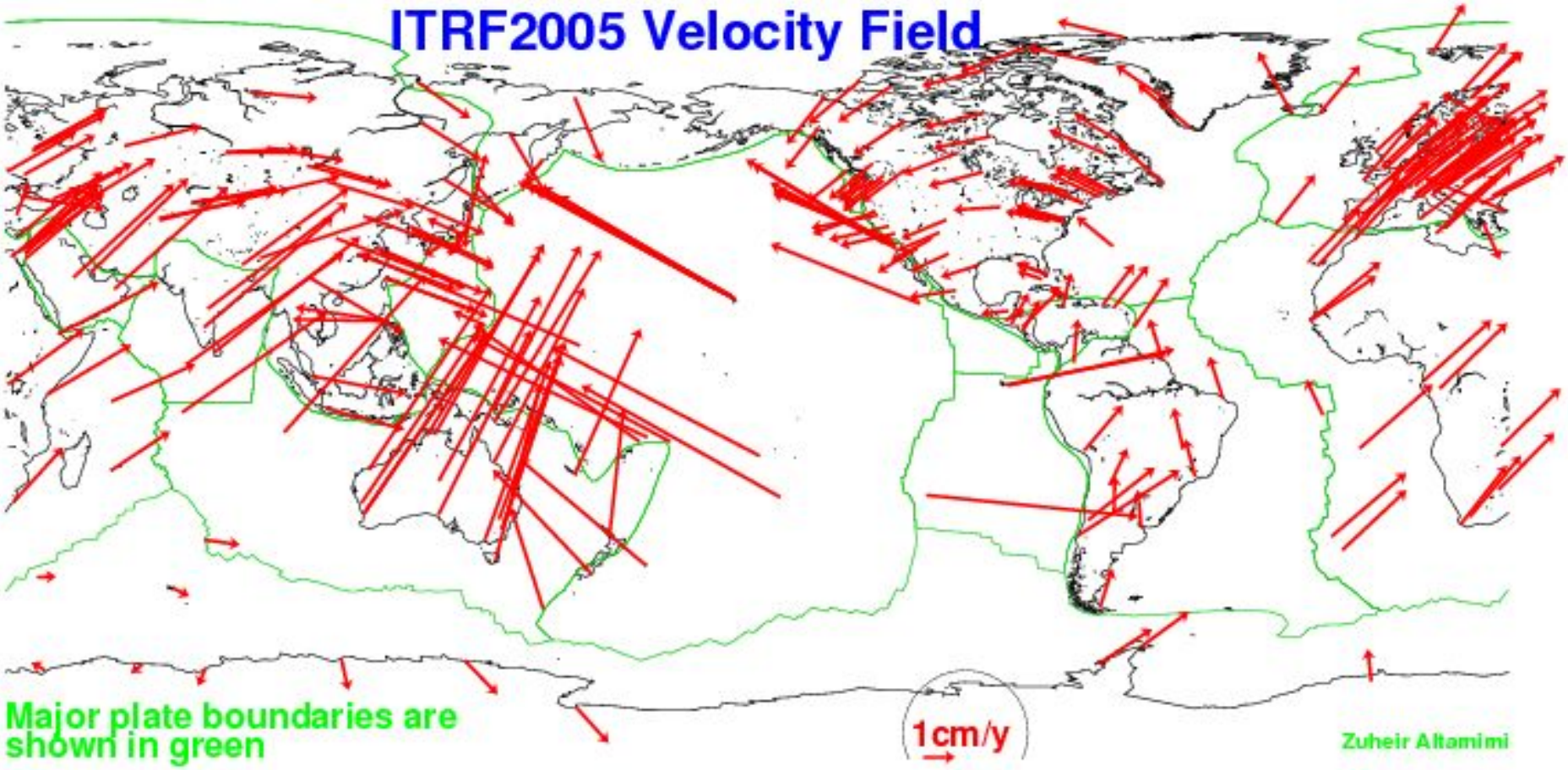
Используется в специальных программных комплексах постобработки GPS данных.

Временные ряды, полученные в результате обработки GPS данных

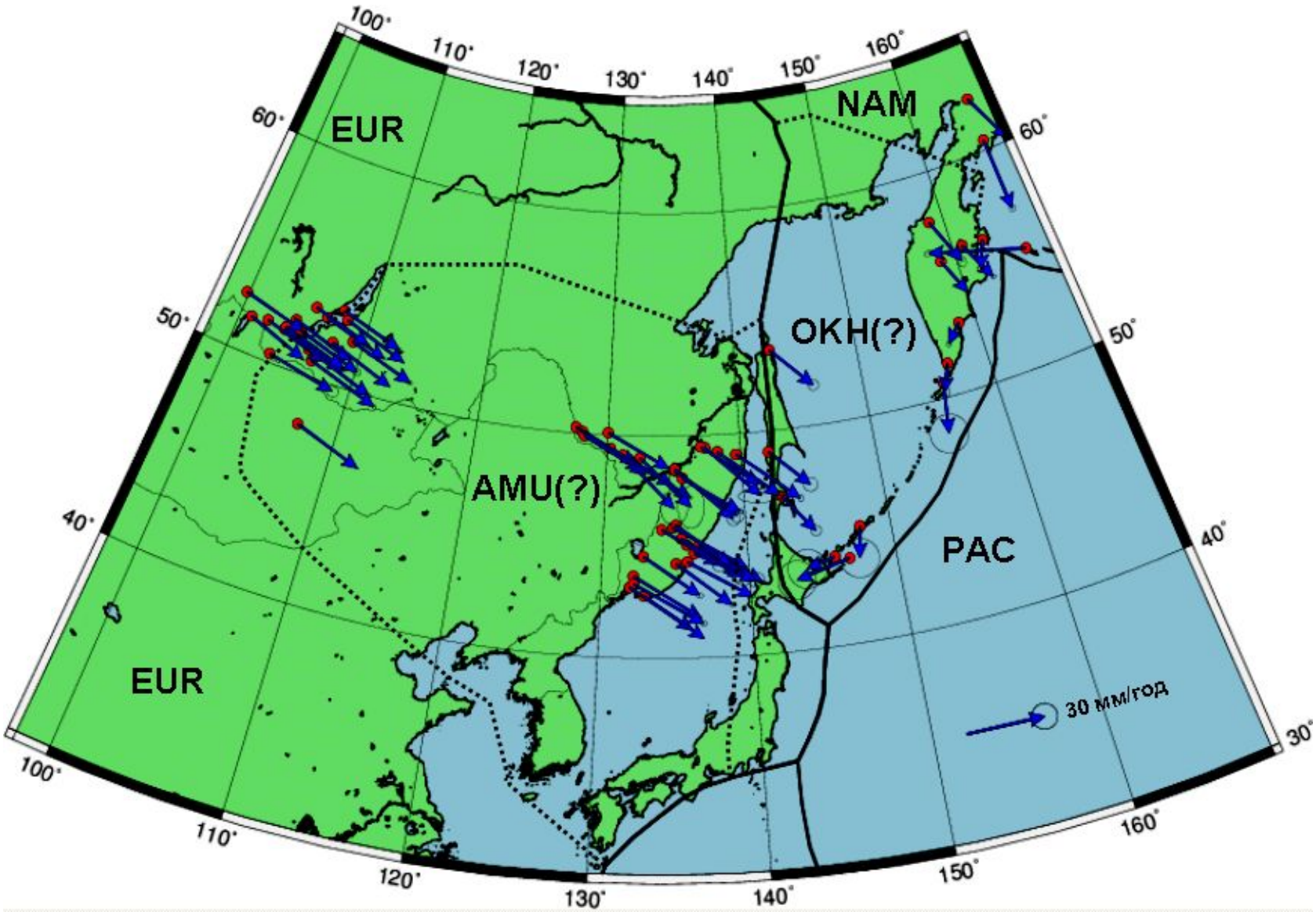




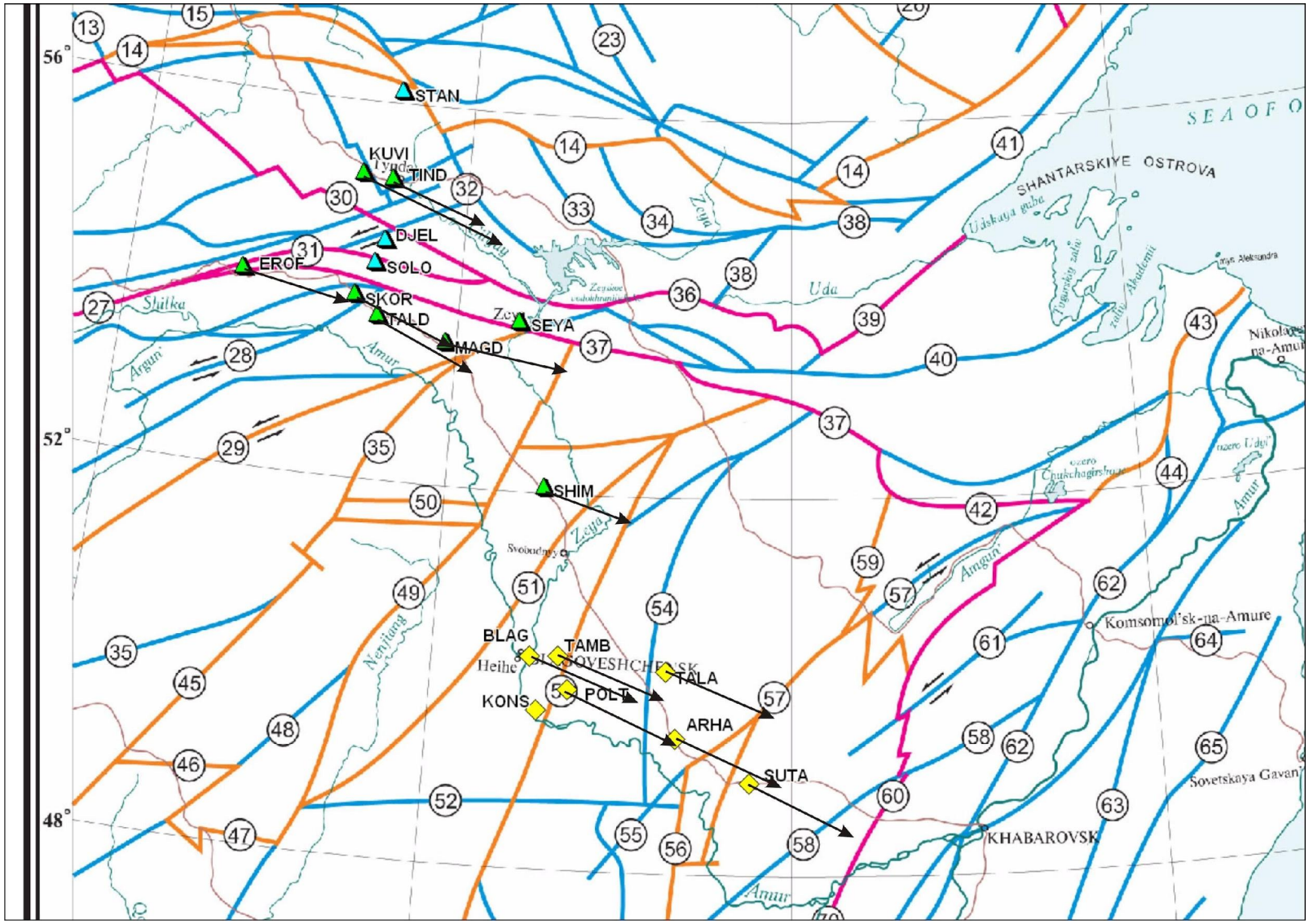
Поле скоростей пунктов сети IGS в СК ITRF2005



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