# Назначение глобальных систем спутникового позиционирования (ГССП) и их предшественники

***ГССП*** предназначены для определения пространственных координат (позиционирование) и скорости объектов на поверхности Земли, в околоземном воздушном и космическом пространстве, а также обеспечения пользователей сигналами системного времени, привязанного к международным временным шкалам.

**Предшественники современных ГССП:**

- радиодальномерные навигационные системы HIRAN, DEKKA (развивались во время Второй мировой войны для нужд ВВС);
- ГССП 1-го поколения NNSS “Transit” (USA, введена в эксплуатацию в 1964 г., открыта для гражданского использования в 1967 г.), “Цикада” (СССР, введена в эксплуатацию в 1979 г.).

# Современные глобальные системы спутникового позиционирования (ГССП 2-го поколения)

## ГЛОНАСС

**(Глобальная Навигационная Система)**

**Разработка системы начата в середине 1970-х.**
**Развертывание начато в 1982 г.**
**Принята в эксплуатацию в 1993 г.**
**Открыта для гражданского использования в 1995 г.**

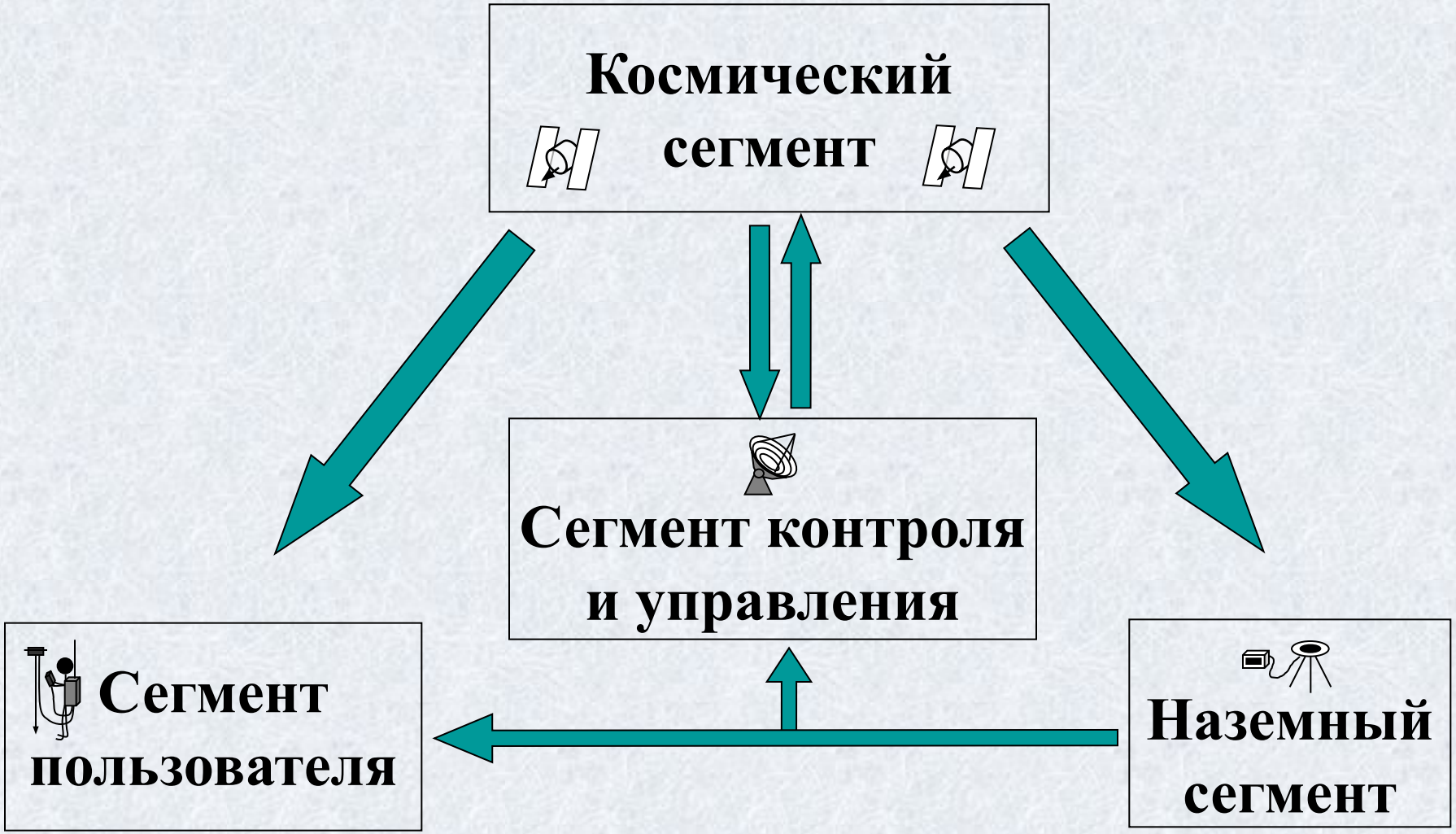
## GPS или NAVSTAR

**(Система Глобального Позиционирования или Навигационная Система определения Времени и Расстояния)**

**Разработка системы начата в 1973 году.**
**Развертывание начато в 1978 г.**
**Принята в эксплуатацию в 1995 г.**

О текущем состоянии орбитальной группировки GPS и ГЛОНАСС можно узнать на сайтах:
http://www.glonass-ianc.rsa..ru

# Общая структура ГССП GPS и ГЛОНАСС



# Космический сегмент систем GPS и ГЛОНАСС

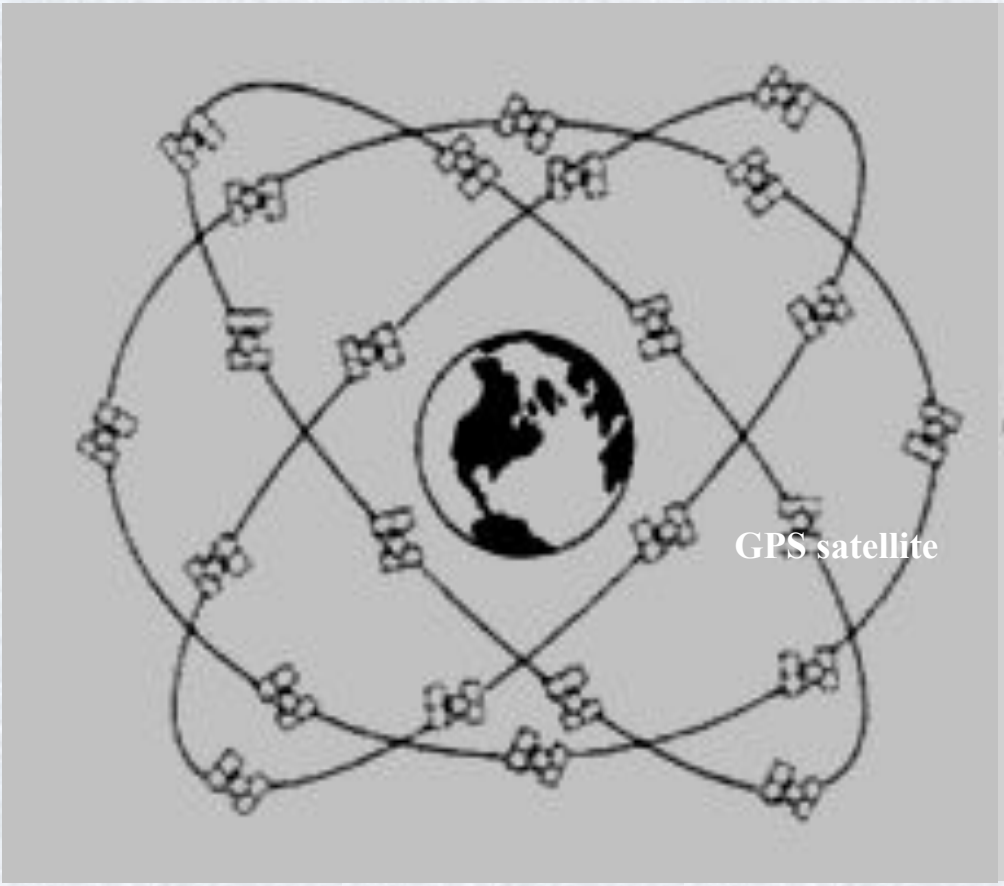
| Параметр | ГЛОНАСС | GPS |
|---|---|---|
| Число ИСЗ в системе | 24* (3 в запасе) | 24* (4 в запасе) |
| Число орбитальных плоскостей | 3 | 6 |
| Наклон орбиты | 64.8° | 55° |
| Период обращения ИСЗ | $11^h\ 15^m\ 44^s$ | $11^h\ 58^m\ 00^s$ |
| Высота ИСЗ над поверхностью Земли | 19100 км | 20150 км |
| Система координат | ПЗ-90 | WGS-84 |
| Срок активного существования | 3 года | 7.5 лет |

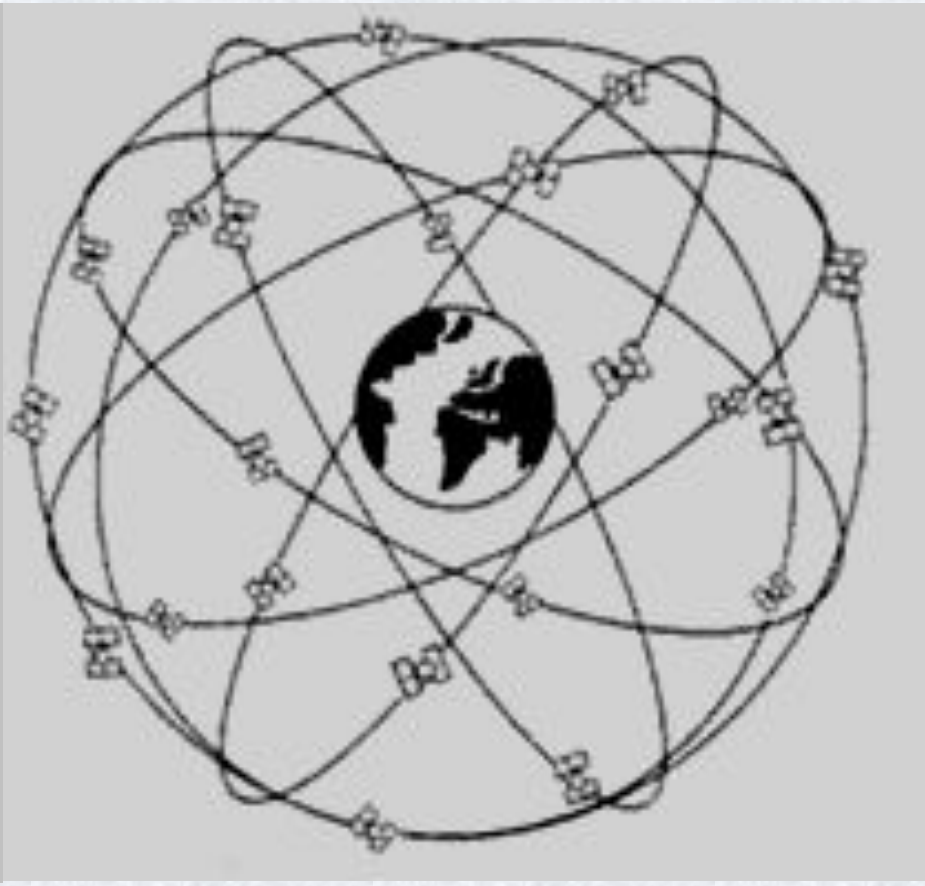
* в настоящее время активны 30 GPS SV's и 17 ГЛОНАСС SV's

# Космический сегмент систем GPS и ГЛОНАСС

**Подсистема космических аппаратов ГЛОНАСС**

**Подсистема космических аппаратов GPS**



ГЛОНАСС

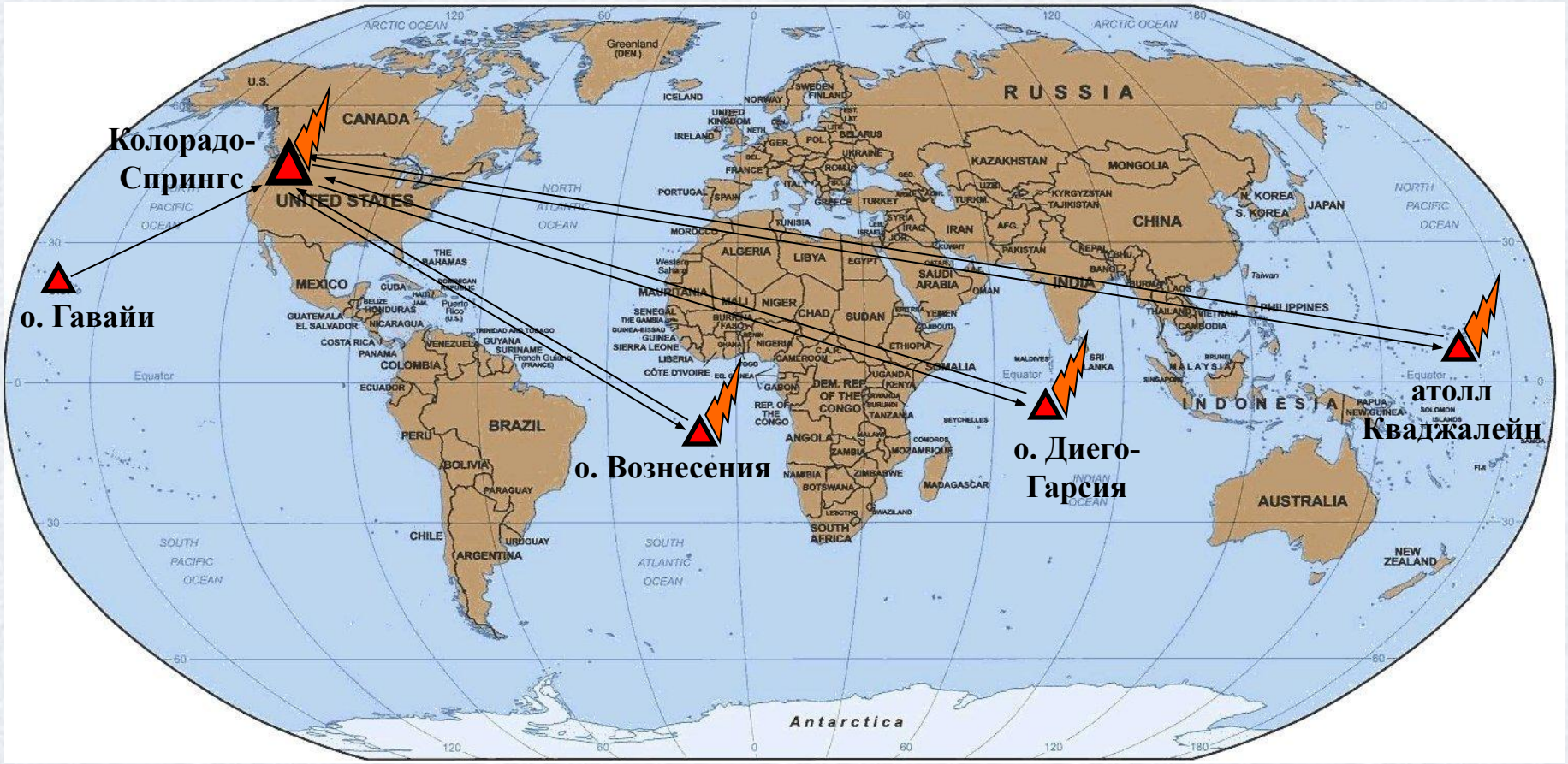
спутник

# Космический сегмент систем GPS и ГЛОНАСС

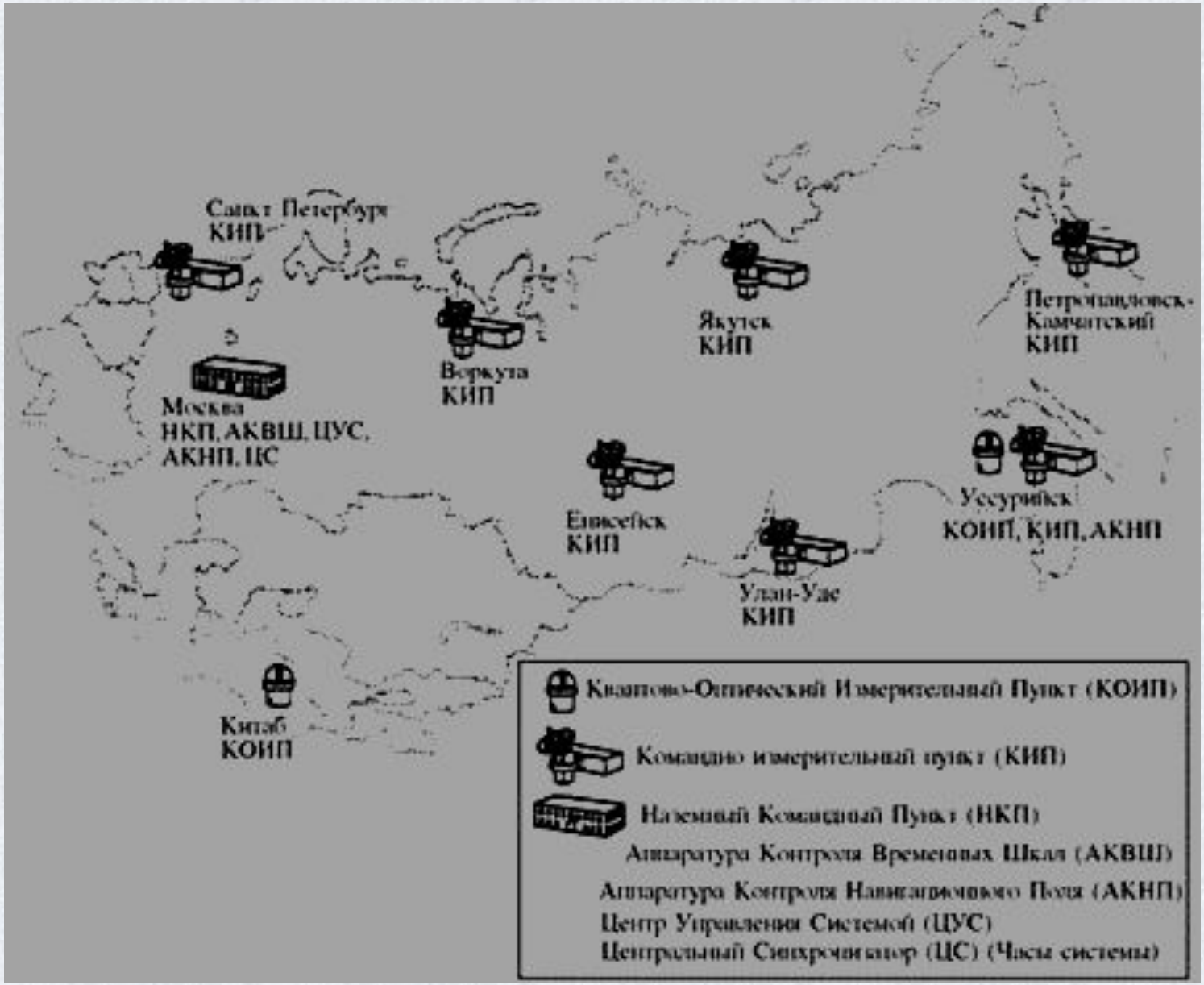
Запуск спутника GPS, BLOCK IIR

ГЛОНАСС спутник

# Сегмент контроля и управления системой GPS



# Сегмент контроля и управления системой ГЛОНАСС

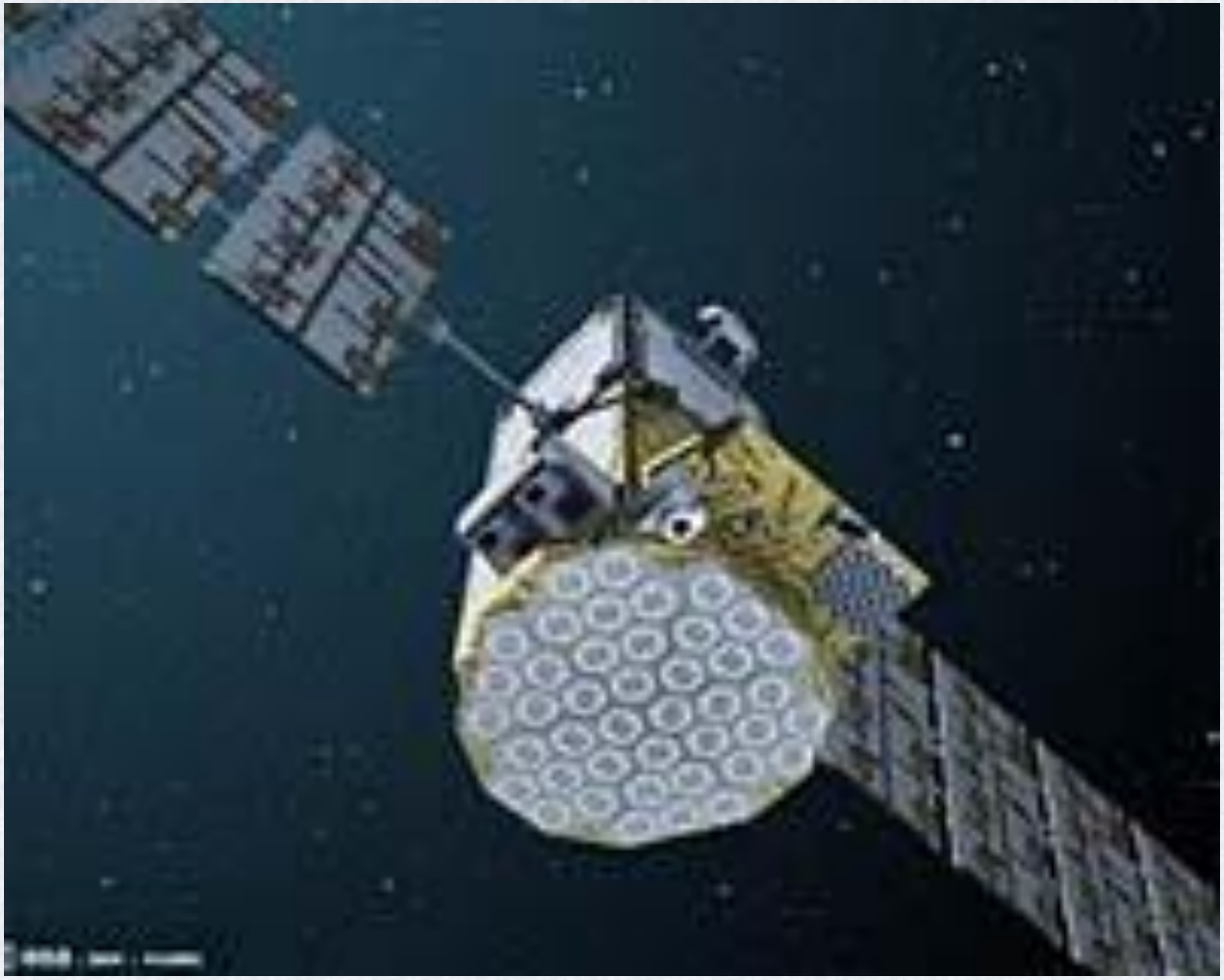


# Европейская глобальная навигационная система GALILEO (планируется к вводу в эксплуатацию в 2013г.)

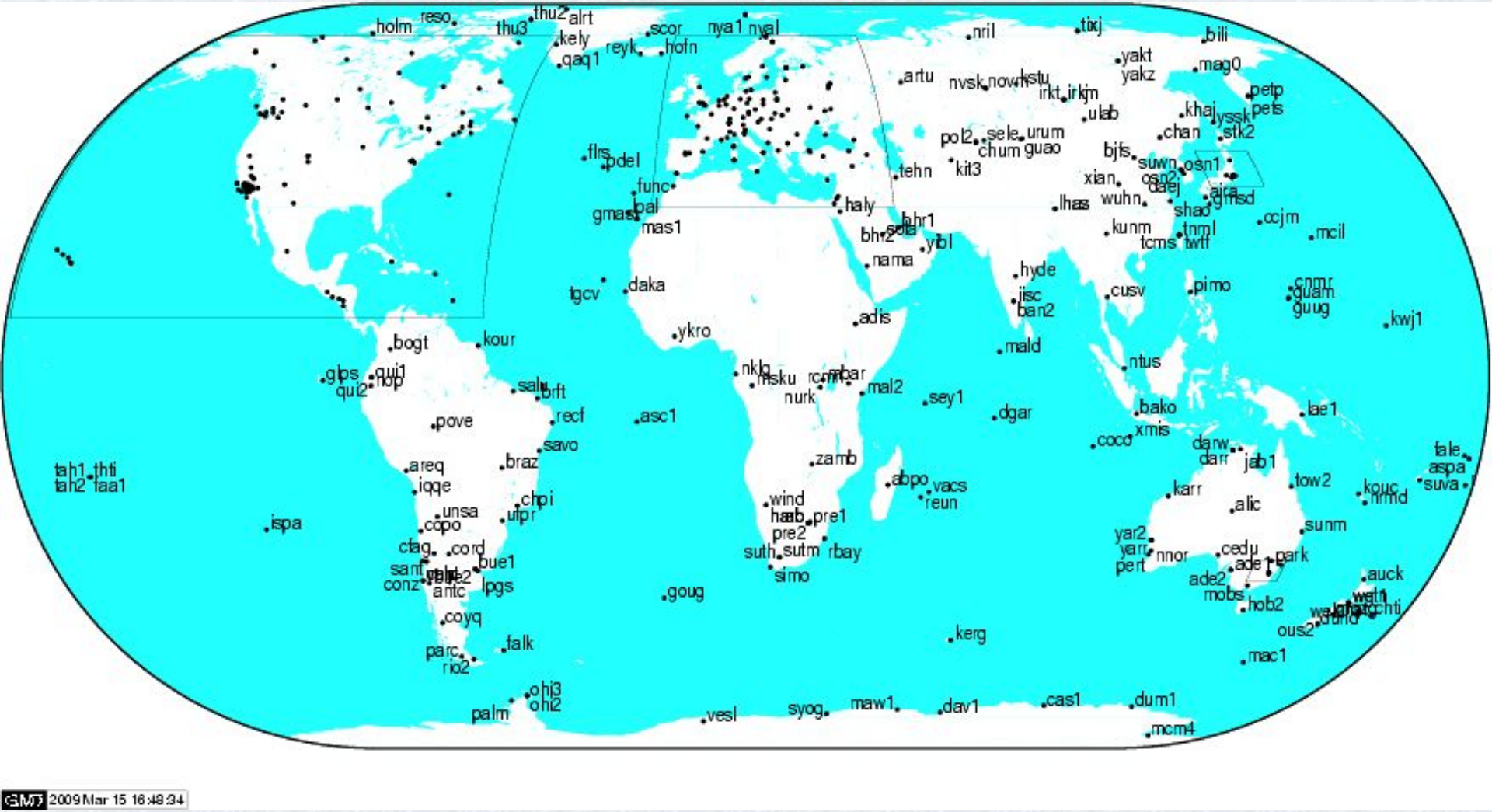
| Параметр | Значение | GPS |
|---|---|---|
| Число ИСЗ в системе | 30 | 24* (4 в запасе) |
| Число орбитальных плоскостей | 3 | 6 |
| Наклон орбиты | 54° | 55° |
| Высота ИСЗ над поверхностью Земли | 22966 км | 20150 км |
| Система координат | GTRS | WGS-84 |
| Срок активного существования | 12 лет | 7.5 лет |

* в настоящее время выведены на орбиту 2 SV’s

# Общий вид спутника системы GALILEO



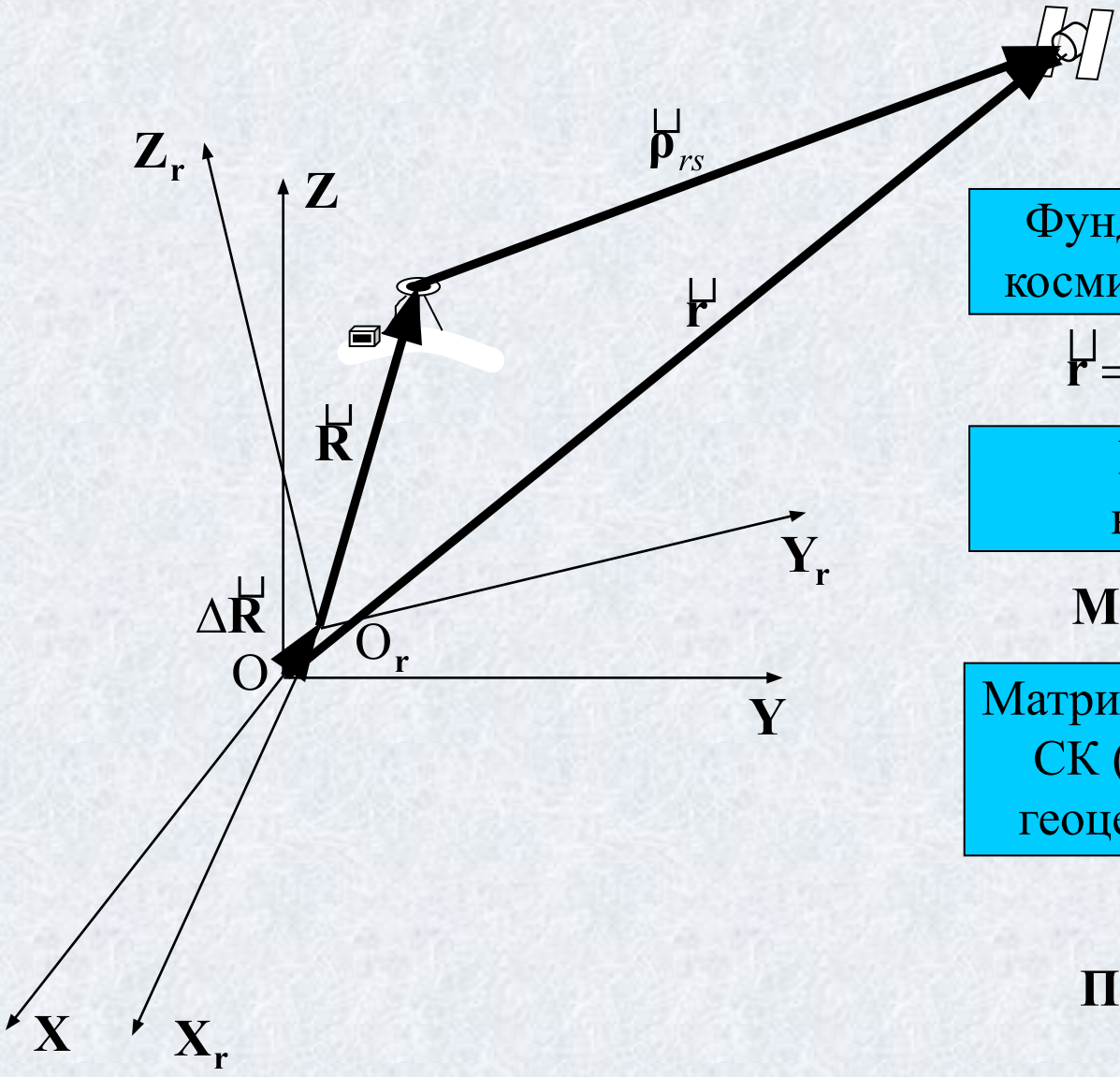
# Наземный сегмент (сеть IGS)




GMT 2009 Mar 15 16:48:34

Trimble
LOGGING FOR 23:46
MEMORY LEFT: 78 HR
23:46:40 UTC
ELEV/AZM
POSITION
DATE
MORE
TIMER
ENTER
CLEAR
STATUS
SAT INFO
ALPHA
SESSIONS
CONTROL
LOG DATA
MODIFY
POWER

# Принципы определения местоположения при помощи ГССП GPS и ГЛОНАСС




Фундаментальное уравнение космической геодезии (**ФУКГ**)

$$\mathbf{r} = \boldsymbol{\rho}_{rs} + \boldsymbol{\Pi}\mathbf{M}\mathbf{R} + \Delta\mathbf{R}. \quad (1)$$

Матрица масштабов вдоль осей координат

$$\mathbf{M} = diag(\mu_X, \mu_Y, \mu_Z).$$

Матрица разворота референцной СК ($X_r$, $Y_r$, $Z_r$) относительно геоцентрической СК (X, Y, Z)

$$\boldsymbol{\Pi} = \begin{pmatrix} 1 & \varphi & -\gamma \\ -\varphi & 1 & \vartheta \\ \gamma & -\vartheta & 1 \end{pmatrix}.$$

# Принципы определения местоположения при помощи ГССП GPS и ГЛОНАСС

При П = М = Е и $\Delta R = 0$ уравнение (1) приводится к виду :

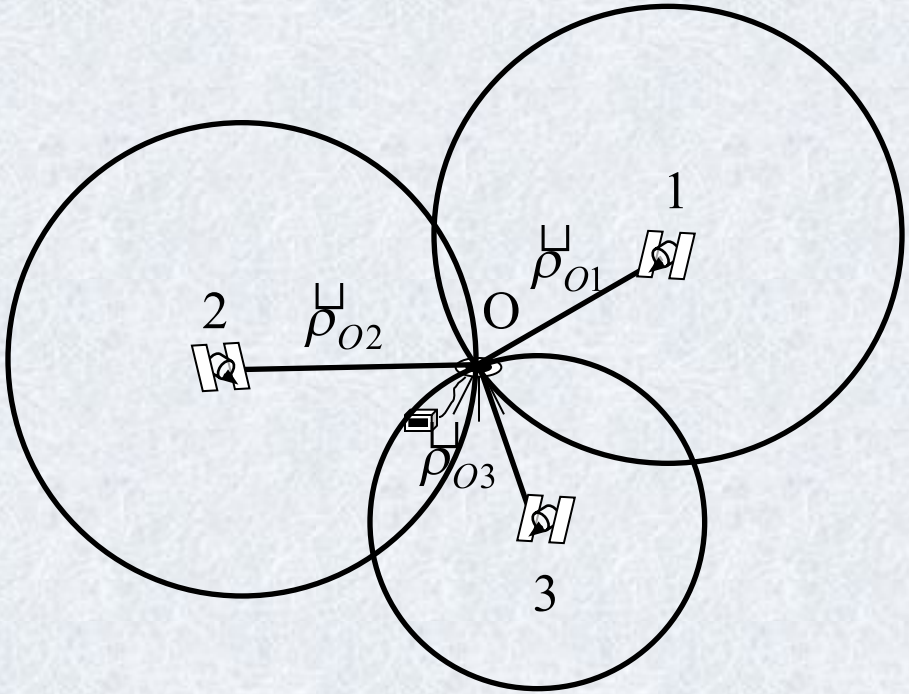
$$\vec{\rho}_{rs} = \vec{r} - \vec{R}. \quad (2)$$

Записывая уравнение (2) по модулю для фиксированного момента *t* получаем :

$$|\vec{\rho}_{rs}| = \sqrt{(X_S - X_r)^2 + (Y_S - Y_r)^2 + (Z_S - Z_r)^2}. \quad (3)$$

## Геометрическая интерпретация

**(пространственная линейная засечка)**



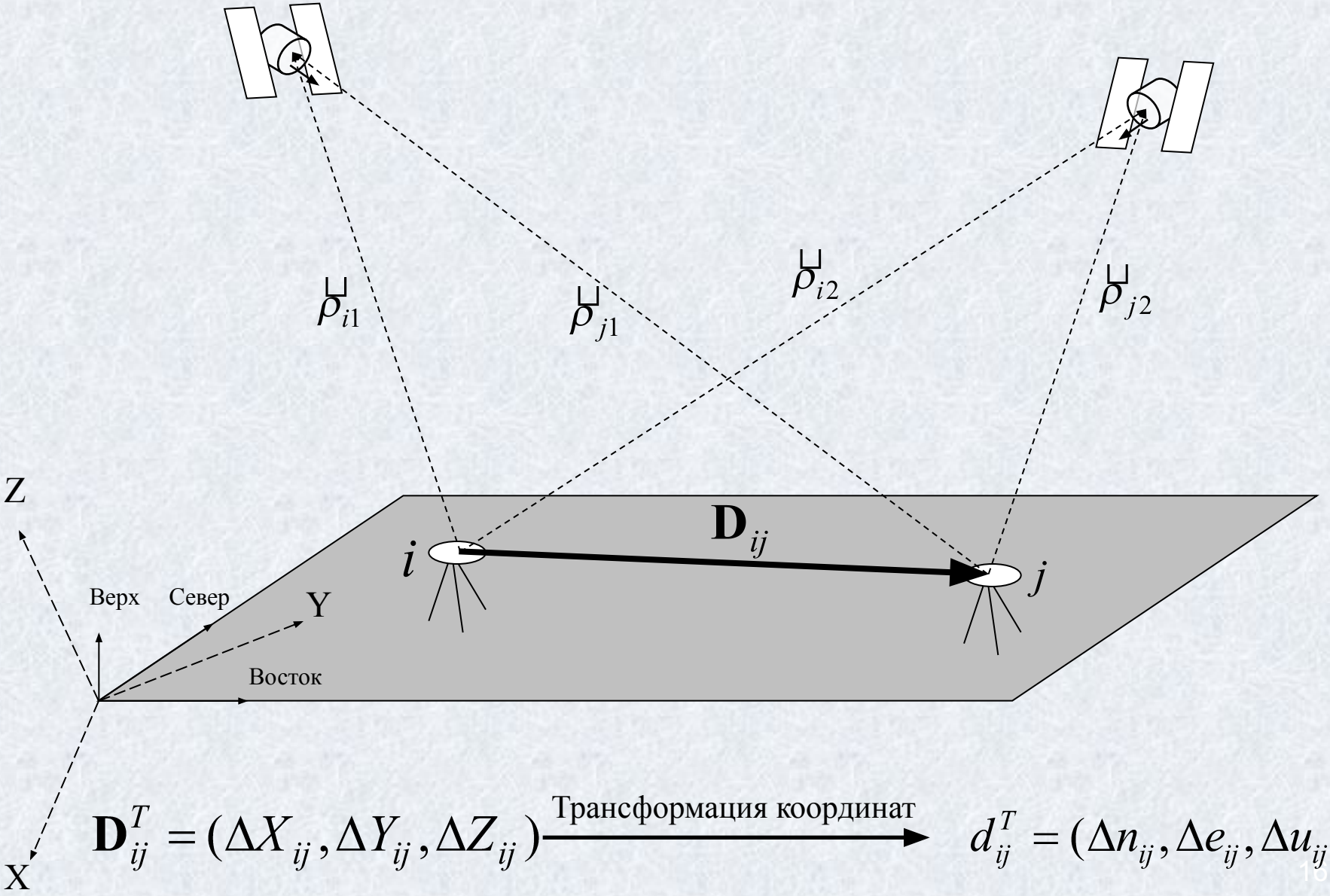

*Абсолютное позиционирование*

$$|\vec{\rho}_{O1}| = \sqrt{(X_1 - X_O)^2 + (Y_1 - Y_O)^2};$$

$$|\vec{\rho}_{O2}| = \sqrt{(X_2 - X_O)^2 + (Y_2 - Y_O)^2};$$

$$|\vec{\rho}_{O3}| = \sqrt{(X_3 - X_O)^2 + (Y_3 - Y_O)^2}.$$

# Относительное позиционирование




$$\mathbf{D}_{ij}^{T} = (\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}, \Delta Z_{ij}) \xrightarrow{\text{Трансформация координат}} d_{ij}^{T} = (\Delta n_{ij}, \Delta e_{ij}, \Delta u_{ij})$$

# Трансформирование разностей геоцентрических координат в локальную ТПСК

Мы измерили базовую линию $\mathbf{D}_{ij}^{T} = (\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}, \Delta Z_{ij})$

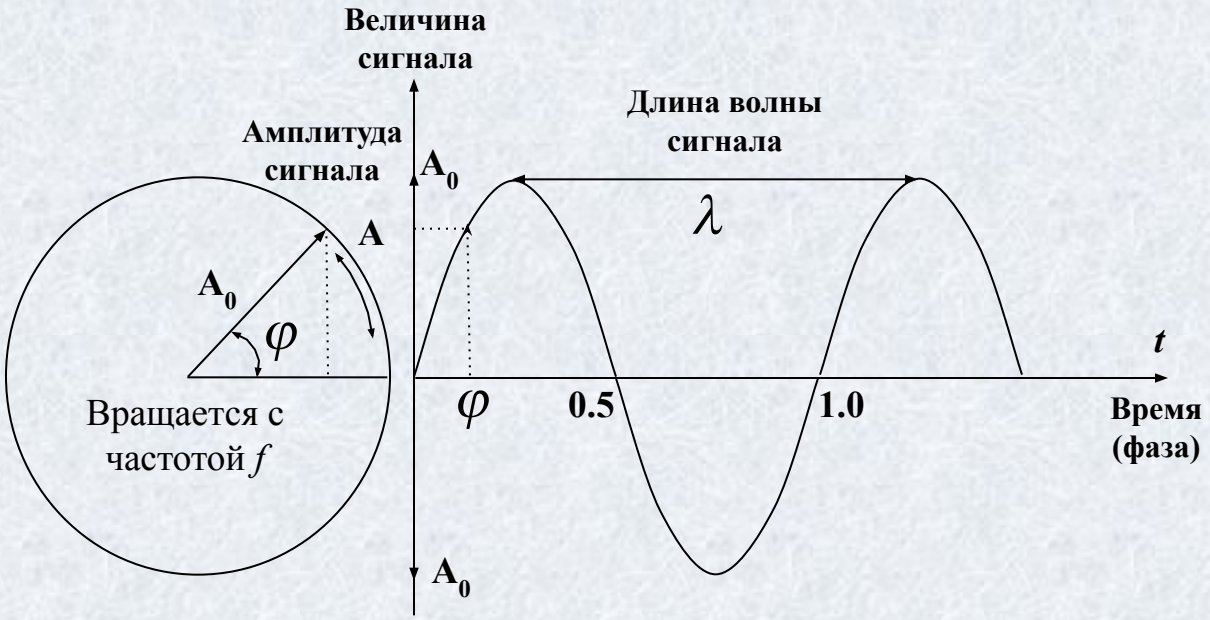
Известны геодезическая широта и долгота пункта $i$ – $B$, $L$

Тогда компоненты этой же базовой линии в ТПСК $\mathbf{d}_{ij}$ равны

$$\mathbf{d}_{ij} = \begin{pmatrix} \Delta n_{ij} \\ \Delta e_{ij} \\ \Delta u_{ij} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin B_i \cos L_i & -\sin B_i \sin L_i & \cos B_i \\ -\sin L_i & \cos L_i & 0 \\ \cos B_i \cos L_i & \cos B_i \sin L_i & \sin B_i \end{pmatrix} \cdot \left(\mathbf{D}_{ij}\right)$$

# Сигналы, излучаемые спутниками GPS и ГЛОНАСС и их назначение

## Немодулированный сигнал (несущая)




$$a = A_0 \sin(\omega t - \varphi_0);$$

$$\lambda = cT;$$

$$T = \frac{1}{f};$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}.$$

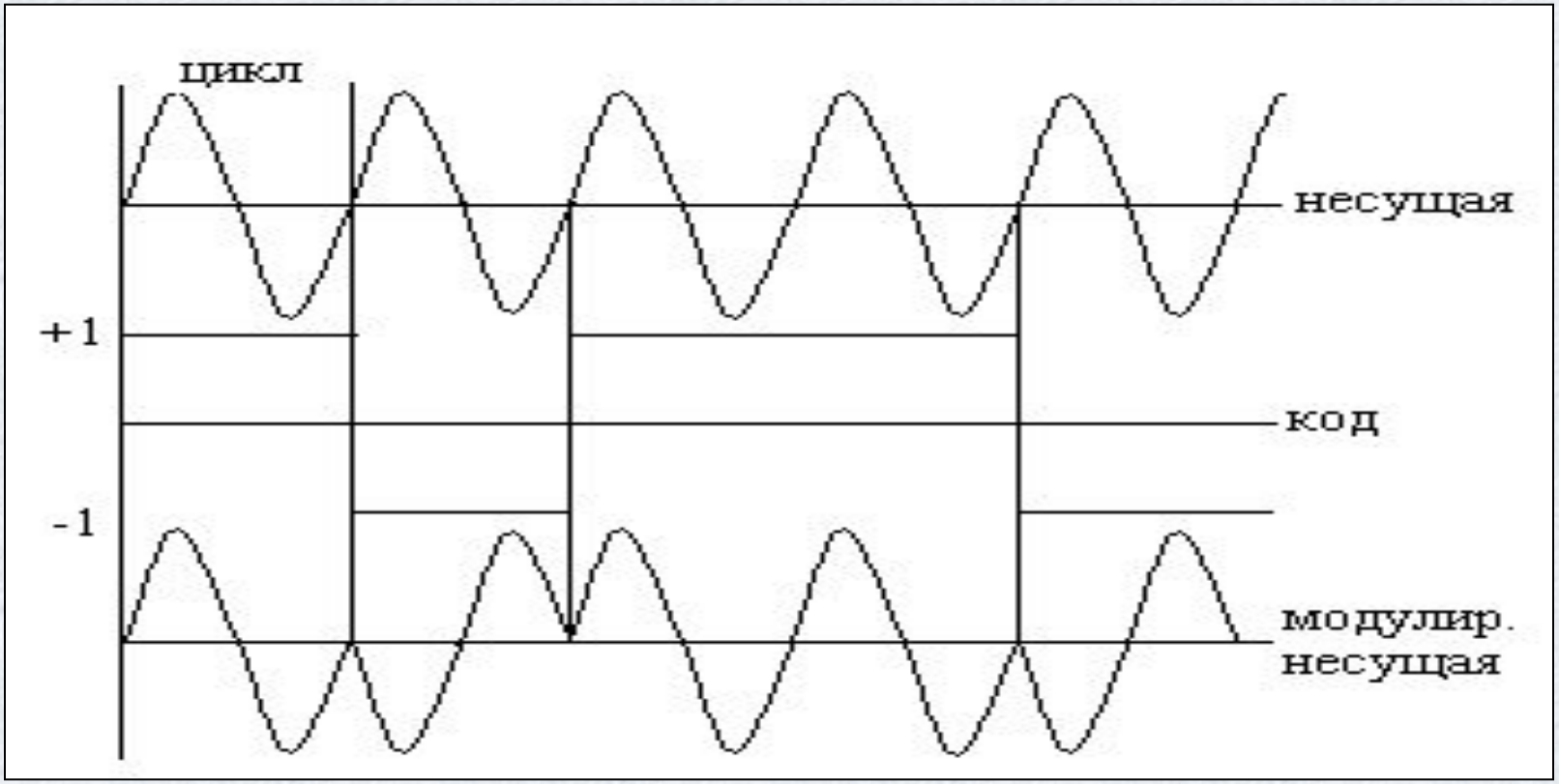
**Назначение несущих сигналов**:

1. Служат носителями дальномерных кодов, необходимых для получения расстояний определяемый пункт – спутник (кодовые псевдодальности).
2. Фазы несущих сигналов используются для получения расстояний определяемый пункт – спутник (фазовые псевдодальности) с наивысшей точностью.
3. Используются для передачи потребителям навигационного сообщения (эфемериды, альманах и т.д.).

# Модулирование несущих сигналов в ГССП GPS и ГЛОНАСС

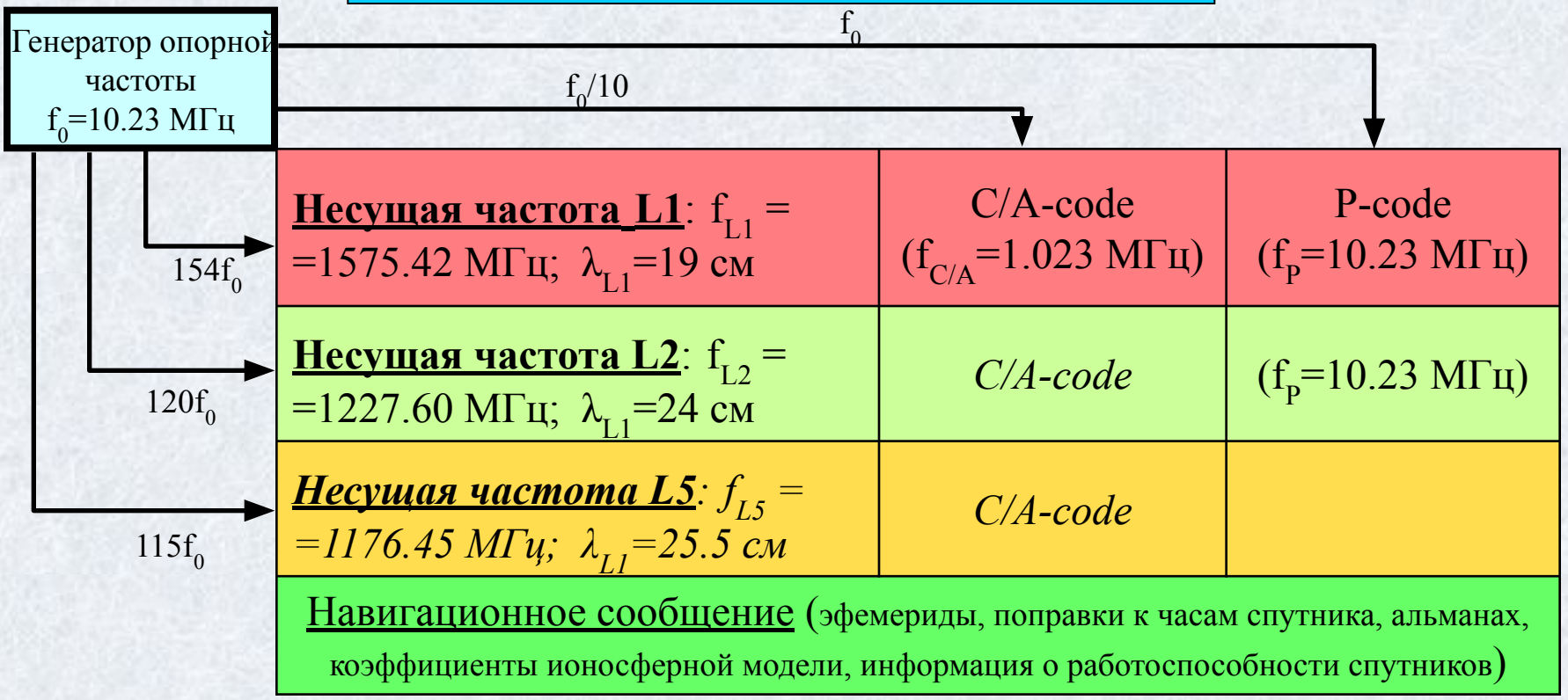
Дальномерные коды и другая необходимая информация, встраиваются в несущие колебания путем ***фазовой манипуляции*** (разновидность фазовой модуляции)

**Принцип генерации фазоманипулированных сигналов**



# Принципы формирования и виды сигналов, излучаемые спутниками GPS

## Упрощенная схема формирования радиосигналов на спутнике GPS




## Дальномерные коды

**C/A-code** – грубый код или код открытого доступа
**P-code** – точный или защищенный код

## Режимы доступа

**AS** – режим дополнительного шифрования P-code
**SA** – режим селективного доступа (отменен в 2001 г.)

# Принципы формирования и виды сигналов, излучаемые спутниками ГЛОНАСС

## Упрощенная схема формирования радиосигналов на спутнике ГЛОНАСС

## Дальномерные коды

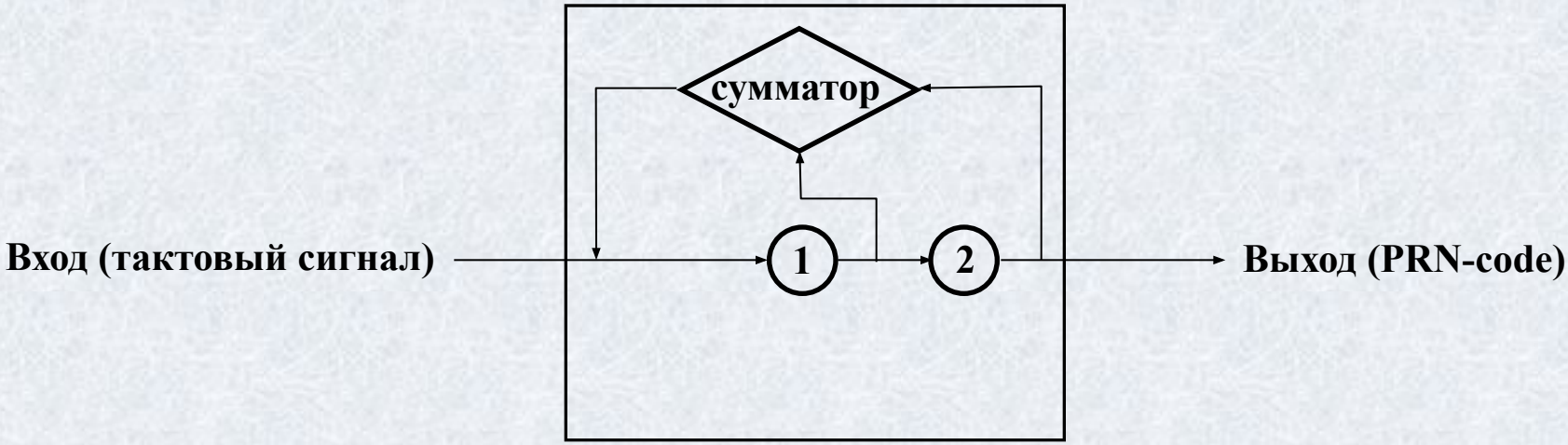
**СТ** – код стандартной точности (аналог C/A-code);
**ВТ** – точный код;

## Режимы доступа

ограничения отсутствуют

# Формирование дальномерных кодов (ПСП-последовательностей)

## Простейший сдвиговый регистр обратной связи




## Правила сложения битов информации

$1 + 1 = 0;$ $0 + 0 = 0$

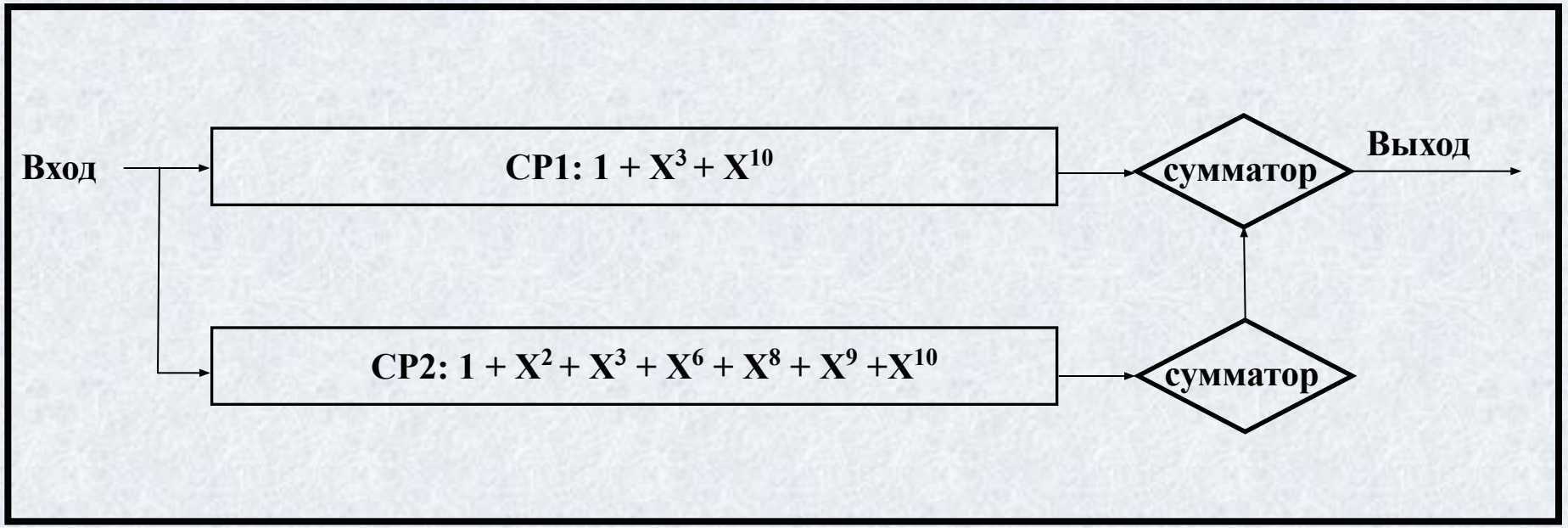
$1 + 0 = 1;$ $0 + 1 = 1$

| Номер такта | Cell 1 | Cell 2 | PRN-code |
|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 1 | - |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 0 | 11 |
| 3 | 1 | 1 | 011 |

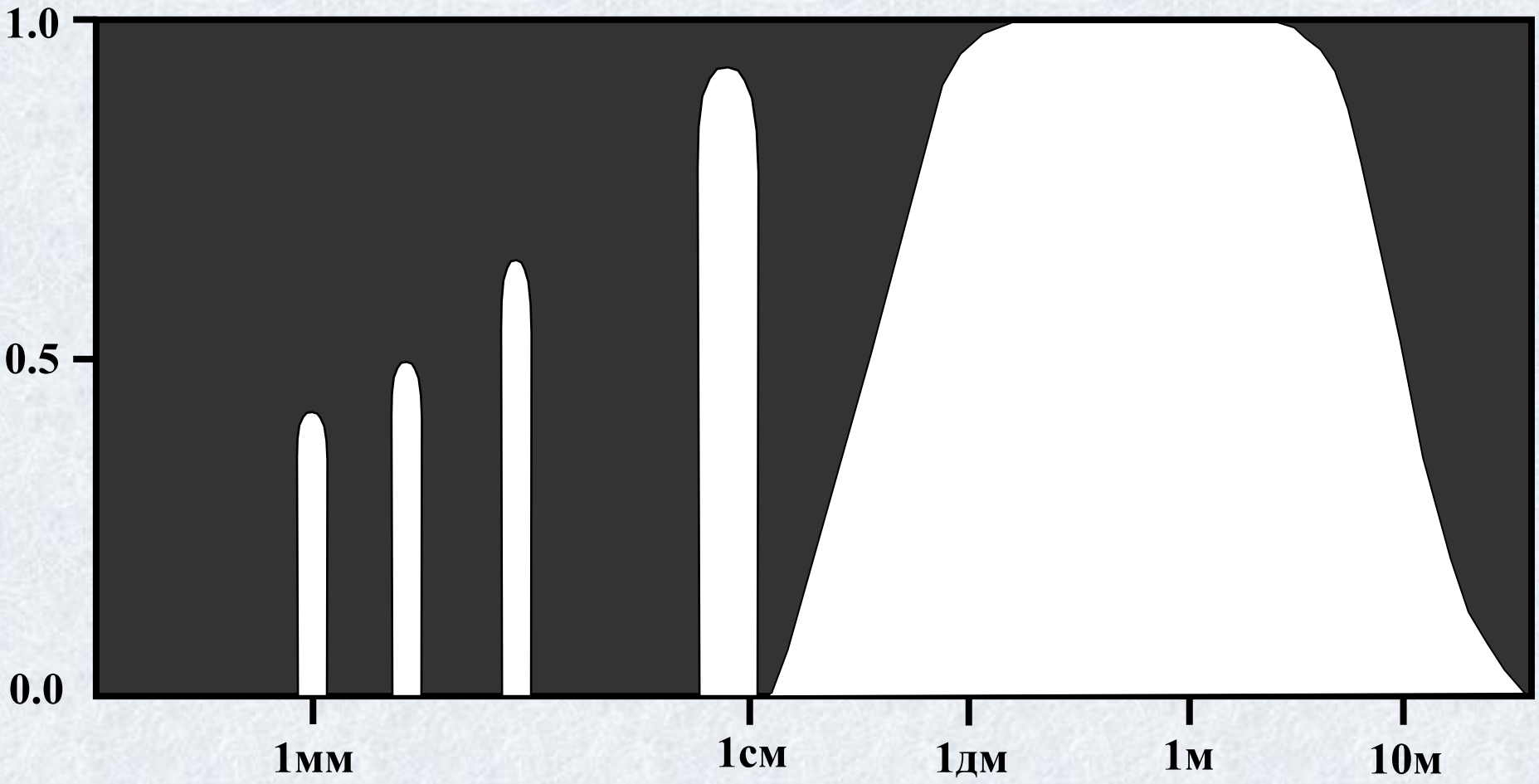
**Образующий полином:** $1 + X^1$

**Кол-во символов в ПСП:** $M = 2^k - 1$, где k – кол-во разрядов в регистре

# Формирование C/A-code в GPS



# Пропускание радиоволн атмосферой Земли



# Системы времени, используемые в ГССП GPS и ГЛОНАСС

**Системное время GPS и ГЛОНАСС не совпадает с международными шкалами времени TAI (Time Atomic International), UT (Universal Time), UTC (Universal Time Coordinated). Для перехода от системного времени GPS (GPST) и ГЛОНАСС (GLONASST) к UTC необходимо использовать формулы:**

$$GPST=UTC+n_S,$$

$$GLONASST=UTC+3^h\ 00^s,$$

**где $n_S$ – поправка, вводимая в GPST. Системное время GPS и ГЛОНАСС корректируется в последнюю секунду 31 декабря или 30 июня, или в обе даты, когда расхождение UTC и UT1 (UT, исправленное за смещение мгновенного полюса Земли относительно его среднего положения) превышает 0.9 с.**

**За рубежом принято идентифицировать информацию, хранящуюся в БД и связанную с ГССП GPS и ГЛОНАСС, в соответствии с номером GPS недели (GPS week) и порядковым номером дня в ней. Счет GPS недель ведется с 6.01.1980 г. Для вычисления GPS week используется формула:**

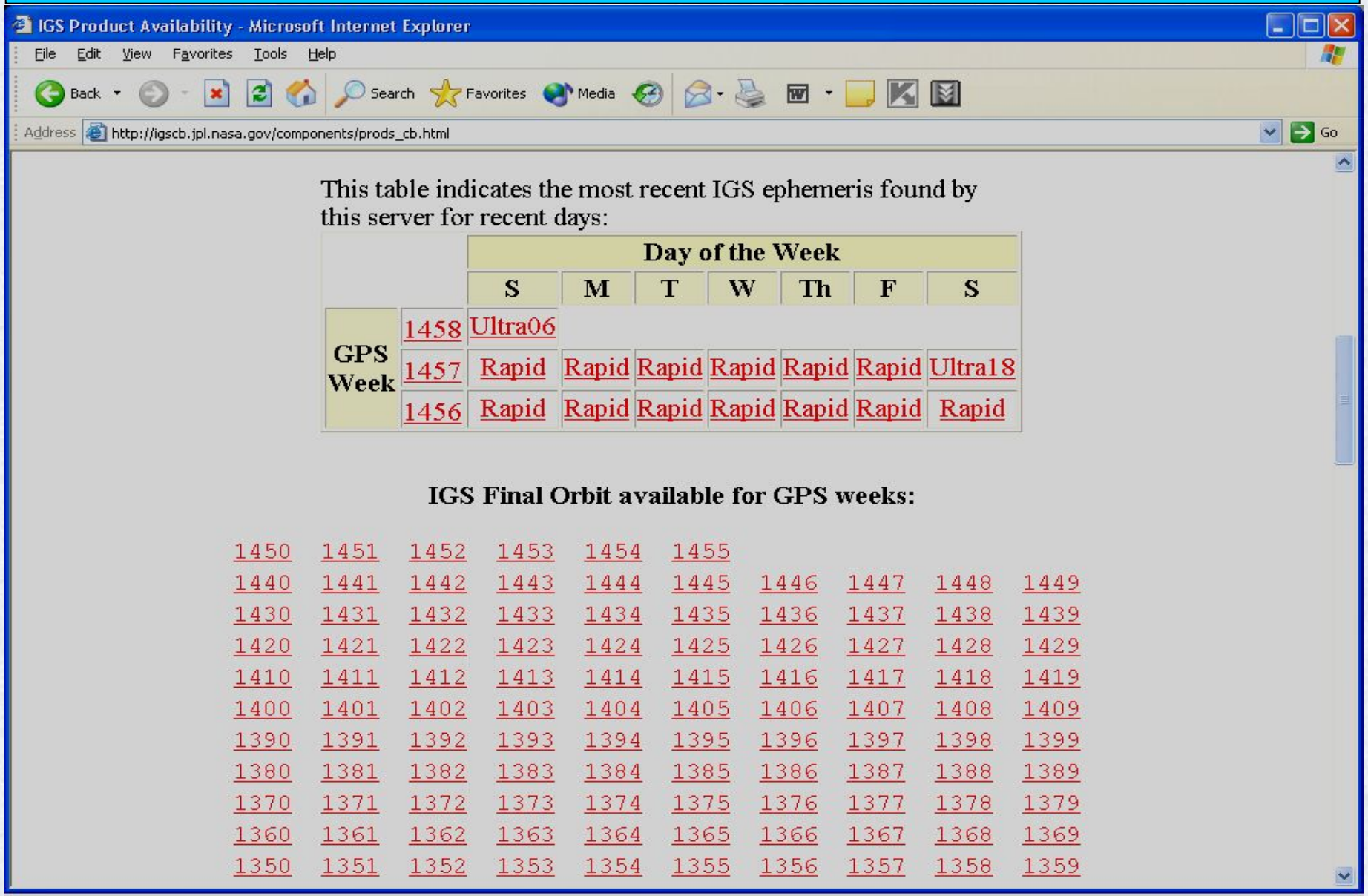
$$GPSweek=int[(JD-2444244.5)/7],$$

$$JD=int[365.25y]+int[30.6001(m+1)]+D+UT/24+1720981.5,$$

**y=Y-1 and m=M+12 if M<=2;**
**y=Y and m=M if M>2;**

**Например, файл точных эфемерид, соответствующий 17.12.2007 г. и хранящийся в БД сети IGS, получит наименование: igs14581.sp3.Z.**

# Размещение информации в БД сети IGS




This table indicates the most recent IGS ephemeris found by this server for recent days:

| | | Day of the Week | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | S | M | T | W | Th | F | S |
| GPS Week | 1458 | Ultra06 | | | | | | |
| | 1457 | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Ultra18 |
| | 1456 | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid |

**IGS Final Orbit available for GPS weeks:**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1450 | 1451 | 1452 | 1453 | 1454 | 1455 | | | | |
| 1440 | 1441 | 1442 | 1443 | 1444 | 1445 | 1446 | 1447 | 1448 | 1449 |
| 1430 | 1431 | 1432 | 1433 | 1434 | 1435 | 1436 | 1437 | 1438 | 1439 |
| 1420 | 1421 | 1422 | 1423 | 1424 | 1425 | 1426 | 1427 | 1428 | 1429 |
| 1410 | 1411 | 1412 | 1413 | 1414 | 1415 | 1416 | 1417 | 1418 | 1419 |
| 1400 | 1401 | 1402 | 1403 | 1404 | 1405 | 1406 | 1407 | 1408 | 1409 |
| 1390 | 1391 | 1392 | 1393 | 1394 | 1395 | 1396 | 1397 | 1398 | 1399 |
| 1380 | 1381 | 1382 | 1383 | 1384 | 1385 | 1386 | 1387 | 1388 | 1389 |
| 1370 | 1371 | 1372 | 1373 | 1374 | 1375 | 1376 | 1377 | 1378 | 1379 |
| 1360 | 1361 | 1362 | 1363 | 1364 | 1365 | 1366 | 1367 | 1368 | 1369 |
| 1350 | 1351 | 1352 | 1353 | 1354 | 1355 | 1356 | 1357 | 1358 | 1359 |

# Вычисление псевдодальностей в ГССП GPS и ГЛОНАСС

**Основные методы определения псевдодальностей**

**Кодовый метод**

**точность получения псевдодальностей 0.3 – 0.6 м.**

**Фазовый метод**

**точность получения псевдодальностей ~0.002 м.**

# Кодовый метод

Теоретически:

$$\rho_{rs} = c\Delta\tau = c\,[NT_{п} + (m + \phi)\,T_{m}]. \quad (4)$$

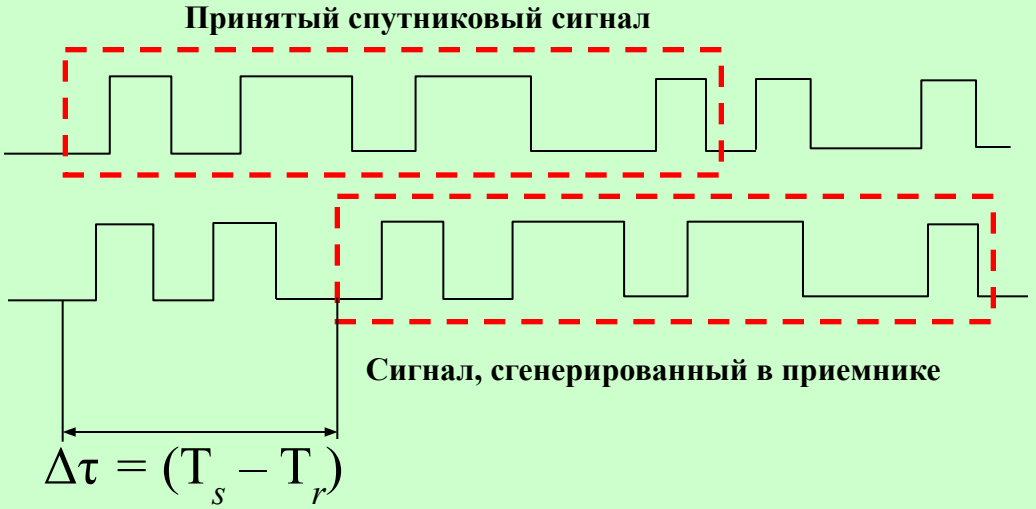
Учитывая, что $\lambda = cT$, получаем

$$\rho_{rs} = N\lambda_{п} + (m + \phi)\,\lambda_{m}. \quad (5)$$

Практически, в простейшем случае имеем

$$P_{rs} = c(t_r + \delta t_r) - c(t_s + \delta t_s) =$$

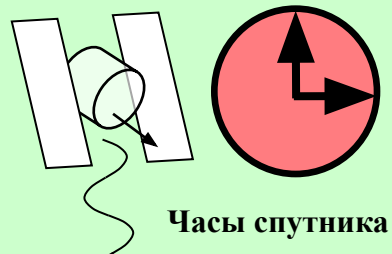
$$= c(t_r - t_s) + c(\delta t_r - \delta t_s) = \rho_{rs} + c\delta t_r - c\delta t_s. \quad (6)$$



# Параметры ПСП кодов стандартной точности

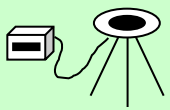
| Параметр | ГЛОНАСС | GPS |
|---|---|---|
| Число символов в ПСП M | 511 | 1023 |
| Тактовая частота $f_m$ | 511кГц | 1023кГц |
| Интервалы следования символов в ПСП $T_m$ | ~2мкс | ~2мкс |
| Длина волны символа ПСП $\lambda_m = c/f_m$ | ~587м | ~293м |
| Период повторения ПСП $T_п$ | 1мс | 1мс |
| Длина волны всей ПСП $\lambda_п = Mc/f_m$ | ~300км | ~300км |

# Фазовый метод



Часы спутника $t_s$

Излученный спутниковый сигнал (несущая)



Часы приемника $t_r$

Теоретически:

$$\Delta\varphi = \varphi_r - \varphi_s = \omega(t_r - t_s) = \omega\Delta\tau = 2\pi f\Delta\tau = \frac{2\pi}{\lambda}c\Delta\tau. \quad (7)$$

Учитывая что $\rho_{rs} = c\Delta\tau$, получаем из (7)

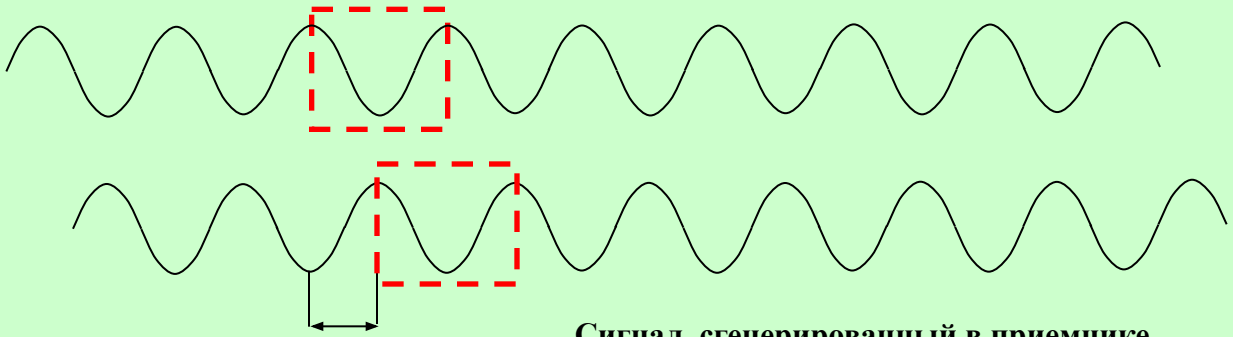
$$\rho_{rs} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi}\lambda = (N + \Phi)\lambda = N\lambda + \Phi\lambda = N\lambda + dP. \quad (8)$$

Практически, в простейшем случае имеем

$$\frac{\Delta\varphi + \delta\varphi_r + \delta\varphi_s}{2\pi}\lambda = \rho_{rs} + \frac{\delta\varphi_r}{2\pi}\lambda + \frac{\delta\varphi_s}{2\pi}\lambda;$$

$$P_{rs} = N\lambda + dP = \rho_{rs} + \delta P_r + \delta P_s. \quad (9)$$

Принятый спутниковый сигнал



$\Delta\tau = (T_s - T_r)$

Сигнал, сгенерированный в приемнике

# Источники ошибок, оказывающие влияние на результаты позиционирования при помощи ГССП GPS и ГЛОНАСС

**Случайные («белый шум») влияние минимизируется путем осреднения результатов измерений**

**Систематические («смещения») неустранимы путем осреднения результатов измерений**

**1.** Ошибки, связанные с погрешностями исходных данных, главенствующая роль в которых принадлежит неточностям эфемерид спутников, определяющих их положение в пространстве в любой момент времени.

**2.** Ошибки, обусловленные влиянием внешней среды на распространение дальномерного сигнала. К ним относятся ионосферные и тропосферные задержки, отражение радиоволн от окружающих предметов (многолучевость или многопутность), препятствия на пути сигнала, релятивистские эффекты.

**3.** Нестабильность работы опорного генератора спутника. Задержки сигнала в аппаратуре спутника и приемника, неточность знания положения фазового центра антенны приемника.

**4.** Геометрический фактор – влияние геометрии взаимного расположения наблюдаемых спутников на результаты позиционирования.

Существуют и другие ошибки, не относящиеся ни к одной из перечисленных групп, например, ошибки трансформирования результатов позиционирования из системы координат WGS-84 в ПЗ-90 и т.д.

# Влияние ошибок эфемерид спутников GPS и ГЛОНАСС на точность позиционирования

$$\delta b = \frac{b(км)}{25000(км)} \Delta R$$

| ΔR(м) | $b$(км) | $\delta b$ (мм) |
|---|---|---|
| 2.50 | 10 | 1 |
| 2.50 | 100 | 10 |
| 2.50 | 1000 | 100 |
| 0.25 | 100 | 1 |
| 0.25 | 1000 | 10 |
| 0.05 | 100 | - |
| 0.05 | 1000 | 0.5 |

# Атмосферная рефракция

# Влияние ионосферы на результаты GPS и ГЛОНАСС измерений

Искажение псевдодальности, обусловленное влиянием ионосферы

$$\delta P_{Iono} = \pm \frac{1}{\cos z'} \frac{40.3}{f^2} TVEC = \pm \frac{k}{f^2}. \quad (10)$$

$\delta P_{Iono}$ может принимать значения от 0.15 до 50 м. При отсутствии учета ионосферной рефракции базовые линии оказываются преуменьшенными на величину $0.08 TVEC$ [ppm].

## Моделирование ионосферной рефракции (модель Джона Клобушара)

$$\delta t_{Iono} = A_1 + A_2 \cos \frac{2\pi (t - A_3)}{A_4}. \quad (11)$$

$A_1 = 5$ns, $A_2$ – амплитуда, $A_3$ – фаза, $A_4$ – период функции $\delta t_{Iono}$ .

# Важнейшие линейные комбинации GPS/ГЛОНАСС измерений и «уничтожение» эффекта TEC

Пусть измерены дробные части разности фаз спутникового сигнала $\phi_{L_1}, \phi_{L_2}$ на частотах $L_1$ и $L_2$, тогда их линейной комбинацией называется величина

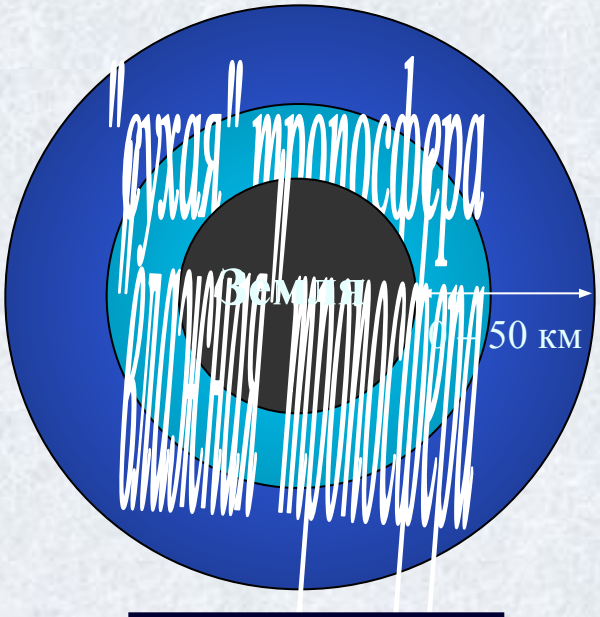
$$\phi_{L_1,L_2} = \alpha\phi_{L_1} + \beta\phi_{L_2}. \quad (12)$$

$$P_{L_1,L_2} = P_{L_1} - \frac{f_{L_2}^2}{f_{L_1}^2} P_{L_2} \text{ или } \phi_{L_1,L_2} = \phi_{L_1} - \frac{f_{L_2}}{f_{L_1}} \phi_{L_2} \quad (13)$$

Ионосферно-свободная линейная комбинация кодовых и фазовых измерений

| **Название комбинации** | **α** | **β** | **Результирующая длина волны (см)** |
|---|---|---|---|
| L1 | 1 | 0 | 19.0 |
| L2 | 0 | 1 | 24.4 |
| Суммарная (narrow line) | 1 | 1 | 10.7 |
| Разностная (wide line, L5) | 1 | –1 | 86.2 |
| Ионосферно-свободная (Iono-free, L3) | 1 | – 0.78 | 5.4 |

# Влияние тропосферы на результаты GPS и ГЛОНАСС измерений




Тропосферные искажения

**Абсолютные**

$\delta P_{Tropo}$ = 10см

дает

$\delta b$ = 0.05ppm

**Относительные**

$\delta P_{Tropo}$ = 1см

дает

$\delta H$ = 3см

Искажение псевдодальности, обусловленное влиянием тропосферы, может изменяться в пределах от 2.4м (z = 0º) до 24.2м (z = 85º). Условно тропосфера подразделяется на два слоя – «сухой» и «влажный».

**Искажения в сухом слое:**

- составляют 90% от общего искажения псевдодальности в тропосфере;
- главным образом зависят от давления на поверхности Земли;
- медленно изменяются со временем (1см/6ч).

**Искажения во влажном слое:**

- по величине < 40 см;
- главным образом зависят от концентрации водяных паров в приземном слое атмосферы;
- быстро изменяются со временем.

# Учет влияния тропосферы на результаты GPS и ГЛОНАСС измерений

**Методы учета тропосферной рефракции**

**Моделирование тропосферы**
(менее трудоемко и более просто, но менее точно)

**Оценка параметров тропосферы**
**(более трудоемко и сложно, но более точно)**

# Моделирование тропосферы

К настоящему времени разработано большое количество моделей тропосферы, например, модели Хопфилда (Hopfield,1969), Саастамоинена (Saastamoinen, 1973) и др. Все модели строятся на основе общей формулы

$$\delta P_{Tropo} = f_{dry}(z) \cdot \delta P_{dry}(0) + f_{wet}(z) \cdot \delta P_{wet}(0). \quad (13)$$

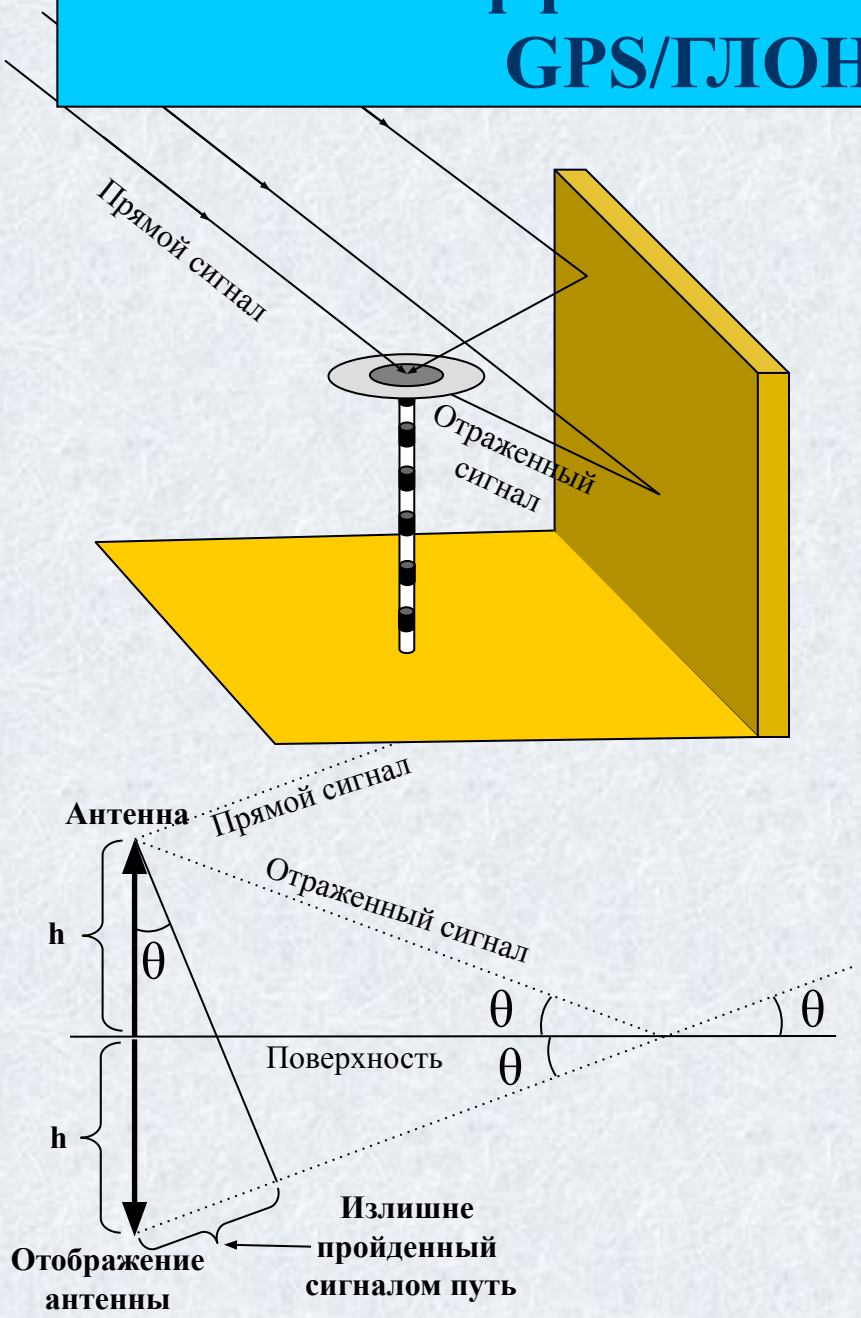
В формуле (13) величины $\delta P_{dry}$, $\delta P_{wet}$ вычисляются с использованием информации о *температуре* T, *давлении* P и *влажности* ε в пункте наблюдений. Эта информация может быть получена путем экстраполяции стандартных значений T, P и ε в пункте наблюдений или путем метеорологических наблюдений в GPS/ГЛОНАСС пункте.

# Оценивание параметров тропосферы

Искажение псевдодальности из-за влияния тропосферной рефракции может рассматриваться как кусочно-непрерывная линейная функция, либо как случайный (стохастический) процесс. Во втором случае для оценки параметров тропосферы используется фильтр Кальмана, а в первом случае используется формула

$$\delta P_{Tropo} = f_{apr}(z) \cdot \delta P_{apr} + f(z) \cdot \delta P(t). \quad (14)$$

# Влияние эффекта многолучевости на результаты GPS/ГЛОНАСС измерений



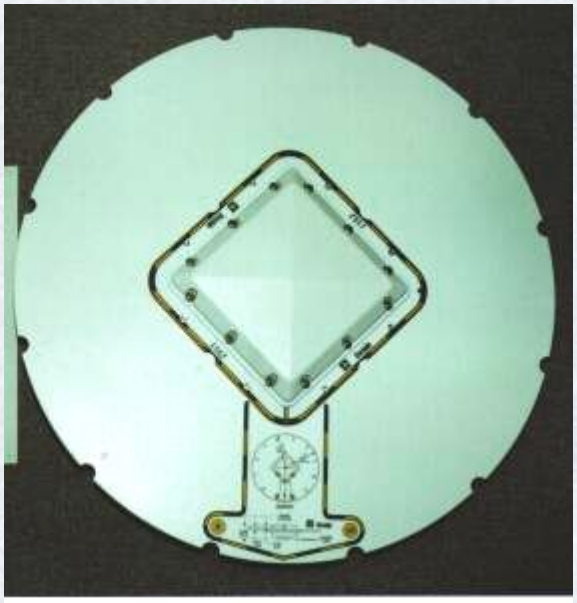

Переотражение сигнала может привести к ошибкам в измерении псевдодальностей по коду и фазе несущей до 20м (код) и несколько см (фаза). Особенно ярко эффект многолучевости проявляется при наблюдении НИСЗ с *малыми углами возвышения*.

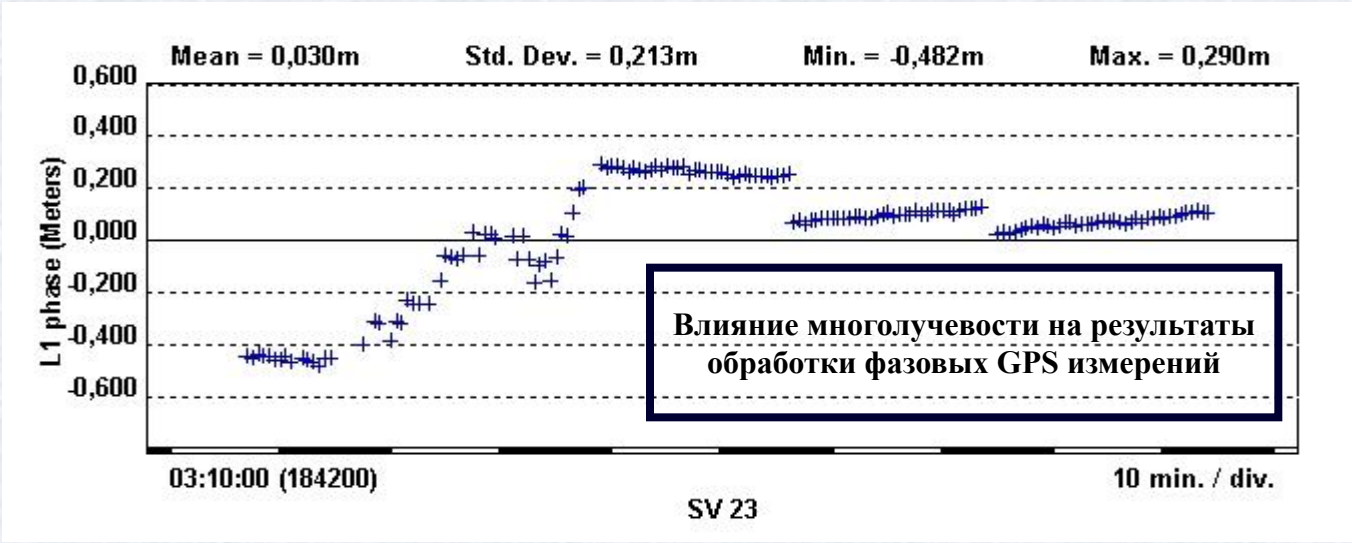
При *увеличении высоты антенны* над поверхностью *величина искажений растет*, но *период уменьшается* и наоборот.

Эффект многолучевости *слабо поддается моделированию*, но хорошо *осредняется за длительный период времени* или фильтруется *сидерическим фильтром*.

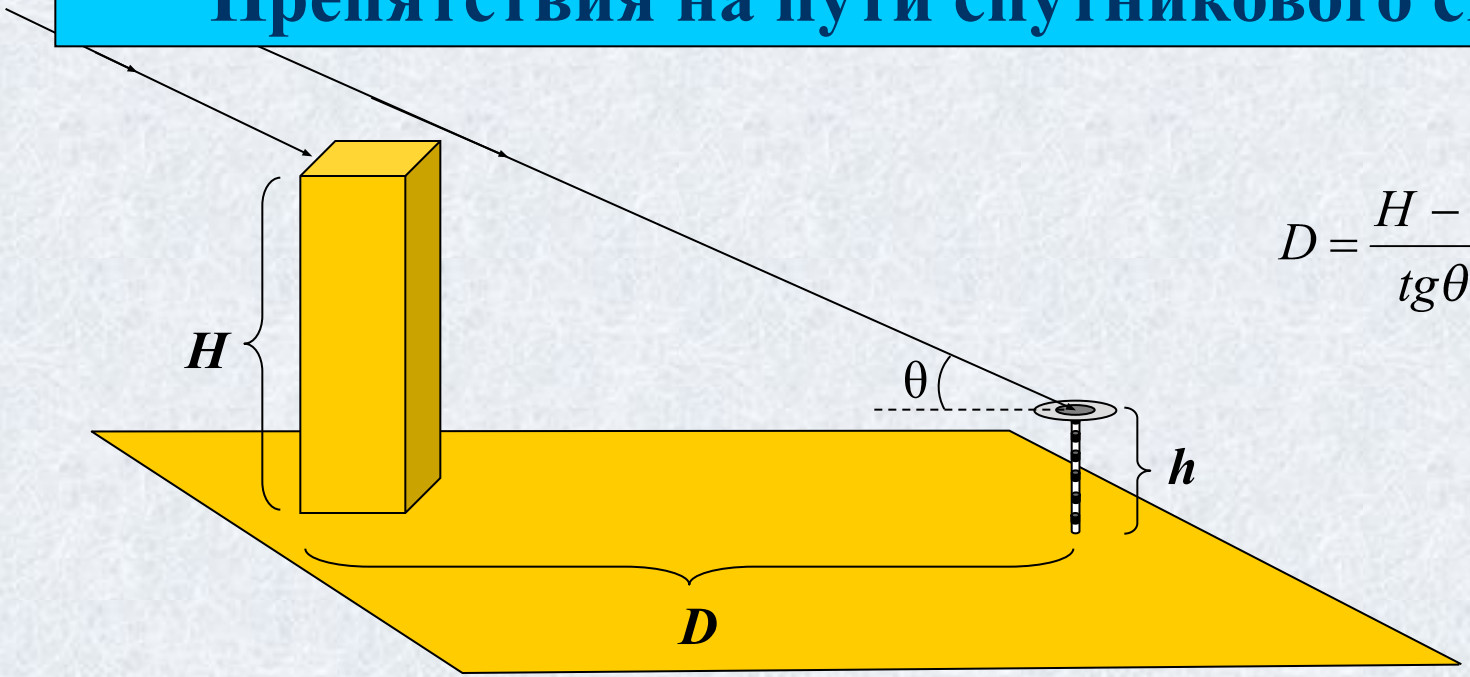
Хорошо себя зарекомендовали плоские экраны-отсекатели и экраны типа choke-ring.

# Пример плоского экрана-отсекателя и экранов типа Choke-Ring





# Препятствия на пути спутникового сигнала



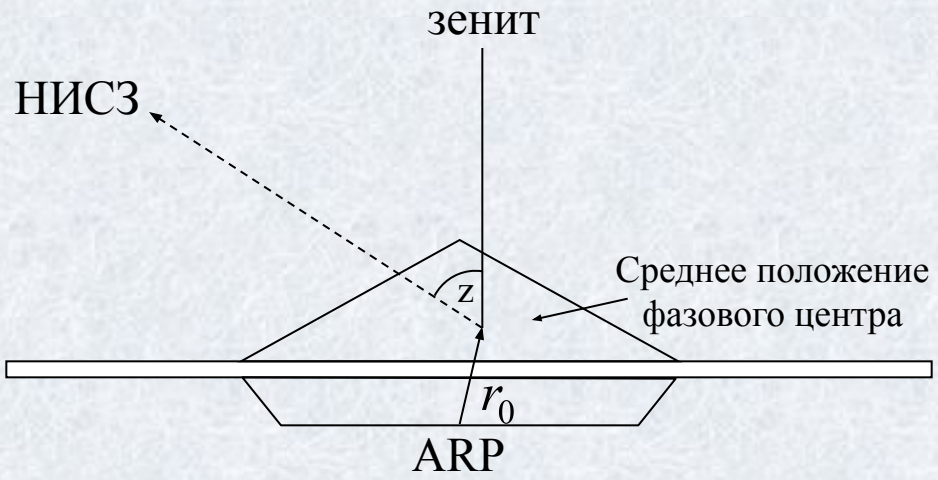

$$D = \frac{H - h}{tg\theta}. \quad (15)$$

| **Высота препятствия *H*, м** | **2** | **5** | **10** | **15** | **25** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Рекомендуемое расстояние *D*, м** | 3 | 20 | 49 | 77 | 134 |

Примечание: таблица составлена для $h = 1.5$м и $\theta = 10^{o}$

Радиоволны способны огибать препятствия, сравнимые с длиной волны сигнала, т.е. около 20-25 см. При измерениях по фазе несущей важно каждое измерение, а при кодовых нет, т.к., например, один символ C/A-code вмещает около 1500 несущих колебаний. Поэтому кодовые наблюдения возможны даже под кронами деревьев.

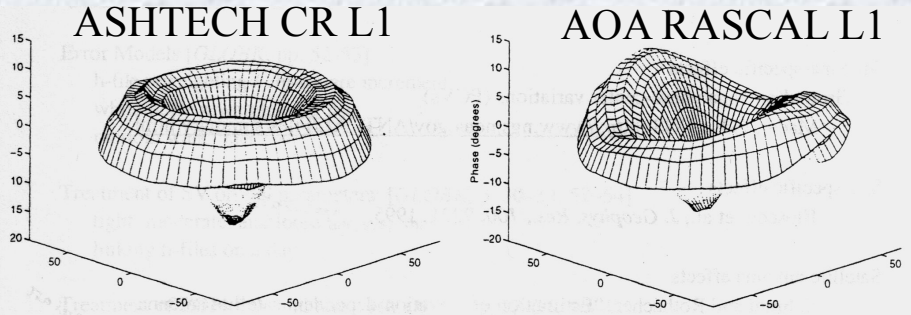
# Влияние нестабильности и неточного знания положения фазового центра антенны на результаты GPS/ГЛОНАСС позиционирования




Вариации фазового центра описываются моделью вида

$$\delta\vec{r} = \vec{r}_0 + \delta\phi(z,\alpha)\cdot\vec{e}_{z,\alpha}. \quad (16)$$

Использование при наблюдениях антенн разных типов может привести к ошибкам определения отметок пунктов до 10 см. Вариации фазового центра приводят к искажению длин длинных базовых линий на величину до 0.016ppm




Графики вариации фазы принимаемого сигнала для двух типов антенн

# Калибровка GPS/ГЛОНАСС

Global Positioning System (GPS) Antenna Calibration - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Back Search Favorites Media

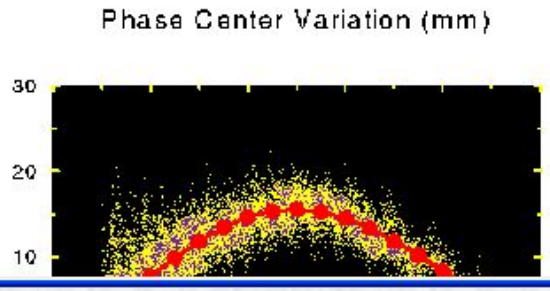
Address http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/ Go

## GPS Antenna Calibration

### Calibrated Antennas:

- AeroAntenna
- Allen Osborne Associates
- Ashtech
- Javad
- Leica
- Macrometer
- Micro Pulse
- NavCom
- NovAtel
- Sensor Systems
- Sokkia
- Spectra Precision
- Thales Navigation
- Topcon
- Trimble
- GPS Block II A Satellite

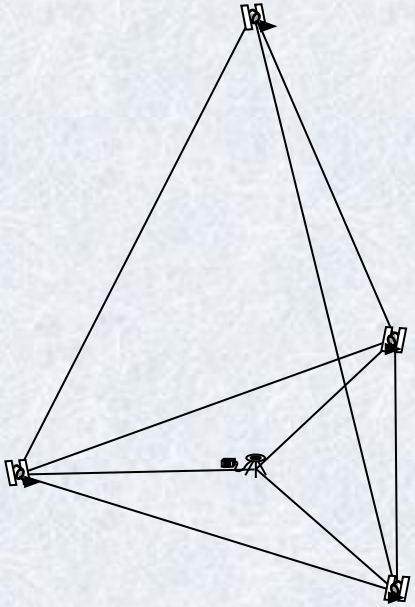
Antenna testing facility in Corbin, VA




### Antenna Calibration Resources

- Calibration Format Information
- *GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey [PDF Version] by Gerald L. Mader*

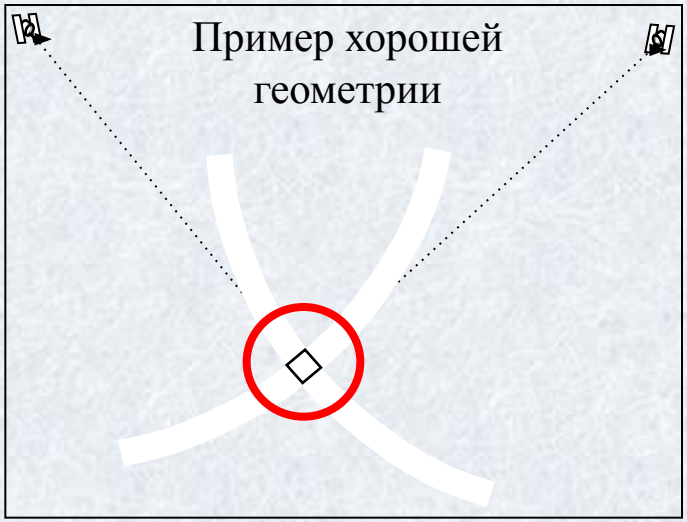
# Геометрический фактор (DOP) и его влияние на результаты GPS/ГЛОНАСС позиционирования



DOP является связующим звеном между точностью псевдодальномерных измерений $\sigma_{mes}$ и точностью позиционирования $\sigma$:

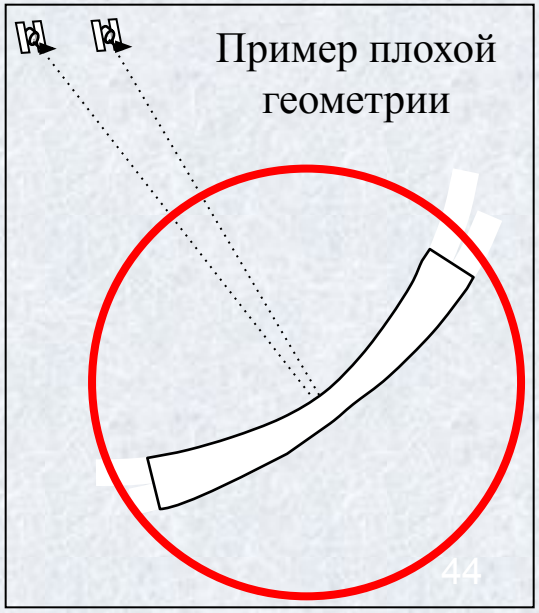
$$\sigma = \mathrm{DOP}\,\sigma_{\mathrm{mes}}. \quad (17)$$

Матрица весовых коэффициентов координат точки




| PDOP | Вербальная характеристика |
|---|---|
| ≤4 | хорошо |
| 5-7 | удовлетворительно |
| ≥7 | плохо |

$$Q_X = \begin{pmatrix} q_{XX} & q_{XY} & q_{XZ} & q_{Xt} \\ q_{XY} & q_{YY} & q_{YZ} & q_{Yt} \\ q_{XZ} & q_{YZ} & q_{ZZ} & q_{Zt} \\ q_{Xt} & q_{Yt} & q_{Zt} & q_{tt} \end{pmatrix}. \quad (18)$$

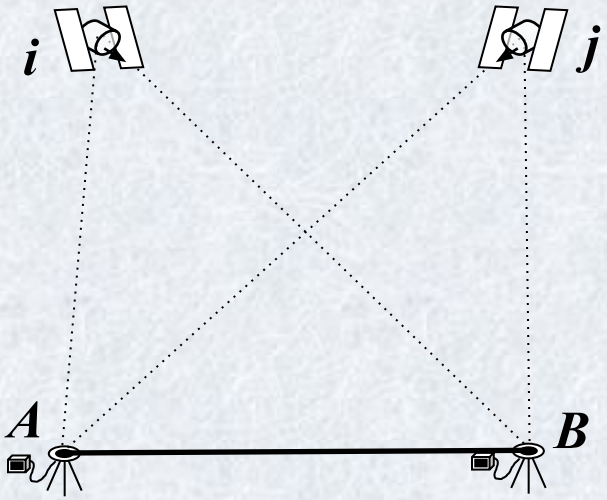



$$GDOP = \sqrt{q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ} + q_{tt}}; \qquad HDOP = \sqrt{q_{nn} + q_{ee}};$$

$$PDOP = \sqrt{q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ}}; \qquad VDOP = \sqrt{q_{uu}}.$$

$$TDOP = \sqrt{q_{tt}};$$

# Формирование разностей спутниковых измерений




Пусть на пунктах *A* и *B* одновременно измеряются фазовым методом псевдодальности до спутников *i* и *j*, тогда для фиксированного момента времени *t* можем записать два уравнения

$$dP_{Ai} = \rho_{Ai} - N_{Ai}\lambda + \delta P_A + \delta P_i + \delta P_{Ai}. \quad (19)$$

$$dP_{Bi} = \rho_{Bi} - N_{Bi}\lambda + \delta P_B + \delta P_i + \delta P_{Bi}. \quad (20)$$

Вычитая из уравнения (20) уравнение (19) получаем выражение для *первых* разностей

$$dP_{ABi} = \rho_{ABi} - N_{ABi}\lambda + \delta P_{AB} + \delta P_{ABi}. \quad (21)$$

Если в момент *t* наблюдается еще один спутник *j*, образуем для него уравнение первых разностей

$$dP_{ABj} = \rho_{ABj} - N_{ABj}\lambda + \delta P_{AB} + \delta P_{ABj}. \quad (22)$$

Вычитая из уравнения (22) уравнение (21) получаем выражение для *вторых* разностей

$$dP_{ABij} = \rho_{ABij} - N_{ABij}\lambda + \delta P_{ABij}. \quad (23)$$

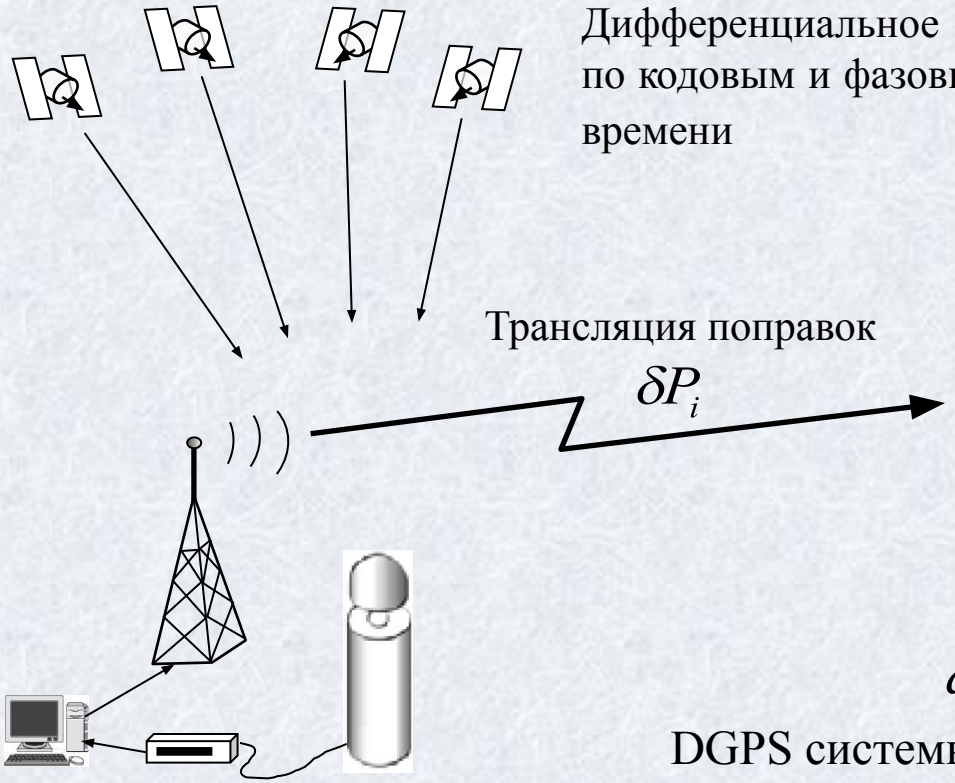
Если спутники *i* и *j* наблюдается в два момента времени (эпохи) $t_1$ и $t_2$, то записывая уравнения вторых разностей для обеих эпох и находя их разность, получаем уравнение *третьих* разностей

$$dP_{ABij}(t_1,t_2) = \rho_{ABij}(t_1,t_2) + \delta P_{ABij}(t_1,t_2). \quad (24)$$

# Способы и режимы позиционирования

| **АБСОЛЮТНЫЕ** (Single point positioning) | **ДИФФЕРЕН-ЦИАЛЬНЫЕ** (DGPS, DGLONASS) | **ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ** | |
|---|---|---|---|
| | | **Статические** (Static positioning) | **Кинематические** (Kinematic positioning) |
| **Реального времени** (Real Time) **Точность** – десятки метров, в лучшем случае 3-5 метров | **Реального времени** (Real Time) **Точность** – десятки метров, в лучшем случае метры-дицеметры | **Статика** (Static) **Точность** – сантиметры-миллиметры | **Стой и иди** (Stop and Go) **Точность** – сантиметры |
| **Постобработка** (Postprocessing) **Точность** – метры, в лучшем случае лучше метра | **Постобработка** (Postprocessing) **Точность** – десятки метров, в лучшем случае метры-дицеметры | **Быстрая статика** (Fast, rapid static) **Точность** – сантиметры | **Непрерывная** (Continuous) **Точность** – сантиметры |
| | | **Псевдостатика или реоккупация** (Pseudostatic, reoccupation) **Точность** – сантиметры | **Реального времени** (Real Time Kinematic-RTK) **Точность** – сантиметры |

# Дифференциальное позиционирование




**Контрольно-корректирующая (ККС) или базовая станция (БС)**

Вычисление поправок (коррекций) к псевдодальностям

$$\delta P_j = dP^{Theor}_{KKS-j} - dP^{Observ}_{KKS-j}$$

Дифференциальное позиционирование может осуществляться по кодовым и фазовым измерениям (RTK) в режиме реального времени

Вычисление скорректированных псевдодальностей

$$dP^{Corr}_{Rover-j} = \delta P_j + dP^{Observ}_{Rover-j}$$

DGPS системы по охвату территории делятся на:

- **Локальные** (создаются пользователем)

- **Региональные** (WAAS, EGNOS, MSAS, SNAS, OMNISTAR, RACALL)

- **Глобальные** (GDGPS (JPL NASA) и StarFire (NavCom))

# Способы инициализации кинематики

***Цель инициализации*** – разрешение неоднозначности фазовых измерений.

**1).** *По известной точке* (координаты которой в СК WGS-84 определены с точностью не хуже 5см).

**2).** *Статическая инициализация*.

**3).** *ON THE FLY – на лету* (может быть использована только с двухчастотными приемниками).

**4).** *ANTENNA SWAPPING* – способ перестановки антенн.

# Особенности построения геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей

Известное правило геодезии – «от общего к частному» – полностью справедливо при проектировании и построении геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей!

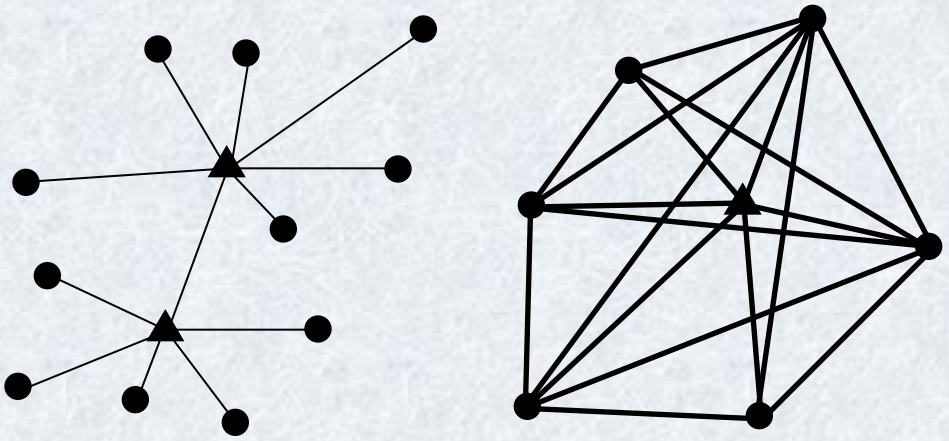
**Методы построения геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей**

**Сетевой метод**
(требует больших затрат временных и материальных ресурсов, а также денежных средств; обеспечивает наличие избыточных измерений)

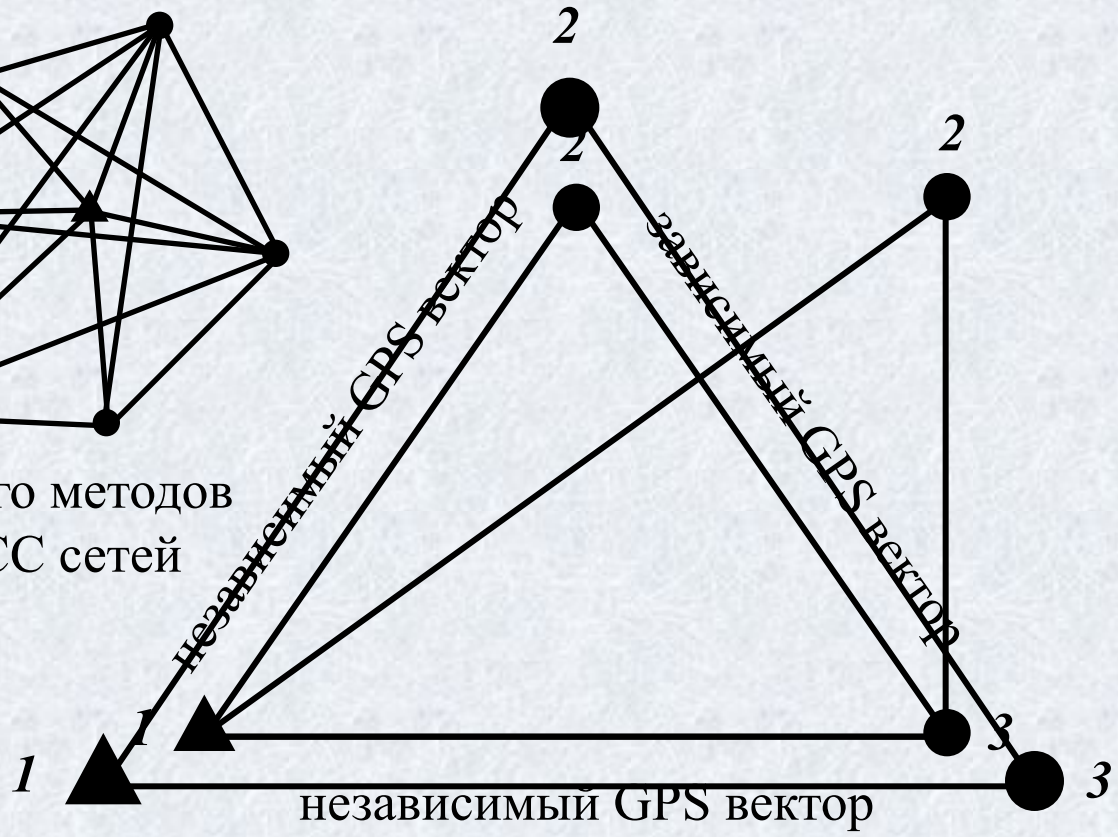
**Лучевой метод**
(более экономически выгоден, избыточные измерения отсутствуют)

# Особенности построения геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей

Необходимо стремиться к выполнению независимых и однородных измерений в спутниковой сети, а также включению в ее состав достаточного количества избыточных измерений!



Примеры лучевого и сетевого методов построения GPS/ГЛОНАСС сетей



# Общая концепция уравнивания GPS/ГЛОНАСС сетей

Пусть измерено n величин, истинные значения которых $X_1, X_2, \ldots, X_n$, а измеренные значения равны $x_1, x_2, \ldots, x_n$, причем количество измерений $n$ избыточно по отношению к числу определяемых параметров $r$.

Теоретически имеем

$$\varphi_1(X_1, X_2, \ldots, X_n) = 0,$$
$$\ldots \qquad (29)$$
$$\varphi_r(X_1, X_2, \ldots, X_n) = 0.$$

Практически имеем

$$\varphi_1(x_1, x_2, \ldots, x_n) = W_1,$$
$$\ldots \qquad (30)$$
$$\varphi_r(x_1, x_2, \ldots, x_n) = W_r.$$

Для того, чтобы устранить невязки $W_1, W_2, \ldots, W_r$ необходимо исправить измерения поправками $v_1, v_2, \ldots, v_n$. Тогда получим

$$\varphi_1(x_1 + v_1, x_2 + v_2, \ldots, x_n + v_n) = 0,$$
$$\ldots \qquad (31)$$
$$\varphi_r(x_1 + v_1, x_2 + v_2, \ldots, x_n + v_n) = 0.$$

Решение системы уравнений (31) выполняется по МНК под условием $[pv^2] = \min$, полагая, что ошибки измерений подчиняются нормальному закону распределения.

Среднеквадратические ошибки измерений, необходимые для вычисления априорных весов измерений, используемых при уравнивании, получают из выражений

$$\sigma_i = a + bD_i,$$
$$p_i = (\sigma_0 / \sigma_i)^2.$$

# Условия, возникающие в GPS/ГЛОНАСС сетях

В качестве *измеренных величин* при уравнивании GPS/ГЛОНАСС сетей обычно используются компоненты базовых линий $\Delta x_i$, $\Delta y_i$, $\Delta z_i$.

В GPS/ГЛОНАСС сетях возникают следующие виды условий

$$\left.\begin{aligned} \sum_{i=1}^{\frac{n(n-1)}{2}} \Delta x_i = 0, \\ \sum_{i=1}^{\frac{n(n-1)}{2}} \Delta y_i = 0, \\ \sum_{i=1}^{\frac{n(n-1)}{2}} \Delta z_i = 0, \end{aligned}\right\}$$

Замкнутый векторный ход (полигон)

$$\left.\begin{aligned} \sum_{i=1}^{\frac{n(n-1)}{2}} \Delta x_i - (x_{II} - x_I) = 0, \\ \sum_{i=1}^{\frac{n(n-1)}{2}} \Delta y_i - (y_{II} - y_I) = 0, \\ \sum_{i=1}^{\frac{n(n-1)}{2}} \Delta z_i - (z_{II} - z_I) = 0, \end{aligned}\right\}$$

Векторный ход между двумя пунктами с известными координатами

# Цели уравнивания геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей

**Задача уравнивания возникает только при наличии в сети избыточно измеренных величин!!!**

***Цели уравнивания спутниковых измерений:***

1. Поиск и исключение грубых ошибок в результатах измерений;
2. Оценка и соответствующее распределение случайных ошибок измерений.
3. Получение единственного набора значений определяемых параметров;
4. Оценка точности полученных значений определяемых параметров;

# Виды ошибок GPS/ГЛОНАСС измерений

## Грубые ошибки (промахи)

***Примеры:***

- ввод ошибочных координат пункта;
- ввод ошибочного названия пункта;
- ошибочное измерение высоты антенны;

## Систематические ошибки

***Примеры:***

- влияния внешней среды при непродолжительных сеансах наблюдений (многолучевость, атмосферная рефракция и т. д.);
- указание неправильного метода измерения высоты антенны;

## Случайные ошибки

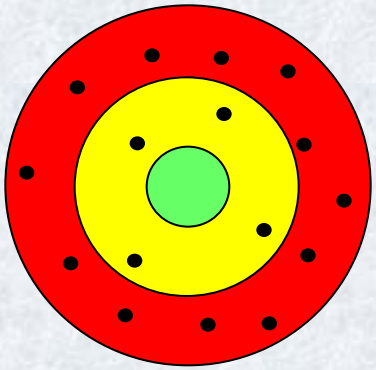
***Примеры:***

- атмосферная рефракция при длительных периодах измерений;

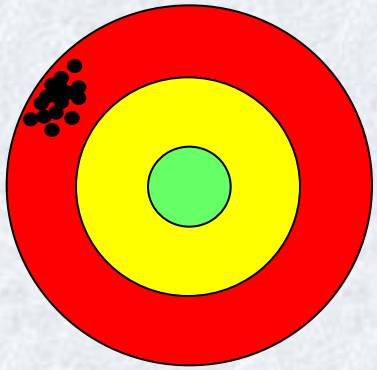
# Абсолютная точность и внутренняя сходимость результатов GPS/ГЛОНАСС измерений

**Абсолютная точность** (accuracy) характеризует степень близости результатов измерений к их истинному значению.

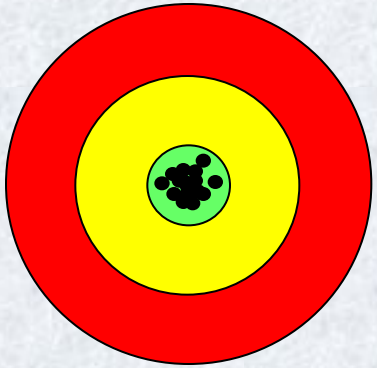
**Внутренняя сходимость** (precision) характеризует степень близости результатов измерений друг к другу или их среднему значению.



Плохая абсолютная точность и внутренняя сходимость результатов

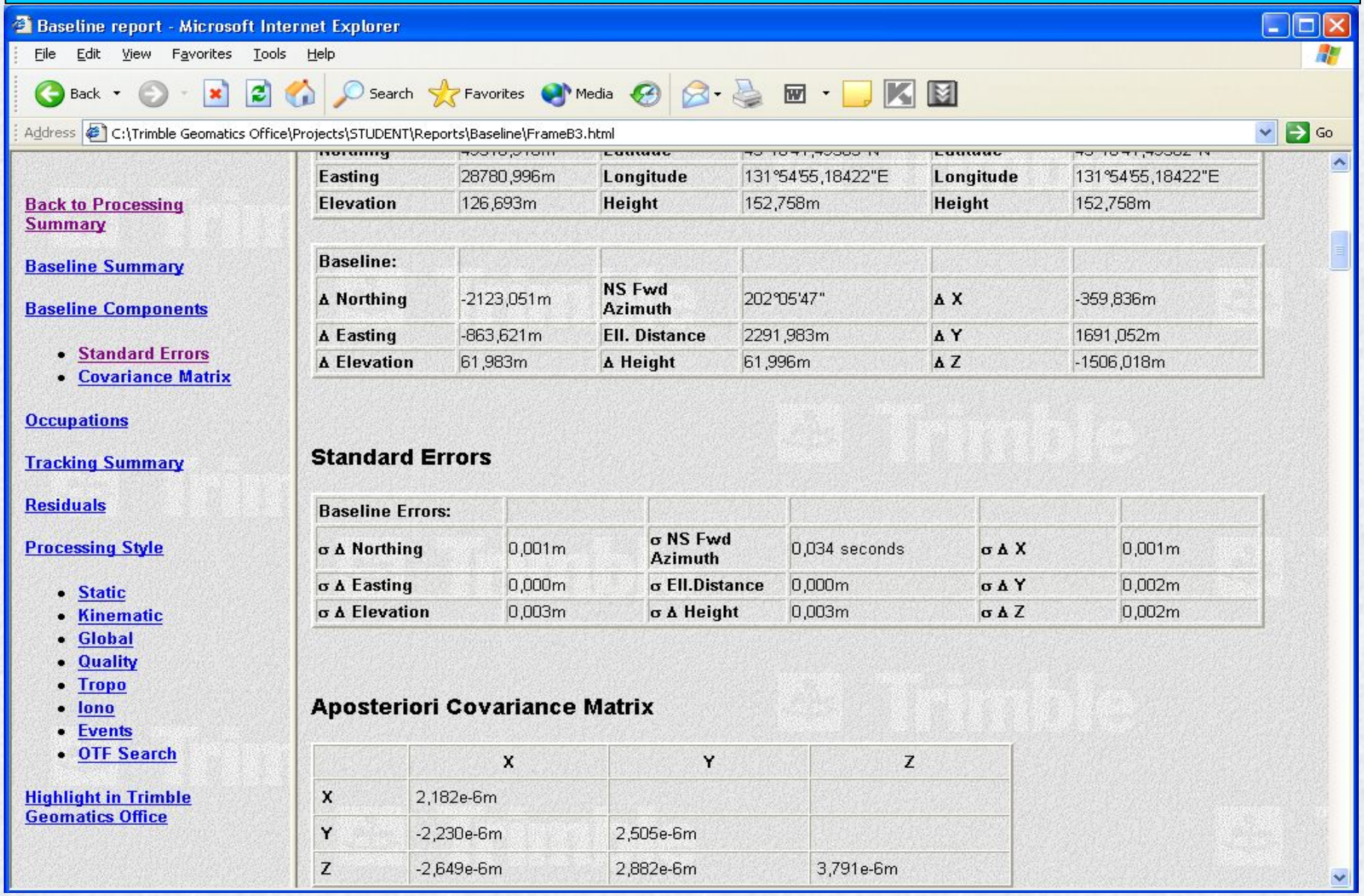


Хорошая внутренняя сходимость, но плохая абсолютная точность результатов



Хорошая внутренняя сходимость и абсолютная точность результатов

# Оценка точности компонент базовой линии по внутренней сходимости результатов GPS измерений




Back to Processing Summary

Baseline Summary

Baseline Components

- Standard Errors
- Covariance Matrix

Occupations

Tracking Summary

Residuals

Processing Style

- Static
- Kinematic
- Global
- Quality
- Tropo
- Iono
- Events
- OTF Search

Highlight in Trimble Geomatics Office

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Easting | 28780,996m | Longitude | 131°54'55,18422"E | Longitude | 131°54'55,18422"E |
| Elevation | 126,693m | Height | 152,758m | Height | 152,758m |

| Baseline: | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Δ Northing | -2123,051m | NS Fwd Azimuth | 202°05'47" | Δ X | -359,836m |
| Δ Easting | -863,621m | Ell. Distance | 2291,983m | Δ Y | 1691,052m |
| Δ Elevation | 61,983m | Δ Height | 61,996m | Δ Z | -1506,018m |

## Standard Errors

| Baseline Errors: | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| σ Δ Northing | 0,001m | σ NS Fwd Azimuth | 0,034 seconds | σ Δ X | 0,001m |
| σ Δ Easting | 0,000m | σ Ell.Distance | 0,000m | σ Δ Y | 0,002m |
| σ Δ Elevation | 0,003m | σ Δ Height | 0,003m | σ Δ Z | 0,002m |

## Aposteriori Covariance Matrix

| | X | Y | Z |
|---|---|---|---|
| X | 2,182e-6m | | |
| Y | -2,230e-6m | 2,505e-6m | |
| Z | -2,649e-6m | 2,882e-6m | 3,791e-6m |

# Поправки, нормальное распределение поправок, нормированные поправки

**Поправка** – это разность между уравненным значением измеряемой величины и ее отдельным значением, полученным в ходе наблюдений или их обработки.

**Нормированная поправка** – это поправка деленная на среднеквадратическую ошибку ее определения.

$$\tau_i = \frac{\hat{v}_i}{\hat{\sigma}_i}. \quad (25)$$

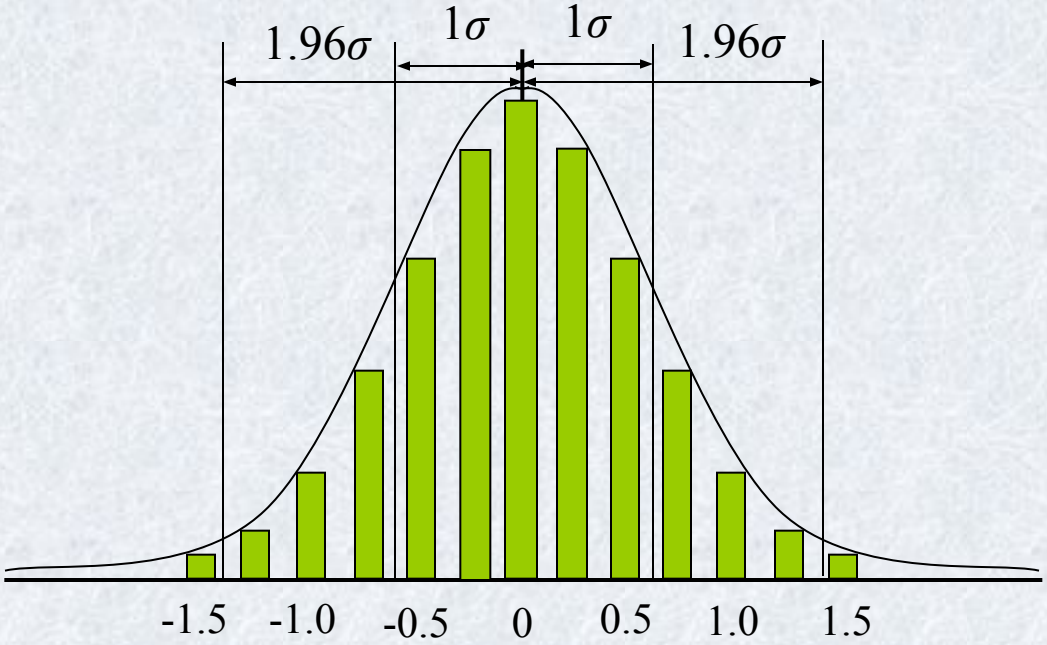



График нормального распределения поправок

Величина $\sigma$ среднеквадратической ошибки уравненного значения искомой величины гарантирует, что при бесконечно большом количестве измерений, выполненных в одинаковых условиях, 68% всех возможных измеренных значений данной величины будут находиться в интервале $(-\sigma; \sigma)$.

# Ковариационная матрица. Среднеквадратическая ошибка единицы веса (Reference Factor).

Структура *ковариационной матрицы* $i$-й базовой линии, полученная в результате постобработки GPS или ГЛОНАСС измерений

$$\mathbf{K}_{\mathbf{D}_i} = \begin{pmatrix} \sigma^2_{\Delta x_i} & r_{\Delta x_i \Delta y_i}\sigma_{\Delta x_i}\sigma_{\Delta y_i} & r_{\Delta x_i \Delta z_i}\sigma_{\Delta x_i}\sigma_{\Delta z_i} \\ r_{\Delta y_i \Delta x_i}\sigma_{\Delta y_i}\sigma_{\Delta x_i} & \sigma^2_{\Delta y_i} & r_{\Delta y_i \Delta z_i}\sigma_{\Delta y_i}\sigma_{\Delta z_i} \\ r_{\Delta z_i \Delta x_i}\sigma_{\Delta z_i}\sigma_{\Delta x_i} & r_{\Delta z_i \Delta y_i}\sigma_{\Delta z_i}\sigma_{\Delta y_i} & \sigma^2_{\Delta z_i} \end{pmatrix}. \qquad (26)$$

Реально в результате постобработки или уравнивания GPS/ГЛОНАСС измерений непосредственно получается *матрица весовых коэффициентов* $\boldsymbol{Q}$ и *среднеквадратическая ошибка единицы веса* $\sigma_0$. Структура матрицы $\boldsymbol{Q}$ для $i$-й базовой линии показана ниже

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{D}_i} = \sigma_0^{-2}\mathbf{K}_{\mathbf{D}_i} = \begin{pmatrix} q_{\Delta x_i \Delta x_i} & q_{\Delta x_i \Delta y_i} & q_{\Delta x_i \Delta z_i} \\ q_{\Delta y_i \Delta x_i} & q_{\Delta y_i \Delta y_i} & q_{\Delta y_i \Delta z_i} \\ q_{\Delta z_i \Delta x_i} & q_{\Delta z_i \Delta y_i} & q_{\Delta z_i \Delta z_i} \end{pmatrix}, \qquad (27)$$

ãäå $\sigma_0 = \sqrt{\dfrac{\hat{V}^T \mathbf{Q}_{\mathbf{D}_i}^{-1} \hat{V}}{n-k}}.$ (28)

# Математический смысл среднеквадратической ошибки единицы веса (СКОЕВ)

***Можно показать, что:***

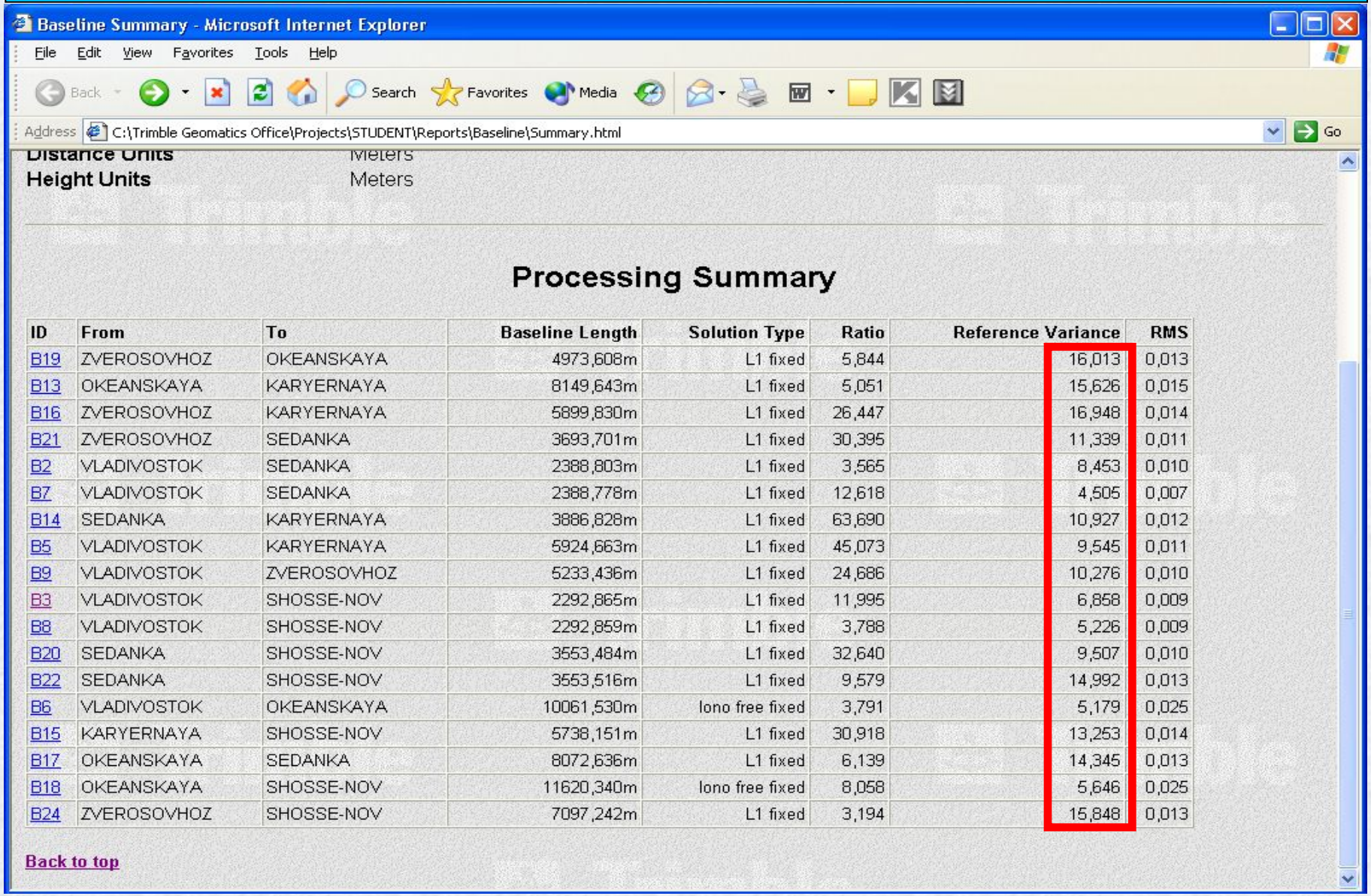
*- если СКОЕВ=1, ошибки уравненных измерений оценены совершенно точно, т.е. гарантируется корректность соотношения между поправками и их ошибками;*

*- если СКОЕВ<1, ошибки уравненных измерений переоценены;*

*- если СКОЕВ>1, ошибки уравненных измерений недооценены;*

***Важное замечание:*** *если СКОЕВ>>1, в измерениях присутствует грубая ошибка (ошибки).*

# Результаты оценки точности компонент базовых линий (краткий отчет)



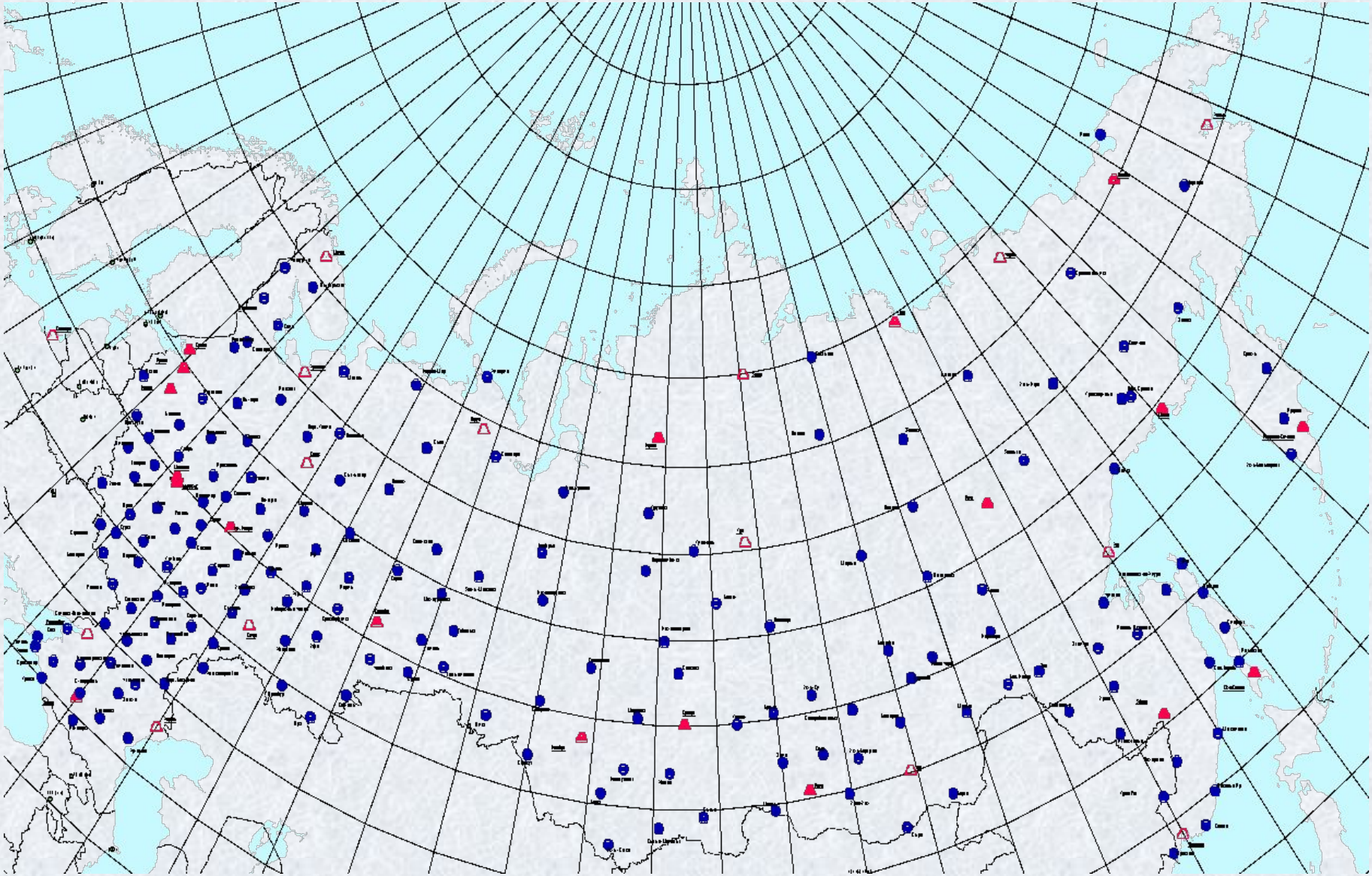

Distance Units Meters
Height Units Meters

## Processing Summary

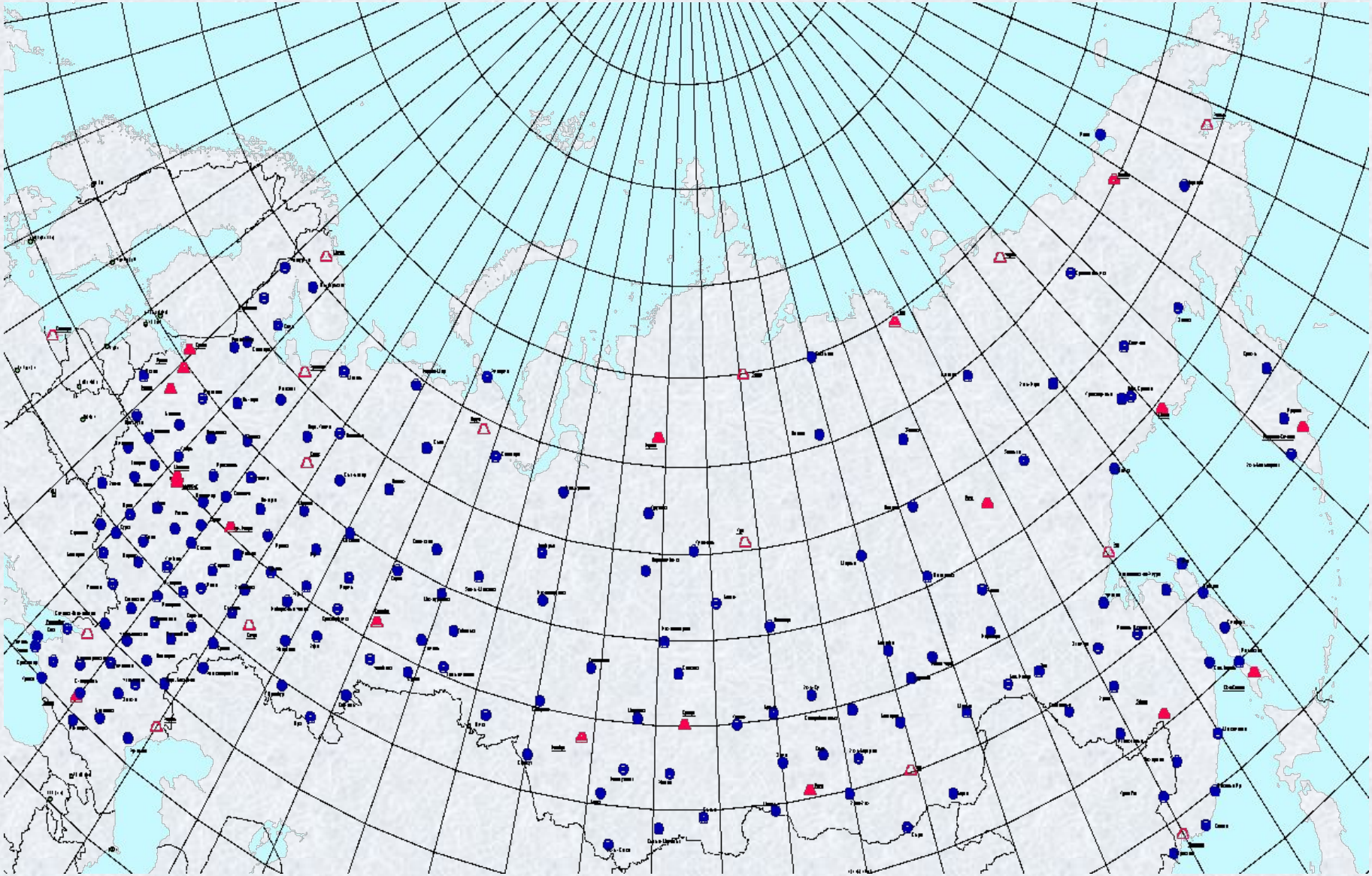
| ID | From | To | Baseline Length | Solution Type | Ratio | Reference Variance | RMS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B19 | ZVEROSOVHOZ | OKEANSKAYA | 4973,608m | L1 fixed | 5,844 | 16,013 | 0,013 |
| B13 | OKEANSKAYA | KARYERNAYA | 8149,643m | L1 fixed | 5,051 | 15,626 | 0,015 |
| B16 | ZVEROSOVHOZ | KARYERNAYA | 5899,830m | L1 fixed | 26,447 | 16,948 | 0,014 |
| B21 | ZVEROSOVHOZ | SEDANKA | 3693,701m | L1 fixed | 30,395 | 11,339 | 0,011 |
| B2 | VLADIVOSTOK | SEDANKA | 2388,803m | L1 fixed | 3,565 | 8,453 | 0,010 |
| B7 | VLADIVOSTOK | SEDANKA | 2388,778m | L1 fixed | 12,618 | 4,505 | 0,007 |
| B14 | SEDANKA | KARYERNAYA | 3886,828m | L1 fixed | 63,690 | 10,927 | 0,012 |
| B5 | VLADIVOSTOK | KARYERNAYA | 5924,663m | L1 fixed | 45,073 | 9,545 | 0,011 |
| B9 | VLADIVOSTOK | ZVEROSOVHOZ | 5233,436m | L1 fixed | 24,686 | 10,276 | 0,010 |
| B3 | VLADIVOSTOK | SHOSSE-NOV | 2292,865m | L1 fixed | 11,995 | 6,858 | 0,009 |
| B8 | VLADIVOSTOK | SHOSSE-NOV | 2292,859m | L1 fixed | 3,788 | 5,226 | 0,009 |
| B20 | SEDANKA | SHOSSE-NOV | 3553,484m | L1 fixed | 32,640 | 9,507 | 0,010 |
| B22 | SEDANKA | SHOSSE-NOV | 3553,516m | L1 fixed | 9,579 | 14,992 | 0,013 |
| B6 | VLADIVOSTOK | OKEANSKAYA | 10061,530m | Iono free fixed | 3,791 | 5,179 | 0,025 |
| B15 | KARYERNAYA | SHOSSE-NOV | 5738,151m | L1 fixed | 30,918 | 13,253 | 0,014 |
| B17 | OKEANSKAYA | SEDANKA | 8072,636m | L1 fixed | 6,139 | 14,345 | 0,013 |
| B18 | OKEANSKAYA | SHOSSE-NOV | 11620,340m | Iono free fixed | 8,058 | 5,646 | 0,025 |
| B24 | ZVEROSOVHOZ | SHOSSE-NOV | 7097,242m | L1 fixed | 3,194 | 15,848 | 0,013 |

Back to top

# Схема расположения пунктов ФАГС (1999-2003гг.)

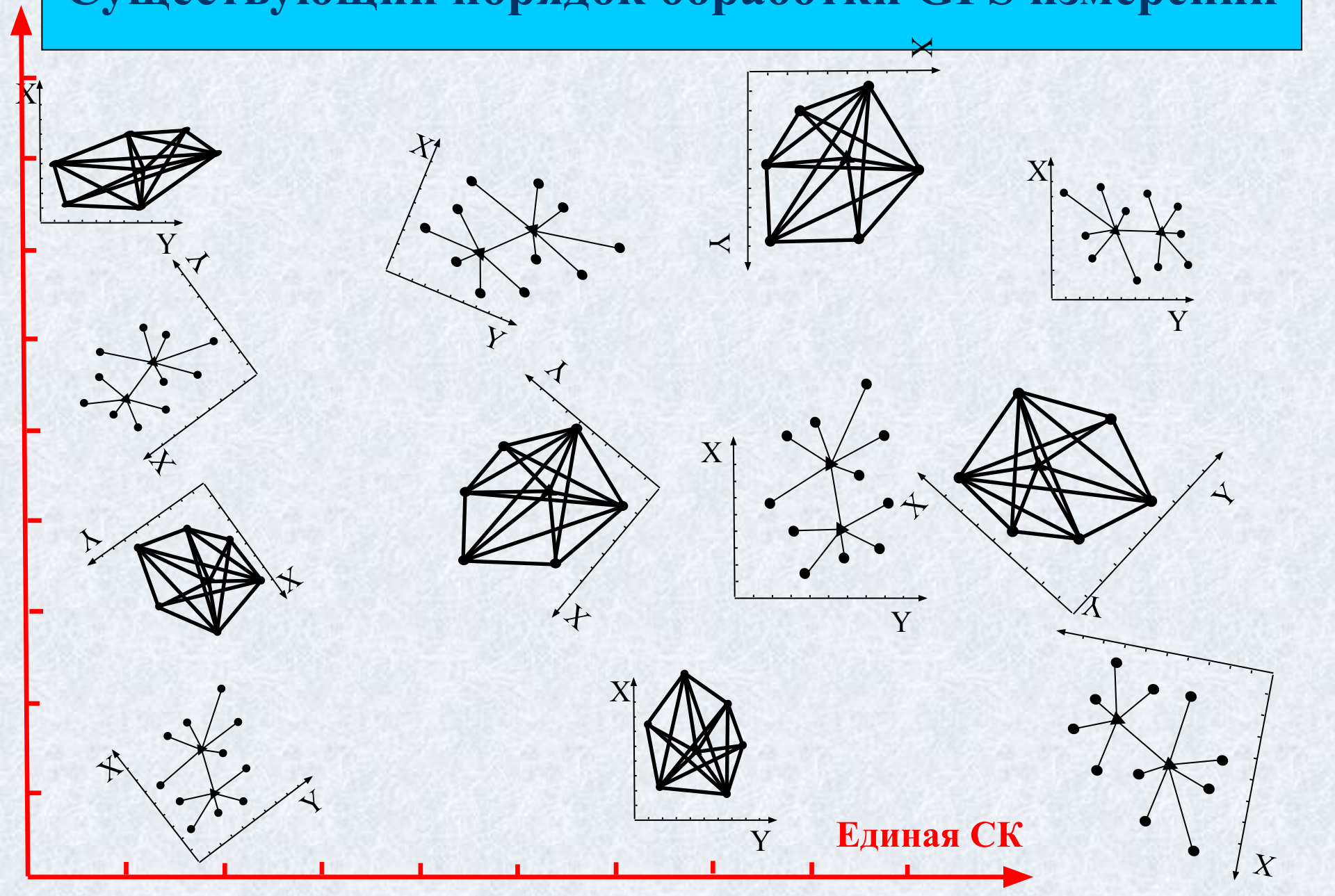


# Схема расположения пунктов ФАГС (1999-2003гг.)



# Схема расположения пунктов ОГС

# Существующий порядок обработки GPS измерений



# «Идеальная» схема обработки GNSS измерений

**Уравнивание сети в единой геоцентрической СК (например, ITRF2005)**

***Используется для:***

- контроля качества и оценки точности выполненных GNSS измерений.
- получения высокоточных координат пунктов сети в единой общемировой СК
- хранения, сопоставления и обработки данных GNSS измерений, полученных в разных сетях, различным оборудованием и в разные эпохи наблюдений.

**Перевычисление полученных данных в местные СК по точным формулам**

***Используется для:***

- получения и оценки точности координат пунктов сети в системе координат пользователя;
- удобства дальнейшей обработки и представления ее результатов

# Уравнивание геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей

## Свободное (минимально ограниченное) уравнивание

***Используется для:***

- контроля качества и оценки точности выполненных GPS/ГЛОНАСС измерений.

## Полностью ограниченное уравнивание

***Используется для:***

- получения и оценки точности координат пунктов сети в системе координат пользователя;
- проверки качества опорных пунктов, фиксирующих систему координат пользователя;
- определения параметров преобразования (трансформации) сети из системы координат WGS-84 в систему координат пользователя.

# Трансформация результатов GPS/ГЛОНАСС измерений в заданную систему координат

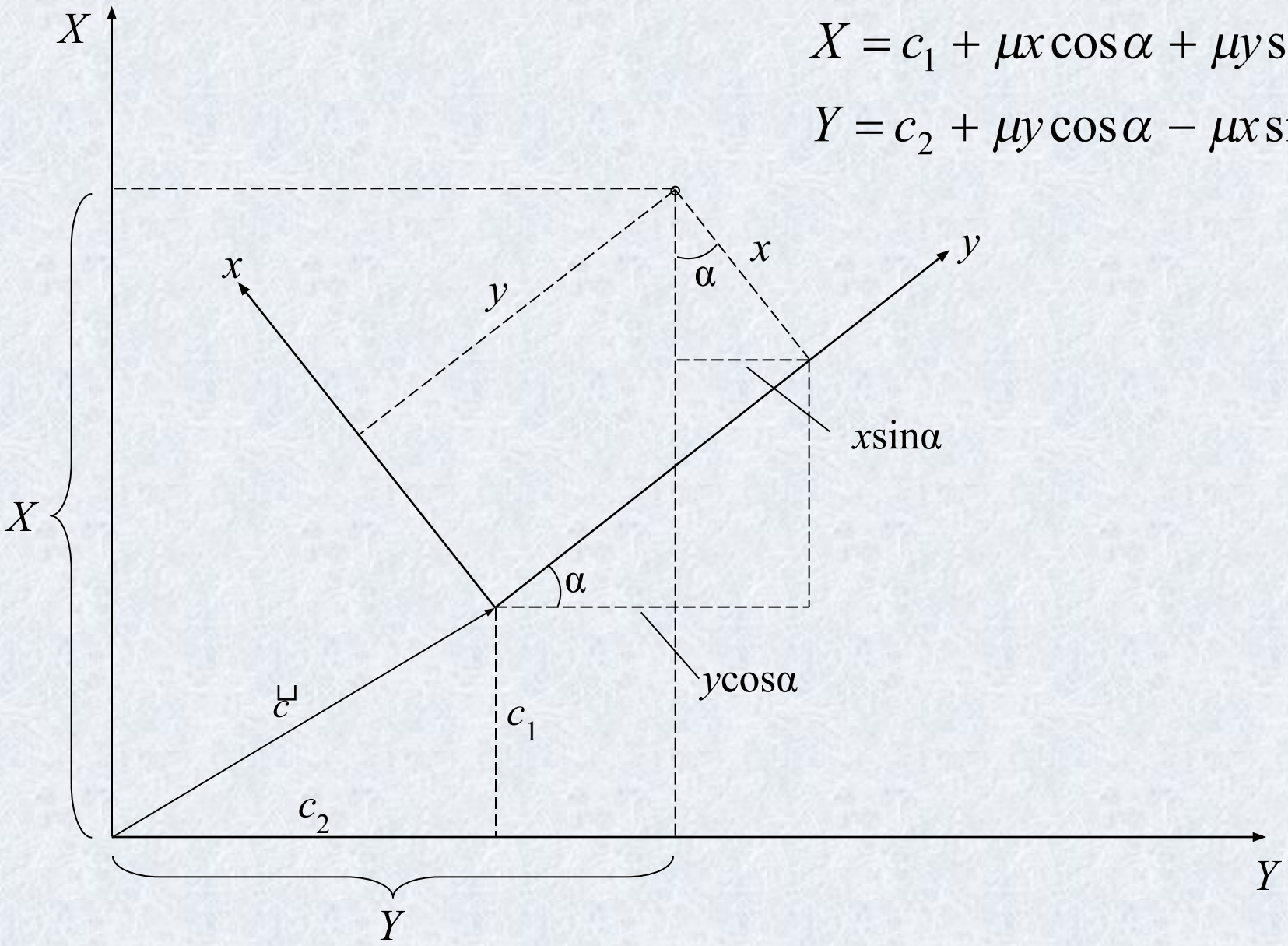
***Цель трансформации*** – преобразование результатов GPS/ГЛОНАСС позиционирования в заданную систему координат, определяемую пользователем.

Как правило, трансформация плановых координат и высот пунктов GPS/ГЛОНАСС сети осуществляется раздельно.

# Трансформация плановых координат

$$X = c_1 + \mu x \cos\alpha + \mu y \sin\alpha,$$

$$Y = c_2 + \mu y \cos\alpha - \mu x \sin\alpha.$$



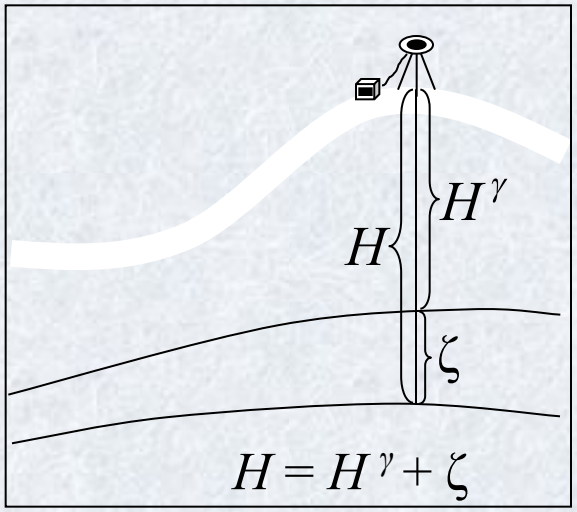
# Одна из возможных схем трансформации плановых координат из системы WGS-84 в систему координат пользователя

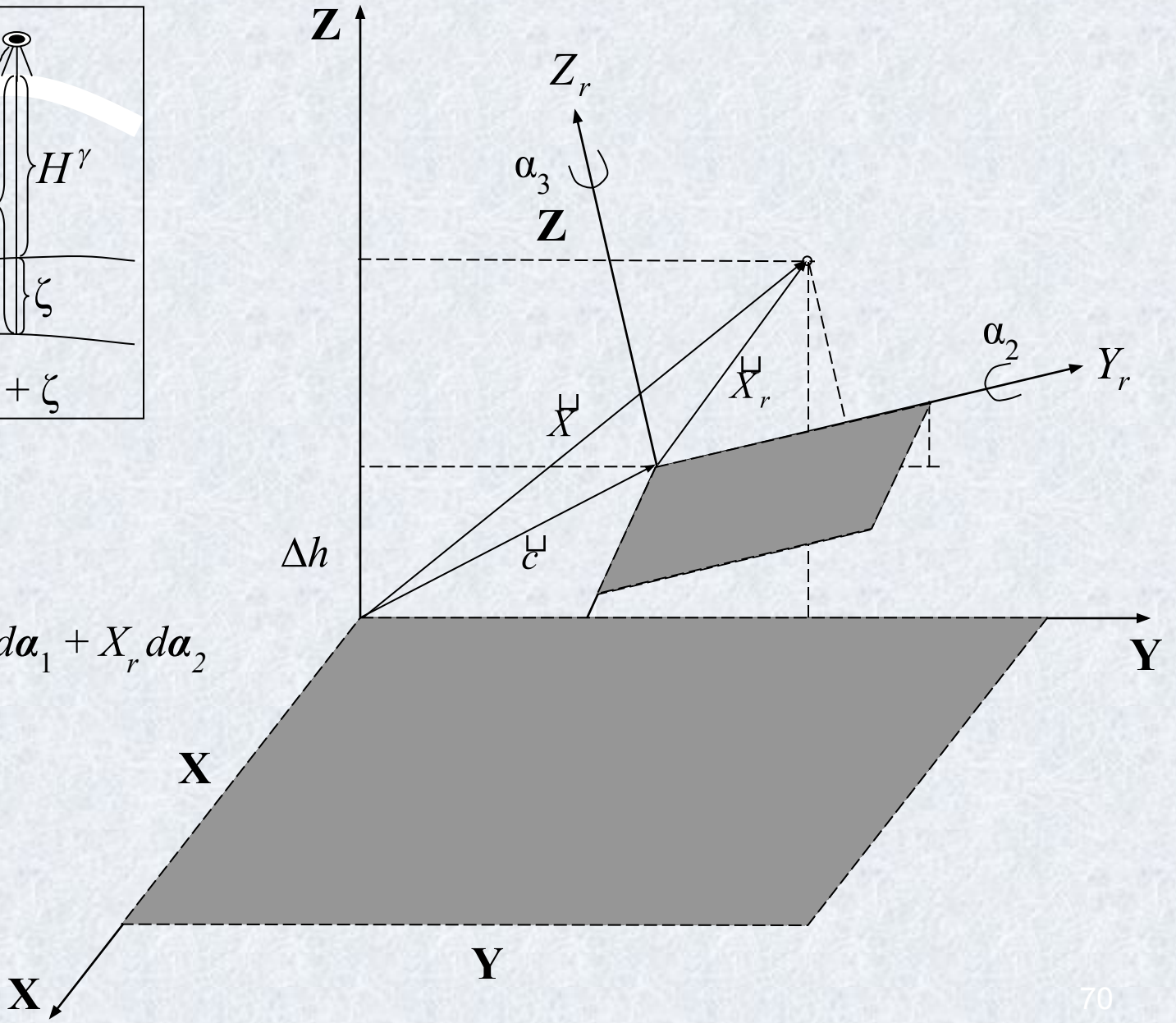
Преобразование геоцентрических координат пунктов ($X$, $Y$, $Z$), определенных в системе координат WGS-84 (GPS) или ПЗ-90 (ГЛОНАСС), в геодезические координаты ($B$, $L$, $H$)

Преобразование геодезических координат пунктов ($B$, $L$) в плоские прямоугольные координаты ($x$, $y$) в требуемой проекции

Вычисление по совмещенным пунктам параметров преобразования координат ($x$, $y$) в систему координат пользователя (разворот, масштабный коэффициент, смещение начал отсчета).
Для определения параметров преобразования требуется 2 совмещенных пункта. Если совмещенных точек больше, параметры преобразования определяются по МНК с оценкой точности.

# Трансформация высот




$$H - H^\gamma = \Delta h - Y_r\, d\alpha_1 + X_r\, d\alpha_2$$

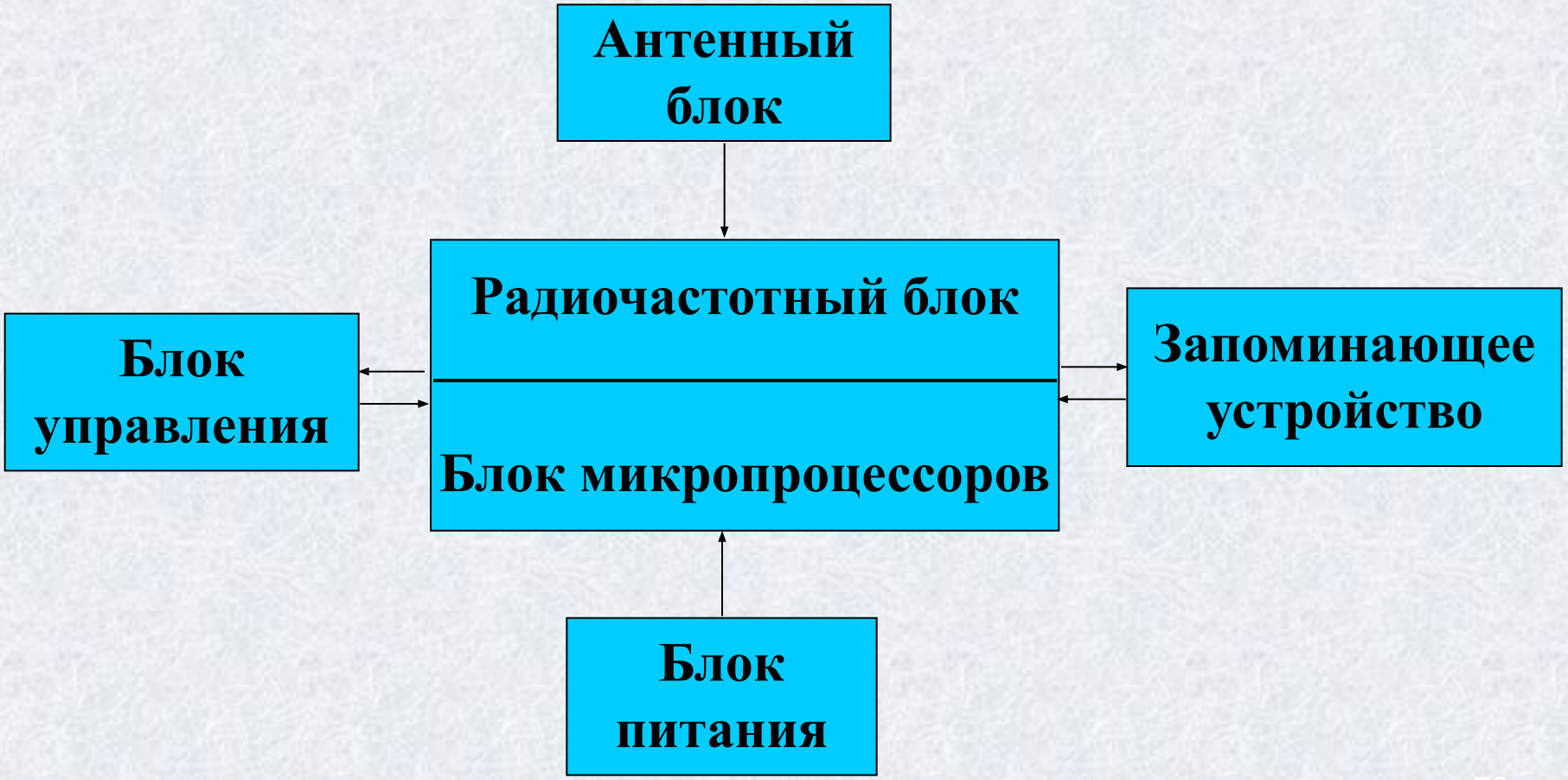
# Одна из возможных схем трансформации высот из системы WGS-84 в систему координат пользователя

Преобразование геоцентрических координат пунктов ($X$, $Y$, $Z$), определенных в системе координат WGS-84 (GPS) или ПЗ-90 (ГЛОНАСС), в геодезические координаты ($B$, $L$, $H$)

Вычисление по совмещенным пунктам параметров преобразования (два угла разворота, вертикальное смещение) геодезических высот $H$ в нормальные высоты $H^{\gamma}$.

Для определения параметров преобразования требуется 3 совмещенных пункта. Если совмещенных точек больше, параметры преобразования определяются по МНК с оценкой точности.

# Упрощенная принципиальная схема устройства и функционирования спутникового приемника



# Классификация спутникового оборудования

**Системная классификация.**

1) Односистемные (обычно ориентированы на GPS);
2) Двухсистемные (GPS и ГЛОНАСС).

**Классификация по видам принимаемого сигнала.**

1) Кодовые (C/A-code), одночастотные;
2) Кодовые двухчастотные (C/A-code, P-code);
3) Кодово-фазовые одночастотные (C/A-code, P-code, фаза несущей L1);
4) Кодово-фазовые двухчастотные (C/A-code, P-code, фаза несущей L1 и L2).

# ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ
# Общие рекомендации по выполнению геодезических GPS/ГЛОНАСС измерений

**При практическом выполнении спутниковых наблюдений следует соблюдать следующие общие рекомендации:**

1) Выполнять измерения в местах с наилучшим обзором небосвода и минимальным количеством препятствий, превышающих угол отсечки (маску), установленную в приемнике. Рекомендуемая величина маски 10º-15 º. Необходимо учитывать, что наименьшее количество спутников наблюдается в северной части небосвода.

2) Не производить наблюдений вблизи мощных источников радио-излучения близкого к GPS/ГЛОНАСС частотного диапазона.

3) Не производить наблюдений вблизи объектов, способных переотразить спутниковых сигнал (стены зданий, металлические решетчатые фермы, мачты и т.п., обширные водные поверхности).

4. Выбирать для наблюдений периоды с наибольшим количеством наблюдаемых спутников, имеющих максимальное возвышение над горизонтом.

5. Соответствующим образом увеличивать продолжительность сеанса наблюдений при уменьшении количества наблюдаемых спутников и увеличении длины наблюдаемой базовой линии.

6. При высокоточных измерениях всегда использовать штатные экраны-отсекатели для снижения воздействия многолучевости на результаты измерений (или антенны типа Choke-Ring), а также ориентировать антенну в северном направлении при помощи маркеров, нанесенных на ее поверхность.

7. При высокоточных измерениях очень тщательно (лучше дважды) измерять высоту антенны на геод. центром и корректно фиксировать метод измерения высоты (наклонная, вертикальная, до кромки экрана и т.д.).

8. При работе без контроллера тщательно записывать имя точки, моменты начала и конца наблюдений, высоту антенны и способ ее измерения, тип используемого приемника и антенны.

# Параметры, которые необходимо контролировать при выполнении GPS/ГЛОНАСС измерений

**1)** Количество непрерывно отслеживаемых спутников (желательно чтобы их было 5-6 и больше);

**2)** PDOP (чем он меньше тем лучше). Желательно, чтобы его величина PDOP находилась в пределах 1-3.

**3)** Количество эпох наблюдений по каждому отслеживаемому спутнику (позволяет выявить срывы цикла).

**4)** Продолжительность сеанса наблюдений.

www.trimble.com – официальный сайт компании Trimble;
http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-29893/SetupPlanning.exe – программа для планирования GPS наблюдений;
ftp://ftp.trimble.com/pub/eph/current.ssf – альманах (постоянно обновляется);
https://www.schriever.af.mil/gps/Current/current.alm – альманах (постоянно обновляется);
http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.shtml – NGS калибровка GPS/GLONASS антенн;
http://www.navcen.uscg.gov/Ftp/gps/status.txt