

# ИЗМЕРЕНИЕ ТРОПОСФЕРНЫХ ЗАДЕРЖЕК НАВИГАЦИОННЫХ РАДИОСИГНАЛОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

*Чукин В.В., Вахнин А.В., Нгуен Т.Т.*

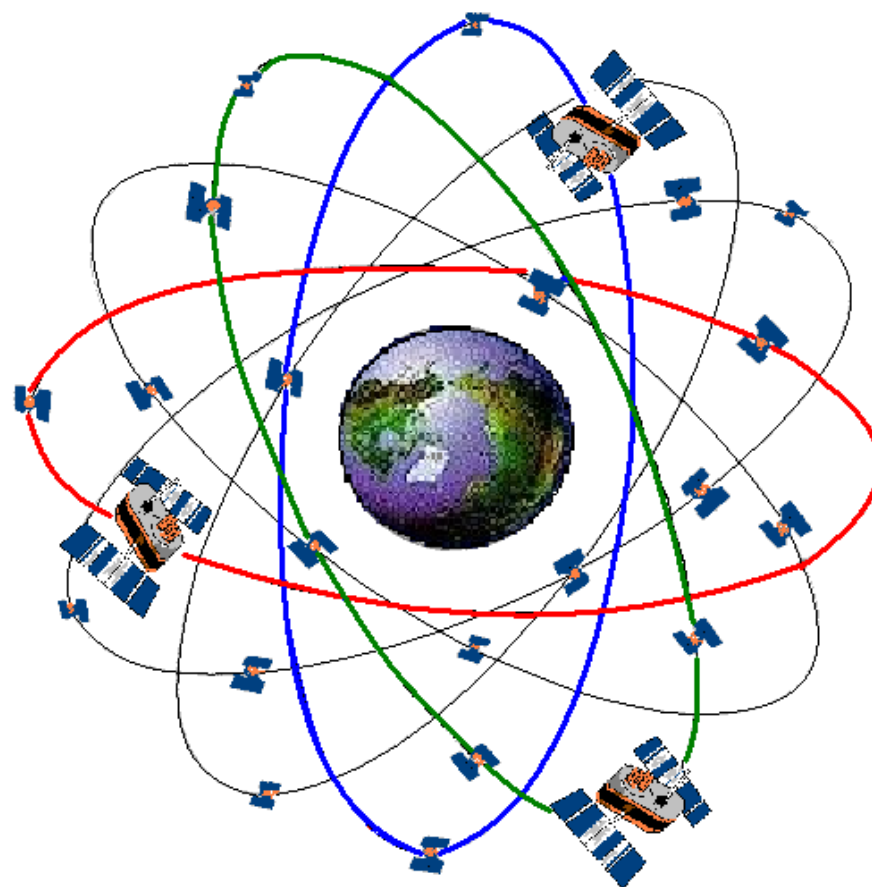


# Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС)

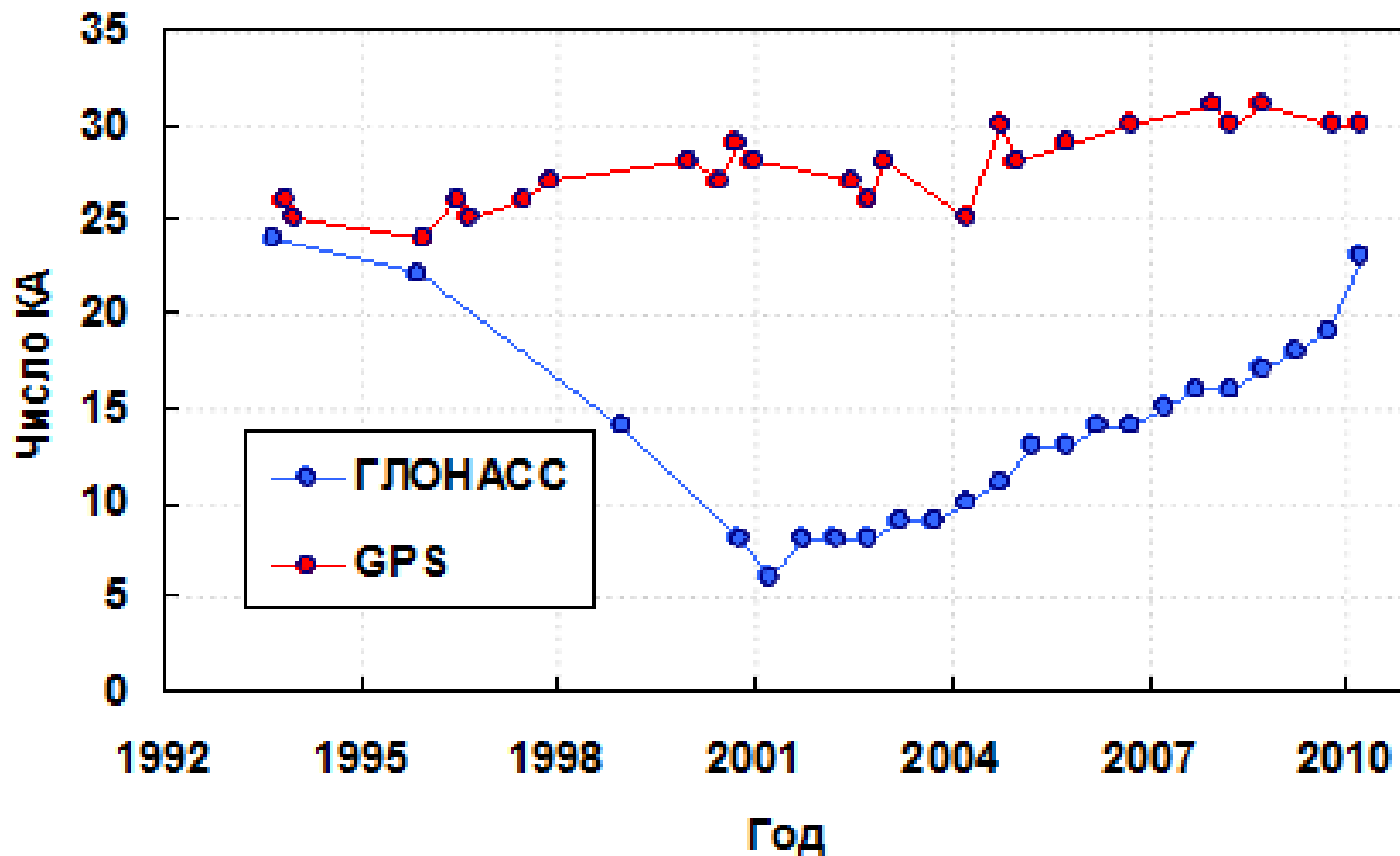
**ГЛОНАСС**



**GPS**



# Орбитальная группировка КА ГНСС



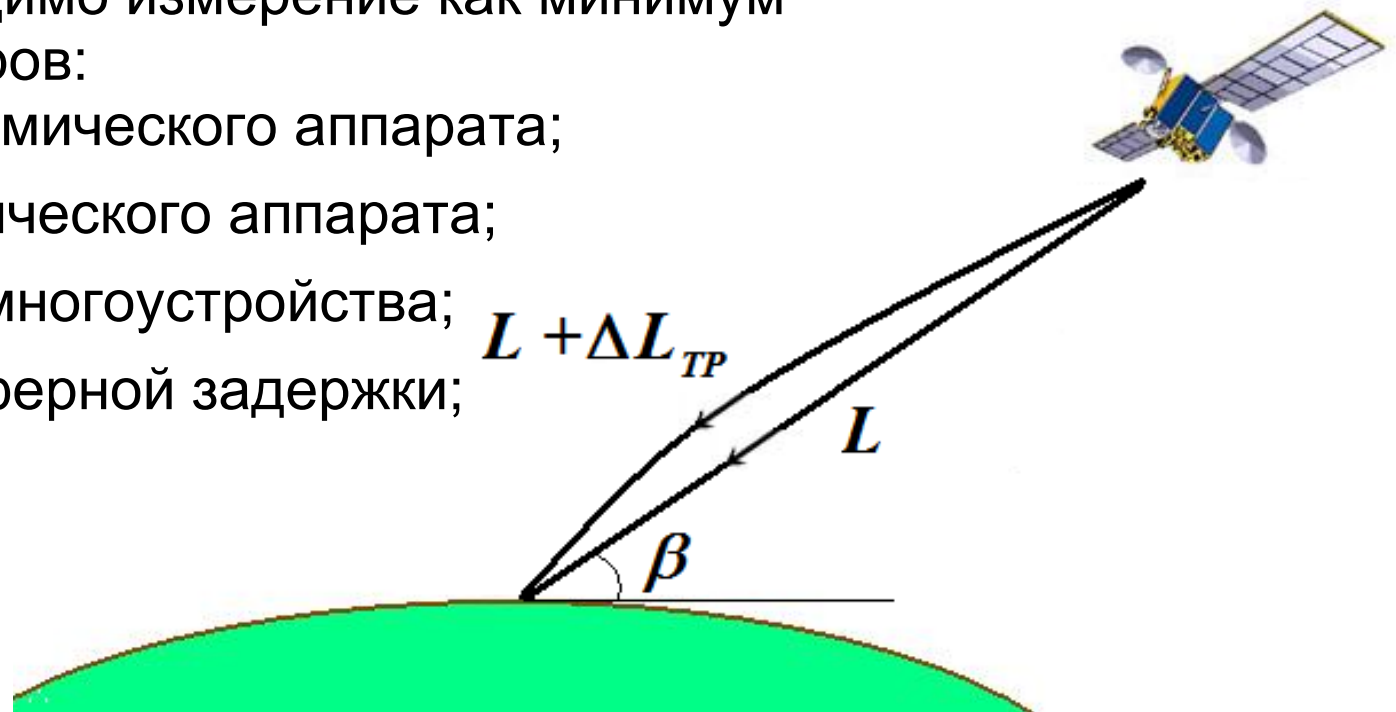
# Параметры космического комплекса систем ГЛОНАСС и GPS

Параметр	ГНСС	
	ГЛОНАСС	GPS
Число спутников	21	30
Число орбитальных плоскостей	3	6
Число спутников в плоскости	до 8	до 6
Тип орбиты	круговая	круговая
Высота орбиты, км	19 100	20 145
Наклонение орбиты, град.	64.8	55.0
Период обращения	11 ч 16 мин	11 ч 57 мин
Частоты используемых радиосигналов, МГц	L1: $1602+k \cdot 0.5625$ L2: $1246+k \cdot 0.4375$	L1: 1575.42 L2: 1227.60

# Задержка радиосигнала в тропосфере

Для осуществления измерения тропосферной задержки необходимо измерение как минимум четырех параметров:

- дальность до космического аппарата;
- положение космического аппарата;
- положение приемного устройства;
- величина ионосферной задержки;



Дополнительная задержка радиосигнала, связанная с прохождением через тропосферный слой определяется выражением:

$$\Delta L_{TP} = \int_0^L (n - 1) dl$$

# Приемная аппаратура сигналов ГНСС



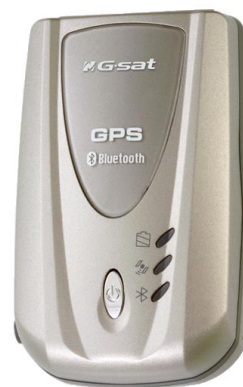
## ***Topcon GB-1000***

Система: ГЛОНАСС/GPS

Число каналов: 40

Чипсет: Paradigm

Диапазон частот: L1 и L2



## ***GlobalSat BT-338***

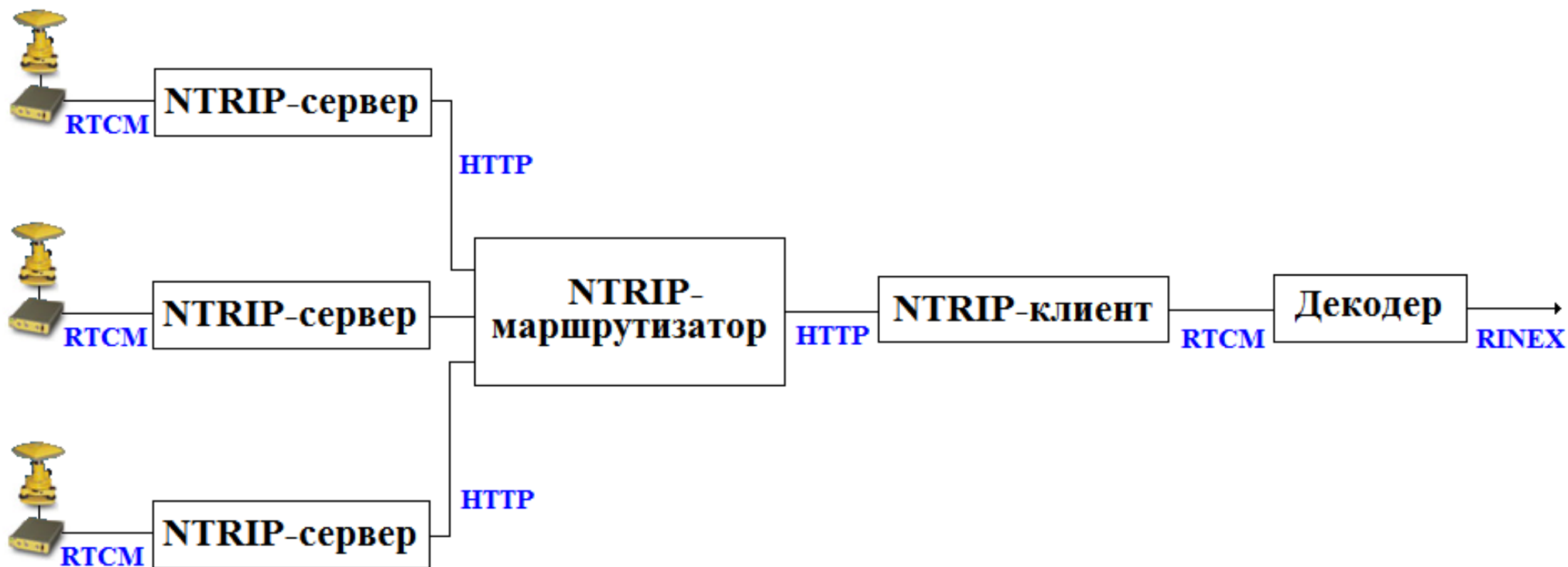
Система: GPS

Число каналов: 20

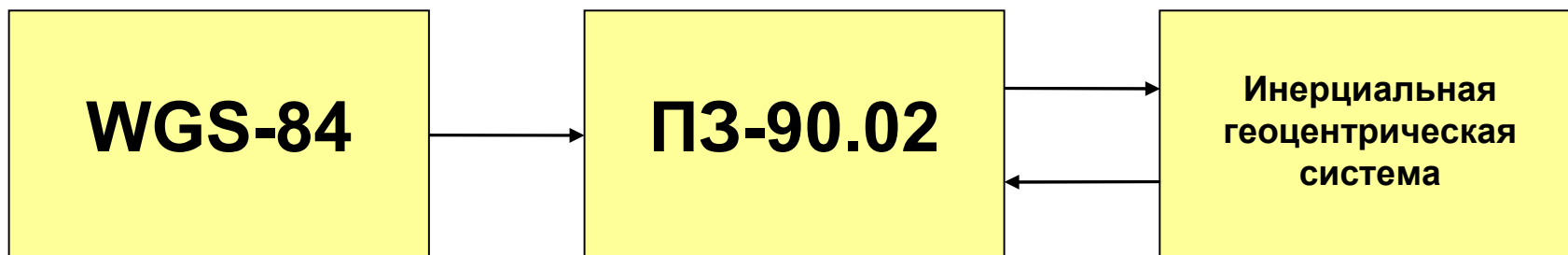
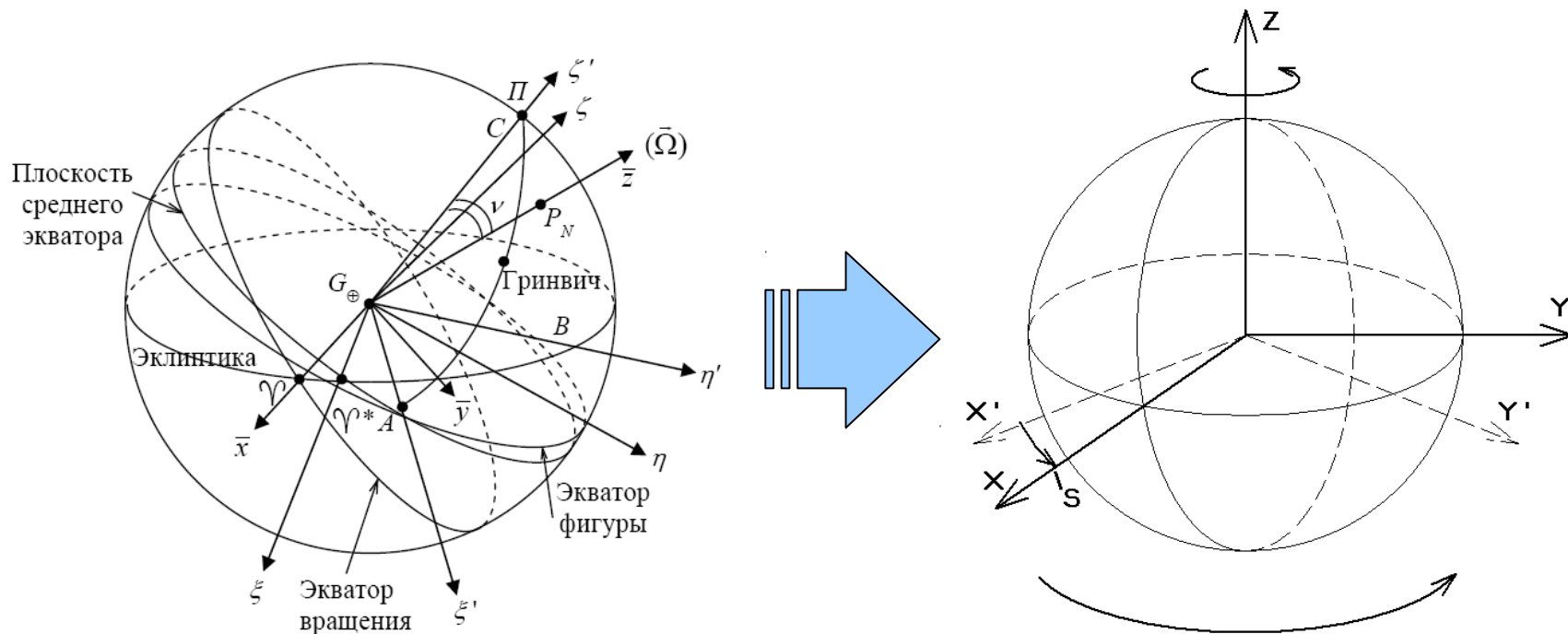
Чипсет: SiRF Star III

Диапазон частот: L1

# NTRIP-технология сбора навигационных данных в режиме реального времени



# Инерциальная геоцентрическая и гринвичская геоцентрическая системы координат







## Перевод из WGS-84 в ПЗ-90.02

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ПЗ-90.02} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS-84} + \begin{bmatrix} -0.00036 \\ +0.00008 \\ +0.00018 \end{bmatrix}$$

## Перевод из ПЗ-90 в инерциальную систему

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ИНЕРЦ} = [\Psi] \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ПЗ-90.02}$$

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{ИНЕРЦ} = [\Psi] \times \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{ПЗ-90.02} + \omega \cdot \begin{bmatrix} -Y \\ X \\ 0 \end{bmatrix}_{ИНЕРЦ}$$

$$[\Psi] = \begin{bmatrix} \cos(S) & -\sin(S) & 0 \\ \sin(S) & \cos(S) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

# Уравнение движения спутников

$$\frac{dx_0}{dt} = V_{x_0},$$

$$\frac{dy_0}{dt} = V_{y_0},$$

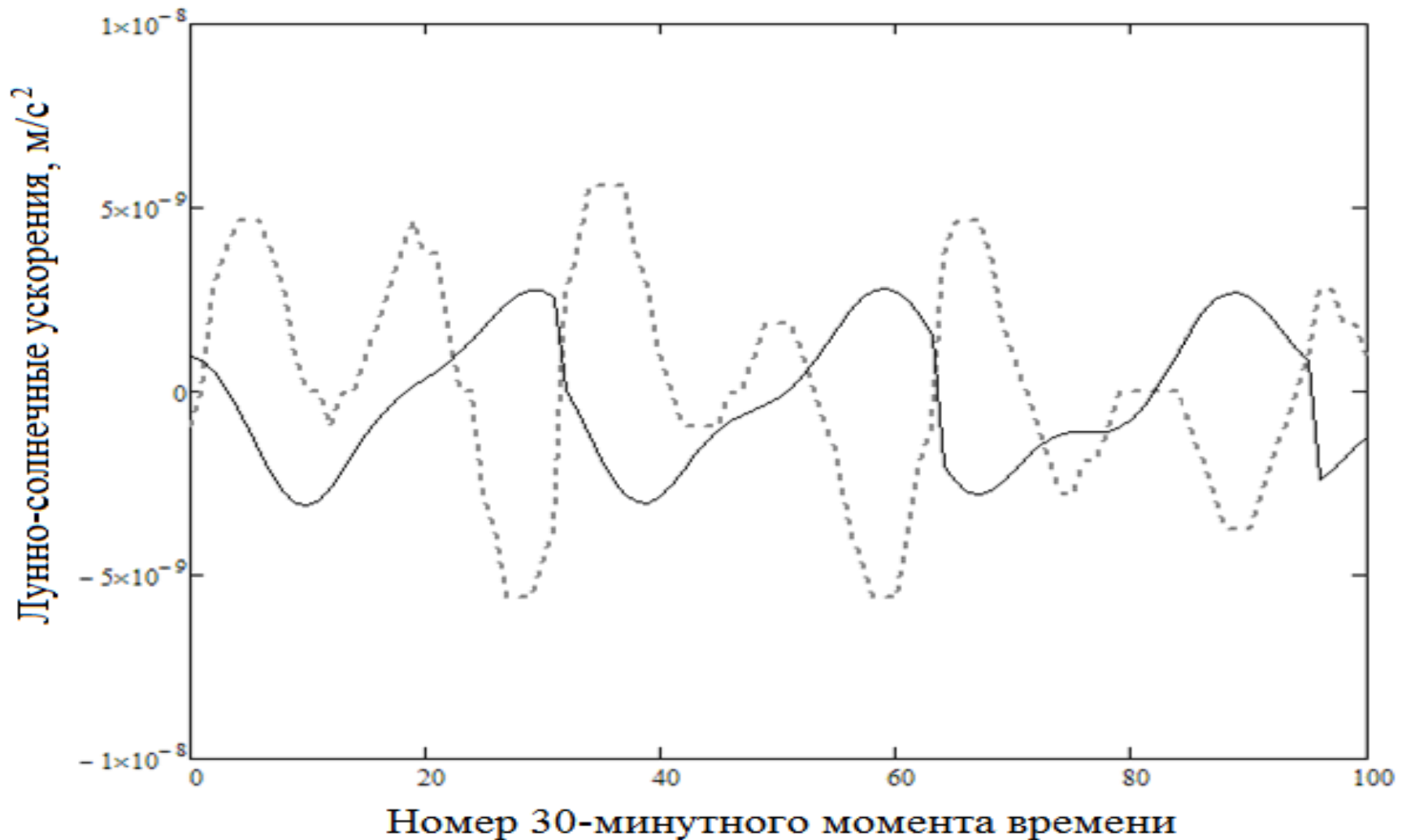
$$\frac{dz_0}{dt} = V_{z_0},$$

$$\frac{dV_{x_0}}{dt} = -\frac{\mu}{X_0^2} + \frac{3}{2} C_{20} \frac{\mu}{X_0} \rho^2 (1 - 5\bar{Z}_0) + j_{x_0e} + j_{x_0\pi}$$

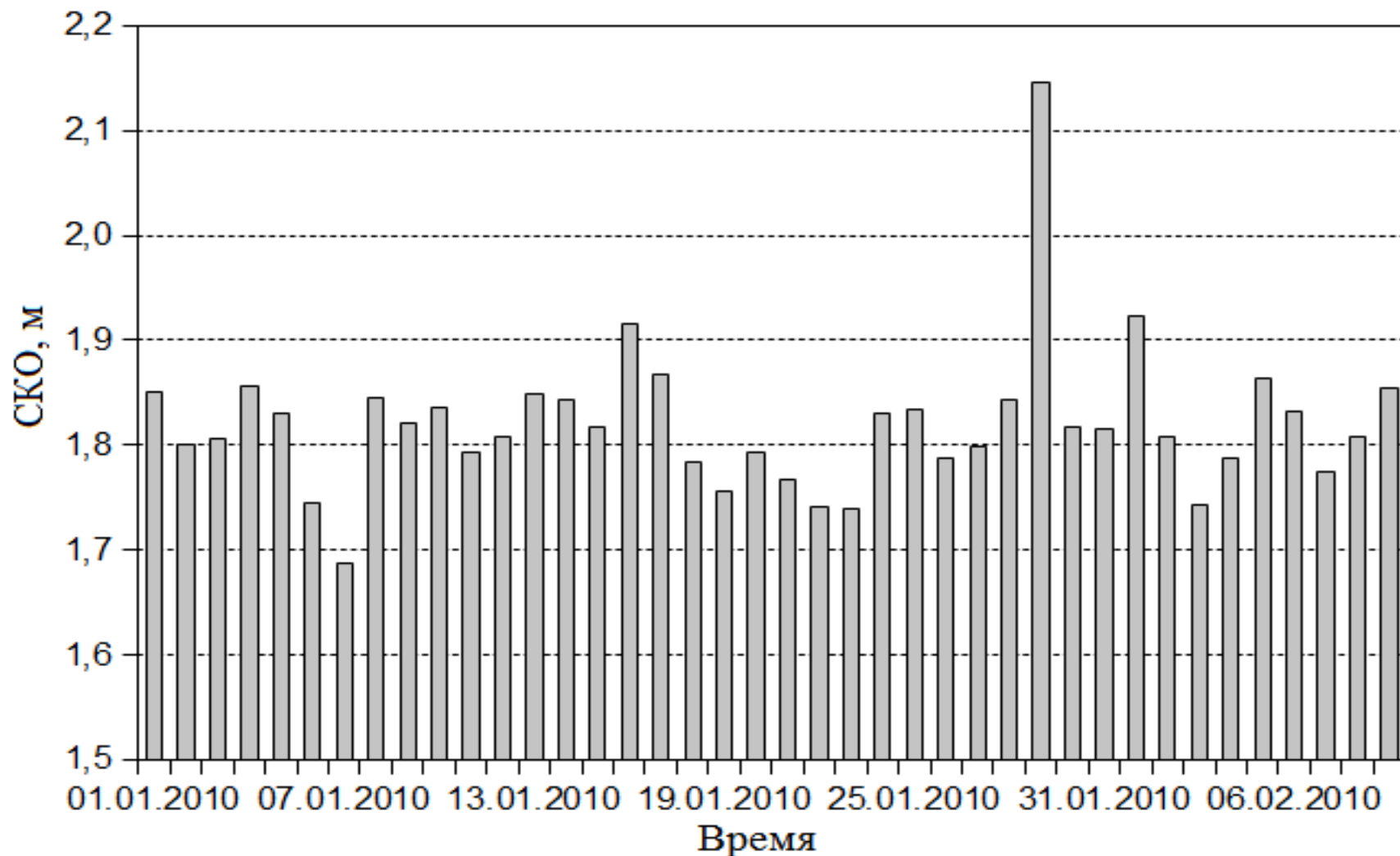
$$\frac{dV_{y_0}}{dt} = -\frac{\mu}{Y_0^2} + \frac{3}{2} C_{20} \frac{\mu}{Y_0} \rho^2 (1 - 5\bar{Z}_0) + j_{y_0e} + j_{y_0\pi}$$

$$\frac{dV_{z_0}}{dt} = -\frac{\mu}{Z_0^2} + \frac{3}{2} C_{20} \frac{\mu}{Z_0} \rho^2 (1 - 5\bar{Z}_0) + j_{z_0e} + j_{z_0\pi}$$

# Разница между модулем вычисленного вектора солнечно-лунного ускорения и между ускорениями взятыми и навигационного кадра



# Среднесуточные значения среднеквадратических ошибок (СКО) определения положения спутников ГЛОНАСС при интервале интегрирования 30 мин в период с 01.01.2010 по 09.02.2010



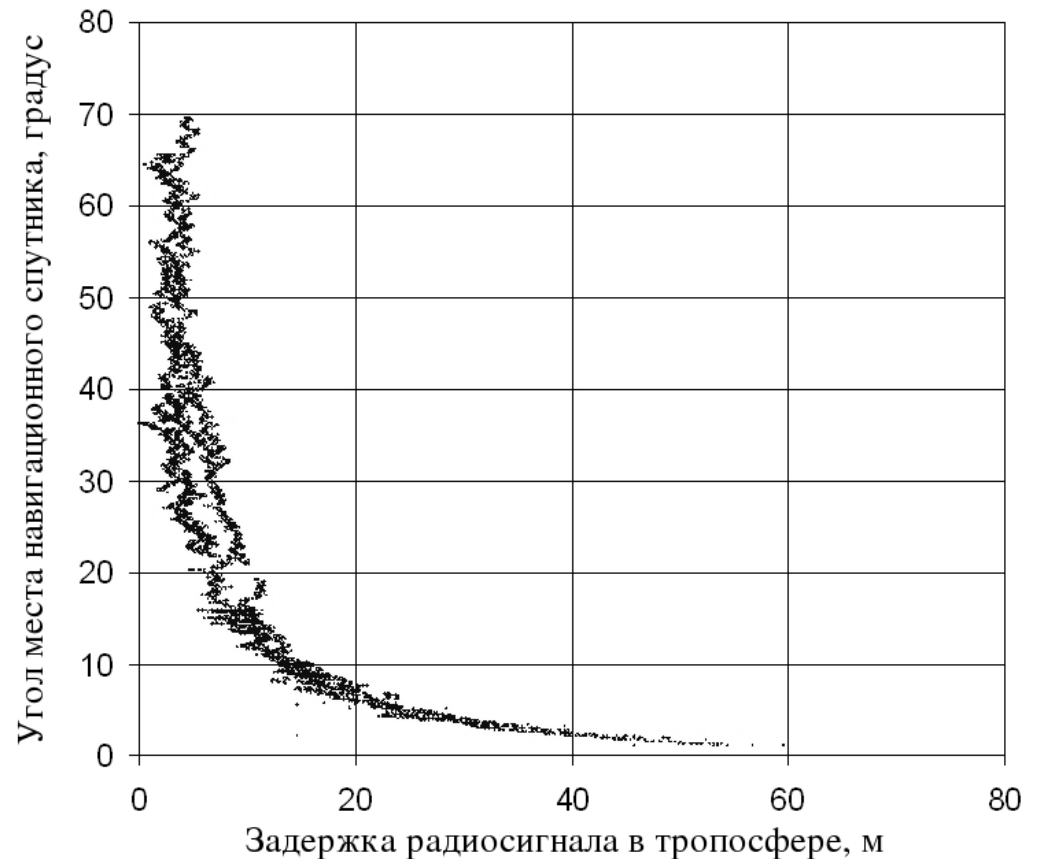
# Задержка навигационного радиосигнала в тропосфере

$$\Delta L_{TP} = L_{ИЗМ(1)} - L_{ГЕОМ} - \Delta L_{ИОН}$$

$$L_{ГЕОМ} = \sqrt{(X_{СП} - X_{ПР})^2 + (Y_{СП} - Y_{ПР})^2 + (Z_{СП} - Z_{ПР})^2}$$

$$\Delta L_{ИОН} = \frac{f_2^2 (L_{ИЗМ(2)} - L_{ИЗМ(1)})}{f_1^2 - f_2^2}$$

$$\Delta L_{ИОН} = \frac{-40.4 \cdot TEC}{f_1^2 \left[ 1 - \left( \frac{R \cdot \cos(\beta)}{R + z_{\max}} \right)^2 \right]^{0.5}}$$



# Заключение

- Полученные методы позволяют с хорошей точностью рассчитывать вклад тропосферного слоя в величину искажения навигационного сигнала, что позволит использовать эти данные в численных моделях прогноза погоды и нацелено улучшить **детализацию** данных и **точность** региональных краткосрочных **прогнозов погоды**.
- Поиск зависимости между состоянием атмосферы и величиной искажения навигационных сигналов позволит обеспечивать аппаратуру потребителей информацией о **состоянии атмосферы** и решать обратную задачу - улучшать **точность позиционирования** потребителей навигационной информации;

# Спасибо за внимание!

Сайт проекта: <http://www.meteolab.ru>