

Российский государственный гидрометеорологический университет

Система дистанционного ГЛОНАСС/GPS-мониторинга атмосферы

Чукин В.В., Вахнин А.В.

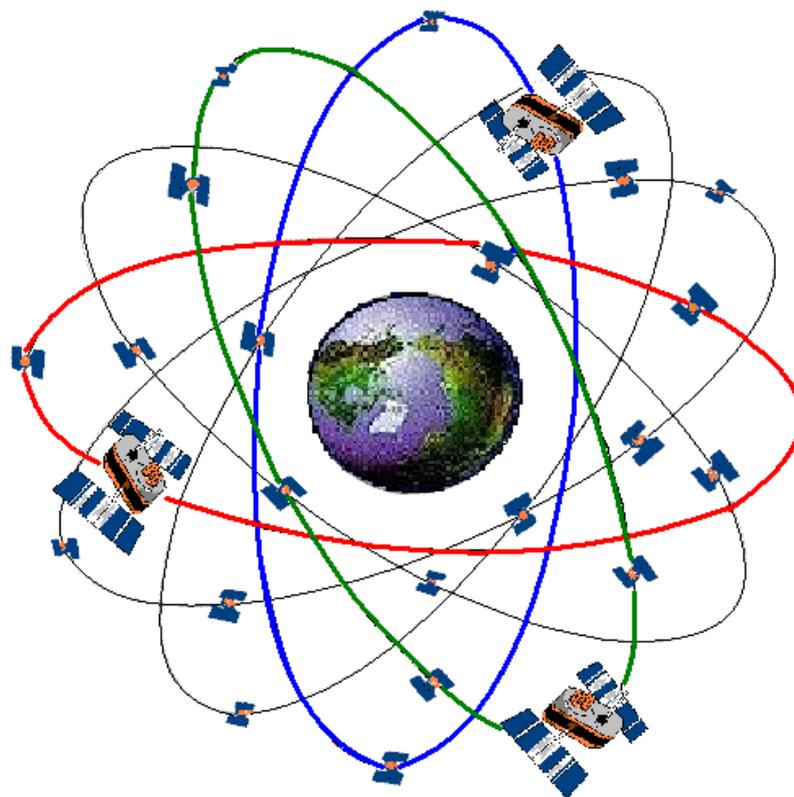


Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС)

ГЛОНАСС



GPS



Параметры космического комплекса систем ГЛОНАСС и GPS

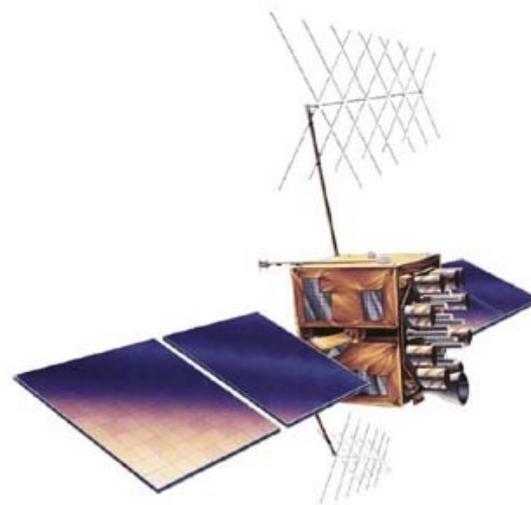
Параметр	ГНСС	
	ГЛОНАСС	GPS
Число спутников	19	30
Число орбитальных плоскостей	3	6
Число спутников в плоскости	8	5-6
Тип орбиты	круговая	круговая
Высота орбиты, км	19 100	20 145
Наклонение орбиты, град.	64.8	55.0
Период обращения	11 ч 16 мин	11 ч 57 мин
Частоты используемых радиосигналов, МГц	L1: $1602+k \cdot 0.5625$ L2: $1246+k \cdot 0.4375$	L1: 1575.42 L2: 1227.60

КА системы ГЛОНАСС и GPS



КА «Глонасс-М»

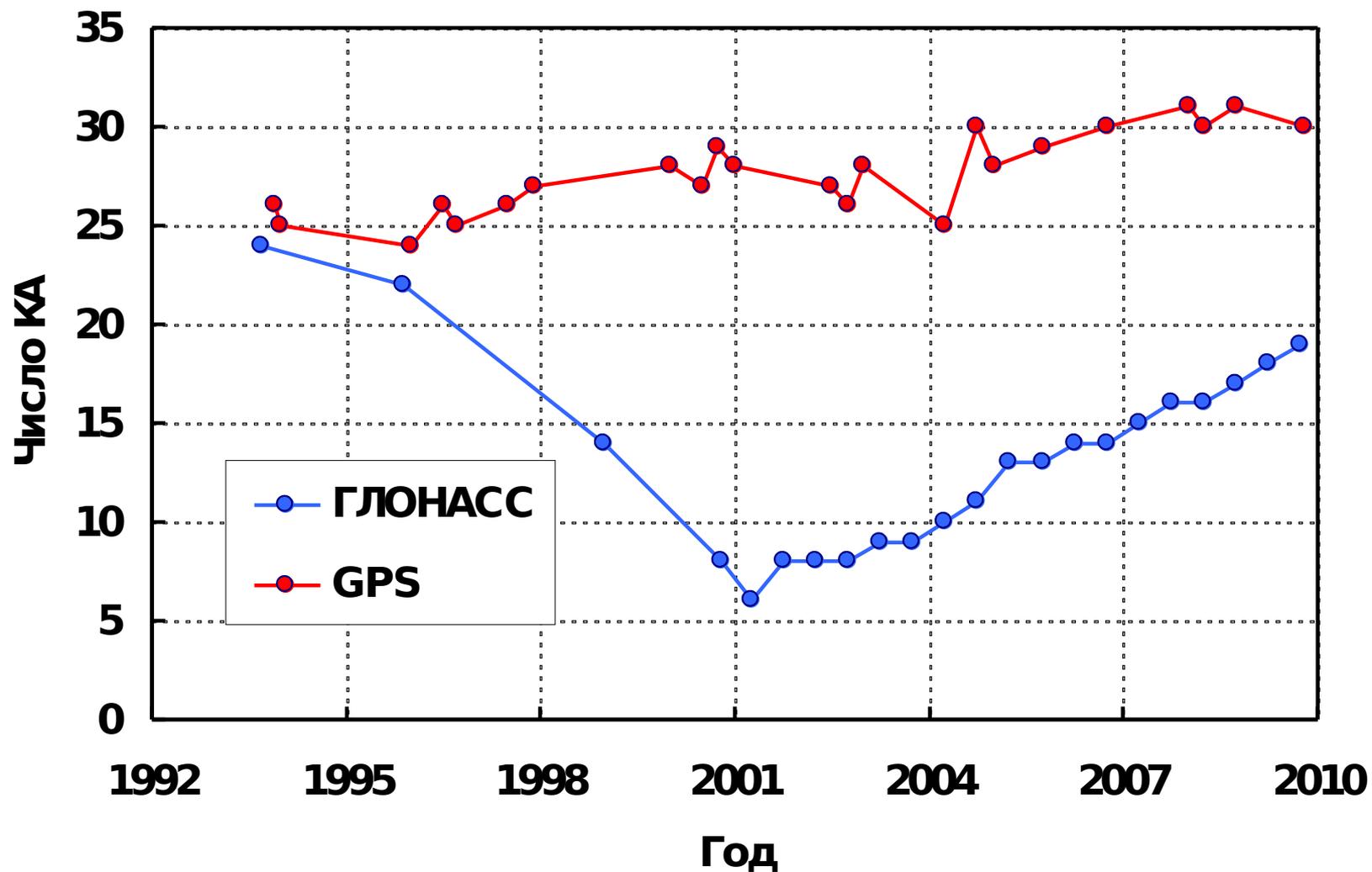
Параметр	Значение
Срок службы	7 лет
Масса	1415 кг
Мощность батарей	1400 Вт



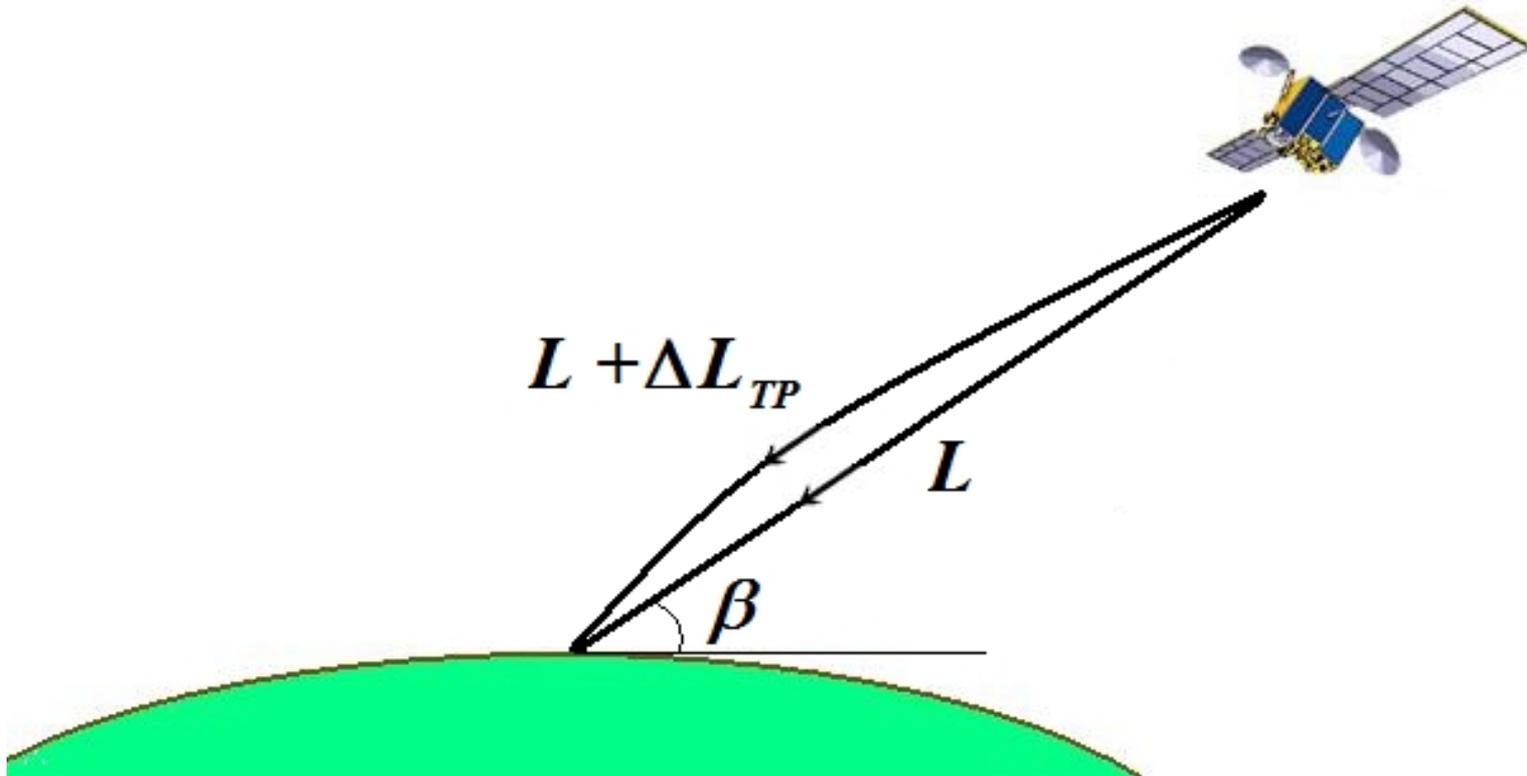
КА «Block IIR-M»

Параметр	Значение
Срок службы	10 лет
Масса	2032 кг
Мощность батарей	1136 Вт

Орбитальная группировка КА ГЛОНАСС и GPS



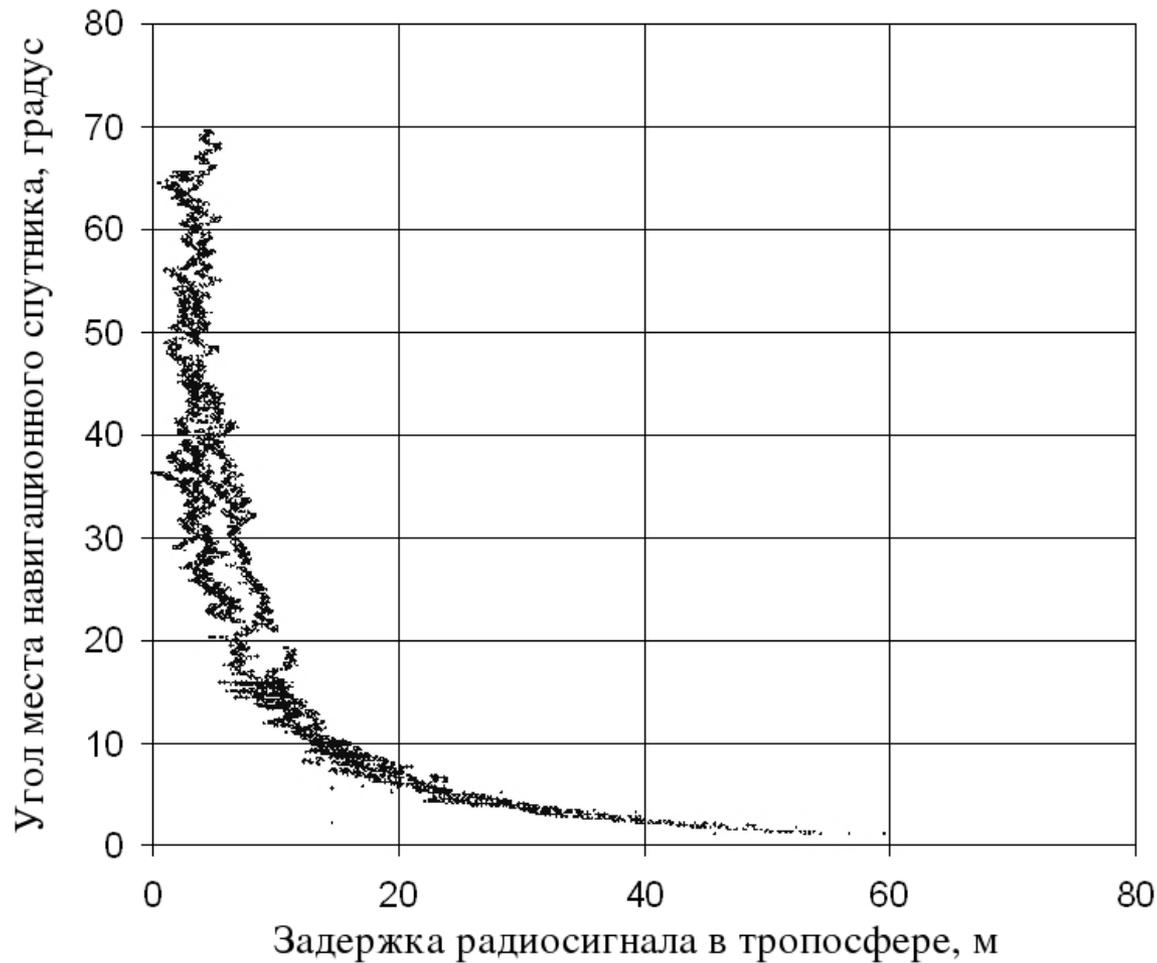
Задержка радиосигнала в тропосфере



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

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

Зависимость тропосферной задержки радиосигнала от высоты спутника над горизонтом



Определение интегрального содержания водяного пара в атмосфере

На основе результатов измерения задержки радиосигнала во влажном воздухе возможно определение содержания водяного пара в атмосфере по расчетной формуле:

$$PWV = k \cdot \Delta L_{\Pi}$$

$$k = \left(\sin \beta + \frac{a}{\sin \beta + \frac{b}{\sin \beta + 0.05917}} \right) \cdot \left(k'_2 \cdot R_{\Pi} + \frac{k_3 \cdot R_{\Pi}}{T_m} \right)^{-1}$$

$$T_m = 70.2 + 0.72 \cdot T_0$$

$$a = 5.236 \cdot 10^{-3} + 2.471 \cdot 10^{-9} \cdot (P_0 - 10^5) + 1.724 \cdot 10^{-7} \cdot (T_0 - 288.15) + 1.328 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{e_0}$$

$$b = 1.705 \cdot 10^{-3} + 7.384 \cdot 10^{-9} \cdot (P_0 - 10^5) + 3.767 \cdot 10^{-7} \cdot (T_0 - 288.15) + 2.147 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{e_0}$$

Определение влажной части задержки радиосигнала в тропосфере

Для определения задержки радиосигнала, связанной с наличием в атмосфере молекул водяного пара, необходима информация об истинном расстоянии от приемника до передающей антенны спутника, данные измерений дальности до спутника, значение ионосферной задержки и гидростатической части задержки радиосигнала в тропосфере:

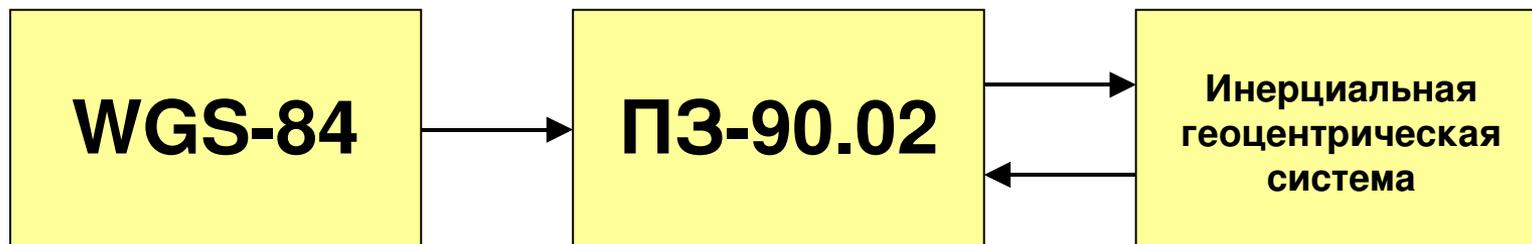
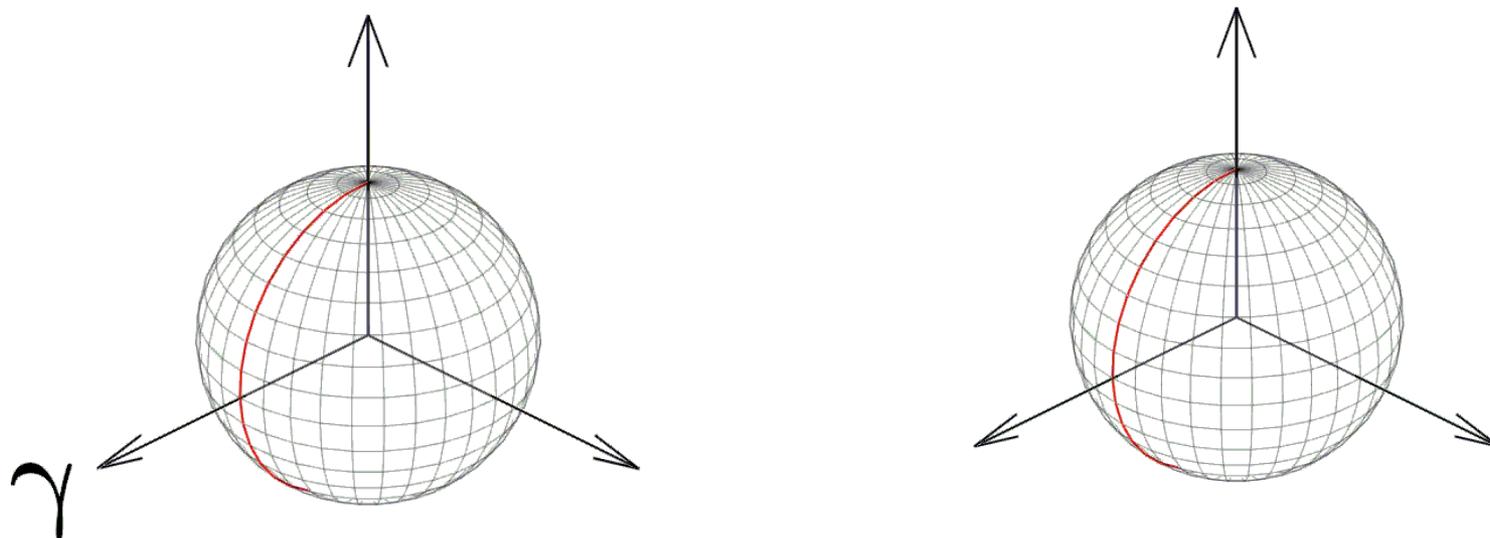
$$\Delta L_{\Pi} = L_{ИЗМ(1)} - L_{ГЕОМ} - \Delta L_{ИОН} - \Delta L_{ГС}$$

Дальность до навигационного спутника

При известном положении стационарного навигационного приемника (базовой станции) и рассчитанном положении спутника в пространстве возможно определение геометрической дальности до спутника:

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

Инерциальная геоцентрическая и гринвичская геоцентрическая системы координат



Задержка радиосигнала в ионосфере

При использовании двухчастотного навигационного приемника ионосферная задержка радиосигнала рассчитывается следующим образом:

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

В случае одночастотных измерений:

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

TEC из http://sol.spacenvironment.net/~ionops/current_files/current_TEC_data.txt

$R = 6\,371\,221$ м

$z_{\text{max}} = 432\,500$ м

Гидростатическая часть задержки радиосигнала в тропосфере

Гидростатическая часть задержки может быть определена по формуле, использующей модель Саастамойнена и отображающую функцию Ифадиса:

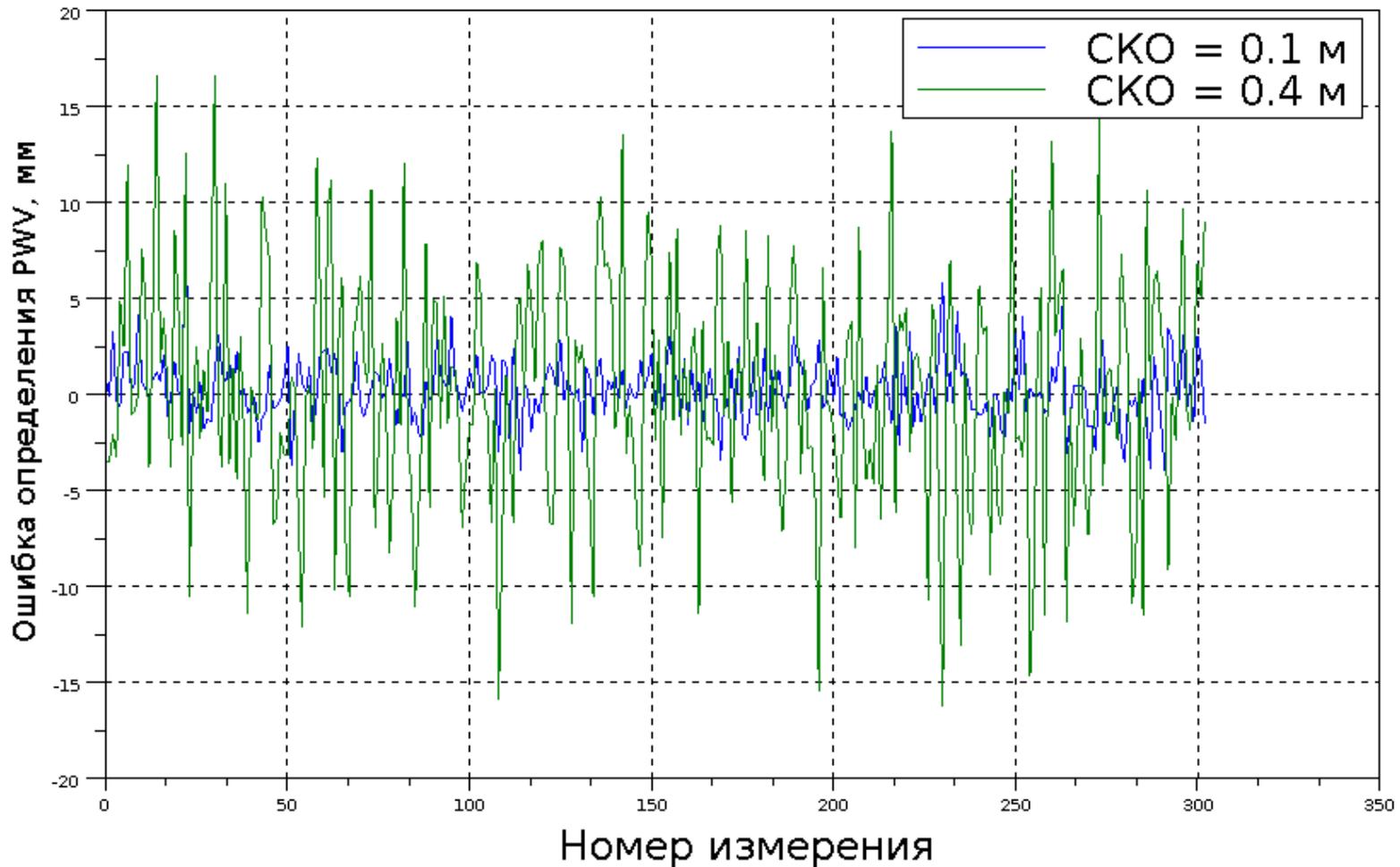
$$\Delta L_{ГС} = \frac{2.2768 \cdot 10^{-5} \cdot P_0}{g_m \cdot \left(\sin \beta + \frac{a}{\sin \beta + \frac{b}{\sin \beta + 0.078}} \right)}$$

$$g_m = 9.784 \cdot [1 - 0.00266 \cdot \cos(2\varphi) - 0.00028 \cdot 10^{-3} \cdot h]$$

$$a = 1.237 \cdot 10^{-3} + 1.316 \cdot 10^{-9} \cdot (P_0 - 10^5) + 1.378 \cdot 10^{-6} \cdot (T_0 - 288.15) + 8.057 \cdot 10^{-7} \cdot \sqrt{e_0}$$

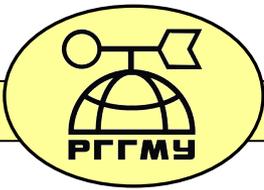
$$b = 3.333 \cdot 10^{-3} + 1.946 \cdot 10^{-9} \cdot (P_0 - 10^5) + 1.040 \cdot 10^{-7} \cdot (T_0 - 288.15) + 1.747 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt{e_0}$$

Точность определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере (Санкт-Петербург, январь-май 2009 г.)



Заключение

- Система ГЛОНАСС позволяет определять содержание водяного пара в атмосфере с приемлемой точностью;
- Получение информации о содержании водяного пара в атмосфере одновременно с помощью систем ГЛОНАСС и GPS позволит увеличить качество и оперативность метеорологического обеспечения;
- Использование оперативной информации о содержании водяного пара в атмосфере в численных моделях прогноза погоды позволит улучшить детализацию данных и точность региональных краткосрочных прогнозов погоды.



Спасибо за внимание!

Российский государственный гидрометеорологический университет
Кафедра экспериментальной физики атмосферы

Чукин Владимир Владимирович,
Вахнин Антон Вячеславович

E-mail: chukin@rshu.ru

Сайт проекта: <http://gnss-meteo.ru>