Информационная система сбора и коррекции навигационных данных

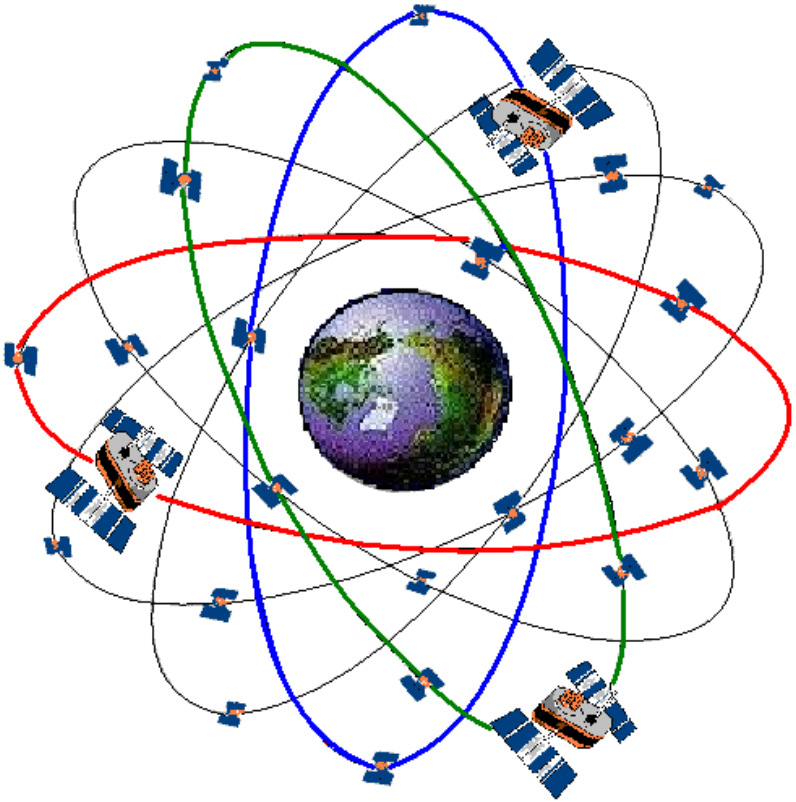
Чукин В.В., Алдошкина Е.С., Вахнин А.В., Обрезкова И.В., Нгуен Т.Т.

XII конференция молодых ученых «Навигация и управление движением», 16-19 марта 2010 г.

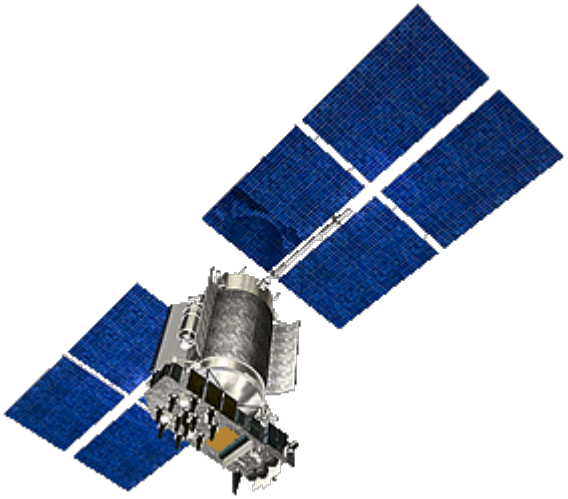
Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС)

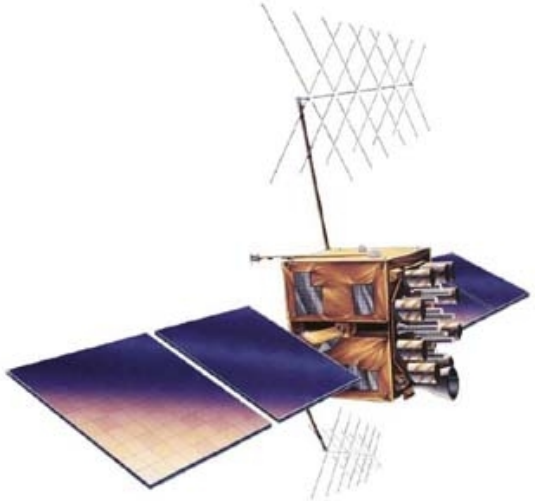
ГЛОНАСС

GPS



КА системы ГЛОНАСС и GPS



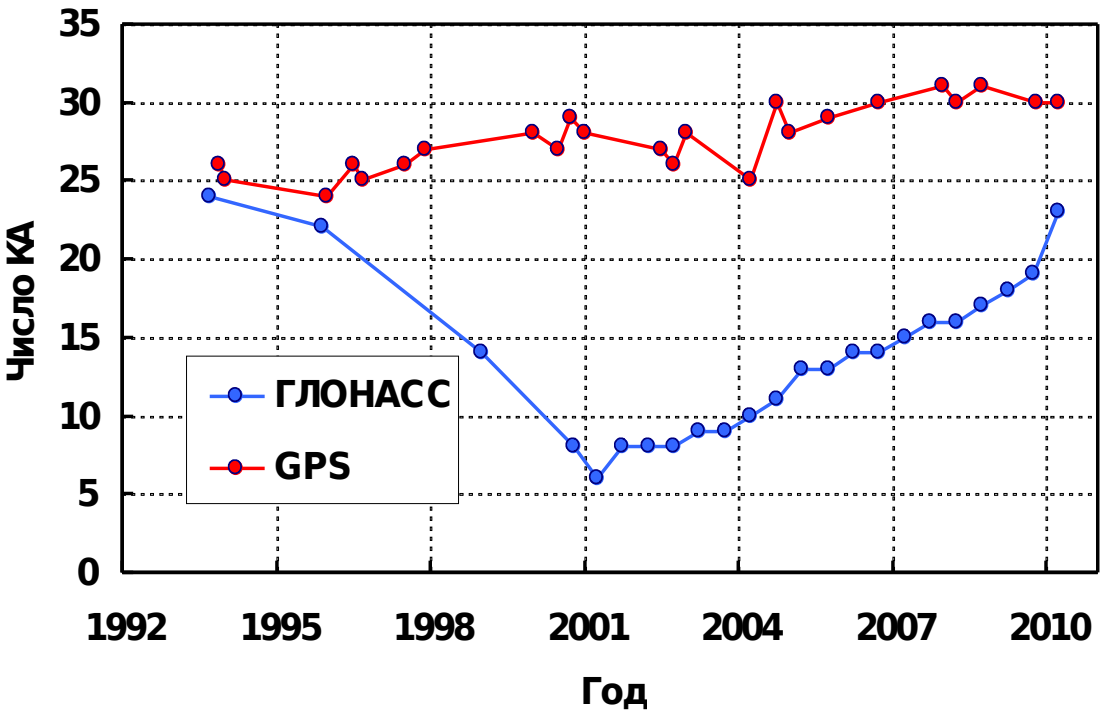


КА «Глонасс-М»

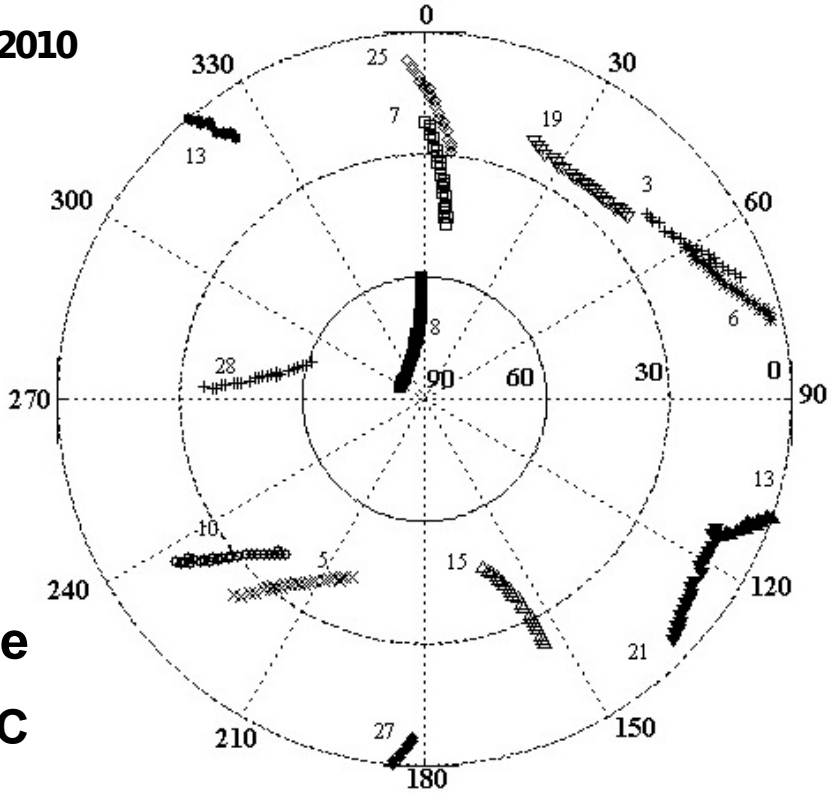
Параметр	Значение
Срок службы	7 лет
Масса	1415 кг
Мощность батарей	1400 Вт

КА «Block IIR-M»

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



Орбитальная группировка КА ГНСС



Положение КА GPS на небосводе

с 05.12.2009 02:56 по 05.12.2009 03:56 UTC

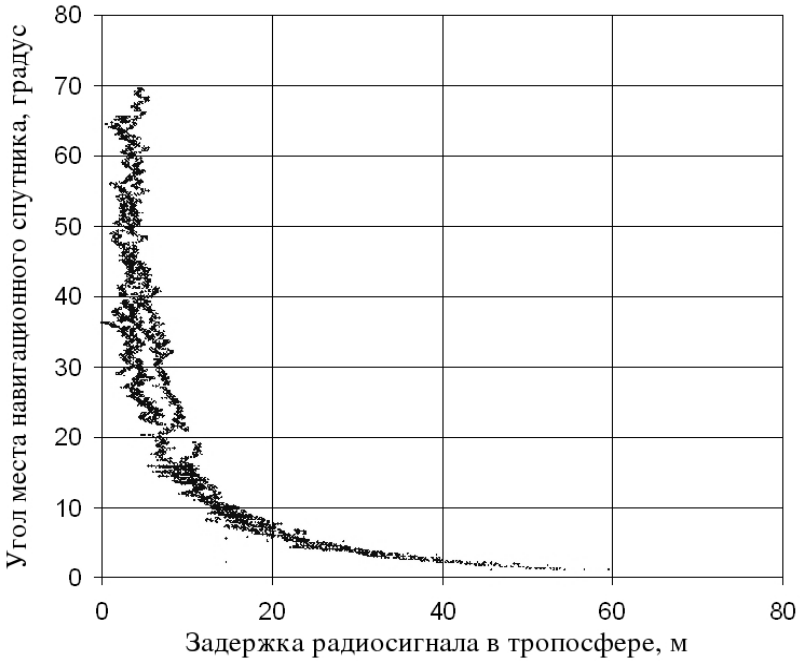
Параметры космического комплекса систем ГЛОНАСС и GPS

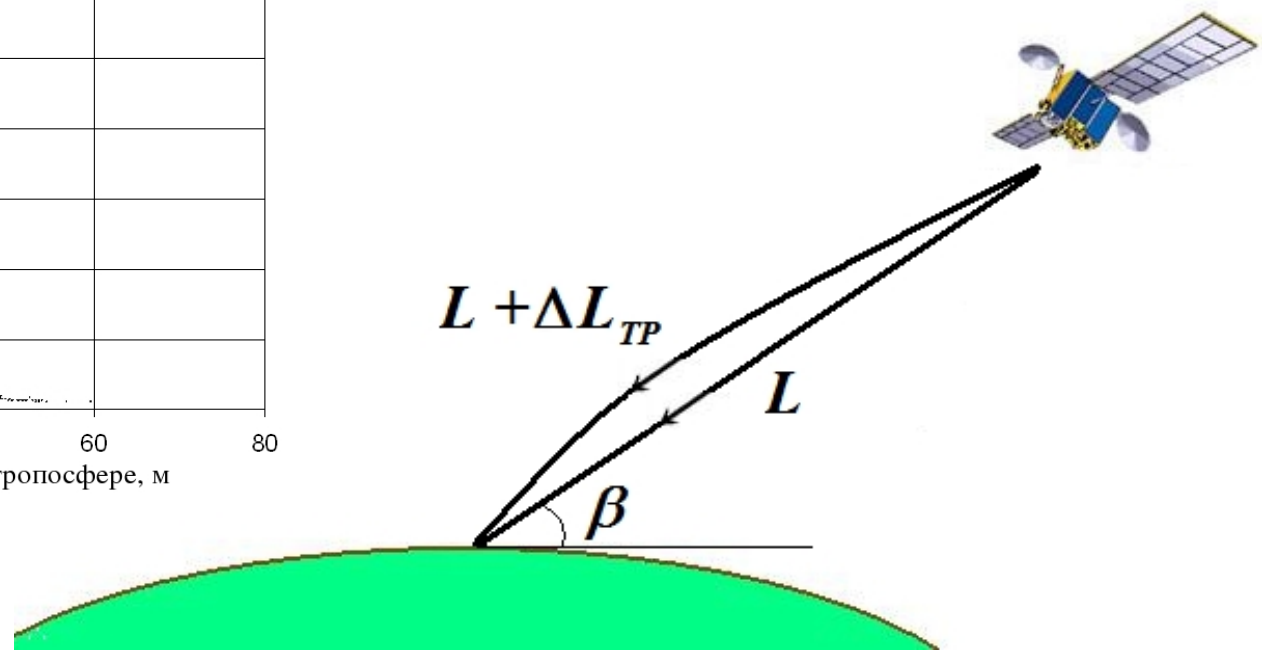
Параметр	ГНСС	
	ГЛОНАСС	GPS
Число спутников	23	30
Число орбитальных плоскостей	3	6
Число спутников в плоскости	до 8	до 6
Тип орбиты	круговая	круговая
Высота орбиты, км	19 100	20 145
Наклонение орбиты, град.	64.8	55.0
Период обращения	11 ч 16 мин	11 ч 57 мин
Частоты используемых радиосигналов, МГц	L1: $1602+k\cdot0.5625$ L2: $1246+k\cdot0.4375$	L1: 1575.42 L2: 1227.60

Типы навигационных сигналов систем ГЛОНАСС и GPS

ГНСС	Тип КА	Год	Диапазон частот			
			L1	L2	L3	L5
ГЛОНАСС	Глонасс	1982	ВТ, СТ	ВТ	-	-
	Глонасс-М	2007	ВТ, СТ	ВТ, СТ	-	-
	Глонасс-К	2010	ВТ, СТ, *L1ROC*	ВТ, СТ	ВТ, СТ	*L5ROC*
	Глонасс-КМ	2015	ВТ, СТ, *L1ROC, L1SC*	ВТ, СТ, *L2OC, L2SC*	ВТ, СТ, *L3SC*	*L5ROC*
GPS	Block IIA	1990	*P, C/A*	*P*	-	-
	Block IIR	1997	*P, C/A*	*P*	-	-
	Block IIR-M	2005	*P, C/A, M*	*P, L2C, M*	-	-
	Block IIF	2009	*P, C/A, M*	*P, L2C, M*	-	*I, Q*
	Block III	2014	*P, C/A, M, L1C*	*P, L2C, M*	-	*I, Q*

Задержка радиосигнала в тропосфере





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

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

Определение интегрального содержания водяного пара в атмосфере

На основе результатов измерения задержки радиосигнала в тропосфере возможно определение влагосодержания атмосферы по расчетной формуле:

$$PWV = k \cdot \left(\Delta L_{TP} - \Delta L_{ГС} \right)$$

$$k = \left(\sin\beta + \frac{c}{\sin\beta + \frac{d}{\sin\beta + 0.05917}} \right) \cdot \left(k_2' \cdot R_{П} + \frac{k_3 \cdot R_{П}}{T_m} \right)^{-1}$$

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

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

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

Гидростатическая часть задержки радиосигнала в тропосфере

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

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

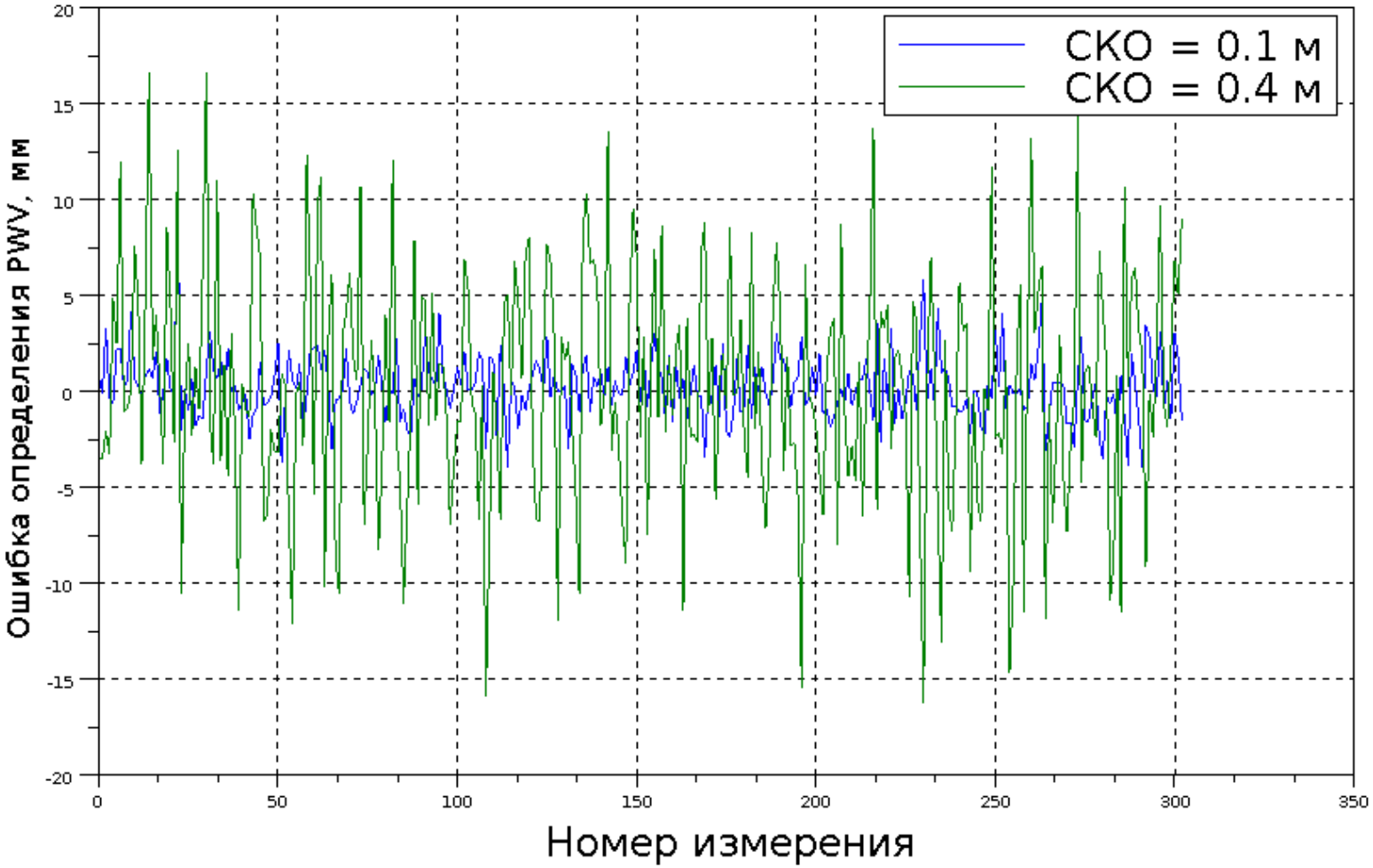
$$g_m = 9.784 \cdot \left[1 - 0.00266 \cdot \cos(2\varphi) - 0.00028 \cdot 10^{-3} \cdot h \right]$$

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

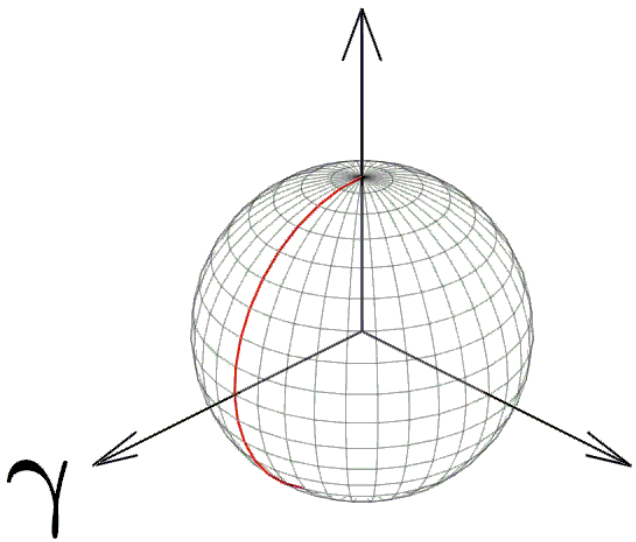
$$b = 3.333 \cdot 10^{-3} + 1.946 \cdot 10^{-9} \cdot \left(P_0 - 10^5 \right) + 1.040 \cdot 10^{-7} \cdot \left(T_0 - 288.15 \right) + 1.747 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt{e_0}$$

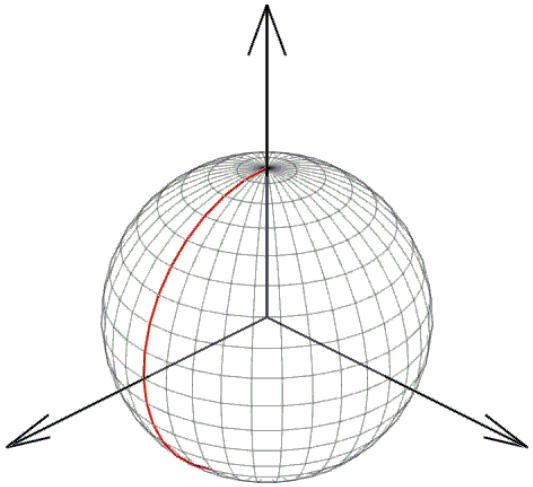
Точность определения интегрального содержания водяного пара в атмосфере

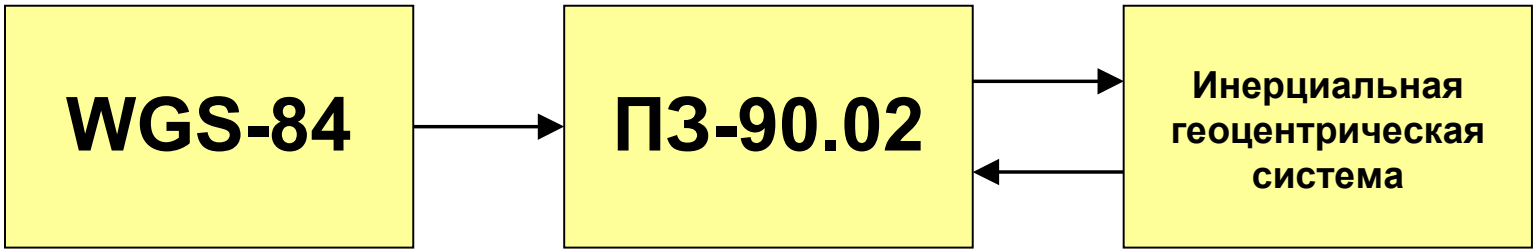
(Санкт-Петербург, январь-май 2009 г.)



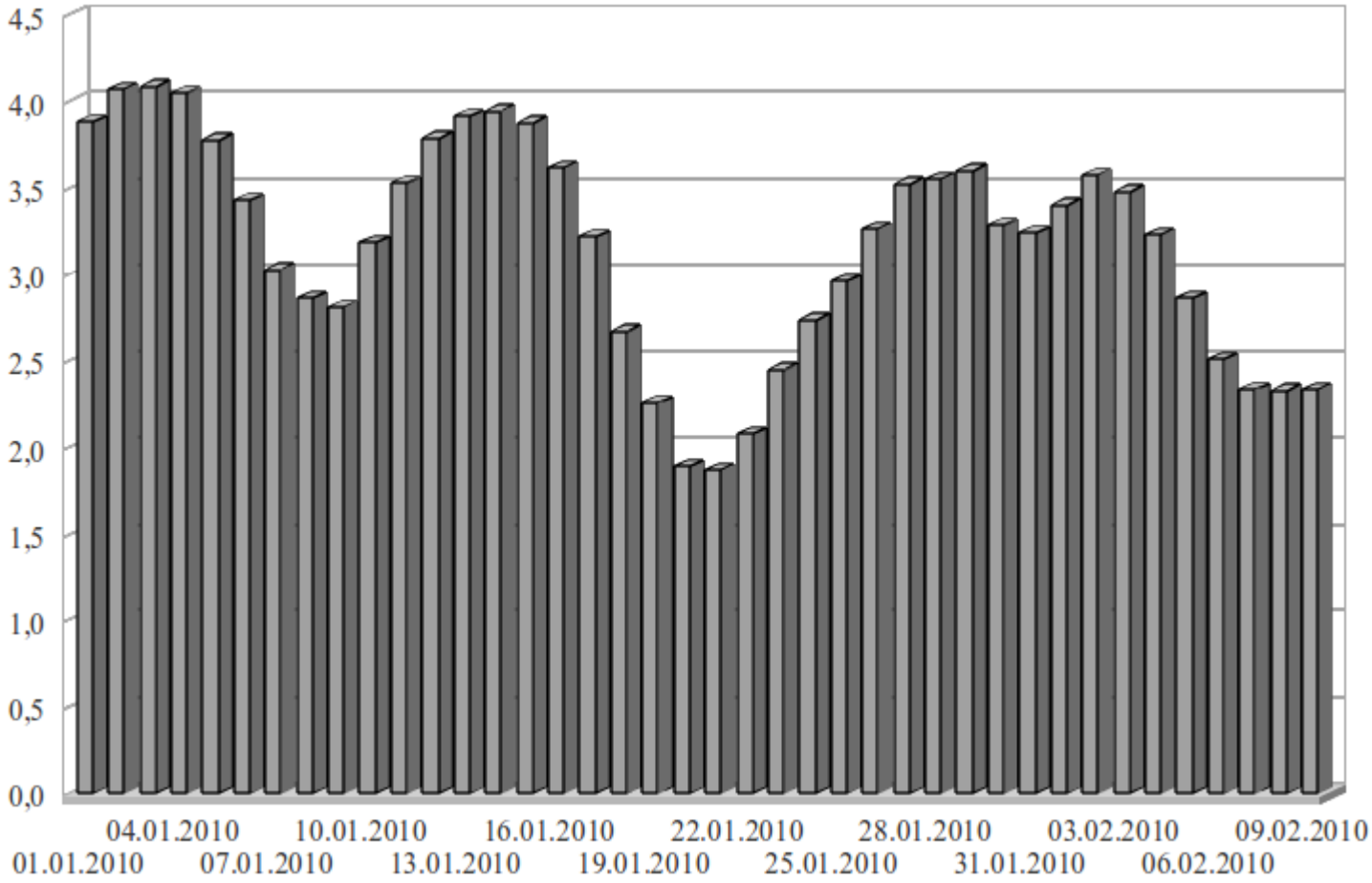
Инерциальная геоцентрическая и гринвичская геоцентрическая системы координат







Точность определения местоположения КА ГЛОНАСС



Определение полного электронного содержания в ионосфере

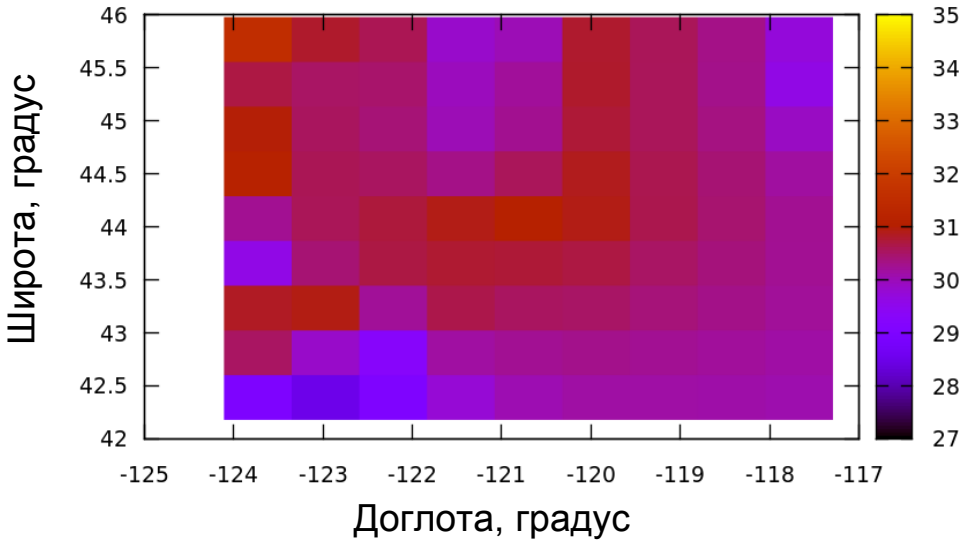
При использовании двухчастотного навигационного приемника, благодаря эффекту дисперсии радиоволн в ионосфере, оказывается возможным рассчитать полное содержание электронов в вертикальном столбе ионосферы:

$$TEC = \frac{f_1^2 f_2^2 \left(L_{ИЗМ(2)} - L_{ИЗМ(1)}\right)\left[1 - \left(\frac{R \cdot \cos\beta}{R + z_{\max}}\right)^2\right]^{0.5}}{40.4\left(f_2^2 - f_1^2\right)}$$

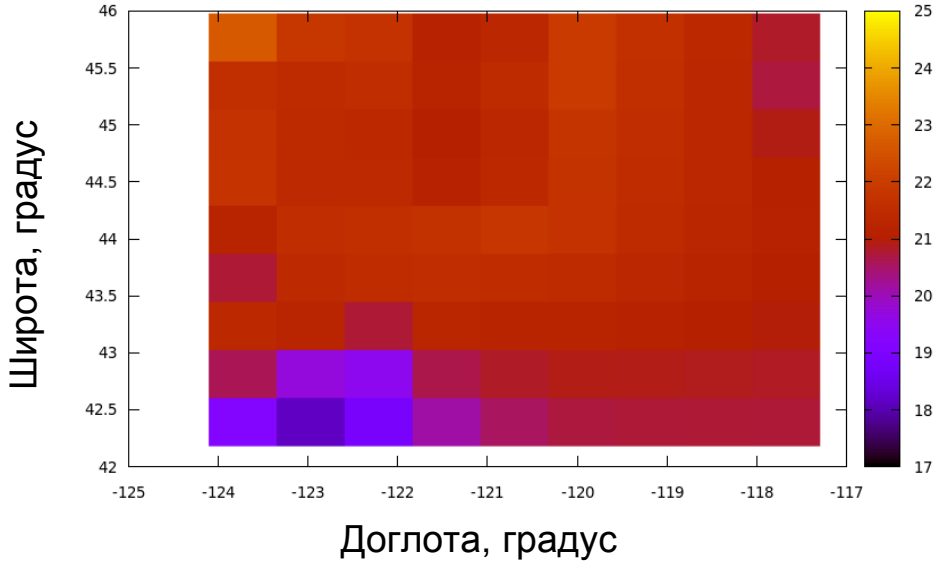
где $R = 6\ 371\ 221$ м

$z_{\max} = 432\ 500$ м

Полученные пространственные распределения содержания электронов в ионосфере

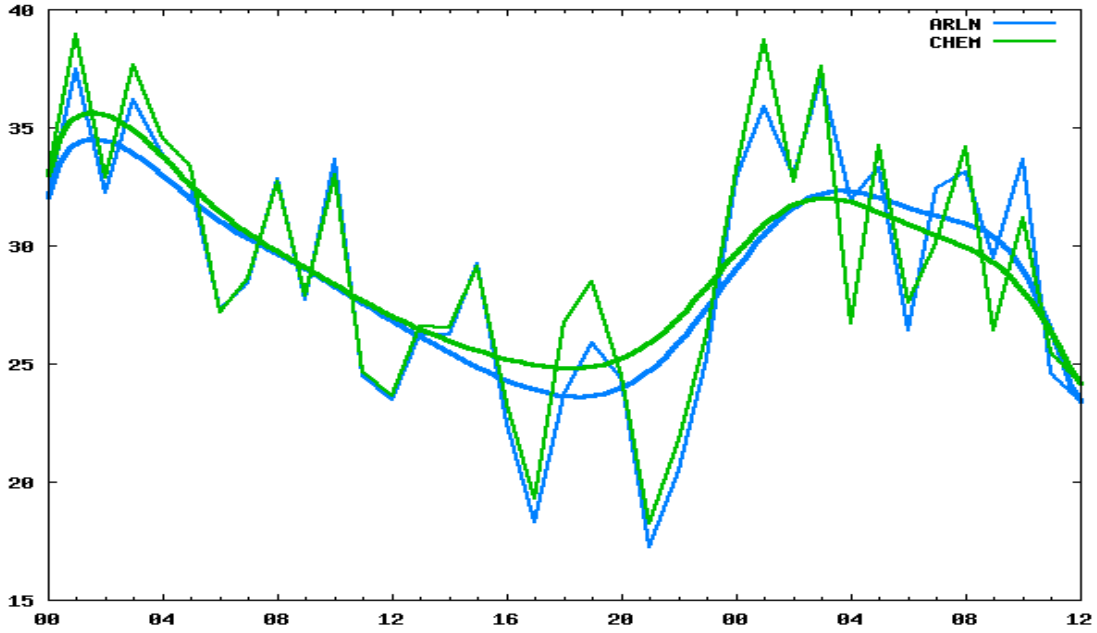


На рисунке представлены рассчитанные значения ПЭС на момент времени 01.12.2009 00:00 UTC



На рисунке представлены рассчитанные значения ПЭС на момент времени 01.12.2009 12:00 UTC

Временной ход полного электронного содержания в ионосфере



На рисунке представлены значения ПЭС, рассчитанные по данным двух навигационных станций, находящихся на расстоянии 304 км друг от друга в период с 01.12.2009 00:00 по 02.12.2009 12:00 UTC с шагом в 1 час

Приемная аппаратура сигналов ГНСС

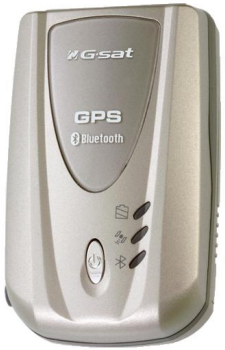
Topcon GB-1000

Система: ГЛОНАСС/GPS

Число каналов: 40

Чипсет: Paradigm

Диапазон частот: L1 и L2



GlobalSat BT-338

Система: GPS

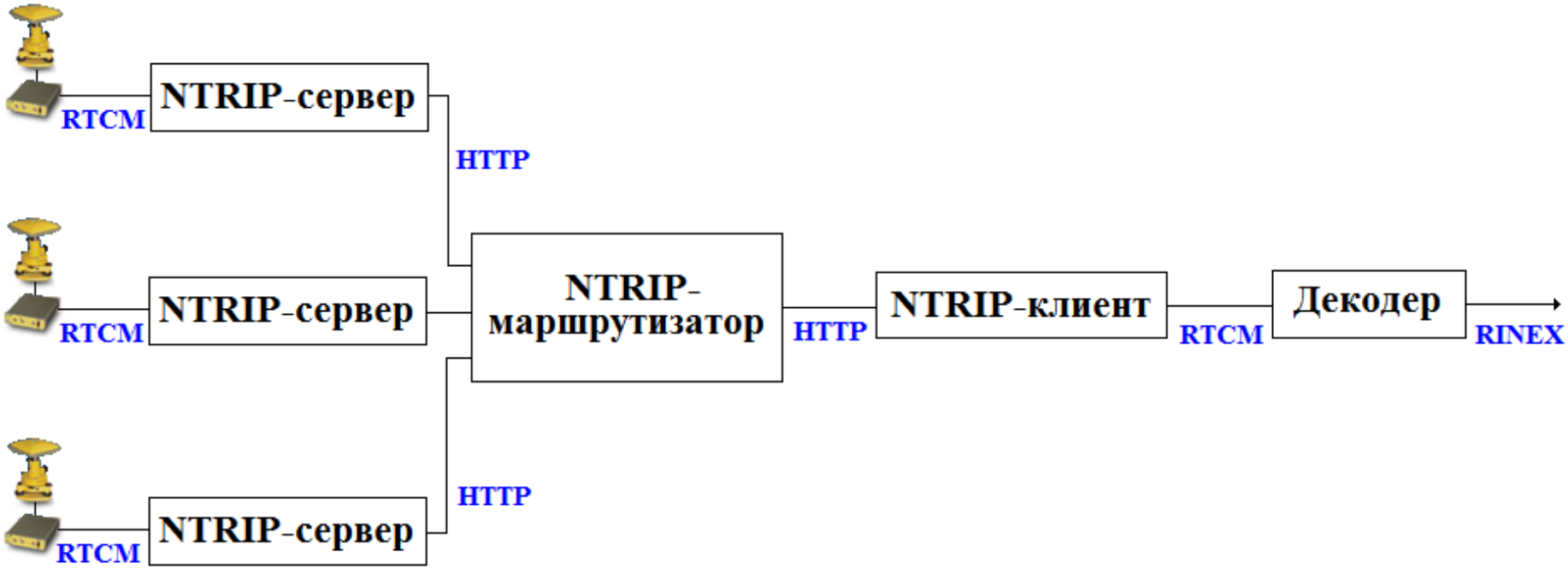
Число каналов: 20

Чипсет: SiRF Star III

Диапазон частот: L1

Сеть базовых станций EUREF

NTRIP-технология сбора навигационных данных в режиме реального времени



NTRIP-маршрутизатор в РГГМУ

Mozilla Firefox

Файл Правка Вид Журнал Закладки Инструменты Справка

http://www.meteolab.ru:2101/

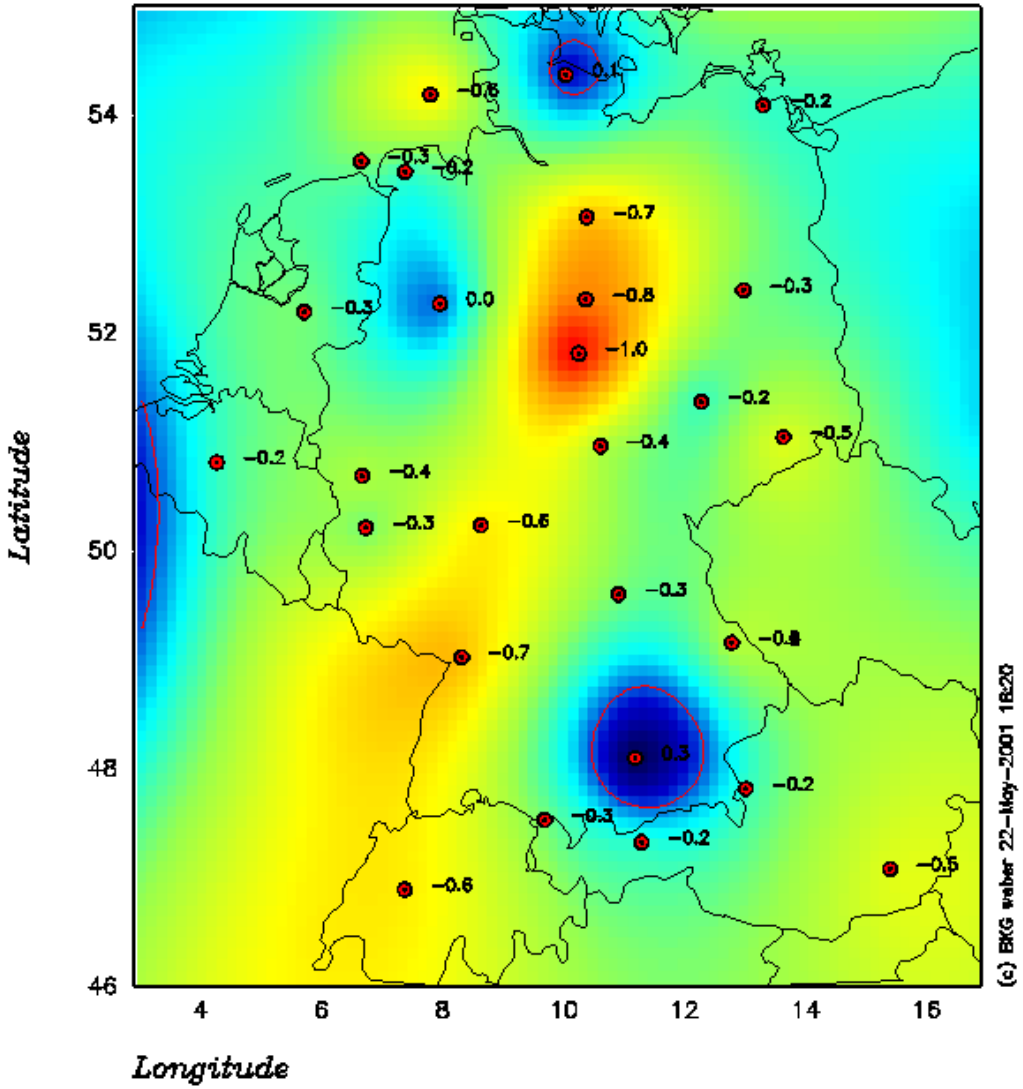
```
SOURCETABLE 200 OK
Server: NTRIP NtripCaster 0.1.5/1.0
Content-Type: text/plain
Content-Length: 238

CAS;www.meteolab.ru;2101;RSHU;RSHU;0;DEU;60.00;30.00;http://www.meteolab.ru
STR;RSHU0;Saint-Petersburg;RTCM 2.0;1(1),3(60),16(60);0;GPS+GLO;RSHU;ROU;59.92;30.41;0;0;Topcon GB-1000;none;B;N;520;Russian State Hydrometeorological University
ENDSOURCETABLE
```

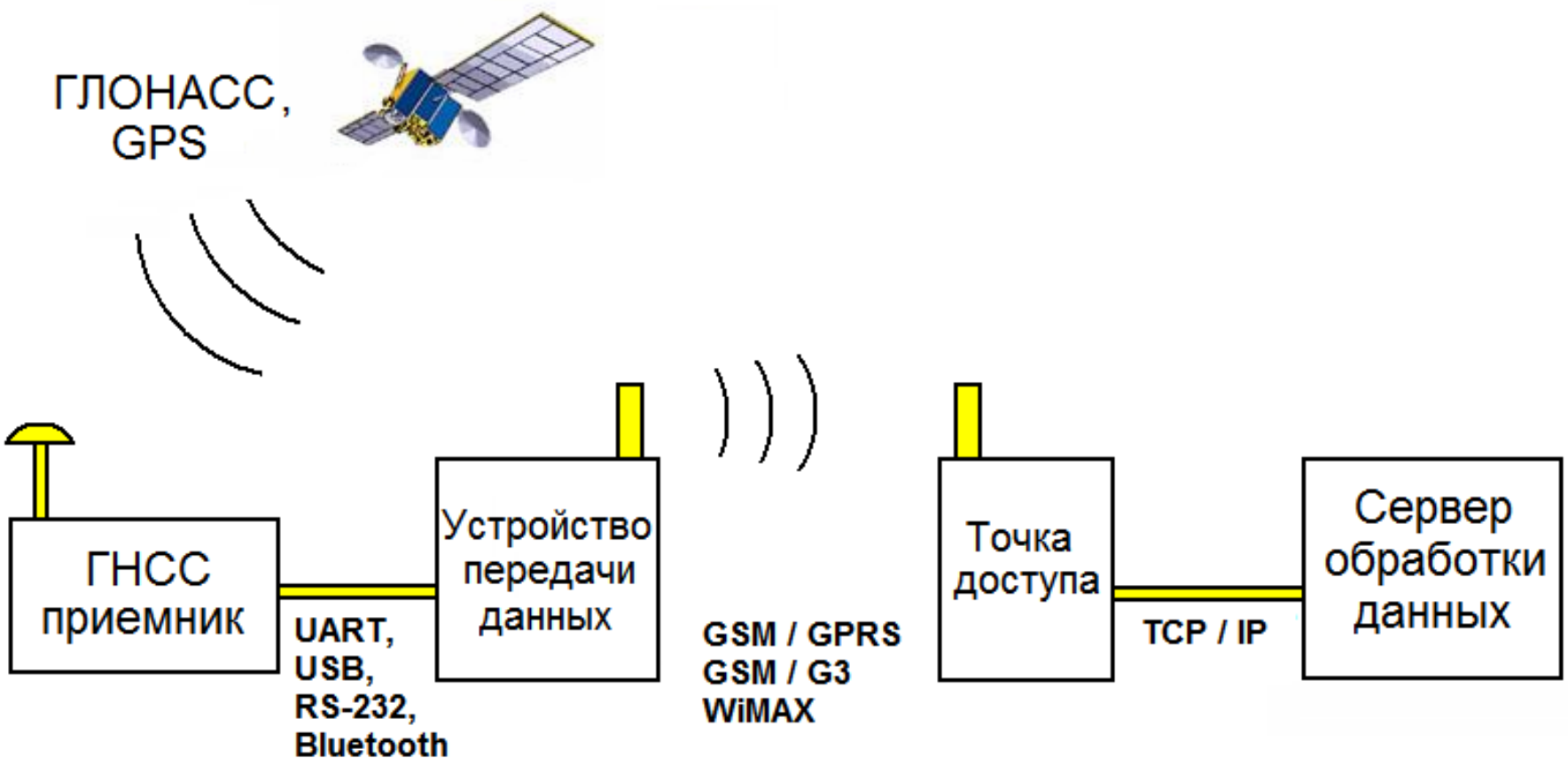
Готово

Пространственное распределение значений вертикальной задержки радиосигнала в тропосфере

по данным сети станций BKG (Федеральное агентство картографии и геодезии), Германия



Система сбора навигационных данных



Система коррекции навигационных данных

Корректирующая информация о задержке радиосигнала в атмосфере

Задержка навигационного радиосигнала ***в тропосфере***:

$$\Delta L_{TP} = \frac{2.2768 \cdot 10^{-5} \cdot P_0}{g_m \cdot \left(\sin\beta + \dfrac{a}{\sin\beta + \dfrac{b}{\sin\beta + 0.078}} \right)} + \frac{\left(k_2' \cdot R_П + \dfrac{k_3 \cdot R_П}{T_m} \right) \cdot PWV}{\left(\sin\beta + \dfrac{c}{\sin\beta + \dfrac{d}{\sin\beta + 0.05917}} \right)}$$

В случае одночастотных измерений задержка радиосигнала ***в ионосфере*** рассчитывается следующим образом:

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

Заключение

- Использование данной системы позволит обеспечить пользователей информацией о ***состоянии атмосферы*** и улучшить ***точность позиционирования*** потребителей навигационной информации;

- 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!

E-mail: chukin@rshu.ru
Сайт проекта: http://www.meteolab.ru

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ГК № П1549 от 09.09.2009