

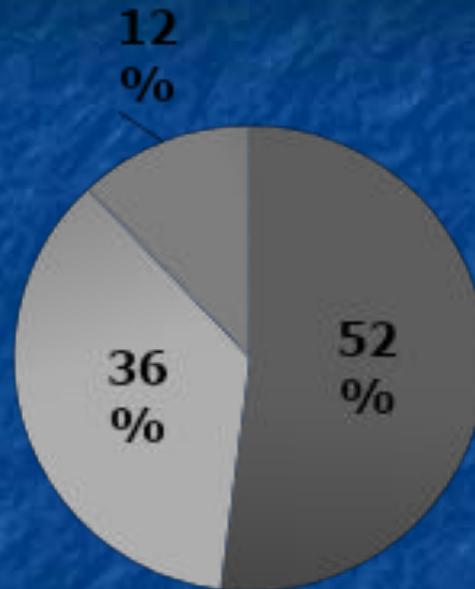
*Военный авиационный инженерный университет  
(г. Воронеж)*

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ДОПОЛНЕНИЯ К  
СПУТНИКОВЫМ  
РАДИОНАВИГАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ**

*Гамаюнов И.Ф.  
доцент кафедры, к.т.н.*

# Погрешности навигационно-временного обеспечения СРНС

- трасса радиосигнала "НС - АП"
- НС и КИК
- АП



## Способы снижения влияния среды ОКП:

1. Использование моделей ПЭС ионосферы;
2. Увеличение числа рабочих частот СРНС;
3. Применение *функциональных дополнений* к СРНС.

## **Функциональные дополнения к СРНС –**

аппаратные и программные средства, повышающие *точность, доступность, целостность и непрерывность* навигационных определений до уровня *требуемых навигационных характеристик*

***Функциональные дополнения используют:***

***дифференциальный режим работы***

(обычный и режим относительной навигации)

***дополнительные спутники***

(геостационарные и наземные псевдоспутники)

***наземные станции контроля целостности***

# Классификация функциональных дополнений СРНС:

*бортового базирования*  
(по классификации ИКАО - ABAS)

*наземного базирования* (GBAS)

*космического базирования* (SBAS)

# Функциональные дополнения бортового базирования (ABAS)

1. *Автономный контроль целостности (RAIM):*
  - обнаружение отказов НС ( $< 6$  НС);
  - исключение отказавших НС ( $\geq 6$  НС).
2. *Бортовой контроль целостности (AAIM, VAIM):*
  - комплексирование с бортовыми навигационными датчиками (высотомер, точные часы, магнитный компас, ИНС);
    - комплексирование с навигационными системами (GPS+ГЛОНАСС, GPS+Galileo+ГЛОНАСС).

## Функциональные дополнения наземного базирования (GBAS)

- морские;
- авиационные;
- геодезические;
- специальные дифференциальные подсистемы локального и регионального радиуса действия.

# Функциональные дополнения космического базирования (SBAS)



# WAAS

Wide Area Augmentation System

GPS Satellites

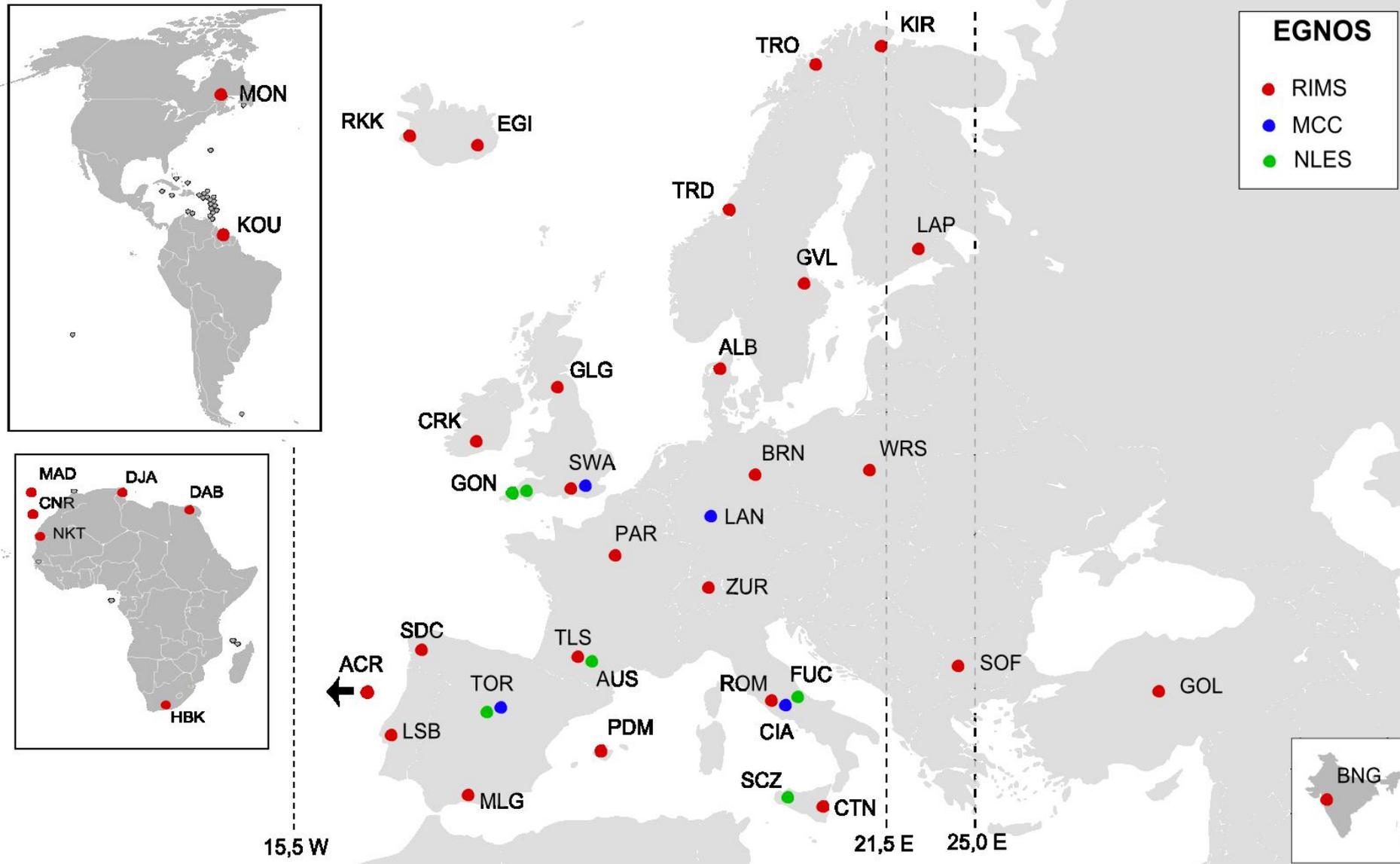


- Wide-area Reference Station (WRS)
- International WRS's
- Wide-area Master Station (WMS)
- Ground Uplink Station

GEO Satellite

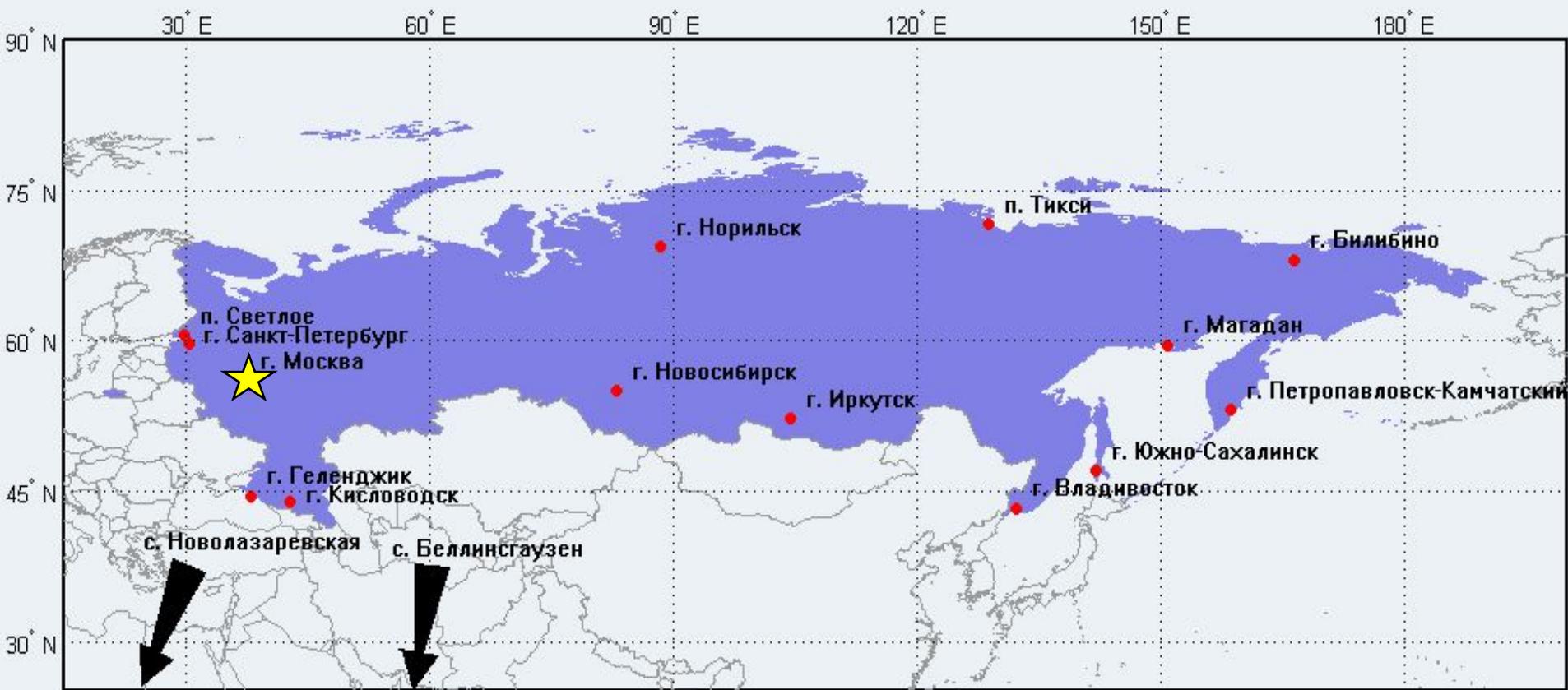
GEO Satellite

# Наземный сегмент системы EGNOS



RIMS - станции измерения дальности и мониторинга целостности;  
MCC – центры формирования поправок; NLES - станции закладки информации.

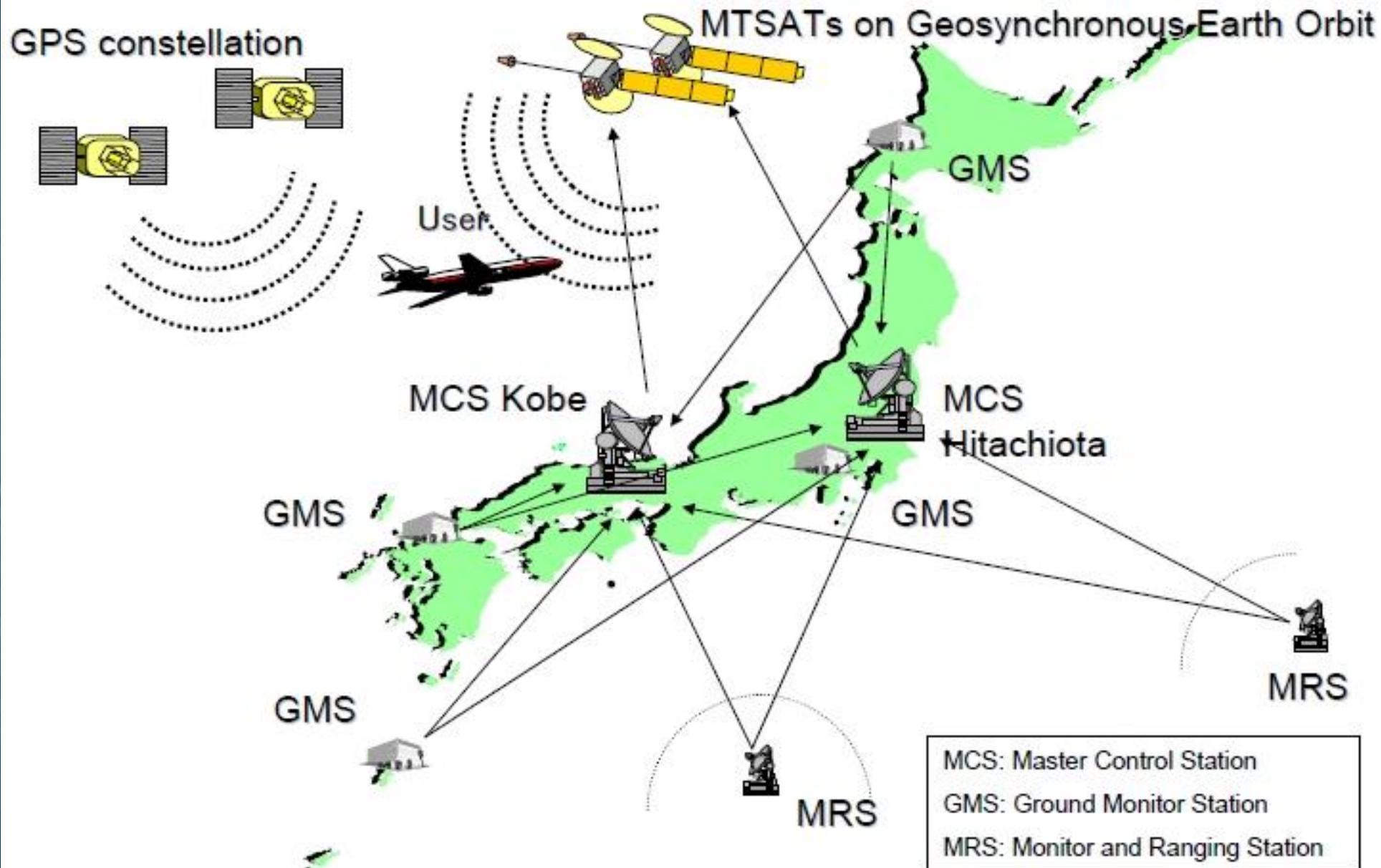
# Система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ)



• - станции сбора измерений;

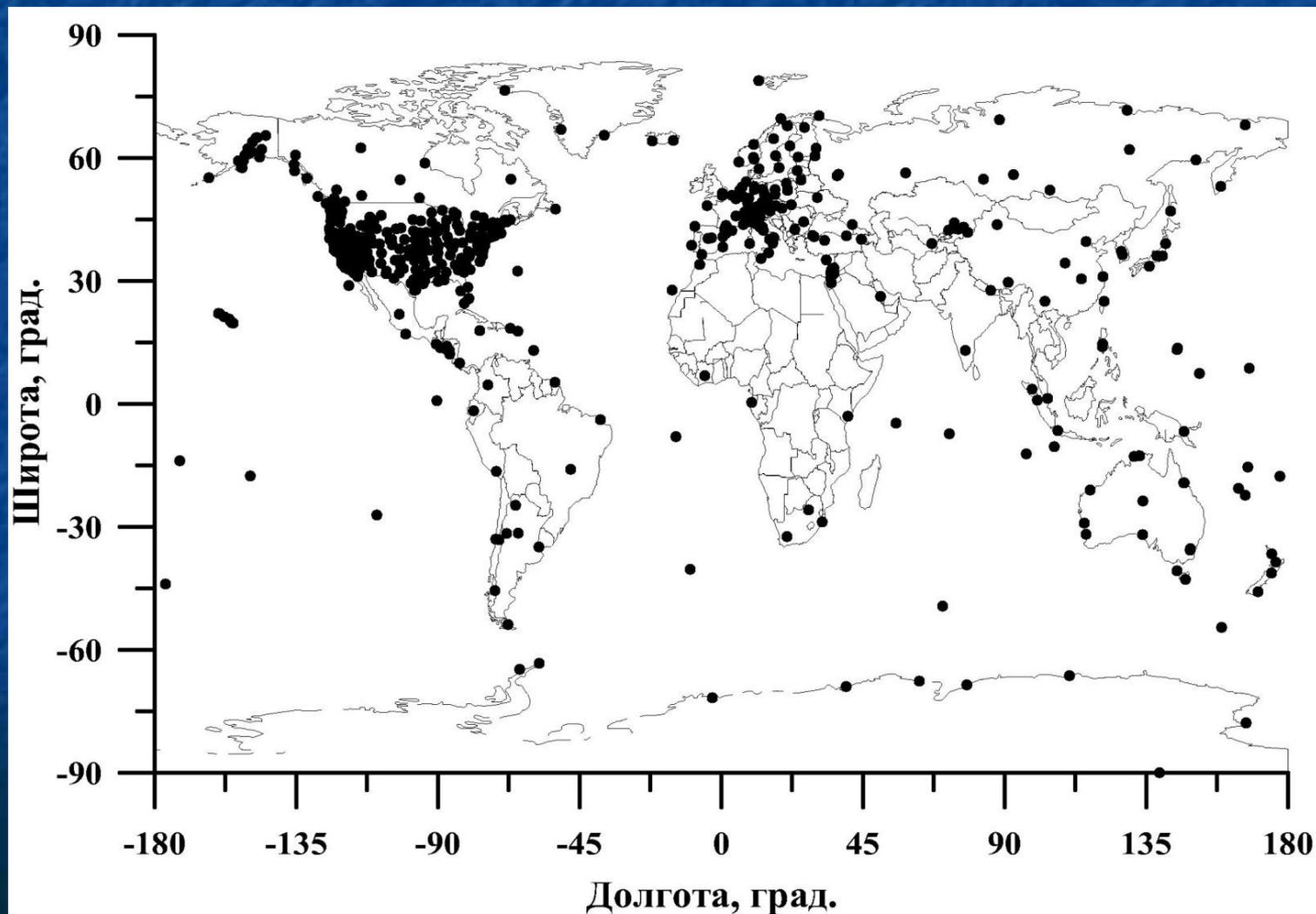
★ - центр дифференциальной коррекции и мониторинга

# Наземный сегмент системы MSAS



# Модернизация региональных и глобальных функциональных дополнений

1. Использование готовой инфраструктуры всемирной сети станций ионосферной и геодезической службы



# Модернизация региональных и глобальных функциональных дополнений

2. Интерполяция погрешностей позиционирования на неравномерной сети сплайн-функцией специального вида

$$\begin{pmatrix}
 0 & \rho_{12} & \dots & \rho_{1N} & 1 & \lambda_1 & \varphi_1 \\
 \rho_{21} & 0 & \dots & \rho_{2N} & 1 & \lambda_2 & \varphi_2 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \rho_{N1} & \rho_{N2} & \dots & 0 & 1 & \lambda_N & \varphi_N \\
 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 \lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_N & 0 & 0 & 0 \\
 \varphi_1 & \varphi_2 & \dots & \varphi_N & 0 & 0 & 0
 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}
 \mathbf{c}_1 \\
 \mathbf{c}_2 \\
 \dots \\
 \mathbf{c}_N \\
 \mathbf{c}_{N+1} \\
 \mathbf{c}_{N+2} \\
 \mathbf{c}_{N+3}
 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix}
 \mathbf{f}_1 \\
 \mathbf{f}_2 \\
 \dots \\
 \mathbf{f}_N \\
 0 \\
 0 \\
 0
 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\rho_{ij} = \left[ (\lambda_j - \lambda_i)^2 + (\varphi_j - \varphi_i)^2 \right] \ln \left[ (\lambda_j - \lambda_i)^2 + (\varphi_j - \varphi_i)^2 \right] \quad (2)$$

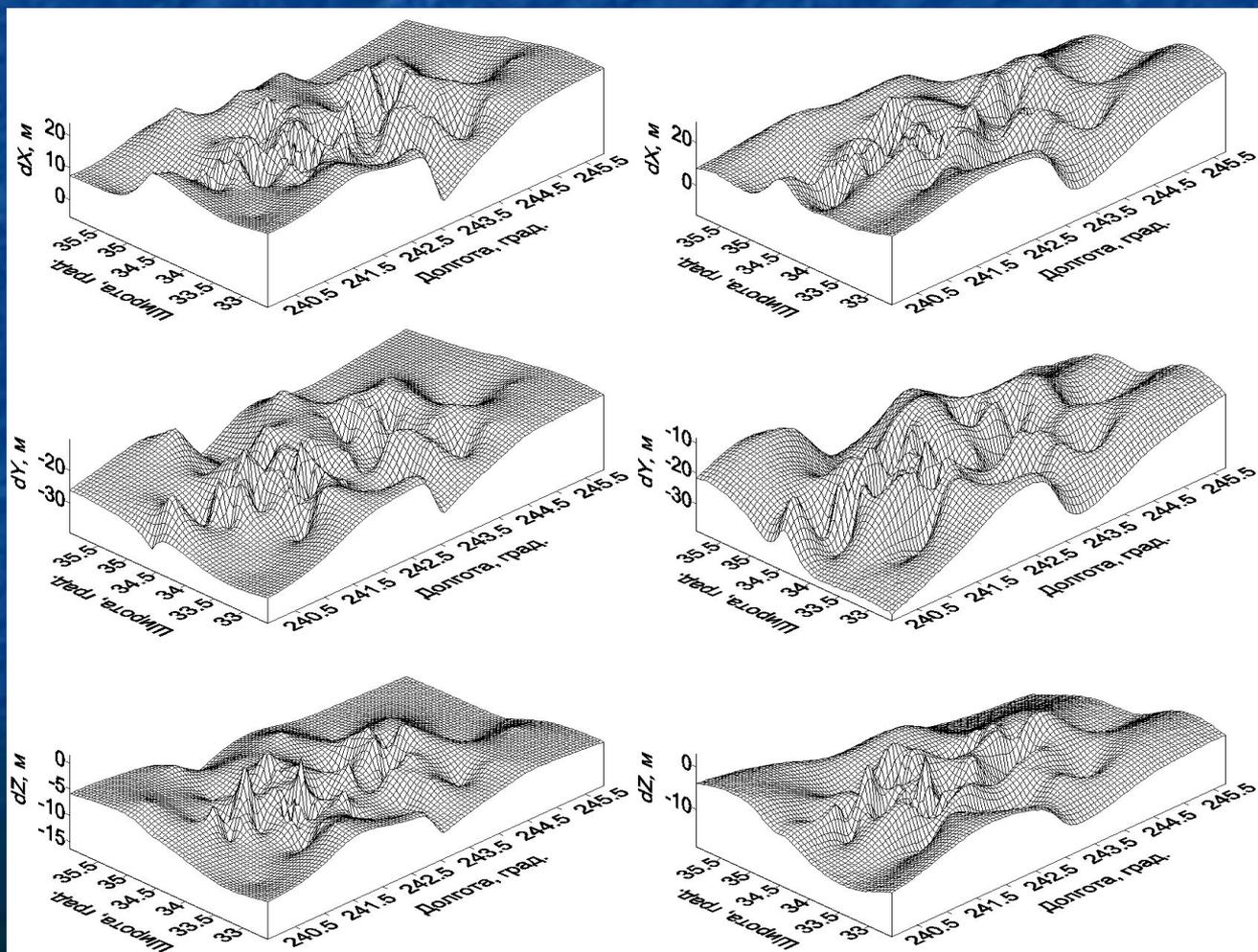
$$\mathbf{S}_j(\varphi, \lambda) = \sum_{k=1}^N \mathbf{C}_k \left[ (\lambda - \lambda_k)^2 + (\varphi - \varphi_k)^2 \right] \ln \left[ (\lambda - \lambda_k)^2 + (\varphi - \varphi_k)^2 \right] + \mathbf{C}_{N+1} + \mathbf{C}_{N+2} \lambda + \mathbf{C}_{N+3} \varphi \quad (3)$$

# Модернизация региональных и глобальных функциональных дополнений

## 3. Территориальное распределение погрешности позиционирования

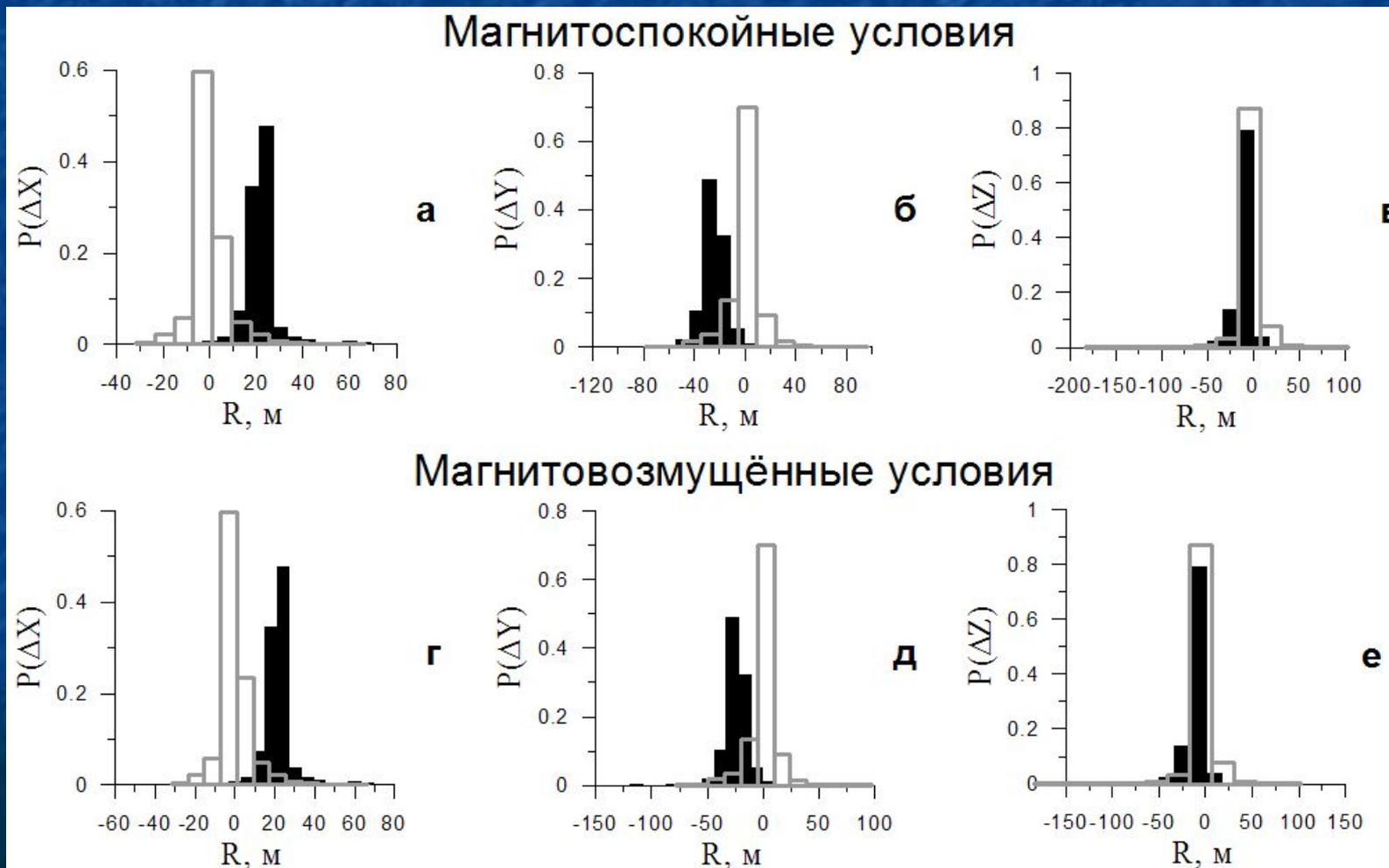
*ИСХОДНОЕ*

*ВОССТАНОВЛЕННОЕ*



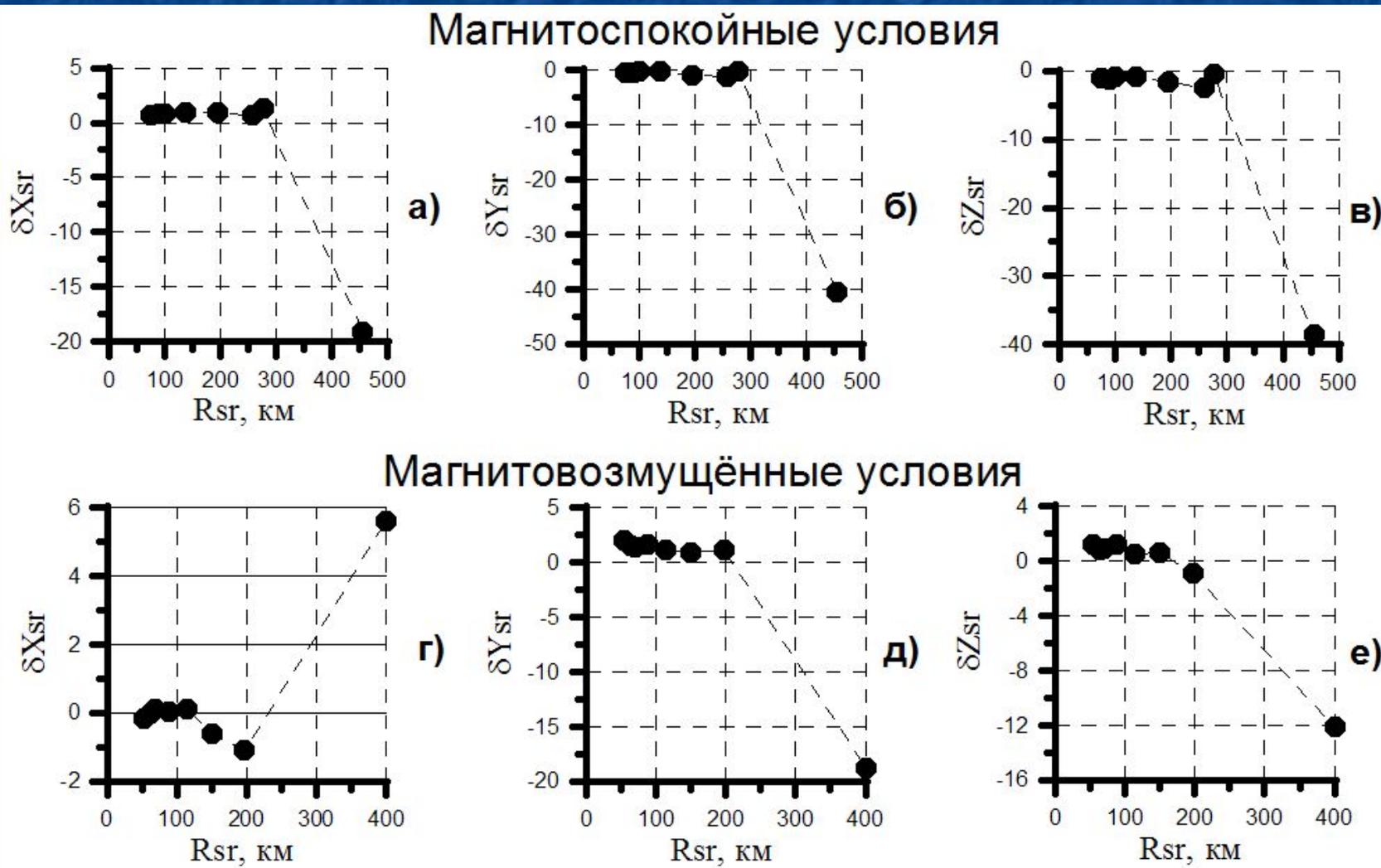
# Модернизация региональных и глобальных функциональных дополнений

## 4. Остаточная погрешность позиционирования после коррекции



# Модернизация региональных и глобальных функциональных дополнений

## 5. Зависимость остаточной погрешности от расстояния между опорными станциями



## Выводы:

- Современные функциональные дополнения в большинстве случаев позволяют обеспечить качество навигационных определений на уровне наиболее жестких требуемых навигационных характеристик;
- Предложенный способ модернизации региональных и глобальных функциональных дополнений обеспечивает компенсацию исходной погрешности позиционирования потребителей СРНС от 65% до 97% как в спокойных, так и в магнитовозмущённых условиях;
- Показана принципиальная возможность использования готовой инфраструктуры наземных пунктов ионосферной службы для модернизации существующих региональных и глобальных функциональных дополнений и создания новых.

# Результаты работы:

- Защищены кандидатские диссертации по специальностям 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения» и 20.02.14 – «Вооружение и военная техника. Комплексы и системы военного назначения»;
- Получены патенты РФ на полезную модель и на изобретение;
- Разработано специализированное программно-алгоритмическое обеспечение восстановления и коррекции погрешностей позиционирования.



Спасибо за внимание!

