

# **Глобальные навигационные спутниковые системы, основные принципы, группировки, применения**

Желтоногов И.В.  
к.т.н., Заместитель генерального  
директора ООО «Гейзер-Телеком»



# Рассматриваемые вопросы

1. Цели и задачи глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС)
2. Регулирование частот для ГНСС
3. Принципы работы ГНСС
4. Типовой состав ГНСС
5. Характеристики ГНСС
6. Применения ГНСС
7. Международное сотрудничество в области ГНСС





# Цели и задачи глобальных навигационных спутниковых систем

**Цель :** Предоставление гарантированных качественных координатно-временных и навигационных услуг различным потребителям, расположенным на поверхности Земли или в околоземном пространстве

## **Основные задачи:**

- ✓ Передача эфемеридной информации о местоположении навигационных спутников в определенный момент времени;
- ✓ Передача временной информации высокой точности с привязкой к сигналам UTC;
- ✓ Передача информации о целостности и достоверности передаваемой эфемеридно-временной информации.





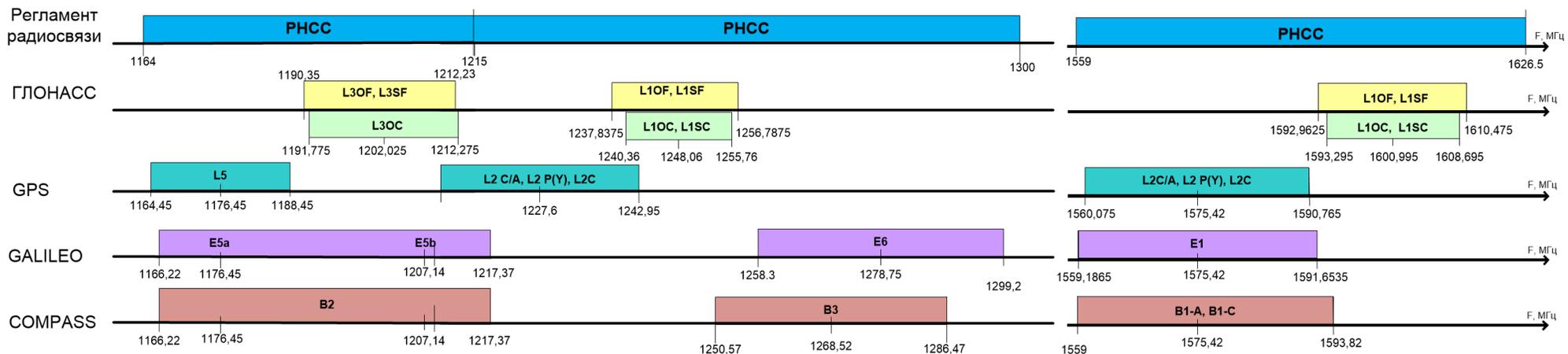
# Регулирование частот для глобальных навигационных спутниковых систем



Глобальные радионавигационные спутниковые службы работают в рамках радионавигационной спутниковой службы

**1.43 PP** Радионавигационная спутниковая служба - спутниковая служба радиоопределения, используемая для целей радионавигации

**4.10 PP** Государства-Члены признают, что аспекты безопасности радионавигационной службы и других служб безопасности требуют специальных мер по обеспечению ограждения их от вредных помех; необходимо, таким образом, учитывать этот фактор при присвоении и использовании частот.





# Глобальные навигационные системы в документах МСЭ- R (1/2)

## Рекомендации МСЭ-R для систем РНСС

**МСЭ-R М.1901** - Руководство по Рекомендациям МСЭ-R, касающимся систем и сетей радионавигационной спутниковой службы, работающих в полосах частот 1164-1215 МГц, 1215-1300 МГц, 1559-1610 МГц, 5000-5010 МГц и 5010-5030 МГц

**МСЭ-R М.1787** - Описание систем и сетей радионавигационной спутниковой службы (космос-Земля и космос-космос) и технические характеристики передающих космических станций, работающих в полосах частот 1164-1215 МГц, 1215-1300 МГц и 1559-1610 МГц

**МСЭ-R М.1902** - Характеристики и критерии защиты приемных земных станций радионавигационной спутниковой службы (космос-Земля), работающих в полосе частот 1215-1300 МГц

**МСЭ-R М.1903** - Характеристики и критерии защиты приемных земных станций радионавигационной спутниковой службы (космос-Земля) и приемников воздушной радионавигационной службы, работающих в полосе частот 1559-1610 МГц

**МСЭ-R М.1904** - Характеристики, требования к показателям качества и критерии защиты приемных станций радионавигационной спутниковой службы (космос-космос), работающих в полосах частот 1164-1215 МГц, 1215-1300 МГц и 1559-1610 МГц

**МСЭ-R М.1905** - Характеристики и критерии защиты для приемных земных станций в радионавигационной спутниковой службе (космос-Земля), работающих в полосе частот 1164-1215 МГц





# Глобальные навигационные системы в документах МСЭ- R (2/2)

## Рекомендации МСЭ-R для систем РНСС

**МСЭ-R М.1906** – Характеристики и защитные критерии приемных космических станций и характеристики передающих земных станций в радионавигационной спутниковой службе (Земля-космос), работающих в полосе частот 5000–5010 МГц

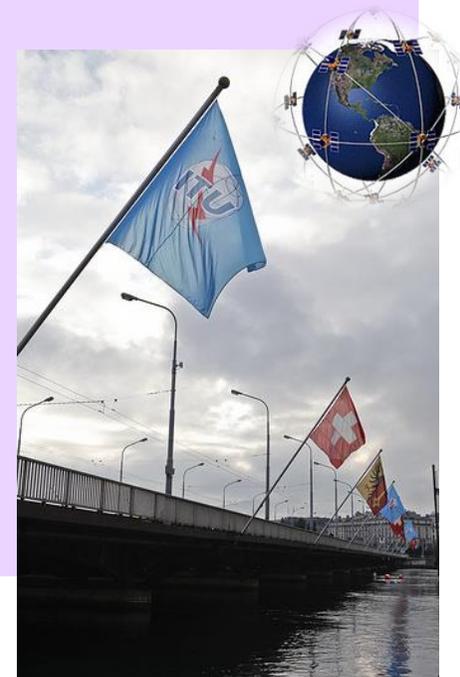
**МСЭ-R М.2031** - Характеристики и критерии защиты приемных земных станций и характеристики передающих космических станций радионавигационной спутниковой службы (космос-Земля), работающих в полосе 5010–5030 МГц

**МСЭ-R М.1639-1** - Критерии защиты для воздушной радионавигационной службы в отношении суммарных излучений от космических станций в радионавигационной спутниковой службе в полосе частот 1164–1215 МГц

**МСЭ-R М.1642-2** - Методика оценки максимальной суммарной эквивалентной плотности потока мощности на станции воздушной радионавигационной службы от всех систем радионавигационной спутниковой службы, работающих в полосе частот 1164–1215 МГц

**МСЭ-R М.1831** - Методика координации для оценки межсистемных помех в РНСС

**МСЭ-R М.2030** - Метод оценки для импульсных помех от соответствующих радиоисточников, отличных от систем и сетей радионавигационной спутниковой службы, работающих в полосах частот 1164-1215 МГц, 1215-1300 МГц и 1559-1610 МГц





# Принцип работы навигационных спутниковых систем

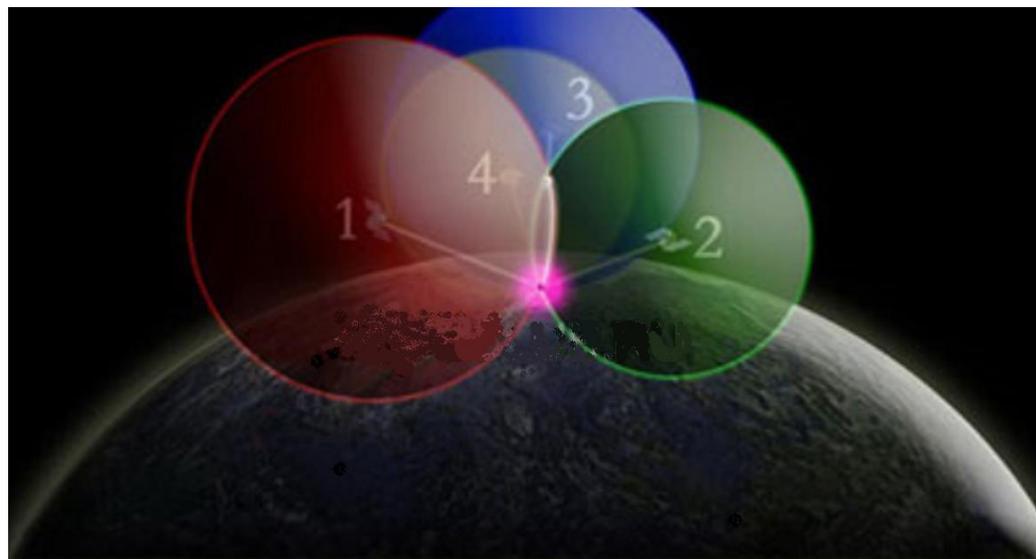
## Входные данные:

- координаты спутника (определяются исходя из эфемеридной информации);
- расстояние от спутника до Земли,
- эталонное время.



## Определяется:

- время распространения радиосигнала,
- расстояние от потребителя до минимум 4-х спутников,
- местоположение потребителя.





# Типовой состав глобальных навигационных спутниковых систем

## Глобальная навигационная спутниковая система

### Космический комплекс

Орбитальная группировка

Ракетно-космический комплекс

Наземный комплекс управления и контроля

Система апостериорного высокоточного определения эфемерид и временных поправок

Аппаратура потребителей навигационной и временной информации

Средства фундаментального обеспечения

Средства определения и прогнозирования вращения Земли

Средства формирования шкалы времени

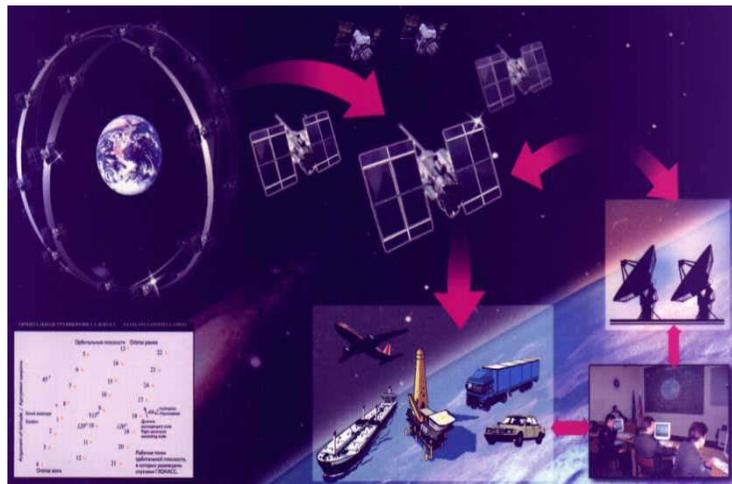
Средства уточнения астрономических и геодезических параметров

Функциональные дополнения

Широкозонная дифференциальная система коррекции и мониторинга

Региональные дифференциальные системы

Локальные дифференциальные системы





# Действующие глобальные и региональные навигационные спутниковые системы и их функциональные дополнения

## Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС)

- |             |                        |                 |
|-------------|------------------------|-----------------|
| ➤ GLONASS   | (Российская Федерация) | 24+КА (ГНСС)    |
| ➤ GPS       | (США)                  | 30-36 КА (ГНСС) |
| ➤ GALILEO   | (ЕС)                   | 26 КА (ГНСС)    |
| ➤ COMPASS-M | (Китай)                | 27 КА (ГНСС)    |

## Региональные навигационные спутниковые системы (РНСС)

- |                |          |              |
|----------------|----------|--------------|
| ➤ IRNSS        | (Индия)  | 7 КА (ГНСС)  |
| ➤ QZSS         | (Япония) | 3 КА (ГНСС)  |
| ➤ COMPASS-I, G | (Китай)  | 10 КА (ГНСС) |

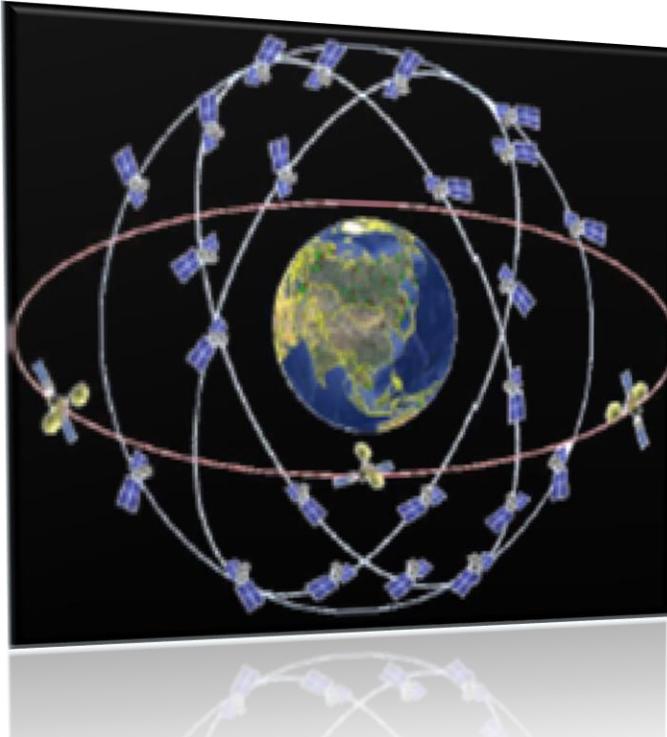
## Функциональные дополнения

- |         |                        |         |          |
|---------|------------------------|---------|----------|
| ➤ СДКМ  | (Российская Федерация) | ➤ MSAS  | (Япония) |
| ➤ WAAS  | (США)                  | ➤ GAGAN | (Индия)  |
| ➤ EGNOS | (ЕС)                   |         |          |

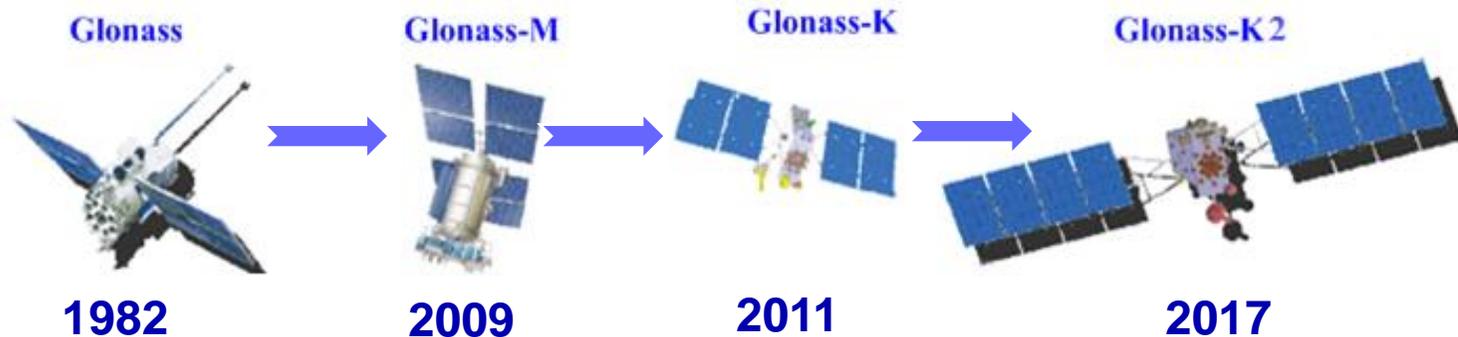


# Система ГЛОНАСС (1/3)

## Основные характеристики



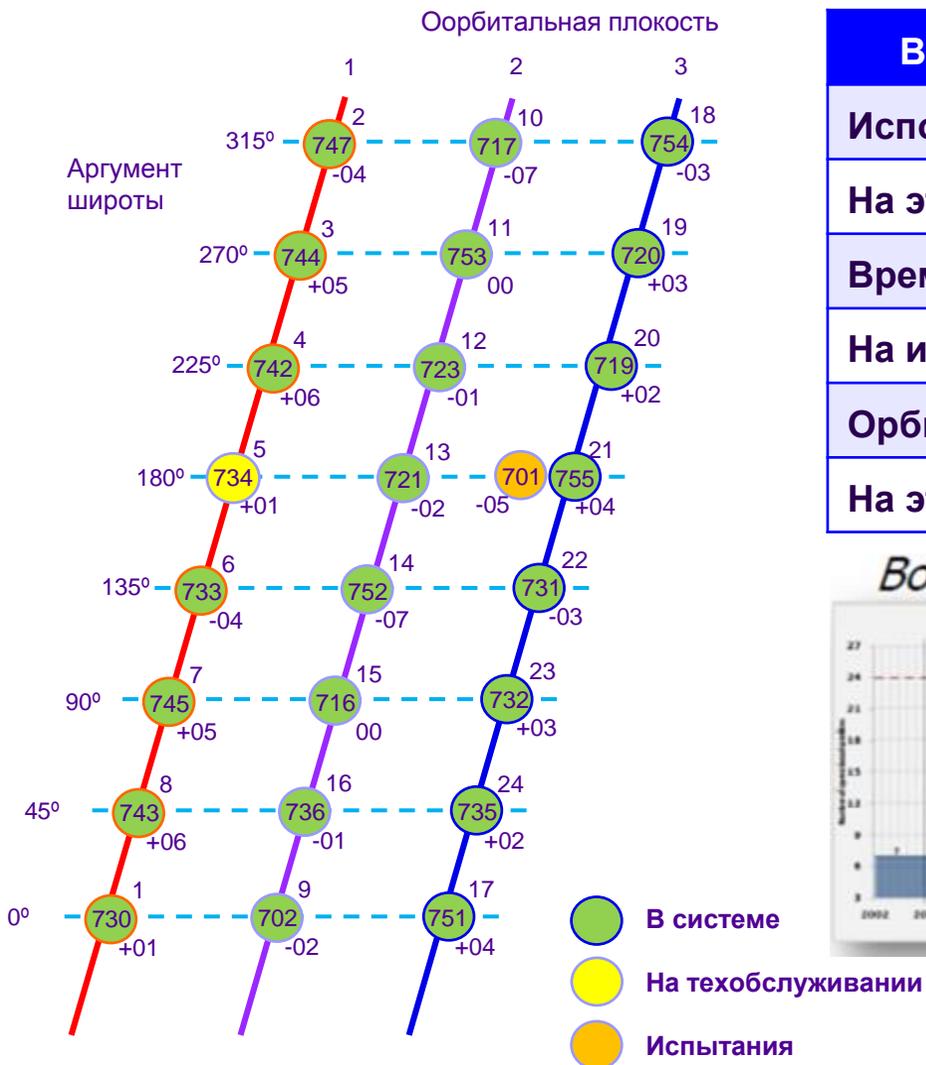
Основные характеристик	
Количество спутников	24 и более
Количество плоскостей	3
Количество спутников в плоскости	8
Высота орбиты	19100 км
Наклонение	64 град.
Период обращения	11 час 15 мин
Используемые диапазоны частот	L1, L2, L3





# Система ГЛОНАСС (2/3)

## Текущее состояние



**Всего в составе ОГ ГЛОНАСС на 04.05.2018**

**25 КА**

**Используются по целевому назначению**

**23 КА**

**На этапе ввода в систему**

-

**Временно выведены на техобслуживание**

**1 КА**

**На исследовании Главного конструктора**

-

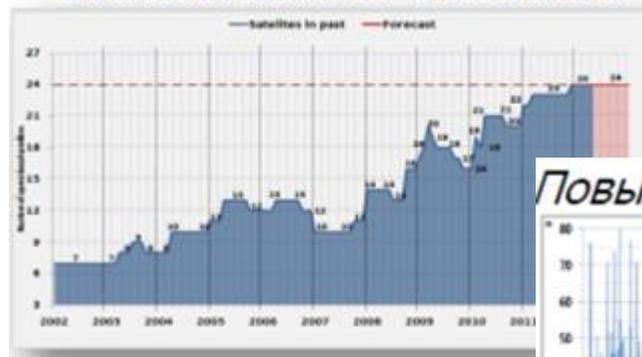
**Орбитальный резерв**

-

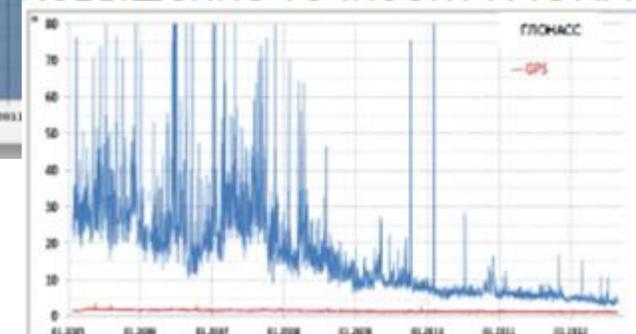
**На этапе летных испытаний**

**1 КА**

*Восполнение ОГ ГЛОНАСС*



*Повышение точности ГЛОНАСС*





# Система ГЛОНАСС (3/3)

## Развитие системы \*

1982

2009

2011

2017...

Glonass



- Гарантированный САС - 3 года
- Нестабильность БСУ -  $5 \cdot 10^{-13}$
- Сигналы: L1SF, L2SF, L1OF (FDMA)
- Всего запущено 81 КА
- Реальный САС - 4.5 года

Glonass-M



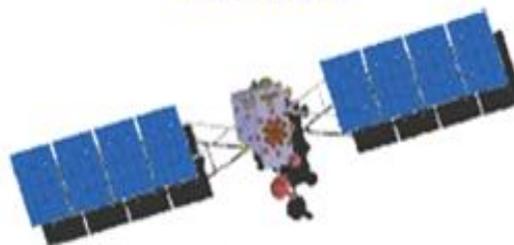
- Гарантированный САС - 7 лет
- Нестабильность БСУ -  $1 \cdot 10^{-13}$
- Сигналы: «Глонасс» + L2OF (FDMA)
- Всего запущено 28 КА планируется запустить ~15 КА к концу 2014 г.

Glonass-K

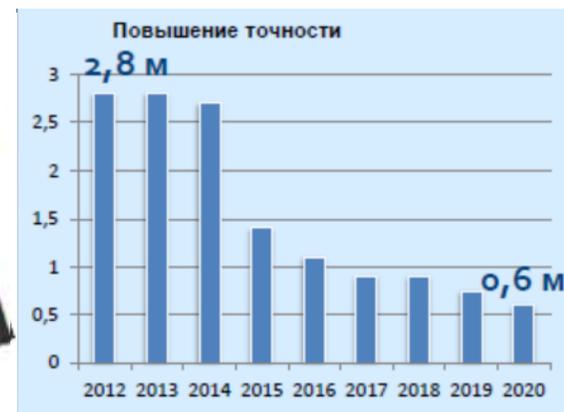


- Гарантированный САС - 10 лет
- Негерметичный корпус
- Ожидаемая нестабильность БСУ -  $\sim 10 \dots 5 \cdot 10^{-14}$
- Сигналы: «Глонасс-М» + L3OC (CDMA) – тест
- Сигналы системы поиска и спасания

Glonass-K2



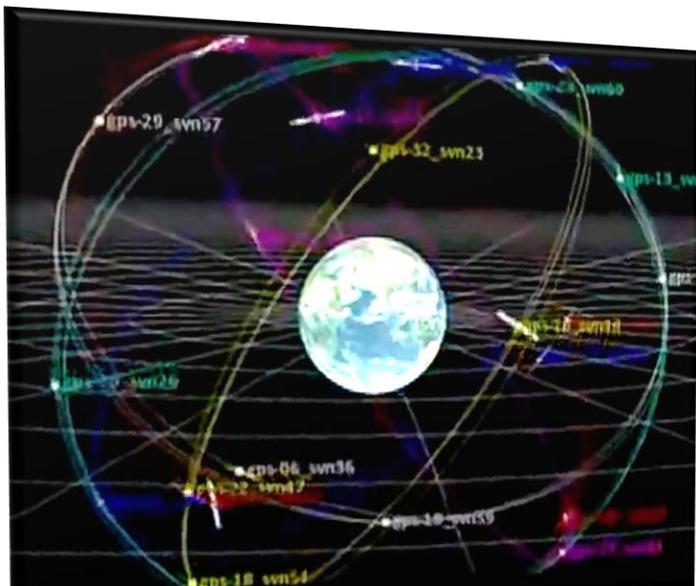
- Гарантированный САС - 10 лет
- Негерметичный корпус
- Ожидаемая нестабильность БСУ -  $\sim 5 \dots 1 \cdot 10^{-14}$
- Сигналы: «Глонасс-М» + L1OC, L3OC, L1SC, L2SC (CDMA)
- Сигналы системы поиска и спасания



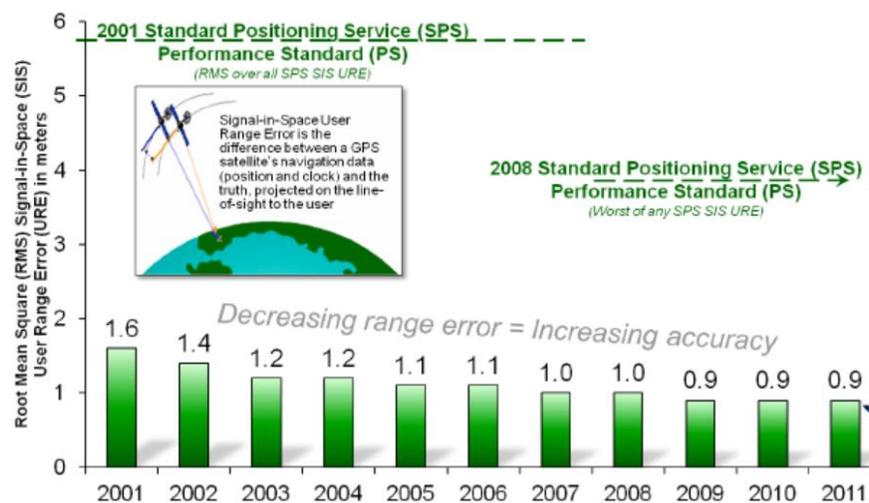
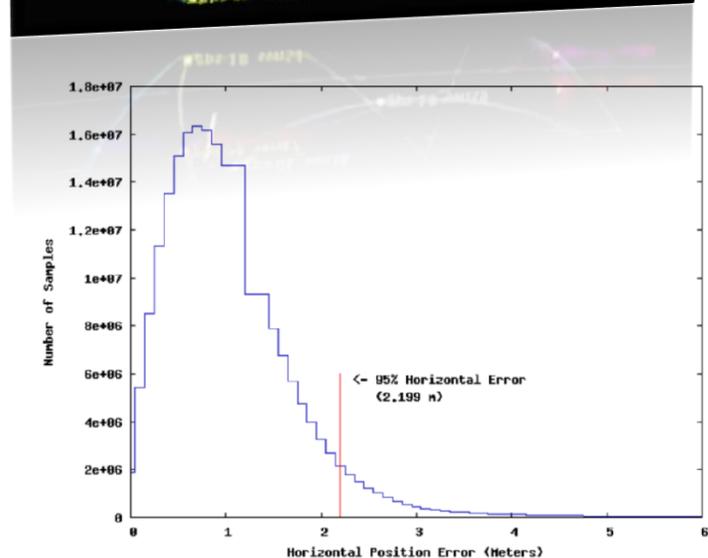


# Система GPS (1/3)

## Основные характеристики



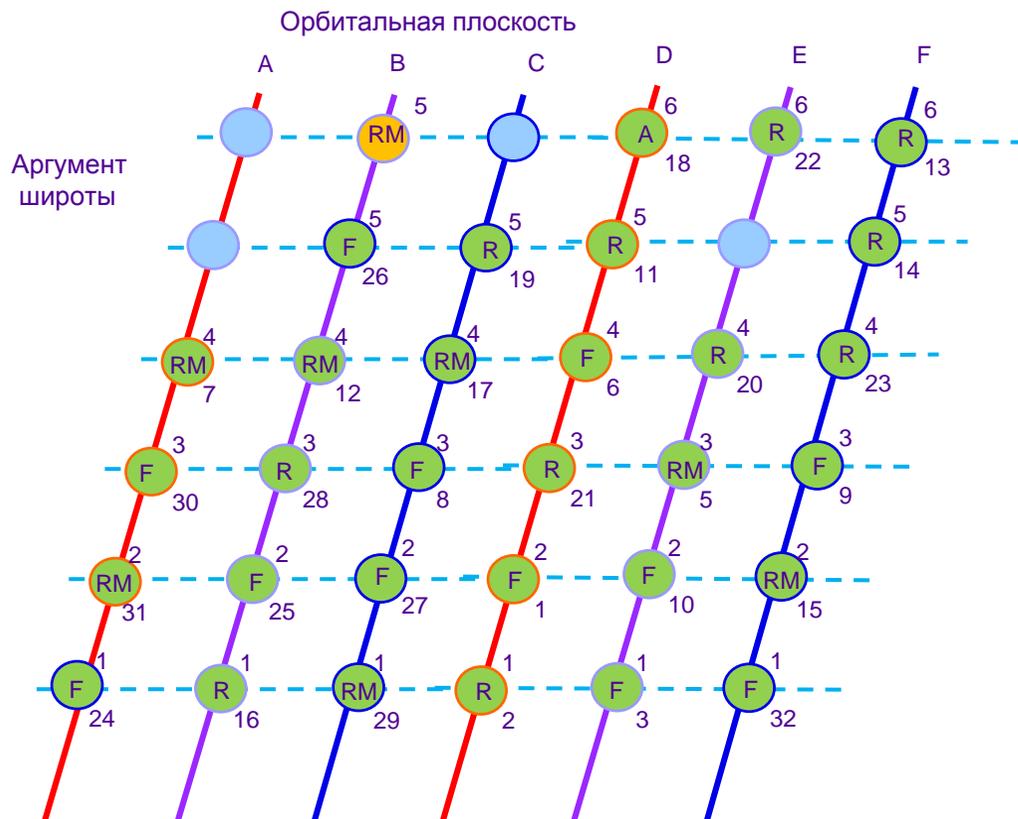
Основные характеристик	
Количество спутников	30 - 36
Количество плоскостей	6
Количество спутников в плоскости	5...6
Высота орбиты	20181.6 км
Наклонение	55 град.
Период обращения	11 час 58 мин
Используемые диапазоны частот	L1, L2, L5





# Система GPS (2/3)

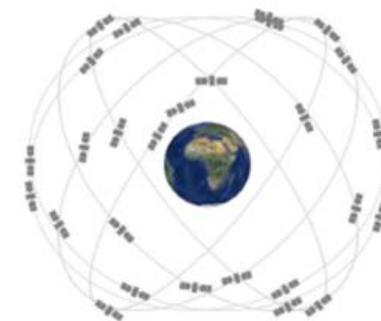
## Текущее состояние



- В системе
- Испытания
- Свободно

Всего в составе ОГ GPS на 12.09.2014		32 КА
Используются по целевому назначению		31 КА
На этапе ввода в систему		-
Временно выведены на техобслуживание		1 КА
На этапе вывода из системы		-
Орбитальный резерв		-
На этапе летных испытаний		-

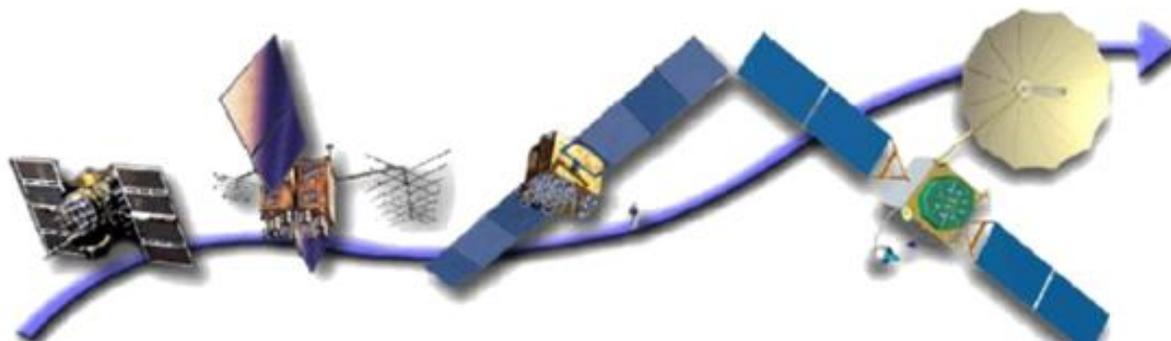
<b>Block II-A</b>	<b>1 КА</b>
<b>Block II-R</b>	<b>11 КА</b>
<b>Block II-RM</b>	<b>8 КА</b>
<b>Block II-F</b>	<b>12 КА</b>





# Система GPS (3/3)

## Развитие системы \*



### Блок II/IIR

Базовый GPS

- Стандартная точность
  - Частота сигнала (L1)
  - (C/A - код)
- Высокая точность
  - Y-код (L1Y & L2Y)
  - навигационный Y-код

### Блок IIR-M, IIF

**IIR-M:** Возможности базовой GPS плюс

- **Второй гражданский сигнал (L2C)**
- **M-код (L1M & L2M)**

**IIF:** Возможности IIR-M плюс

- **Третий гражданский сигнал (L5)**
- 2 Рубид. + 1 Цезиев (часы)
- Срок службы 12 лет

### Блок III

- Обратная совместимость
- **Четвертый гражданский сигнал (L1C)**
- Четырехкратное улучшение погрешности определения дальности по сравнению с IIF
- Улучшена доступность
- Улучшена целостность
- Срок службы 15 лет

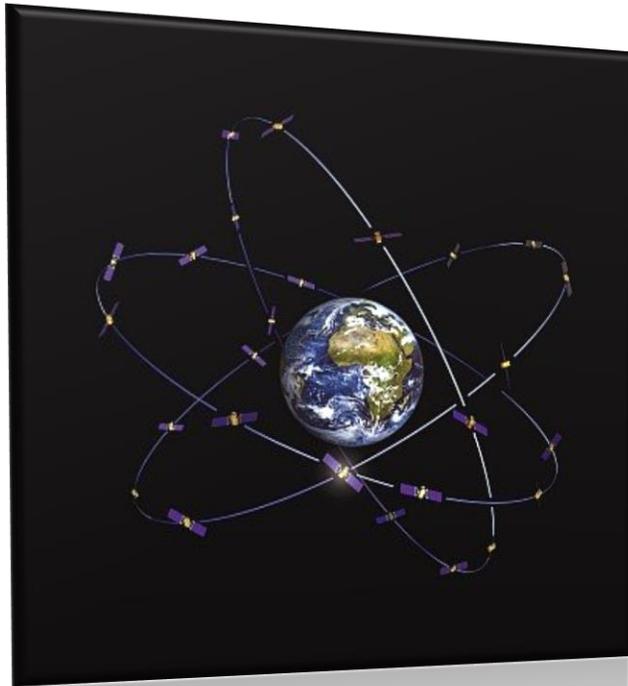
Сигнал	Преимущества	Доступно	Будет доступен на 24 КА
L2C	Удовлетворяет коммерческим потребностям для ионосферной коррекции, выше эффективная мощность, и т.д.	на 10 КА	~2018
L5	Удовлетворяет требованиям обеспечения безопасности жизни; Возможность применения технологии трехчастотного позиционирования	на 3 КА	~2021
L1C	Взаимодополняемость ГНСС; Улучшение показателей качества в сложных условиях	первый КА в 2015 году	~2026

\*) по документам 12-го собрания Международного комитета по Глобальным Навигационным Спутниковым Системам, декабрь 2017 г., г. Киото (Япония)

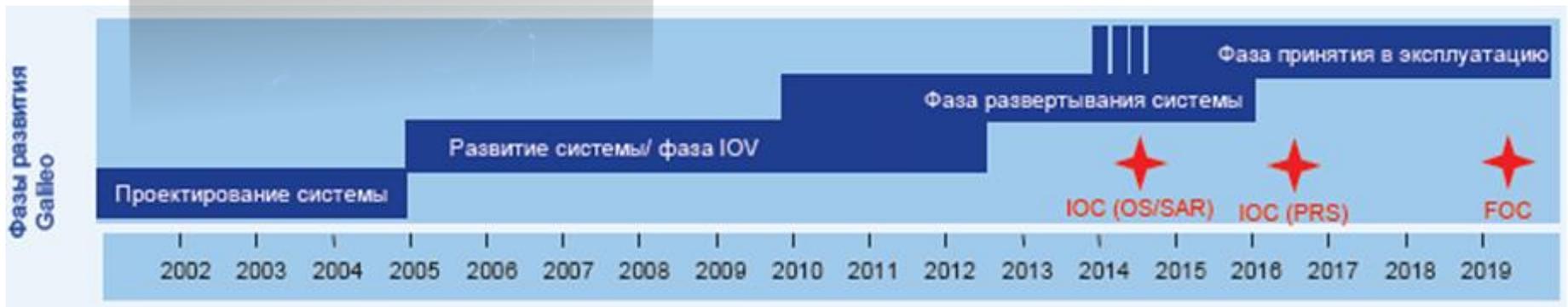


# Система GALILEO (1/2)

## Основные характеристики



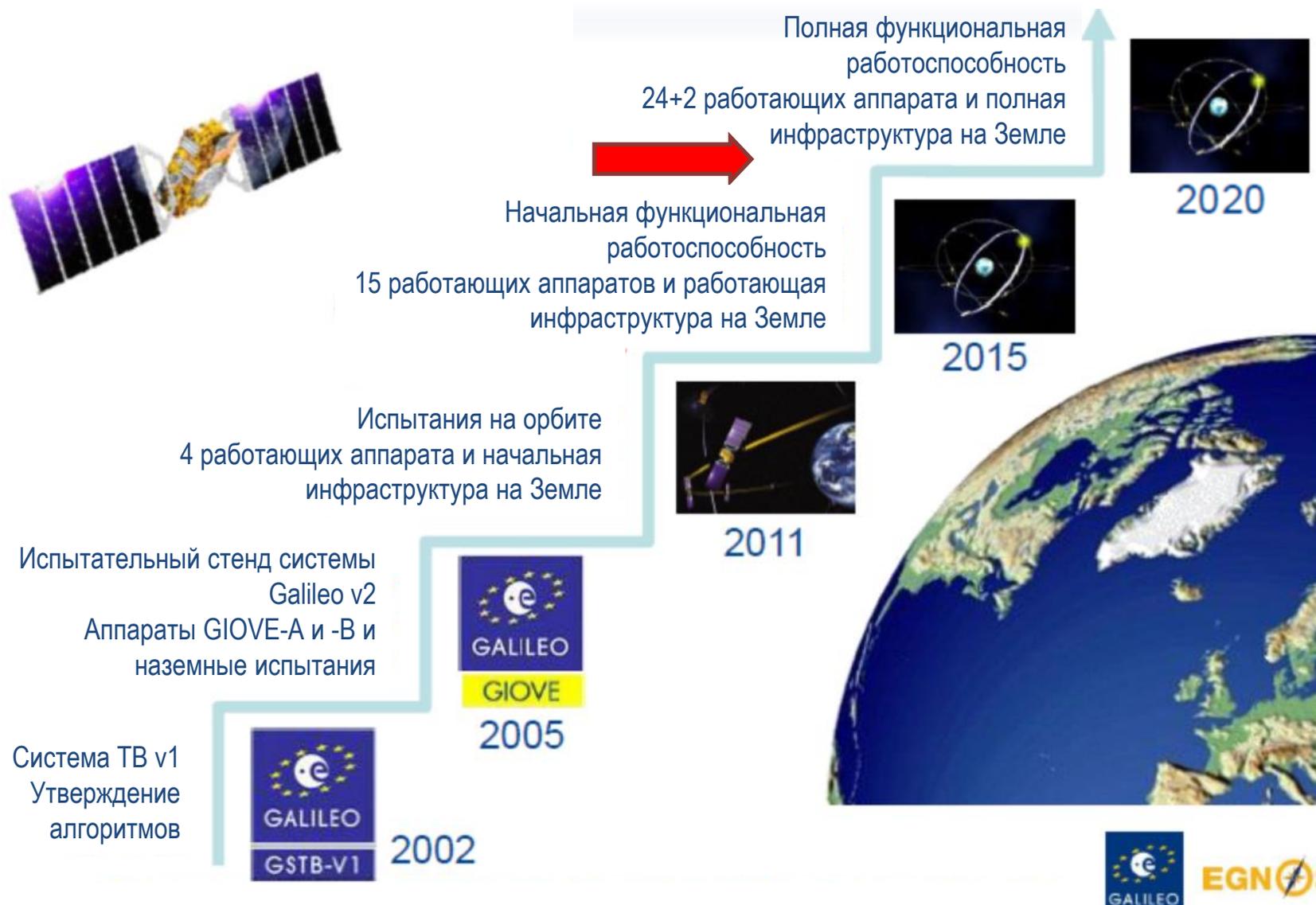
Основные характеристик	
Количество спутников	30
Количество плоскостей	3
Количество спутников в плоскости	10
Высота орбиты	23222 км
Наклонение	56 град.
Период обращения	14 час 4 мин
Используемые диапазоны частот	L1, E5, E6





# Система GALILEO (2/2)

## Развитие системы\*



\*) по документам 12-го собрания Международного комитета по Глобальным Навигационным Спутниковым Системам, декабрь 2017 г., г. Киото (Япония)

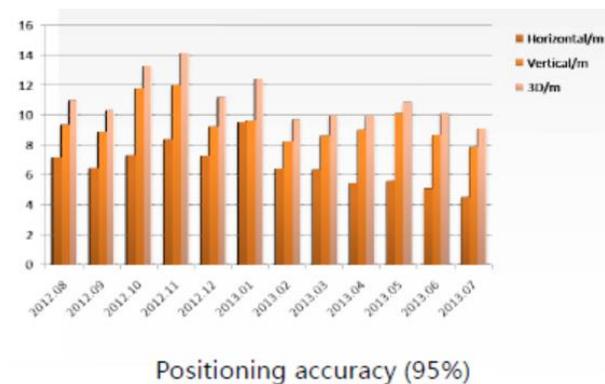
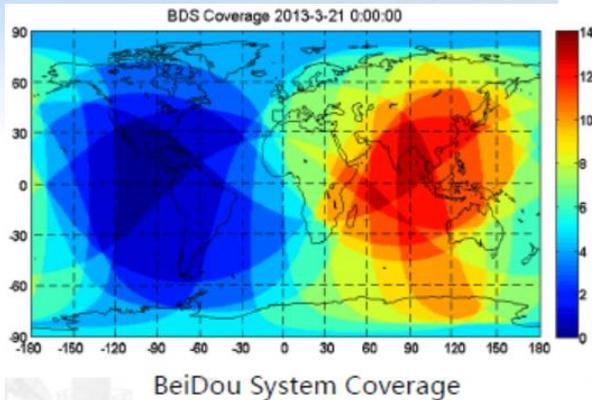


# Система BeiDou (1/2)

## Основные характеристики



Основные характеристик	
Количество спутников	27 MEO + 5 GSO, 3 IGSO
Количество плоскостей	3
Количество спутников в плоскости	9
Высота орбиты	21528 км
Наклонение	55 град.
Период обращения	12 час 53 мин
Используемые диапазоны частот	B1, B2, B3

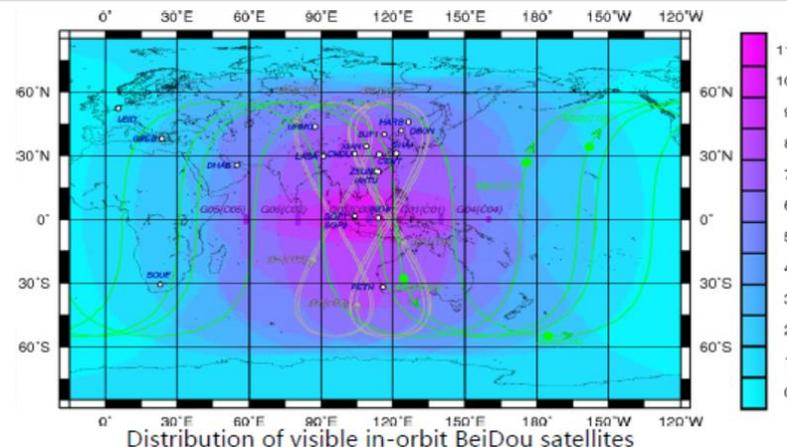




# Система BeiDou (2/2)

## Развитие системы\*

Всего в составе ОГ BeiDou	28 КА
На геостационарной орбите	6 КА
На геосинхронной наклонной орбите (i=55 град.)	8 КА
На средневысотной орбите	14 КА



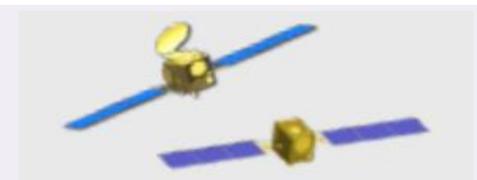
## Планы до 2020 г.

Космический  
сегмент

Наземный сегмент  
управления

Пользовательский  
сегмент

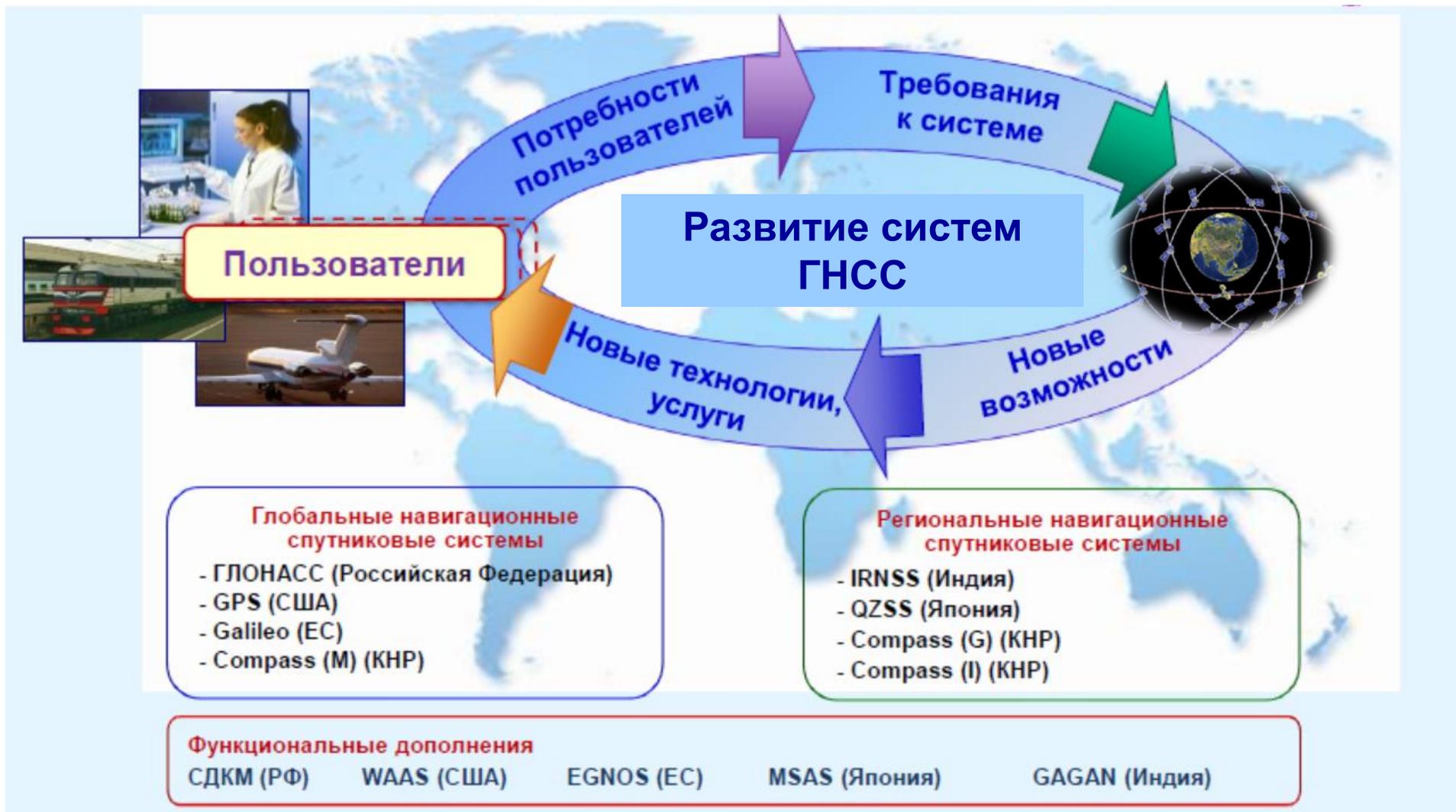
- 3 КА на ГСО
- 27 КА на НГСО (3 КА на IGSO и 24 КА МЕО)
- Глобальное покрытие
- Центр управления и контроля
- Дата центры
- Станции закладки информации
- Станции мониторинга
- Создание и внедрение пользовательских терминалов BeiDou
- Совместимость терминалов BeiDou с системами ГНСС



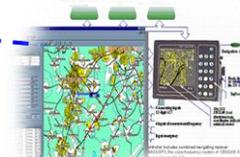
\*) по данным «XII Международного навигационного форума», 24-25 апреля 2018 г., г. Москва (Российская Федерация)



# Взаимосвязь навигационных спутниковых систем с потребителями навигационных услуг



# Применения глобальных навигационных спутниковых систем (1/16)



- Транспорт
- Системы связи и вещания
- Сельское хозяйство
- Строительство
- Землеустройство и кадастр
- Картографирование и геодезия
- Геологоразведка и добыча полезных ископаемых
- Научные исследования, космонавтика
- Логистика и торговля
- Поисково-спасательные операции
- Энергетика
- Лесное хозяйство
- Рыболовство
- Здоровоохранение и др.





# Применения ГНСС (2/16)

## Спутниковая навигация в авиации



- **Авиационные системы навигации:**
  - на маршруте,
  - при заходе на посадку,
  - при посадке
- **Системы зависимого наблюдения и предотвращения столкновения**

- **Системы управления воздушным движением**
- **Системы поиска и спасания**
- **Системы мониторинга и управления аэродромной спецтехникой**





## Применения ГНСС (3/16)

# Спутниковая навигация на морском/речном транспорте

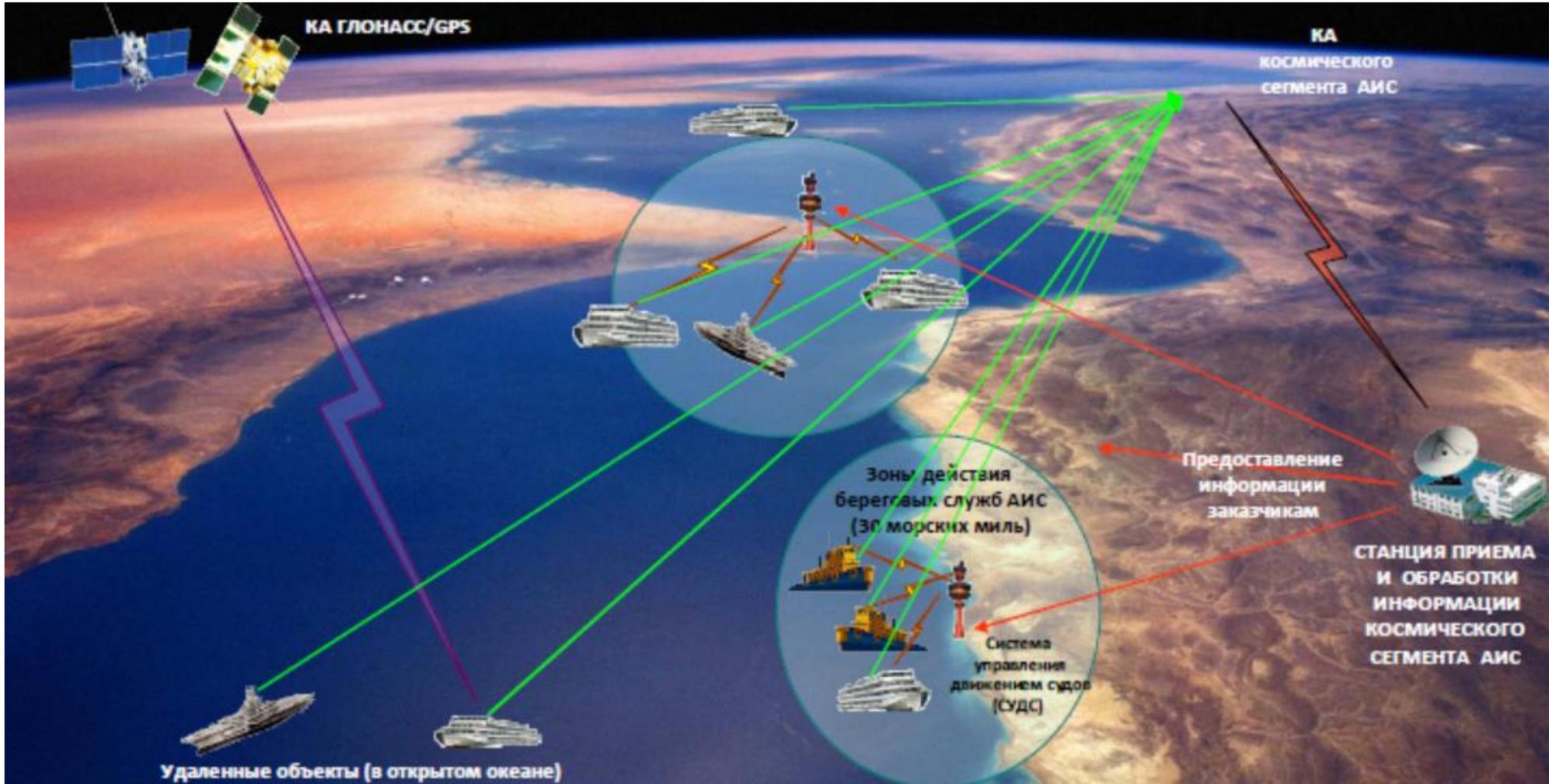
- Бортовые электронно-картографические, навигационно-информационные системы и оборудование
- Береговые системы управления движением судов
- Высокоточные навигационные системы в портах и проливах
- Системы безопасности, поиска и спасания





# Применения ГНСС (4/16)

## Спутниковая навигация в системах поиска и спасения



**Интегрирование существующих систем АИС с глобальными навигационными спутниковыми системами**



# Применения ГНСС (5/16)

## Спутниковая навигация на автотранспорте

### Навигационные услуги для автомобилистов



### Экстренные оперативные службы: МЧС, МВД, Скорая помощь



### Системы платности дорог



### Интеллектуальные транспортные системы городов и трасс



### Системы мониторинга

#### Пассажирский транспорт



#### Коммерческий транспорт



#### Специальный транспорт: ЖКХ, лесное хозяйство, опасные грузы, дорожная техника





# Применения ГНСС (6/16)

## Системы экстренного реагирования на автотранспорте

### Примеры государственных проектов использования ГНСС на автотранспорте

<b>NG 9-1-1</b> США		Координаты мобильных телефонов и других устройств, включая автомобильные навигационно-связные терминалы автоматически определяются с использованием GPS и передаются <b>в дежурно-диспетчерскую службу 911</b> при ручном или автоматическом <b>вызове 911</b>	с 2011 г.
<b>SAMVAR</b> Бразилия		Автомобили оборудуются навигационно-связными терминалами GPS, автоматически передающими информацию <b>при угоне</b> , и дополнительным оборудованием для блокировки двигателя в <b>интересах охранно-поисковых служб и организации мониторинга транспорта</b>	с 2012 г.
<b>ЭРА-ГЛОНАСС</b> Россия		Новые автомобили оснащаются навигационно-связными терминалами ЭРА-ГЛОНАСС, автоматически передающими в случае аварии свои координаты по каналам мобильной связи <b>экстренным оперативным службам (система 112)</b>	с 2013 г.
<b>eCall</b> Европейский союз		Автомобили оборудуются навигационно-связными терминалами GALILEO/GPS, автоматически передающими в <b>случае аварии</b> свои координаты по каналам мобильной связи <b>в дежурно-диспетчерскую службу</b>	с 2014 г.
<b>EDR</b> США		Новые автомобили оснащаются «черными ящиками» (EDR-Event Data Recorder), фиксирующими информацию о ДТП и параметрах работы узлов и агрегатов автомобиля.	с 2015 г.



# Применения ГНСС (7/16)

## Системы мониторинга автотранспорта



Система управления пассажирскими перевозками



Система управления школьными автобусами



Система управления транспортом коммунальных служб



Система управления мобильными нарядами



Система управления бригадами Скорой помощи



Система обеспечения безопасности при перевозке опасных грузов



Система мониторинга сельскохозяйственной техники



Система мониторинга транспорта заготовки и перевозки лесоматериалов

- Сокращение издержек при перевозке грузов на 17-20 %
- Сокращение расходов топлива на 12-30 %.



# Применения ГНСС (8/16) Интеллектуальные транспортные системы





# Применения ГНСС (9/16)

## Спутниковая навигация в добывающей отрасли\*



- Рост объемов перевозок > **12%**
- Снижению потребления топлива на **8%**
- Снижение простоев на **50%**



\*) по данным «Конференции операторов и пользователей сети спутниковой связи и вещания РФ»



# Применения ГНСС (10/16)

## Спутниковая навигация в сельском хозяйстве\*



### Сельское хозяйство с ГНСС:

- увеличение дохода на **10%** ежегодно
- снижение затрат на ГСМ на **52%**
- снижение затрат на рабочую силу на **67%**



\*) по данным «Конференции операторов и пользователей сети спутниковой связи и вещания РФ»



# Применения ГНСС (11/16)

## Землеустройство, кадастр, картографирование, геодезия\*



- ✓ Ускорение сроков выполнения геодезических работ в 2-3 раза
- ✓ Снижение затрат на проведение кадастровых работ в 2 раза

\*) по данным «Конференции операторов и пользователей сети спутниковой связи и вещания РФ»

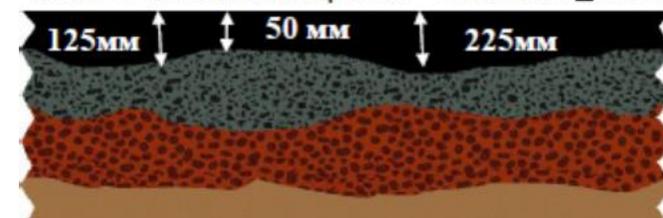


# Применения ГНСС (12/16)

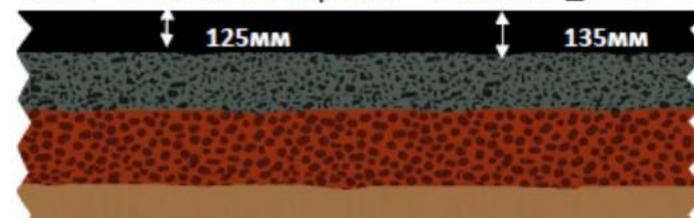
## Инженерные работы и строительство дорог\*



При использовании **стандартного** автогрейдера  
класс точности планировки – обычный  $\pm 50\text{мм}$



При использовании **навигационных технологий**  
класс точности планировки – обычный  $\pm 5\text{мм}$



**Зависимость стоимости затрат от протяженности трассы**

\*) по данным «Конференции операторов и пользователей сети спутниковой связи и вещания РФ»



# Применения ГНСС (13/16)

## Охрана лесов и лесное хозяйство



Определение зон слабой, средней и сильной лесопатологической угрозы



Мониторинг лесонарушений



Наблюдение и контроль за пожарной опасностью в лесах





# Применения ГНСС (14/16) Системы мониторинга зданий и сооружений

**Назначение :** непрерывный контроль смещений и колебаний элементов конструкций мостов, плотин, башен и других сооружений с целью:

- ранней диагностики целостности сооружения;
- оперативного обнаружения потери устойчивости сооружения



## Контролируются:

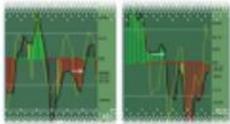
- спектральные характеристики колебаний в диапазоне от 0.1-10 Гц с погрешностью 1 мм;
- смещения по каждой пространственной оси с погрешностью 3-5 мм



# Применения ГНСС (15/16)

## Контроль сейсмической активности и оползней

- Дистанционный мониторинг сейсмической активности и оползневых процессов
- Оперативная передача данных о состоянии сейсмически опасных зон и склонов в диспетчерский центр
- Анализ и обработка поступающих данных
- Оперативное оповещение в случае выявления угроз сейсмоактивности или оползней



Подробный график смещения: замеренные и усредненные значения



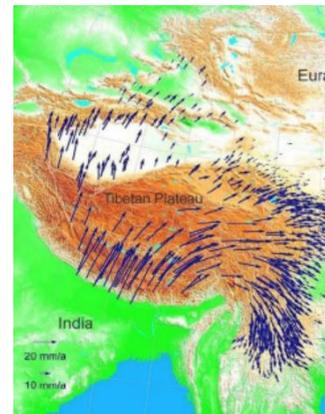
АРМ оперативного дежурного



Векторы смещения на космическом снимке



История тревожных сообщений о превышении допустимого порога смещения





# Применения ГНСС (16/16)

## Системы синхронизации и точного времени

- Синхронизация сетей связи и вещания
- Наведение и слежение спутниковых антенн и радиоастрономических станций;
- Энергетика
- Телекоммуникационные системы и др.



# Международное сотрудничество в области ГНСС

**Международный комитет ООН по ГНСС (ICG)** – международный форум для решения вопросов совместимости, взаимодополняемости, и глобального использования систем ГНСС

**Состав комитета:** более 20 стран и международных организаций



## Заседания комитета:

- 1-е заседание: 2006, Вена (Австрия) 
- 2-е заседание: 2007, Бангалор (Индия) 
- 3-е заседание: 2008, Пасадена (США) 
- 4-е заседание: 2009, Санкт-Петербург (РФ) 
- 5-е заседание: 2010, Турин (Италия) 
- 6-е заседание: 2011, Токио (Япония) 
- 7-е заседание: 2012, Пекин (Китай) 

- 8-е заседание: 2013, Дубай (ОАЭ) 
- 9-е заседание: 2014, Прага (Чехия) 
- 10-е заседание: 2015, Колорадо (США) 
- 11-е заседание: 2016, Сочи (РФ) 
- 12-е заседание: 2017, Киото (Япония) 
- 13-е заседание планируется к проведению в 2018 году в Сиане (Китай)**



# Вопросы?

Спасибо за внимание !

ООО «Гейзер-Телеком»  
Россия, 105118, Москва, ул. Вольная, д. 13  
Тел.:(495) 784-63-77,  
факс:(495) 784-63-29  
[www.geyser-telecom.ru](http://www.geyser-telecom.ru)