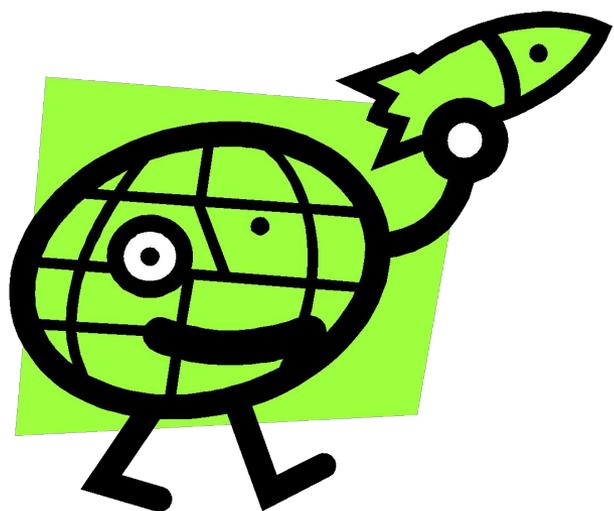


Спутниковые навигационные системы



Первоначально гарантируемая точность определения местоположения у спутниковых навигационных систем составляла **около 100 м.**

После того, как в 2000 г. основной провайдер услуг GPS (Министерство обороны США) отказался от режима селективного доступа, точность определения координат возросла почти на порядок.

Можно отметить следующие этапы и особенности спутниковых навигационных систем (**СНС**):

- **низкоорбитные СНС**
- **среднеорбитные СНС GPS**

Для перечисленных систем **характерно** решение задачи определения координат по величине доплеровского сдвига частоты сигнала, излучаемого ИСЗ.

Для этого приемная аппаратура рассчитывала скорость космического аппарата (**КА**), находящегося на высоте **1000 км**.

Измерять расстояния можно было бы **одновременно** до **двух ИСЗ** или **последовательно во времени** до одного и того же спутника.

На практике измерялась разность расстояний до одного и того же ИСЗ через **20-секундные** интервалы времени.

В состав спутниковой навигационной системы входил наземный комплекс управления (со средствами измерения и передачи на КА данных о его положении на орбите - «эфemerидной информации»).

СНС **Transit («Транзит»)** начала разрабатываться уже **в 1958** году в США.

В 1959 году на орбиту выведен первый навигационный искусственный спутник Земли

В 1964 году вступила в эксплуатацию система для обеспечения навигации американских атомных ракетных подводных лодок «Поларис»

К концу **1975** года на круговых околоземных орбитах (около 1000 км) находилось шесть навигационных космических аппаратов (КА),

Масса ИСЗ составляла 56 кг

Спутник излучал сигнал на двух частотах - 150 и 400 МГц

В 2000 году система была выведена из эксплуатации.

СНС «Цикада» российская система ведет свое летосчисление с 1967 года, когда был выведен на орбиту первый навигационный спутник «Космос-192».

Полностью система введена в эксплуатацию в **1979** году.

Состоит из **четырёх** космических аппаратов, выведенных на круговые орбиты высотой **1000 км**

Орбиты наклонены на 83 градуса с равномерным распределением плоскостей орбиты вдоль экватора.

С течением времени в результате модернизации системы СКП определения места объекта достигла 80-100 м.

Позже космические аппараты этой системы были дооснащены аппаратурой для обнаружения терпящих бедствие объектов, оборудованных радиобуями, излучающими **специальные сигналы.**

Для определения координат кораблей ВМФ СССР использовалась низкоорбитная спутниковая навигационная система «Цикада-М», обладающая характеристиками, близкими к системе «Цикада».

С разработкой в **1960** году атомных часов стало возможным использовать для целей навигации сеть точно синхронизированных передатчиков кодированных сигналов.

В **1973** году программы ВВС были объединены в общую технологическую программу «**Навстар-GPS**».

Но полностью система оказалась развернутой только в **1995** году.

Летные испытания среднеорбитальной отечественной навигационной системы начались в октябре **1982** года запуском спутника «**Космос 1413**».

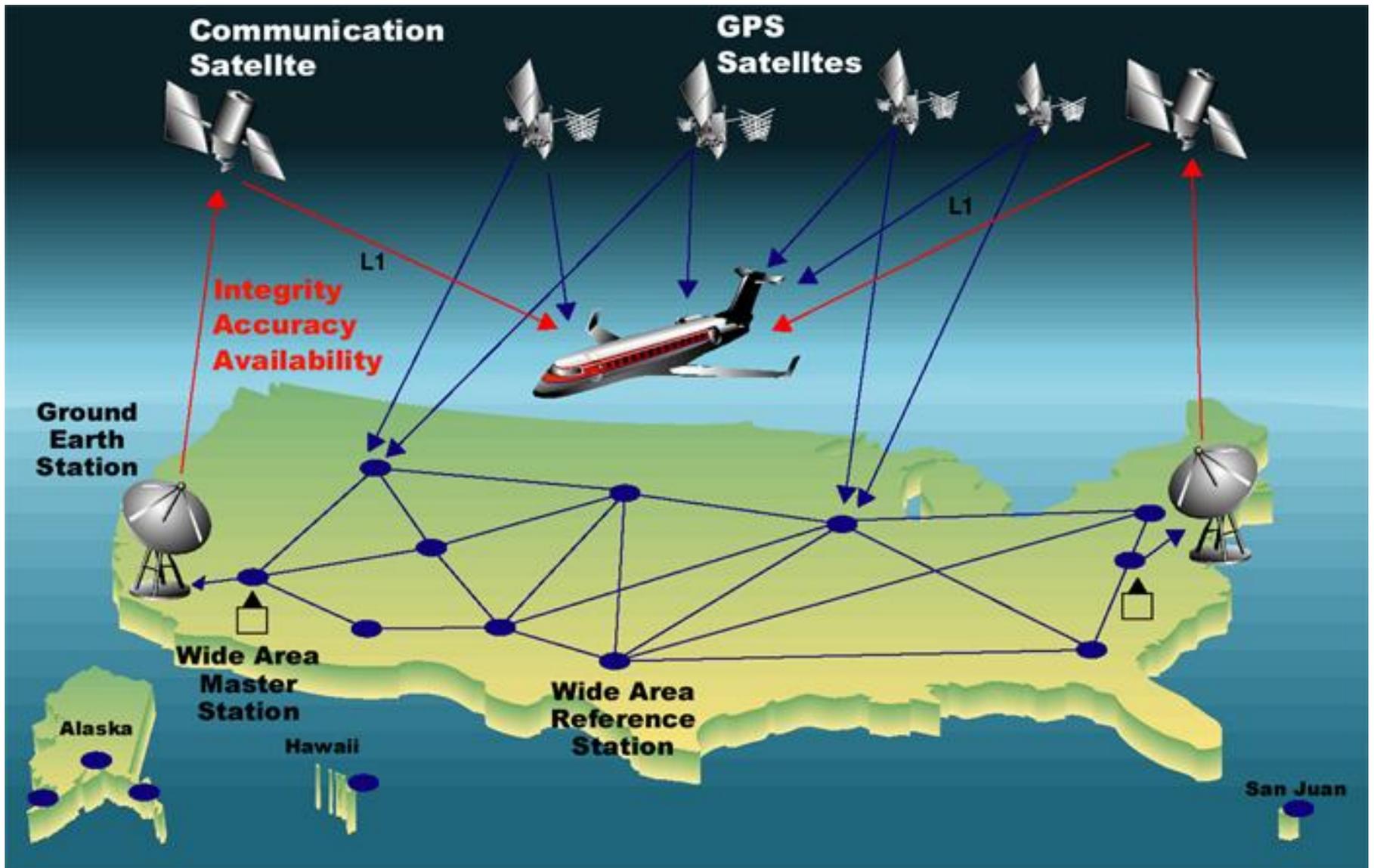
В **1995** году было завершено развертывание СНС ГЛОНАСС до ее штатного состава - **24** космических аппаратов.

Российские КА обладали меньшим временем функционирования на орбите, чем американские, поэтому в условиях слабого финансирования парк спутников системы ГЛОНАСС **сократился до 10-12** единиц, притом, что **минимально** необходимое количество КА на орбите для надежного определения места объектов составляет **18 КА.**

Дело усугубляло отсутствие доступных широкому потребителю приемников российского производства.

Основное назначение СНС второго поколения ГЛОНАСС - **глобальная оперативная навигация** приземных подвижных объектов: наземных (сухопутных, морских, воздушных) и низкоорбитальных космических.

Глобальные спутниковые навигационные системы относятся к классу **многопозиционных РНС (радионавигационных спутников)** и предназначены для определения пространственного местоположения и направления движения потребителей в пределах или большей части поверхности Земли.



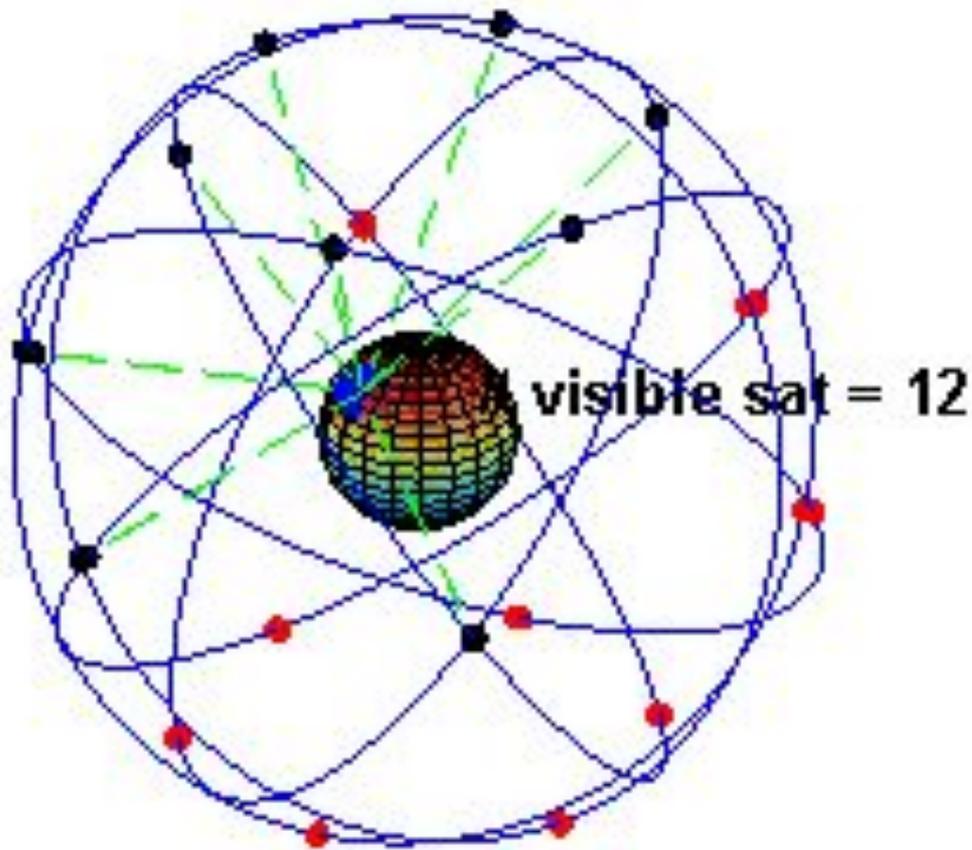
WAAS (Wide Area Augmentation System)

Для СНС выделены следующие диапазоны длин волн:

- ▣ **рабочий диапазон** $\lambda = 3 - 18\text{см}$
- ▣ **резервный диапазон** $\lambda = 20 - 31\text{см}$

Основу СНС составляет **сеть** (созвездие) навигационных искусственных спутников Земли (**НИСЗ**), выполняющих функцию опорных радионавигационных точек (**РНТ**), отношение которых измеряет навигационные параметры.

Конфигурация созвездия и число НИСЗ
выбираются из условий получения
требуемой зоны для СНС



Основные элементы спутниковой системы навигации:

- орбитальная группировка, состоящая из нескольких (от 2 до 30) спутников, излучающих специальные радиосигналы;
- приёмное клиентское оборудование («спутниковых навигаторов»), используемое для определения координат.

- ❑ наземная система управления и контроля, включающая блоки измерения текущего положения спутников и передачи на них полученной информации для корректировки информации об орбитах.

На сегодняшний день самыми значительными являются следующие спутниковые навигационные системы:

NAVSTAR (GPS) - принадлежит министерству обороны США, что считается другими государствами её главным недостатком.

Более известна под названием GPS.

Единственная полностью работающая спутниковая навигационная система.

ГЛОНАСС - находится на этапе развёртывания спутниковой группировки.

Принадлежит министерству обороны России.

Обладает, по заявлениям разработчиков, некоторыми техническими преимуществами по сравнению с NAVSTAR.

Бэйдоу - развёртываемая в настоящее время Китаем подсистема GNSS, предназначенная для использования только в этой стране.

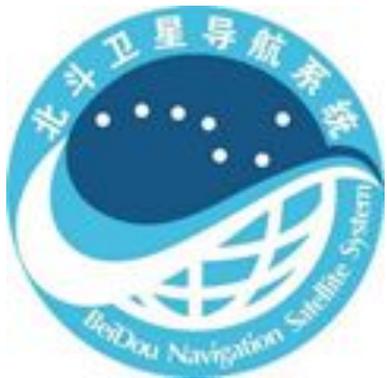
Особенность - небольшое количество спутников, находящихся на геостационарной орбите.



Галилео - совместный проект Европейского союза и Европейского космического агентства, анонсированный в **2002** году.

Изначально рассчитывали, что уже в **2010** году в рамках этой системы на средней околоземной орбите будут работать **30** спутников.

Ожидается, что полнофункциональное использование системы начнется не ранее **2020** года.



Compass - следующая ступень развития китайской региональной навигационной системы Weidou, которая была введена в эксплуатацию после запуска 10 спутников в конце 2011 года.

Сейчас она обеспечивает покрытие в границах Азии и Тихоокеанского региона, но, как ожидается, к **2020** году система станет глобальной.

Принцип работы спутниковых навигационных систем основан на **измерении расстоянии** от **антенны** на объекте (координаты которого необходимо получить) **до спутников**, положение которых известно с большой точностью.

Таблица положений всех спутников называется **альманахом**, которым должен располагать любой спутниковый приемник до начала измерений.

Обычно приемник сохраняет альманах в памяти со времени последнего выключения, и если он не устарел – мгновенно использует его.

Каждый спутник передает в своем сигнале весь альманах.

Таким образом, зная **расстояния до нескольких спутников системы**, с помощью обычных геометрических построений, на основе альманаха, можно **вычислить положение объекта в пространстве.**

Метод измерения расстояния от спутника до антенны приёмника основан на определённости скорости распространения радиоволн.

При работе спутникового приёмника его часы синхронизируются с системным временем и, при дальнейшем приёме сигналов, вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем приёма сигнала.

Располагая этой информацией, навигационный приёмник вычисляет координаты антенны.

В реальности работа системы происходит значительно сложнее из-за существующих проблем:

отсутствие атомных часов в большинстве навигационных приёмников;

неоднородность гравитационного поля Земли;

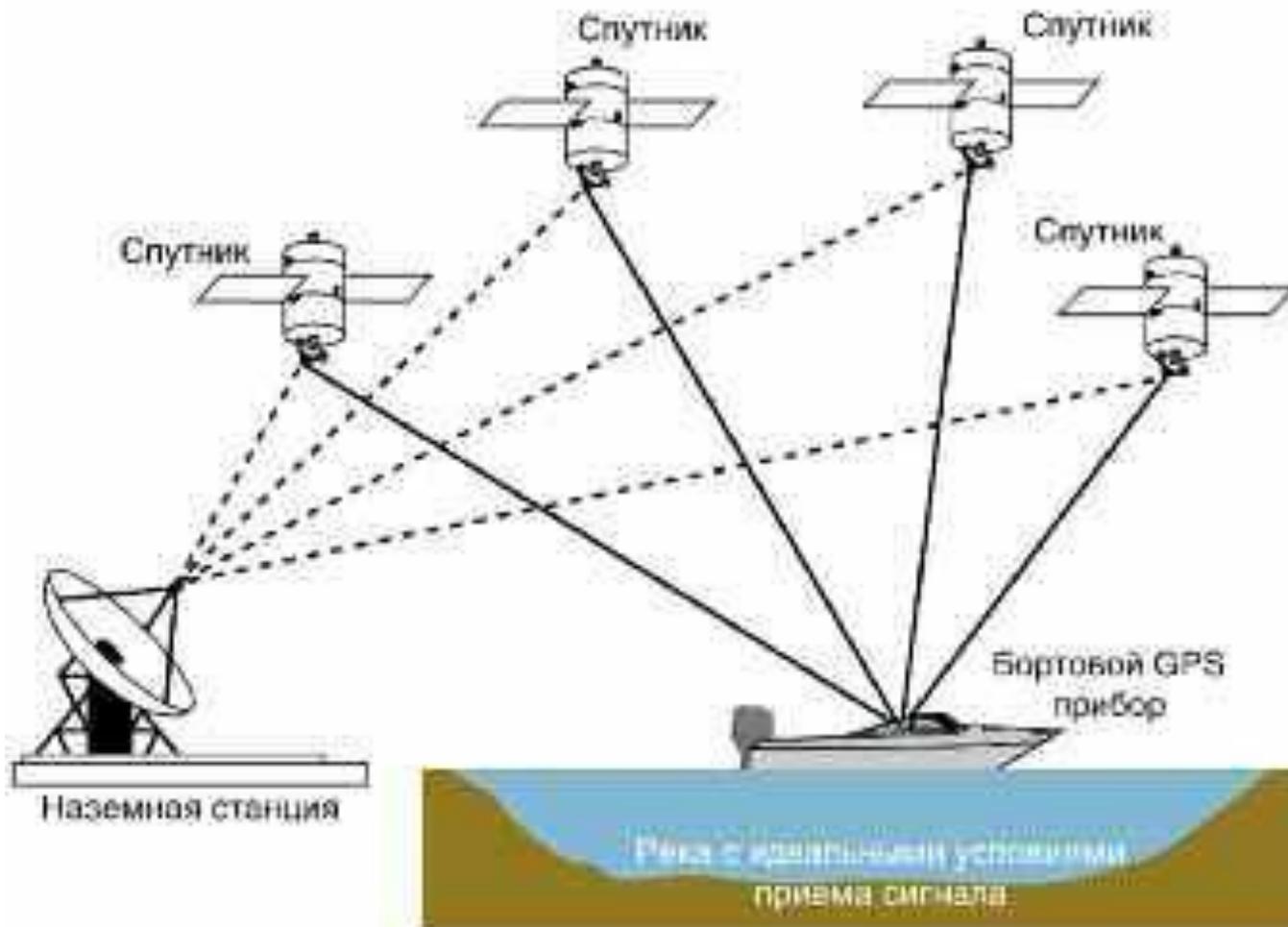
отражения сигналов от наземных объектов;

невозможность разместить на спутниках передатчики большой мощности.

Глобальная навигационная система NAVSTAR



Система имеет **6** орбит, на каждой
вращаются по **3** НИСЗ с периодом в **12**
часов.



Кроме **18** основных спутников есть **3** резервных.

Фазы спутников в соседних орбитальных плоскостях отличаются на **40°**.

Работа всех НИСЗ с высокой точностью синхронизирована с системой единого времени.

С тех пор, как первый GPS спутник был запущен в феврале 1978 г., было запущено более, чем **50** спутников.

В настоящее время сформулированы требования к **GPS-III** – навигационной системе третьего поколения.

Два крупнейших мировых производителей спутников LockheedMartin и Boeing должны предложить свои варианты построения GPS-III.

Первый спутник GPS-III запущен в **2012/2013**, а новая спутниковая группировка заработает в новом составе в 2017/2018.

По сравнению с существующей, система GPS-III будет иметь следующие особенности:

- ожидаемый срок жизни спутника - **12-18** лет;
- стоимость каждого спутника - **100-120** миллион долларов;
- запуск двух спутников будет организован одной ракетой;

- способность борьбы с возможными помехами будет существенно усилена и интенсивность сигнал возрастет на **20 дБ;**
- точность местоопределения составит **1 м** без организации дополнительных мер
- недостаток GPS системы, как уязвимость от внешнего воздействия будет устранен.

В настоящее время исследуются достоинства и недостатки двух вариантов построения орбитальной группировки:

- I. 6 плоскостей по 4 спутника на каждой
- II. 3 орбитальные плоскости по 7 спутников

Ожидается, что GPS-III прослужит до **2030**

г.

Российская спутниковая навигационная система ГЛОНАСС



В состав ГЛОНАСС входит орбитальная группировка из **24** спутников, находящихся на круговых орбитах на высоте **19100 км.**

Спутники расположены в трех орбитальных плоскостях, разнесенных на **120°**, в каждой плоскости находится по **8 НИСЗ**, которые удалены друг от друга на **45°** по широте.

Период спутников **11 ч 45 мин.**

Это позволяет пользователю установить свои координаты с ошибкой в **20** метров и скорость с погрешностью **15 см/с.**

Высокая устойчивость к помехам делает систему ГЛОНАСС самой надежной системой в мире, заглушить сигналы которой значительно труднее, нежели, например, сигналы GPS.

В отличие от американской системы навигации GPS, в которой **разделение сигналов** происходит по специальным **кодам** со спутников, но при этом все сигналы передаются **на одной частоте.**

В ГЛОНАСС разделение происходит за счет передачи сигналов **на разных** частотах.

Основным разработчиком и создателем по системе в целом и по космическому сегменту являются НПО прикладной механики (г. Красноярск), а по НКА - ПО «Полет» (г. Омск).

В ГЛОНАСС применяются навигационные космические аппараты на круговых геоцентрических орбитах с высотой **~19100 км** над поверхностью Земли.

В настоящий момент эксплуатируются космические аппараты ГЛОНАСС двух модификаций

- **ГЛОНАСС**
- **ГЛОНАСС-М**

Первый из них был запущен в декабре **2003** года.

Масса спутника **GLONASS-K** в 2 раза меньше, чем спутника GLONASS-M, а срок активного существования составит **10** лет.

Всего планируется заказать **27** спутников
GLONASS-K.

