



TELKOM-3

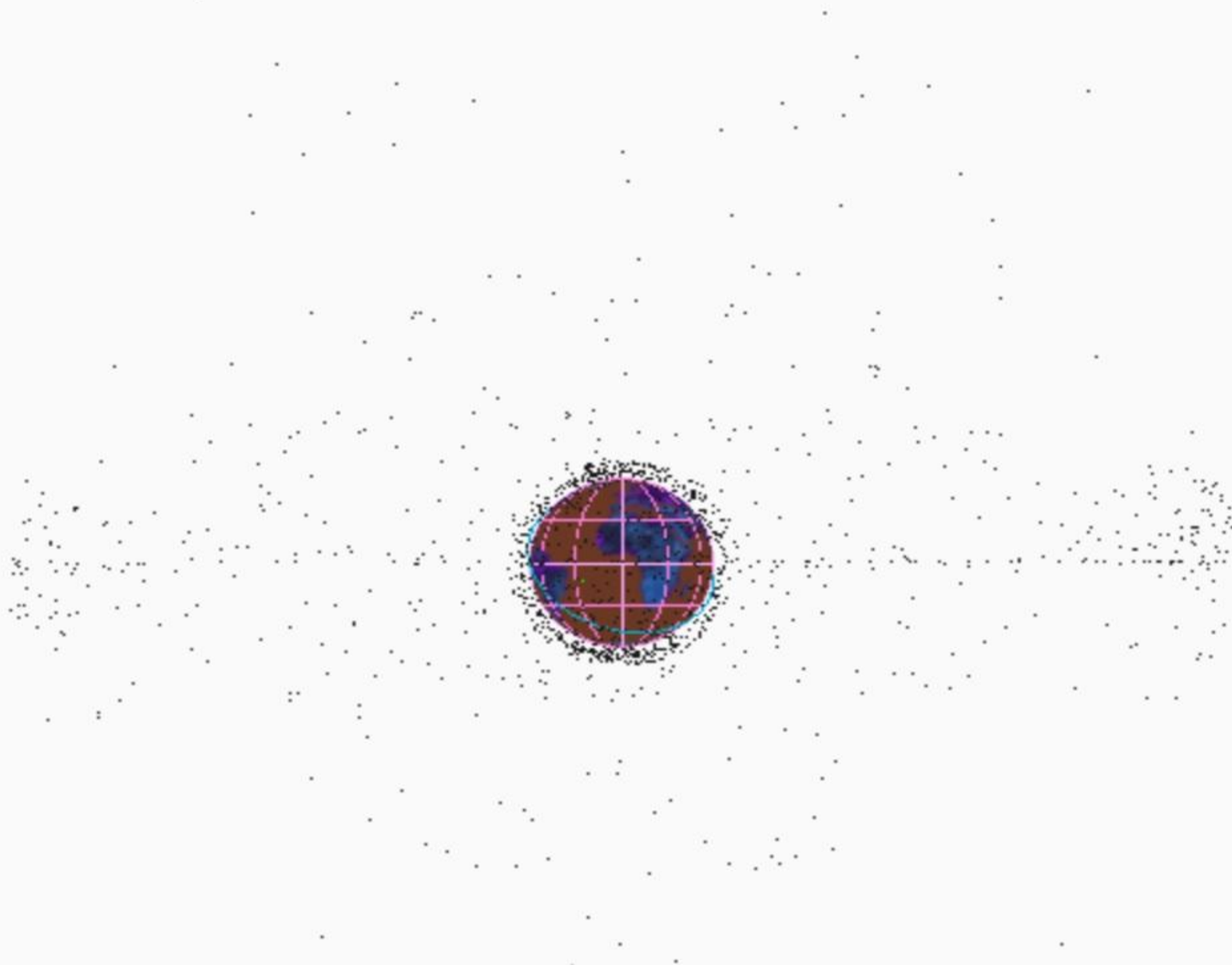
ИСЗ

«ЭКСПРЕСС-AM5»

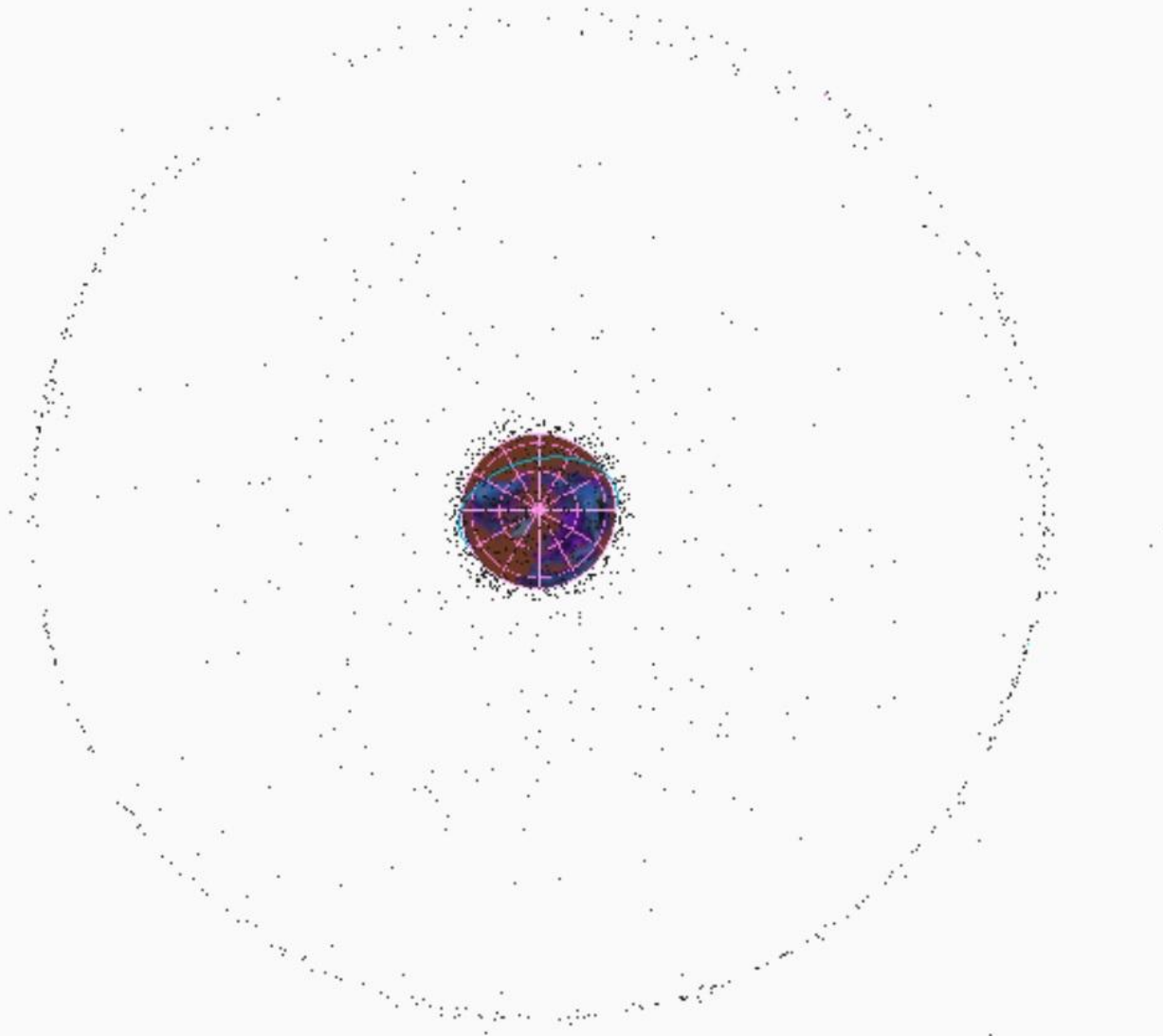
Искусственные спутники Земли

За прошедшие более чем 50 лет с начала космической эры число ИСЗ в околоземном пространстве огромно - десятки тысяч объектов от более чем 100 метров в диаметре (МКС) до кусочков обшивки и т.п. размером 5-10 см. На следующих слайдах можно увидеть распределение ИСЗ

Заселенность орбит



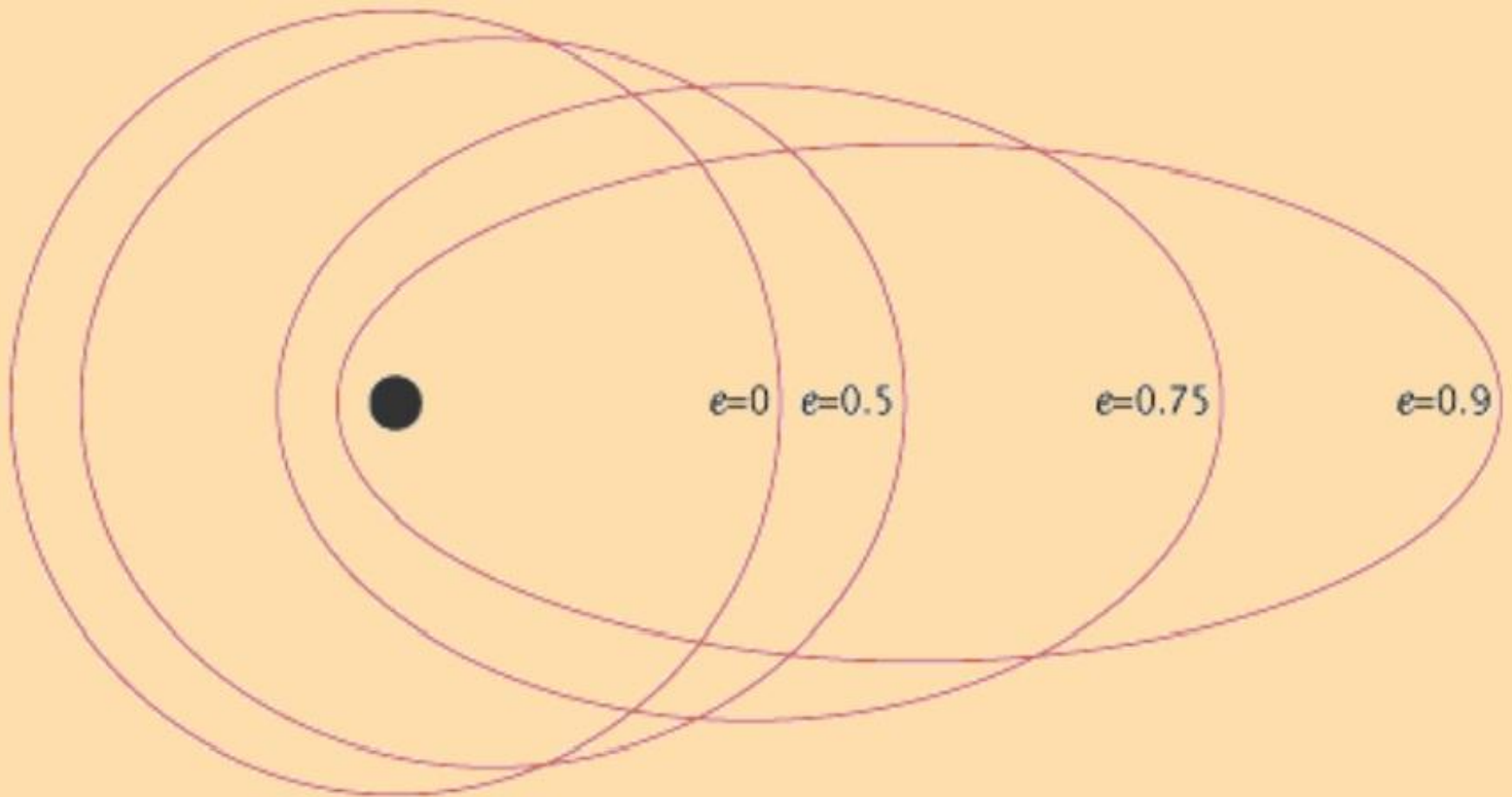
Заселенность орбит



Типы орбит спутника

Рассмотрим типы орбит ИСЗ. Все ИСЗ движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Земля. Следовательно, все типы орбит - эллиптические. Основное деление орбит производят по величине наклонения " i " орбиты и по значению большой полуоси " a ". Кроме того, можно выделить деление по величине эксцентриситета " e " - малоэллиптические и высокоэллиптические орбиты. Наглядное представление об изменении вида орбиты при

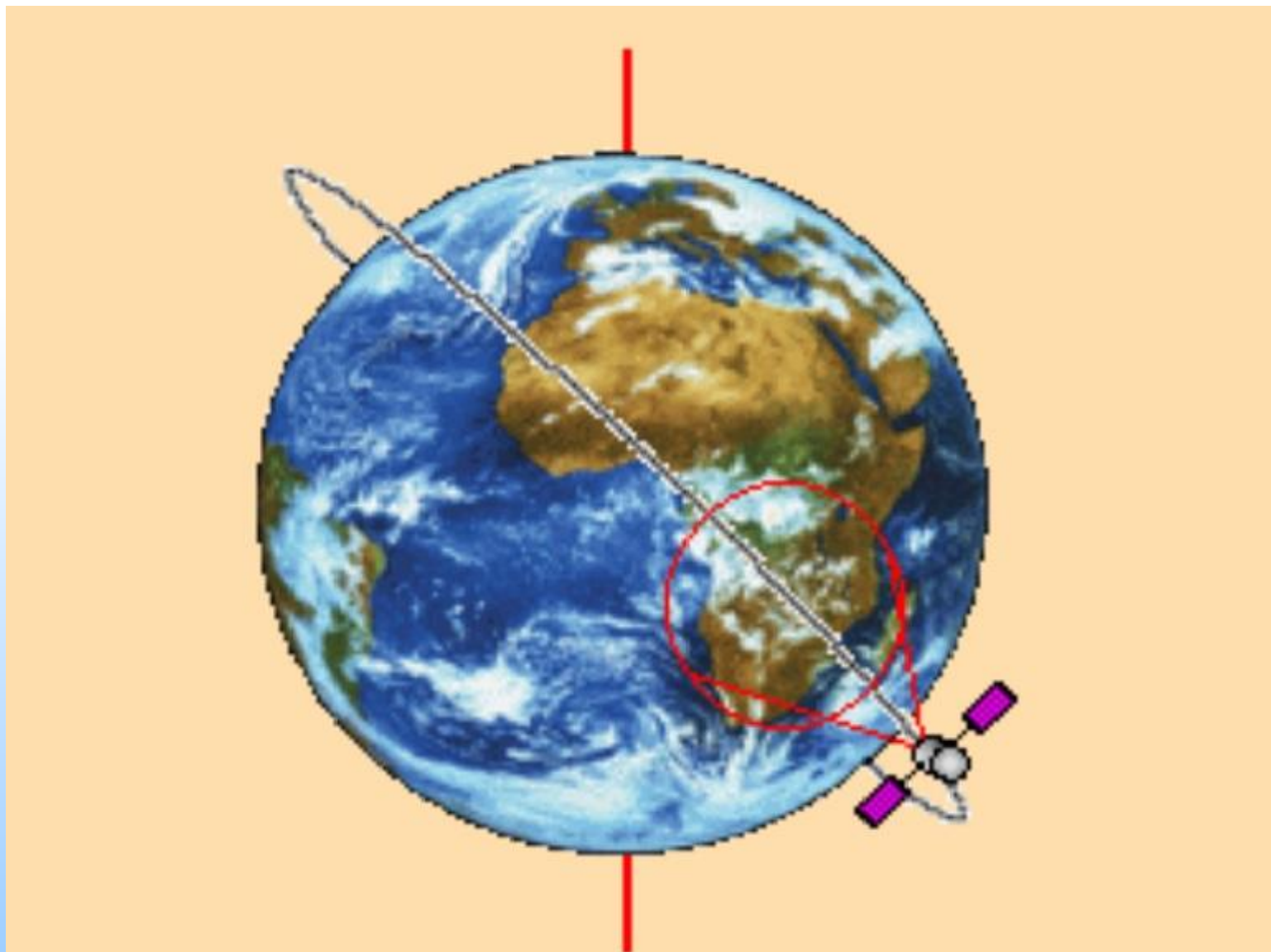
Эксцентриситет орбиты спутника



Область видимости Земли с орбиты

Наклонение орбит ИСЗ лежит в диапазоне $0^\circ < i < 90^\circ$ (см. следующий слайд). В зависимости от значения наклона и высоты ИСЗ над поверхностью Земли, положение областей его видимости имеют различные границы широты, а в зависимости от высоты над поверхностью - и различный радиус этих областей. Чем больше наклонение, тем на более северных широтах может быть виден спутник, а чем он выше - тем шире область видимости. Таким образом, наклонение i

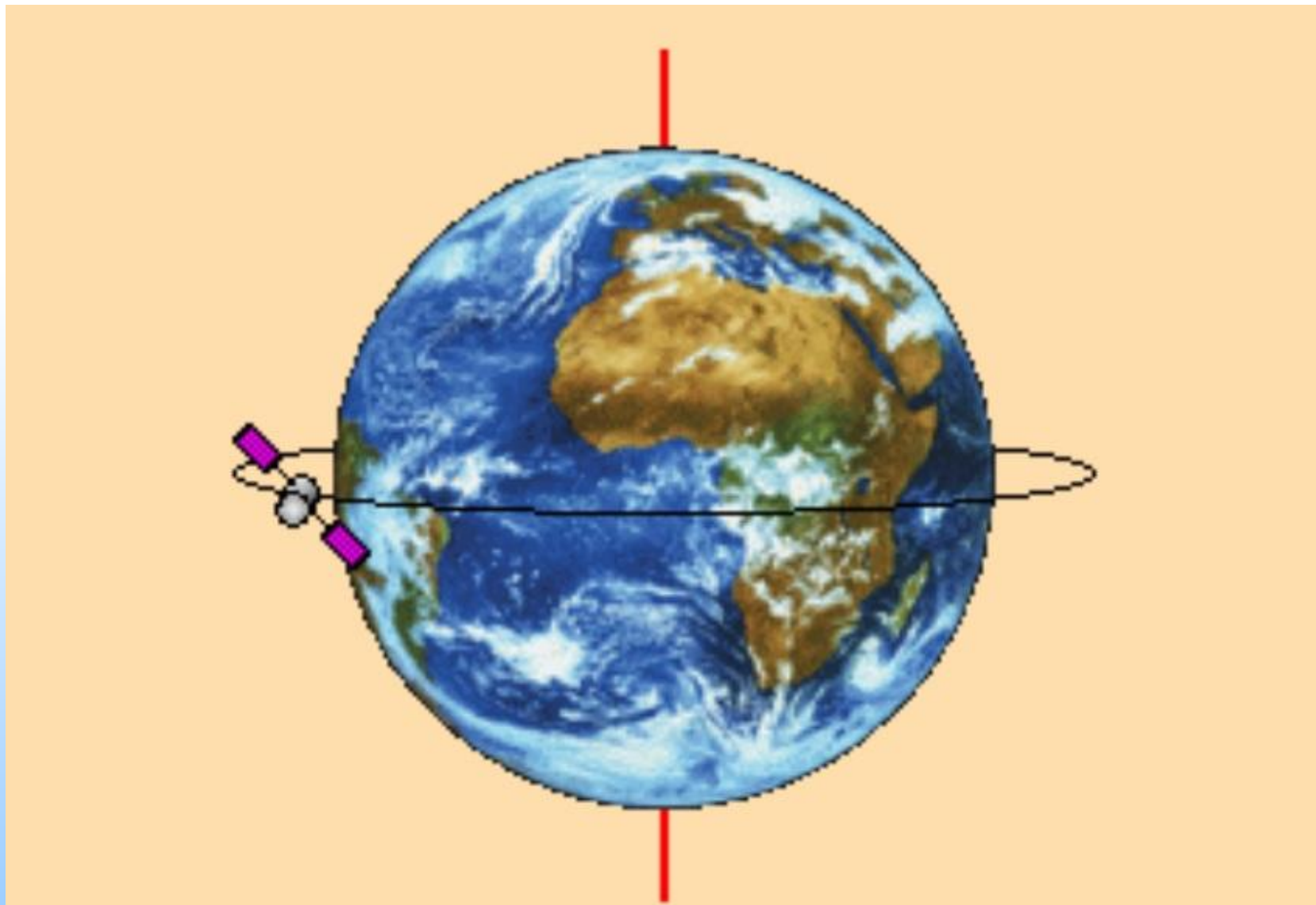
Общий случай орбиты спутника с
наклоном $0^\circ < "i" < 90^\circ$.



Экваториальная орбита

Экваториальная орбита - крайний случай орбиты, когда наклонение " i " = 0° (см. следующий слайд). В этом случае прецессия и поворот орбиты будут максимальны - до 10° /сутки и до 20° /сутки соответственно. Ширина полосы видимости спутника, которая расположена вдоль экватора, определяется его высотой над поверхностью Земли. Орбиты с малым наклонением " i " часто называют "около экваториальными".

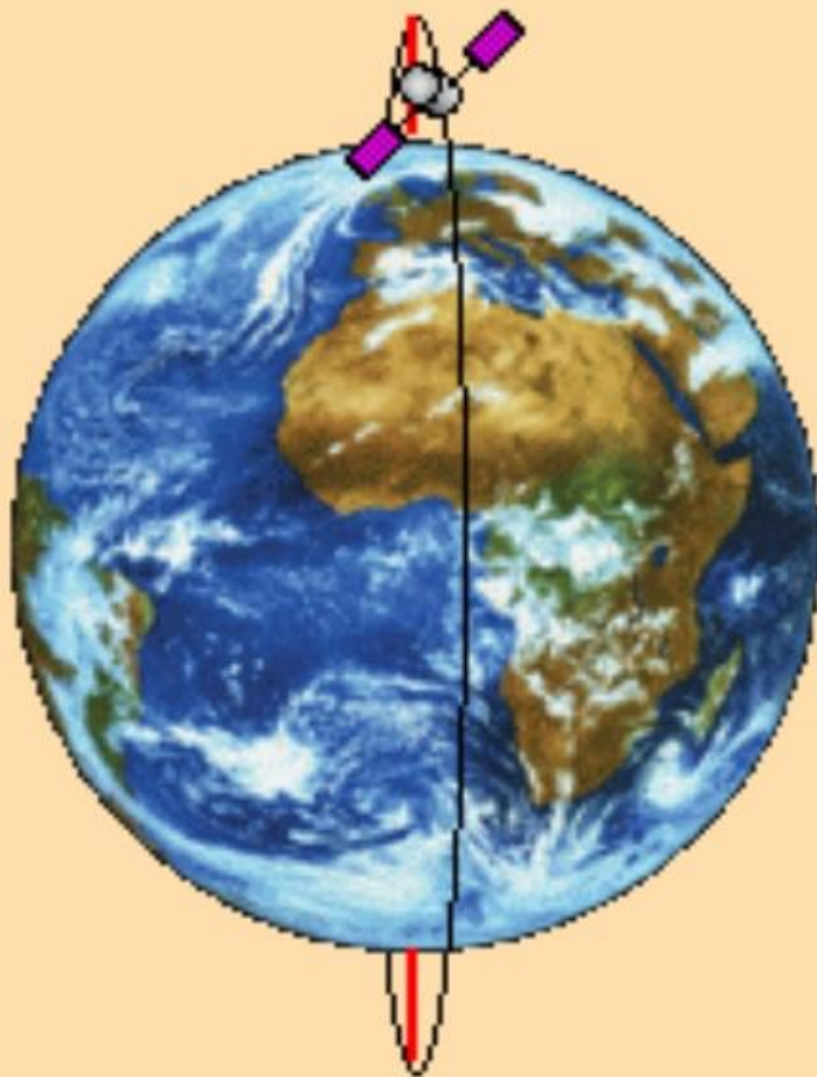
Экваториальная орбита



Полярная орбита

Полярная орбита - второй крайний случай орбиты, когда наклонение " i " = 90° (см. след слайд). В этом случае прецессия орбиты отсутствует, а поворот орбиты происходит в сторону, обратную относительно вращения ИСЗ, и не превышает 5° /сутки. Подобный полярный ИСЗ последовательно проходит над всеми участками поверхности Земли. Ширина полосы видимости спутника определяется его высотой над поверхностью Земли, но спутник рано или поздно можно увидеть из любой точки. Орбиты с наклонением " i ", близким к 90° , называют "приполярными".

Полярная орбита

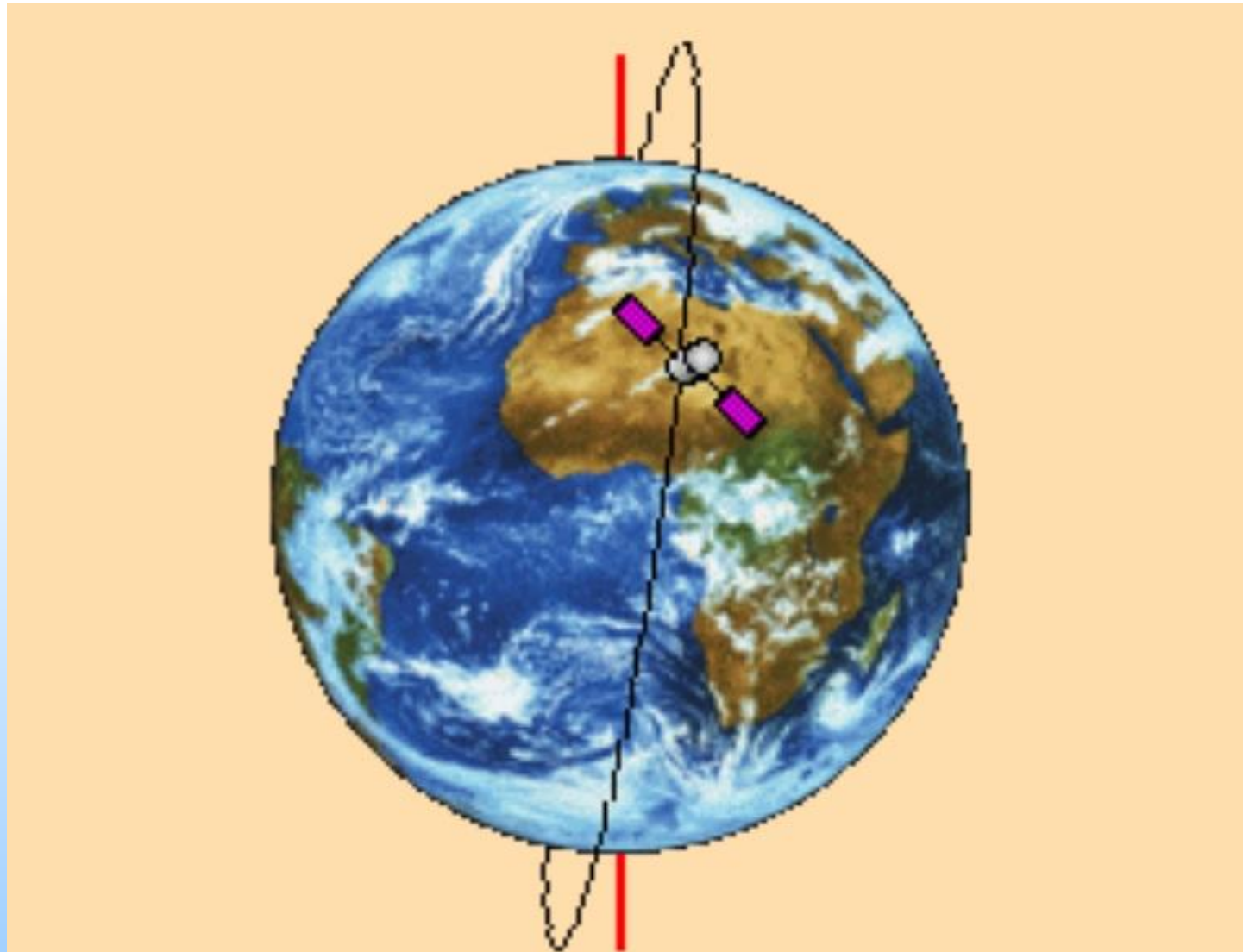


Солнечно-синхронная орбита

Солнечно-синхронная орбита (ССО) - особый вид орбиты, часто используемый спутникам, которые производят съёмку поверхности Земли.

Представляет собой орбиту с такими параметрами, что спутник проходит над любой точкой земной поверхности приблизительно в одно и то же местное солнечное время. Движение такого спутника синхронизировано с движением линии терминатора по поверхности Земли - за счёт этого спутник может лететь всегда над границей освещённой и неосвещённой солнцем территории, или всегда в освещённой области, или наоборот - всегда в ночной, причём условия освещённости при пролёте над одной и той же точкой Земли всегда одинаковые.

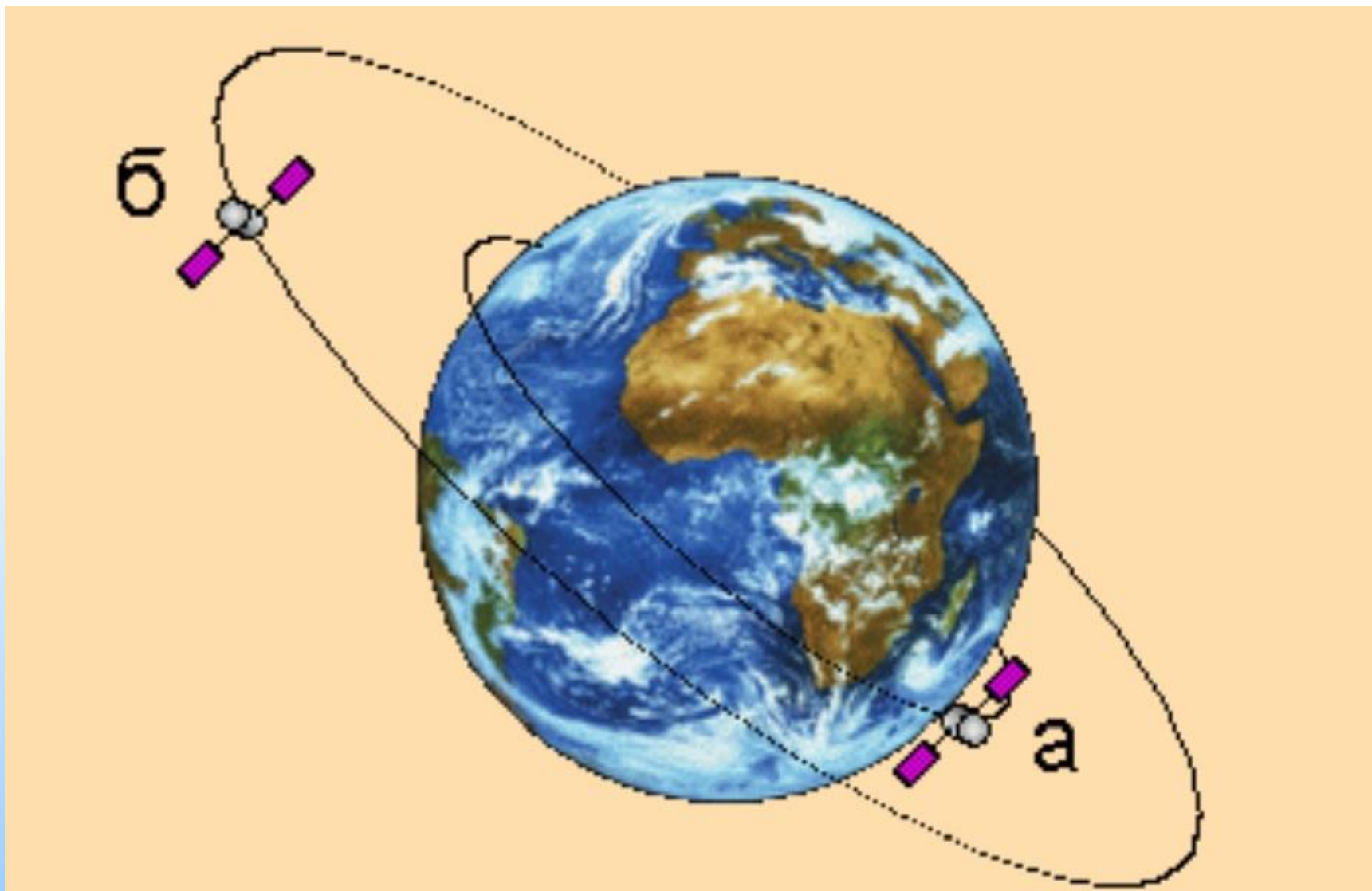
Солнечно-синхронная орбита



Низкоорбитальные спутники

Низкоорбитальными ИСЗ (НОС (рус.)), см. след слайд) обычно считаются спутники с высотами от 160 км до 2000 км над поверхностью Земли. Такие орбиты (и спутники) в англоязычной литературе называют LEO (от англ. "Low Earth Orbit"). Орбиты LEO подвержены максимальным возмущениям со стороны гравитационного поля Земли и её верхней атмосферы. Угловая скорость спутников LEO максимальна - от $0,2^\circ/\text{с}$ до $2,8^\circ/\text{с}$, периоды обращения от 87,6 минут до 127 минут.

Низко(а)- и средне(б)- орбитальные спутники



Среднеорбитальные спутники

Среднеорбитальными ИСЗ (СОС (рус.), или "МЕО" - от англ. "Medium Earth Orbit") обычно считаются спутники с высотами от 2000 км до 35786 км над поверхностью Земли. Нижний предел определяется границей ЛЕО, а верхний - орбитой геостационарных спутников (см. ниже). Эту зону в основном "заселяют" спутники навигации (ИСЗ "NAVSTAR" системы "GPS" летают на высоте 20200 км, ИСЗ системы "ГЛОНАСС" - на высоте 19100 км) и связи, которые покрывают полюса Земли. Период обращения - от 127 минут до 24 часов. Угловая скорость - единицы и доли угловой минуты в секунду.

Геостационарные и геосинхронные спутники

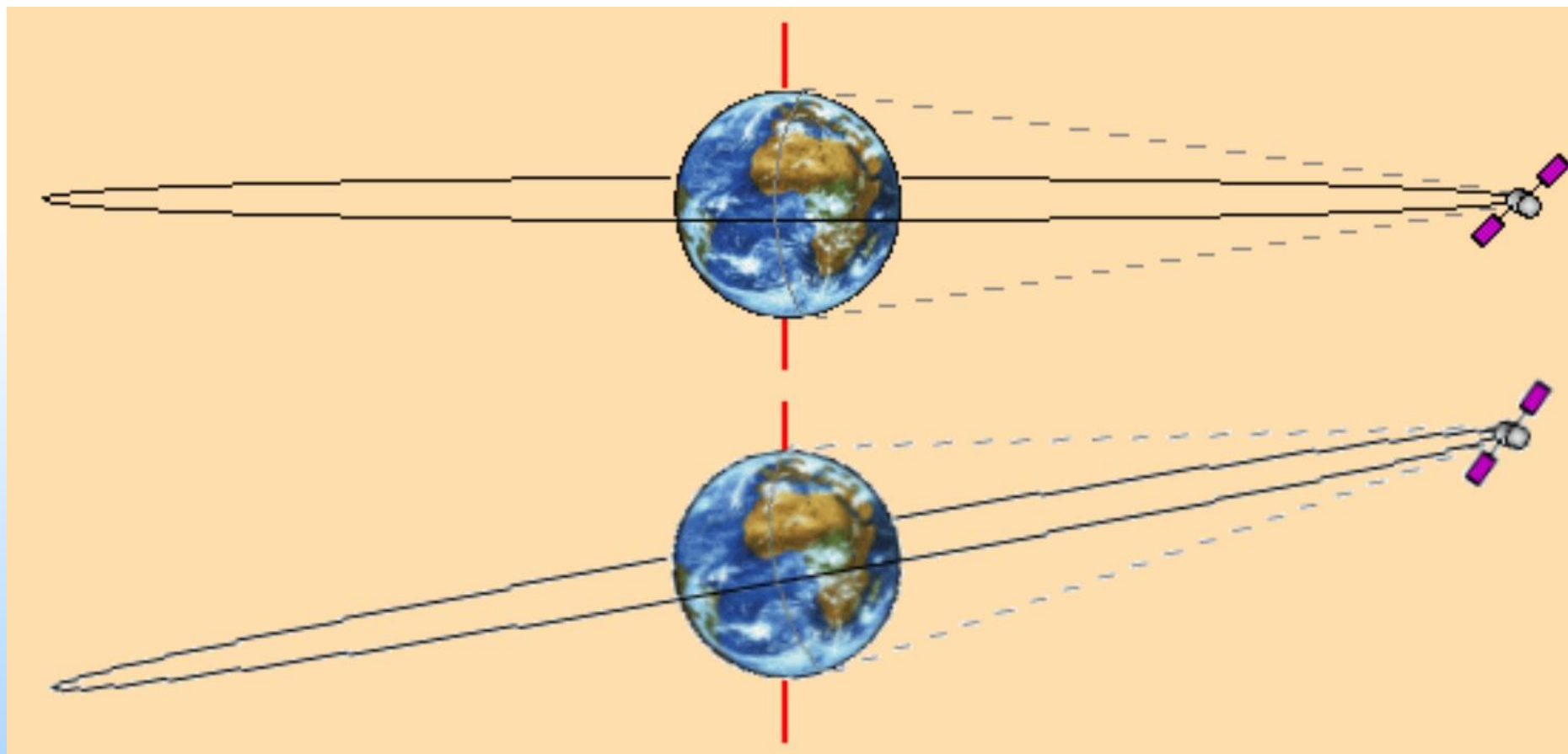
Геостационарные ИСЗ (ГСС (рус.), или "GSO" - от англ. "Geosynchronous Orbit") считаются спутники, имеющие период обращения вокруг Земли, равный звёздным (сидерическим) суткам - 23ч 56м 4,09с. Если наклонение "i" орбиты нулевое, то такие орбиты называют геостационарными (см. след слайд). Геостационарные ИСЗ летают на высоте 35786 км над поверхностью Земли.

Т.к. их период обращения совпадает с периодом обращения Земли вокруг своей оси, то такие ИСЗ "висят" в небе на одном месте.

Если наклонение "i" не равно нулю, то такие ИСЗ называются геосинхронными.

В реальности многие геостационарные спутники имеют небольшое наклонение и подвержены возмущениям со стороны Луны и Солнца, в связи с чем они описывают на небе фигуры в виде "восьмёрок", вытянутых в направлении север-юг.

Геостационарные и геосинхронные спутники



Геостационарные и геосинхронные спутники

Если говорить о виде траектории ГСС, то он определяется значением наклона наклона i , эксцентриситета e и аргумента перигея W_p орбиты спутника.

В самом общем случае при ненулевых i и e трек ГСС на поверхности Земли представляет собой "наклонённую восьмёрку", угловая высота $2\Theta = i$, максимальная ширина $\Delta L_{\max} = 114.6^\circ \cdot e$, причём "восьмёрка" получается только в том случае, если аргумент перигея W_p орбиты равен 0° и 180° , в остальных случаях получается более сложная фигура -- что-то среднее между овалом и "восьмёркой".

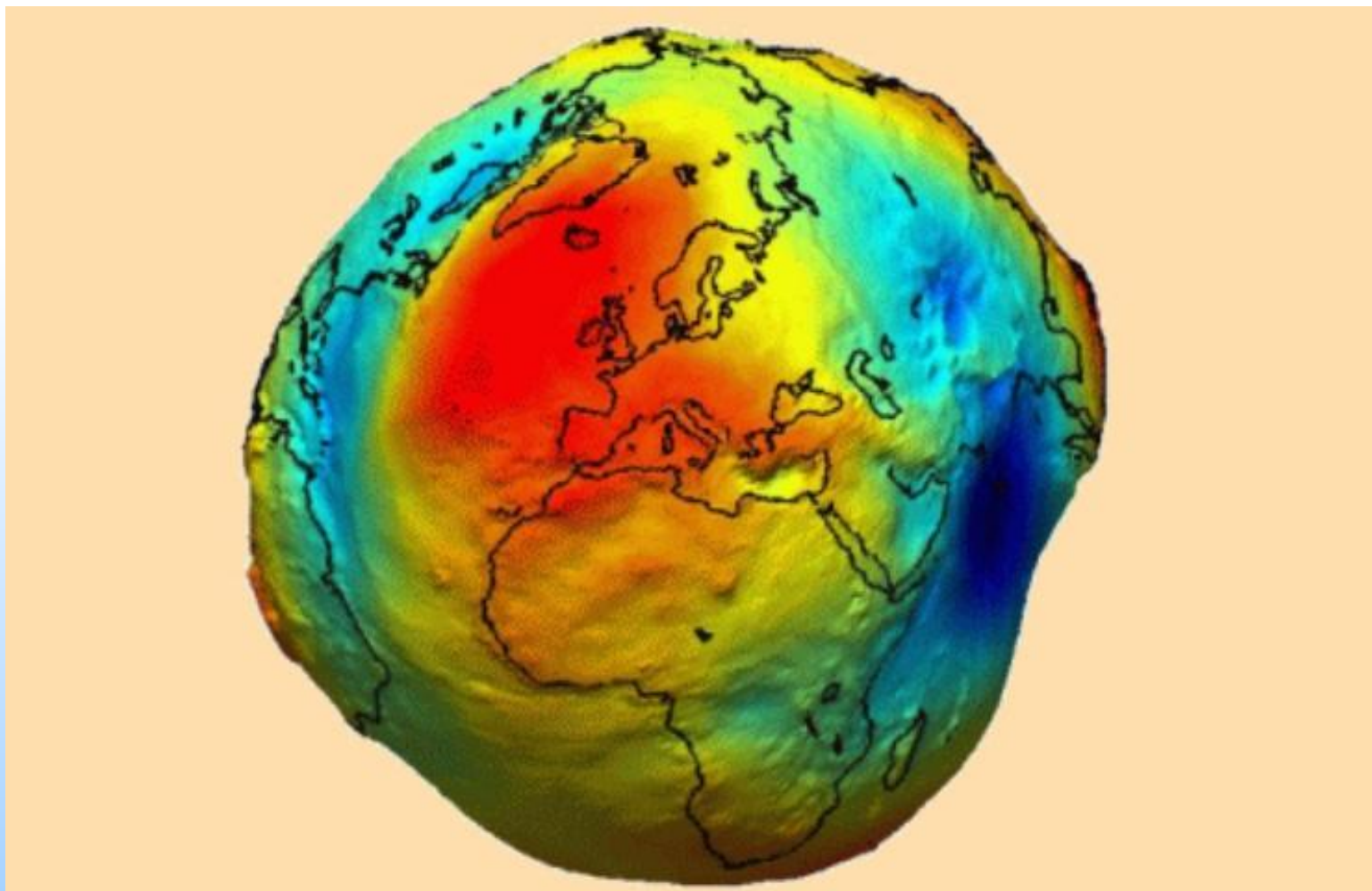
Геостационарные и геосинхронные спутники

Как уже становится понятным, вопреки расхожему мнению, ГСС не "висят" на небе точно в одной точке - наклонение, эксцентриситет и аргумент перигея орбиты спутника определяют вид и размер довольно замысловатых фигур траектории ГСС на небе. Более того - если спутник не активный, т.е. не корректирует свою орбиты, он начинает смещаться на фоне звёзд с довольно значительной скоростью. Необходимость в корректирующей двигательной установке на борту стационарных ИСЗ вызвана как задачами выведения на стационарную орбиту, так и тем, что, находясь на ней, он постоянно претерпевает ряд возмущений. К последним относятся возмущения за счёт неоднородности гравитационного поля Земли, возмущающее действие гравитационных полей Луны и Солнца и даже давление света.

Давление света вызывает долгопериодические движения ИСЗ вдоль орбиты до 100 км и по высоте до нескольких десятков километров для сравнительно лёгких, но крупных ИСЗ (чем больше масса ИСЗ и меньше его размеры, тем меньше воздействие давления света на его орбиту).

Сплюснутость Земли у полюсов вызывает перемещение ИСЗ вдоль стационарной орбиты почти до $9,8^\circ$ в год, приводит к периодическим возмущениям по высоте и наклонению с амплитудой до 3 км и к изменению других параметров орбиты.

Форма Земли



В результате отклонений земного экватора от идеальной окружности стационарный ИСЗ лишь за 2 месяца смещается примерно на $3,3^\circ$ вдоль орбиты, а его положение по высоте колеблется более чем на 8 км.

Причём максимальное возмущение вследствие экваториального сжатия достигается вблизи точек "стояния" 30° и 210° в. д., 60° и 150° з. д. И наоборот, наиболее устойчивыми точками «стояния» стационарных ИСЗ являются 75° в д. и 105° з. д.

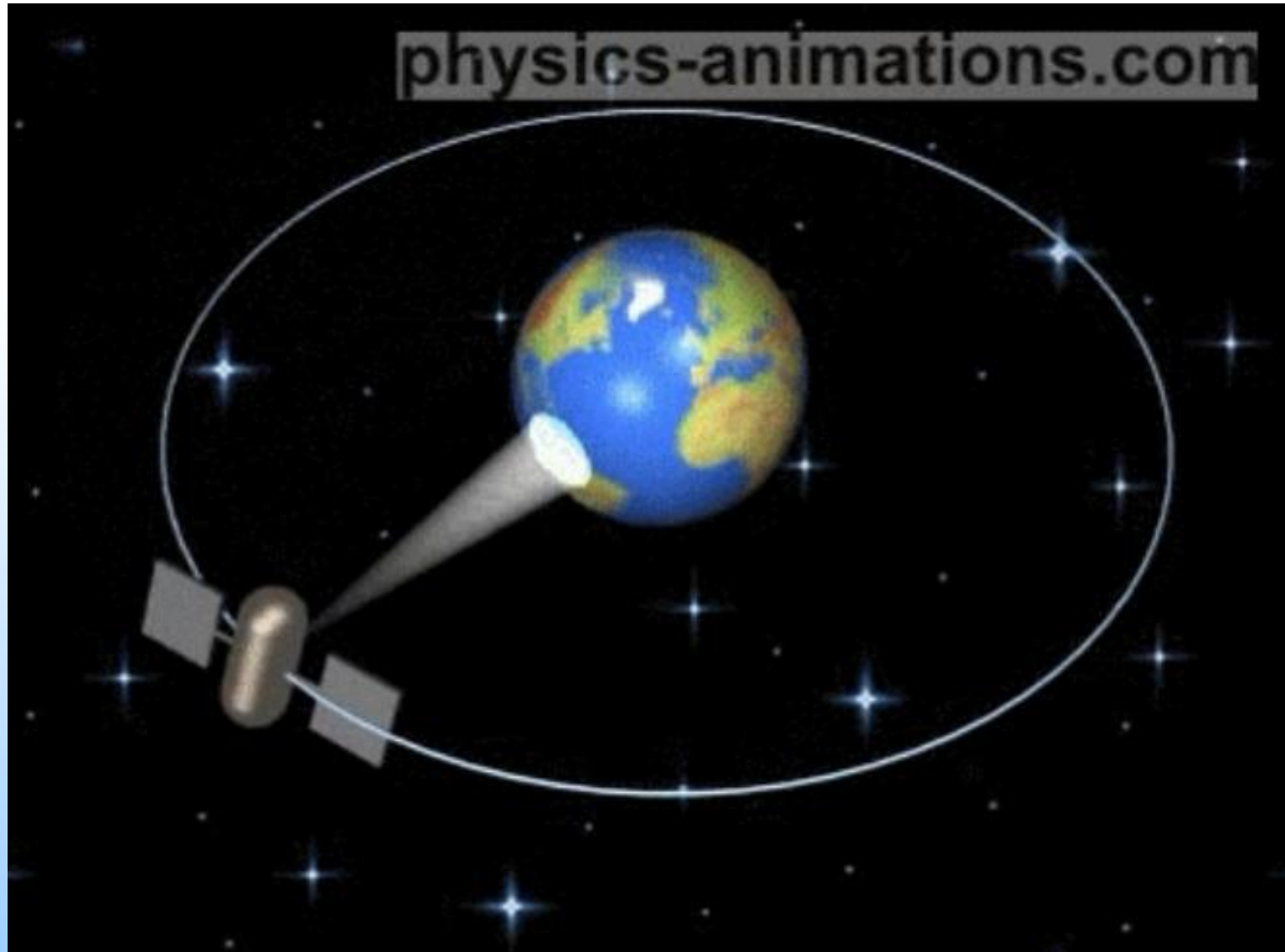
Количество коррекций орбиты спутника на ГСО зависит от допустимой величины смещения стационарного ИСЗ по долготе за год.

В общем случае если допустимое смещение ИСЗ не должно превышать 1° - 4° , то необходимо проводить до 6 коррекций за год. В точках устойчивого положения стационарных ИСЗ потребуется не больше одной коррекции в год

Геостационарные и геосинхронные спутники

Получается, что без обязательной коррекции орбиты ГСС не сможет оставаться на геостационарной орбите - требуется периодическая коррекция. Поэтому на каждом ГСС есть запас горючего для коррекции, а когда он подходит к концу, ГСС переводится на орбиту захоронения и отключается, чтобы освободить тесную орбиту для нового спутника, и не создавать опасность столкновения с действующими ГСС при дрейфе.

Геостационарные и геосинхронные спутники



Геостационарные и геосинхронные спутники

В настоящее время на околоземных и геостационарных орбитах каталогизировано более 16000 космических объектов искусственного происхождения. Из них только около 6% являются "активными", т.е. функционирующими. ГСО является наиболее привлекательной, выгодной для решения многих научных, народнохозяйственных, военных, навигационных, коммерческих и иных задач. Около 80% активных, функционирующих ИСЗ дислоцируются на ГСО.

Геостационарные и геосинхронные спутники

Геостационарная орбита вокруг Земли одна. Запуски спутников на ГСО начались с 1963 года. На начало 21 века более 40 стран планеты имеют свои геостационарные спутники. Ежегодно на ГСО запускается десятки спутников, орбита к тому же постепенно заполняется отработавшими спутниками. На ГСО постоянно происходят взрывы отработанных аппаратов и их ракет-носителей. Эти взрывы порождают десятки-сотни космических осколков, которые могут вывести из строя работающие аппараты.

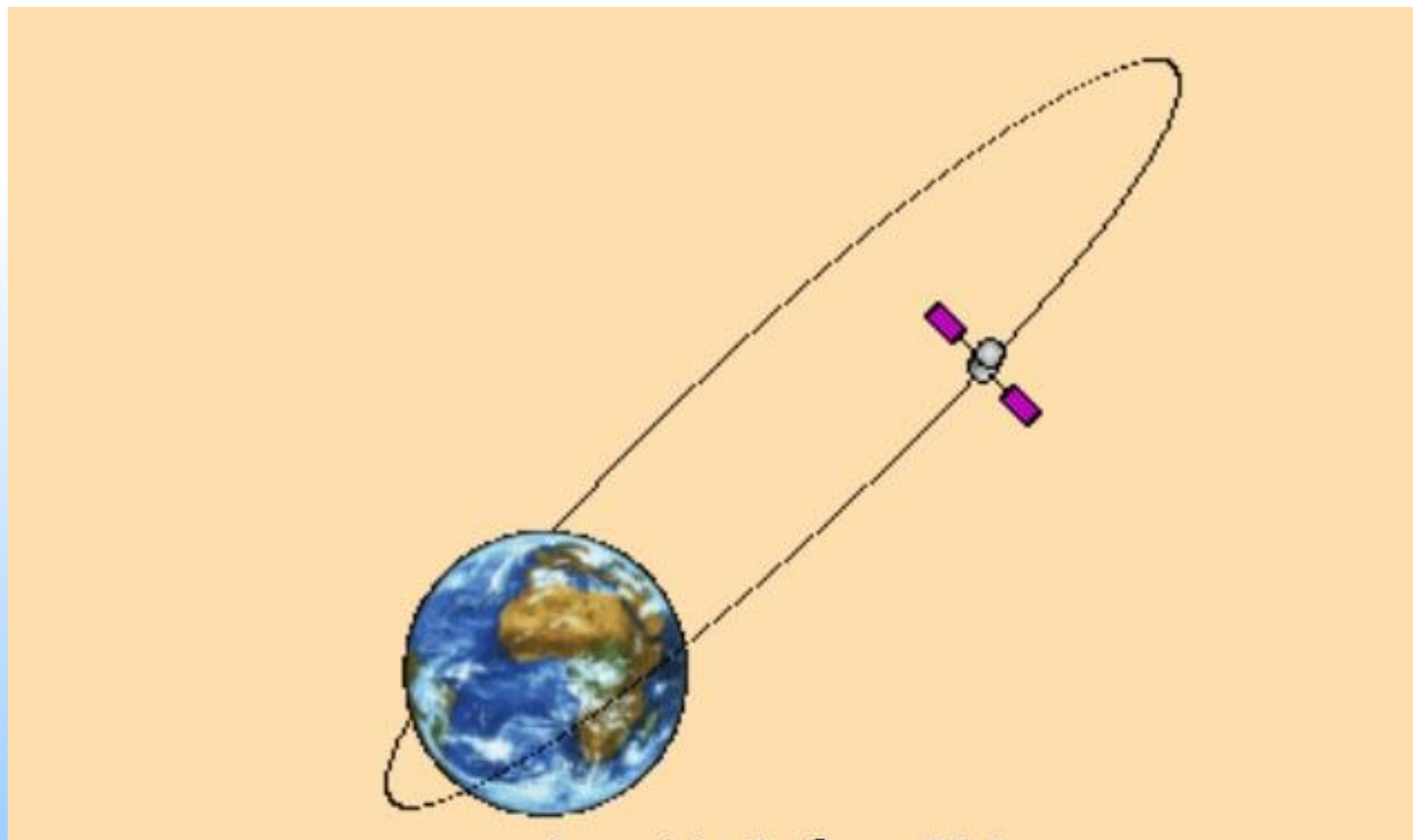
Согласно международной конвенции по мирному использованию космического пространства при ООН, и требованиям международного радиочастного комитета (во избежании радиопомех на соседние ГСС), угловое расстояние между ГСС не должно быть менее 0.5° . Таким образом, теоретически количество ГСС, находящихся на безопасном расстоянии на ГСО, должно быть не более 720 штук. В последнее десятилетие это расстояние между ГСС не выдерживается. На 2011 год количество каталогизированных ГСС уже превысило более 1500.

Высокоорбитальные спутники

Высокоорбитальными ИСЗ (ВОС (рус.), или "HEO" - от англ. "High Earth Orbit") считаются спутники, достигающие высот более 35786 км над поверхностью Земли, т.е. залетающие выше геостационарных спутников.

Орбиты могут иметь значительный эксцентриситет (например, спутники серии "Меридиан", "Молния") - в этом случае они называются высокоэллиптическими (ВЭС), так и быть почти круговыми (пример - ИСЗ "Vela" (те самые ИСЗ, на которых в конце 60-х гг. XX в. были открыты гамма-всплески)).

Высокоорбитальные спутники



Орбиты захоронения

Орбиты захоронения - отдельный класс орбит ИСЗ, специально предназначенный для увода на них спутников, вышедших из строя для уменьшения вероятности столкновения с работающими спутниками и для освобождения места новым ИСЗ.

Для ГСС орбитой захоронения считается орбита, на 200 км выше самой орбиты ГСС

Орбиты захоронения



Орбиты захоронения

Для каждого ГСС спутника орбита захоронения рассчитывается отдельно, причём минимальный перигей ΔH равен:

$$\Delta H(\text{км}) = 235(\text{км}) + \left(1000 \cdot C_R \cdot \frac{S(\text{м}^2)}{m(\text{кг})} \right), \quad (1)$$

где " C_R " - коэффициент давления света (см. п. ["Давление света"](#) §5), " S " - площадь ИСЗ, " m " - его масса.

Низкоорбитальные спутники с ядерными реакторами на борту имеют высоту орбиты захоронения порядка 1000 км, куда переводится активная зона ядерного реактора после окончания ее работы.

Типы ИСЗ

Исследовательские спутники

Это спутники, предназначенные для исследования планет, галактик и других космических объектов.

Примером таких аппаратов являются орбитальные телескопы ("AGILE" (NORAD №31135), Италия, γ-телескоп; "AKARI" (NORAD №28939), Япония, ИК-телескоп; "Chandra" (NORAD №25867), США, рентгеновская обсерватория; "COROT" (NORAD №29678), ЕС, телескоп видимого диапазона длин волн; "Herschel Space Observatory" (ранее "FIRST", NORAD №34937), ЕС, ИК-телескоп; "Fermi Gamma-ray Space Telescope" (ранее "GLAST", NORAD №33053), США, ЕС, γ-телескоп; "Hubble Space Telescope" (NORAD №20580), США, ЕС, телескоп УФ, ИК и видимого диапазона и т.д.).

Типы ИСЗ

ИСЗ дистанционного зондирования Земли

Эти спутники осуществляют дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) в различных спектральных диапазонах. Диапазон длин волн, принимаемых съёмочной аппаратурой, составляет от УФ до ИК и радиоволн. Спутники служат для слежения за состоянием флоры и фауны, климата, морских и воздушных течений, разведки полезных ископаемых и т.д. Примером таких аппаратов могут служить спутники серии "Landsat", ИСЗ "AQUA", "AURA" и т.д. Обычно подобные ИСЗ запускают на солнечно-синхронные орбиты.

Космические корабли

Пилотируемые космические аппараты. Примерами являются российские корабли серии "Союз" и американские челноки "Space shuttle".

Космические станции

Долговременные космические корабли. В настоящее время на орбите присутствует только один такой объект - "Международная космическая станция" (МКС).

Метеорологические спутники

Это спутники, предназначенные для передачи данных в целях предсказания погоды, а также для наблюдения климата Земли.

Навигационные спутники

Это спутники, обеспечивающие решение задачи навигации на Земле. В настоящее время глобальными системами навигации является GPS и ГЛОНАСС.

Разведывательные спутники

Это спутник для наблюдения Земли или спутник связи, применяющийся для разведки

Спутники связи

Искусственный спутник Земли, специализированный для ретрансляции радиосигнала между точками на поверхности земли, не имеющими прямой видимости

Микроспутники

Это малые космические аппараты (массой менее 500 кг), разрабатываемые университетами, частными компаниями и даже любителями.

На данном этапе стали весьма востребованными по причине своей относительно низкой стоимости и доступности. Многие университеты США, Европы, Японии запускают свои микроспутники, которые выполняют задачи ДЗЗ, связи между радиолюбителями, отработки новых технологий

Спутники ОАО «ИСС»

Космические аппараты

Низкая круговая орбита

- ▲ МиР (2012 г.)
- ▲ Можаяец (2002 г.)
- ▲ Гонец-Д1 (1992 г.)
- ▲ Радио (1981 г.)
- ▲ Ионосферная станция (1970 г.)
- ▲ Циклон (1967 г.)
- ▲ Юбилейный (2008 г.)
- ▲ Зая (1997 г.)
- ▲ Стрела-3 (1985 г.)
- ▲ Гео-ИК (1981 г.)
- ▲ Стрела-1М (1970 г.)
- ▲ Стрела-2 (1965 г.)
- ▲ Гонец-М (2005 г.)
- ▲ Радио-РОСТО (1994 г.)
- ▲ Надежда (1982 г.)
- ▲ Цикада (1976 г.)
- ▲ Сфера (1968 г.)
- ▲ Стрела-1 (1964 г.)

Средняя круговая орбита

- ▲ Глонасс-К (2011 г.)
- ▲ Глонасс (1982 г.)
- ▲ Глонасс-М (2003 г.)
- ▲ Эталон (1989 г.)

Геостационарная орбита

- ▲ Ямал-300К (2012 г.)
- ▲ Луч-5А (2011 г.)
- ▲ Экспресс-АМ (2003 г.)
- ▲ Экспресс (1994 г.)
- ▲ Экран-М (1987 г.)
- ▲ Горизонт (1978 г.)
- ▲ Луч-5Б (2012 г.)
- ▲ Экспресс-АМ44 (2009 г.)
- ▲ SESAT (2000 г.)
- ▲ Галс (1994 г.)
- ▲ Луч (1985 г.)
- ▲ Экран (1976 г.)
- ▲ AMOS-5 (2011 г.)
- ▲ Экспресс-АМ33 (2008 г.)
- ▲ Экспресс-А (2000 г.)
- ▲ Радуга-1 (1989 г.)
- ▲ Поток (1982 г.)
- ▲ Радуга (1975 г.)

Высокая эллиптическая орбита

- ▲ Молния-3К (2001 г.)
- ▲ Молния-2 (1971 г.)
- ▲ Молния-1Т (1983 г.)
- ▲ Молния-1 (1967 г.)
- ▲ Молния-3 (1974 г.)

Суборбитальная траектория

- ▲ Вертикальный космический зонд (1967 г.)

Назначение

- Связь
- Геодезия
- Навигация
- Ретрансляция
- Телевещание
- Координатометрия
- Научные исследования, эксперименты

Спутники ОАО «ИСС»

Связь



Ямал-300К



AMOS-5



Экспресс-AM44



Экспресс-AM33



Гонец-M



Экспресс-AM



Молния-3К



SESAT



Экспресс-А



Экспресс



Гонец-D1



Радуга-1



Стрেলা-3



Молния-1Т



Горизонт



Радуга



Молния-3



Молния-2



Стрেলা-1М



Циклон



Молния-1

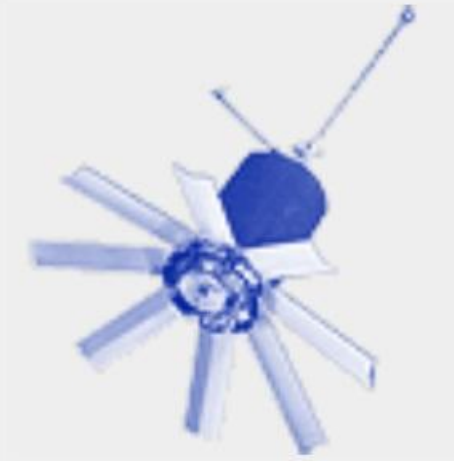


Стрেলা-2

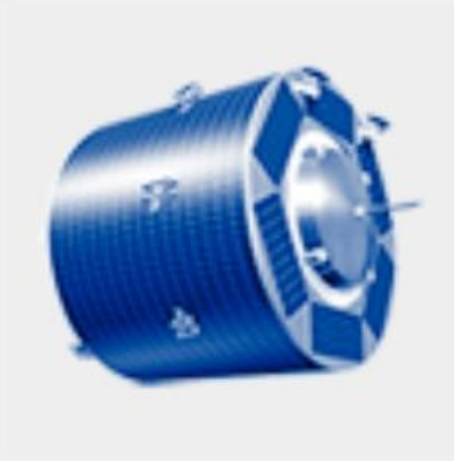


Стрেলা-1

Геодезия



Гео-ИК



Сфера

Спутники ОАО «ИСС»

Навигация



Глонасс-К



Глонасс-М



Глонасс



Надежда



Цикада



Циклон

Спутники ОАО «ИСС»

Ретрансляция



Луч-5Б



Луч-5А



Луч



Поток

Спутники ОАО «ИСС»

Телевещание



Экспресс-AM44



Экспресс-AM33



Экспресс-AM



SESAT



Экспресс-А



Экспресс



Галс



Экран-М



Горизонт



Экран



Молния-3



Молния-2



Молния-1

Спутники ОАО «ИСС»

Координатометрия



Эталон



Надежда

Спутники ОАО «ИСС»

Научные исследования, эксперименты



МиР



Юбилейный



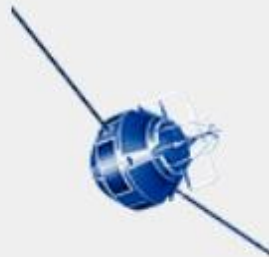
Можаяец



Зея



Радио-РОСТО



Радио



Ионосферная
станция



Вертикальный
космический зонд

Первые спутники

Низкая орбита

Стрела 1

1964год

Электронная почта и навигация



Стрела 2

1965 год

Электронная почта и навигация



Циклон

1967год

Электронная почта и навигация



Сфера

1968 год

Геодезия



Первые спутники

Высокоэллиптическая орбита

Молния 1

1967 год

Телевидение и связь



Молния 2

1971 год

Телевидение и связь



Молния 3

1874 год

Телевидение и связь



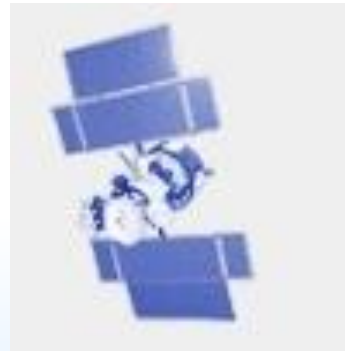
Первые спутники

Геостационарная орбита

Радуга

1975 год

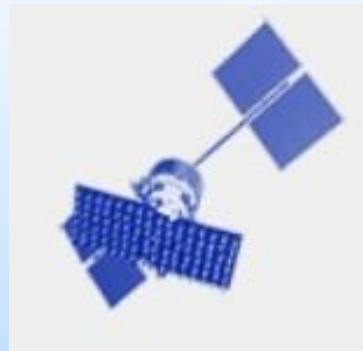
Телевидение и связь



Экран

1976 год

Телевидение и связь



Горизонт

1878 год

Телевидение и связь



Поток

1982

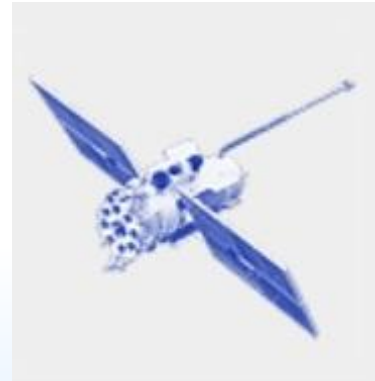
Связь



Первые спутники

Средняя орбита

Глонасс
1982 год
Навигация



Летающие спутники ОАО «ИСС»

Геостационарная



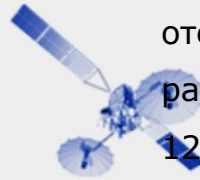
Ямал-300К



Луч-5Б



AMOS-5



Луч-5А



Экспресс-AM44



Экспресс-AM33



Экспресс-AM



SESAT

Средняя круговая



Глонасс-К



Глонасс-М

ОАО «ИСС» созданы и успешно эксплуатировались более 1160 космических аппаратов на орбитах высотой от 500 до 40000 км - это две трети отечественных спутников. В отдельные годы на различных орбитах одновременно работало свыше 120 спутников ОАО «ИСС», которые составляли фундамент национальной орбитальной группировки.

Низкая круговая



Мир



Юбилейный



Гонец-М



Гонец-Д1



Стрела-3




Гейсер



Гео-ИК





**Спасибо за
внимание!**