

**Тема № 1**  
**Электромагнитный**  
**спектр. Связь в**  
**микроволновом и иных**  
**диапазонах. Спутники**  
**связи.**

**#стримеры\_стримят**

# Учебные вопросы

- 1. Электромагнитный спектр.**
- 2. Радиосвязь.**
- 3. Политика распределения частот.**
- 4. Передача в инфракрасном диапазоне.**
- 5. Спутники связи.**

# Электромагнитный спектр

Движение электронов порождает электромагнитные волны, которые могут распространяться в пространстве (даже в вакууме). Это явление было предсказано британским физиком Джеймсом Клерком Максвеллом ( James Clerk Maxwell) в 1865 году. Первый эксперимент, при котором их можно было наблюдать, поставил немецкий физик Генрих Герц (Heinrich Hertz) в 1887 году.

Число электромагнитных колебаний в секунду называется **частотой**,  $f$ , и измеряется в герцах (в честь Генриха Герца). Расстояние между двумя последовательными максимумами (или минимумами) называется **длиной волны**. Эта величина традиционно обозначается греческой буквой  $\lambda$  (лямбда).

В вакууме все электромагнитные волны распространяются с одной и той же скоростью, независимо от их частоты. Эта скорость называется **скоростью света,  $c$** . Ее величина приблизительно равна 300 тыс. км/с.

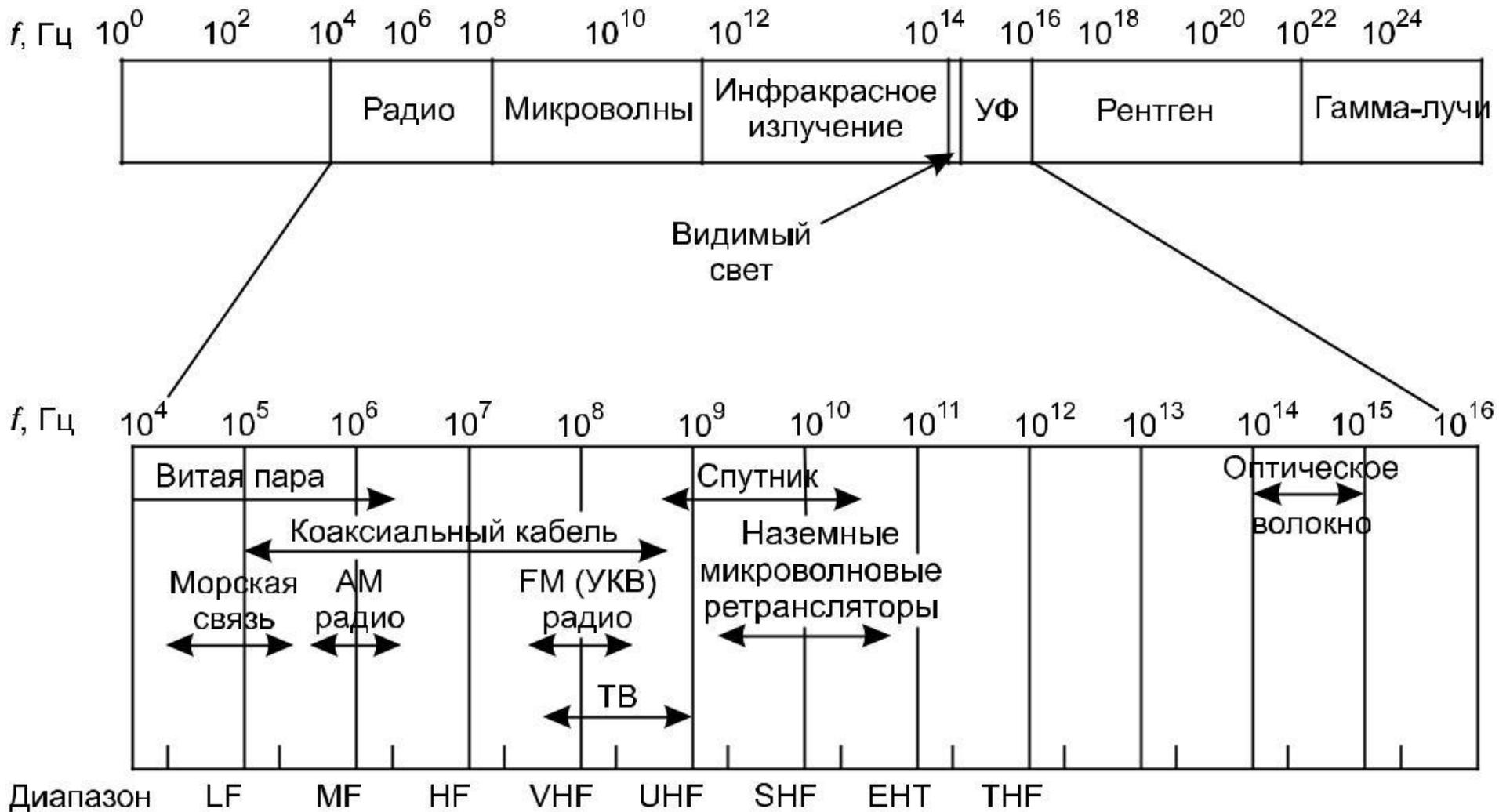
Величины  $f, \lambda, c$  связаны следующим соотношением

$$f, \lambda, c$$

Поскольку  $c$  является константой, то, зная  $f$ , мы можем определить  $\lambda$ , и наоборот.

Например, волны с частотой 100 МГц имеют длину волны около трех метров, 1000 МГц соответствует 0,3 м, а длине волны 0,1 м соответствует частота 3000 МГц.

# Диапазоны в соответствии с рекомендациями ITU (International Telecommunication Union)



Сокращения LF, MF и HF обозначают Low Frequency (низкая частота), Medium Frequency (средняя частота) и High Frequency (высокая частота) соответственно.

При назначении диапазонам названий никто не предполагал, что будут использоваться частоты выше 10 МГц, поэтому более высокие диапазоны получили названия VHF (very high frequency — очень высокая частота), UHF (ultrahigh frequency — ультравысокая частота, УВЧ), SHF (superhigh frequency — сверхвысокая частота, СВЧ) и пр.

Справочно.

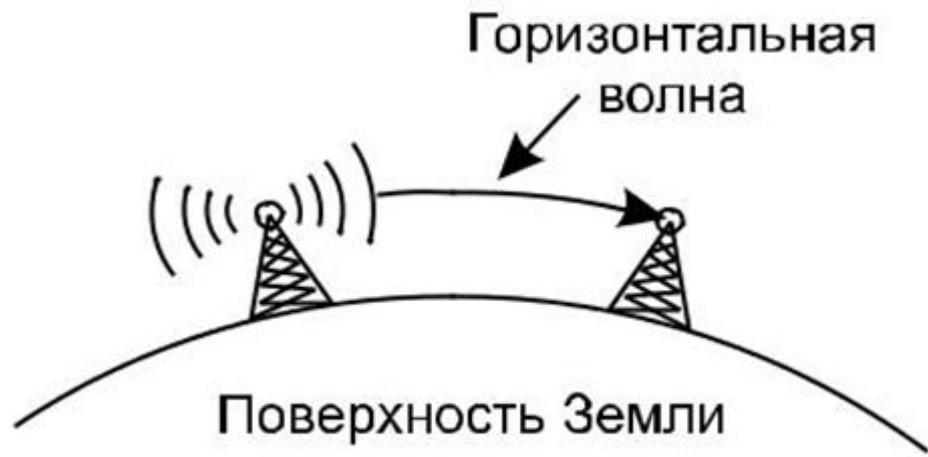
THF (Tremendously High Frequency —  
ужасно высокая частота)

# Радиосвязь

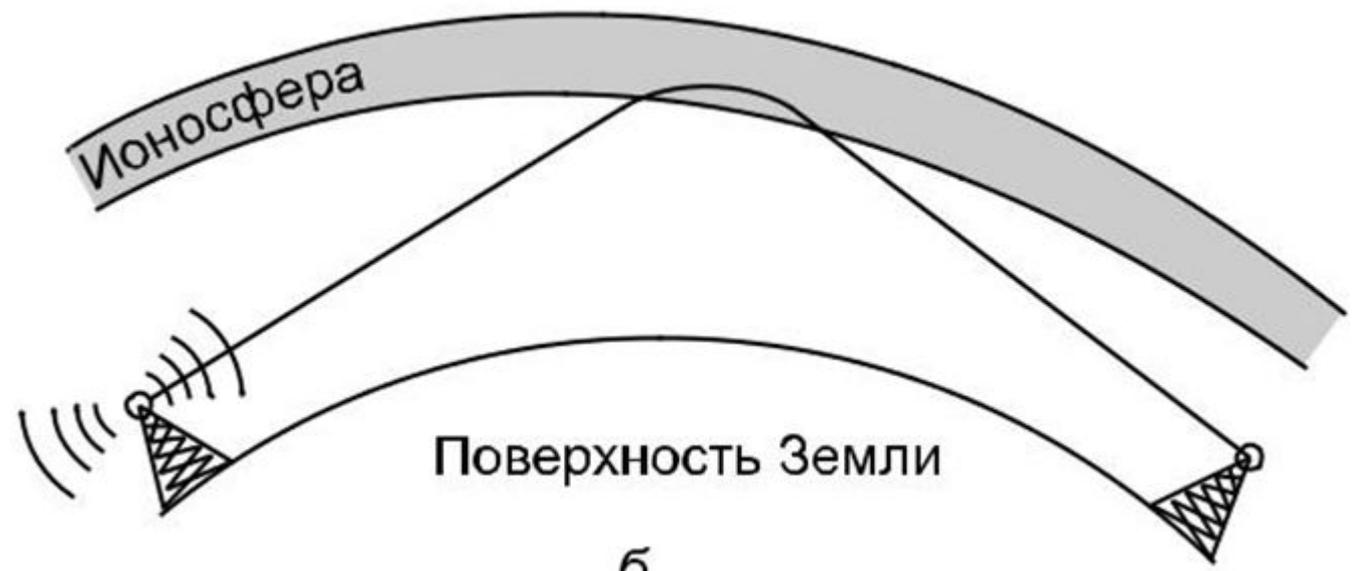
Свойства радиоволн зависят от частоты. При работе на низких частотах радиоволны хорошо проходят сквозь препятствия, однако мощность сигнала в воздухе резко падает по мере удаления от передатчика.

Например, для витой пары это 20 дБ на каждые 100 м. Радиосигнал же ослабевает пропорционально квадрату расстояния, например, 6 дБ при удвоении расстояния в свободном пространстве.

В диапазонах VHF, LF и MF радиоволны огибают поверхность земли. Эти волны можно поймать радиоприемником на расстоянии около 1000 км, если используются низкие частоты, и на несколько меньших расстояниях, если частоты повыше.



а



б

Радиоволны диапазонов HF и VHF поглощаются землей. Однако те из них, которые доходят до ионосферы, представляющей собой слой заряженных частиц, расположенный на высоте от 100 до 500 км, отражаются ею и посылаются обратно к поверхности Земли, как показано на рис. б. При определенных атмосферных условиях сигнал может отразиться несколько раз

Радиоволны диапазонов HF и VHF поглощаются землей. Однако те из них, которые доходят до ионосферы, представляющей собой слой заряженных частиц, расположенный на высоте от 100 до 500 км, отражаются ею и посылаются обратно к поверхности Земли, как показано на рис. б. При определенных атмосферных условиях сигнал может отразиться несколько раз

# Политика распределения частот

Для предотвращения нарушений при использовании частот существуют определенные национальные и международные соглашения, касающиеся политики их распределения.

Международное агентство ИТУ-Р (WRC) координирует действия различных структур, чтобы можно было производить устройства, способные работать в любой точке планеты. Тем не менее **рекомендации ИТУ-Р не являются обязательными** для исполнения

Так, например, Федеральная комиссия по связи, FCC (Federal Communication Commision), занимающаяся раздачей частотных диапазонов в США, иногда пренебрегает этими рекомендациями — чаще всего из-за соответствующей убедительной просьбы какой-нибудь влиятельной организации.

В настоящее время применяют три алгоритма:

- конкурс инженерных записок;
- аукцион;
- лотерея.

Первый из них, подразумевает подробные объяснения претендентов, доказывающие, что именно предлагаемый ими сервис лучше всего отвечает интересам общественности. После этого специальная комиссия определяет победителя.

Справочно.

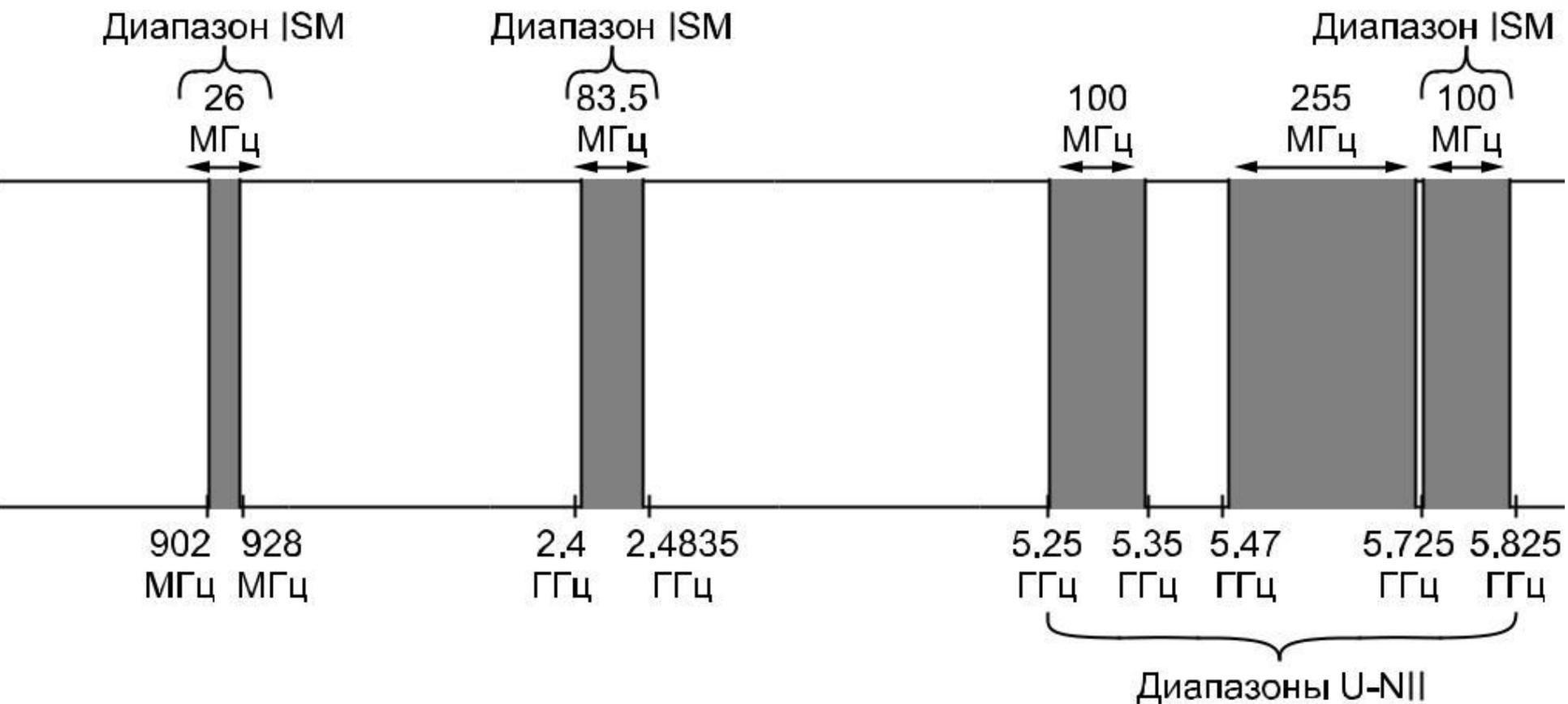
Когда в 2000 году Британское правительство проводило аукцион между операторами мобильной связи третьего поколения, ожидаемая сумма доходов составляла 4 млрд долларов. В итоге она достигла 40 млрд.

Совершенно другим подходом является следующий: вообще не распределять частоты. Пусть каждый работает на той частоте, которая ему больше нравится, но следит за мощностью своих передатчиков: она не должна быть такой, чтобы сигналы накладывались друг на друга.

В соответствии с этим принципом, было решено выделить несколько частотных диапазонов, называемых **ISM** (Industrial, Scientific, Medical, то есть промышленные, научные, медицинские). Для работы в этих диапазонах не требуется специальной лицензии.

Домашние радиотелефоны, беспроводные мыши и многие-многие другие устройства работают на ISM. Для уменьшения интерференции между независимыми устройствами им предписывается комиссией FCC ограничивать излучаемую мощность (например, до одного ватта) и применять другие техники.

Возможность свободно использовать спектр частот породила огромное количество инноваций в области беспроводных локальных и частных сетей, в частности дала толчок развитию технологий 802.11 и Bluetooth (данные технологии используют диапазон частот 2,4 ГГц).



Диапазоны ISM и U-NII, используемые в США беспроводными устройствами

# **Передача в инфракрасном диапазоне**

Инфракрасное излучение без  
использования кабеля широко  
применяется для связи на небольших  
расстояниях. Дистанционные пульты  
управления для телевизоров,  
видеомагнитофонов и  
стереоаппаратуры используют  
инфракрасное излучение.

Они относительно направленные, дешевые и легко устанавливаемые, но имеют один важный недостаток: инфракрасное излучение не проходит сквозь твердые объекты (попробуйте встать между телевизором и пультом).

С другой стороны, тот факт, что инфракрасные волны не проходят сквозь стены, является также и положительным. Ведь это означает, что инфракрасная система в одной части здания не будет интерферировать с подобной системой в соседней комнате, — вы, к счастью, не сможете управлять со своего пульта телевизором соседа.

Связь в инфракрасном диапазоне применяется в настольных вычислительных системах (например, для связи ноутбуков с принтерами, поддерживающими стандарт IrDA (Infrared Data Association, ассоциация инфракрасной передачи данных)), но все же не играет значимой роли в телекоммуникации.

Связь в инфракрасном диапазоне применяется в настольных вычислительных системах (например, для связи ноутбуков с принтерами, поддерживающими стандарт IrDA (Infrared Data Association, ассоциация инфракрасной передачи данных)), но все же не играет значимой роли в телекоммуникации.

# **Связь в видимом диапазоне**

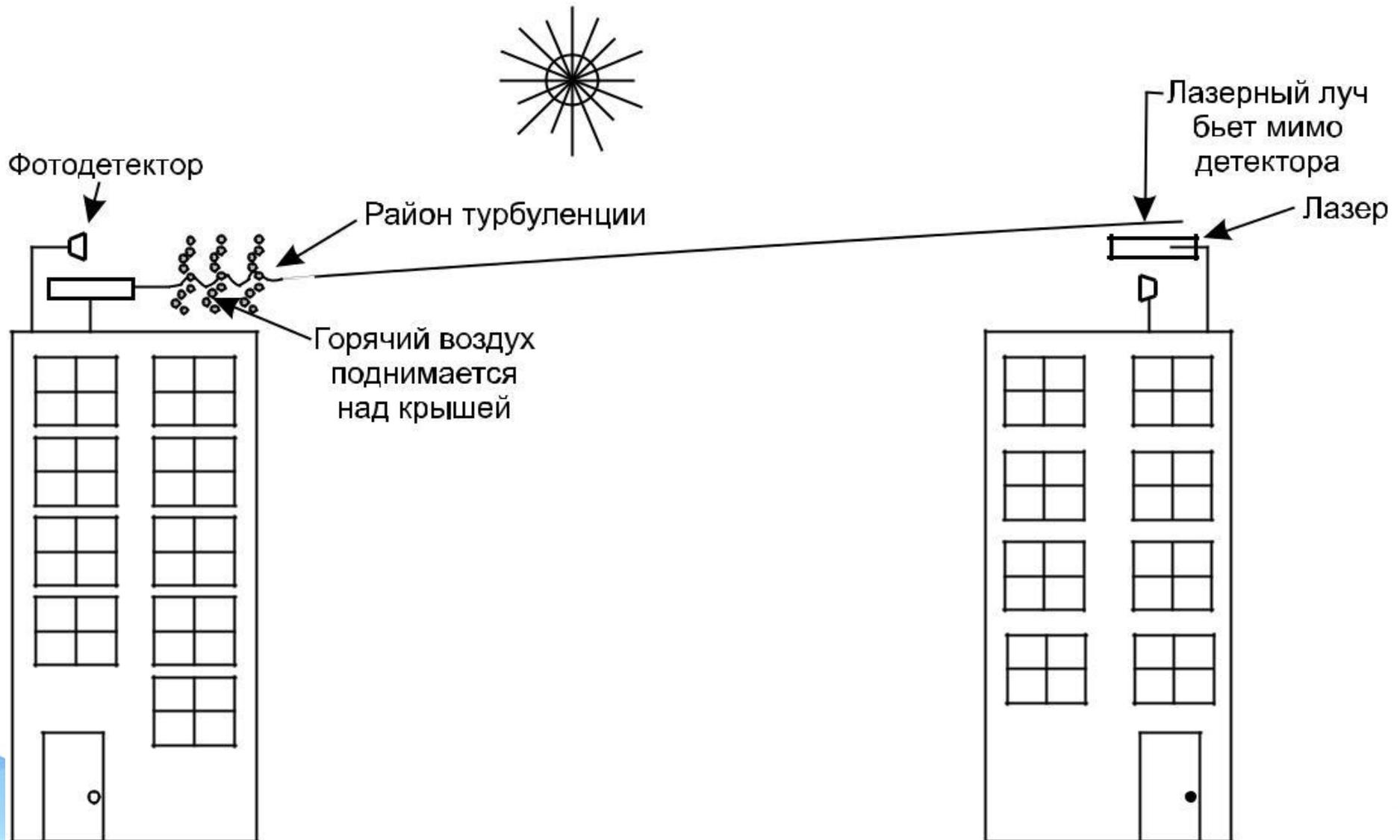
Оптическая связь с помощью лазера является сугубо однонаправленной, поэтому для двусторонней связи необходимо на каждой стороне установить по лазеру и по фотодетектору.

Такая технология позволяет организовать при очень низкой цене связь с очень хорошей пропускной способностью и относительно высокой безопасностью, так как перехватить узкий лазерный луч очень сложно.

Сила и узкий луч являются сильными сторонами лазера, однако они создают и некоторые проблемы. Чтобы попасть миллиметровым лучом в мишень диаметром 1 мм на расстоянии 500 м, требуется снайперское искусство высочайшей пробы. Обычно на лазеры устанавливаются линзы для небольшой расфокусировки луча.

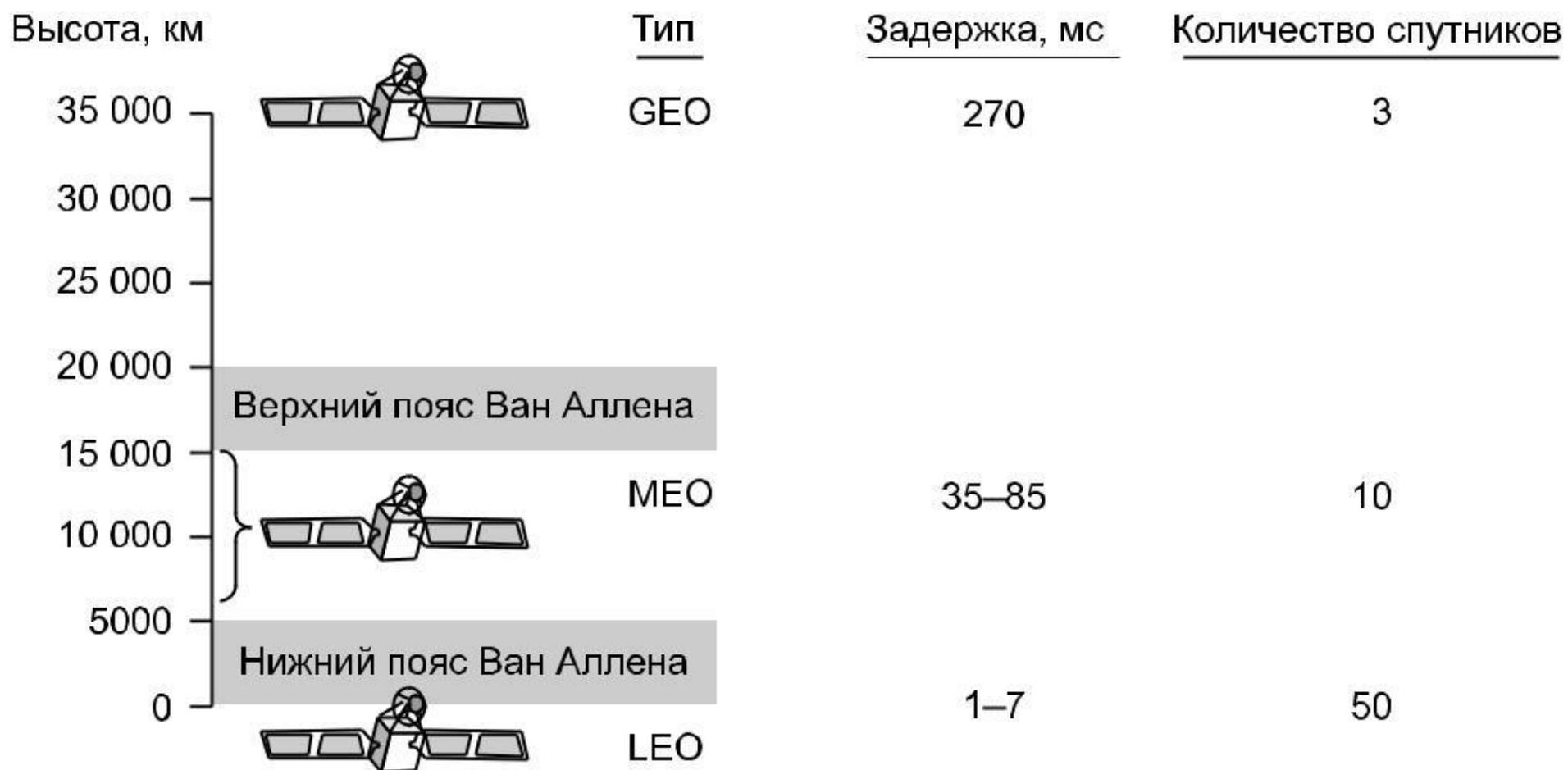
Чтобы еще усложнить задачу, ветер и температурные изменения способны искажать луч. Кроме того, лазерные лучи не способны проходить сквозь дождь или густой туман, хотя в солнечные ясные дни они работают прекрасно. Однако многие из этих факторов теряют всякую значимость, когда речь заходит о передаче данных между двумя космическими станциями.

# Конвекционные потоки мешают работать лазерной системе связи



# **СПУТНИКИ СВЯЗИ**

# Спутники связи и их свойства



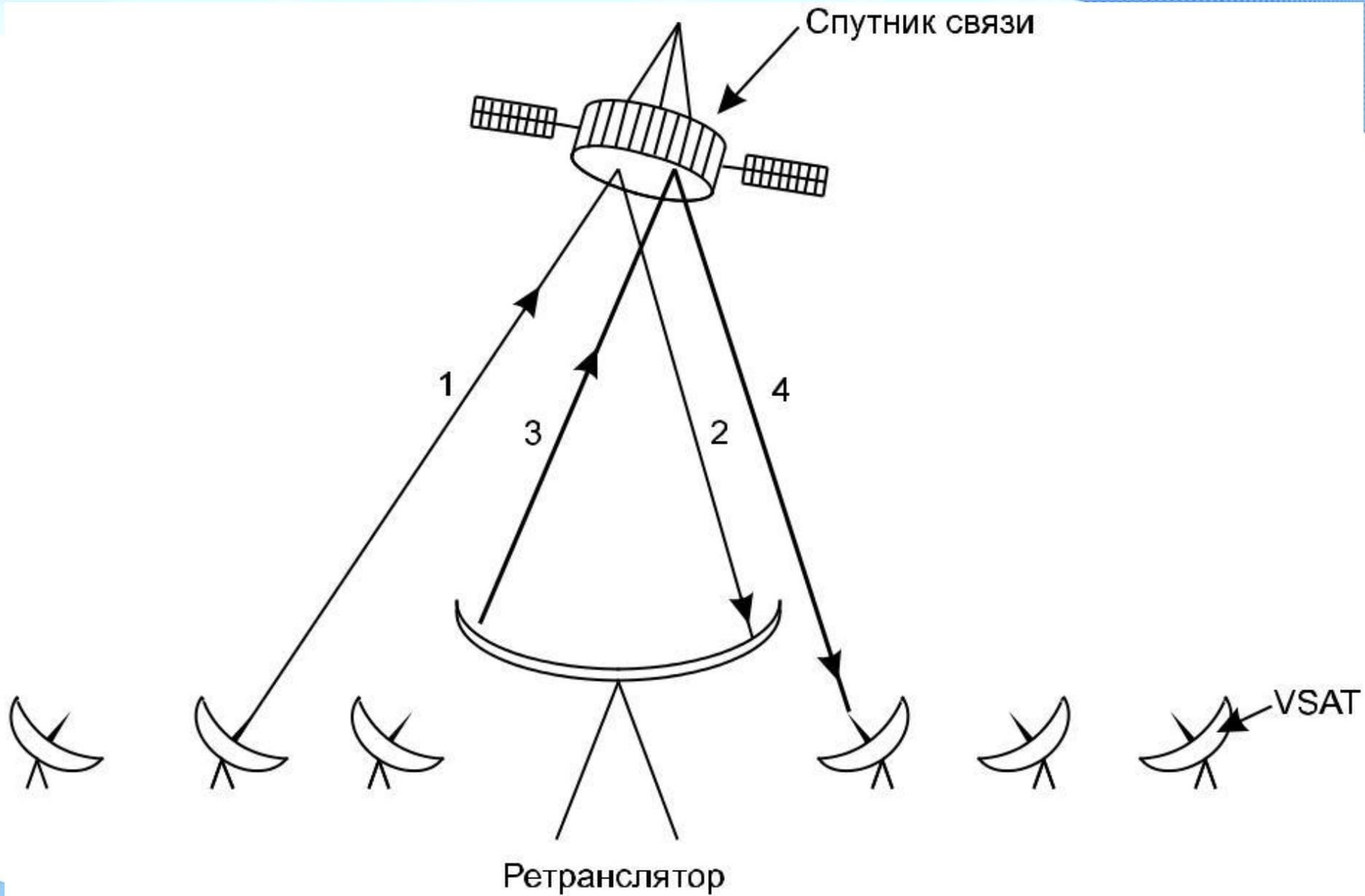
Необходимо принимать во внимание так называемые пояса Ван Аллена (Van Allen belts) — области скопления частиц с большим зарядом, находящихся в зоне действия магнитного поля Земли. Любой спутник, попав в такой пояс, довольно быстро будет уничтожен этими частицами.

Про спутники, вращающиеся на большой высоте, говорят, что они расположены на **геостационарной орбите** (GEO, Geostationary Earth Orbit).

На гораздо более низких высотах, нежели геостационарные спутники (между двумя поясами Ван Аллена) располагаются **средневысотные спутники (MEO, Medium-Earth Orbit Satellites)**.

На низких высотах располагаются **низкоорбитальные спутники (LEO, Low-Earth Orbit Satellites)**.

Новым витком развития спутников связи стало создание недорогих терминалов со сверхмалой апертурой — **VSAT** (Very Small Aperture Terminal). У этих небольших станций имеется антенна диаметром всего один метр (GEO-спутники - 10-метровая антенна), их выходная мощность составляет примерно 1 Вт. Скорость работы в направлении Земля — спутник обычно составляет до 1 Мбит/с, зато связь спутник — Земля можно поддерживать до нескольких мегабит в секунду.



В 1990 году фирма Motorola совершила большой прорыв в этой области, попросив FCC разрешить ей запустить 77 спутников связи для нового проекта **Iridium** (77-м элементом таблицы Менделеева является Иридиум).

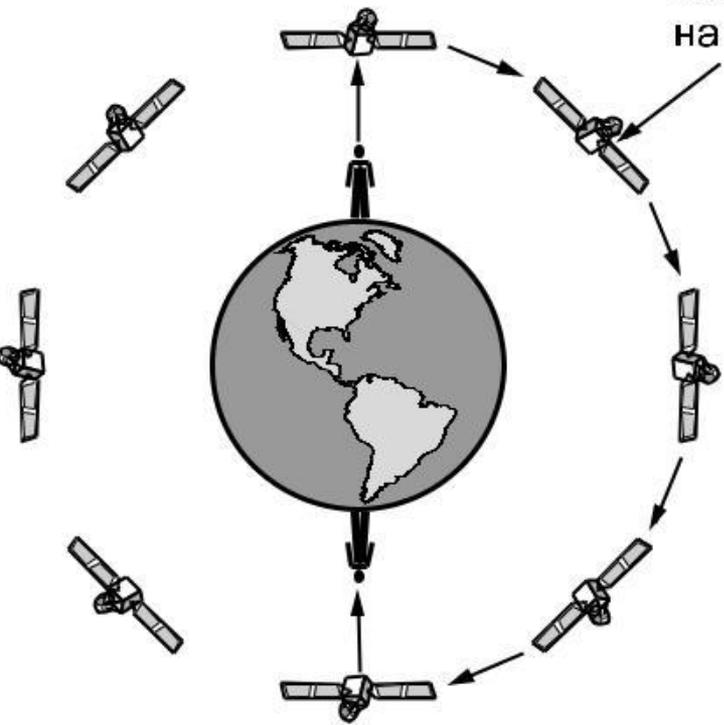


У каждого спутника  
четыре соседа

Альтернативой проекту Iridium является система **Globalstar**. Она построена на 48 низкоорбитальных спутниках, но имеет иную схему ретрансляции сигналов. Если Iridium в качестве маршрутизаторов используются сами спутники, передающие по цепочке сигнал (что требует наличия на них довольно сложного оборудования), то Globalstar применяется обычный принцип «узкой трубы».

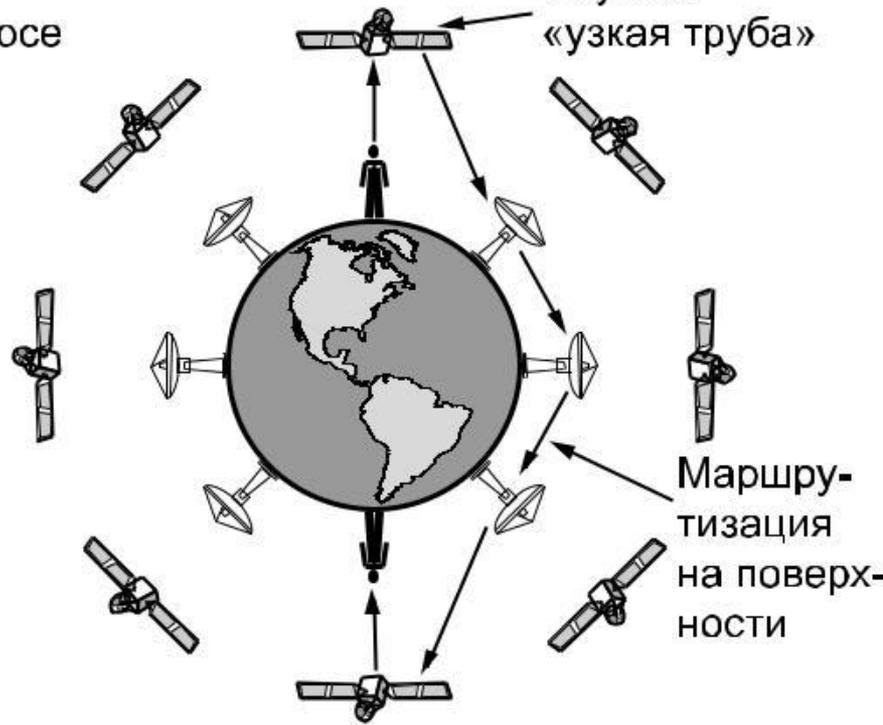


Маршрутизация  
на спутнике в космосе



*a*

Спутник  
«узкая труба»



*б*