

**ТЕМА 2**

**ОСНОВЫ РАДИОСВЯЗИ**

**ЗАНЯТИЕ 1**

**ОСНОВЫ РАДИОПЕРЕДАЧИ И РАДИОПРИЕМА**

**УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1. Общие принципы радиосвязи.**
- 2. Основные характеристики и свойства радиоволн.**
- 3. Распространение радиоволн.**

# 1. Общие принципы радиосвязи

## Основные понятия

**Связь** - процесс обмена информацией между источником и получателем.

**Информация** - совокупность сведений о событии или состоянии объекта, выраженная в виде приказов, распоряжений, команд, донесений.

**Сообщение** – информация, предназначенная для передачи и представленная в определенной форме (речь, текст, изображение). Сообщения представляют собой последовательность или процесс во времени и могут быть непрерывными (звуковые колебания перед микрофоном) или дискретными (телеграфный текст).

Всякое сообщение для передачи по каналу связи должно быть преобразовано в сигнал. **Сигналом** называется изменяющаяся физическая величина (ток, напряжение, электромагнитное поле), отображающая передаваемое сообщение.

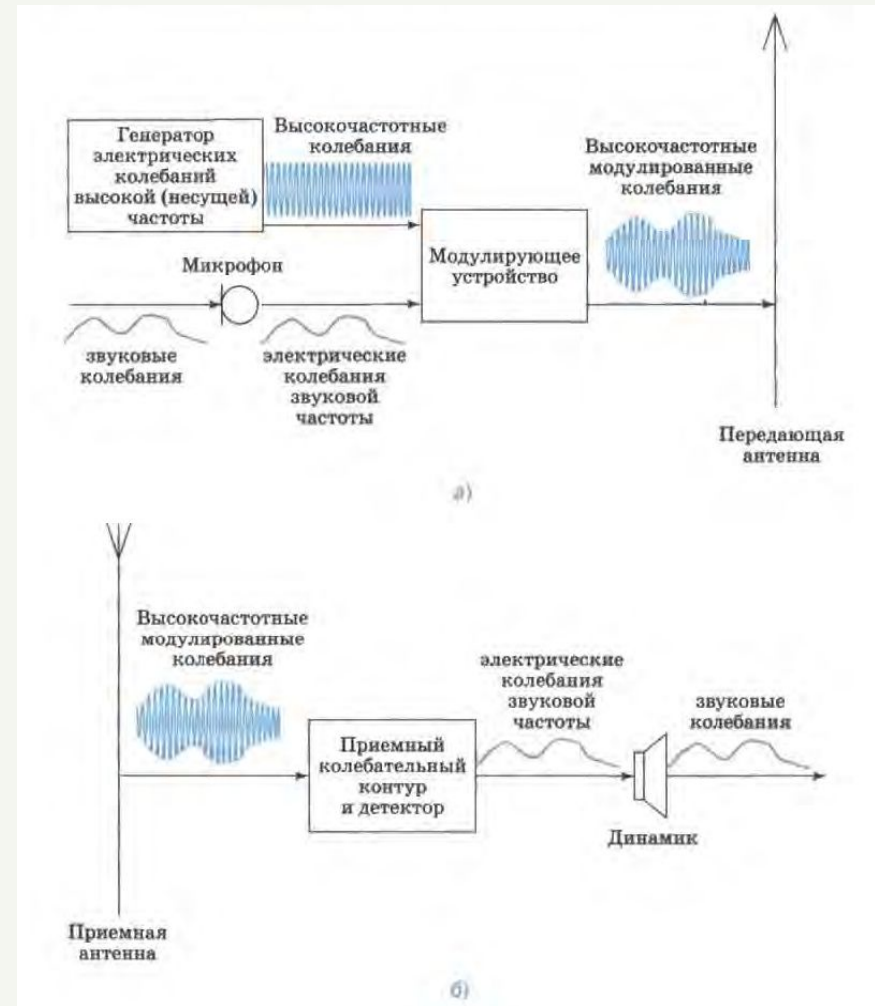
**Первичный электрический сигнал** носит низкочастотный характер. Он может быть непосредственно передан по проводным линиям связи, но не может эффективно излучаться в среду распространения радиоволн.

Это объясняется тем, что для эффективного излучения в пространство геометрические размеры передающих антенн должны быть соизмеримы с длиной волны сигнала. Очевидно, что для низкочастотных сигналов потребовалось бы создать антенны с геометрическими размерами в десятки километров.

Следовательно, для передачи по радио первичный сигнал должен быть преобразован в высокочастотный сигнал. Но непрерывные ВЧ гармонические колебания с постоянной амплитудой, частотой и начальной фазой не содержат никакого сообщения, кроме указания на то, что работает передатчик.

Для передачи сообщения необходимо изменять параметр ВЧГК в соответствии с передаваемым сообщением (модулировать).

Чтобы услышать модулированные сигналы, то необходимо детектировать (демодулировать), т. е. выделить низкочастотные колебания.



***В итоге принцип радиосвязи можно сформулировать следующим образом:***

В основе функционирования радиолиний любого назначения лежит свободное распространение электромагнитных волн.

Радиоволны возбуждаются в окружающем пространстве передающими антеннами, к которым от передатчика подводятся токи высокой частоты, несущие благодаря модуляции предназначенную для передачи информацию.

Распространяясь с конечной скоростью вдоль трассы, радиоволны достигают приемной антенны, в которой под их воздействием наводятся высокочастотные токи, несущие информацию.

Эти токи от антенны поступают на вход приемника, где после усиления и преобразования выделяется принятая информация.

Таким образом, любая радиолиния включает в себя

- **приемопередающую аппаратуру,**
- **приемные и передающие антенны,**
- **пространство между ними, называемое средой распространения радиоволн (РРВ).**

Передатчик и приемник

являются управляемыми элементами радиолинии, так как можно  
увеличить мощность передатчика,  
подключить более эффективную антенну  
и увеличить чувствительность приемника.

Среда является неуправляемым элементом радиолинии.

## 2. Основные характеристики и свойства радиоволн

Радиоволнами называют часть диапазона электромагнитных волн.

Электромагнитные волны представляют собой распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле и в зависимости от частоты колебаний носят разные названия: инфразвуковое, оптическое (инфракрасное и ультрафиолетовое) излучение, видимый свет, рентгеновские лучи.



Явление возбуждения высокочастотным током совокупности электрического (E) и магнитного (H) полей, распространяющихся в пространстве со скоростью света ( $V \approx 300000$  км/с), принято называть излучением электромагнитных волн.

***Способы получения электромагнитных волн различны.  
Так, радиоволны создаются при прохождении по проводнику  
высокочастотного электрического тока.***

Если ток в проводнике (антенне) изменяется периодически по синусоидальному закону, то в пространстве образуется движущееся электромагнитное поле с периодическим повторением во времени значений напряженности электрического и магнитного полей.

Переменное электрическое поле, вызванное протеканием тока в проводнике, порождает переменное магнитное поле; т.е. антенна, возбуждившее одно из полей, вызывает появление единого электромагнитного поля.

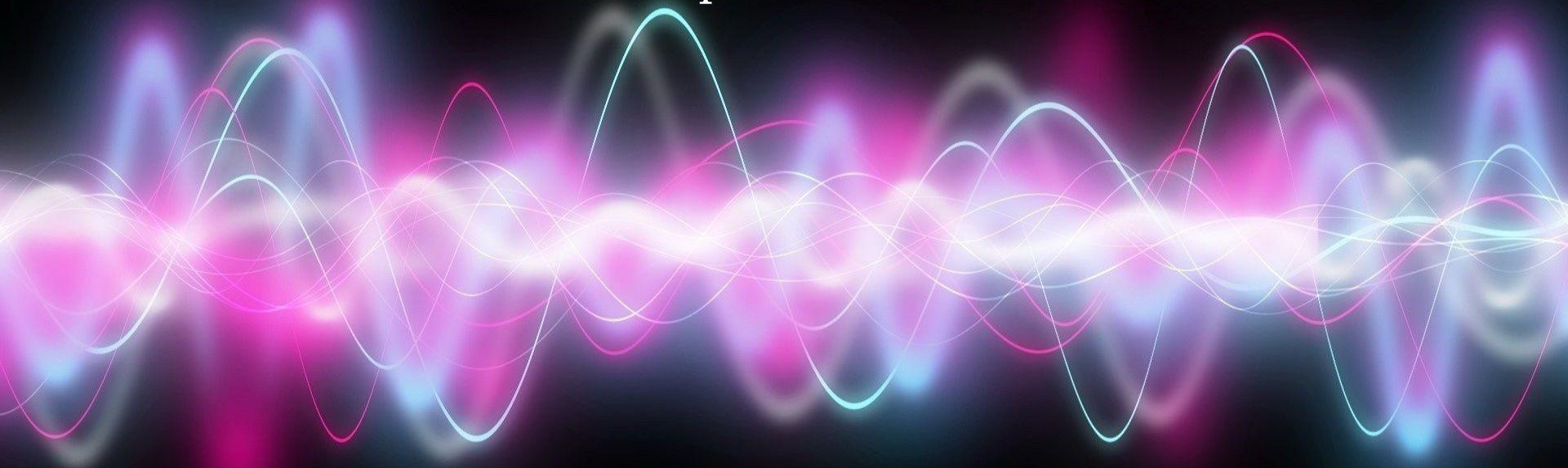
ЭМП, возникшее в некоторой области пространства, не заполняет его мгновенно, а перемещается в нем радиально во все стороны с конечной скоростью, зависящей от свойств среды.

ЭМП возбуждается зарядами и токами. Возникнув, ЭМП существует и тогда, когда породивших ее токов и зарядов уже нет.

Потерявшее связь со своим источником перемещающееся в пространстве электромагнитное поле и является электромагнитной волной.

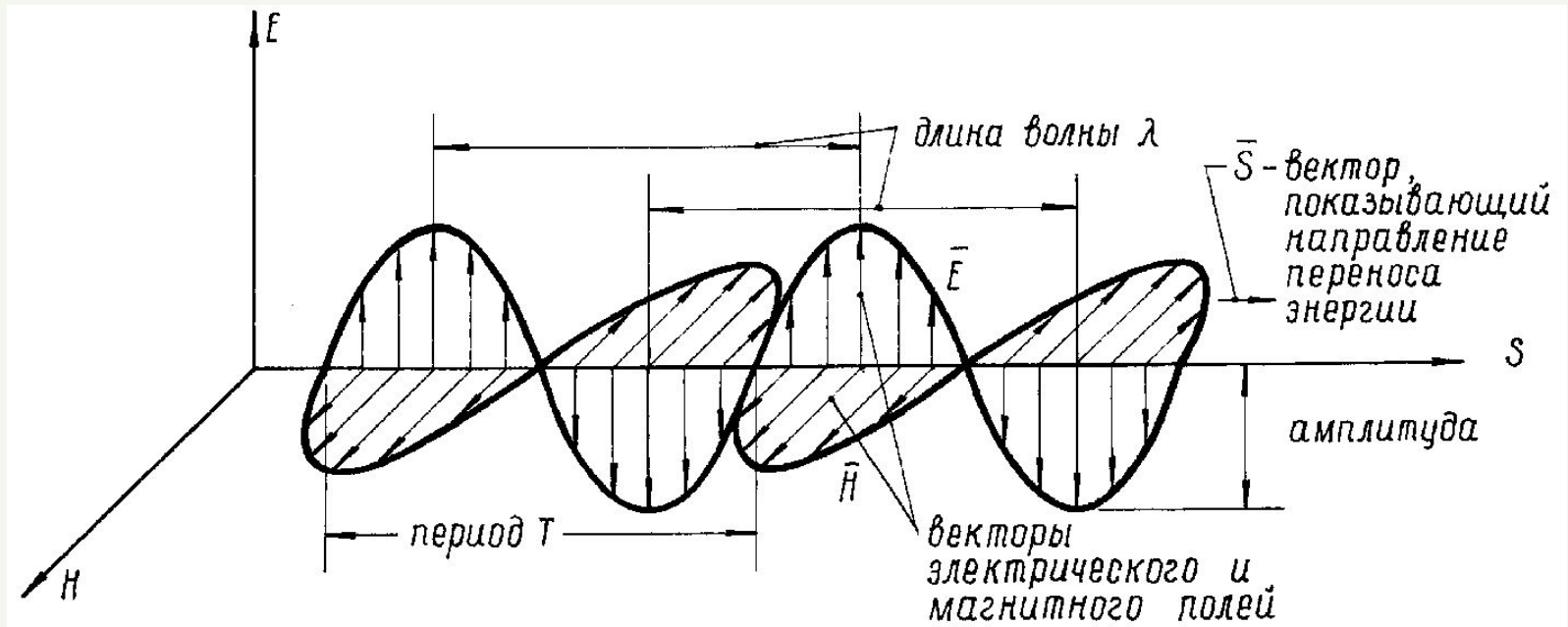


Электромагнитные волны – это совокупность взаимосвязанных быстроизменяющихся во времени электрического и магнитного полей, распространяющихся в окружающем пространстве со скоростью света.



Радиоволны – это электромагнитные волны, свободно распространяющиеся в пространстве и имеющие частоту от 3кГц до 3 ТГц ( $3 \times 10^3 \dots 3 \times 10^{12}$  Гц)

## Основные характеристики радиоволн



**период  $T$**

**амплитуда**

**фаза**

**длина волны  $\lambda$**

**частота  $f$**

- время одного полного колебания
- максимальное значение тока (напряженности поля)
- величина, характеризующая состояние колебательного процесса в любой момент времени
- расстояние, на которое распространяется волна за время одного периода колебания;
- количество полных колебаний в течение одной секунды

Длина волны  $\lambda$ , частота  $f$ , период колебаний  $T$  и скорость распространения  $V$  связаны соотношениями:

$$f = 1 / T; \quad T = \lambda / V ;$$

$$\lambda_{(м)} = V_{(м/с)} / f_{(Гц)}$$

Так как в свободном пространстве скорость распространения ЭМВ равна скорости света ( $v = c = 3 \times 10^8$  м/с), то формула будет иметь вид:

$$\lambda_{(м)} = 300 / f_{(МГц)}$$

$$f_{(МГц)} = 300 / \lambda_{(м)}$$

# **Физические свойства радиоволн.**

*Среда, в которой распространяются радиоволны, вызывает ряд явлений, которые принято называть свойствами радиоволн:*

- **затухание** – уменьшение энергии радиоволны по мере удаления от источника излучения;
- **отражение** от границ двух сред, которые имеют различные свойства (влажность, температура, плотность);
- **преломление** при переходе через границу между двумя различными средами;
- **рефракция** - искривление траектории радиоволны в неоднородной среде;
- **дифракция** – явление частичного огибания препятствий, встречающихся на пути распространения волны;
- **интерференция** – наложение волн, при котором их сила может усиливаться или ослабляться.

## ***Пояснения к некоторым свойствам***

Распространяющаяся радиоволна сопровождается переносом энергии, заключенной в электрическом поле.

По мере продвижения радиоволны от места возбуждения переносимая ею энергия постепенно **затухает**: часть ее поглощается средой (превращается в тепло), а часть рассеивается в пространстве.

***Затухание радиоволны*** ограничивает дальность радиопередач. Однако если бы с увеличением расстояния волна не затухала, то было бы невозможно работать даже несколькими радиостанциями на одинаковых частотах, как далеко друг от друга они не находились.

**Дифракцией** радиоволн называется способность их огибать **препятствия** – кривизну и неровности земной поверхности (горы, холмы, леса, строения).

Явление дифракции наблюдается, когда размеры препятствия на пути волны соизмеримы с длиной волны.

Чем длиннее волна, тем лучше она дифрагирует вдоль поверхности Земли.

Дифракция наиболее заметна на длинных волнах, уменьшается с их укорочением и практически отсутствует у волн короче 1 м.

***Если длина волны больше размеров препятствия,  
то радиоволна свободно обходит его.***

***Если длина волны меньше размеров препятствия,  
то оно становится преградой на пути волны  
(т. е. радиоволна поглощается или отражается  
препятствием).***

**Интерференция** радиоволн представляет собой сложное взаимодействие волн, приходящих в точку приема различными путями (наложение земных и пространственных волн, прямых и отраженных и т. д.).

В результате этого явления напряженности полей взаимодействующих волн складываются или вычитываются в зависимости от совпадения или несовпадения их фаз.

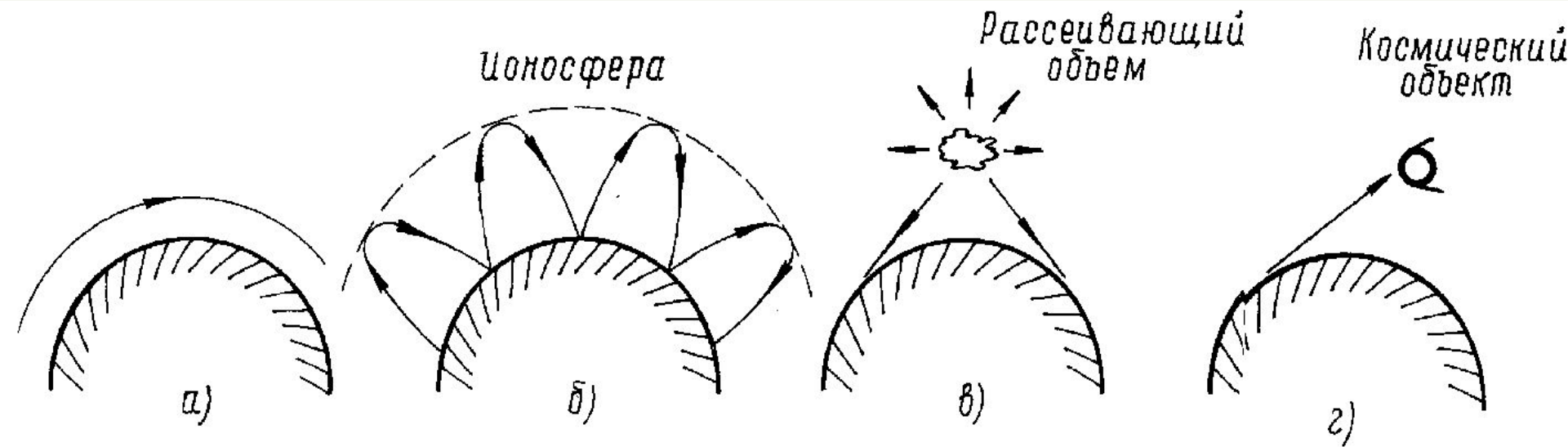
Результирующая напряженность поля в то же время может оказаться больше или меньше напряженности каждой из слагаемых волн.

### 3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Радиоволны в зависимости от условий распространения делятся на **прямые, тропосферные, земные (поверхностные), ионосферные (пространственные).**

- **Земные** – радиоволны, которые распространяются в непосредственной близости от поверхности земли и частично огибают ее поверхность.
- **Ионосферные** – радиоволны, распространяющиеся путем последовательного отражения от верхних слоев атмосферы (ионосферы) и от земной поверхности (КВ радиосвязь).
- **Тропосферные** – радиоволны, которые распространяются в приземной области атмосферы (на высоте 8-18 км), рассеиваются и искривляются на ее неоднородностях (тропосферная УКВ радиосвязь).
- **Прямые** – радиоволны, которые распространяются в свободном пространстве, в частности, в космосе (космическая связь с использованием спутников-ретрансляторов).





Механизмы распространения радиоволн:  
 а – земной; б – ионосферной; в – рассеянной; г – прямой

# Классификация диапазонов радиочастот и радиоволн

№ диап.	Диапазон волн		Диапазон частот	
	Условное наименование	Границы дли волн	Границы частот	Условное наименование
4	Мириаметровые, или сверхдлинные (СДВ)	100-10 км	3-30 кГц	Очень низкие (ОНЧ)
5	Километровые, или длинные (ДВ)	10-1 км	30-300 кГц	Низкие (НЧ)
6	Гектометровые, или средние (СВ)	1-0,1 км	0,3-3МГц	Средние (СЧ)
7	<b>Декаметровые, или короткие (КВ)</b>	<b>100-10 м</b>	<b>3-30 МГц</b>	<b>Высокие (ВЧ)</b>
8	<b>Метровые (МВ) или ультракороткие (УКВ)</b>	<b>10-1 м</b>	<b>30-300 МГц</b>	<b>Очень высокие (ОВЧ)</b>
9	Дециметровые (ДМВ)	10-1 дм	0,3-3 ГГц	Ультравысокие (УВЧ)
10	Сантиметровые (СМВ)	10-1 см	3-30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)
11	Миллиметровые (ММВ)	10-1мм	30-300 ГГц	Крайне высокие (КВЧ)
12	Децимиллиметровые (ДММВ)	1-0,1 мм	0,3-3ТГц	Гипервысокие (ГВЧ)

# Электрические свойства атмосферы и ее влияние на распространение радиоволн

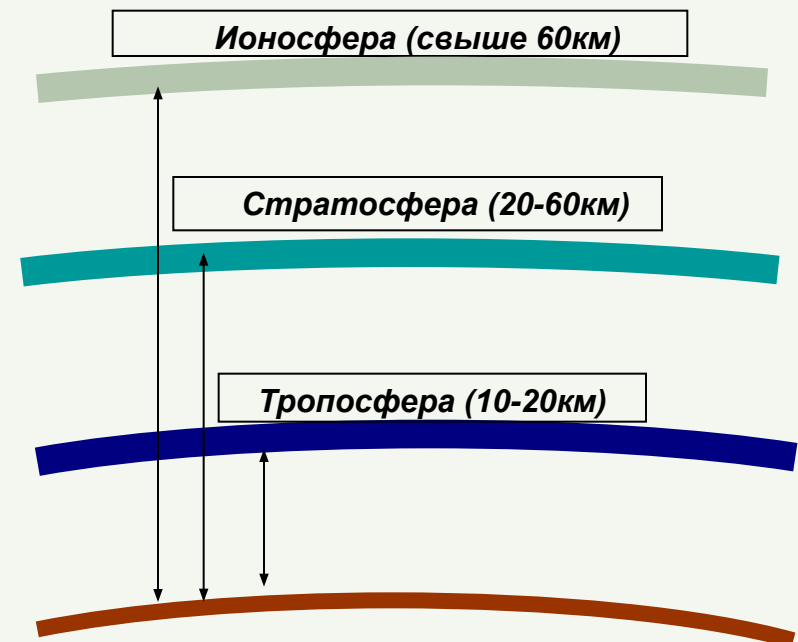
- Атмосферой называется газовая оболочка земли.
- Земная атмосфера, состоящая из воздуха и влаги, является основной средой, где распространяются радиоволны.
  - Состав атмосферы неоднороден.

## Атмосфера делится на три части (слоя):

- Верхний слой атмосферы на высотах свыше 60км называют **ионосферой**.

- Слой атмосферы на высотах 20-60км называют **стратосферой**.

- Нижнюю часть атмосферы до высот 10-20км называют **тропосферой**.



**Тропосферой** называется приземный слой толщиной 10 – 15 км. Она состоит из воздуха и водяных паров. Проводимость воздуха очень мала, поэтому радиоволны длиннее 30 см практически не испытывают поглощения. Более короткие волны поглощаются в капельках воды. Коэффициент преломления тропосферы убывает с увеличением высоты, что приводит к искривлению траектории радиоволны, т.е. к рефракции, особенно заметной в диапазоне УКВ. В тропосфере имеются и локальные неоднородности, способные рассеивать радиоволны диапазона УКВ. На этом основана работа тропосферных линий связи.

Тропосфера постепенно переходит в **стратосферу**, простирающуюся до высот 50 – 60 км. Воздух в этом слое достаточно сильно разрежен и состоит в основном из нейтральных молекул. Поэтому стратосфера существенного влияния на распространение радиоволн не оказывает.

**Ионосфера** находится на высотах примерно от 60 – 80 до 400 – 600 км и состоит в основном из заряженных частиц. Наличие свободных электрических зарядов обуславливает отражение от ионосферы радиоволн длиннее 10 м. В ионосфере имеется несколько регулярных слоев (максимумов ионизации), которых обозначают символами ***D, E, F***. Ионизированные слои воздуха оказывают сильное влияние на распространение радиоволн.

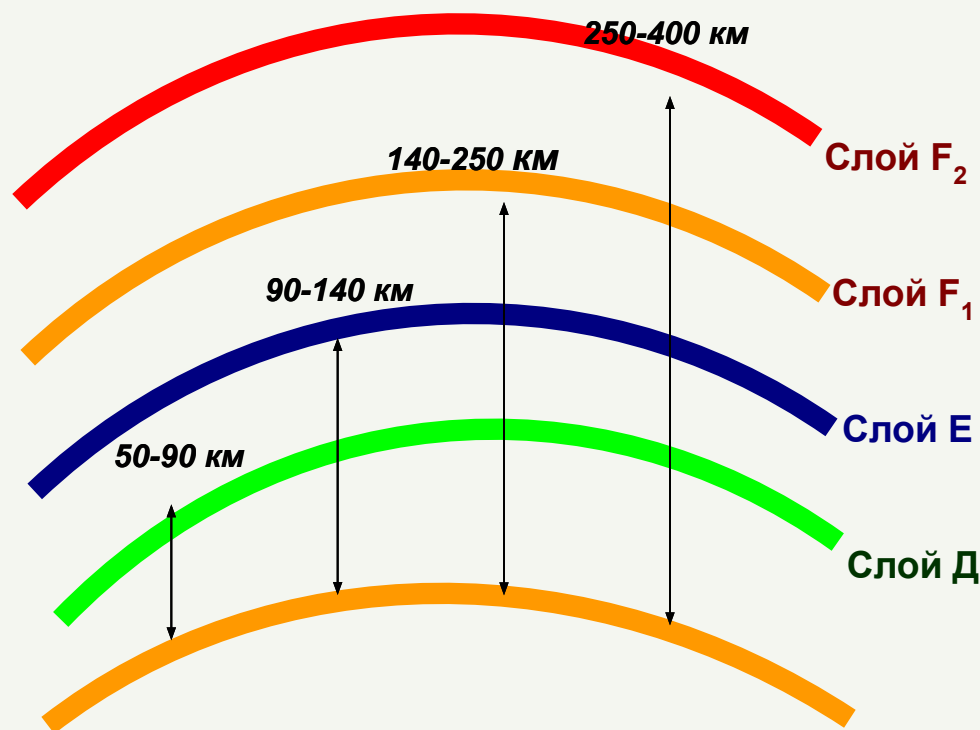
Ближе всего к поверхности земли на **высоте около 60-90км** расположен **слой D**. Это нерегулярное образование ионосферы существует только в дневные часы, когда велика интенсивность солнечного ионизирующего излучения.

Этот слой почти не способен отражать радиоволны, он их только поглощает, и тем сильнее, чем длиннее волна.

На высотах 90-140км постоянно существует **слой E**.

Ночью слой располагается несколько выше, а днем – ниже, что связано с изменениями потока ионизирующего излучения.

От слоя E хорошо отражаются длинные и средние волны, а короткие в нем сильно поглощаются.



Самый верхний слой, **слой F**, располагается на высотах около **140-400км**. В летнее время (май-октябрь) днем он расщепляется на слои F1 и F2. **Слой F1** расположен на высотах **140-250км** и обусловлен ионизацией молекулярного азота, а **слой F2 (250-400км)** обусловлен ионизацией атмосферного кислорода.

Ночью слой F1 исчезает вследствие рекомбинации, а слой F2 сохраняется, хотя концентрация электронов в нем уменьшается.

**Слой F2 является основным отражающим слоем для коротких волн.**

### ***ВЫВОД:***

- Солнечные лучи, попадая в верхние слои атмосферы, создают незначительную ионизацию, т.к. газ очень разряжен.
- По мере проникновения лучей в более плотные слои атмосферы степень ионизации увеличивается. С приближением к земле энергия солнечных лучей падает и степень ионизации опять уменьшается.
- Т.о., ионосфера состоит из нескольких ионизированных слоев, плавно переходящих один в другой. Число ионизированных слоёв, их высота над землёй и степень ионизации зависят от времени суток и времени года, географической широты, плотности атмосферы, солнечной активности.

Ионосфера оказывает существенное влияние на распространение радиоволн, вызывая затухание и отражение. Чем меньше частота, тем больше поглощение. Для каждой трассы существует некоторое минимальное значение частоты, радиоволна которой создает в точке приема достаточную напряженность поля. Такая частота называется *наименьшей применимой частотой* (НПЧ). Радиоволны меньшей частоты при заданной мощности передатчика поглощаются ионосферой и не могут использоваться на данной трассе.

Чем больше частота, тем большей концентрацией электронов должен обладать отражающий слой. Максимальная частота, волна которой способна отразиться от ионосферы при данном угле возвышения, называется *максимально применимой частотой* (МПЧ).

Максимальная частота, радиоволна которой отражается от данного слоя ионосферы при вертикальном излучении, называется *критической частотой* и является важнейшим параметром слоя. Например, для слоя E критическая частота равна нескольким МГц, для слоя F может достигать 10 –15 МГц.

Состояние ионосферы не остается постоянным. Оно зависит от времени года, суток, широты местности и других факторов, являющихся следствием изменения солнечной активности. Нередко летом под действием потока метеоров на высоте 90 – 110 км возникает нерегулярный спорадический слой Es. В ионосфере могут образовываться и локальные неоднородности, вызывающие рассеивание УКВ. Это явление лежит в основе работы ионосферных линий связи.



## **Особенности распространения радиоволн различных частотных диапазонов**

- **Мириаметровые (СДВ 100-10км) и километровые (ДВ 1-10 км)** при достаточной мощности передачи обеспечивают устойчивый прием на расстояние до 20 тыс. км.

а) Распространяются над земной поверхностью - хорошая дифракция - малые потери энергии в земной поверхности – дальность связи земной волной до 3000 км.

б) Независимы от времени года и суток, изменений ионосферы. На радиоперелиниях свыше 3000км распространяются путем многократного последовательного отражения от нижних слоев ионосферы и земной поверхности.

в) используются для сверхдальней ТЛГ связи, передачи эталонных частот и сигналов точного времени, в глобальных системах навигации, для связи с подводными лодками. ДВ - в радиовещании и радионавигации, а так же для связи в полярных широтах.

### **Недостатки:**

- для связи на большие расстояния требуются сверхмощные передатчики и антенны огромных размеров.
- очень узкий диапазон частот, исключая применение широкополосной модуляции.
- высокий уровень атмосферных помех (спектр излучения разряда молний имеет максимум на частотах 7-30 кГц).

**Гектометровые (СВ 100-1000м)** имеют сезонную и временную зависимости. Зимой распространяются лучше.

Днем наблюдаются только поверхностные волны, т.к. пространственные поглощаются в ионосфере (слой D). Ночью, с исчезновением слоя D, поглощение уменьшается, волна отражается от более высоких слоев ионосферы.

Дальность связи ИВ при мощности передачи 1кВт достигает 1500-2000км.

Дальность действия земных волн ограничивается 500км вследствие их значительного (по сравнению с ДВ) поглощения почвой.

Не подвержены ионосферному воздействию, поэтому находят широкое применение в северных широтах.

На волнах длиной 485 - 515 м передаются сигналы бедствия.

СВ широко используются для радиовещания.

**Декаметровые (КВ 10-100м)** имеют более резко выраженную зависимость распространения волны от состояния ионосферы.

Поверхностные волны значительно больше средних поглощаются почвой и хуже огибают выпуклость земли. Дальность их распространения составляет десятки, реже сотни км при мощности передатчика 0,2-1 кВт.

Основную роль в КВ диапазоне играют пространственные волны, которые, отражаясь от самых верхних слоев ионосферы и от поверхности земли, распространяются на тысячи км при небольших мощностях передатчиков.

Выбор ОРЧ производится по радиопрогнозу в зависимости от ионизации атмосферы, поэтому для связи выбирают дневные – более высокие частоты (12-20МГц), ночные – более низкие частоты (5-7,5МГц).

Используются для радиовещания и радиосвязи (в т. ч. любительской).

Широко применяются в Сухопутных войсках в звене от полка и выше.

**Ультракороткие волны** условно включают несколько поддиапазонов волн короче 10м: *метровые (10-1м), дециметровые (1-0,1м), сантиметровые (10-1см), миллиметровые (10-1мм)*.

Благодаря огромному частотному диапазону имеется возможность передачи колоссального объема информации путем использования широкополосных частотных каналов (космическая, тропосферная, радиорелейная связь).

УКВ широко применяются для связи, радиолокации, радионавигации, радиовещания и телевидения.

Радиосвязь в диапазоне метровых волн получила широкое распространение в тактическом звене управления Сухопутных войск.

Волны УКВ диапазона распространяются различными способами:

- над поверхностью земли в пределах прямой видимости (радио и радиорелейная связь);
- за счет рассеяния волн в тропосфере (тропосферная связь);
- в свободном пространстве между землей и спутниками—ретрансляторами (космическая связь).

***Основные особенности УКВ -  
сильное поглощение энергии волн в земле  
и отсутствие отражения от ионосферы.***

(Иначе говоря, на распространение ультракоротких волн ионосфера не влияет.  
Эти волны проходят сквозь ионосферу, не отражаясь от нее  
и не возвращаясь на землю, как другие)

***Дальность связи в УКВ диапазоне невелика потому,  
что волны сильно поглощаются землёй  
и не обладают выраженным свойством дифракции.***

Для ведения УКВ радиосвязи практически всегда необходима геометрическая видимость между связываемыми пунктами.

$$D = 3,6 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

где  $D$  – дальность связи, ограниченная пределами прямой видимости в км;  
 $h_1$  и  $h_2$  – высота подъема приемной и передающей антенн в метрах.

Поглощение энергии УКВ в земле компенсируется повышением эффективности антенн, так как их размеры становятся того же порядка, что и длина волны (АШ-1,5...АШ-4).

Поэтому при наличии геометрической видимости между пунктами связь может поддерживаться при относительно малой мощности радиостанций, а в нижней части спектра (30-50 МГц) ведение связи возможно и на закрытых трассах.

