



**ВОРОНЕЖСКИЙ ИНСТИТУТ ПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ СВЯЗИ  
(ФИЛИАЛ) АКАДЕМИИ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ОХРАНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



**КАФЕДРА №7  
(ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

**Урок**

**Тема № 4. Каналы передачи и линии связи**

**Занятие № 4.4 Радиолинии**

**Преподаватель кафедры № 7 Сиренький И.В.**

## Цели занятия:

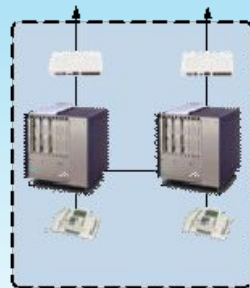
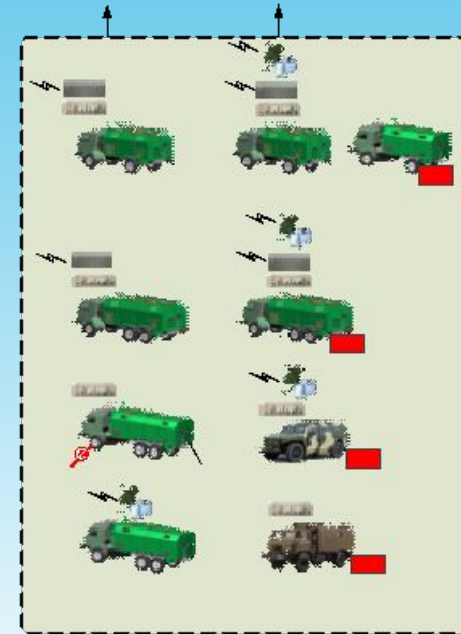
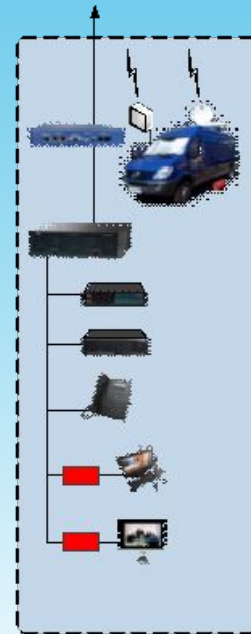
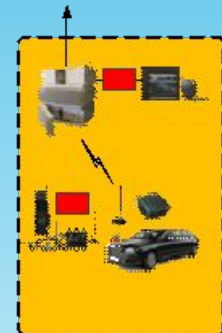
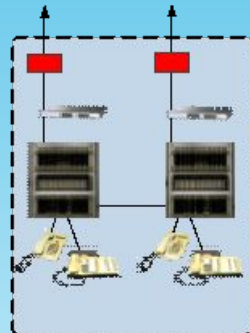
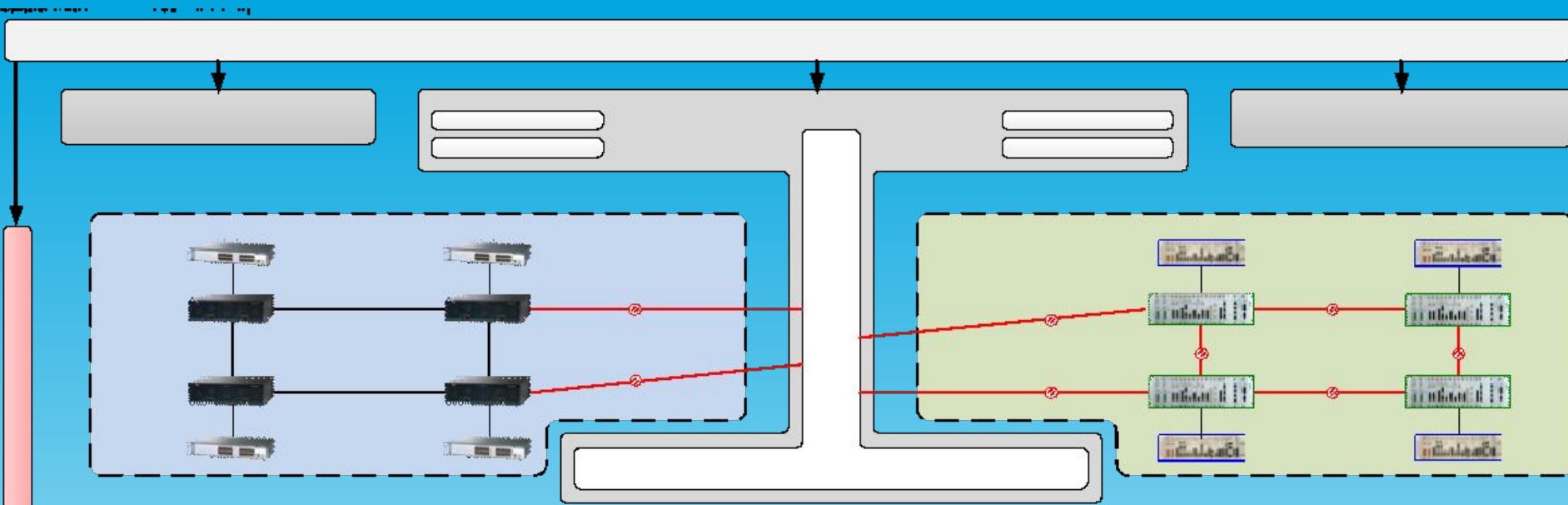
1. Знать принцип возникновения электромагнитной волны.
2. Знать основы построения радиолиний.

## Учебные вопросы:

1. Возникновение электромагнитной волны.
2. Принцип распространения радиоволн в атмосфере.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Суханов В.В., Тычинская М.М. Теория электросвязи: учебно-методическое пособие / – Воронеж: ВИПС (филиал) Академии ФСО России, 2018 – 109с, (стр. 70-77).



## Контрольные вопросы:

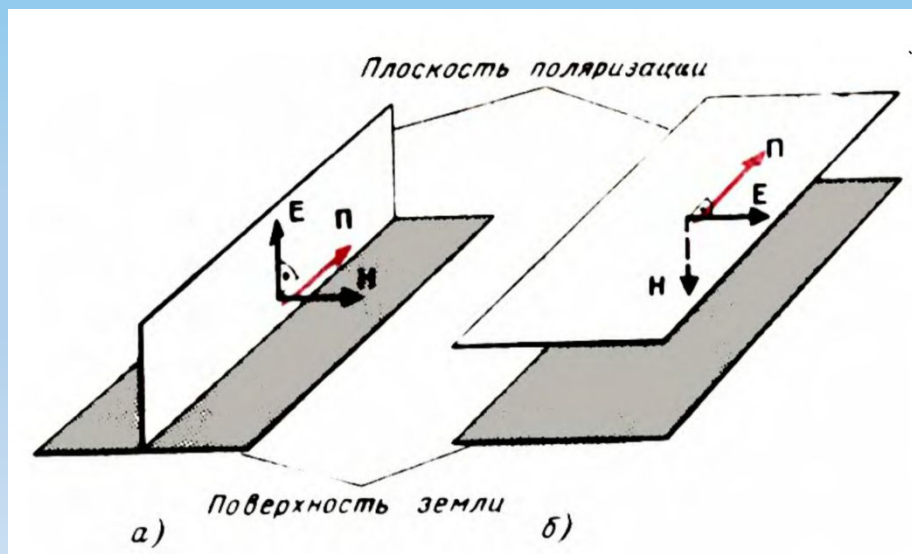
1. Что называется электромагнитной волной?
2. Что называется длиной волны?
3. Что называется поляризацией волны?

**Электромагнитная волна** - электромагнитное поле, распространяющееся в свободном пространстве со скоростью света и характеризующееся электрическими и магнитными полями, связанными непрерывным взаимным превращением.

**Длина волны** – это физическая величина прямо пропорциональная скорости света и обратно пропорциональна частоте электромагнитной волны.

**Поляризация волны** – это характеристика волны описывающая поведение вектора колеблющейся величины в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

а) вертикально  
поляризованная  
ЭМВ



б) горизонтально  
поляризованная  
ЭМВ

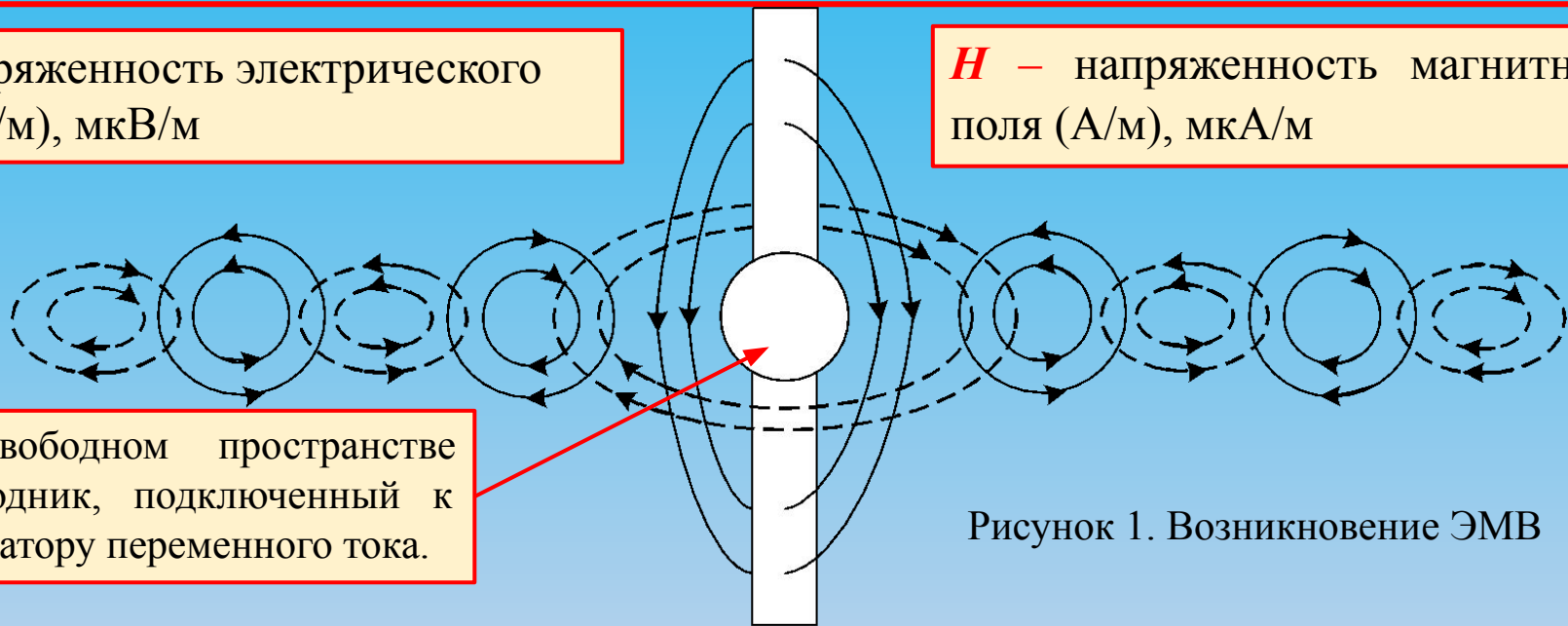
# Вопрос №1

Возникновение электромагнитной волны

Электромагнитные волны - электромагнитное поле, распространяющееся в свободном пространстве со скоростью света и характеризующееся электрическими и магнитными полями, связанными непрерывным взаимным превращением.

$E$  - напряженность электрического поля (В/м), мкВ/м

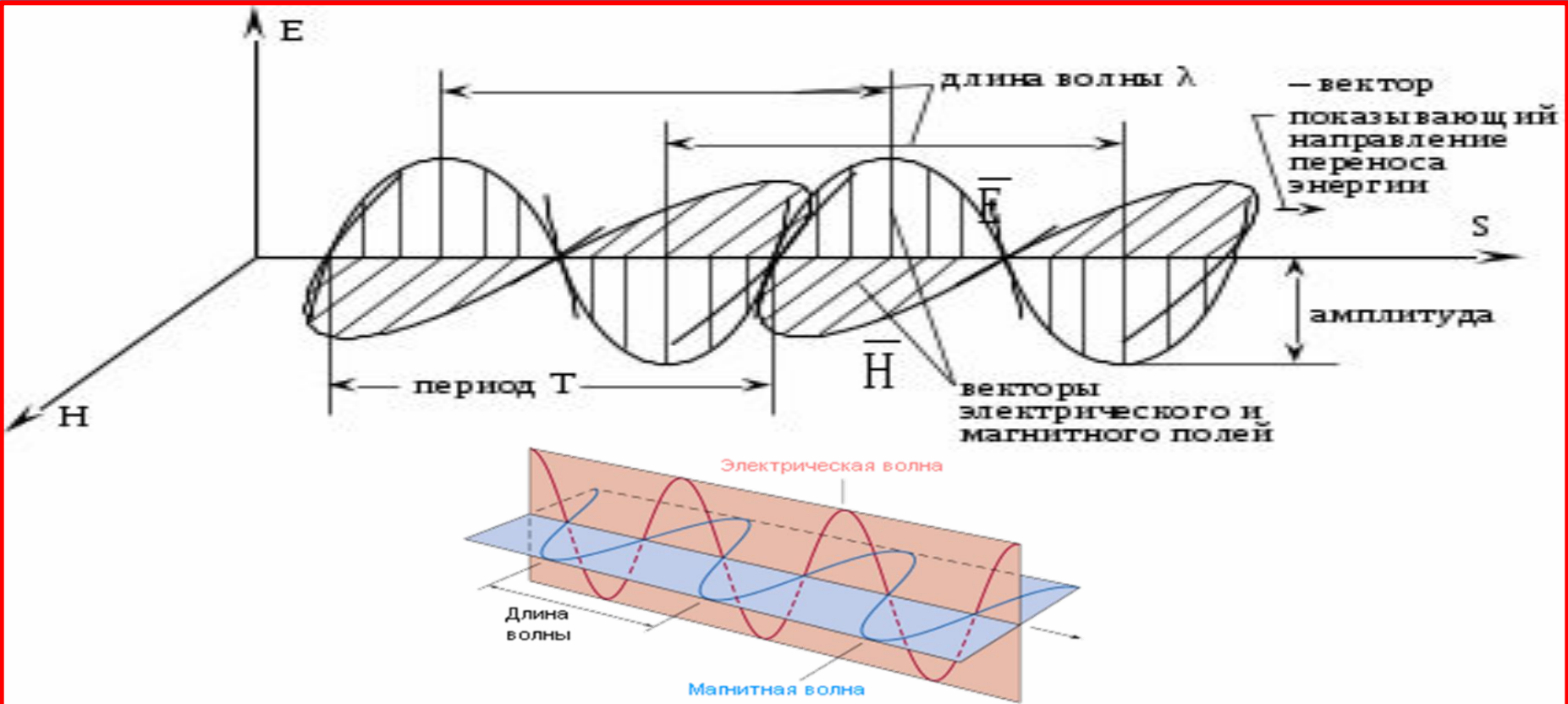
$H$  - напряженность магнитного поля (А/м), мкА/м



В свободном пространстве проводник, подключенный к генератору переменного тока.

Рисунок 1. Возникновение ЭМВ

**Гипотеза Д. Максвелла:** при любом изменении электрического поля  $E$  возникает вихревое магнитное поле  $H$  и наоборот, при любом изменении магнитного поля возникает вихревое электрическое поле. Процесс захватывает все новые и новые области в окружающем пространстве (распространение ЭМВ).



**Длина ЭМВ** - минимальное расстояние между двумя точками пространства, поле в котором имеет одинаковое значение.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda [\text{м}] = 300 / f [\text{МГц}]$$

$$f [\text{МГц}] = 300 / \lambda [\text{м}]$$

$\lambda$  – длина ЭМВ;  $c$  – скорость распространения света в вакууме ( $3 \times 10^8$  м/с);  $f$  – частота ЭМВ.



1. Периодически изменяющиеся электрическое  $E$  и магнитное  $H$  поля, распространяющиеся в пространстве *претерпевают затухание по мере удаления от источника излучения.*

2. Поле  $E$  и поле  $H$  взаимно перпендикулярны и перпендикулярны направлению распространения (вектору Пойнтинга,  $S$ ) ЭМВ.

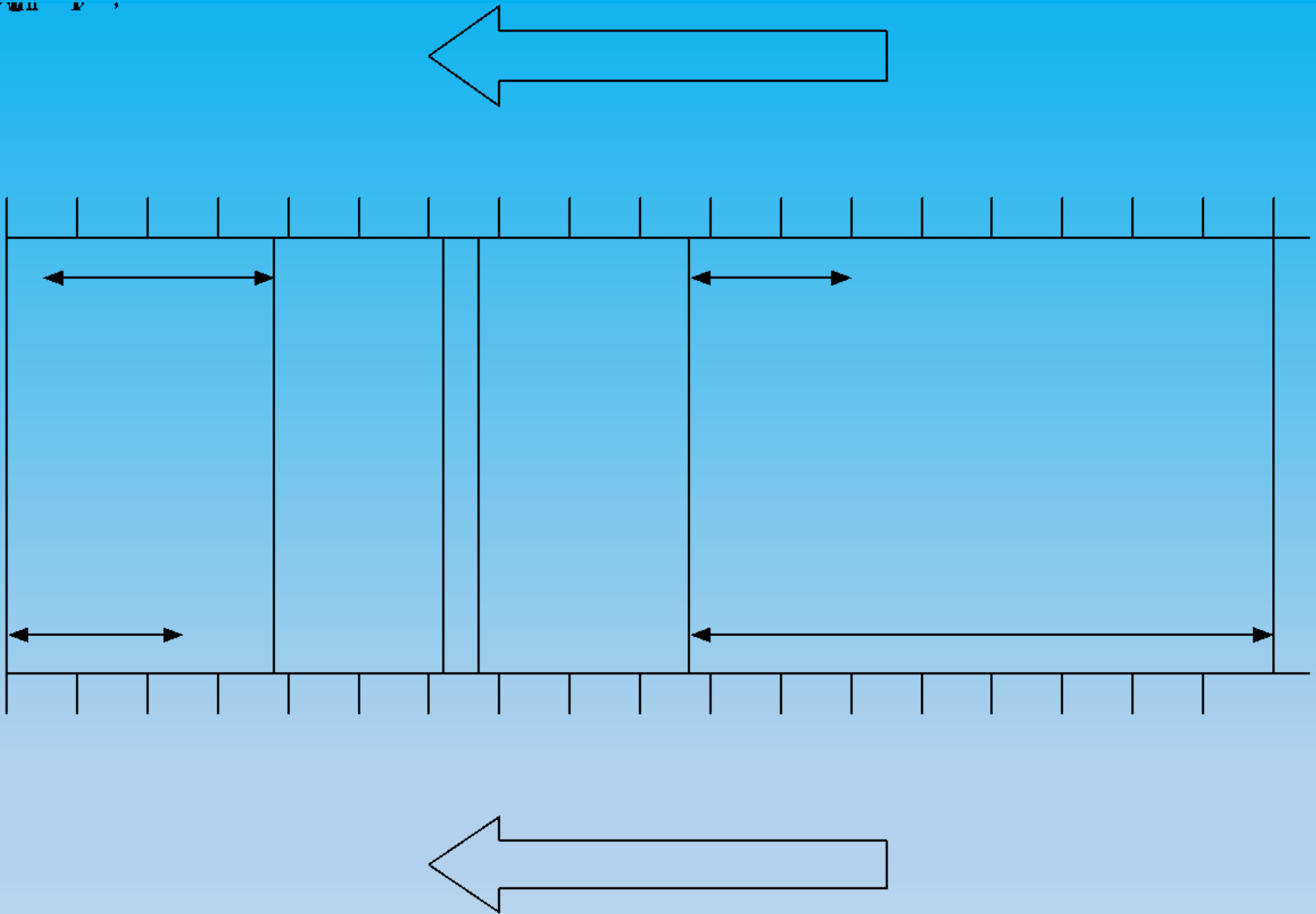
3. ЭМВ распространяются в различных средах. Скорость распространения в вакууме:  $c = 3 \times 10^8$  м/с. В любых других средах скорость распространения ЭМВ меньше.

4. Скорость распространения ЭМВ зависит от диэлектрической  $\epsilon$  и магнитной проницаемости  $\mu$  среды.

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

# Диапазоны частот и длин волн электромагнитных волн

8

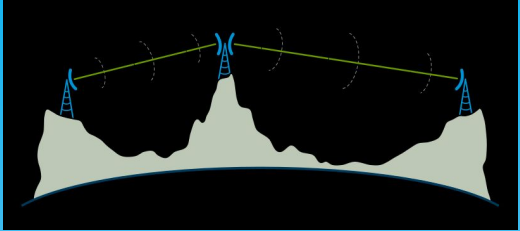
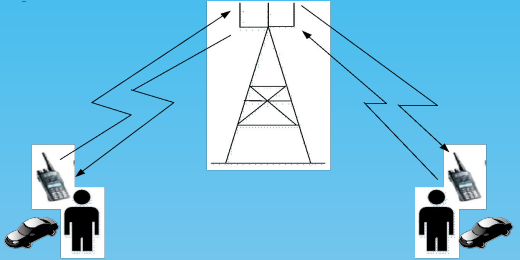
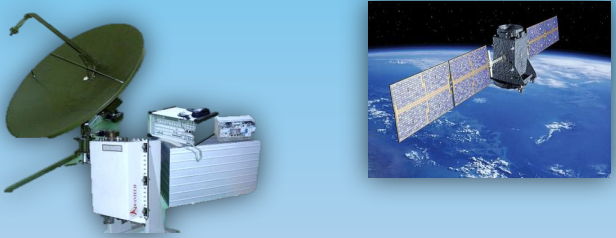
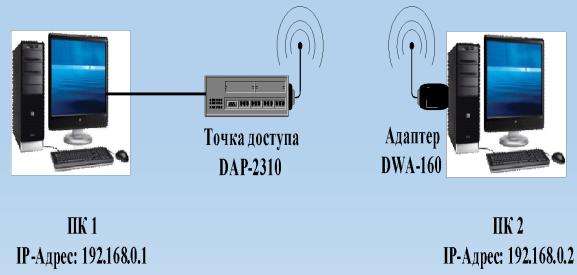


ЭМВ с частотами  $4 - 8 \times 10^{14}$  Гц вызывают у человека зрительные ощущения



Название	Длины волн	Частоты	Применение
Низкочастотные волны	$10^4 - 10^6$ м	0,3 кГц – 500 МГц	Проводная связь
Длинные волны	1 – 10 км	30 – 300 кГц	Радиовещание
Средние волны	100 – 1000 м	300 кГц – 3 МГц	Радиовещание
Короткие волны	10 – 100 м	3 – 30 МГц	Радиовещание, КВ-радиосвязь
Метровые волны	1 – 10 м	30 – 300 МГц	Телевидение, радиовещание, УКВ- радиосвязь
Дециметровые волны	10 – 100 см	0,3 – 3 ГГц	Телевидение, сотовая связь
Сантиметровые волны	1 – 10 см	3 – 30 ГГц	Спутниковая связь
Инфракрасное излучение	0,3 мм – 0,5 мкм	$10^{12} - 10^{14}$ Гц	Оптическая связь

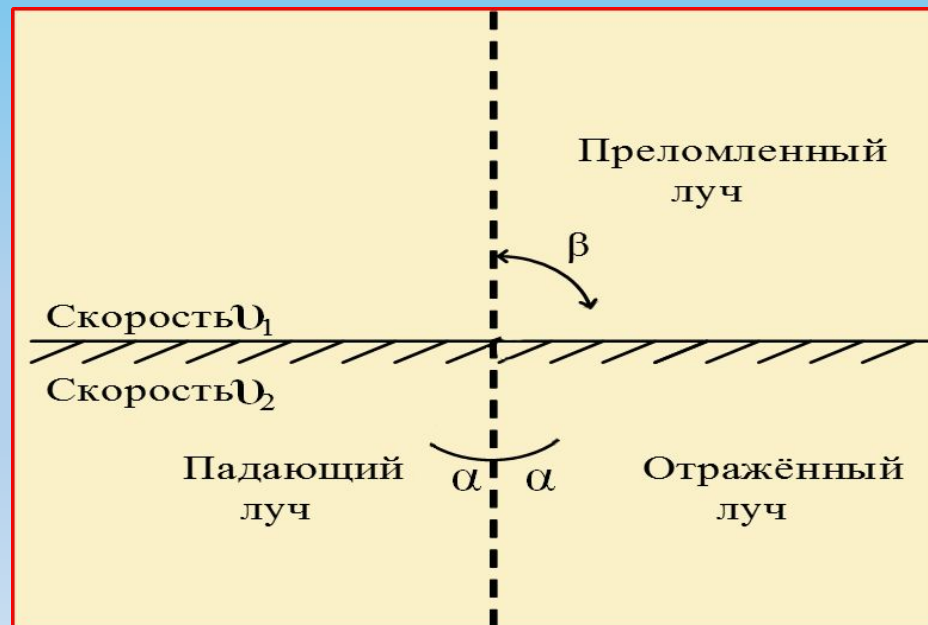
# Примеры практического применения **УКВ** диапазона 1

<p>Радиорелейная связь</p>	<p>60 МГц – 1,5 ГГц</p>	
<p>Сотовая радиосвязь (LTE)</p>	<p>2500 - 2570 МГц 2620 – 2690 МГц</p>	
<p>Спутниковая радиосвязь</p>	<p>1,5 ГГц - 40 ГГц</p>	
<p>Беспроводные сети стандарта 802.11 (WI-FI)</p>	<p>2,4 ГГц и 5 ГГц</p>	 <p>ПК 1 IP-Адрес: 192.168.0.1</p> <p>Точка доступа DAP-2310</p> <p>Адаптер DWA-160</p> <p>ПК 2 IP-Адрес: 192.168.0.2</p>

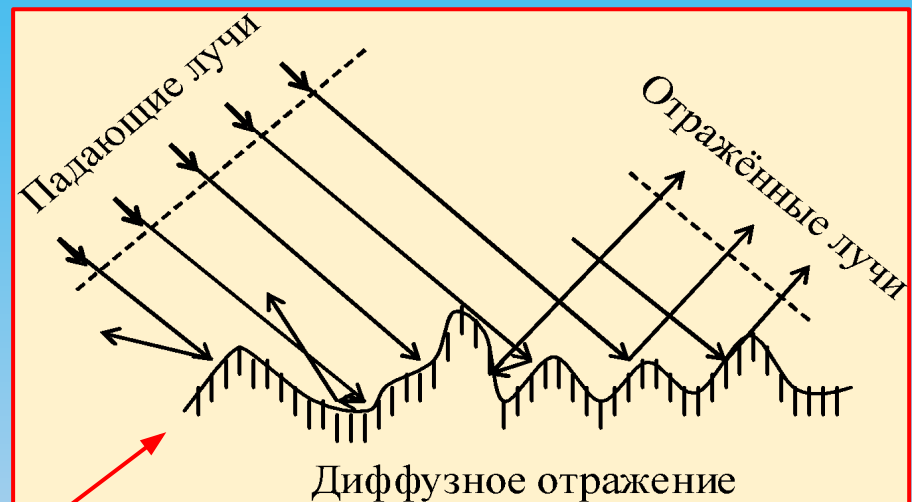
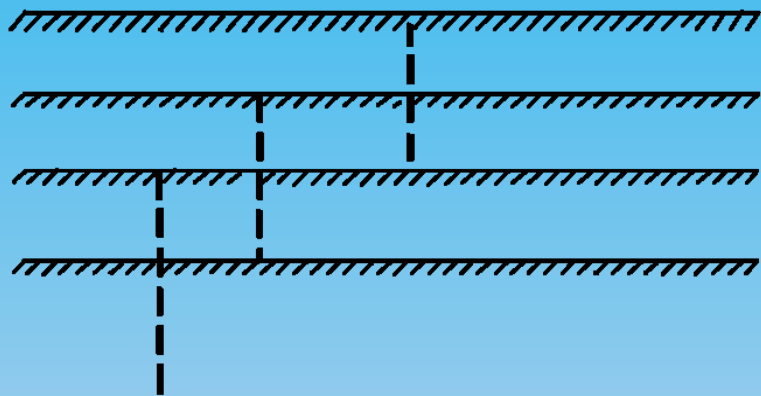
1. Дифракция - огибание радиоволной препятствий в процессе ее распространения.

Возникает когда геометрические размеры препятствия соизмеримы с длиной волны  $\lambda$ .

2. При переходе из одной среды в другую, в которой скорость распространения иная, радиоволны испытывают **отражение и преломление**.

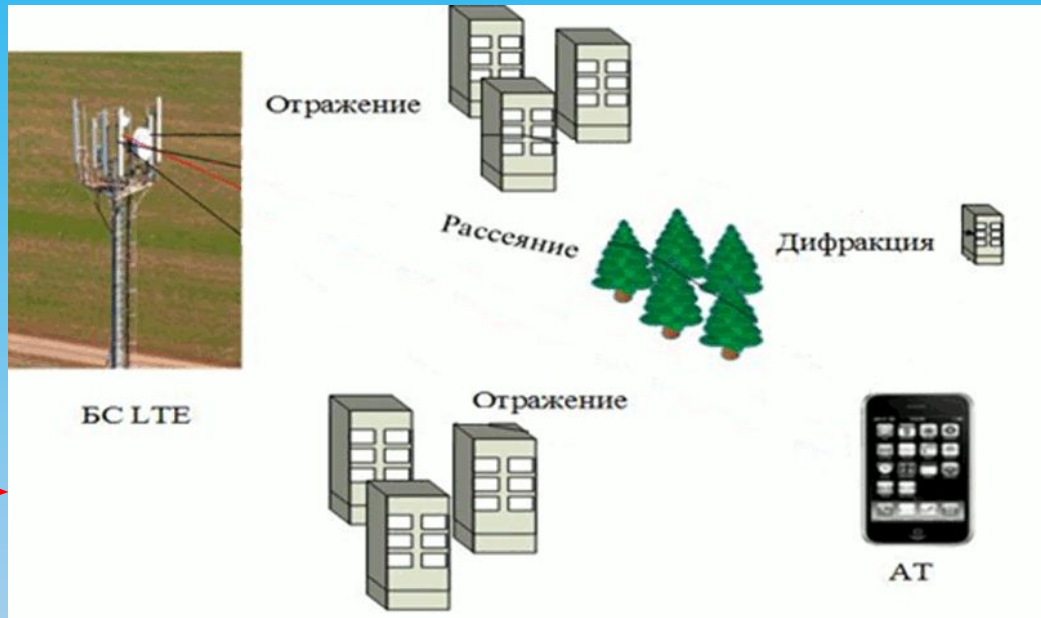


**3. Рефракция** - изменение направления распространения радиоволн вследствие изменения скорости их распространения при прохождении через неоднородную среду.



**4.** При наличии неровной отражающей поверхности (размеры поверхностей соизмеримы с длиной волны  $\lambda$ ) происходит диффузионное отражение (отражение с рассеянием), т. е. более или менее равномерное отражение во все стороны.

5. **Интерференция** - взаимное увеличение или уменьшение результирующей амплитуды двух или нескольких радиоволн при их наложении друг на друга.



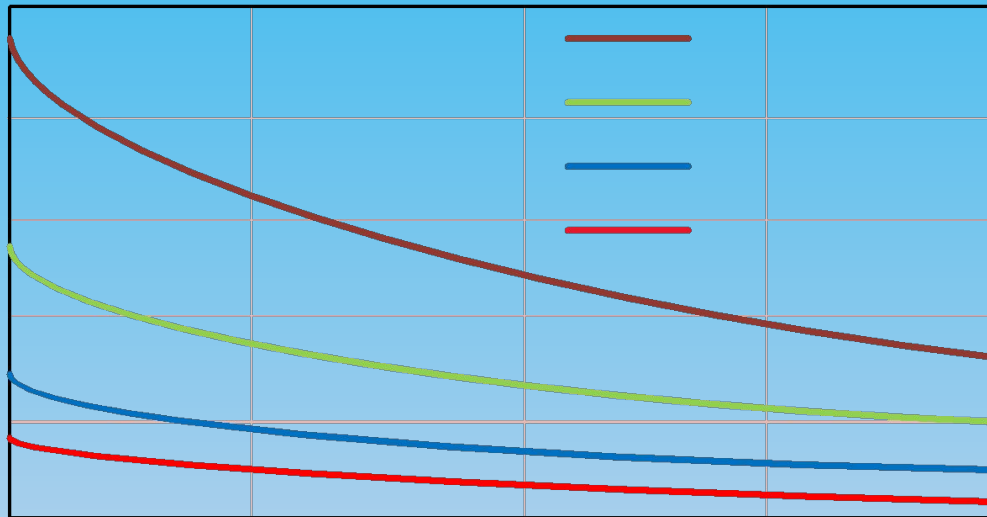
Многолучевое распространение ЭМВ

6. В среде распространения происходит **поглощение энергии ЭМВ**. Магнитное поле  $H$  сдвигается относительно электрического  $E$  на угол, зависящий от проводимости и диэлектрической проницаемости данной среды, а *амплитуда полей убывает по мере движения волны*.



7. С увеличением частоты ЭМВ претерпевает затухание и, следовательно, уменьшается дальность связи.

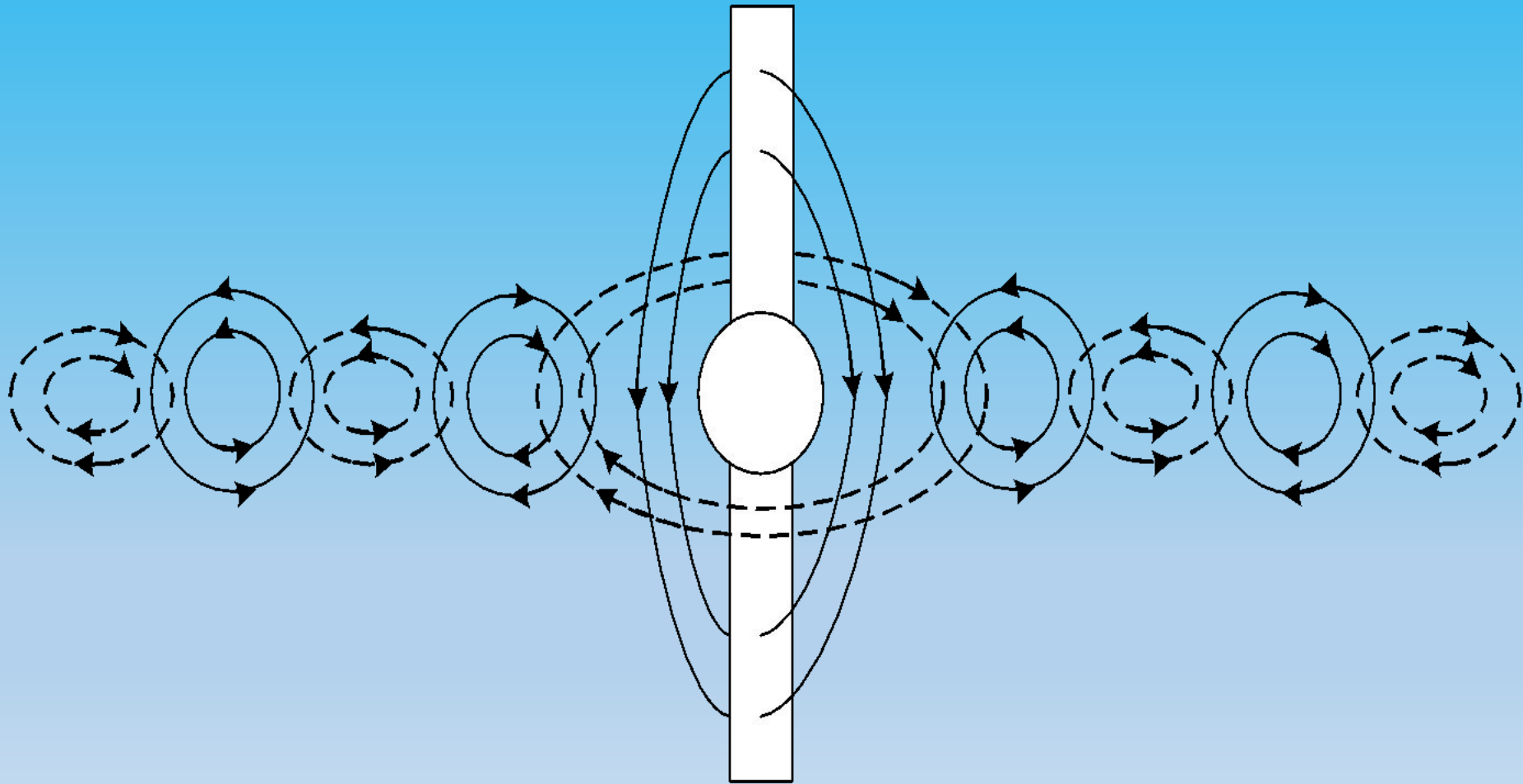
Зависимость дальности связи от частоты и условий распространения ЭМВ на участке базовая станция – абонентский терминал сети подвижной радиосвязи стандарта *LTE*.



**!!!** Б.А. Введенский установил **основной закон распространения радиоволн УКВ-диапазона**. Формулировка без формулы: С увеличением расстояния от передатчика в 2, 3, 4, 5 и т. д. раз сила электромагнитного поля этих волн убывает в 4, 9, 16, 25 и т. д. раз.

1. Электромагнитные волны представляют собой электромагнитное поле, распространяющееся в свободном пространстве со скоростью света и характеризующееся электрическими и магнитными полями, связанными непрерывным взаимным превращением.
2. Радиочастотный диапазон — диапазон электромагнитного излучения на частотах от 3 кГц ( $3 \times 10^3$  Гц) до 3 ТГц ( $3 \times 10^{12}$  Гц), что соответствует длинам волн в диапазоне между 10 000 м и 0,0001 м соответственно.

1. Поясните принцип образования электромагнитных волн.





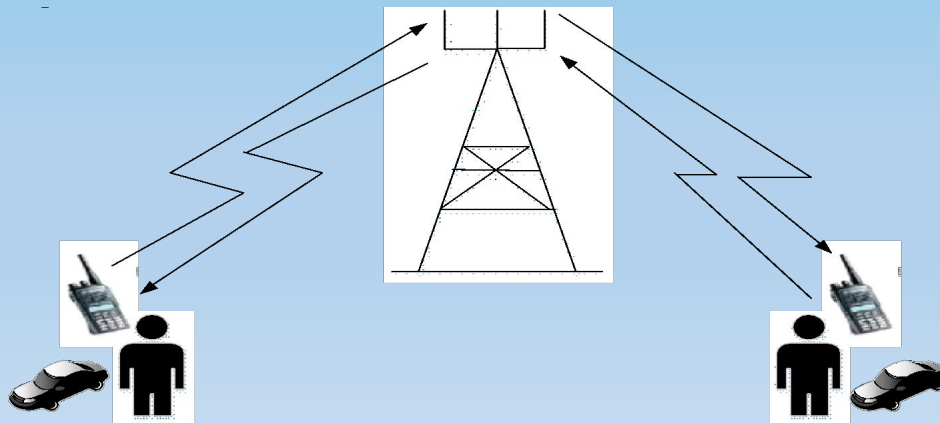
## Вопрос №2

Принцип распространения радиоволн в атмосфере

**Радиосвязь** – это электросвязь, осуществляемая посредством радиоволн.

**Радиоволна** – электромагнитная волна с частотами до 3 ТГц, распространяющаяся в среде без искусственных направляющих линий.

**Радиоканал** – канал передачи, в котором сигналы электросвязи передаются посредством радиоволн.



**Атмосфера** - газообразная оболочка Земли, простирающаяся на высоту более 1000 км.

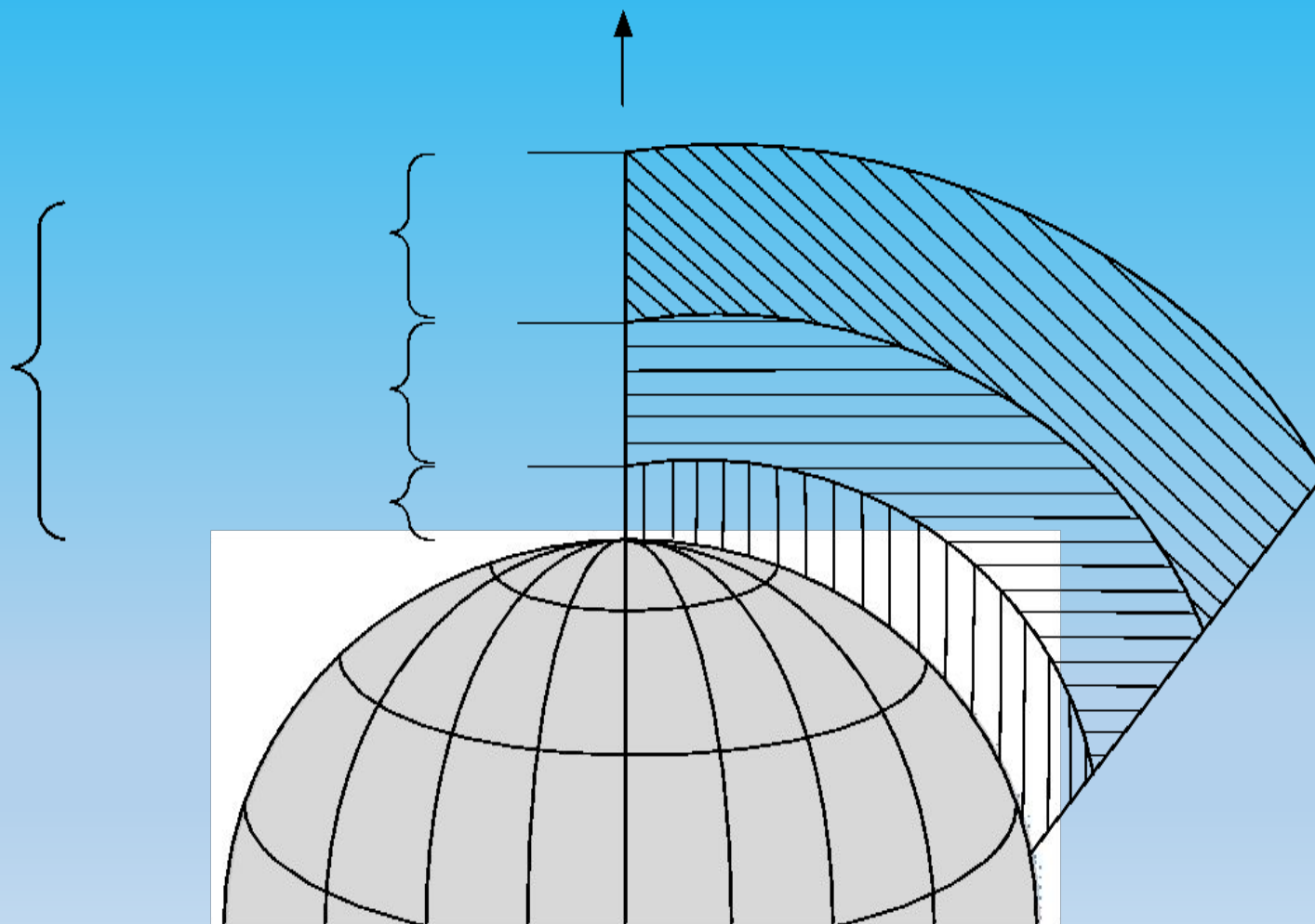


Рисунок 2. Области атмосферы

**Прямая радиоволна – радиоволна, распространяющаяся непосредственно от источника к месту приема.**

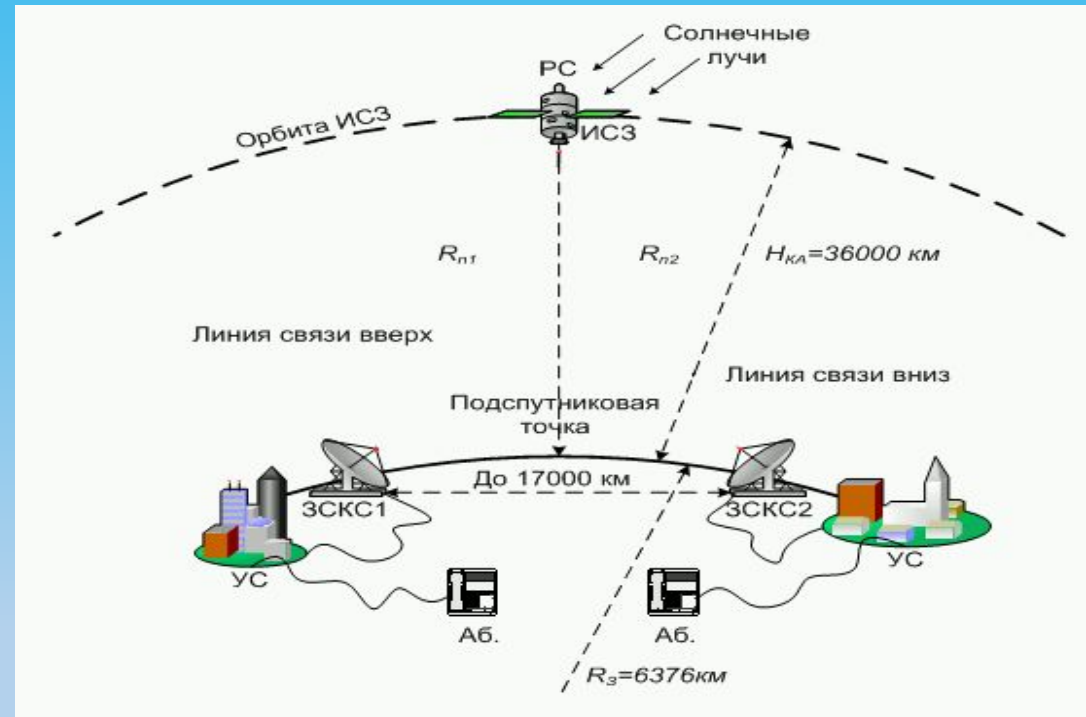


Рисунок 3. Прямая радиоволна

Структура радиолинии спутниковой связи



**Земная радиоволна** – радиоволна, распространяющаяся вблизи земной поверхности и включающая прямую волну, волну, отраженную от земли и поверхностную радиоволну.

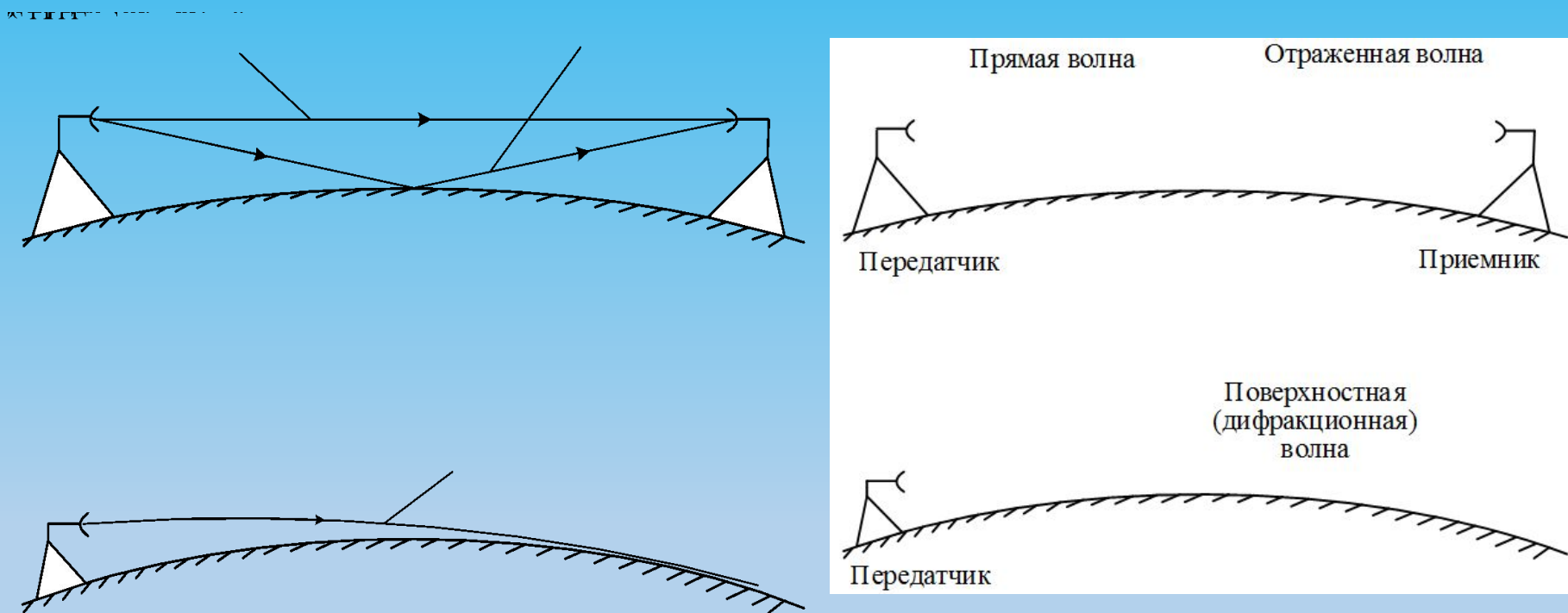


Рисунок 4. Земная радиоволна

# Земная радиоволна

Условия распространения земных (поверхностных) волн зависят от:

Рельефа местности  
(сопоставление  
высоты преграды и  
длины волны)

Электрических  
параметров земной  
поверхности ( $\epsilon$ ,  $\mu$ )

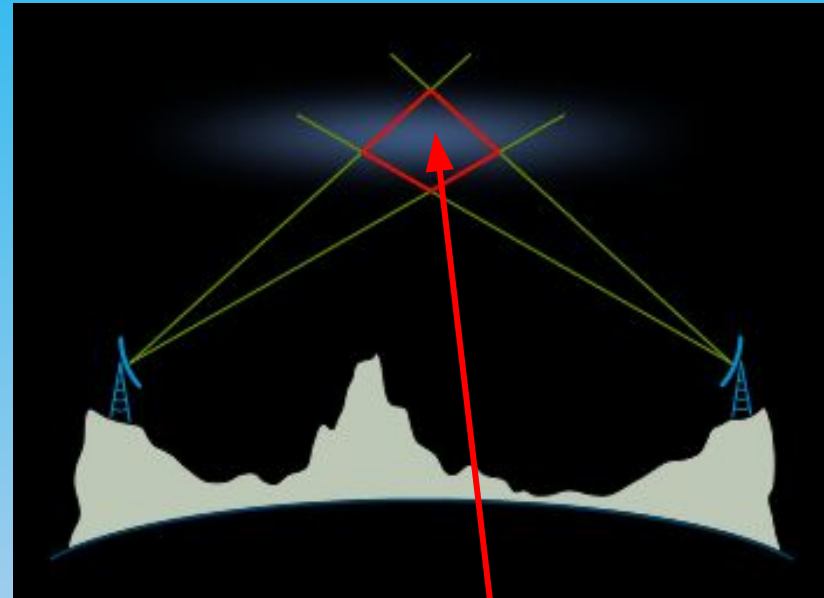
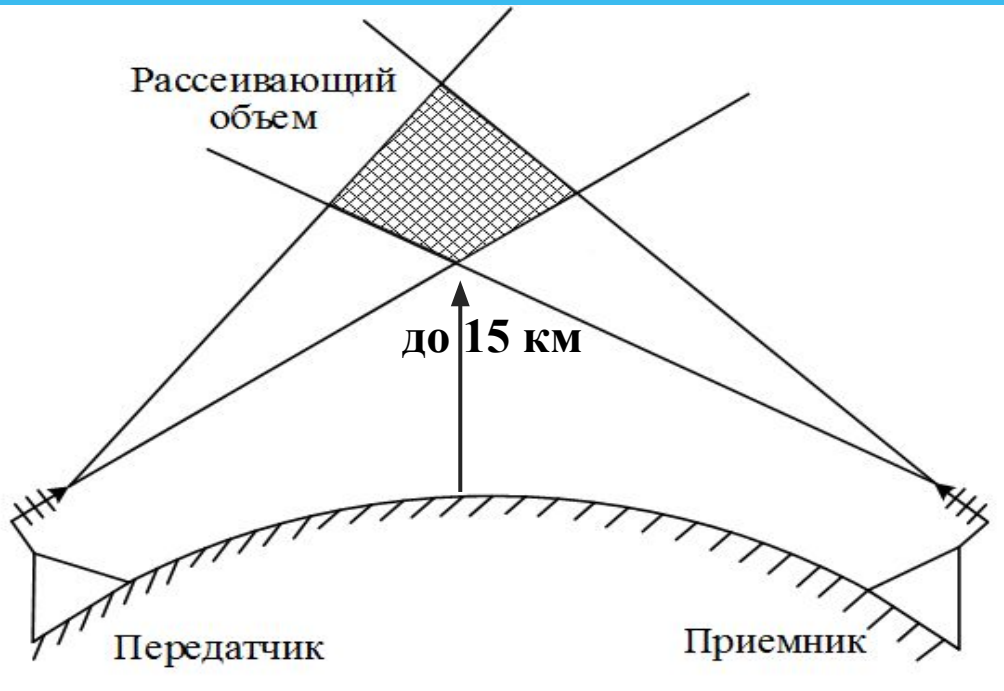
Длины волны ( $\lambda$ )

В УКВ диапазоне даже растительность на земле или небольшое волнение на поверхности воды способны препятствовать распространению ЭМВ.

Если земная поверхность была бы идеальным проводником, то потери энергии ЭМВ отсутствовали бы (например, свойства морской воды).

**Дифракция** – огибание волнами препятствий, сказывается когда геометрические размеры препятствия соизмеримы с длиной волны  $\lambda$ .

**Тропосферная радиоволна** – радиоволна, распространяющаяся между точками вблизи земной поверхности по траекториям, лежащим целиком в тропосфере.



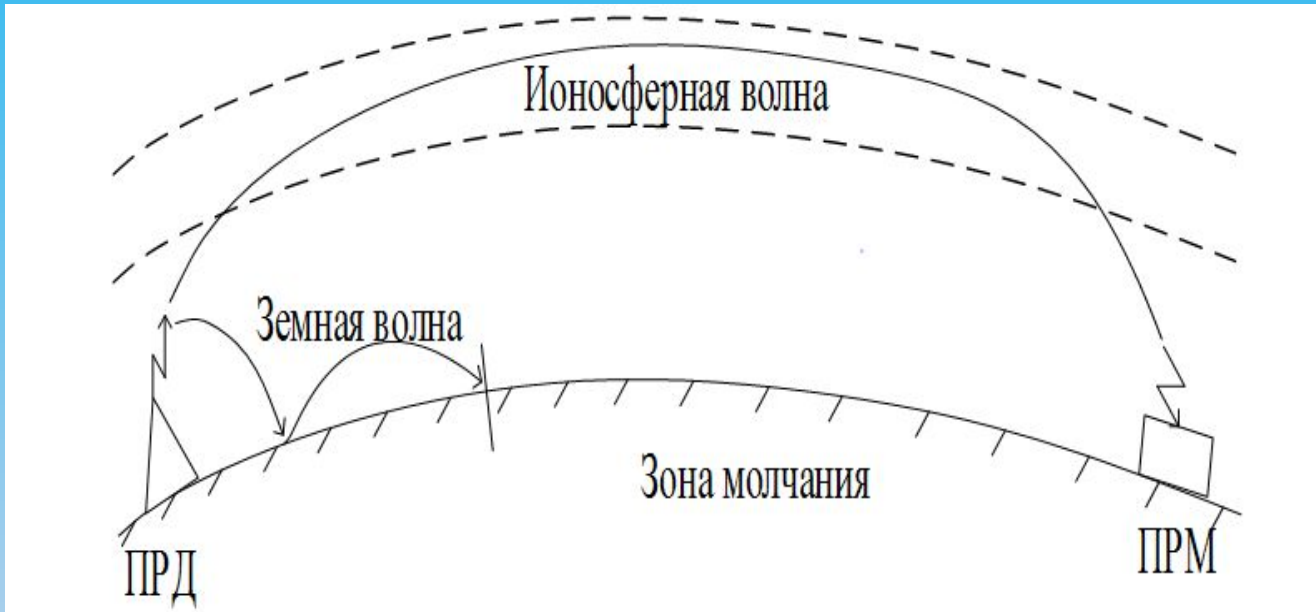
Явление отражения на локальных неоднородностях.

Свойства и состояние характеризуются: давлением, температурой и влажностью воздуха.

**Тропосфера** – воздух, в составе которого по объему имеется 78% азота и 22% кислорода.

Рисунок 5. Тропосферная радиоволна

**Ионосферная радиоволна** — радиоволна, распространяющаяся в результате отражения от ионосферы или рассеяния в ней.



Многократное отражение

Рисунок 6. Ионосферная радиоволна

**Радиосвязь КВ диапазона (3 – 30 МГц)**



1. Радиосвязь – это электросвязь, осуществляемая посредством радиоволн.
2. В настоящее время принято выделять четыре регулярных способа распространения радиоволн: прямые, земные, тропосферные и ионосферные.

## Контрольные вопросы:

1. Дайте определения понятиям: радиосвязь, радиоволна, радиоканал.
2. Дайте краткую характеристику способу распространения радиоволн прямой радиоволной.
3. Дайте краткую характеристику способу распространения радиоволн земной радиоволной.
4. Дайте краткую характеристику способу распространения радиоволн тропосферной радиоволной.
5. Дайте краткую характеристику способу распространения радиоволн ионосферной радиоволной.

1. Изучить материал урока по конспекту.
  2. Изучить и дополнить конспект материалами из рекомендованной литературы.
  3. Подготовиться к устному опросу по следующим вопросам:
    - поясните принцип образования электромагнитных волн;
    - дайте краткую характеристику радиочастотному диапазону электромагнитных волн;
    - дайте определения понятиям: радиосвязь, радиоволна, радиоканал;
    - дайте краткую характеристику способу распространения радиоволн прямой радиоволной;
    - дайте краткую характеристику способу распространения радиоволн земной радиоволной;
    - дайте краткую характеристику способу распространения радиоволн тропосферной радиоволной;
    - дайте краткую характеристику способу распространения радиоволн ионосферной радиоволной.
- Литература:**

1. Суханов В.В., Тычинская М.М. Теория электросвязи: учебно-методическое пособие / – Воронеж: ВИПС (филиал) Академии ФСО России, 2018 – 109 с, (стр. 70-77).



**ВОРОНЕЖСКИЙ ИНСТИТУТ ПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ СВЯЗИ  
(ФИЛИАЛ) АКАДЕМИИ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ОХРАНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**



**КАФЕДРА №7  
(ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

**Урок**

**Тема № 4. Каналы передачи и линии связи**

**Занятие № 4.4 Радиолинии**

**Преподаватель кафедры № 7 Сиренький И.В.**