



# Кафедра радиосвязи

**ДИСЦИПЛИНА: РРВ и АФУ, Д-1105-1**

**Тема 1. Основы теории распространения радиоволн**

**Лекция 1/6 (№ 6).**

**Распространение ультракоротких волн с учётом влияния тропосферы и поверхности земли**



# Учебные вопросы

№ 1

- 1. Влияние рельефа местности и тропосферной рефракции на распространение радиоволн.**
- 2. Множитель ослабления с учётом влияния тропосферы и поверхности земли.**
- 3. Особенности дальнего тропосферного распространения радиоволн.**



# Расстояние (дальность) прямой видимости в условиях равнины

№4

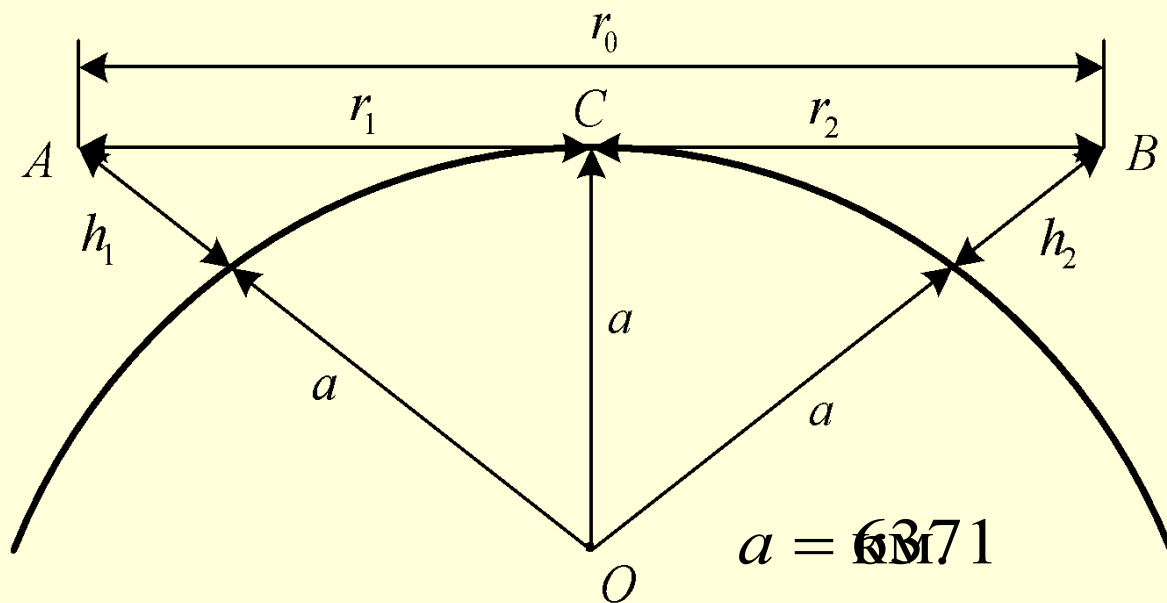
**Дальность прямой видимости**, когда прямая соединяющая антенны **A-B** касается поверхности земли в одной точке **C**.

Рассмотрим случай, когда рефракция отсутствует

Критерий неровности

$$\Delta h_i \leq \Delta h_{\max} = \frac{\lambda}{8 \sin \theta}$$

поверхность ровная



$r$  – в км.,  $h$  – в м.

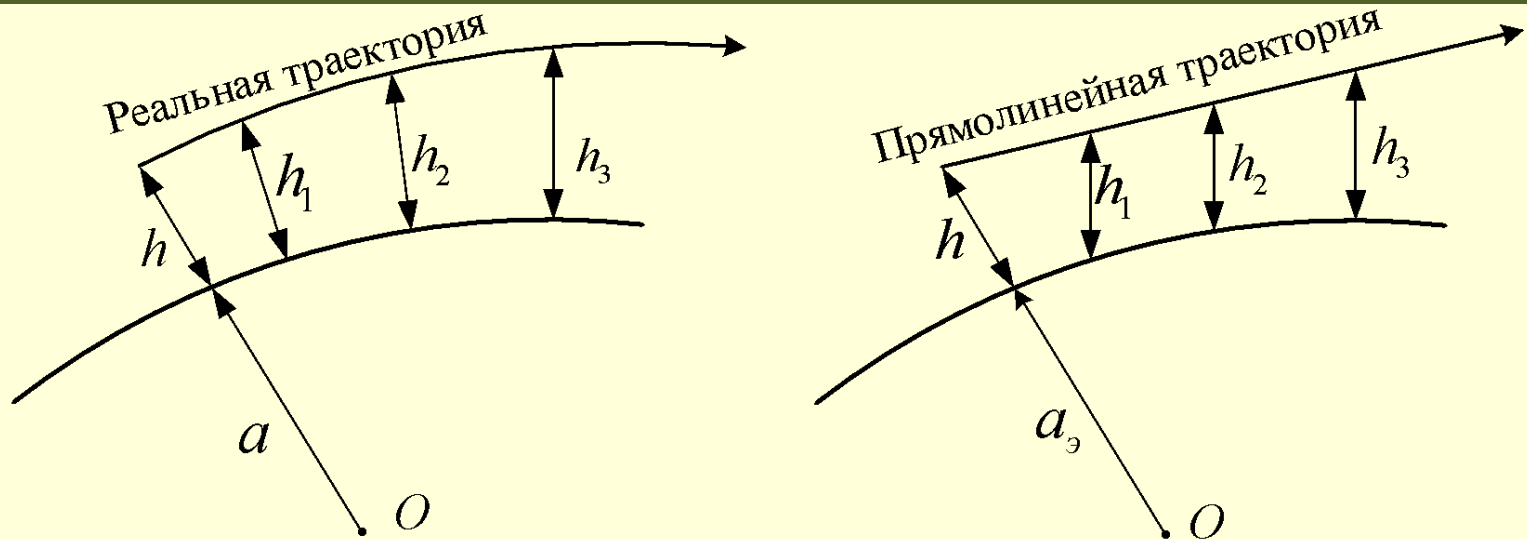
**Расстояние прямой видимости  
без учета рефракции:**

$$r_0 = \sqrt{2a} \left( \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right) = 3,57 \left( \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right).$$



# Учет рефракции

С учетом рефракции дальность прямой видимости будет изменяться



**Условие эквивалентности:**  $\rho / a + 1 / a_{\text{э}} = 1 / a$  —  $\rho_{\text{прямой}}$

Для учета рефракции вводят эквивалентный радиус Земли

Радиус луча:

$$\rho = - \frac{1}{q_n}, \quad a_{\text{э}} = \frac{a}{1 + a q_n},$$

Градиент коэффициента n:

$$q_n = \frac{\partial n}{\partial h}.$$



При нормальной (стандартной) рефракции  $a_э = 8500$  км, тогда

**Расстояние прямой видимости с учетом рефракции**

$$r_0 = 4,12 \left( \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right)$$

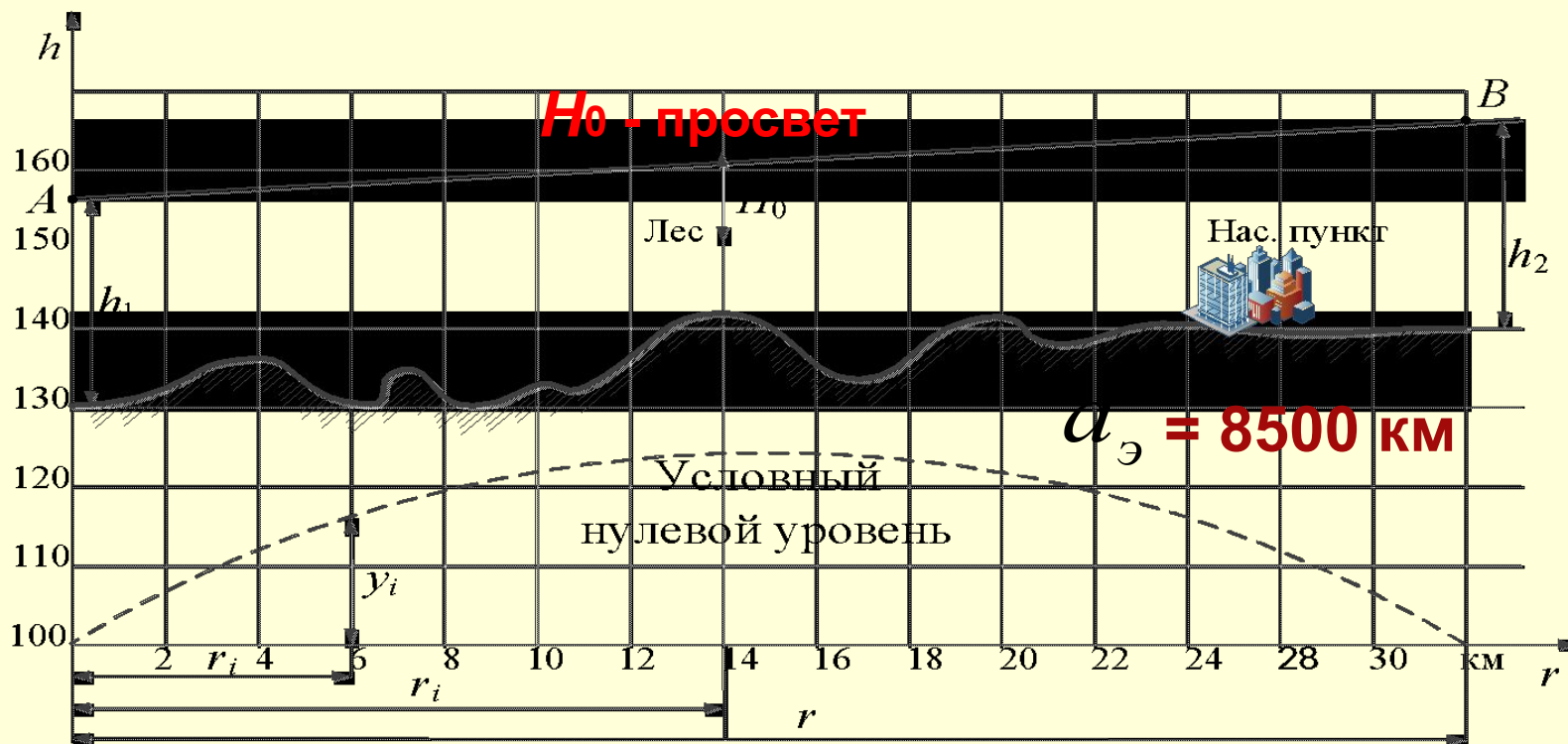
**При распространении УКВ над ровной сферической поверхностью различают:**

- а) область прямой видимости или интерференции ( $r < 0,8 r_0$ );
- б) область дифракции или тени ( $r > 1,2 r_0$ );
- в) область полутени – промежуточная между областью прямой видимости и дифракции ( $0,8 r_0 \leq r \leq 1,2 r_0$ ).

**Критерием условия радиосвязи является  $r_0$**



## Профиль трассы с учетом рефракции



Поверхность сферы

$$y_i = \left( \frac{r^2}{2a_{\text{Э}}} \right) s_i (1 - s_i), \quad s_i = \frac{r_i}{r}.$$



# Классификация трасс с учетом влияния рельефа и тропосферы

№9

Кратчайшее расстояние между линией  $AB$  и профилем трассы называются просветом  $H_0$ .

В зависимости от величины просвета трассы подразделяются на следующие:

1. Открытая, если просвет оказывается больше радиуса существенной области

$$H_0 \geq \rho_c, \quad \rho_c = \sqrt{\frac{1}{3} r \lambda s_i (1 - s_i)}, \quad s_i = \frac{r_i}{r}.$$

2. Полуоткрытая, когда  $0 < H_0 < \rho_c$ .

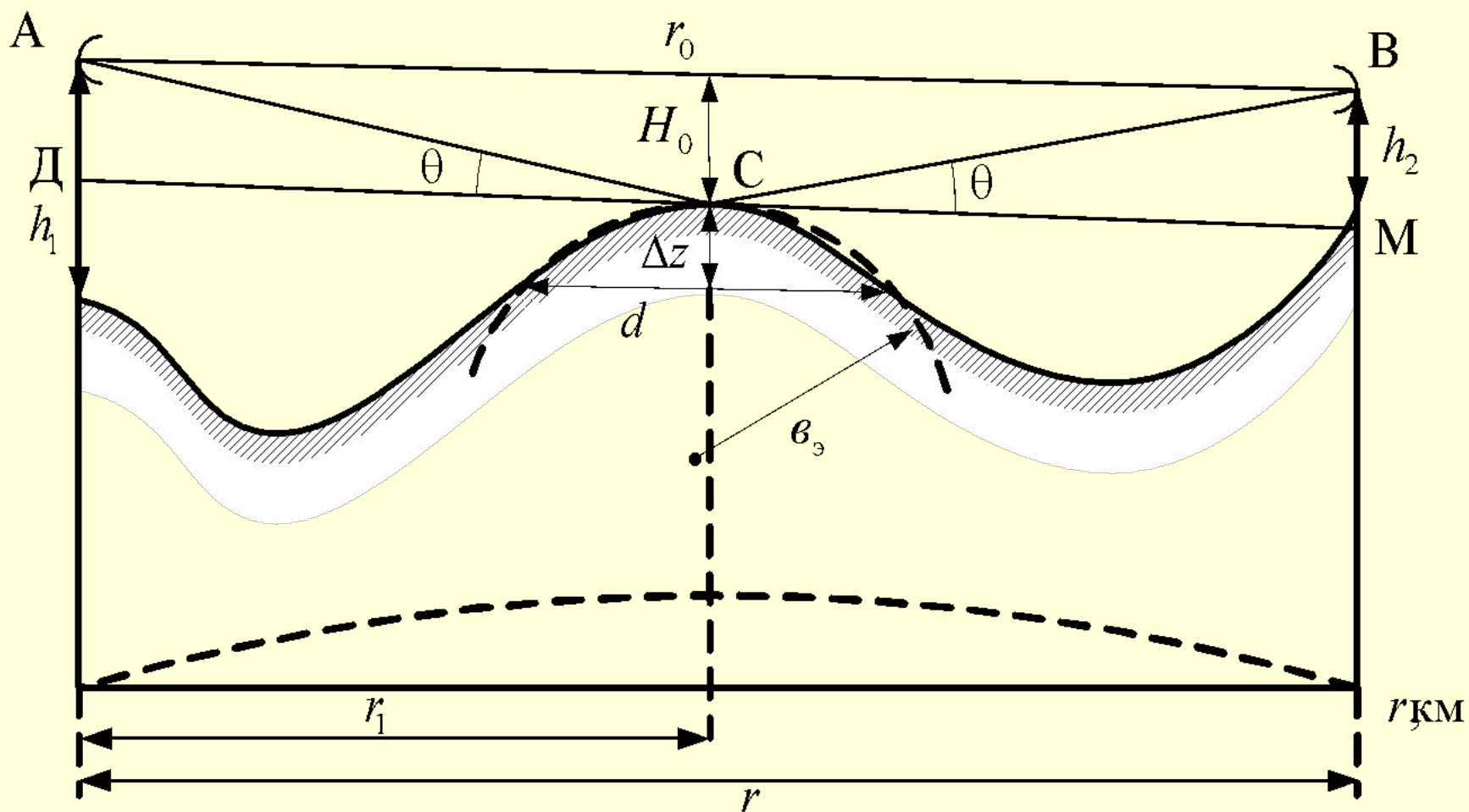
3. Закрытая, когда  $H_0 \leq 0$ ,

Критерием условия радиосвязи является  $H_0$ .



# Профиль трассы с одной точкой отражения

№10





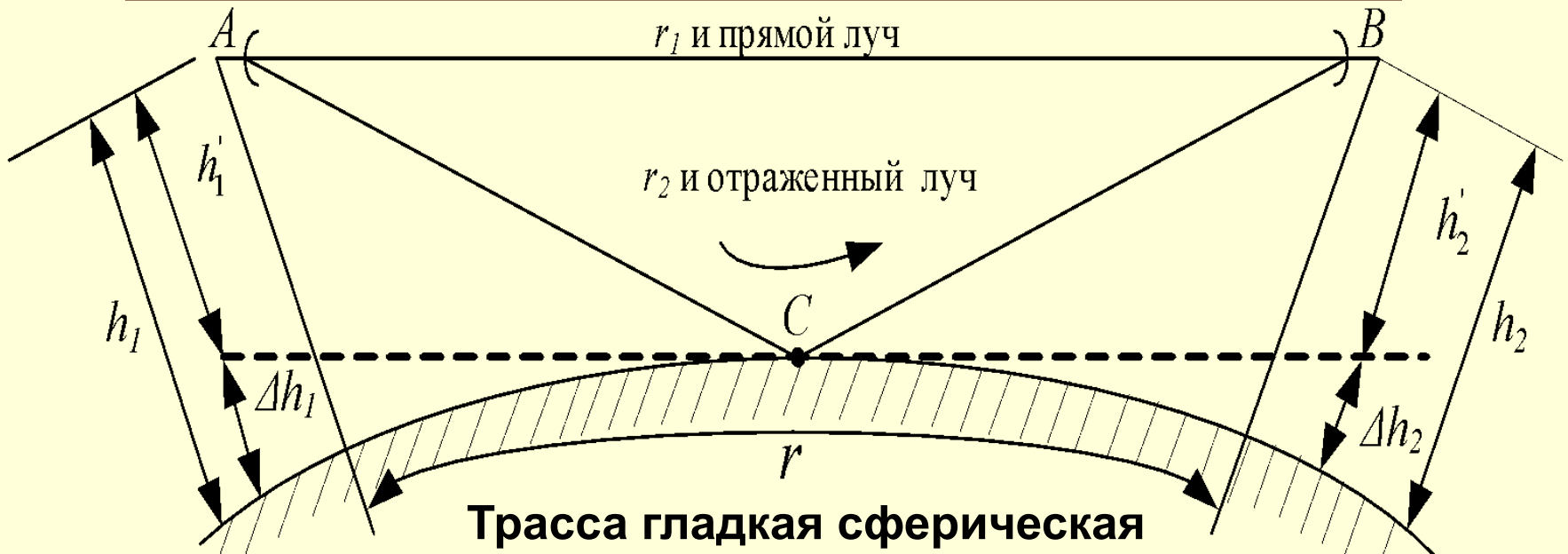


## 2. Расчёт множителя ослабления с учётом влияния тропосферы и поверхности земли

№12

### Область прямой видимости

В точку приема приходит прямой и отраженный луч



$$E = E_{\text{тр}} + E_{21} = E_1 W_{\text{э}} = E (1 + R e^{-ik\Delta r}),$$

$R_{\text{э}}$  - коэффициент отражения,  $\Delta r = r_2 - r_1$ .



# Напряженности поля и множителя ослабления в области интерференции

№13

$$E(r) = \frac{\sqrt{60 P_{\phi} \eta_{11} G}}{r} W_{\text{тр}}(r), \quad W_{\text{тр}} = 1 + R_{\text{э}} e^{-ik\Delta r}.$$

При малых углах луча:  $\sigma > 0$ ,  $R_{\Gamma, \text{В}} \approx -\Phi$ ,  $\Gamma, \text{В} \approx 180^\circ$ .

$$W_{\text{тр}} = \sqrt{1 + |R_{\text{э}}|^2 - 2|R_{\text{э}}| \cos(k\Delta r)},$$

$$R_{\text{э}} = R_{\text{ВГ}} D_p, \quad \Delta r = r_2 - r_1.$$

При:  $r \geq \frac{18h_1 h_2}{\lambda}$ .

$$W_{\text{тр}} = \frac{4\pi h'_1 h'_2}{\lambda r}$$

$$h'_{1,2} \approx h_{1,2} \left[ 1 - (r/r_0)^2 \right].$$

**Действующее значение напряженности поля:**

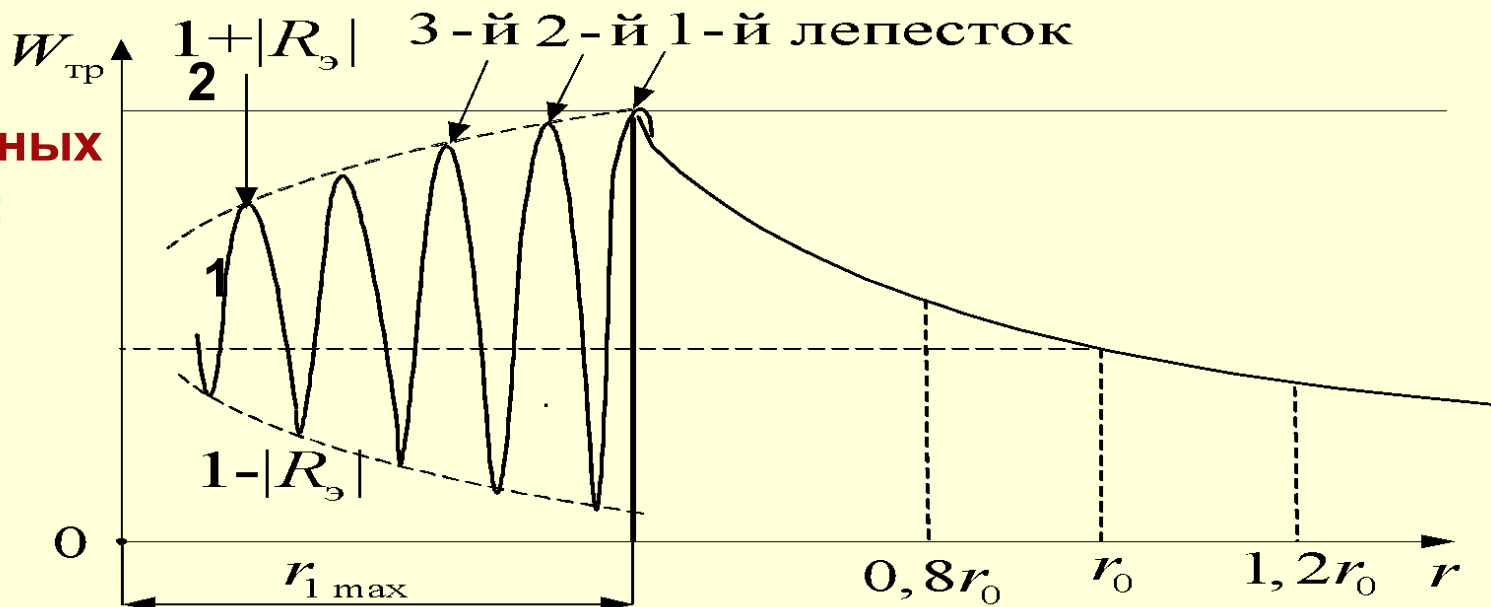
$$E_{\text{д}} (\text{кВ/м}) = \frac{180 \sqrt{P_{\phi} (\text{кВт}) G h'_1 h'_2}}{\lambda r^2}$$



# Зависимость множителя ослабления от протяженности равнинной трассы

№14

**В относительных единицах:**



**В децибелах:**

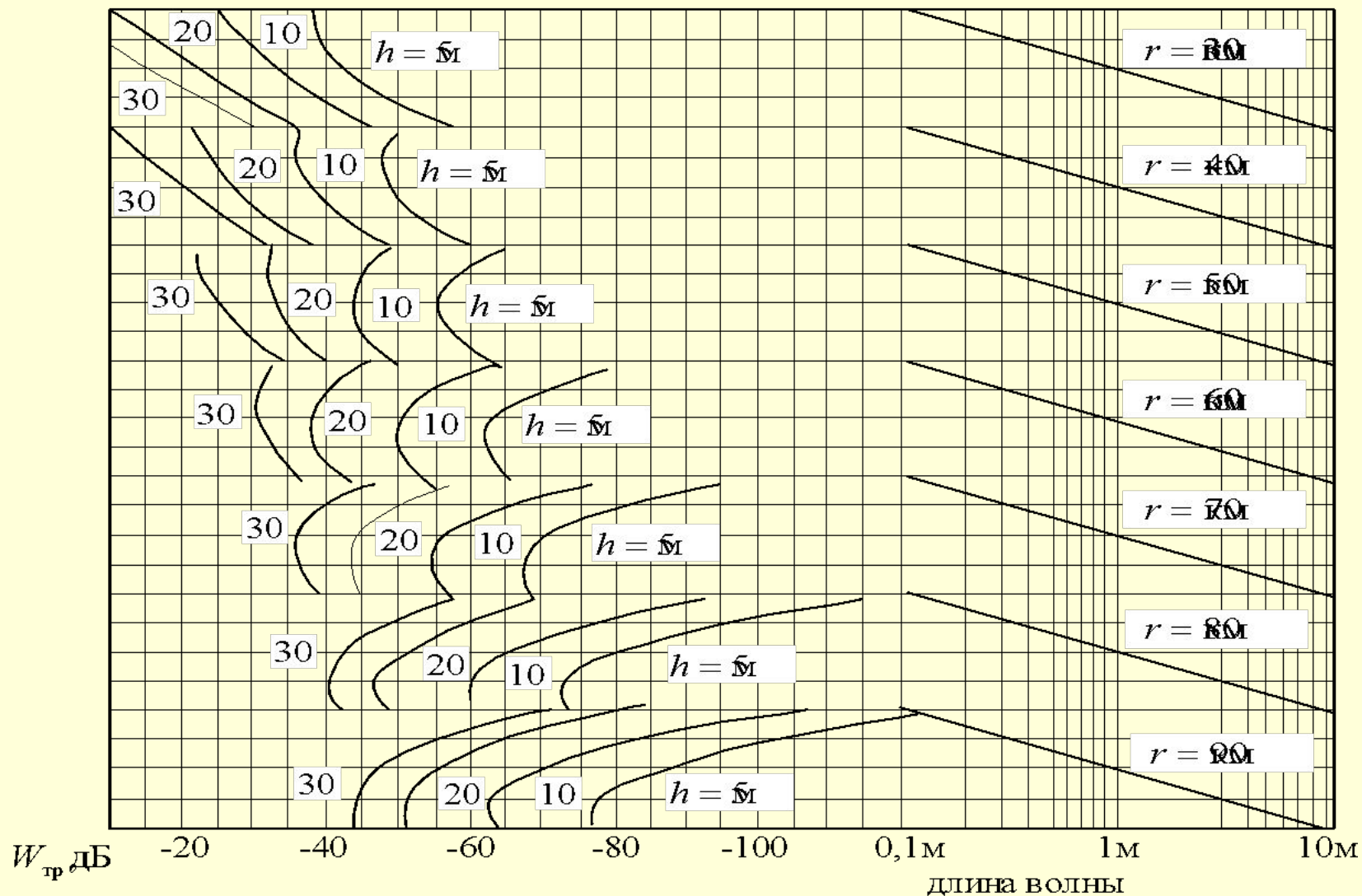


**Чаще множитель ослабления определяют по аппроксимирующим формулам или по графикам.**



# Множитель ослабления на равнинной сферической трассе

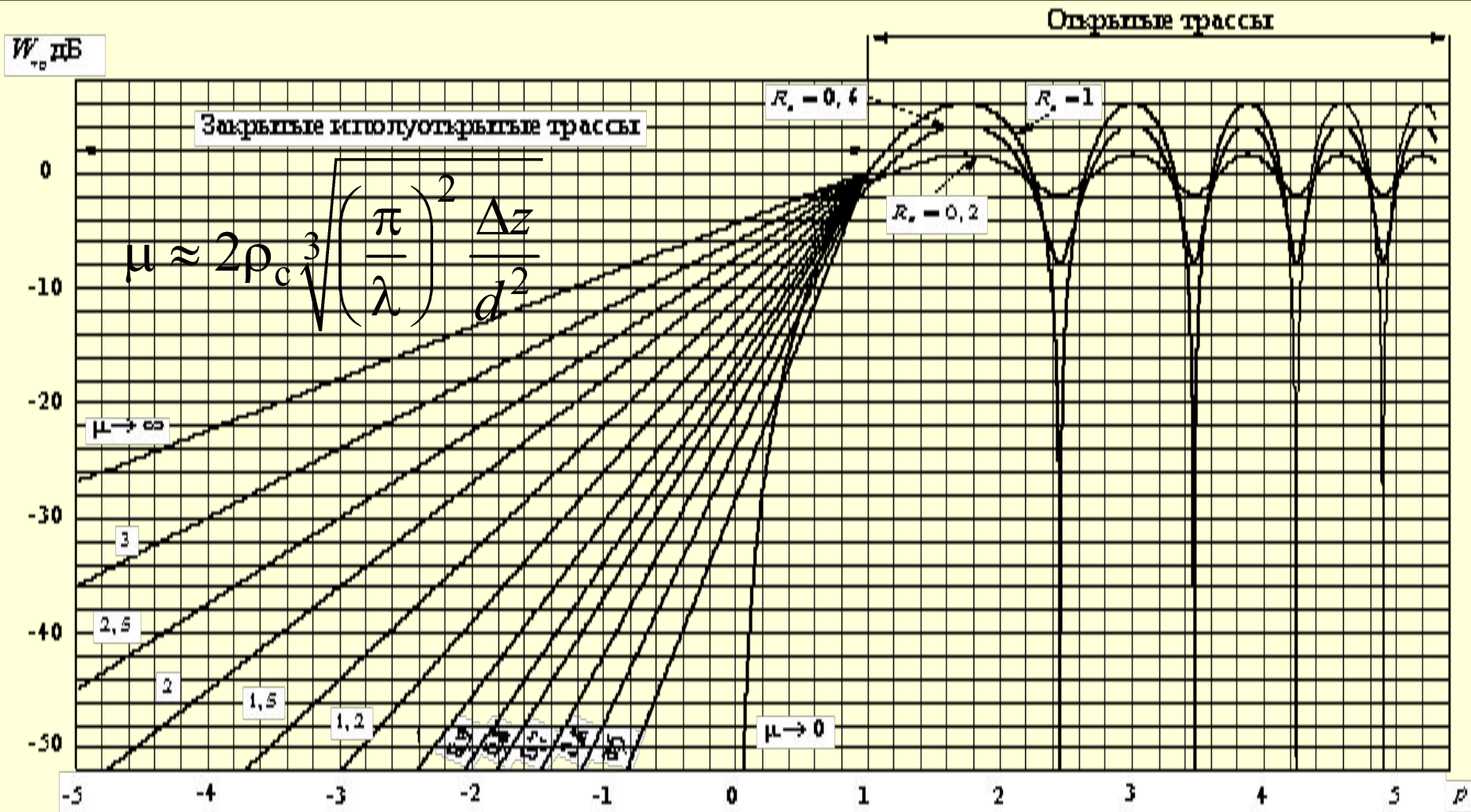
№15





# Зависимость множителя ослабления от относительного просвета на трассе

№16



$$\rho = H_{\theta} / \rho$$



Множитель ослабления **на открытых трассах** существенно зависит от величин коэффициента отражения ( $Rэ = |Rэ|Dρ$ ) и просвета.

На **полузакрытых и особенно закрытых трассах** величина множителя  $W_{тр}$  зависит от формы (сферичности) препятствия и меньше от просвета.

Сферичность препятствия характеризуют обобщенным параметром  $μ$ .

Большие значения параметра  $μ$  относятся к клиновидным препятствиям (острые вершины гор), а малые значения  $μ \rightarrow 0$  относятся к плоской земной поверхности.

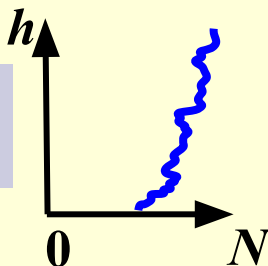
**С учетом замирания радиоволн:**

$$W_{тр} = W_{мед} + W_3(t) < 0.$$

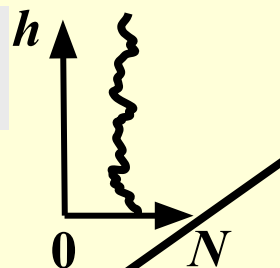
# Рефракция и ее виды

Отрицательная

отриц-ая:  
 $g_n > 0, \rho < 0$

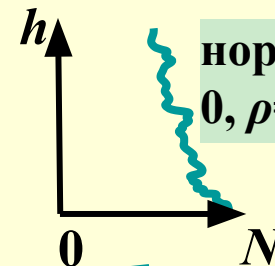


нулевая:  
 $g_n = 0, \rho = \infty$

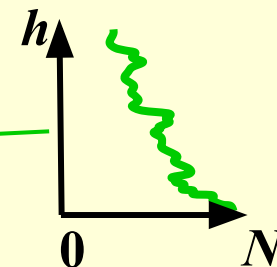


Положительная

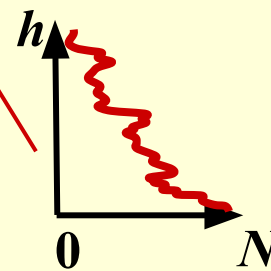
нормальная:  $g_n < 0, \rho = 25000\text{км}$



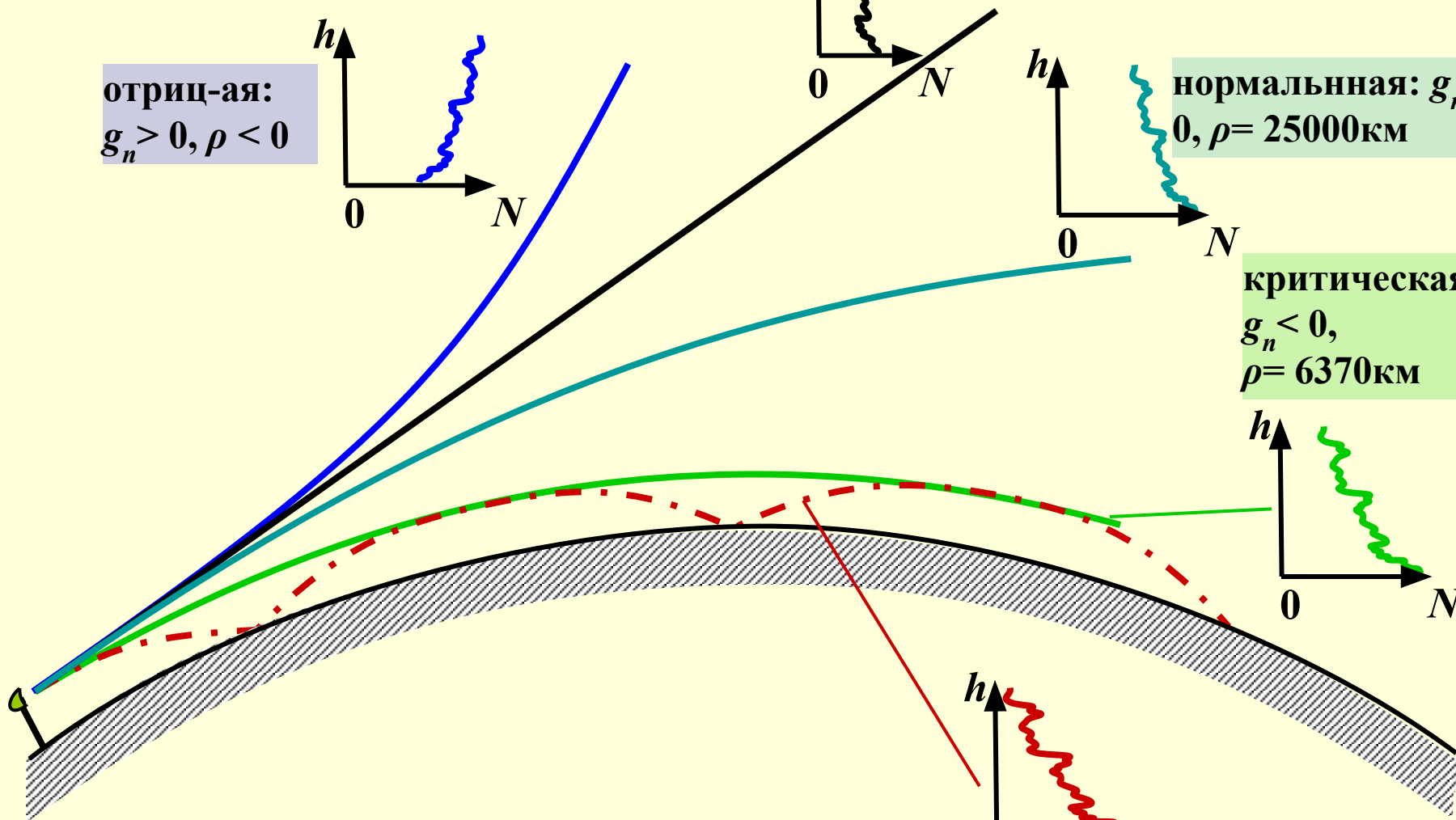
критическая:  
 $g_n < 0, \rho = 6370\text{км}$



сверхкритическая:  $g_n < 0, \rho < 6370\text{км}$



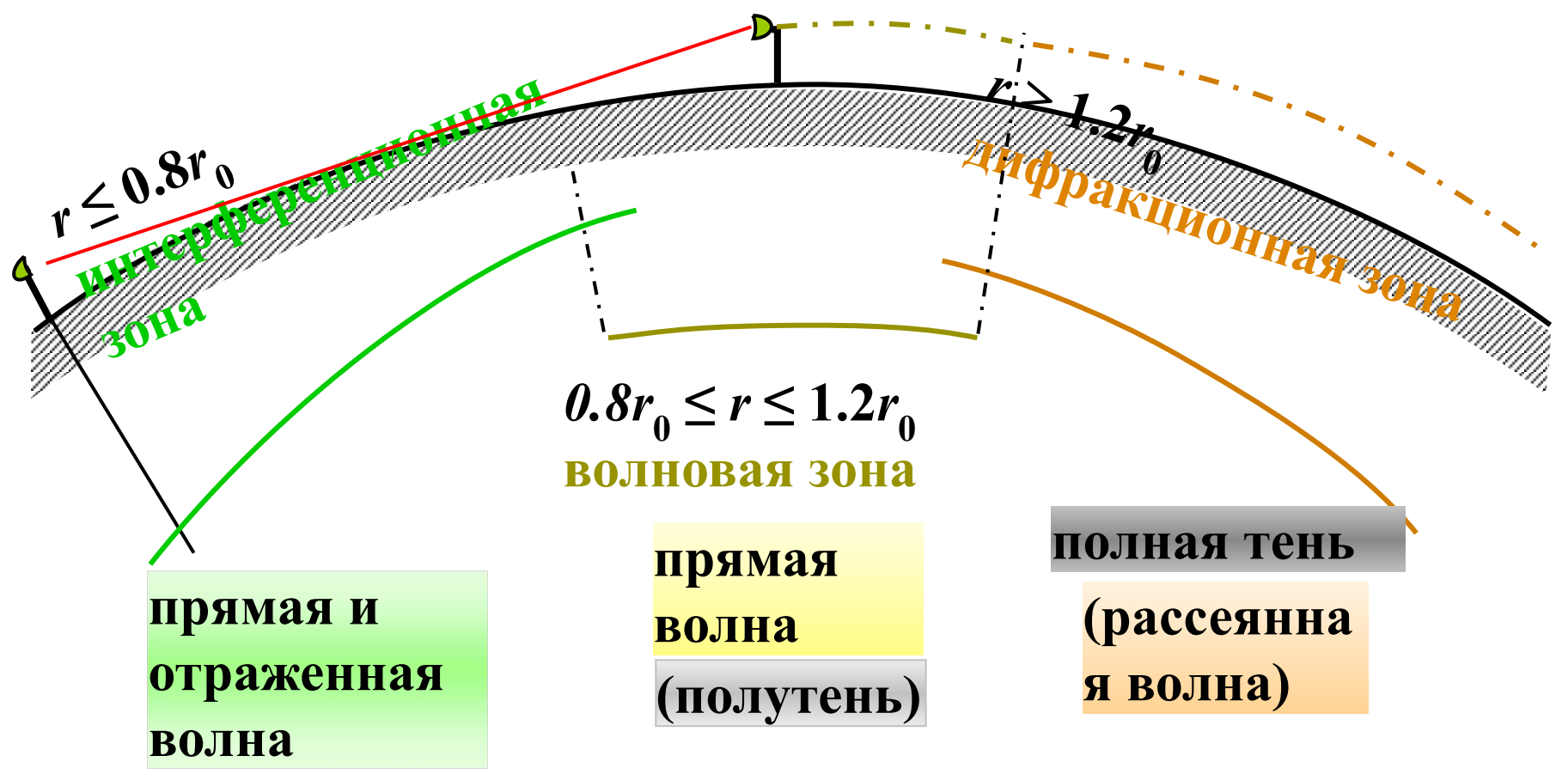
с учетом рефракции



# Особенности распространения УКВ вдоль земли

- без учета рефракции

- с учетом рефракции



прямая и отраженная волна

прямая волна (полутень)

полная тень (рассеянная волна)



# ВЫВОДЫ:

**1. Рефракция – явление распространения РВ в тропосфере по криволинейным траекториям.**

**2. При отсутствии рефракции УКВ распространяются прямолинейно. При положительной – отклоняются в сторону земли. При отрицательной – от земли.**

**3. При критической и сверхкритической рефракции УКВ распространяются вдоль земли на большие расстояния как в волноводе.**

# Дальнее тропосферное распространение УКВ

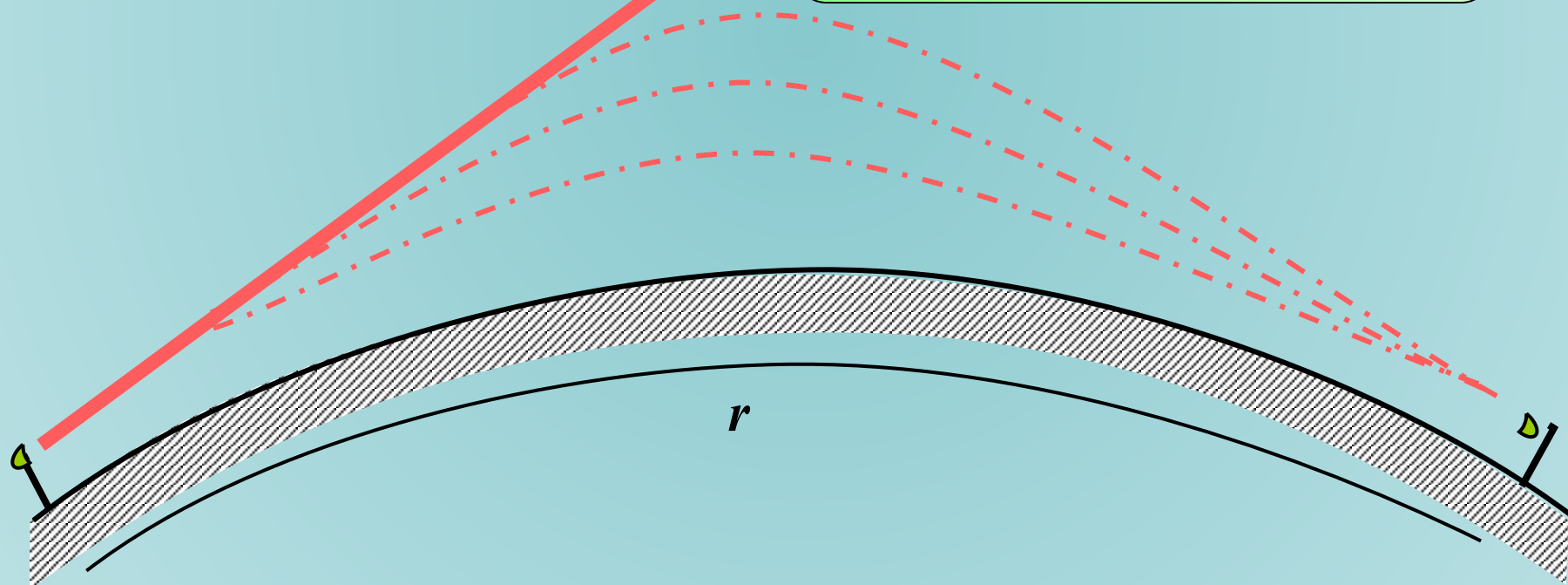


Какая первая?

Сегодня есть  
три теории ДТР  
УКВ



ЭМВ частично  
преломляется из-за  $g_N < 0$ ,  
как при *рефракции*



# Дальнее тропосферное распространение УКВ

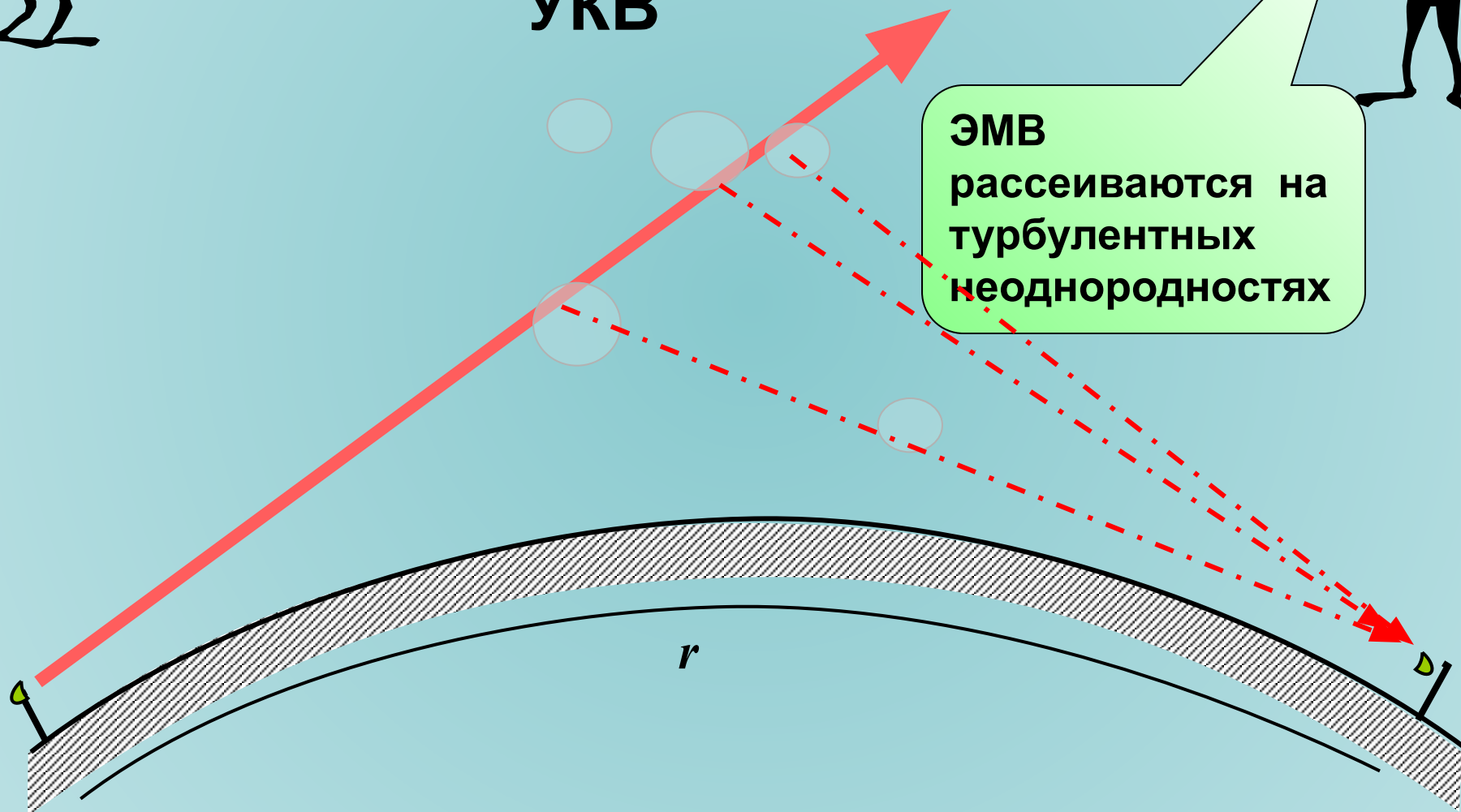


А  
другая?

Сегодня есть  
три теории ДТР  
УКВ



ЭМВ  
рассеиваются на  
турбулентных  
неоднородностях



# Дальнее тропосферное распространение УКВ

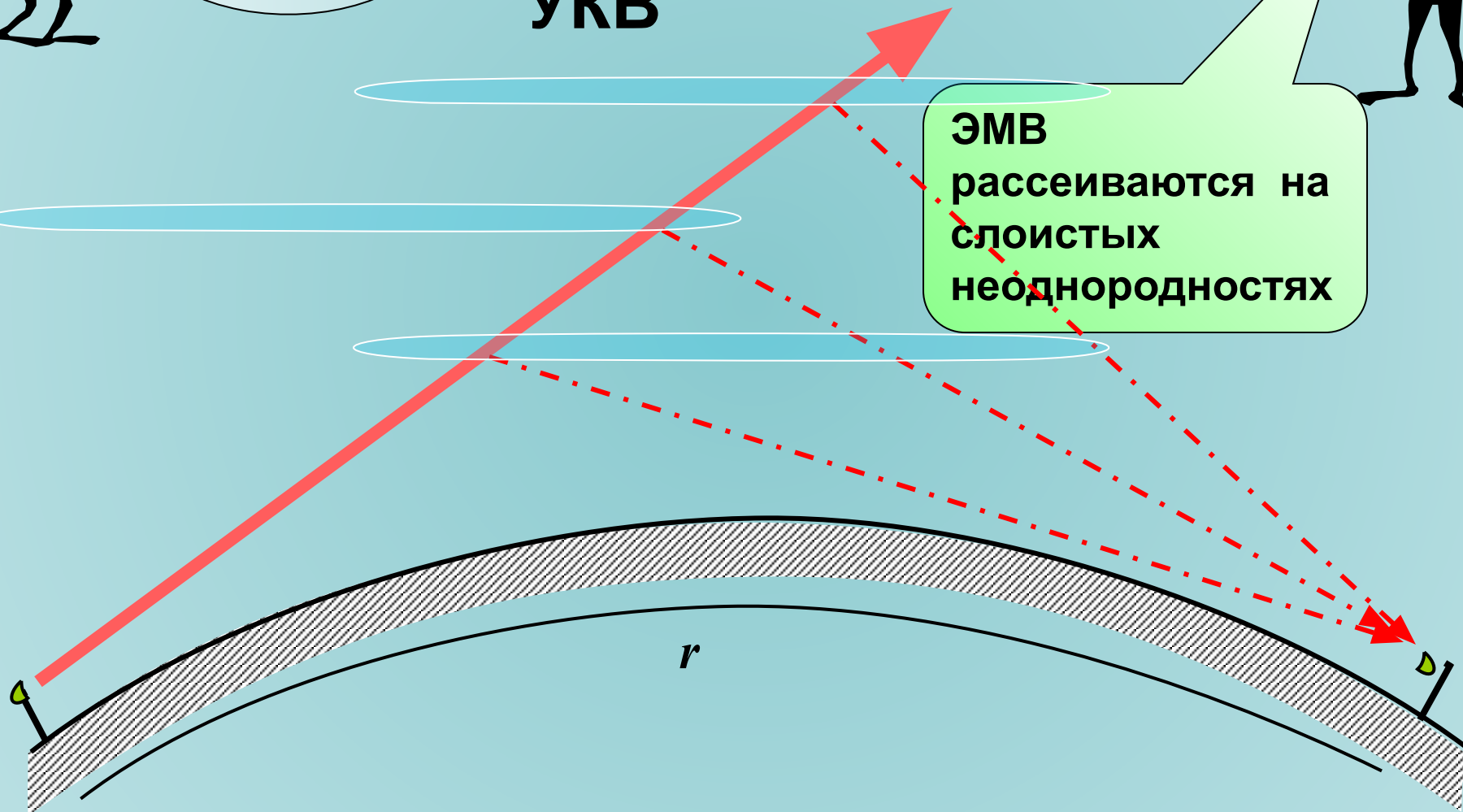


Про две  
понятно,  
а третья?

Сегодня есть  
три теории ДТР  
УКВ



ЭМВ  
рассеиваются на  
слоистых  
неоднородностях

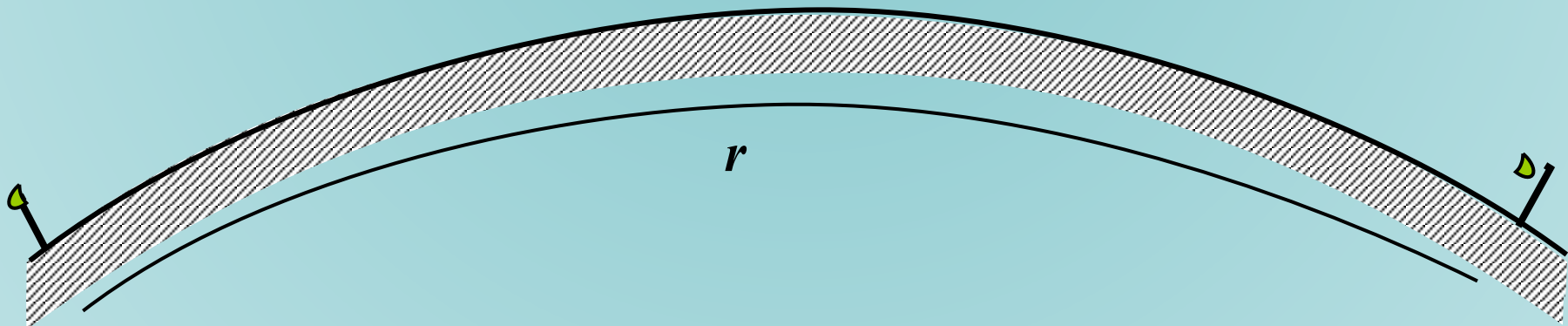


# Дальнее тропосферное распространение УКВ

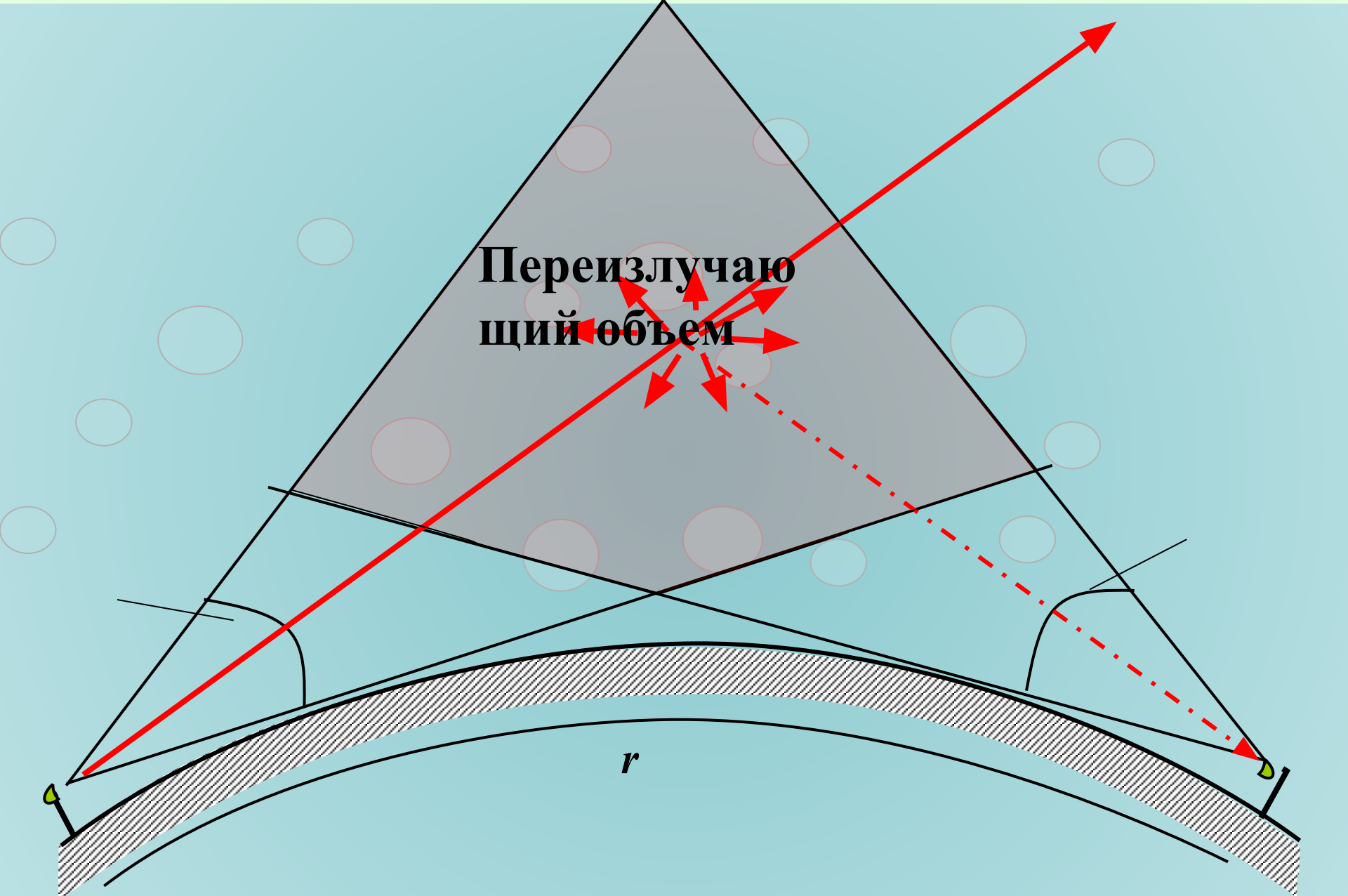


И какая же  
правильна  
я???

**Только все вместе !**

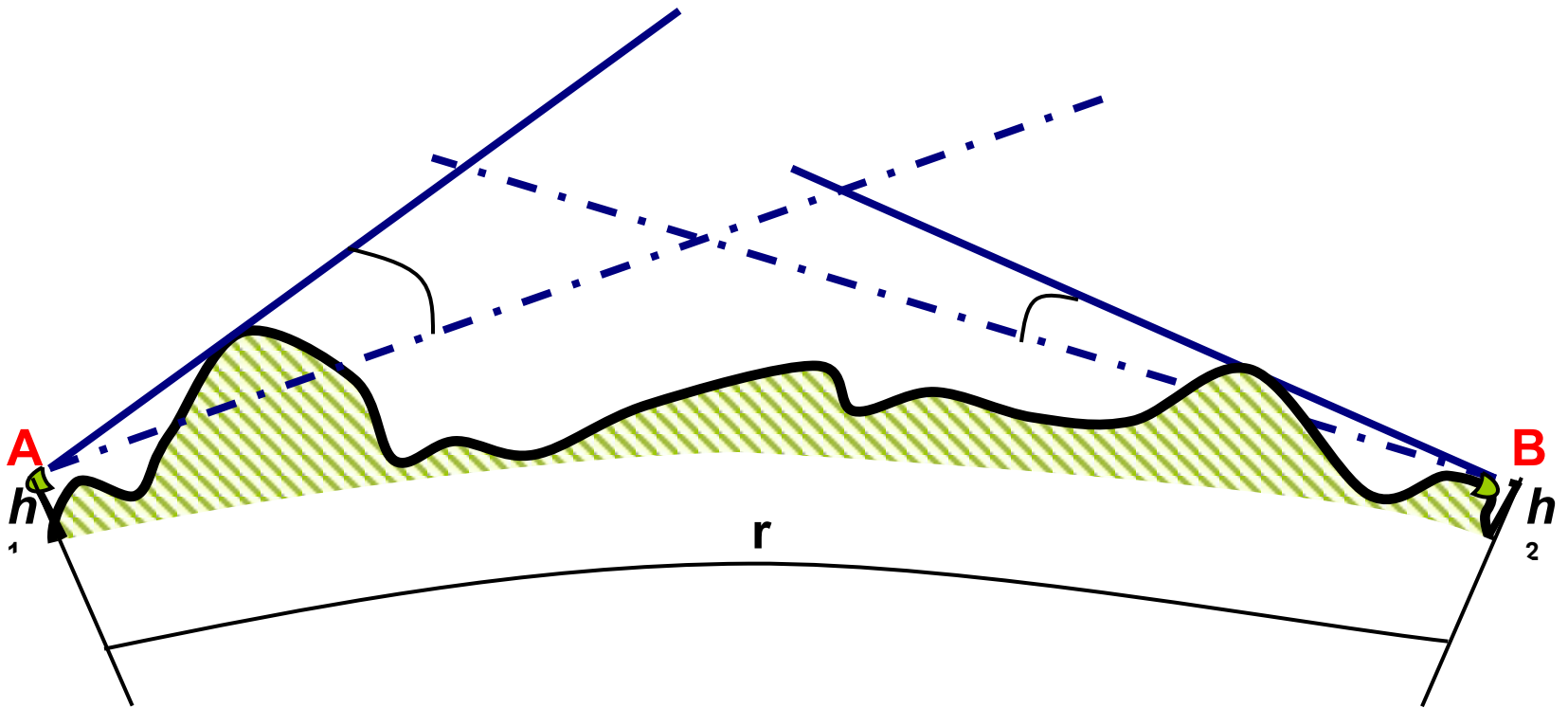


# Дальнее тропосферное распространение УКВ





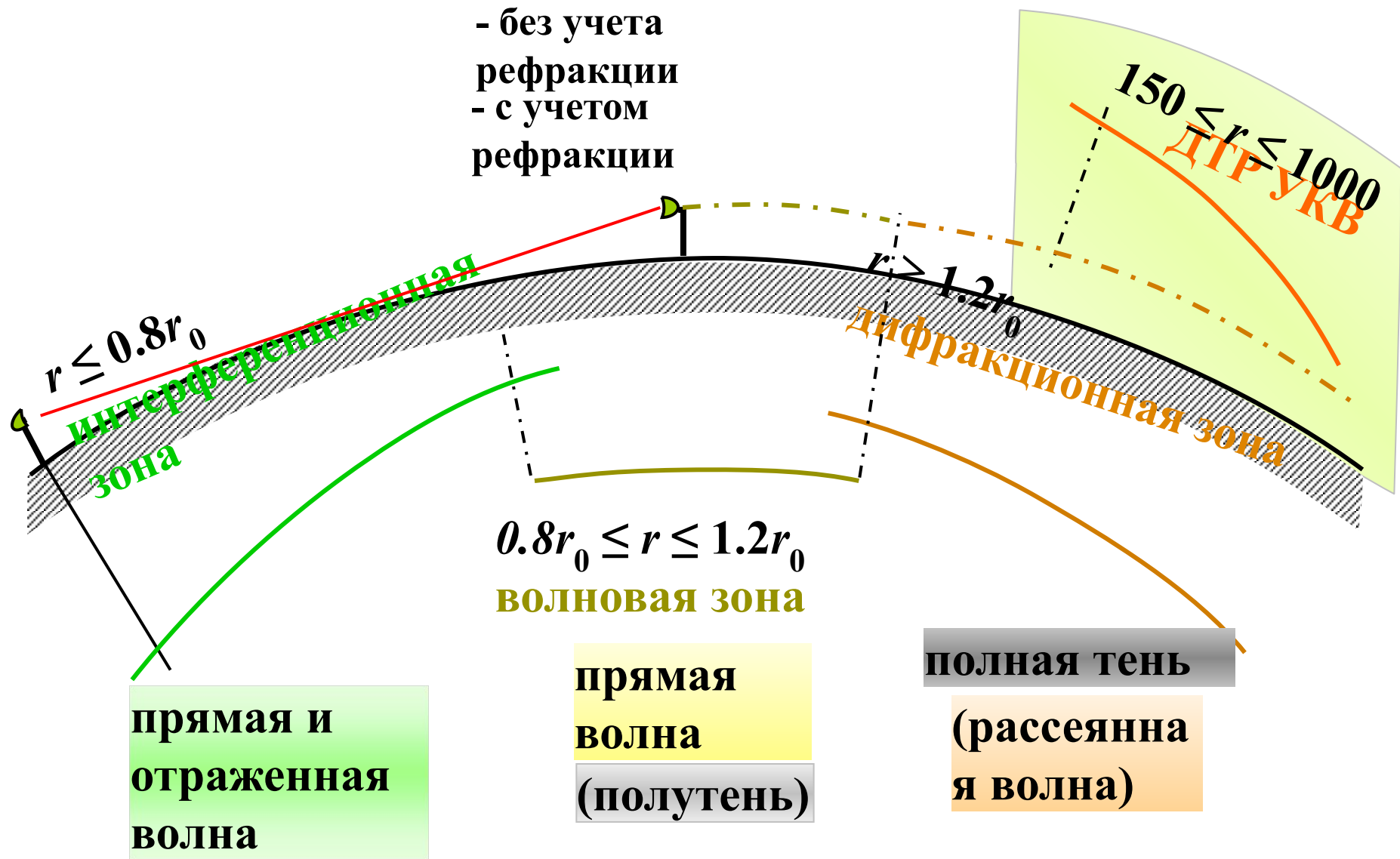
# Поправка на релјеф $\Delta F_p$







# Особенности распространения УКВ вдоль земли



# **Преимущества радиолиний дальней тропосферной связи**

- 1. возможность обеспечения надежной многоканальной прямой связи без ретрансляции на расстояния до 300 - 500 км;**
- 2. возможность установления надежной многоканальной связи на большие расстояния через водные преграды, горные препятствия, а также в труднодоступной и малонаселенной местности;**
- 3. возможность обеспечения радиорелейной связи высокого качества на большие расстояния (до 2500 км) с уменьшением общего числа станций в 3 – 4 раза;**
- 4. значительно меньшая уязвимость военных радиолиний за счет уменьшения числа линий на трассе.**





## Задание для самостоятельной работы

№25

Определить предельное расстояние прямой видимости при распространении УКВ в условиях гладкой (ровной) поверхности земли при нормальной тропосферной рефракции, если высоты подъема антенн равны 16м.

$$r_0 \approx 3,57 \left( \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right). \quad r_0 \approx 4,12 \left( \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right)$$

2. Определить предельное расстояние на радиолинии ДТР УКВ при условии, что высота  $H_0$  переизлучающего объема  $V_p$  равна 0,5км, а эквивалентный радиус Земли равен  $a_э = 8500$  км.

$$r_{\max 0} \approx \sqrt{8500 H},$$