



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

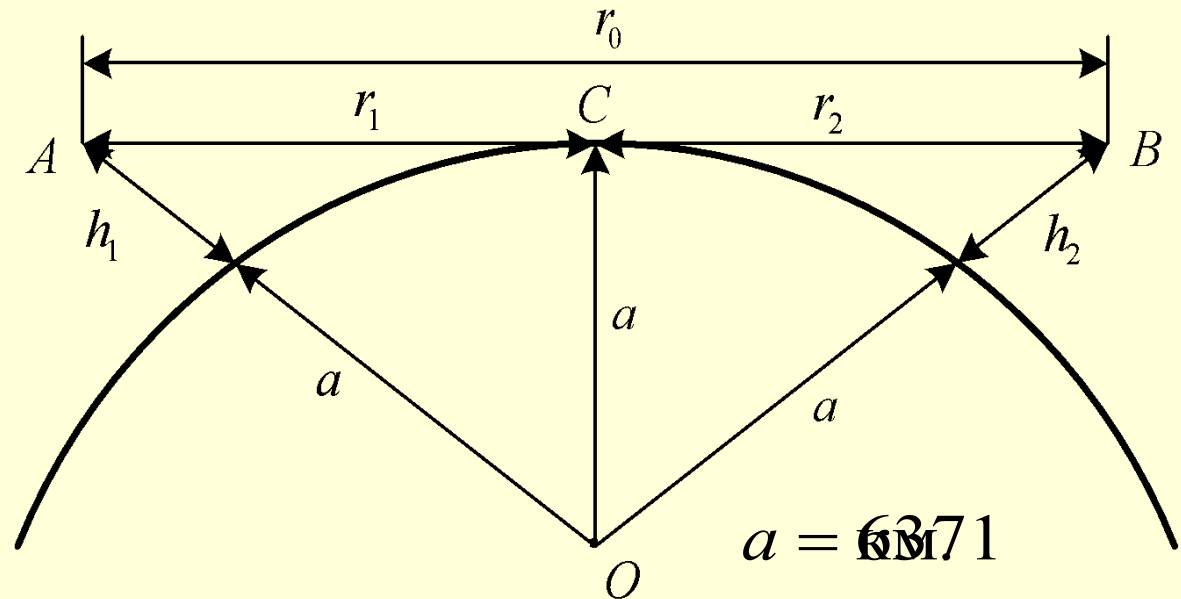
Дальность прямой видимости, когда прямая соединяющая антенны **A-B** касается поверхности земли в одной точке **C**.

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:**

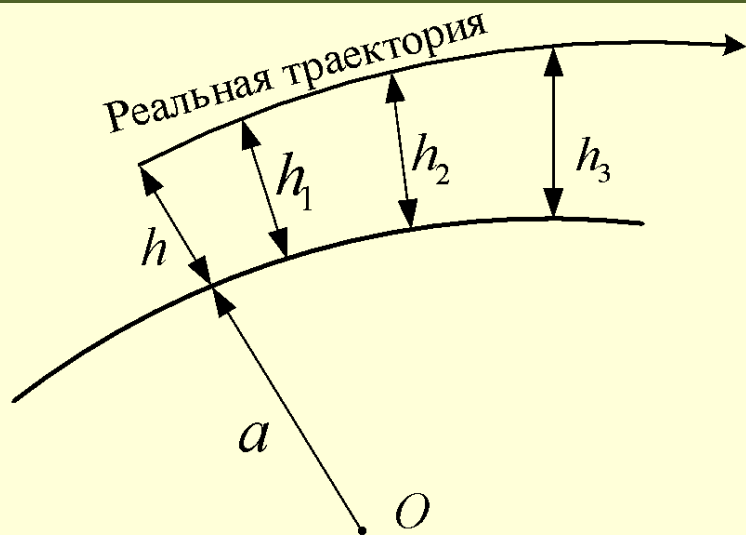
$$r_0 = \sqrt{2a} \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right) = 3,57 \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right).$$



Учет рефракции

С учетом рефракции дальность прямой видимости
будет изменяться

№5



Условие эквивалентности: $\frac{1}{a} + \frac{1}{a_{\text{э}}} = \frac{1}{\rho_{\text{прямой}}}$

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 $a_z = 8500$ км, тогда

Расстояние прямой видимости с учетом рефракции

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

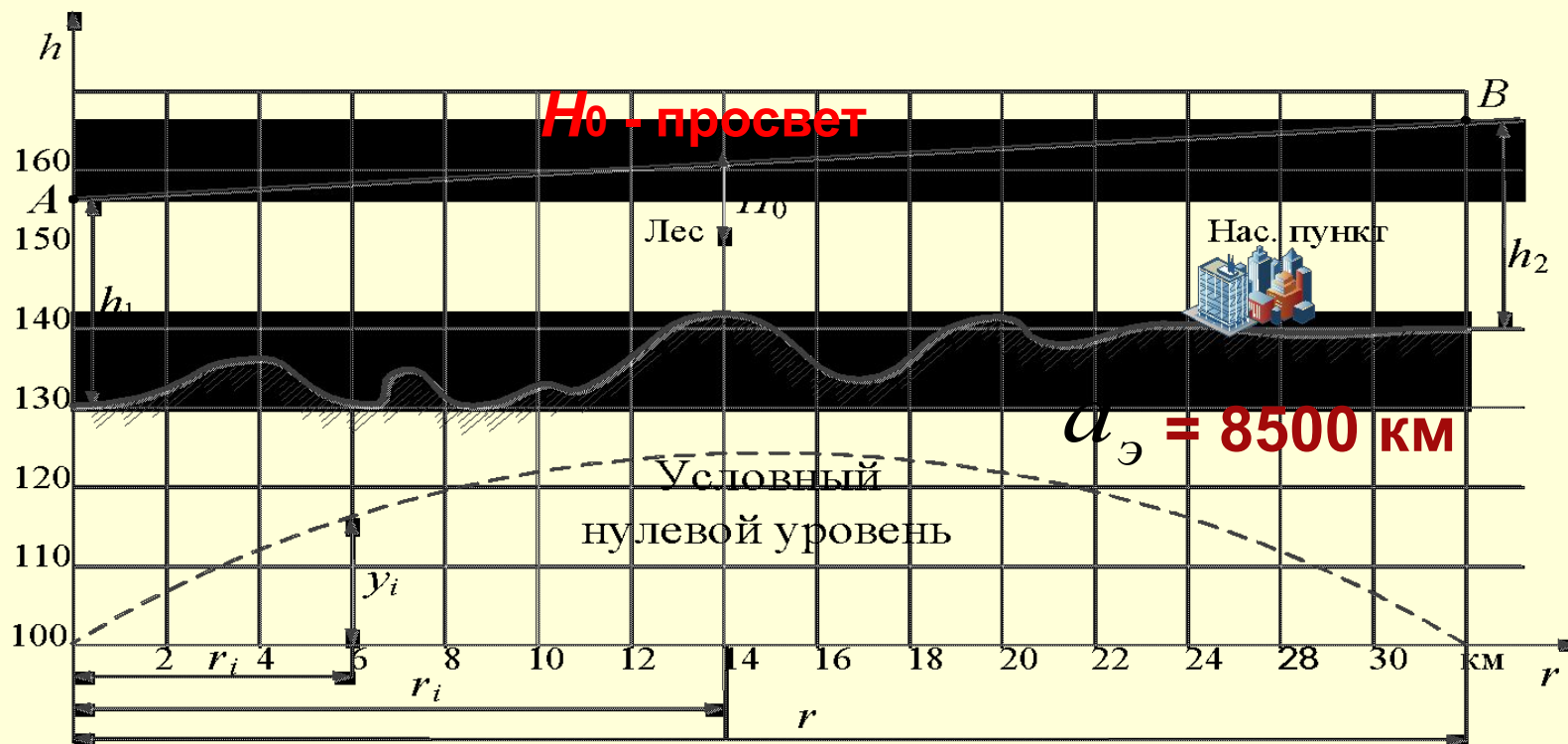
При распространении УКВ над ровной сферической поверхностью различают:

- 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 $0 < H_0 < \rho_c$.

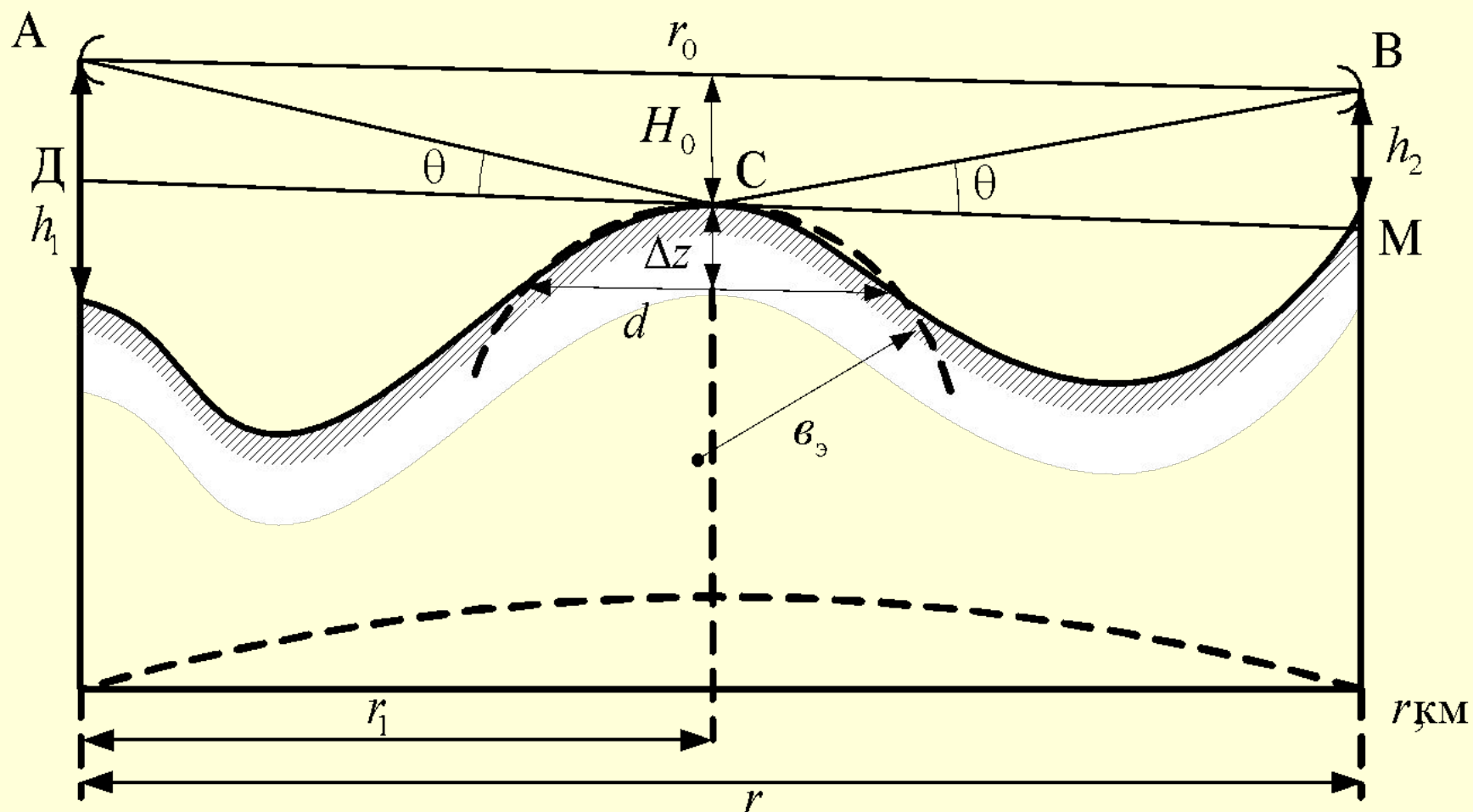
3. Закрытая, когда $H_0 \leq 0$,

Критерием условия радиосвязи является H_0 .



Профиль трассы с одной точкой отражения

№10



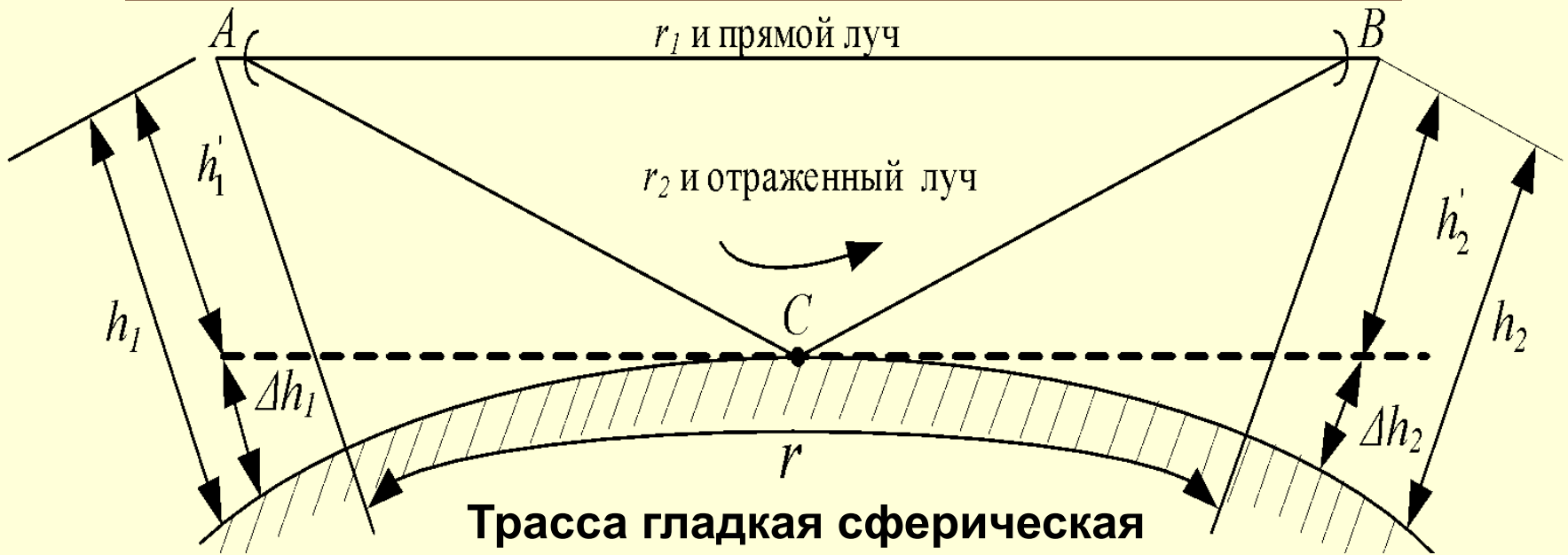


2. Расчёт множителя ослабления с учётом влияния тропосферы и поверхности земли

№12

Область прямой видимости

В точку приема приходит прямой и отраженный луч



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

$R_{\text{э}}$ - 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: $\sigma > 0$, $R_{\Gamma, \text{В}} \approx -1$, $\Gamma, \text{В} \approx 180^\circ$

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

$$R_{\text{э}} = R_{\text{вГ}} D_{\text{р}}, \quad \Delta r = r_2 - r_1.$$

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:

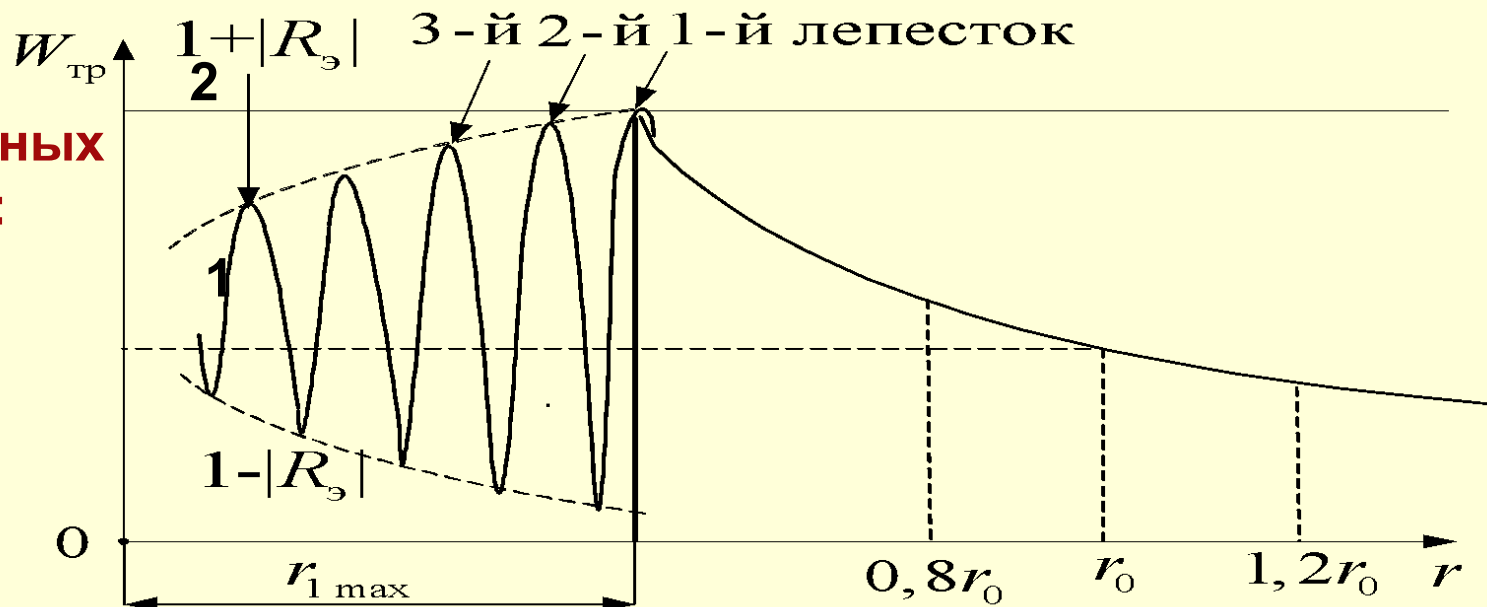
$$E_{\text{д}} (\text{мкВ/м}) = \frac{180 \sqrt{P_{\Phi} (\text{кВт})} \sqrt{G h'_1 h'_2}}{\lambda r^2}$$



Зависимость множителя ослабления от протяженности равнинной трассы

№14

В относительных единицах:



В децибелах:

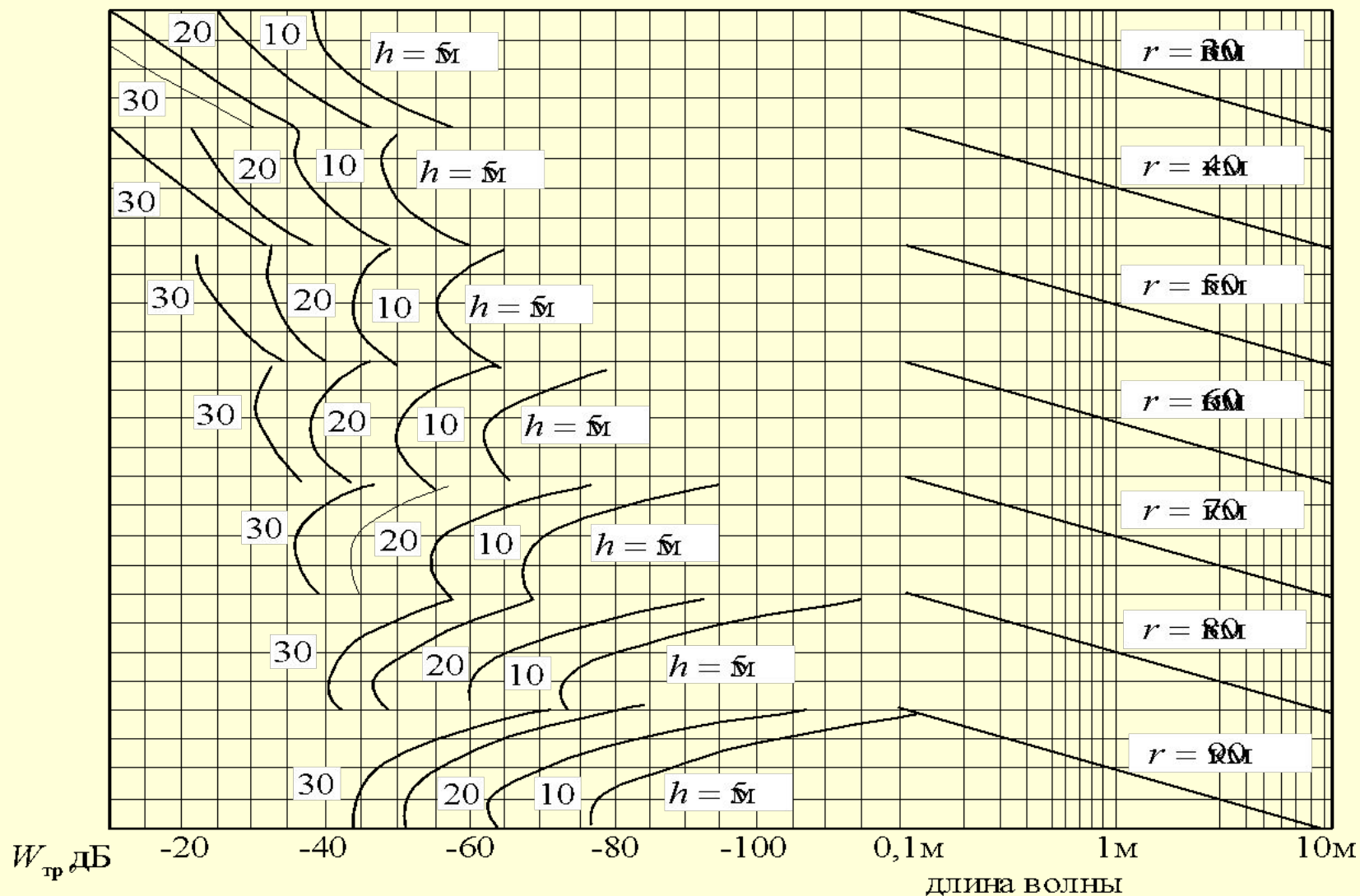


Чаще множитель ослабления определяют по аппроксимирующим формулам или по графикам.



Множитель ослабления на равнинной сферической трассе

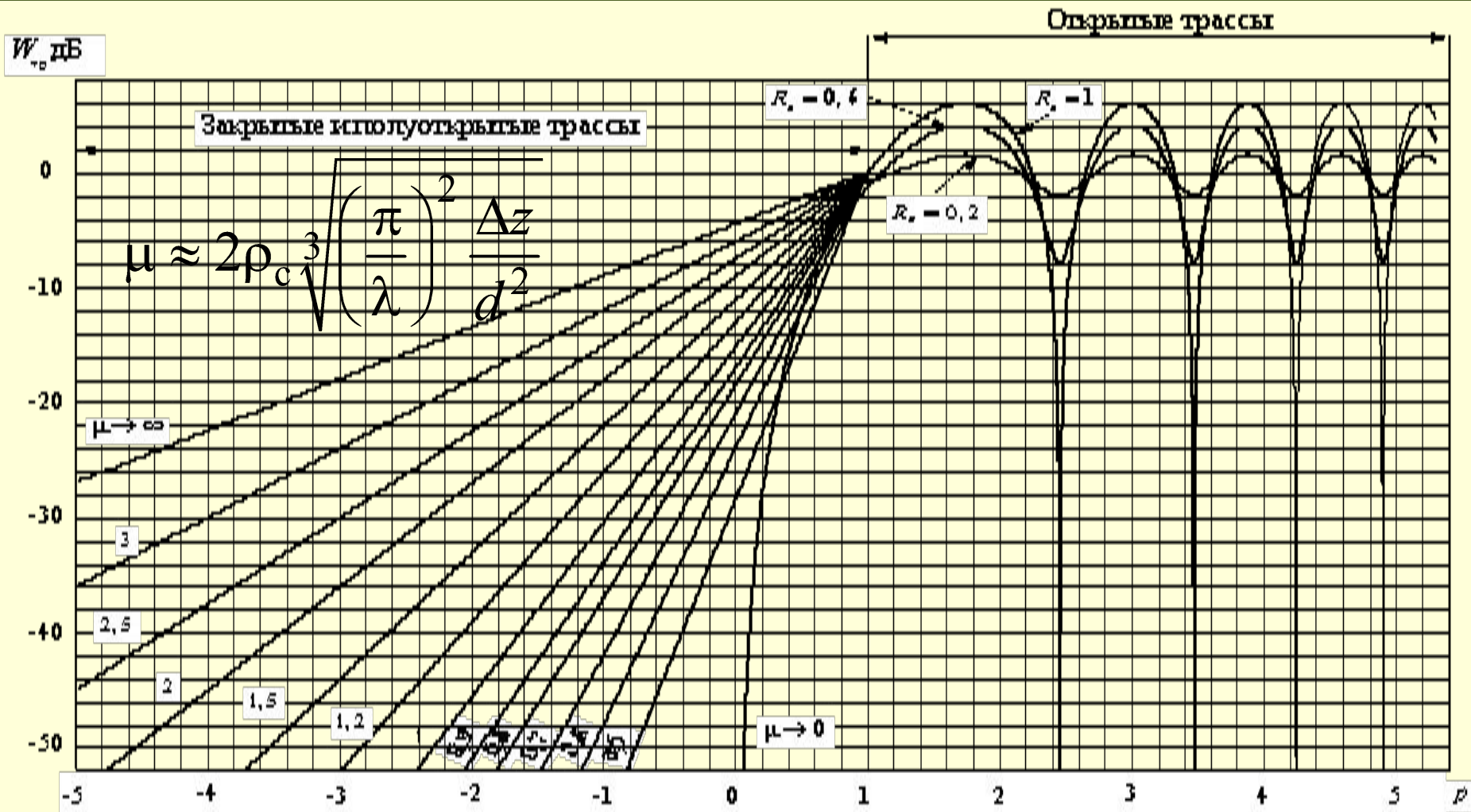
№15





Зависимость множителя ослабления от относительного просвета на трассе

№16



$$p = H_0 / \rho$$



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.

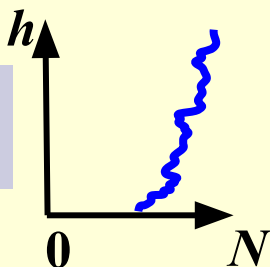
С учетом замирания радиоволн:

$$W_{тр} = W_{мед} + W_3(t) < 0.$$

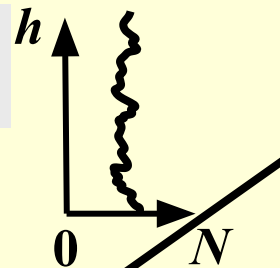
Рефракция и ее виды

Отрицательная

отриц-ая:
 $g_n > 0, \rho < 0$

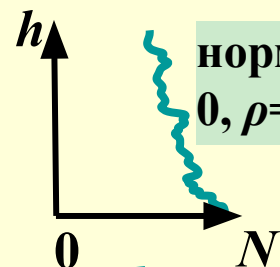


нулевая:
 $g_n = 0, \rho = \infty$

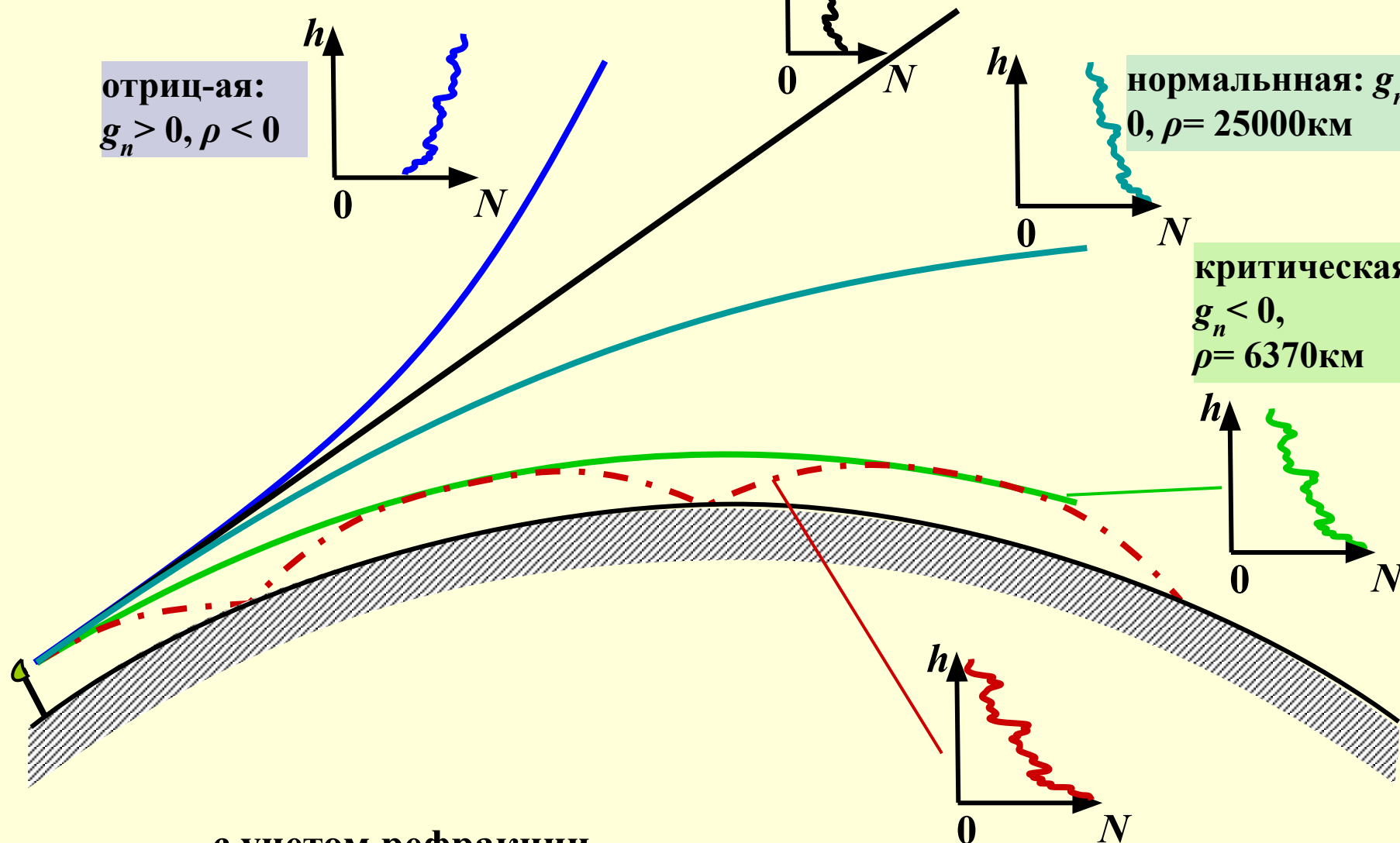
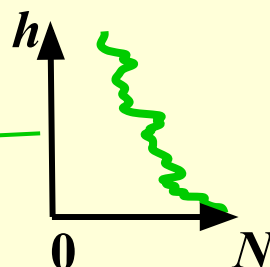


Положительная

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

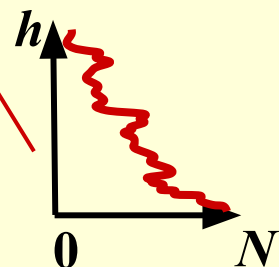


критическая:
 $g_n < 0, \rho = 6370\text{км}$



с учетом рефракции

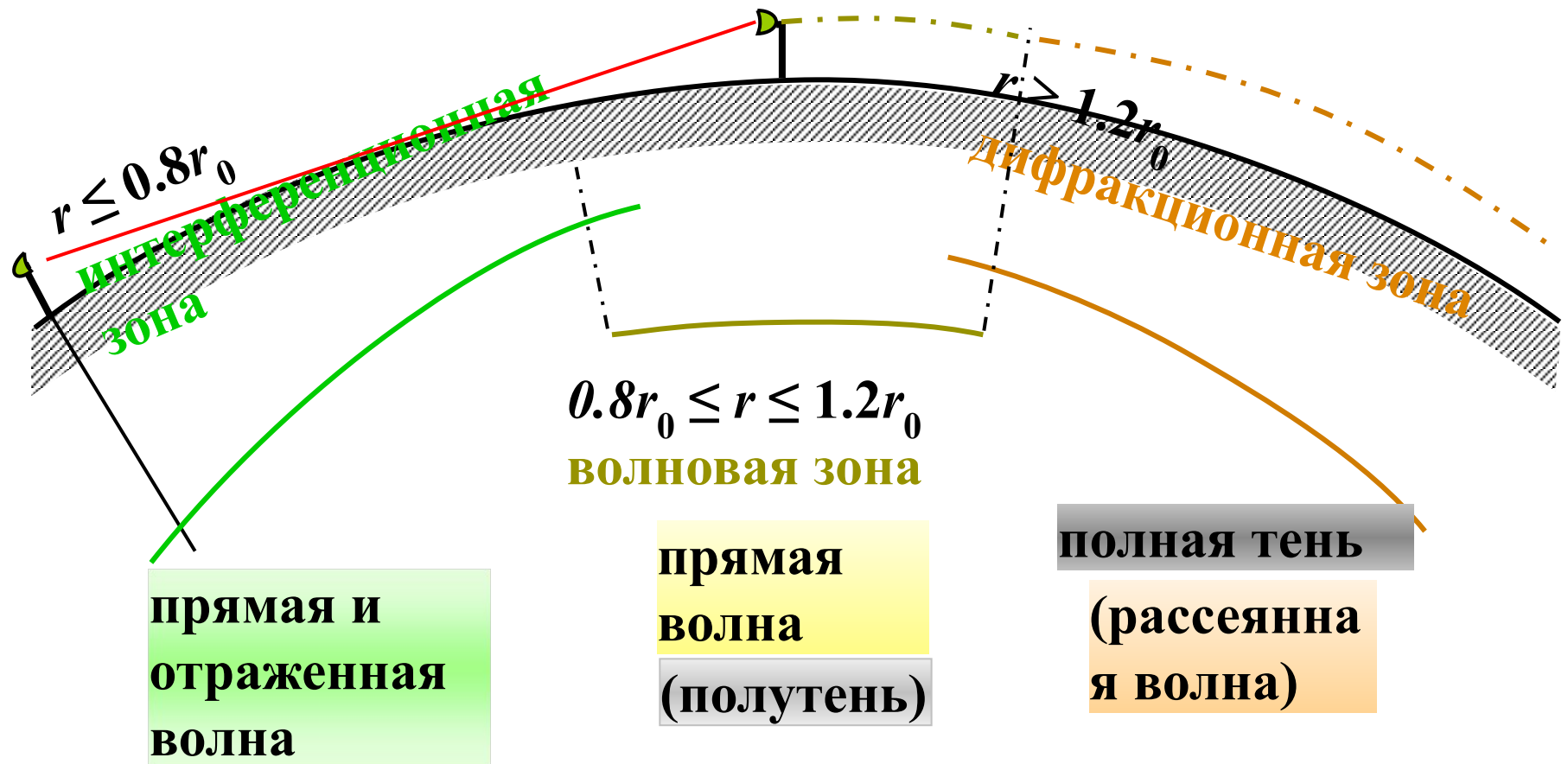
сверхкритическая: $g_n < 0, \rho < 6370\text{км}$



Особенности распространения УКВ вдоль земли

- без учета рефракции

- с учетом рефракции



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



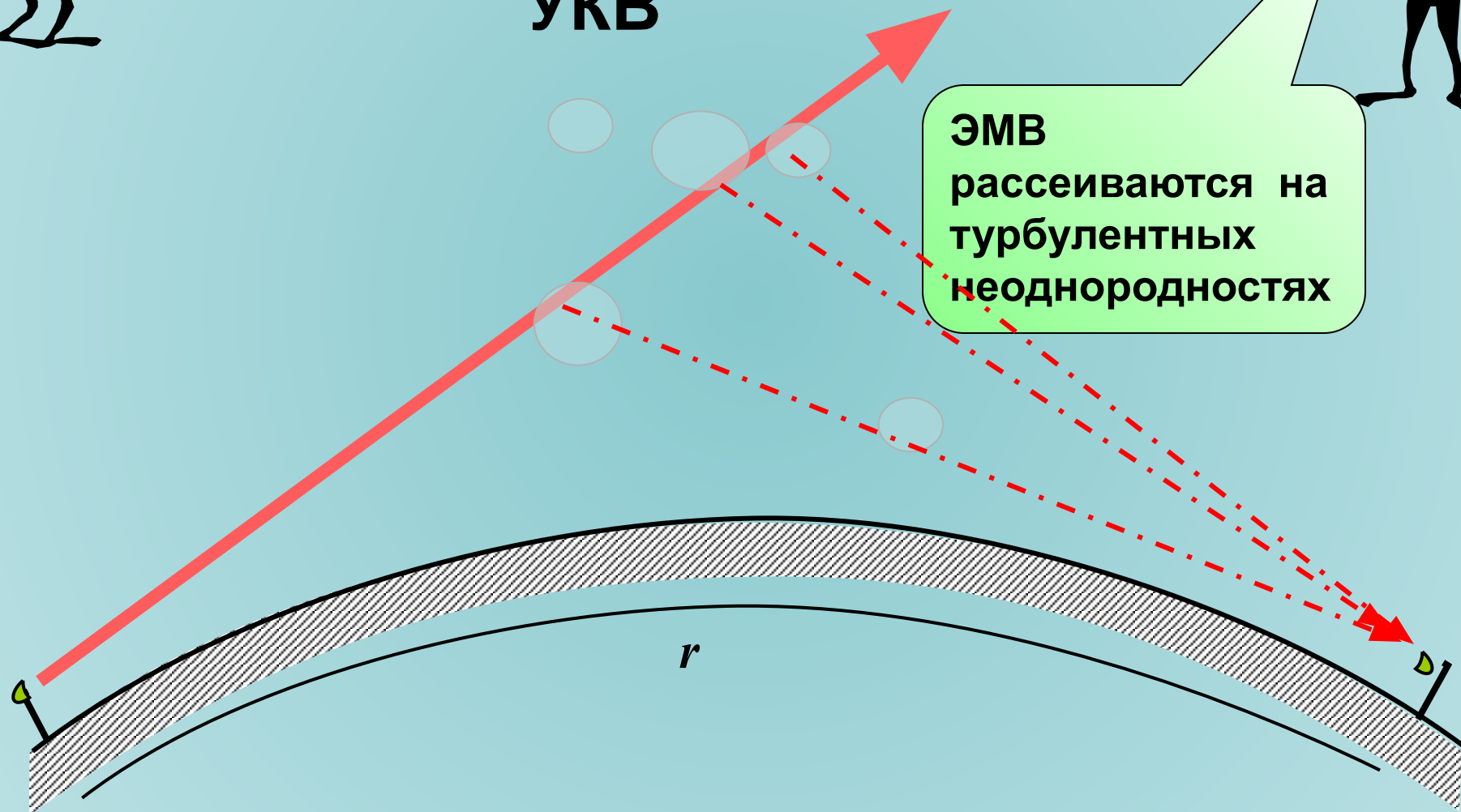
Дальнее тропосферное распространение УКВ



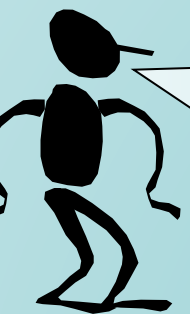
**Сегодня есть
три теории ДТР
УКВ**



**ЭМВ
рассеиваются на
турбулентных
неоднородностях**



Дальнее тропосферное распространение УКВ

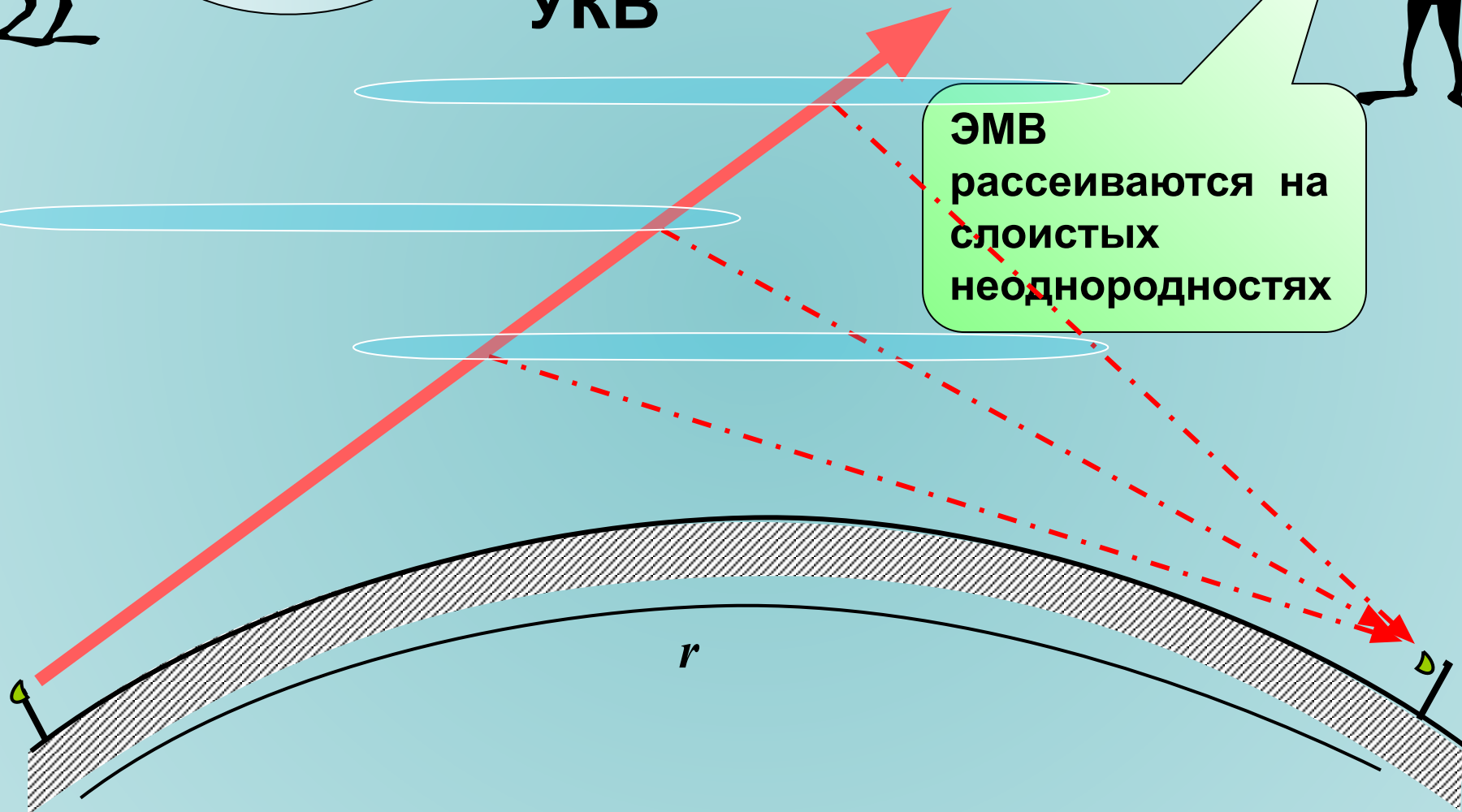


Про две
понятно,
а третья?

**Сегодня есть
три теории ДТР
УКВ**



**ЭМВ
рассеиваются на
слоистых
неоднородностях**

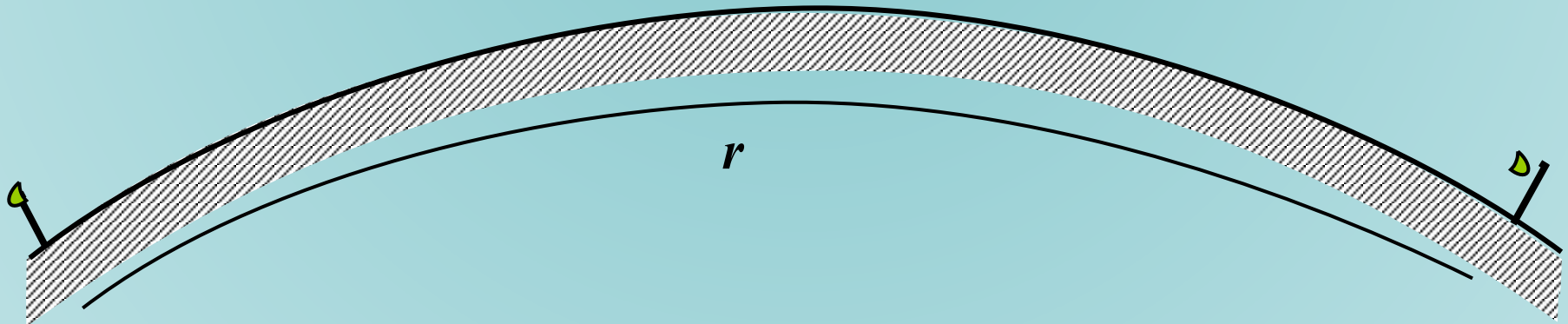


Дальнее тропосферное распространение УКВ

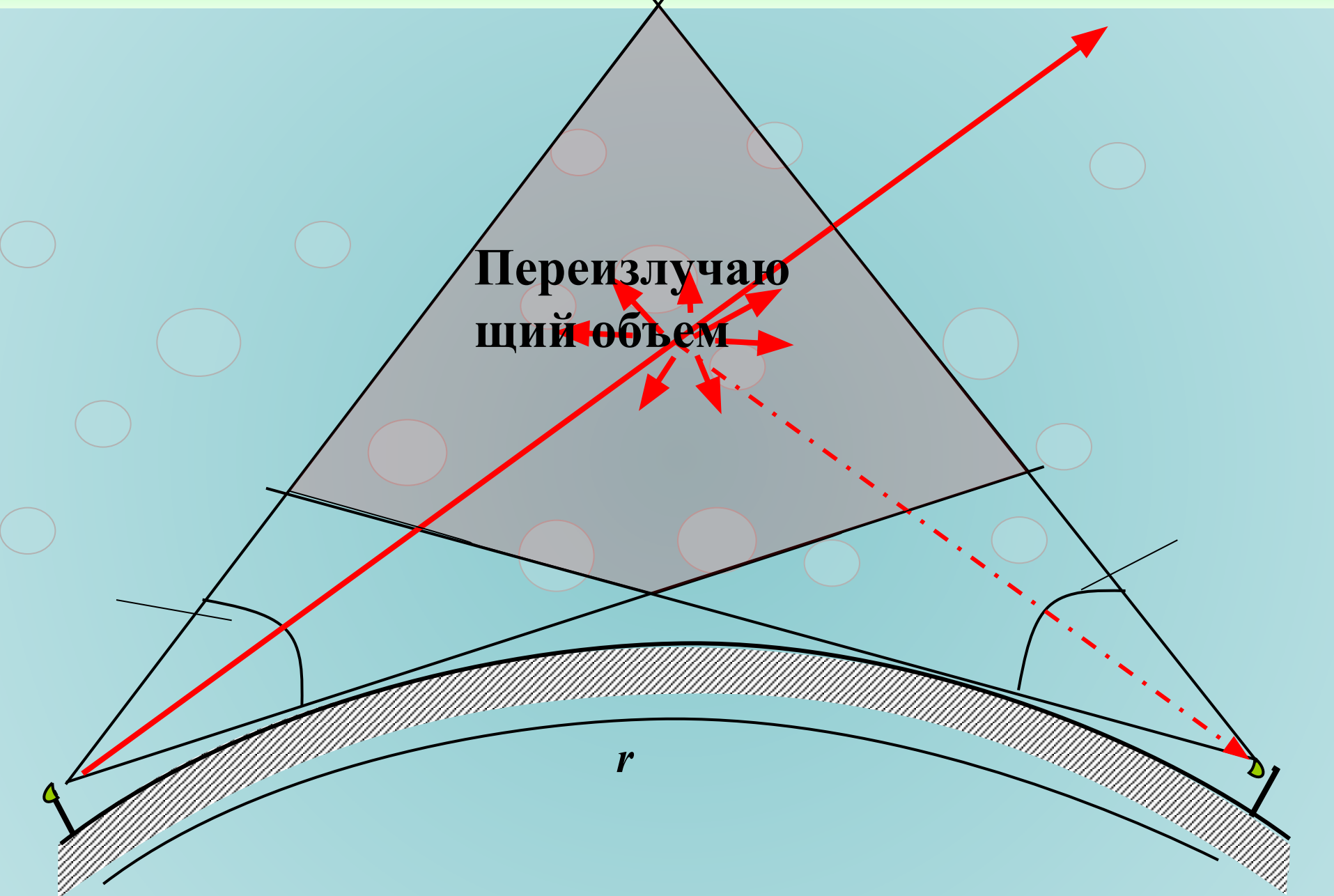


И какая же
правильна
я???

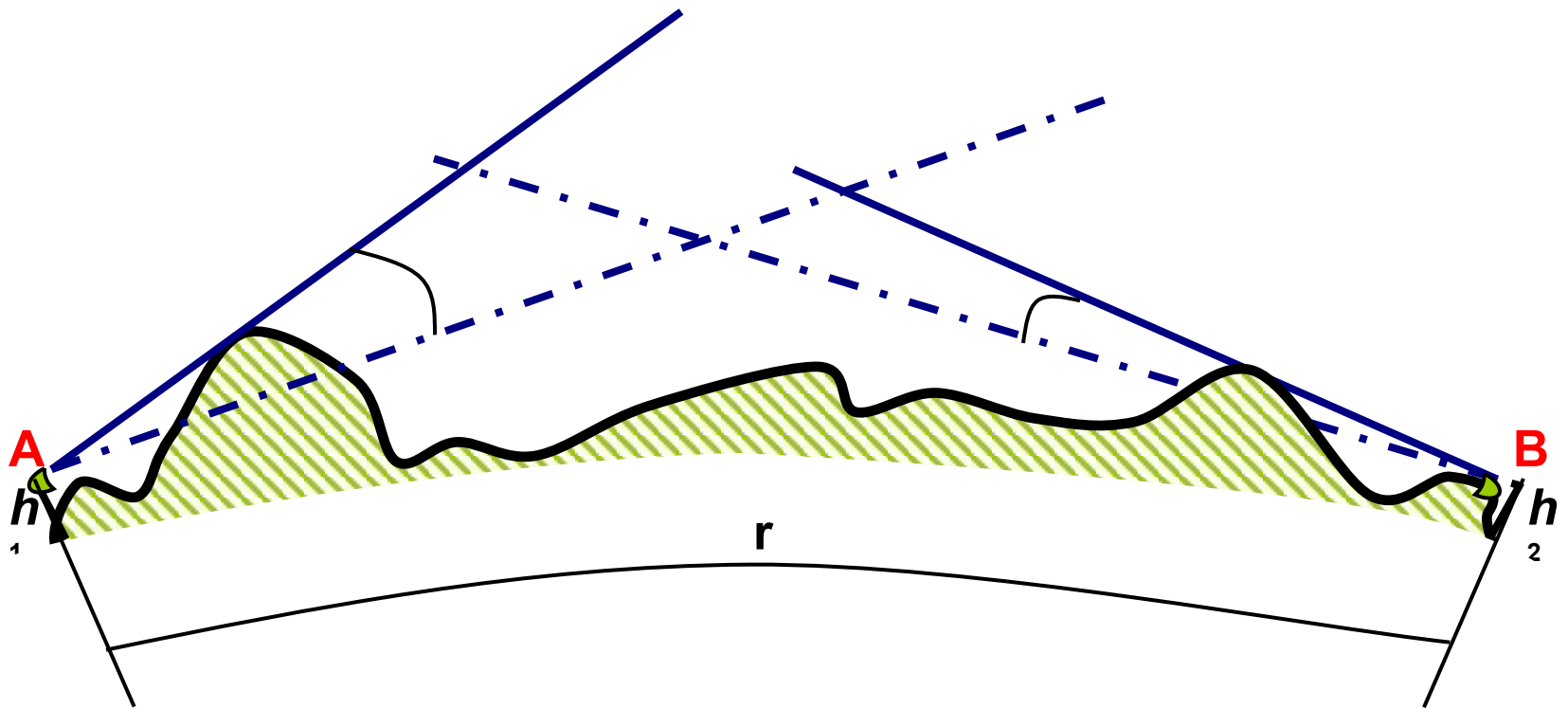
Только все вместе !



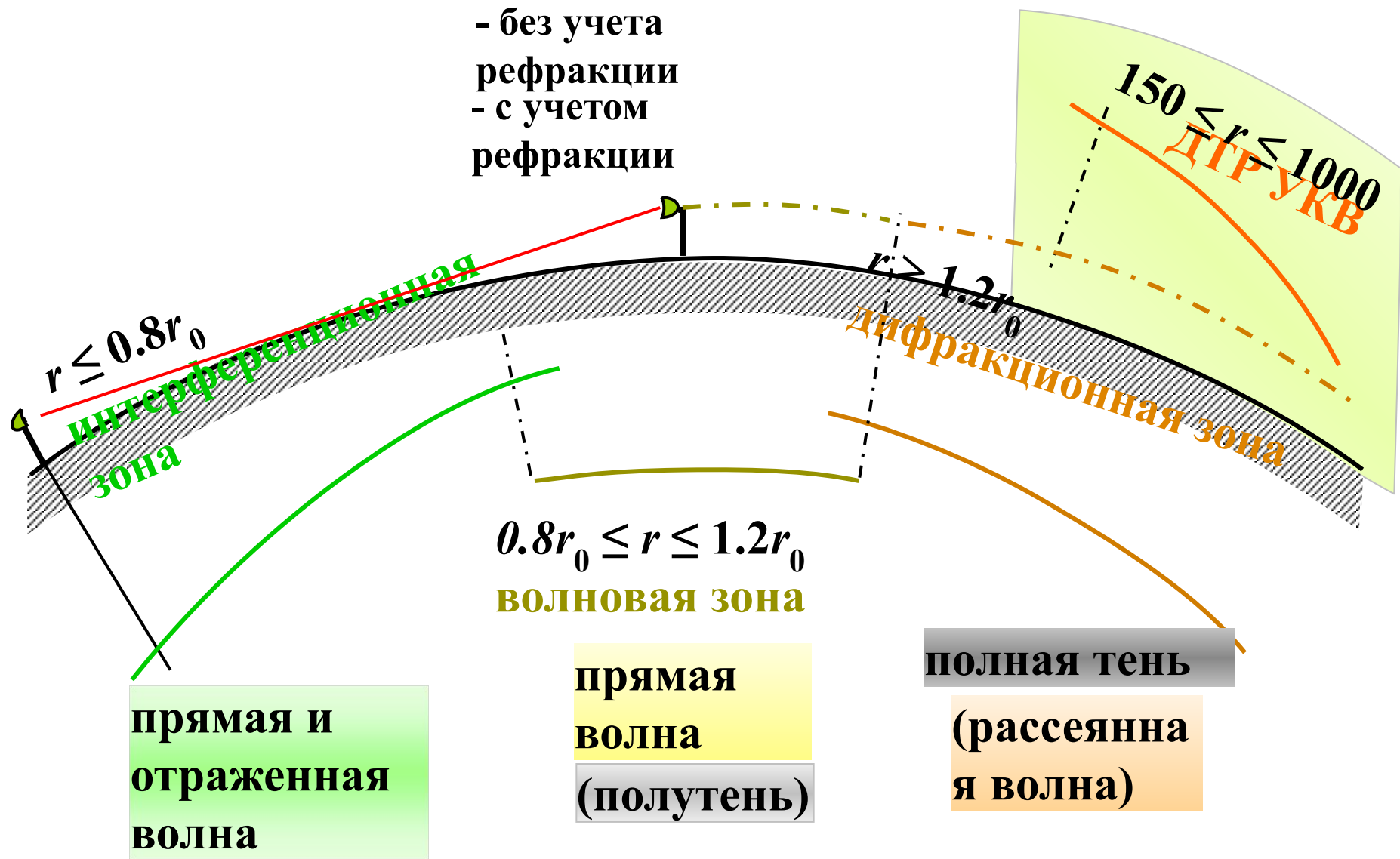
Дальнее тропосферное распространение УКВ



Поправка на релјеф ΔF_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.

$$r_{\max 0} \approx \sqrt{8a_э H},$$