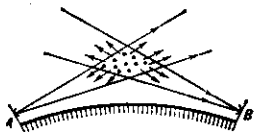


тропосфера существенно влияет на распространение УКВ. Для декаметровых и более длинных волн тропосфера практически прозрачна, и на их распространение влияют земная поверхность и более высокие слои атмосферы.

Рис. 8. Рассеяние радиоволн на мелкомасштабных неоднородностях.



Распространение радиоволн в ионосфере. Ионосферу образуют верх. слои земной атмосферы, в к-рой газы частично (до 1%) ионизированы под влиянием УФ-, рентг. и корпускулярного солнечного излучения. Ионосфера электрически нейтральна, она содержит равное кол-во положит. и отрицат. частиц, т. е. является плазмой. Достаточно большая ионизация, оказывающая влияние на Р. р., начинается на высоте 60 км (слой D), увеличивается до высоты 300—400 км, образуя слои E, F₁, F₂, и затем медленно убывает. В гл. максимуме концентрация электронов N достигает 10⁶ см⁻³. Зависимость N от высоты меняется со временем суток, года, с солнечной активностью, а также с широтой и долготой. Ионизиров. слой между 200 и 400 км состоит в осн. из равного кол-ва ионов O⁺ и электронов. Эти частицы погружены в нейтральный газ с концентрацией 10¹⁹ см⁻³, состоящий в осн. из частиц O₂, O, N₂ и He.

В многокомпонентной плазме, содержащей электроны, ионы и нейтральные молекулы и пронизанной магн. полем Земли (см. *Земной магнетизм*), могут возникать разл. виды собств. колебаний, имеющих разные частоты. Напр., плазменные (ленгмюровские) частоты электронов $\omega_0 = \sqrt{4\pi Ne^2/m}$ и ионов $\Omega_0 = \sqrt{4\pi N_e^2/M}$, гиромагн. частоты электронов $\omega_H = eH_0/mc$ и ионов $\Omega_H = eH_0/Mc$, где m , M — массы электрона и иона, e — их заряд, N — концентрация, H_0 — напряжённость магн. поля Земли. Т. к. $M \gg m$, то $\omega_0 \gg \Omega_0$, $\omega_H \gg \Omega_H$. Напр., для электронов $\omega_H/2\pi = 1,4$ МГц, а для ионов атомарного кислорода $\Omega_H/2\pi = 54$ Гц.

В зависимости от частоты ω радиоволн осн. роль в Р. р. играют те или др. виды собств. колебаний, поэтому электр. свойства ионосферы различны для разных участков радиодиапазона. При высоких ω ионы не успевают следовать за изменениями поля и в Р. р. принимают участие только электроны. Вынужденные колебания свободных электронов ионосферы происходят в противофазе с действующей силой и вызывают поляризацию плазмы в сторону, противоположную электр. полю волны E. Поэтому диэлектрич. проницаемость ионосферы $\epsilon < 1$. Она уменьшается с уменьшением частоты: $\epsilon = 1 - \omega_0^2/\omega^2$. Учёт соударений электронов с атомами и ионами даёт более точные ф-лы для ϵ и σ ионосферы:

$$\epsilon = 1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2 + \nu^2}; \quad \sigma = \frac{\omega_0^2 \nu}{4\pi(\omega^2 + \nu^2)}$$

Здесь ν — эфф. частота соударений. Для декаметровых и более коротких волн в большей части ионосферы $\omega^2 \gg \nu^2$ и показатели преломления n и поглощения κ приближённо равны:

$$n \approx \sqrt{1 - \omega_0^2/\omega^2}, \quad \kappa \approx 2\pi\sigma/\omega\sqrt{\epsilon}$$

Поскольку $n < 1$, фазовая скорость Р. р. $v_\phi = c/n > c$, групповая скорость $v_{гр} = c/n < c$.

Поглощение в ионосфере пропорц. ν , т. к. чем больше число столкновений, тем большая часть энергии, получаемой электроном из волн, переходит в тепло. Поэтому поглощение больше в ниж. областях ионосферы (слой D), где ν больше, т. к. выше плотность газа. С увеличе-

нием частоты поглощение уменьшается. Короткие волны испытывают слабое поглощение и распространяются на большие расстояния.

Рефракция радиоволн в ионосфере. В ионосфере распространяются только радиоволны с частотой $\omega > \omega_0$. При $\omega < \omega_0$ показатель преломления становится чисто мнимым и эл.-магн. поле экспоненциально убывает в глубь плазмы. Радиоволна с частотой ω , падающая на ионосферу вертикально, отражается от уровня, на к-ром $\omega = \omega_0$ и $n = 0$. В ниж. части ионосферы электронная концентрация и ω_0 увеличиваются с высотой, поэтому с увеличением ω посланная с Земли волна всё глубже проникает в ионосферу. Макс. частота радиоволны, к-рая отражается от слоя ионосферы при вертикальном падении, наз. критич. частотой слоя:

$$\omega_{кр} = \omega_0 \text{ макс} = \sqrt{4\pi e^2 N_{\text{макс}}/m}$$

Критич. частота слоя F₂ (гл. максимума) изменяется в течение суток и года в широких пределах (от 3—5 до 10 МГц). Для волн с $\omega > \omega_{кр}(F_2)$ показатель преломления не обращается в нуль и падающая вертикально волна проходит через ионосферу, не отражаясь.

При наклонном падении волны на ионосферу происходит рефракция, как в тропосфере. В ниж. части ионосферы $\text{grad } n \approx -(10^{-4} - 10^{-5}) \text{ м}^{-1}$, т. е. $|\text{grad } n| \gg 1/R_0$, поэтому $\text{grad } n_{пр} \approx \text{grad } n < 0$ и траектория луча отклоняется по направлению к Земле (рис. 9). Радиоволна, падающая на ионосферу под углом φ_0 , поворачивает

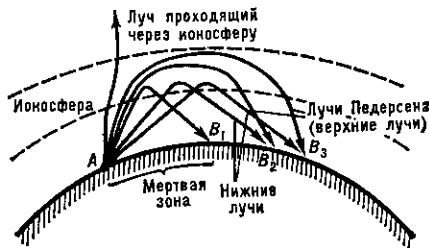


Рис. 9. Схематическое изображение радиолучей определённой частоты при различных углах падения на ионосферу.

к Земле на высоте h , для к-рой выполнено условие (5). Макс. частота волны, отражающейся от ионосферы при падении под углом (т. е. для данной дальности трассы), равна $\omega_{МПЧ} = \omega_{кр} \sec \varphi_0 > \omega_{кр}$ и наз. максимальной применимой частотой (МПЧ). Волны с $\omega < \omega_{МПЧ}$, отражаясь от ионосферы, возвращаются на Землю, что используется для дальней радиосвязи. Вследствие сферичности Земли величина угла φ_0 ограничена и дальность связи при однократном отражении от ионосферы ≤ 3500 —

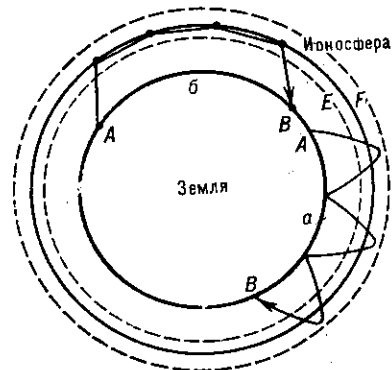


Рис. 10. Распространение коротких волн между Землёй и ионосферой: а — многоскачковая траектория; б — скользящая траектория.

4000 км. Связь на большие расстояния осуществляется за счёт неск. последоват. отражений от ионосферы и Земли («скачков», рис. 10, а). Возможны и более сложные