

## 11.4. Распространение звука

Изменение температуры воздуха и скорости ветра с высотой делают атмосферу неоднородной средой с переменной скоростью звука. Это приводит к искривлению (*рефракции*) звуковых лучей. Поскольку скорость распространения звука зависит от температуры, в разных слоях атмосферы, температура слоев которых различна, звук будет иметь разную скорость. В среде с переменным показателем преломления звуковые волны будут распространяться по кривым линиям. При этом, как показывают многочисленные опыты, луч загибается всегда так, что расстояние от точки к точке волна проходит за самое короткое время. Данное положение носит название *принципа Ферма*. Иначе говоря, распространяющаяся в неоднородной среде волна изменяет направление так, чтобы продлить свой путь в среде с большей скоростью распространения и сократить его в слоях, где скорость распространения меньше.

Если температура понижается с высотой, что обычно бывает днем, то звуковые лучи при этом загибаются вверх (рис. 11.2, *а*). В результате на некотором небольшом расстоянии от источника звук перестает быть слышимым. Если же с высотой температура увеличивается (*температурная инверсия*), звуковые лучи загибаются вниз (рис. 11.2, *б*) и звук доходит до более отдаленных точек земной поверхности. Этим объясняется тот часто наблюдаемый факт, что ночью звук слышен на большем расстоянии, чем днем. При большой температурной инверсии звуковые лучи, испытав значительное преломление, возвращаются к поверхности земли, отражаются от нее и снова поднимаются вверх (рис. 11.3). Таких отражений может быть несколько, звуковая энергия в этом случае концентрируется в некотором слое, который играет роль звукового канала. Дальность распространения при таких условиях значительно

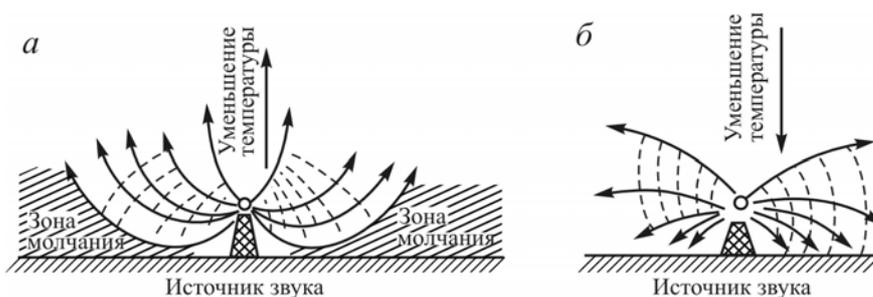


Рис. 11.2

увеличивается. Особенно заметно это в тихую ночь над рекой, благодаря слабому поглощению звуковых волн водной поверхностью. Поэтому вдоль реки можно слышать даже слабые звуки на расстоянии нескольких километров.



Рис. 11.3



Рис. 11.4

Если температура воздуха с высотой изменяется незначительно и ветра нет, то звук от источника распространяется, не испытывая заметного преломления. Так, в зимние морозные дни далеко слышен гудок поезда, скрип саней, стук топора в лесу и т. п.

При наличии ветра его скорость и скорость звуковой волны складываются. Разный характер загибания звуковых лучей в этом случае (рис. 11.4) объясняет тот факт, что по ветру звук слышен дальше, чем против ветра.

Движение воздуха в атмосфере всегда *турбулентное*. Поэтому скорость и температура в каждой точке воздушного потока пульсируют по величине, а скорость, кроме того, по направлению. Это приводит к возникновению в атмосфере мелких неоднородностей и рассеиванию на них звуковой энергии, а значит, к значительному увеличению затухания звука.

Многие источники звука (взрыв, шум двигателя, ветер и т. п.) излучают волны низких частот: инфразвуковые и близкие к ним. Такие низкочастотные звуки поглощаются слабо и в результате могут распространяться на сравнительно большие расстояния. Это можно объяснить следующим образом.

Рассмотрим звуковую волну, которая возникла в результате взрыва. Идущие вдоль поверхности земли звуки сильно поглощаются и рассеиваются благодаря неровностям земной поверхности, а также неоднородностям температуры и скорости ветра. Поэтому звук даже от мощного взрыва можно слышать на расстояниях, не превышающих 20—30 км. Однако этот звук становится снова слышимым на еще больших расстояниях.

Объясняется это тем, что на высоте 50—70 км располагаются слои атмосферного озона с температурой 50—70 °С. Звук, который идет под некоторым углом к земной поверхности, достигнув этого слоя, описывает дугу и снова возвращается на землю. Поэтому после зоны молчания на расстоянии около 150—200 км и более можно снова услышать звук взрыва. Зон слышимости может быть несколько, поскольку звуковые волны, которые пришли сверху, могут многократно отражаться от земной поверхности, подниматься вверх и снова возвращаться к ней.

При ядерных взрывах возникают ударные волны огромной силы, которые в результате затухания на некотором расстоянии переходят в мощные инфразвуковые волны, распространяющиеся на большие расстояния. Эти волны можно зарегистрировать инфразвуковыми приемниками. Таким образом, может

быть обнаружен ядерный взрыв, совершенный в воздухе или воде на большом расстоянии от места наблюдения.

Существенная особенность подводных звуков — их малое затухание, в результате чего под водой они могут распространяться на гораздо бóльшие расстояния, чем в воздухе. Так, в области слышимых звуков дальность распространения под водой звуков средней интенсивности достигает 15—20 км, а в области ультразвука — 3—5 км.

Нужно отметить очень интересное явление — сверхдальнее распространение звуков под водой, обусловленное рефракцией звуковых волн. Это явление заключается в следующем. На некоторой глубине под поверхностью воды находится слой, в котором звук распространяется с наименьшей скоростью. Выше скорость звука увеличивается из-за повышения температуры, а ниже — в результате увеличения гидростатического давления. Этот слой представляет собой своеобразный подводный звуковой канал. Волна, которая отклонилась вверх или вниз от оси канала в результате рефракции всегда стремится попасть в него снова. В данном слое даже звуки средней интенсивности могут быть зарегистрированы на расстояниях в сотни и тысячи километров.