

### Гигантский акустический волновод в океане

С давних времен и по сей день на морских и речных судах команды с капитанского мостика в машинное отделение передаются при помощи так называемой переговорной трубы. Затухание звука в воздухе при распространении по такой трубе очень мало. Переговорная труба является ярким примером акустического волновода — канала, в котором звуковые волны распространяются в определенном направлении практически без ослабления.

Оказывается, аналоги таких волноводов при определенных условиях могут возникать в морях и океанах. Ученые назвали такие «волноводы» «подводными звуковыми каналами» (сокращенно — ПЗК). Распространяющиеся по таким каналам звуковые волны могут быть приняты за тысячи километров от их источника.

Каков же механизм образования такого волновода, и что в нем служит отражающими границами? Поверхность океана и его дно служить такими границами не могут из-за того, что звук на них сильно рассеивается или поглощается. Исследователи выяснили, что границами гигантского подводного волновода служат слои воды, которые на разных глубинах обладают разными свойствами, благодаря чему скорость звука в океане зависит от глубины.

С глубиной увеличивается гидростатическое давление, что, в свою очередь приводит к росту скорости звука. При понижении температуры скорость звука убывает. В океане температура воды сначала довольно быстро падает по мере удаления от поверхности, а на большой глубине температура воды становится практически постоянной. Совместное влияние этих факторов приводит к сложной зависимости скорости звука от глубины, которая показана на графике.

Вначале вблизи поверхности океана преобладающее влияние оказывает быстрое падение температуры — поэтому в верхних слоях воды скорость звука с уменьшается с ростом глубины  $z$ . По мере погружения температура меняется все медленнее, а гидростатическое давление продолжает возрастать. На некоторой глубине  $z_m$  влияние этих двух факторов уравнивается — на данной глубине скорость звука минимальна. При дальнейшем погружении скорость звука начинает возрастать за счет роста гидростатического давления.

Чтобы понять, как распространяются звуковые лучи в океане, обратимся к оптической аналогии. Из закона преломления света следует, что в среде с изменяющимся показателем преломления (т. е. при изменении скорости света в среде) световой луч искривляется. Точно по такому же закону происходит искривление «звуковых лучей» при распространении звука в неоднородной среде, в которой скорость звука меняется. Частный случай такой среды и представляет собой вода в море.

Предположим, что источник звука находится на глубине  $z_m$ . Луч, идущий вдоль горизонтали  $z = z_m$ , будет прямолинейным. А те лучи, которые выходят под некоторыми углами  $j$  к этой горизонтали, будут искривляться согласно закону преломления. Это явление называют рефракцией звука. Поскольку и выше, и ниже уровня  $z_m$  скорость звука возрастает, звуковые лучи будут (в соответствии с законом преломления) искривляться в направлении горизонтали  $z = z_m$ . В какой-то момент луч станет «параллельным» этой горизонтали, и, «отразившись», повернет обратно к ней.

Итак, рефракция звука в море приводит к тому, что некоторые звуковые волны, испускаемые источником, могут распространяться, не выходя на поверхность воды и не доходя до дна. А это и означает, что в такой среде реализуется волноводный механизм распространения звука — подводный звуковой канал. Роль «стенок» этого волновода выполняют слои воды на тех глубинах, где происходит «поворот» звукового луча.

Выберите два верных утверждения, которые соответствуют содержанию текста. Запишите в ответ их номера.

1. Акустический волновод — это канал, в котором световая волна распространяется в определенном направлении без ослабления интенсивности волны.
2. Акустический волновод — это только переговорная труба на морских и речных судах.
3. Акустический волновод — это любой канал с реальными или воображаемыми границами, в котором звуковые волны распространяются практически без ослабления интенсивности.
4. С увеличением глубины температура сначала увеличивается, потом уменьшается.
5. С увеличением глубины температура сначала уменьшается, а потом выходит на примерно постоянное значение.

