

УДК 551.596

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФРАЗВУКА НА ДАЛЬНЕЕ РАССТОЯНИЕ

И.Ю. Лобычева

PECULIARITIES OF INFRASOUND PROPAGATION OVER LONG DISTANCE

I.Yu. Lobycheva

Основной причиной звучания океана является волнение его поверхности. При сильном ветре слышен шум, при шторме – рев. Находясь в непосредственной близости (на воде или на берегу), можно услышать шум, который излучается поверхностью океана в воздух (однако не менее мощный шум идет и под воду).

Механизм генерации звука волнением поверхности воды основан на нелинейном взаимодействии поверхностных волн друг с другом. Благодаря возможности распространения инфразвука на дальние расстояния становится возможным «услышать» штормующий океан за тысячи километров от его поверхности.

В работе используются данные по микробаромам, полученные инфразвуковой станций «Бадары». Проанализировано распространение инфразвука по двум трассам. Показано распределение потенциала волновода в пространстве и во времени. Отмечается зависимость условий распространения инфразвука от метеорологических параметров атмосферы.

Ocean surface vibrations are generic source of ocean sounding. In the time of stiff wind we can hear water noise and rave when storm is. In presence (on water or on shore) you can hear water noise which ocean surface produces into air (however at least strong water noise goes to underwater in this time also).

Arrangement of sound generation by ocean surface vibrations in infrasonic bandwidth is based on non-linear interdiction of surface waves with each other. Because of the infra-sound can propagate on long distances we can «hear» wavy ocean far away from its surface on range around thousands kilometers. In the work data obtained by infras onic station Badary was used.

Интерес к дальнему распространению инфразвука возник давно. Но и в современных исследованиях детально не разработаны вопросы дальнего распространения инфразвука. Новые исследования только приближают нас к знанию об особенностях прохождения инфразвуковых волн. Эти сведения позволяют определить местонахождение источника сигнала, его интенсивность. И, наоборот, по имеющимся данным об источнике сигнала можно определить стратификацию атмосферы в определенное время в заданном направлении. Важно выяснить зоны распределения доступности или недоступности акустического канала от различных источников.

Для инфразвука характерно малое поглощение в различных средах, вследствие чего инфразвуковые волны в воздухе, воде и в земной коре могут распространяться на очень далекие расстояния. Звуки взрывов, содержащие большое количество инфразвуковых частот, применяются для исследования верхних слоев атмосферы, свойств водной среды. По сравнению с распространением в статических средах, сложность атмосферы требует основательного подхода. Атмосфера является переменной по пространству и в масштабах времени. Вариации атмосферных волн – функция широты, долготы, высоты и сезона. Оперативная обработка осложняется необходимостью получения данных в реальном времени.

В литературе под дальним распространением звука понимается прохождение звуком от наземных источников расстояний в сотни и тысячи километров. Физическая основа дальнего распространения звука – рефракция звуковых лучей в неоднородно стратифицированной атмосфере. Из-за рефракции звуковые лучи от наземных источников могут на определенных высотах поворачивать по направлению к земной поверхности. Высоты поворота расположены в областях увеличения эффективной ско-

рости звука (скорость звука плюс ветер в направлении источника – приемник) с высотой.

При «скачковом» механизме распространения регистрируются сигналы до расстояния порядка полутора тысяч километров. Поглощение (главным образом, нелинейное) на такой трассе относительно велико из-за того, что сигнал несколько раз «ныряет» в верхнюю атмосферу – область с сильным поглощением. При этом большая амплитуда сигнала не играет роли. Она обрезается при первом же заходе в нижнюю ионосферу. Исходя из вышесказанного, основным каналом распространения на большие расстояния является акустический волновод в области минимума температур при благоприятном направлении ветра.

Волноводное распространение волн наблюдается как в природе, так и в различных технических устройствах. К естественным волноводам относятся различные слоистые среды, ограниченные поверхностями, имеющими большую отражательную способность. Так, например, область сверхрефракции в тропосфере часто называют тропосферным волноводом или тропосферным волновым каналом. Нижнюю стенку такого волновода образует полупроводящая поверхность Земли, а верхнюю – область минимального значения коэффициента преломления. Сверхрефракция наблюдается в тех случаях, когда с высотой температура убывает значительно медленнее, а влажность – значительно быстрее, чем при нормальной рефракции.

Определяющую роль в формировании атмосферных волнопроводов играет ветровая стратификация и, как правило, волновод в тропосфере – стратосфере формируется для направления распространения звука, совпадающего с направлением преобладающего ветра.

Особенность волноводного распространения звука в атмосфере – локализация части акустиче-

ской энергии в слоях, нижней границей которых является земная поверхность, а верхними границами служат области увеличения скорости звука с высотой. В этом случае на больших расстояниях от источников возможна регистрация звука, испытавшего как однократные, так и многократные отражения от границ волноводов.

В предыдущих работах [1, 2] проводилось исследование пространственно-временной структуры потенциала волновода.

Анализ условий распространения сигнала по акустическому волноводу основан на использовании некоторого интегрального показателя – «потенциала волновода»:

$$U = ((\omega - k_x V_x)^2 / c^2 - k_x^2), \quad (1)$$

где ω – круговая частота звуковой волны, k_x – горизонтальное волновое число, c – скорость звука, V_x – скорость ветра в направлении распространения волны. Сигнал проходит, когда U – действительное число. Предполагается, что на «стенке» волновода (в точке отражения) расположен узел скорости частиц в волне. Тогда получаем условие квантования:

$$2\pi n = UH, \quad (2)$$

где H – эффективная высота волновода, n – целое число.

Анализируемый интервал времени охватывает 1986 г. Расчет потенциала волновода проводился по двум трассам Тромсе (Норвегия)–Пекин и Камчатка–Аден.

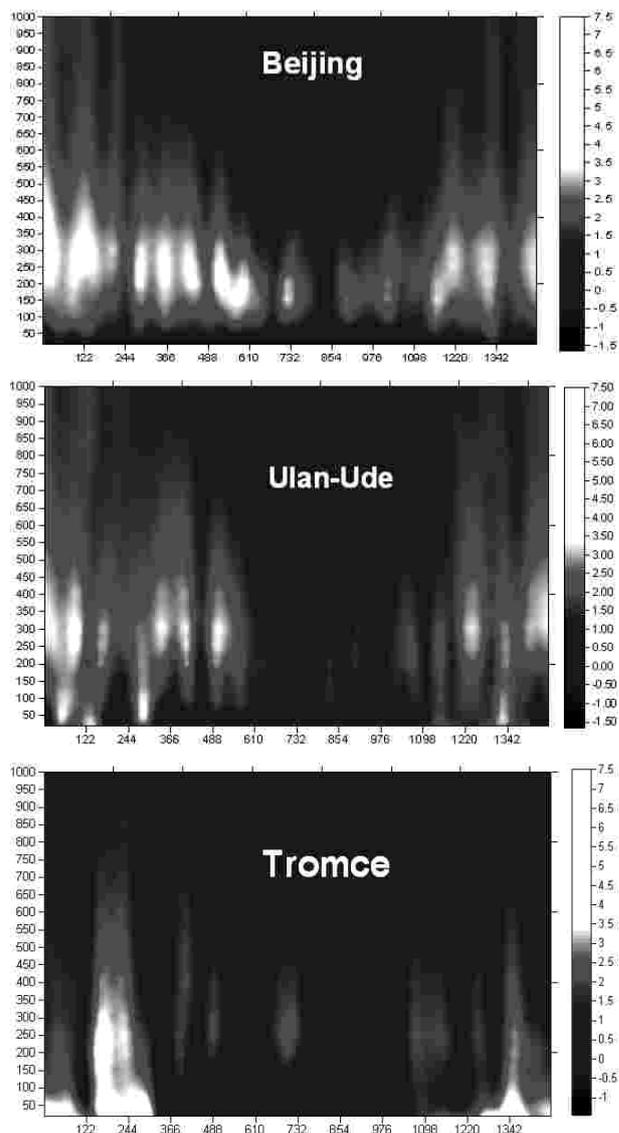
На рисунке приведены результаты расчетов потенциала акустического канала U для некоторых характерных пунктов исследуемой трассы. Здесь представлен высотный разрез годового хода потенциала U . На рисунках черным цветом показаны минимальные значения U , а светлым цветом максимальные. По осям: вверх отложены геопотенциальные высоты (миллибары, геометрическая высота растет вниз), по оси абсцисс – время в единицах запусков метеозондов (4 раза в сутки, всего в году 1460 отсчетов).

Таким образом, представленные на рисунке значения потенциала U имеют вид высотных разрезов его годового хода для пунктов. Характерными общими признаками всех исследуемых пунктов является то, что летом значения U минимальны (черный цвет).

Зимой, напротив, величина U растет и достигает максимального значения. Следует заметить, что зимой почти везде возникает приземный волновод.

Можно сделать вывод, что определяющее влияние на условия дальнего распространения инфразвука оказывает стратификация метеопараметров.

Кроме явной летне-зимней асимметрии, в поведении потенциала U выделяются географические зоны, различающиеся по высоте оси волновода. Например, в области высоких широт и, следовательно, очень низких температур ось акустического канала смещается в область высот до 13.6 км (150 мб). В области умеренно-низких температур атмосферы и умеренных ветров максимальные значения потенциала U



Пространственно-временное изображение потенциала акустического канала по данным Пекина (а), Улан-Удэ (б), Тромсе (в).

группируются вокруг геопотенциальных высот 500–200 мб (5.5–11.8 км).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобычева И.Ю., Пономарев Е.А., Сорокин А.Г. О моделировании атмосферного акустического канала // Труды XVI сессии Российского Акустического общества, 14–18 ноября 2005. Т. 2. С. 104–107.
2. Бреховских Л.М. Океан и человек. Настоящее и будущее. М.: Наука, 1987. 304 с.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск