

УДК 551.596

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА АКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА

И.Ю. Лобычева, А.Г. Сорокин

SPACE PASTIME DISTRIBUTION OF ACOUSTIC CHANNEL POTENTIAL

Yu. Lobycheva, A.Gr. Sorokin

Важным элементом систем контроля и мониторинга является модель акустического канала, позволяющая делать оценки доступности или недоступности источника сигнала в зависимости от координат и метеорологической обстановки. Структура атмосферного акустического канала (ААК) определяется пространственным распределением метеопараметров – температуры, скорости и направления ветра.

При расчете условий распространения инфразвуковых сигналов по трассе положение источника полагалось фиксированным. В расчетах пренебрегалось влиянием вертикальных компонент ветра. Приведены результаты расчетов потенциала акустического канала U для некоторых характерных пунктов исследуемой трассы. Представлен высотный разрез годового хода потенциала U . Выявлен годовой ход значения потенциала U и его пространственное распределение.

The model of acoustic channel making allowance for estimation of accessibility or inaccessibility of signal source in dependence of coordinates and meteorological condition is the main link of control and monitoring system. The structure of atmospheric acoustic channel is conditioned by space distribution of meteorological parameters – temperature and wind direction.

Calculating the condition of spreading of infrasonic signals on route the position of source must be fixed. The influence of vertical wind component was neglected with the calculation. There are results of calculation of acoustic channel potential U for some typical points of the investigating route. The altitude cut of yearly motion of potential U is presented.

Yearly motion of potential U importance and its space distribution is revealed.

Принципы построения акустической трассы

Акустические средства являются важным элементом мониторинга атмосферы, а также основой дистанционного контроля за промышленной и военной деятельностью. При этом важным элементом систем контроля и мониторинга является модель акустического канала, позволяющая давать оценки доступности или недоступности источника сигнала в зависимости от координат и метеорологической обстановки. В мире этим вопросом занимается много мощных научных групп, (в США, во Франции, Голландии, Швеции, Индии).

В этой работе приводятся результаты исследования выбранных трасс путем расчета условий распространения на основе использования текущих данных аэрологического зондирования.

Мы исходим из того, что классический «скачковый» механизм позволяет хорошо объяснить распространение сигналов до расстояний 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. Таким образом, основным каналом распространения на большие расстояния является акустический волновод в области минимума температур при благоприятном направлении ветра.

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

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

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 – положительное число.

Предполагается, что на «стенке» волновода (в точке отражения) расположен узел скорости частиц в волне. Тогда получаем условие «квантования»:

$$2\pi \cdot n = \sqrt{U} \cdot H, \quad (2)$$

где H – эффективная высота волновода, n – целое число. Если θ – угол между направлением распространения и вертикалью, то:

$$\sin \Theta_n = [1 - (n \cdot \lambda / H)^2]^{1/2} - V_x / c, \quad (3)$$

где λ – длина звуковой волны. Число $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ номер моды. Например, при $H = 10$ км, $\lambda = 3$ км в волноводе (без ветра) могут существовать четыре моды – нулевая, распространяющаяся вдоль оси волновода, первая с $\theta_1 = 72.5^\circ$, вторая с $\theta_2 = 53.1^\circ$ и третья с $\theta_3 = 25.8^\circ$. Ветер существенно меняет эти углы. Например, встречный ветер 50 м/с «задирает» θ_2 до 75° (при скорости звука 300 м/с). На самом деле, вычисление эффективной высоты волновода достаточно сложная процедура, и мы ее здесь касаться не будем.

Использование данных Интерактивной системы архивных метеоданных IDEAS

При моделировании дальнего распространения инфразвука важно знать структуру атмосферного канала (ААК). Структура ААК определяется пространственным распределением метеопараметров – температуры, скорости и направления ветра. В настоящей работе используются оперативные данные аэрологического зондирования атмосферы, полученные в рамках российско-американского проекта IDEAS (Investigation of Distributed Environmental Archives System).

Многолетние наблюдения микробаром на Инфразвуковой станции ИСЗФ СО РАН показывают характерный сезонный ход с максимумом в зимнее время, характеризующий как передающую функцию ААК, так и сезонную активность источника микробаром,

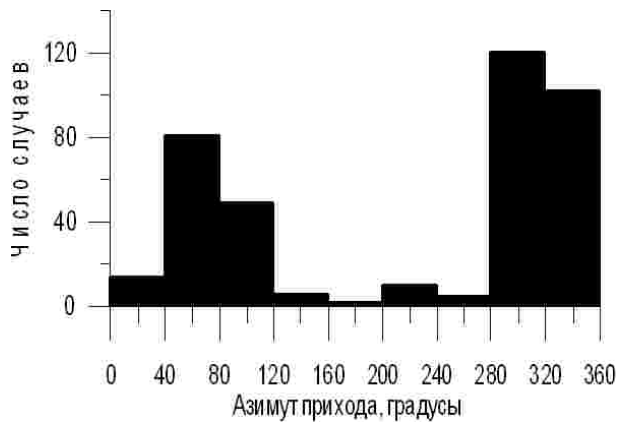


Рис. 1. Доминирующие направления прихода микробаром на станции Бадары (Иркутск).



Рис. 2. Две возможные акустические трассы распространения микробаром.

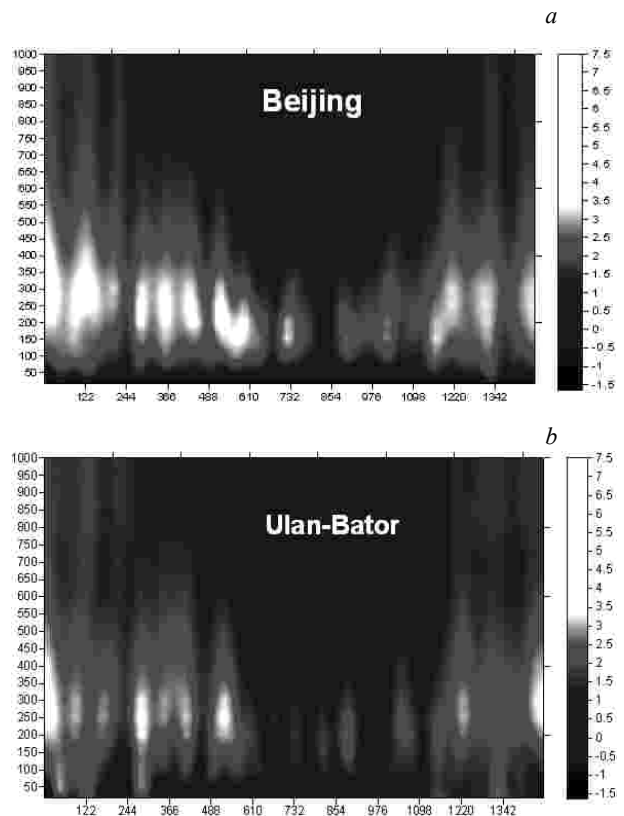
которая по некоторым данным совпадает с числом океанских штормов в Северном полушарии. Важным фактором наблюдений является наличие в азимутах прихода микробаром двух доминирующих направлений – это Северная Атлантика с азимутом около 320° и северо-запад Тихого океана с азимутом 60° (рис. 1). Этот факт указывает на необходимость смоделировать ААК по двум трассам (рис. 2) и сравнить с экспериментальными данными.

Анализируемый интервал времени охватывает 1986 г. по 17 выбранным координатным точкам трассы Тромсе–Beijing и по 15 пунктам трассы Камчатка–Аден. Исследуемые трассы ориентированы относительно пункта приема Иркутск соответственно на северо-восток Атлантики с азимутом около 320° и на северо-запад Тихого океана с азимутом 60°, что соответствует доминирующим азимутам приходов микробаромов на Инфразвуковую станцию ИСЗФ СО РАН Бадары.

Результаты моделирования инфразвуковых трасс

При расчете условий распространения инфразвуковых сигналов по трассе положение источника полагалось фиксированным. В расчетах пренебрегалось влиянием вертикальных компонент ветра. Действительно, величина вертикального ветра составляет всего 5–7 % от зонального ветра.

На рис. 3–6 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 оси ординат 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 значения потенциала U имеют вид высотных разрезов его годового хода для указанных пунктов. Характерными общими признаками исследуемых пунктов трассы ААК с Атлантики является то, что летом значения U минимальны (черный цвет). Региональные особенности ААК представлены на рис. 3–5. Видно, что ААК в Китае и Восточной Сибири формируется в основном в зимнее время на высотах 200–300 миллибар (9–12 км), при этом наблюдается тенденция увеличения высоты оси ААК к западу (рис. 3, *a, d*). Кроме того, на рисунках наблюдается колебательная структура с периодом 10–15 дней, возможно связанная с синоптическими явлениями. В западной Сибири (рис. 4, *a, b*) высотное положение оси ААК увеличивается до высот примерно 20–50 миллибар (25–29 км). Такая же тенденция в основном наблюдается в районе Северной Атлантики (пункты Мурманск, Тромсе, рис. 5, *a, b*). Таким образом, видно, что состояние и положение ААК на трассе Северная Атлантика–Китай в зимнее время определяются западными ветрами, совпадающими с направлением от источника к приемнику.



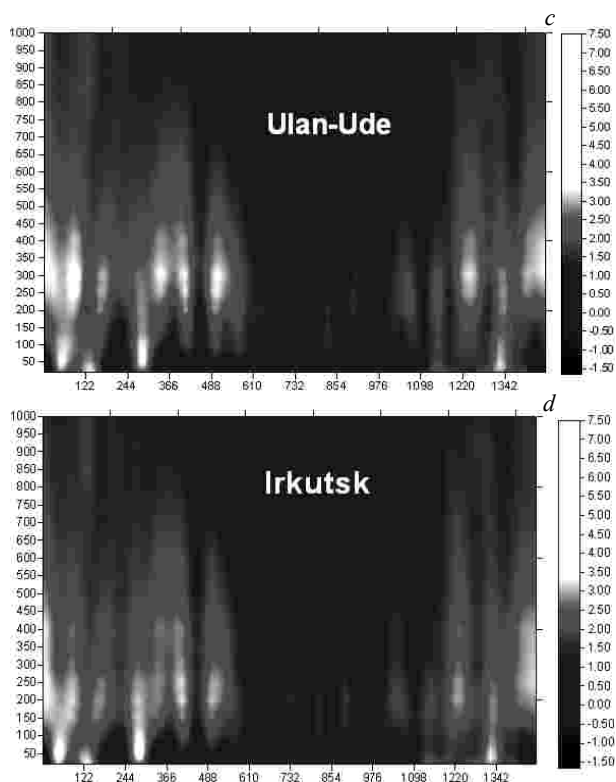


Рис. 3. Потенциал акустического канала в различных пунктах.

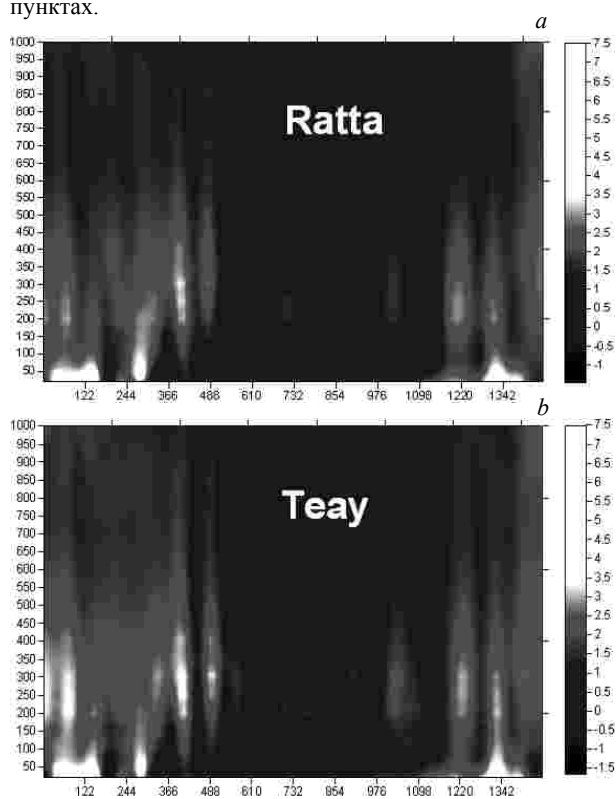


Рис. 4. Потенциал акустического канала в различных пунктах.

Рассмотрим теперь условия формирования ААК для источника, находящегося на востоке относительно точки приема в Иркутске (трасса Камчатка-Аден). На рис. 6, *a-h*, где отображены годовые высотные профили потенциала ААК по трассе, наблюдается сезонный ход с максимумом зимой, кроме экваториальных районов (рис. 6, *g, h*). Выделяется также периодическая структура синоптического пери-

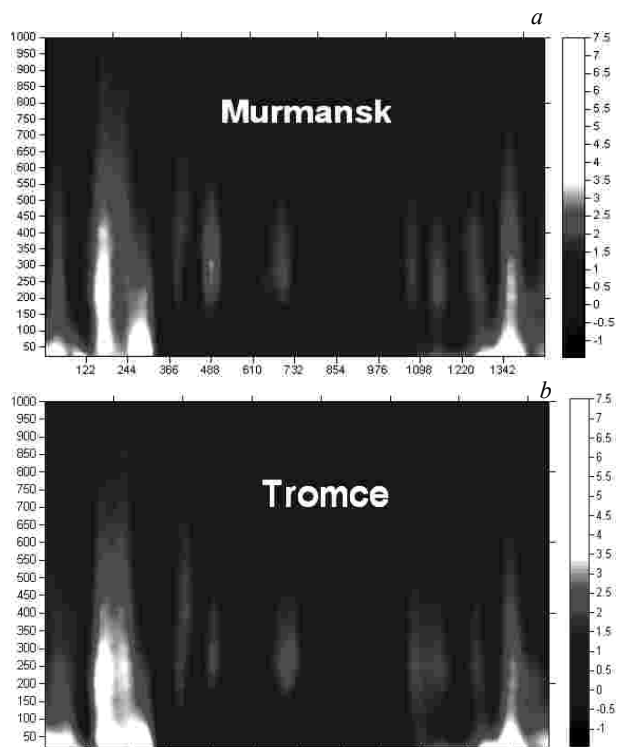
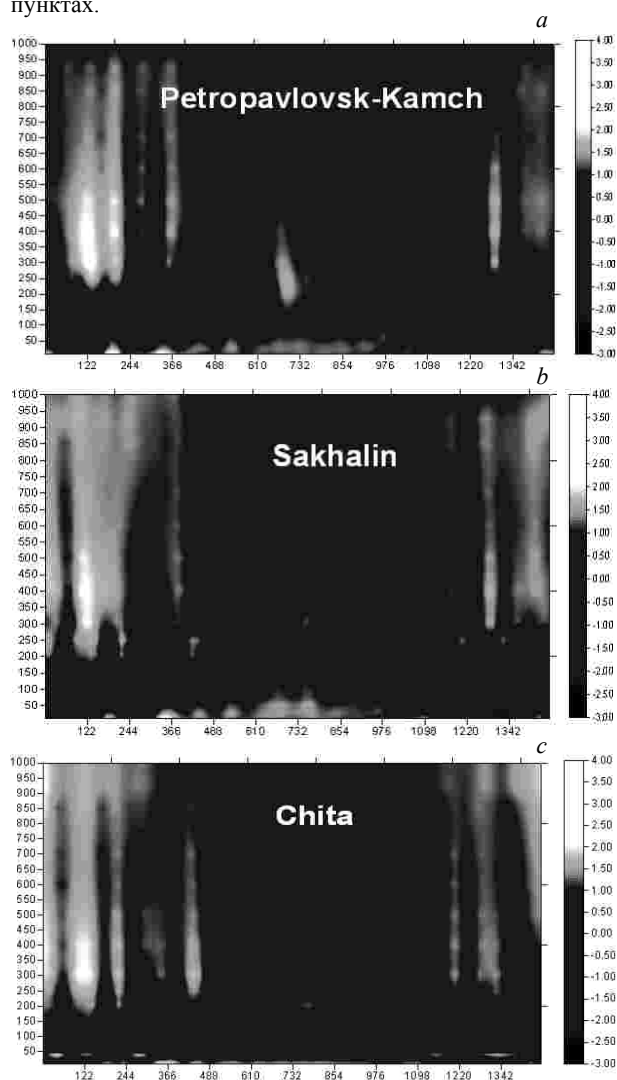


Рис. 5. Потенциал акустического канала в различных пунктах.



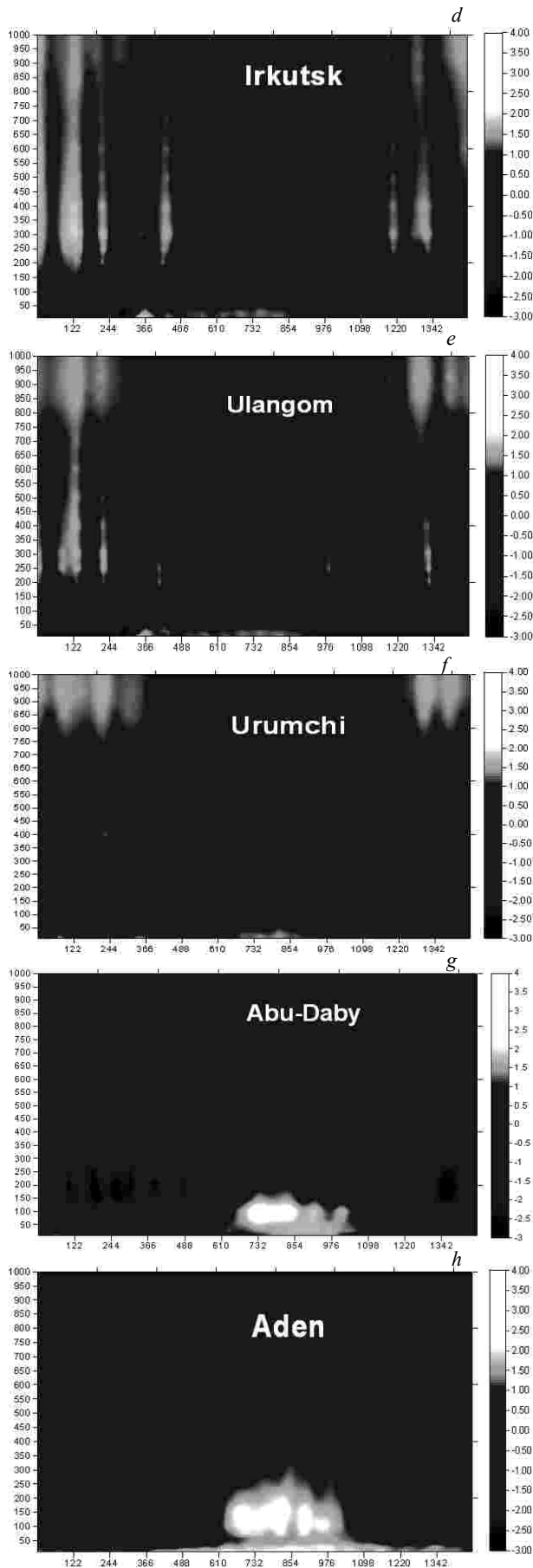


Рис. 6. Потенциал акустического канала в различных пунктах.

ода. Здесь функционирование ААК носит кратковременный, эпизодический характер. Это связано, по-видимому, с тем, что преобладающий западный зональный перенос в некоторые моменты времени изменяется на восточный и возникает волновод. По мере приближения к экватору волноводные условия ухудшаются, а в некоторых пунктах ААК исчезает совсем (пункт Урумчи, рис. 6, *f*). В приэкваториальных областях (Абу-Даби и Аден) активность ААК резко возрастает (рис. 6, *g, h*). В противоположность состоянию ААК в средних широтах, здесь максимум сезонного хода приходится на летний период. По-видимому, это связано с существованием в этих широтах экваториального струйного течения на высотах 25–30 км.

Выводы

1. Предложена методика расчета ААК на основе данных реанализа и наблюдений дальнего распространения инфразвука.

2. Построены две трассы ААК для двух доминирующих направлений прихода микробаром на станцию Бадары (Иркутск).

3. Показано, что в формировании ААК существенную роль играет направление и сила ветра. Так, формирование трассы с Атлантики определяет северо-западный перенос, занимающий большую часть времени года. Напротив, для трассы с Тихого океана восточный ветер имеет эпизодический характер и, соответственно, акустический канал возникает и существует относительно непродолжительное время.