

УДК 551.596

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО АКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ЯДЕРНЫХ ТЕСТОВ В РАЙОНЕ ПОЛИГОНА СЕМИПАЛАТИНСК

А.Г. Сорокин, И. Ю. Лобычева

MODELING OF ATMOSPHERIC ACOUSTIC CHANNEL FOR SOME NUCLEAR TESTS IN THE TEST SITE SEMIPALATINSK

A.G. Sorokin, I.Yu. Lobychева

В работе приводятся данные по регистрации инфразвука от удаленных ядерных взрывов, произведенных в районе бывшего полигона Семипалатинск, и зарегистрированные на инфразвуковой станции ИСЗФ СО РАН Бадары в Тункинском районе Республики Бурятия. Оценивается состояние атмосферного акустического канала (ААК) по трассе распространения, результаты моделирования ААК сопоставляются с данными эксперимента.

This paper presents data on registration of infrasounds from distant nuclear explosions made in the test site Semipalatinsk. They were recorded at the infrasonic station “Badary” of the Institute of Solar-Terrestrial Physics RAS SB. We estimate conditions of the atmospheric acoustic channel (AAC) along the propagation path. Results of the AAC modeling are compared with the experiment data.

Высотное распределение метеорологических параметров (температура, направление и скорость ветра) определяют состояние акустического канала в зоне приема, в то же время ветровые пульсации на уровне земли приводят к увеличению атмосферного шума, препятствующего уверенной регистрации инфразвуковых сигналов.

С целью определения потенциальных возможностей приема сигналов от удаленных импульсных источников были проведены непрерывные измерения инфраакустического шума в диапазоне 0.1–1Гц в течение длительного периода времени. Также измерялись соответствующие метеорологические величины: скорость и направление ветра, температура, статическое давление атмосферы. Синхронные измерения инфразвукового шума и соответствующих метеопараметров осуществлялись в течение первых 100 с каждого часа. На основе полученных данных рассчитывались их среднемесячные значения.

Характеристики инфразвуковых сигналов от подземных ядерных взрывов, зарегистрированных на инфразвуковой станции ИСЗФ СО РАН в 1988 г., представлены в табл. 1.

уровень атмосферного шума, присутствовавшего на момент наблюдения взрыва 06.02.1988 г. на станции, был высок для уверенной регистрации и, возможно, поэтому сигнал не был обнаружен. Но также можно увидеть, что 03.04.1988 г. уровень атмосферного шума был выше или, как минимум, равен уровню атмосферного шума 14.09.1988 г., но сигнал мы получили.

Для того чтобы сформировать представление о том, как происходит дальнейшее распространение инфразвука, в этой работе используется принцип модельного описания трассы распространения в ААК. Для анализа используется методика распространения сигнала по акустическому волноводу, основанная на использовании некоторого интегрального показателя – «потенциала ААК»:

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

где ω – круговая частота звуковой волны, k_x – горизонтальное волновое число, c – скорость звука, V_x – скорость ветра в направлении распространения волны.

Мы рассмотрели состояние ААК по трассе Семипалатинск–Иркутск для ядерных взрывов.

На рис. 1 представлен потенциал для некоторых пунктов данной трассы.

По горизонтальной оси отложено время в единицах запусков метеозондов, по вертикальной оси высота в миллибарах (высота растет вниз). На рис. 1 абсолютно черным цветом показан потенциал $U < 0$, отображающий зоны запыриания (нераспространения), а светлым цветом $U > 0$ показаны зоны волноводного распространения сигнала.

Отчетливо видны чередующиеся черно-белые состояния ААК с периодом 7–10 дней, по-видимому, связанные с синоптическими явлениями.

По данным IDEAS на нижних высотах (до 30 км), мы имеем для события 3.04.1988 г. условия для распространения сигнала. Однако зарегистрированный инфразвуковой сигнал от события 22.04.1988 г. не может быть удовлетворительно объяснен только на основе данных IDEAS, которые, к тому же, ограничены высотой 30 км. Поэтому далее мы обращаемся к модели MSIS 2000, которая охватывает больший диапазон высот. Высотный профиль потенциала, полученный по модели, представлен на рис. 2.

Таблица 1

Дата	Время, мск	Мощность, кВт	Расстояние, км	Уровень атмосферного шума, 10–1, Па	Наличие эффекта	Размах давления, 10–1, Па	Период сигнала, с	Азимут источника, град
06.02.1988	07.20	20	1700	5	нет	–	–	–
03.04.1988	05.35	150	1700	2,5	есть	5	6	266
22.04.1988	13.30	20	1700	0,3	есть	0.5	6	270
14.09.1988	08.00	150	1700	2	нет			

Из таблицы видно, что из 4 взрывов реально наблюдались только 2. При этом азимут зарегистрированных сигналов соответствует азимуту на полигоне Семипалатинск и позволяет однозначно идентифицировать инфразвуковые сигналы. Заметим, что уро-

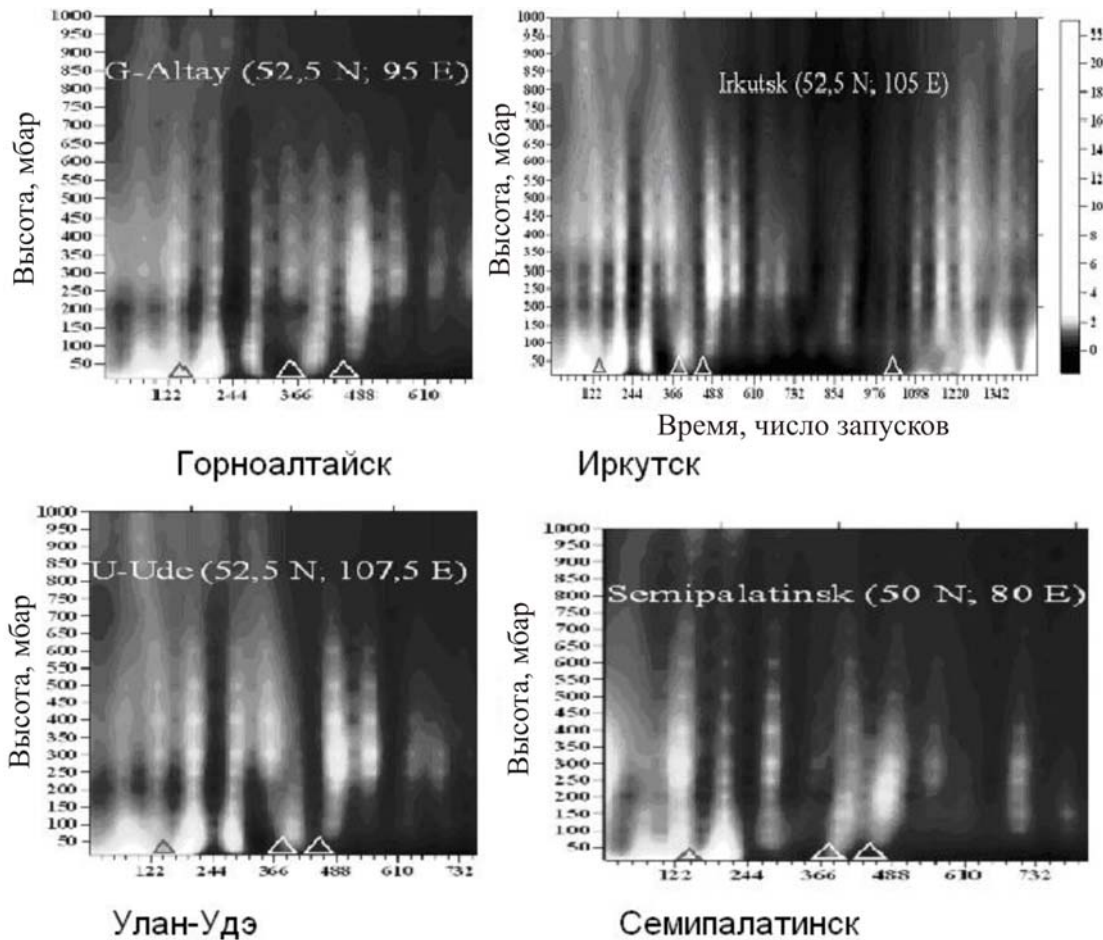


Рис. 1. Расчет ААК для некоторых пунктов трассы Иркутск–Семипалатинск.

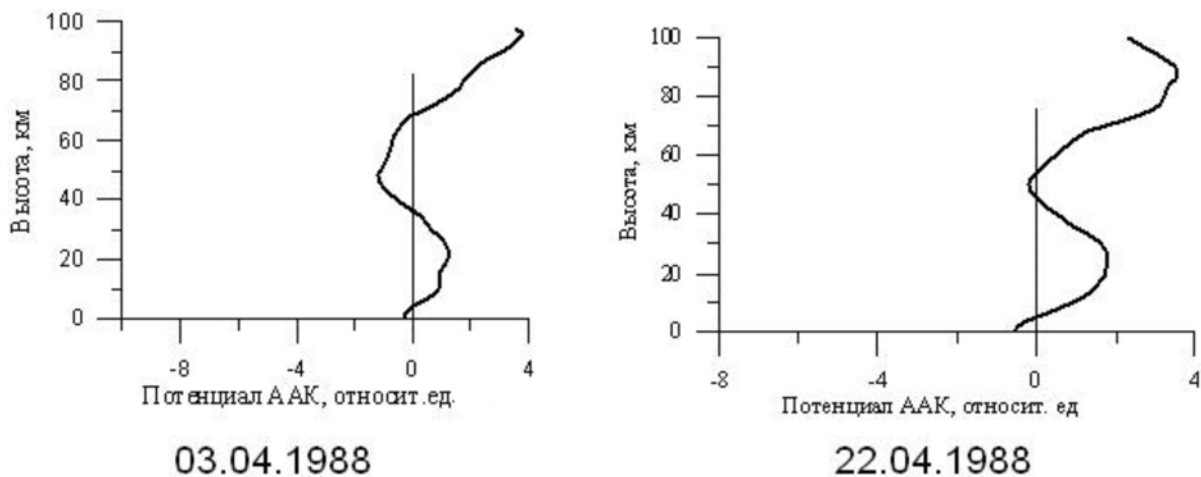


Рис. 2. Высотный профиль потенциала U ААК для Иркутска на момент взрыва.

При распространении сигнала в ААК представляет интерес поведение границ АКК, особенно верхней, поскольку эта зона является потенциальным барьером для акустической энергии, уходящей в верхнюю атмосферу. Эффективность такого барьера можно оценить, интегрируя потенциал U акустического канала от некоторой высоты h_1 до h_2 и следуя методике [1, 2]:

$$I_A = \exp(A), \text{ где } A = \int_{h_1}^{h_2} \sqrt{|U|} dh. \quad (2)$$

Далее мы будем считать «запирание» сигнала в волноводе эффективным, если просачивание через запирающий слой будет не более 0.1 от величины сигнала. Толщину запирающего слоя и его эффективность можно оценить, используя выражение (2).

Так, согласно модели MSIS, запирающий слой начинает проявляться от высоты 38.8 км, где величина $U < 0$. Необходимая толщина запирающего слоя с 10-кратным эффектом запираения наблюдается уже на высоте 44.26 км. Таким образом, толщина эффективного запирающего слоя составляет около 5.45 км.

Приведенная выше методика оценки состояния атмосферного акустического канала была апробирована на тестовых источниках инфразвука. Эта методика позволяет объяснить прохождение либо отсутствие инфразвука на станции регистрации соответствующим состоянием атмосферного акустического канала. Если канал существует и функционирует, то можно определить его высотное положение, эффективную толщину запирающего слоя и положение виртуальных «стенок». Реальная картина распространения в атмосферном волноводе много сложнее, и существуют еще достаточно сложные процессы, которые следует учитывать в реальном распространении. Для ясного понимания результатов дальнего распространения инфразвука явно недостаточно знания «средних» параметров атмосферы, поэтому

необходимо развивать более точные модели атмосферы и разрабатывать новые методы расчета сложных акустических трасс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ponomarev E.A., Rudenko G.V., Sorokin A.G., et al. The normal-mode method for probing the infrasonic propagation for purposes of CTBT. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* March. 2006. V 68. P. 559–614.
2. Sorokin A.G., Ponomarev E.A. Assessing the state of the Atmospheric Acoustic Channel using the IDEAS data on long-distance microbarom propagation. *Journal Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* May. 2008. V. 70, Iss. 7. P. 1110–1121. DOI information: 10.1016/j.jastp.2008.01.011.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск