



Пономарев Е.А.,

Сорокин А.Г., Лобычева И. Ю.



Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

О моделировании атмосферного акустического канала (ААК).

Краткое содержание доклада

- Общая задача
- Задача данного доклада
- Современное состояние проблемы
- Используемые методы и подходы
- Результаты



Общая задача

- Изучить условия формирования и функционирования Атмосферных Акустических Каналов с помощью естественного акустического излучения морей и океанов (микробаром)



Задача настоящей работы

- Изучить пространственно-временную структуру Атмосферного акустического канала на протяженной трассе распространения микробаром Северная Атлантика – Ямал – Пекин по данным реанализа

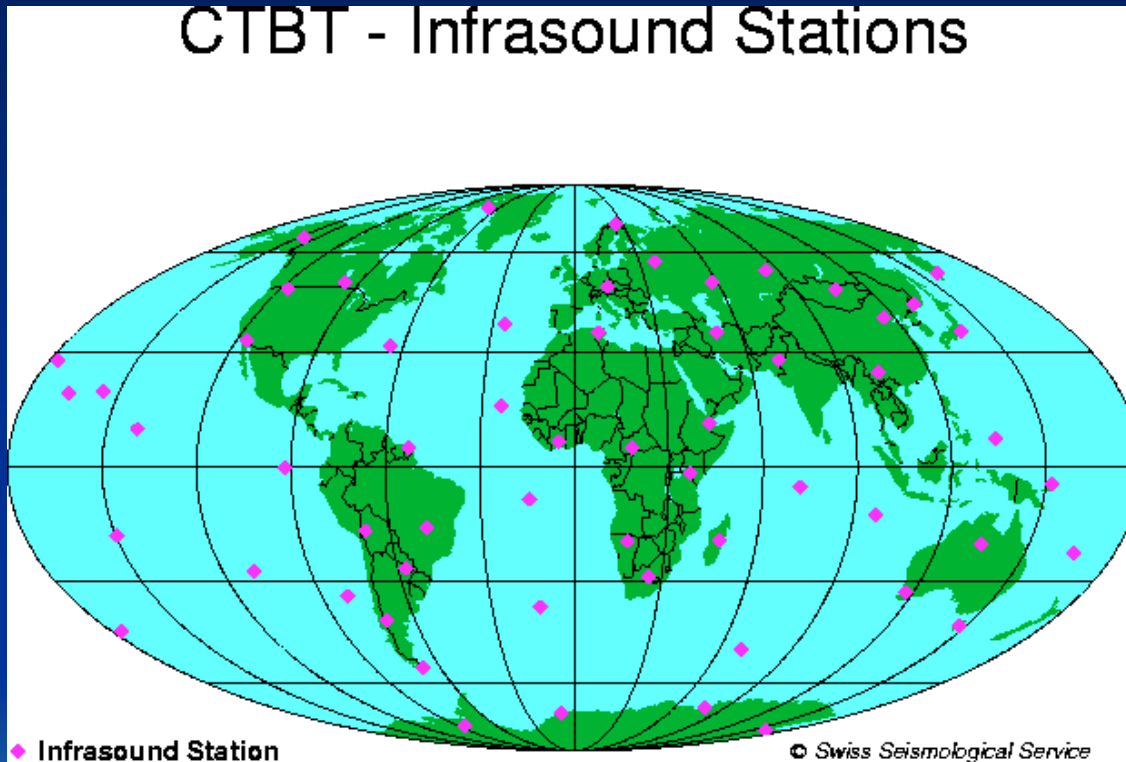


Современное состояние проблемы

- Большой интерес к инфразвуковым волнам проявлялся в США еще в 60-70-х годах. W. Donn и D. Rind в результате 10-летней регистрации микробаром (ст. Палисейдс, шт. Нью-Йорк) от штормов в Атлантики, привлекая данные измерений других методов, получили оценку времени отражения микробаром от различных высот, характеризующую существование сильных восточных приливных ветров.

Инфразвуковая подсистема International Monitoring System (IMS)

CTBT - Infrasound Stations



Сеть
инфразвуковых
станций
Международной
системы
мониторинга,
обеспечивающая
регистрацию
инфразвуковых
сигналов в мире
(около 60)

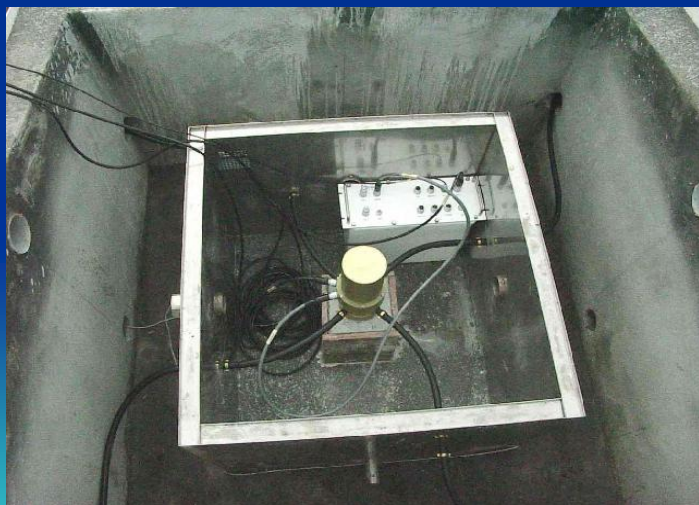
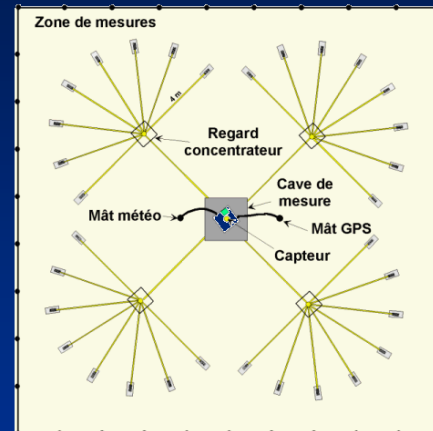
Вид на инфразвуковую станцию International Monitoring System (Таити, 17.6 S ; 149.6 W Франция, <http://www-dase.cea.fr>)



Вид на автономную станцию



MB2000



Подземный термостат MB2000

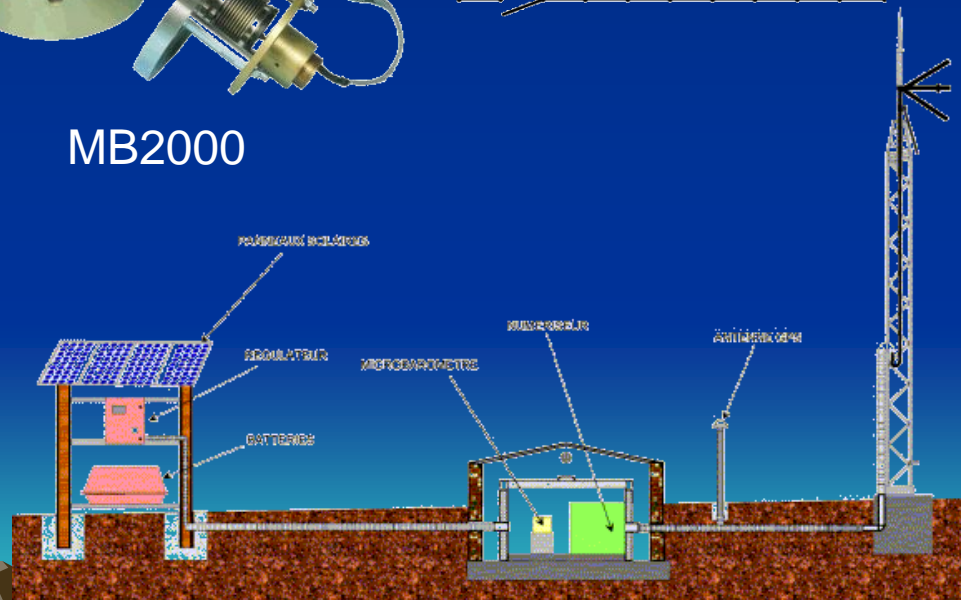
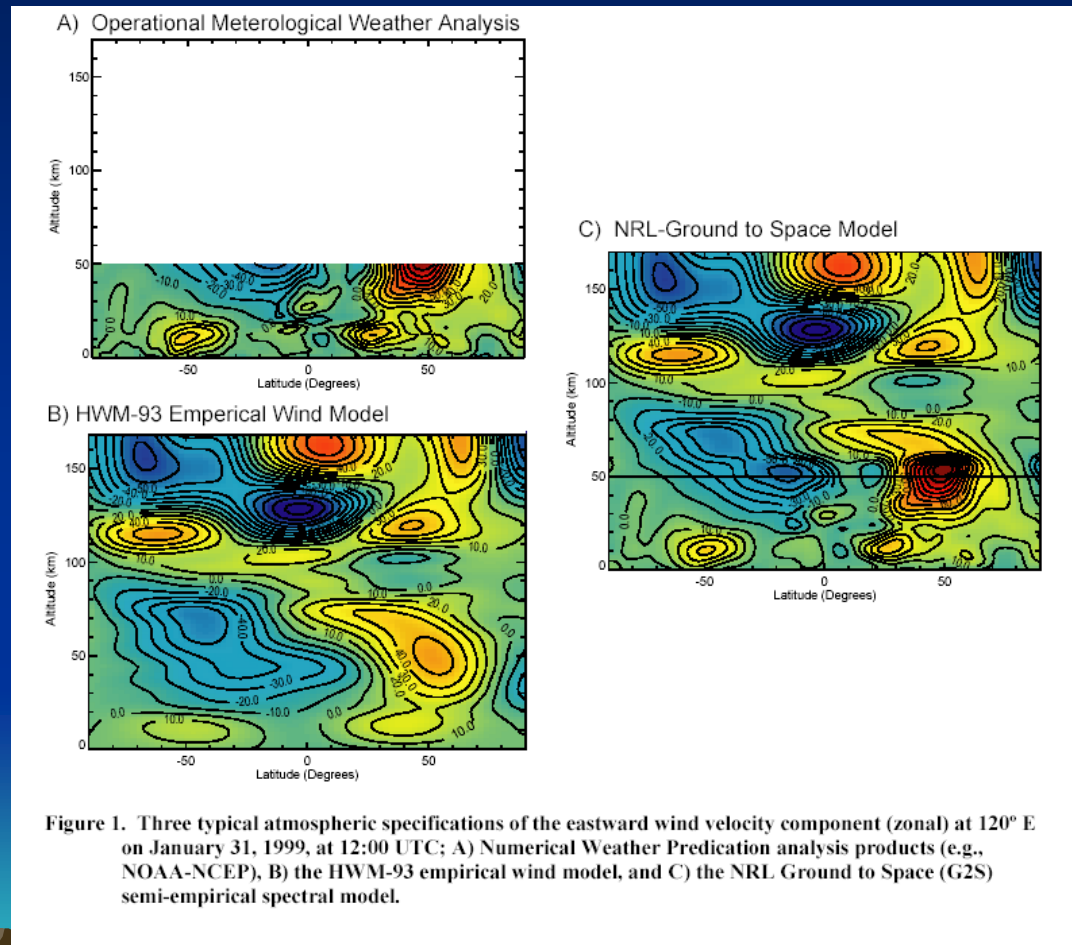
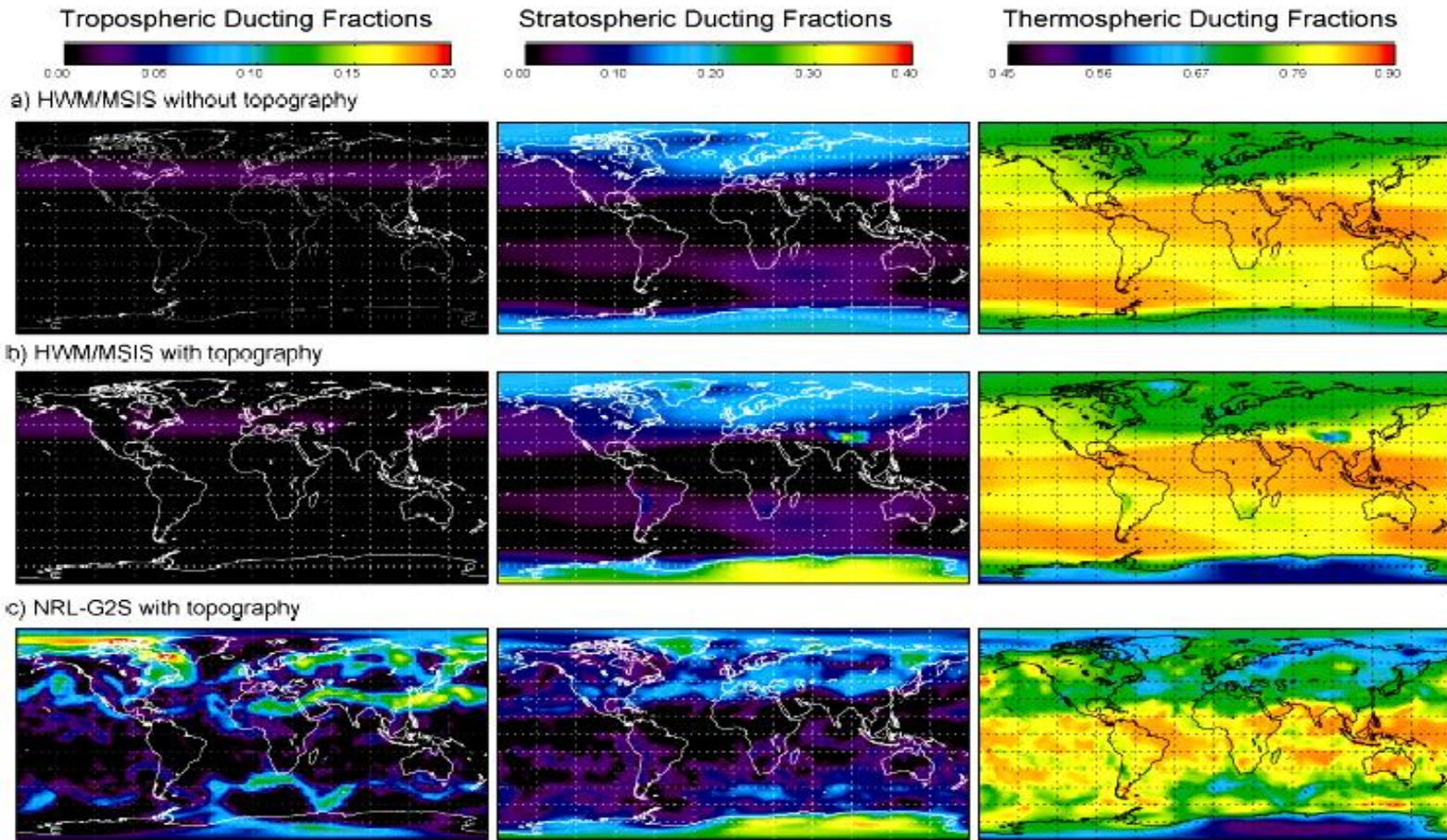


Схема инфразвуковой станции

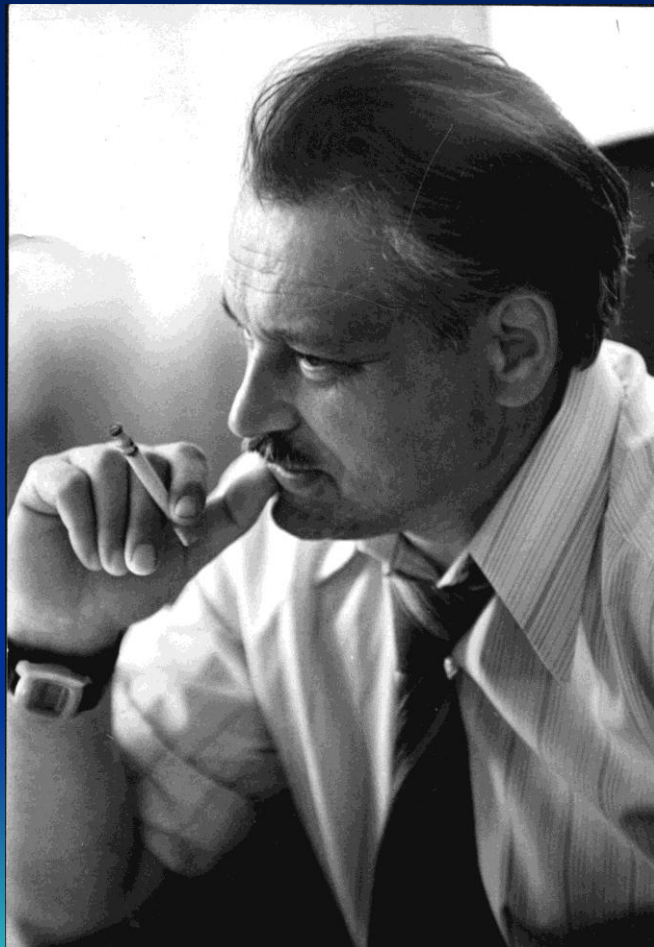
Сравнение новой модели атмосферы NRL G2S и эмпирической модели ветров HWM-93



Распространение инфразвука по моделям HWM/MSIS и G2S. (Douglas P. Drob, Naval Research Laboratory, 2003)



Е. А. Пономарев –инициатор инфразвуковых исследований в ИСЗФ



Начало работ по исследованию атмосферного инфразвука относится к осени 1972 года, когда возникла идея оценивать количество тепла, вносимого авроральными процессами в верхнюю атмосферу, путем регистрации волн давления от них.

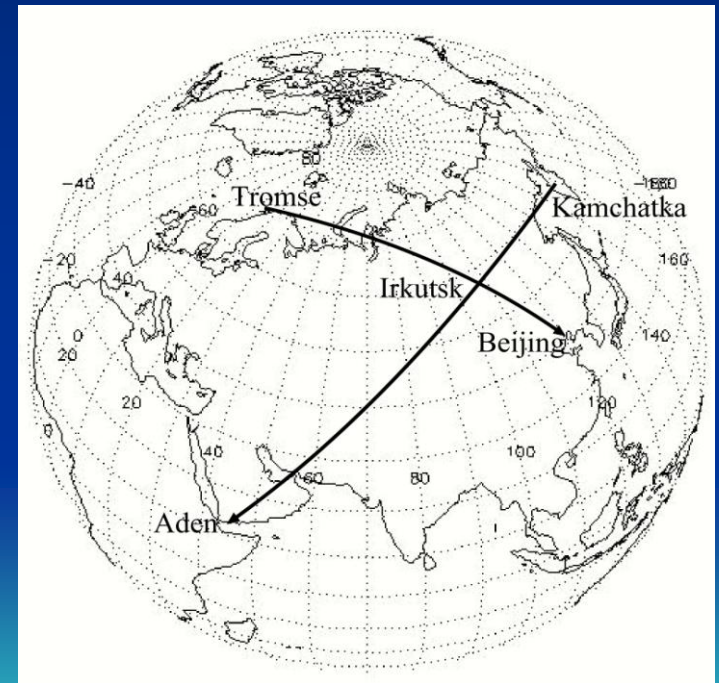
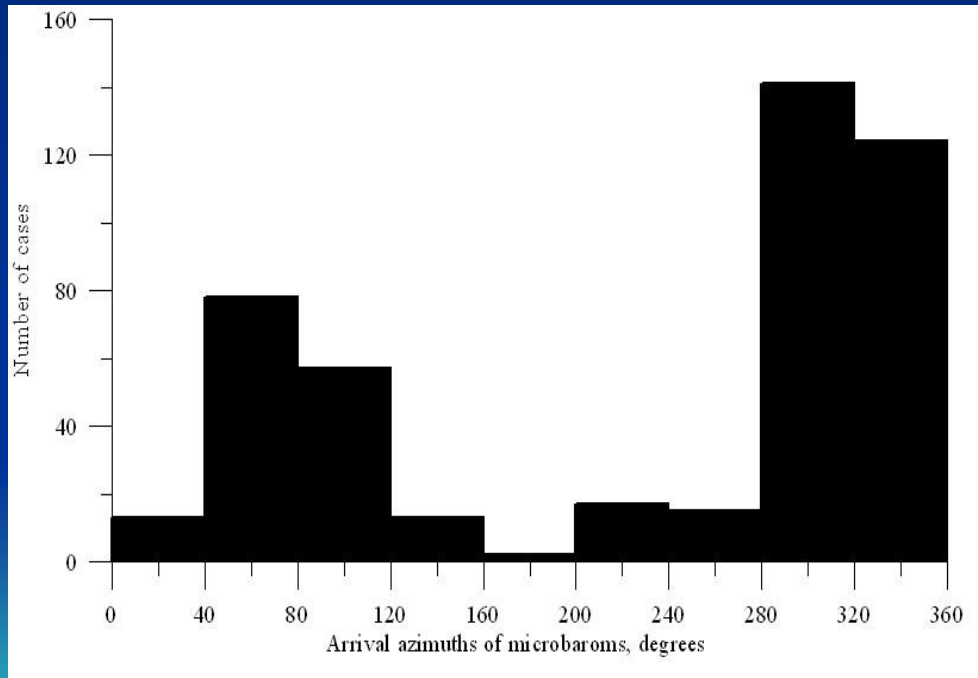
Было ясно, что сигналы будут находиться в диапазоне акустико –гравитационных волн. Чувствительность прибора, для регистрации подобных сигналов должна быть около 1 микробара.

- На инфразвуковой станции «Иркутск» с 1976 по 1993 год проводились регулярные наблюдения микробаром, приходящих как с Северной Атлантики, так и с северо-запада Тихого океана. оценка времени существования акустических каналов для Атлантических и Тихоокеанских источников.

- К настоящему времени в мире, в связи с тенденцией к запрещению ядерных испытаний организована Международная система мониторинга, в которую входит около 60 инфразвуковых станций, а вопросами дальнего распространения инфразвука занимаются большие коллективы в США, Франции и.т.д.

Доминирующие азимуты прихода микробаром

Инфразвуковая станция «Иркутск» - 2 выделенных
азимута прихода микробаром

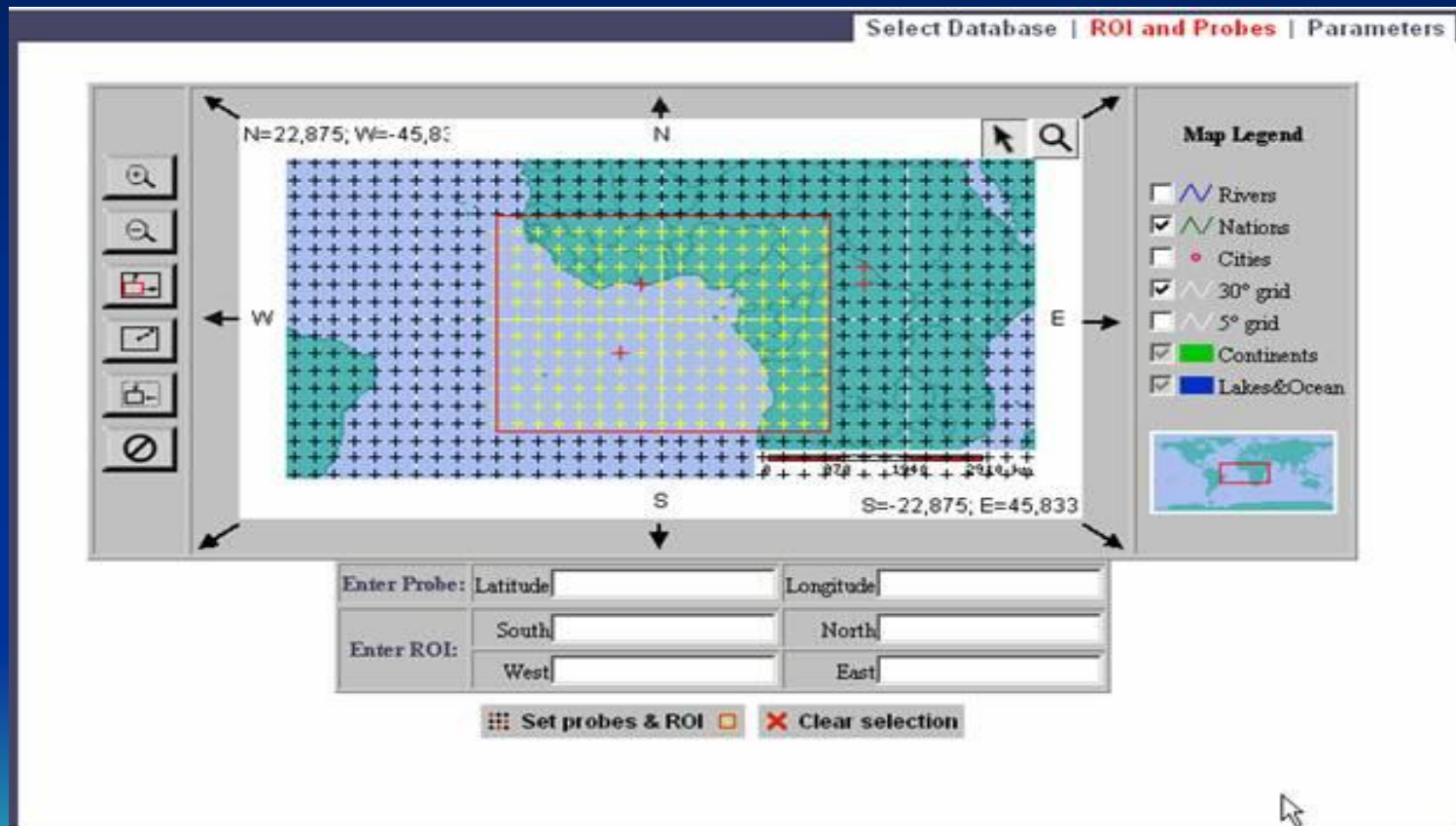


Используемые данные и методы

Для расчета условий распространения инфразвука на большие расстояния необходимо знать структуру атмосферного волноводного канала, т.е. распределение температуры и скорости ветра по высоте. Для этого используются данные аэрологического зондирования атмосферы в интерактивных on line базах данных ИНТЕРНЕТ. Это оперативные метеорологические данные, полученные в рамках Российско – американского проекта IDEAS (Investigation of Distributed Environmental Archives System)



Используемые данные реанализа системы IDEAS



МЕТОДИКА реконструкции ААК

Для гармоника с частотой ω скорость смещения частиц в волне можно записать в виде:

$$u = A(z) \cdot \exp(-i \cdot k_x \cdot x)$$

Распространение звука описывается уравнением:

$$u'' + U \cdot u = 0,$$

где

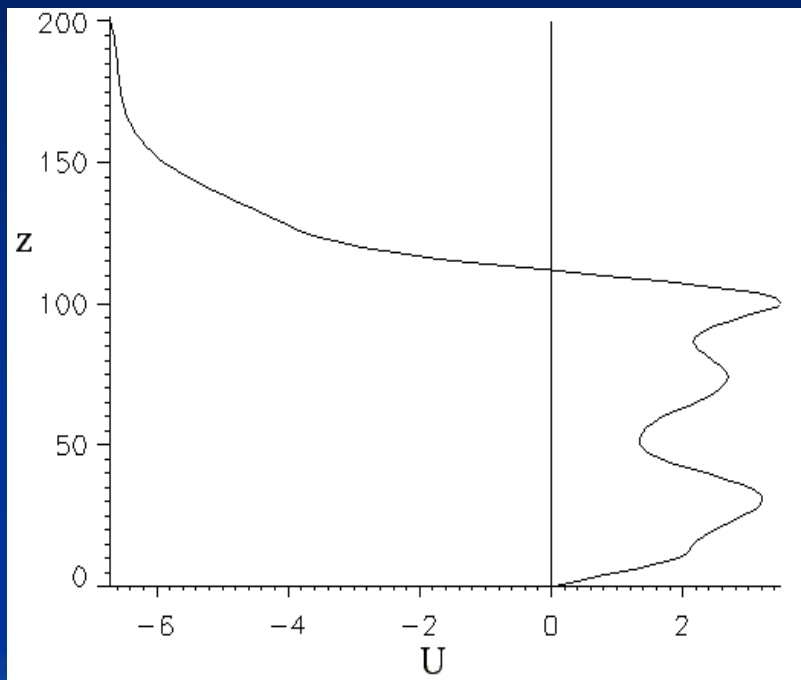
$$U = \Omega^2 / c^2 - k_x^2 \quad (1)$$

$$\Omega = \omega - k \cdot V$$

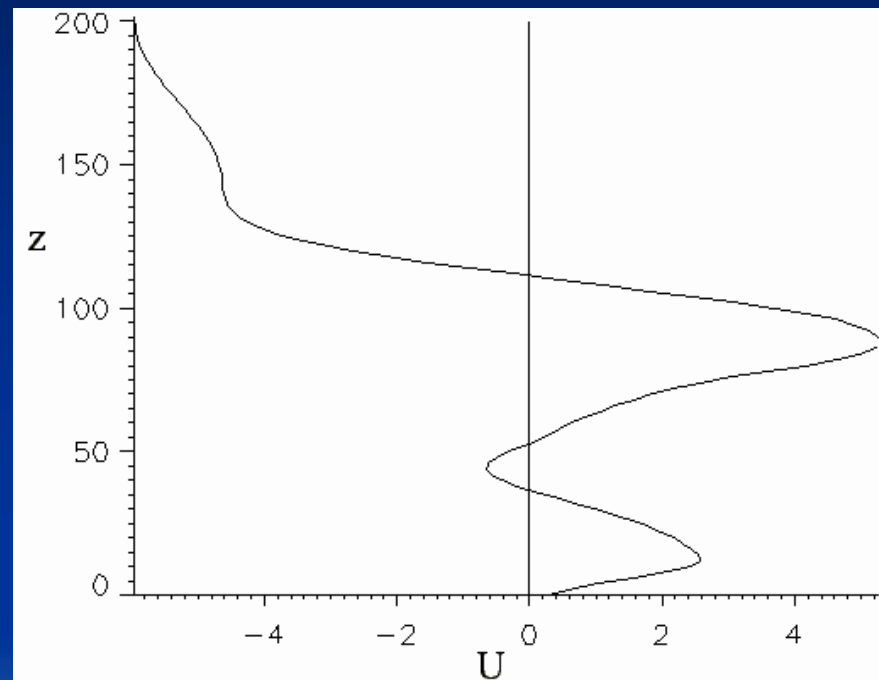
$U > 0$ - область свободного распространения

$U < 0$ - область нераспространения

Атмосферный волновод



Свободное распространение



Волноводное распространение

Методика реконструкции ААК

Анализируемый интервал времени охватывает 1986 год по 17 выбранным координатным точкам. Это пункты Тромсё (Норвегия), Мурманск, остров Колгуев, Амдерма, Хальмер-Ю, Ныда (Ямал), Тарко-Сале (Ямал), Ратта (Ямал), Бахта (Красноярск. Кр.), Тея, Мотыгино, Красноярск, Тайшет, Иркутск, Улан-Уде, Улан-Батор и Пекин. Исследуемая трасса ориентирована на северо-восток Атлантики с азимутом около 320 градусов, что соответствует доминирующему приходу микробаромов по данным Инфразвуковой станции ИСЗФ СО РАН в 1986 году.



Предположения и ограничения

Следует сказать о некоторых важных ограничениях, которые были использованы в работе:

- при расчете условий распространения инфразвуковых сигналов по трассе положение источника полагалось фиксированным.
- в расчетах не учитывались вертикальные компоненты ветра.



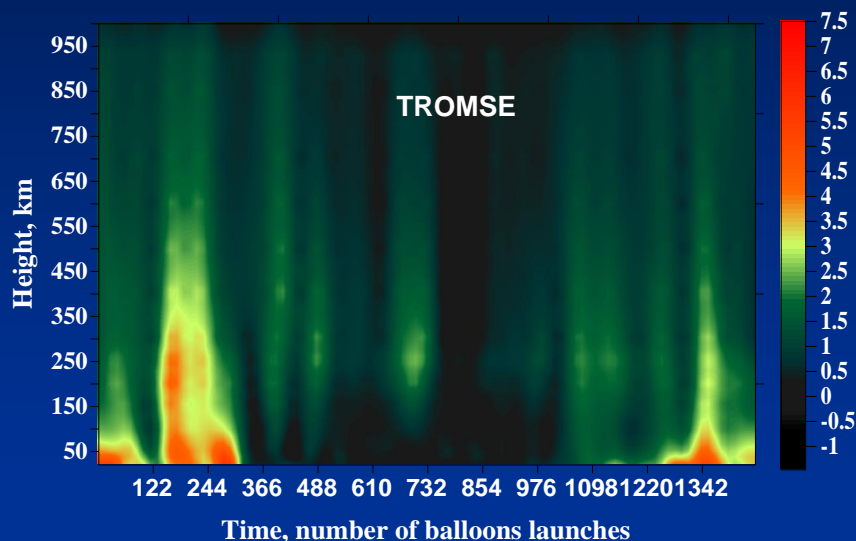
Северная Атлантика

Для Северной Атлантики, где на некоторых высотных уровнях характерны умеренные ветра (~20 м/с) и низкие температуры (- 70 град С), основной Акустический канал наблюдается на высотах около 25 км (30-50) миллибар).

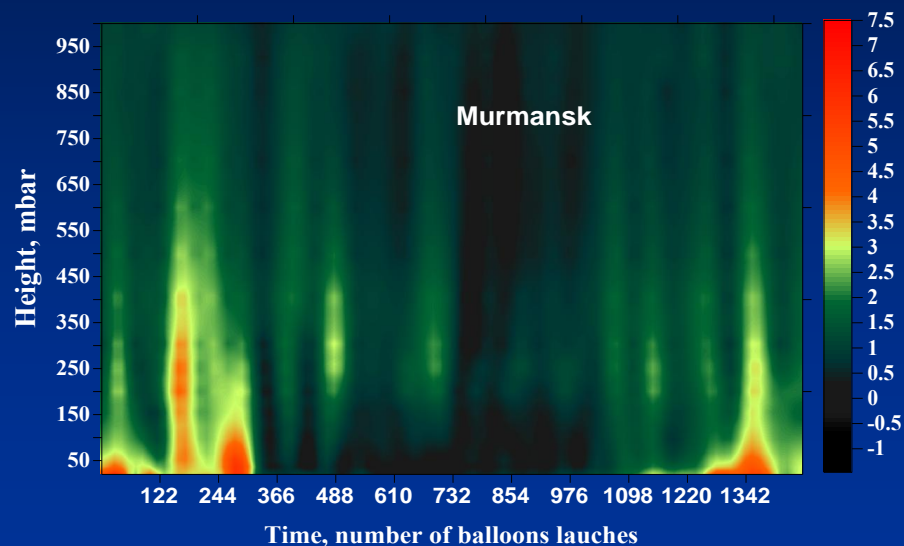


Реконструкция Акустического канала в атмосфере Северной Атлантики

Potential of the channel



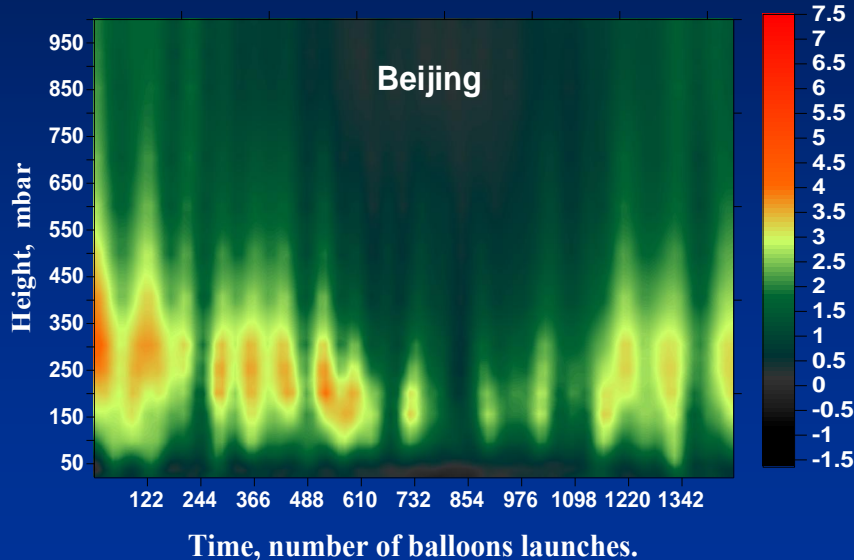
Potential of the channel



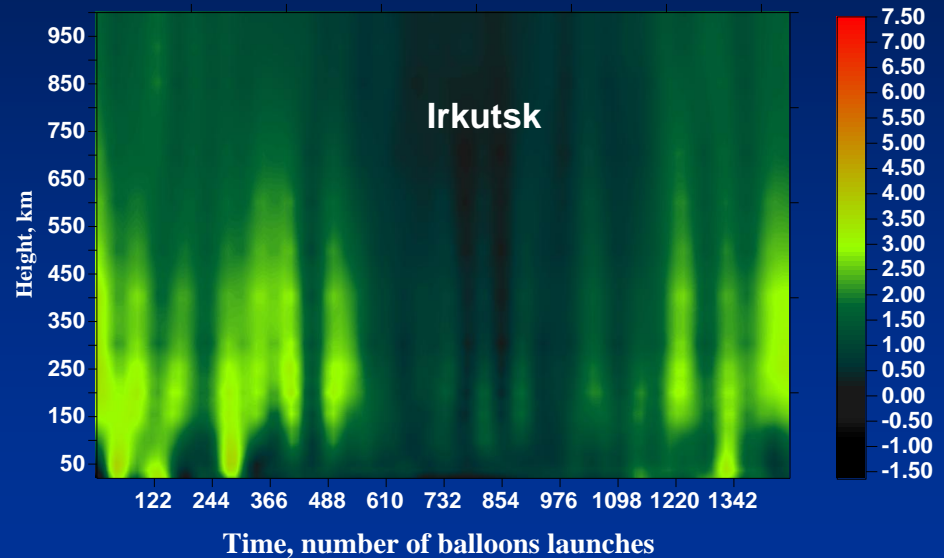
Характерными общими признаками исследуемых пунктов является то, что летом значения U минимальны – Атмосферный акустический канал не работает (заперт). Зимой, напротив, величина U достигает максимума – волновод открыт.

Реконструкция Акустического канала в атмосфере Восточной Сибири и Китая

Potential of the channel



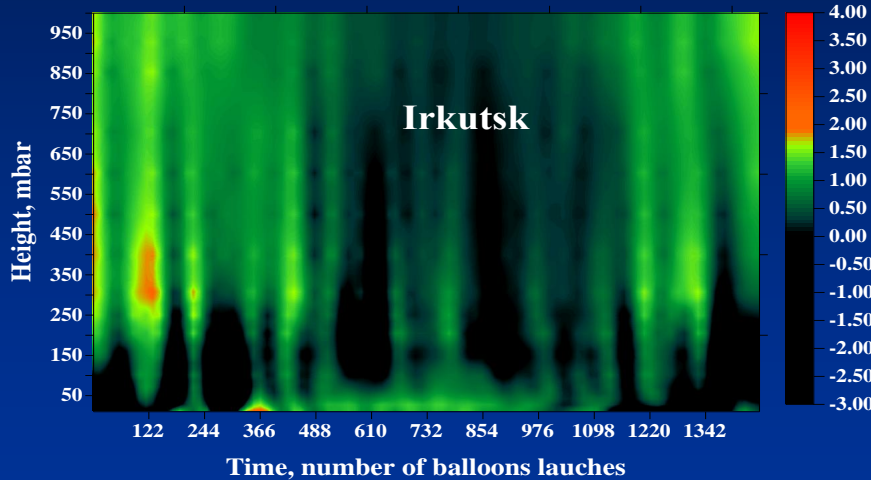
Potential of the channel



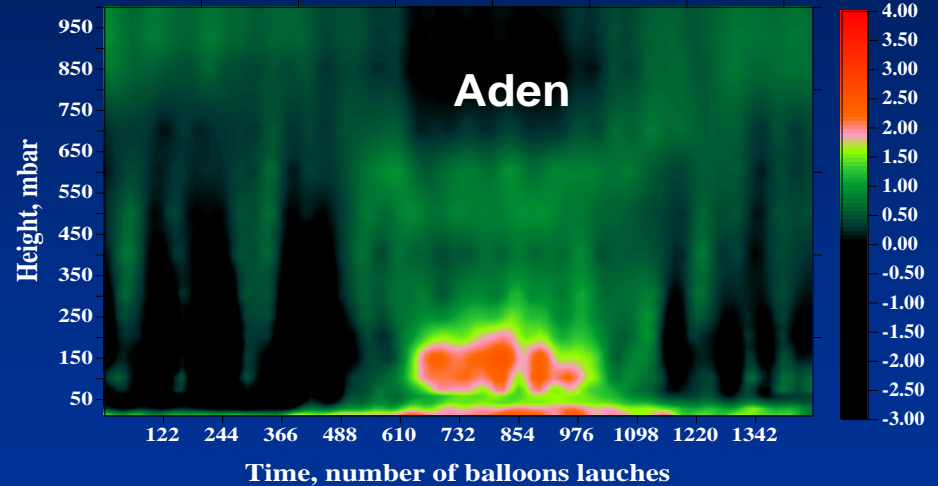
В этой области – характерны низкие температуры атмосферы и умеренные зимние ветра. Эта область простирается от Красноярска до Пекина. На рисунках видно, что максимальные значения потенциала U группируются вокруг геопотенциальных высот 200-400 миллибар (8- 12 км).

Реконструкция акустического канала с Тихого океана

Potential of the channel



Potential of the channel



Из представленных графиков можно видеть, что кроме явной летне-зимней асимметрии, в поведении потенциала U выделяются три характерные зоны:

- Северная Атлантика
- Восточная Сибирь и Китай
- экваториальная



Реконструкция структурных параметров ААК

При распространении сигнала в ААК представляет интерес поведение границ АКК, особенно верхней (зона запираения А), где $U < 0$, поскольку, по существу, эта зона является потенциальным барьером для акустической энергии, уходящей в верхнюю атмосферу. Эффективность такого барьера можно оценить, интегрируя потенциал U акустического канала от высоты h_1 до h_2 , полагая, что акустическая энергия экспоненциально ослабляется,

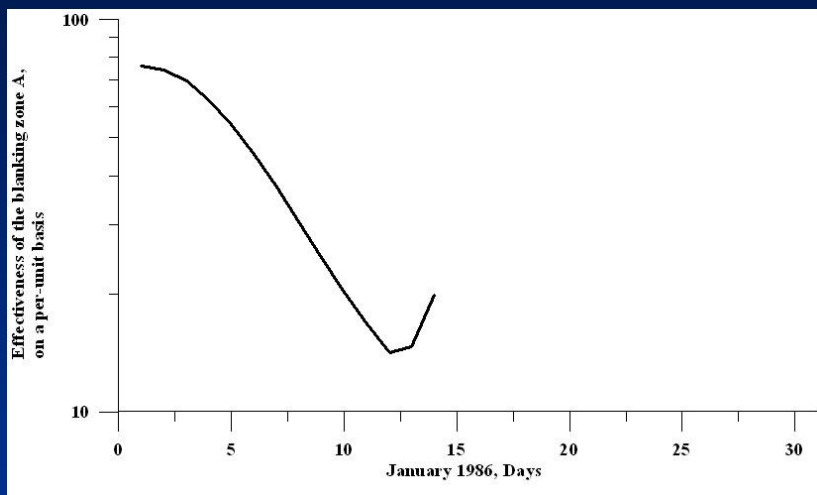
$$I_A = \exp(A)$$

где A

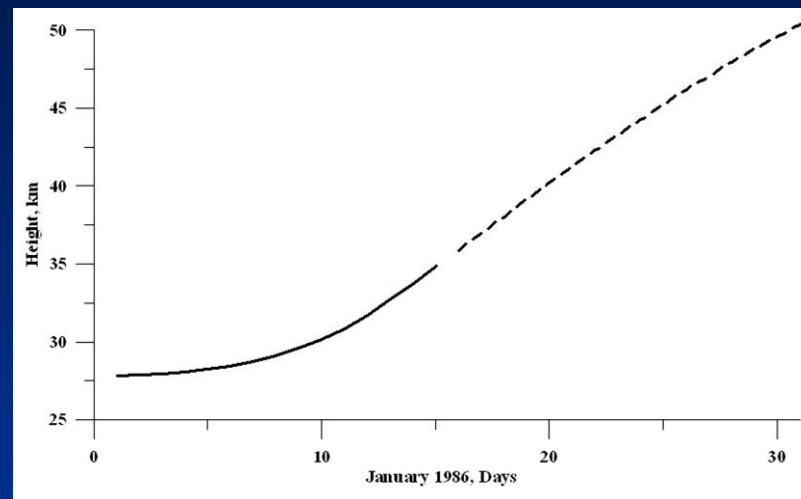
$$A = \int_{h_1}^{h_2} \sqrt{|U|} dh \quad (2)$$

Далее, будем считать «запираение» сигнала в волноводе эффективным, если просачивание через запирающий слой будет не более 0.1 от величины сигнала.

Эффективность запирающего слоя



a)

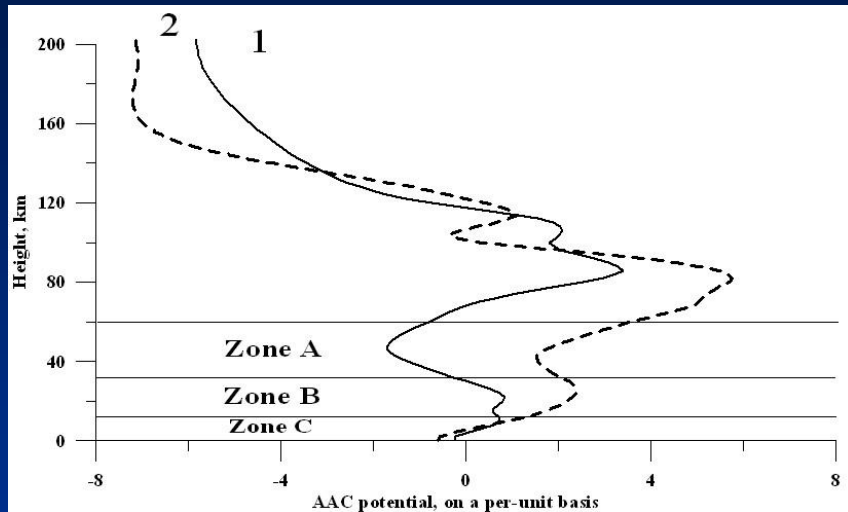


b)

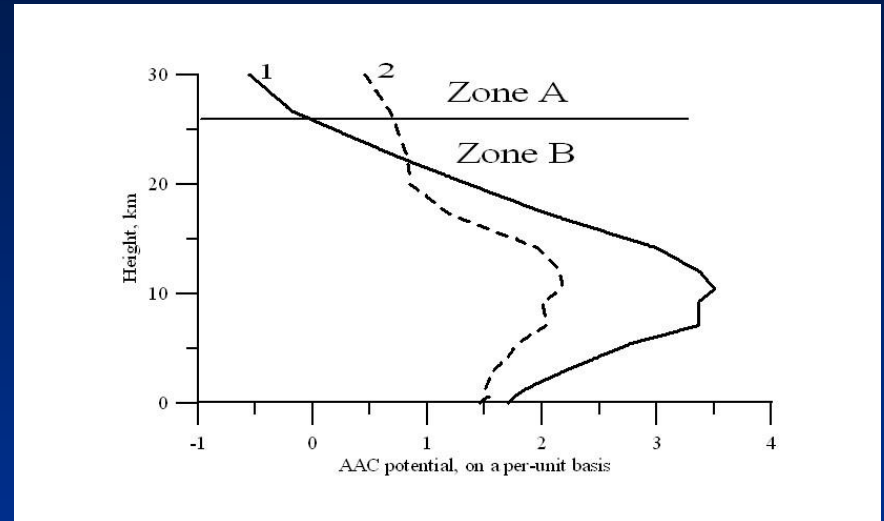
•Эффективность этого слоя в январе 1986 года для станции «Бадары» рассчитана согласно (2), и приведена на рис 6, здесь по оси ординат отложена эффективность записывания сигнала с высотой в логарифмическом масштабе, а по оси абсцисс текущее время января 1986г в сутках. Видно, что запирающий слой наблюдался в январе 1986г более 15 - ти суток, и эффективность записывания слоем была примерно от 10 до 100 раз. Такое ослабление сигнала соответствует 6-ти километровому атмосферному слою от высоты 24 км до 30 км, где $U < 0$.

•Высотное положение запирающего слоя можно оценить, если положить что на границе этого слоя имеется 10 –ти кратное ослабление этим слоем сигнала, согласно (4). На Рис. b) (сплошная линия) показано высотное положение границы запирающего слоя, который согласно данным IDEAS существовал в январе 1986 г в течение 15- суток на высотах до 30 км.

Особенности поведения потенциала U



a)



b)

• Из рисунков а) видно, что потенциал ААК для зимы (1) и лета (2) имеет принципиальные отличия. Отличия заключаются в том, что зимой явно видны две зоны с $U < 0$: Соответственно, это зона запирания А, расположенная на высотах от 30 до 50 км и зона запирания С в приземном слое на высотах от 0 до 4 км (Рис. а), кривая 1). Зона В соответствует атмосферному акустическому каналу. Летом (Рис. а, кривая 2) потенциал ААК распределен с высотой так, что имеется только зона запирания С, а верхняя зона запирания А отсутствует совсем.

• На рисунках б) представлены профили потенциала ААК соответственно для зимы и лета, рассчитанные по данным IDEAS. Видно, что зимой на высотах от 24 до 30 км наблюдается эффективный запирающий слой (Рис.5б, кривая 1).

Выводы

- Предложена методика расчета ААК на основе архива интерактивной базы данных IDEAS и наблюдений дальнего распространения инфразвука.
- Получены новые данные о высотном распределении акустических каналов в различных климатических зонах.
- Изучен ААК для 2-х доминирующих направлений прихода микробаром с Атлантики (азимут ~ 320 градусов) и Тихого океана (азимут ~ 60 градусов) на станцию «Бадары» (Иркутск).
- Выполнена оценка эффективности запирающего слоя при образовании акустического канала.
- Показано, что доминирующим акустическим каналом в зимнее время является канал с Северной Атлантики.

Литература

E.A. Ponomarev, G.V. Rudenko, A.G. Sorokin, I.S. Dmitrienko, I. Yu. Lobycheva, and A.K. Baryshnikov, (2006). Using the normal-mode method of probing the infrasonic propagation for purposes of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty. *Journal of Solar and Terrestrial Physics*, 68, pp. 599-614.

A.G. Sorokin, E.A. Ponomarev (2008). Assessing the state of the Atmospheric Acoustic Channel using the IDEAS data on long-distance microbarom propagation. *Journal Atmospheric and solar-terrestrial physics*, 70, 2008, 1110-1121.

Douglas P. Drob, (2003). Detailed specification of the atmosphere for infrasound propagation modeling. SRR 2003 Proceedings 25th Seismic Research Review – Nuclear Explosion Monitoring: Building and Knowledge Base, September 23-25, 2003, Tucson Arizona, <https://www.nemre.nnsa.doe.gov/review2003/papers/07-04.pdf>

Спасибо за внимание

A stylized silhouette of a mountain range in shades of brown and tan, positioned at the bottom of the slide against a blue gradient background.