

---

УДК 550.348.436

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТИ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА НА ПОЛУОСТРОВЕ КАМЧАТКА

*Махмудов Е.Р.*

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН*

*Научный руководитель: к.ф.-м.н. Фирстов П.П.*

На полуострове Камчатка наблюдения за волновыми возмущениями в атмосфере начали проводиться в 60<sup>х</sup> годах прошлого столетия с целью регистрации акустических сигналов от вулканических извержений. Были получены результаты, впоследствии заложившие основу для такого направления как «акустика вулкана». Однако 20 лет назад прекратились активные работы в этом направлении. В данной статье рассказывается о работе по организации новой сети инфразвукового мониторинга, в частности об аппаратной и программной составляющих компонентах, о полученных результатах и сделанных на их основе выводах.

*Ключевые слова: инфразвук, мониторинг, извержения, вулканы, микробарограф.*

### **Введение**

На полуострове Камчатка наблюдения за волновыми возмущениями в атмосфере начали проводиться в 60<sup>х</sup> годах прошлого столетия с целью регистрации акустических сигналов от вулканических извержений [2,3]. В дальнейшем был выполнен большой объем работ, который дал начало новому научному направлению «акустика вулканических извержений» [4,7]. К сожалению, в последние два десятилетия волновые возмущения в атмосфере на полуострове Камчатка активно не регистрировались. В настоящее время в Камчатском филиале Геофизической службы РАН идет организация сети станций акустического мониторинга с целью регистрации волновых возмущений инфразвукового диапазона для наблюдений за акустическими сигналами от эксплозивных извержений вулканов Камчатки и Курильских островов.

## Аппаратура и методика наблюдений

В настоящее время акустический мониторинг на Камчатке в дальней зоне представлен наблюдениями на станциях расположенных в поселке Паратунка (PRT) и в поселке Начики (IS44-НЧК). Станция НЧК создана в рамках международной системы контроля (International Monitoring System) несанкционированных ядерных взрывов. В ближней зоне, на трех телеметрических сейсмических станциях установлены акустические каналы (Сёмкорок – SMK; Байдарная – BDR; Киришева – KIR), позволяющие регистрировать акустические сигналы от извержений вулканов Северной группы вулканов. Расположение станций и наиболее активных вулканов Камчатки показано на рис. 1.

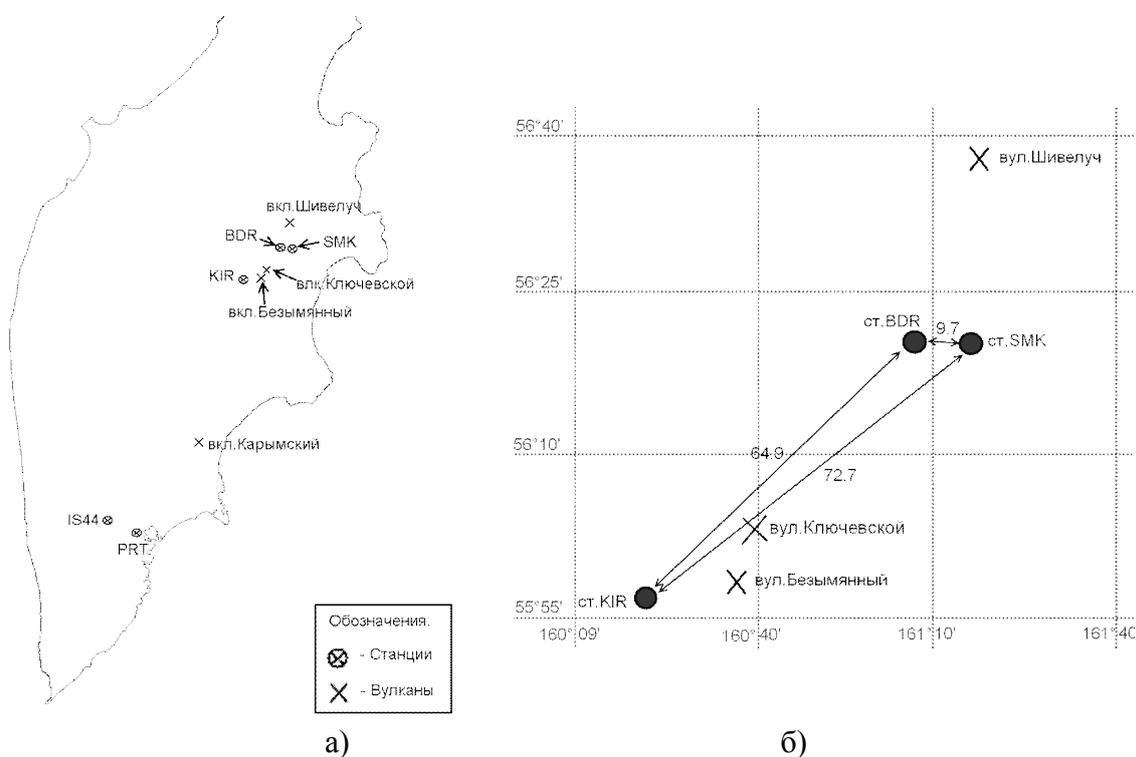


Рис. 1. Общая схема расположения акустических станций и наиболее активных вулканов Камчатки (а), схема расположения телеметрических станций в районе Северной группы вулканов, где установлены акустические каналы (б).

В 2008 году на паратунском стационаре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН был установлен микробарограф К-304, состоящий из микрофона конденсаторного типа и набора 5 фильтров, которые обеспечивали 5 выходных каналов с общим диапазоном полосы пропускания от 0.003 Гц до 10 Гц. Амплитудно-частотные характеристики каналов представлены на рис.2. На данный момент из 5 каналов задействовано 3 с полосами пропускания 0.003 - 0.03 Гц, 0.03-0.3 Гц и 0.2-10 Гц. С 2010 года данная станция была переведена на цифровой комплекс регистрации разработки КФ ГС РАН, и подключена к сети КФ ГС, поэтому к ней имеется удаленный доступ, что позволяет на рабочем месте получать суточную информацию.

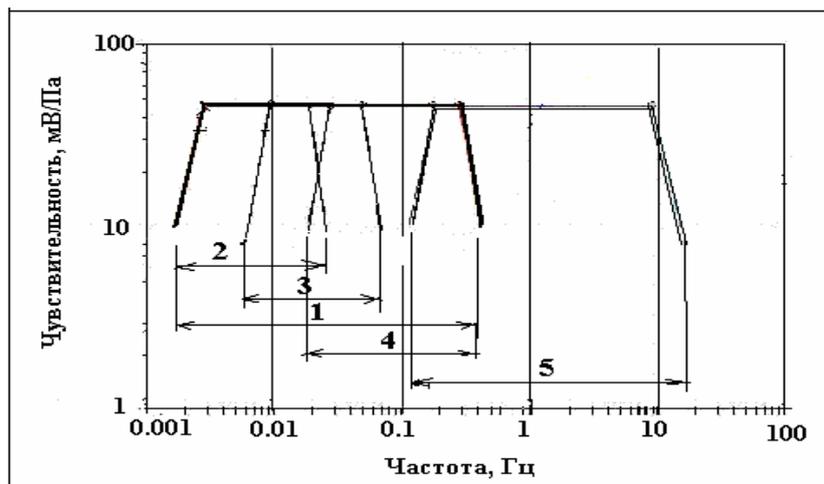


Рис. 2 Амплитудно-частотные характеристики микробарографа К-304

В 2010 году на базе электродинамического микробарографа – ЭДМБ-МВ были разработаны и подготовлены акустические каналы, которые сотрудниками отдела радиометрических сейсмических станций были установлены на телеметрических станциях BDR, SMK, KIR.

Чувствительным элементом ЭДМБ-МВ является блок из 5 последовательно соединенных anerоидных коробок (барокаробка), связанных с катушкой, помещенной в магнитное поле постоянного магнита. При изменении давления за счет изменения длины блока anerоидных коробок, катуш-

ка, двигаясь в магнитном поле, создает ЭДС, которая подается на предварительный усилитель собственной разработки.

На рис. 3 приведена АЧХ микробарографа с предусилителем. Усилитель функционально состоит из непосредственно усилительного звена, собранного на микросхеме КР140УД2, и конвертора питания, который работает от двух батарей «Лиман» напряжением 2.5 В емкостью 300 А·ч, с выходом  $\pm 9$  В. Потребление тока усилителя 4 мА, что обеспечивает автономность работы до 4 месяцев. Схема расположения акустических каналов приведена на рис. 1б.

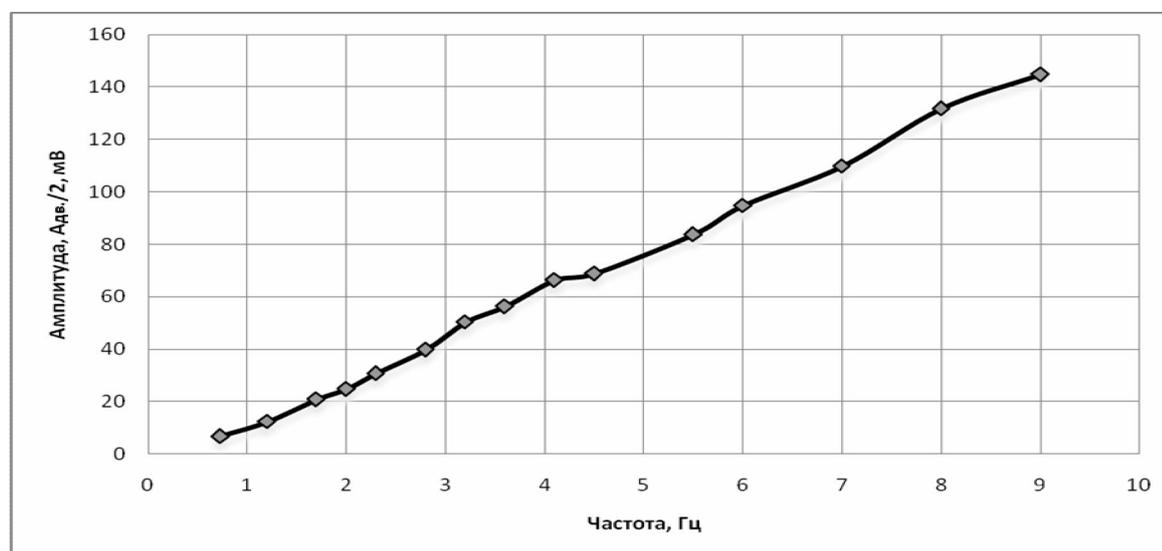


Рис. 3. АЧХ связи микробарограф ЭДМБ+ усилитель.

Для автоматизации процесса ежедневного получения данных был написан ряд программных средств, в которых использовался язык программирования Python 2.6 и библиотека графического интерфейса Qt. Была написана программа `script_launcher` представляющая собой средство для запуска скриптов на языке Python и исполняемых файлов и перенаправление их вывода в соответствующее текстовое поле. Программа имеет структуру многих вкладок, каждой из которых соответствует свое задание. Структурно работа программы представлена на рис.4а, скриншот работы на рис. 4б.

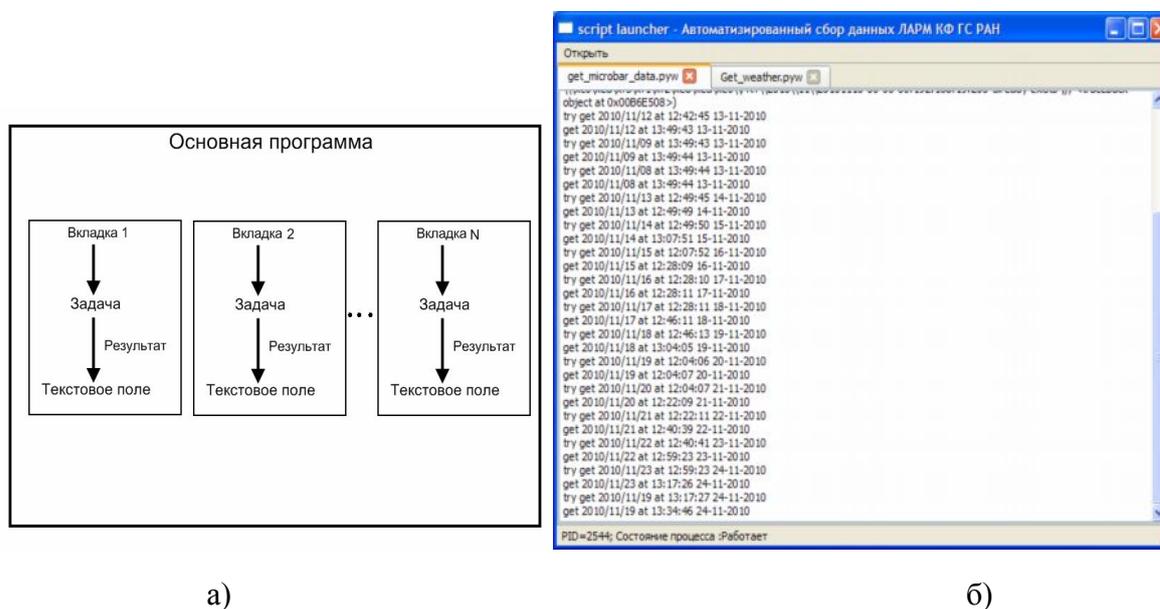


Рис. 4. Программа `script_launcher`, структурная схема работы (а), основное окно (б).

Далее был реализован скрипт содержащий инструкции для циклического получения суточного набора данных со станции PRT и помещения его в соответствующий раздел архива данных, согласно значениям года и месяца. Результатом его работы, представленным на рис. 4б, стало отсутствие необходимости участия в процессе человека.

### Предварительный анализ зарегистрированных сигналов

На вулкане Безымянном 16 декабря 2009 года произошло мощное эксплозивное извержение, высота эруптивного облака поднялась на  $\sim 8$  км над ур. м., образуя шлейф пепла распространившегося в северо-западном направлении на расстояние более 140 км. Это извержение сопровождалось сейсмическим и акустическим излучениями. На станции PRT (365 км) были зарегистрированы акустические сигналы, показанные на рис. 5 (три верхних канала). А на нижних каналах приведены три составляющие запи-

си землетрясения (N\_S, W\_E, Z) сопровождающее это извержение на станции ZLN, расположенной в 13.6 км от кратера вулкана.

Разница времени между приходами волн равна  $20^m 6^s$ . В этом случае скорость пробега акустических волн составляет 330 м/с, что подтверждает происхождение акустического сигнала.

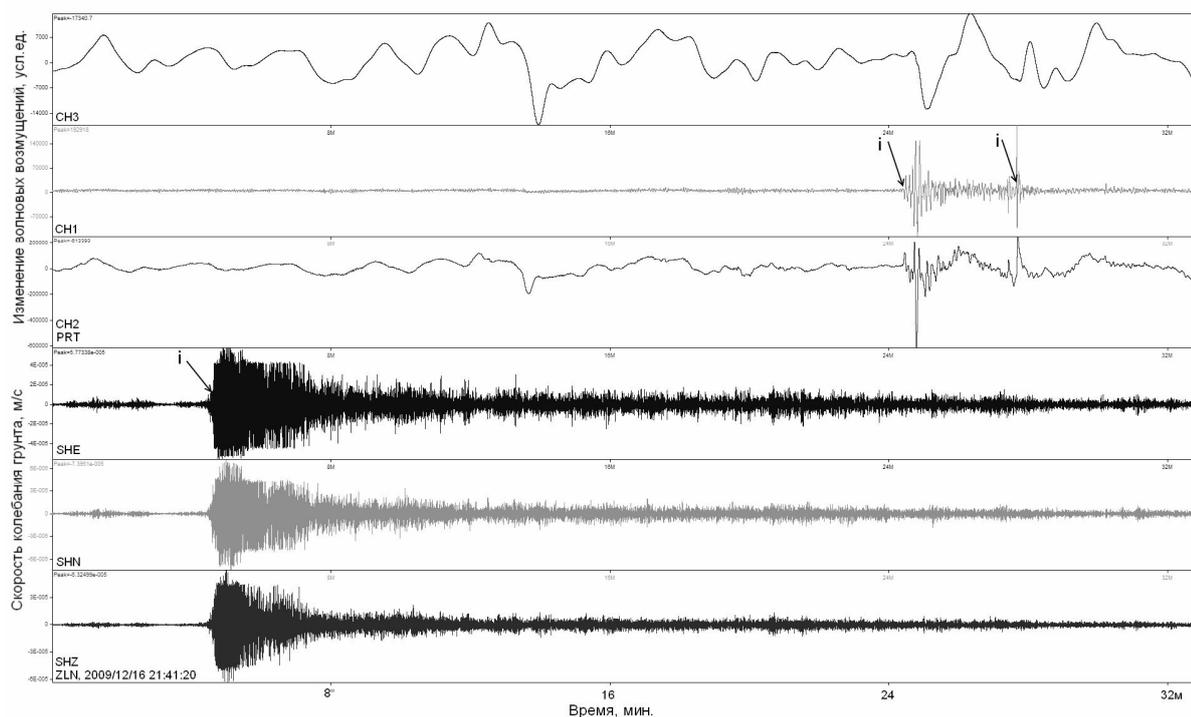


Рис. 5. Сигналы от извержения вулкана Безымянного 16.12.2009 г., 3 верхних акустический сигнал записанный на станции PRT, а три нижних сейсмический сигнал на станции ZLN.

С 23 по 25 октября 2010 года отмечалась активная деятельность вулкана Ключевская сопка. 25 числа были зарегистрированы два сигнала, прописавшиеся на всех трех акустических каналах телеметрических станций района Северной группы вулканов. На рис. 6 видны два сигнала, с интервалом между ними на всех станциях 202 сек., что свидетельствует об общем источнике их возникновения.

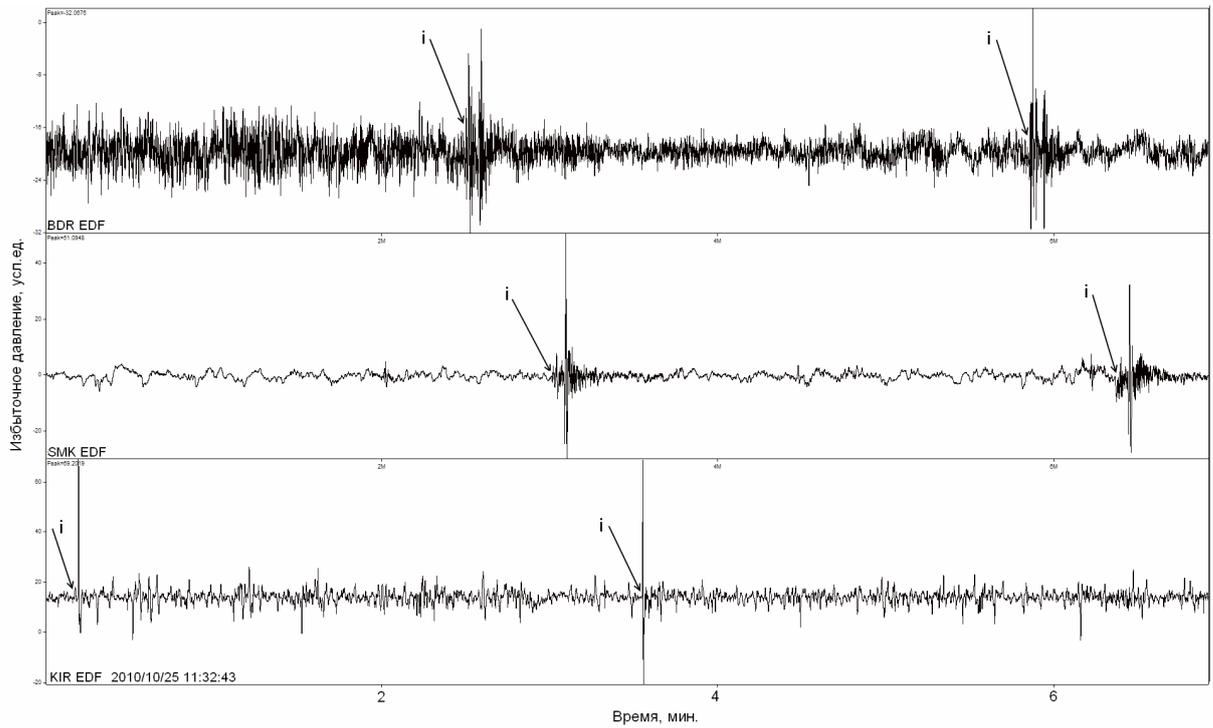


Рис. 6. Сигналы, зарегистрированные 25.10.2010 г.

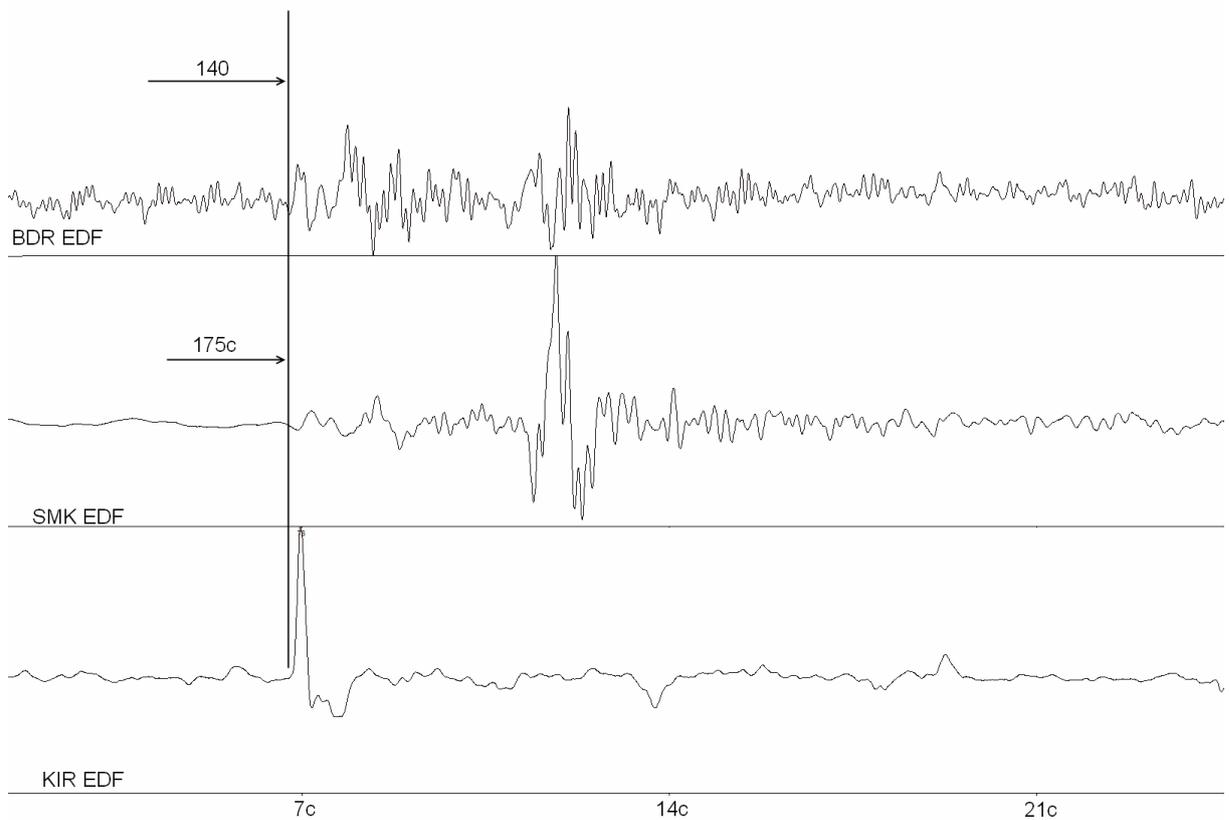


Рис. 7. Развертка во времени первого сигнала рис. 6 на всех станциях.

На рис.7 детально показан первый сигнал на каждой станции.

Сигнал со станции KIR имеет классическую форму ударной волны с длительностью фазы сжатия  $\tau_+ = 0.2$  с. Отсутствие вступлений, осложняющих форму волны, говорит о близости взрывного процесса к данной станции. На станции SMK, расположенной 72 км от KIR, выделяются несколько групп волн, связанных с отражениями, как за счет стратификации атмосферы, так и от склонов горных массивов, расположенных на пути распространения звукового луча. Хотя вступление первой группы волн на станции BDR выделяется, но в целом сигнал искажен за счет технических неполадок в работе всего акустического тракта.

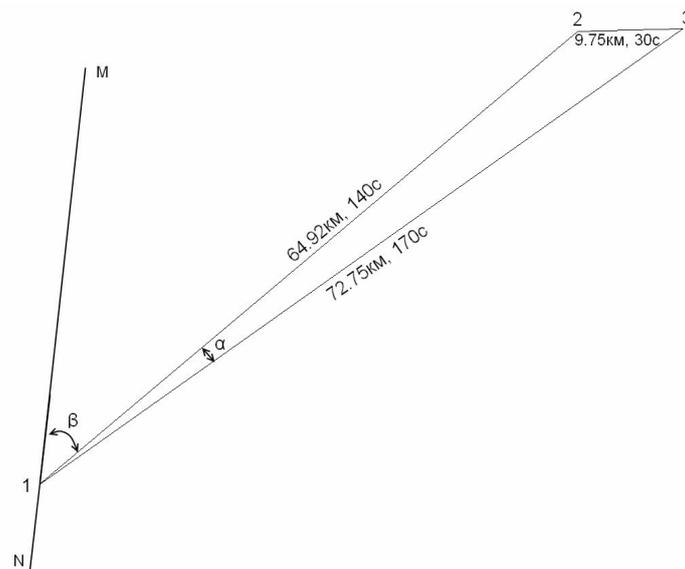


Рис. 8. Схема расчета направления прихода фронта волны, для АС, показанных на рис. 6.

$$\operatorname{ctg}\beta = \frac{L_{12}}{L_{13}} \cdot \frac{t_3 - t_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{\sin\alpha} - \operatorname{ctg}\alpha$$

Географическое месторасположение станций относительно друг друга позволяет рассчитать направление прихода фронта волны. Для этого воспользуемся методикой [1], согласно которой представим расположение станций в виде треугольника (рис. 8) и рассчитаем угол прихода фронта волны по приведенной ниже формуле. На рис. 8 MN расчетный фронт волны, точки 1,2,3 – станции KIR, BDR, SMK соответственно. На сторонах треугольника 123 отмечены расстояния между станциями и промежуток времени между регистрациями волны на этих станциях, угол  $\alpha$  равен  $4.75^\circ$ , угол  $\beta$  – искомый угол.

Согласно расчетам, угол  $\beta = 43.57^\circ$ . Так как шлейфы с содержанием пепла протяженностью до 1200 км, на высотах до 6 км над уровнем моря, распространялись в восточном и юго-восточном направлениях (данные ЛИСВА КОМСП), то можно сделать вывод, что источником сигналов не является деятельность вулкана Ключевской.

На рис. 9 приведены записи акустических сигналов зарегистрированных 22 ноября 2010 г., на станциях PRT и IS44. По форме записей четко видно, что эти сигналы возникли в результате проведения контактных взрывов взрывчатых веществ [6]. Направление на источник от станции IS44 равно  $14^\circ$ . Не исключено, что данные сигналы связаны утилизации боеприпасов или прочими взрывными работами.

В дальнейшем планируется использовать сигналы от этой серии взрывов для калибровки каналов станции ПРТ.

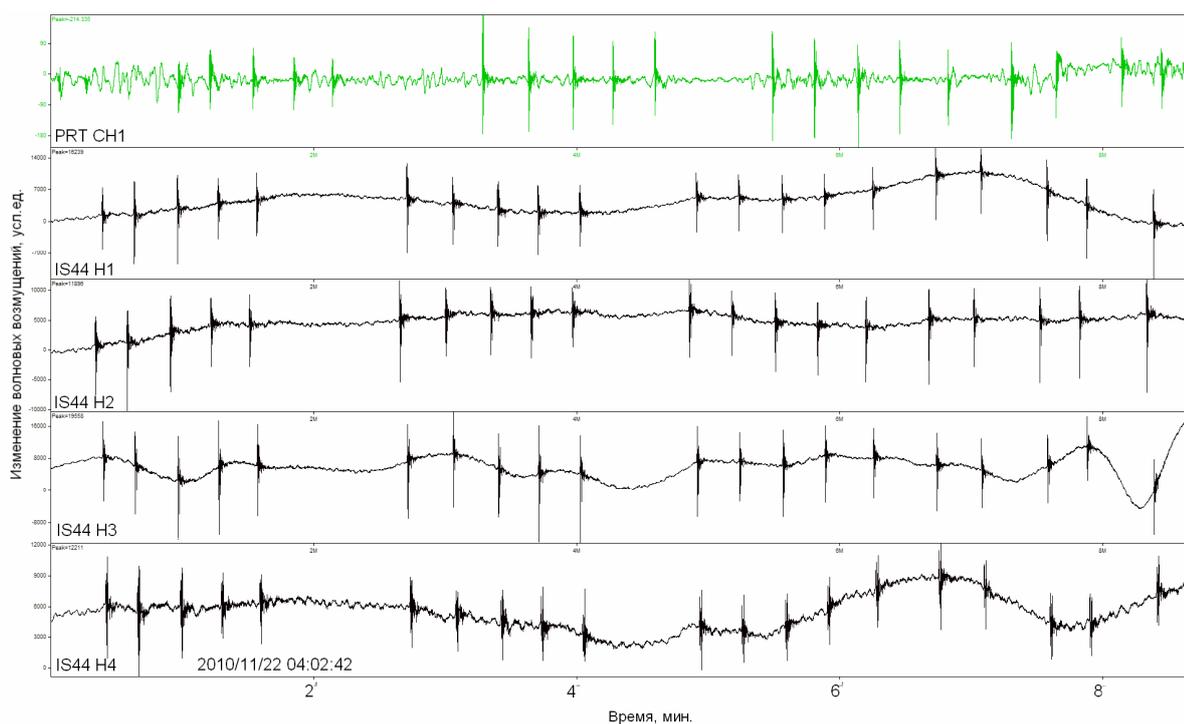


Рис. 9. Сигналы от взрывов 22 ноября 2010 г., верхний сигнал канал со станции PRT, нижние 4 канала со станции IS44.

## Выводы

Сеть инфразвуковых станций позволяет регистрировать волновые процессы в атмосфере, источниками которых является как естественные процессы (вулканическая деятельность, циклоны, молнии) так и техногенные процессы. В процессе работы в разное время были зафиксированы волновые возмущения в атмосфере сопровождающие эксплозивные извержения вулканов Камчатке. За последнее время были зафиксированы АС от нескольких сильных извержений вулкана Безымянный.

Однако, на данный момент, сеть инфразвуковых станций развита недостаточно. Поэтому стоит задача о расширении сети, планируется установка микробарографов К304 в поселках Ключи и Козыревск, а так же микробарографов серии ЭДМБ-МВ на других телеметрических станциях КФ ГС РАН для более всеохватывающего мониторинга инфразвуковых возмущений в атмосфере связанных с природными процессами.

Автор выражает благодарность научному руководителю П.П. Фирстову за помощь и внимание к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Монахов Ф.И., Пасечник И.П., Шебалин Н.В.* Сейсмические и микросейсмические наблюдения на советских станциях в период МГГ. М.:Из-во АН СССР, 1959,37с.
2. *Токарев П.И.* Регистрация взрывов Ключевского вулкана в 1962 г. //Бюл. вулканол. ст. 1964. № 37. С. 52-59.
3. *Токарев П.И.* Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. и его предвестники // Физика Земли. 1967. № 9. С. 11-22.
4. *Фирстов П.П.* Вулканические акустические сигналы диапазона 1.0–10 Гц и их связь с взрывным процессом. Петропавловск – Камчатский: КГПУ, 2003. 90 с.
5. *Фирстов П.П., Тристанов А.Б., Махмудов Е.Р.* Об организации наблюдений за волновыми возмущениями в атмосфере на полуострове Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. 12. С. 164 - 173.
6. *Цейтлин Я.И., Смолий Н.И.* Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. М.:Недра,1981
7. *Firstov P.P.* Wave Perturbation in the Atmosphere as a Method of Remote Monitoring of Volcanic Eruptions // Intern. Volcanol. Congress. JAVEI. Ankara. Theme 7. 1994.

SOME QUESTIONS OF THE ORGANIZATION OF THE NETWORK OF INFRASONIC MONITORING ON PENINSULA KAMCHATKA.

*Mahmudov E.R.*

*Kamchatkan experimental & methodical seismological department,  
Geophysical service, RAS*

On peninsula Kamchatka of supervision over wave indignations in atmosphere have started to be spent in 60 years of last century for the purpose of registration of acoustic signals from volcanic eruptions. The results which subsequently have put a basis for such direction as «acoustics of a volcano» have been received. However active works in this direction 20 years ago have stopped. In given article it is told about work on the organization of a new network of infrasonic monitoring, in particular about hardware and program making components, about the received results and the conclusions made on their basis.

*Keywords: an infrasound, monitoring, eruptions, volcanoes, a microbarograph.*