

УДК 550.348.+551.594

## ОБ ОРГАНИЗАЦИИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВОЛНОВЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ В АТМОСФЕРЕ НА ПОЛУОСТРОВЕ КАМЧАТКА

© 2008 П.П. Фирстов<sup>1,2</sup>, А.Б. Тристанов<sup>1</sup>, Е.Р. Махмудов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: firstov@kscnet.ru

<sup>2</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

В работе приводится описание программно-аппаратурного комплекса для регистрации волновых атмосферных возмущений, который начал работать после 12 летнего перерыва наблюдений волновых возмущений в атмосфере на полуострове Камчатка организациями РАН. Комплекс установленный в опорном пункте Паратунка позволяет проводить цифровую регистрацию волновых возмущений в атмосфере в диапазоне частот 0.003 – 10 Гц и осуществлять мониторинг сильных эксплозивных извержений вулканов Камчатки.

*Ключевые слова:* воздушные волны, инфразвук, вулканическое извержение, акустическая станция, Камчатка.

### ВВЕДЕНИЕ

Флуктуации атмосферного давления, которые регистрируются микробарографами наземного базирования, являются надежным источником информации о волновых возмущениях в атмосфере. Причины, порождающие атмосферные волны, многообразны и описаны в известной монографии (Госсард, Хук, 1978) и многочисленных обзорах. Как процессы в нижней стратосфере, к которым следует отнести диссипативные процессы полярных и экваториальных электроджетов, нагрев атмосферы при полярных суббурях и т.п. (Ерущенков, 1980; Metz, 1973), так и такие метеорологические явления в тропосфере как прохождение фронтов, развитие циклонов, тайфунов, возникновение торнадо (Ерущенков и др., 1999; Chapman, Malin, 1970; Georges, 1969; Hung, Smith, 1977) сопровождаются генерацией акустических и акустико-гравитационных волн. Высокоэнергетические процессы, протекающие в литосфере (цунами, землетрясения, вулканические извержения), также порождают волны в атмосфере, изучение которых представляет большой интерес для понимания процесса взаимодействия этих двух различных геосфер. В этом отношении, полуостров Камчатка изобилует природными явлениями (циклоны, извержения вулканов, сильные землетрясения, цунами), во время которых возникают волновые возмущения в атмосфере.

По принятой в настоящее время классификации (по их спектральному составу), к основным типам атмосферных волн относятся (Госсард, Хук, 1978):

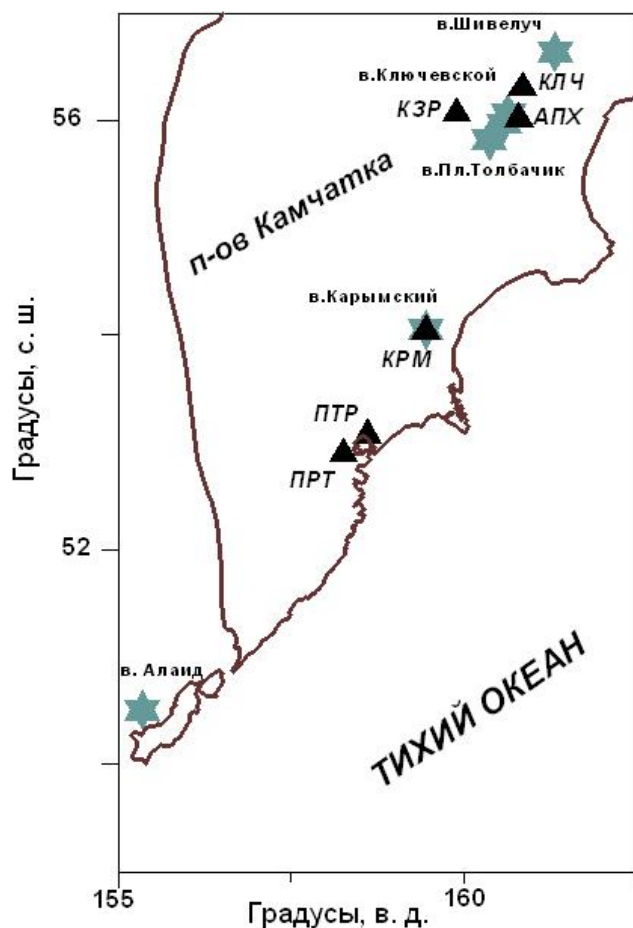
- акустические волны с  $f > 0.003$  Гц, обусловленные сжимаемостью атмосферного газа, причем под инфразвуковыми волнами принято считать низкочастотную ветвь акустического спектра с частотами менее 1 Гц;
- внутренние гравитационные волны, возникающие из-за расслоенности атмосферы по плотности и энтропии с частотой от 0.0001 Гц до 0.003 Гц;
- атмосферные приливы с периодом  $\approx 24$  час/к, где  $k = 1, 2, \dots$

Регистрация волновых возмущений на Камчатке была начата в начале 60-х годов XX века (Токарев, 1964), когда на сейсмических станциях в районе Ключевской группы вулканов были установлены электродинамические микробарографы ЭДМБ - IV (Пасечник, Федосеенко, 1958). Это дало возможность зарегистрировать волновые возмущения в атмосфере во время катастрофического извержения вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. (Токарев, 1967; Фирстов, 1996).

На полуострове Камчатка, начиная с 70-х до конца 90-х годов прошлого века, систематически проводились работы по изучению акустических сигналов (АС) в атмосфере, сопровождающие природные явления (Колоколов, Фирстов, 1992),

а также вулканические извержения (Фирстов, 2003). Как показал многолетний опыт регистрации волновых возмущений в атмосфере, связанных с вулканическими извержениями, они являются дистанционными индикаторами динамики извержений, так как динамические и кинематические параметры ударно-волновых и акустических эффектов вулканических извержений связаны с рядом параметров процесса извержения. Расположение стационарных и временных пунктов регистрации акустических возмущений в атмосфере, работавших на Камчатке в конце прошлого века, приведено на рис. 1.

К сожалению, в последние два десятилетия авторы были весьма ограничены в возможностях организации акустических наблюдений, как на стационарных, так и на полевых пунктах по независимым от них причинам. Последний стационарный пункт «Паратунка» (ПРТ) работал в районе пос. Паратунка с 1992 по 1996 гг.



**Рис. 1.** Схема расположения наиболее активных вулканов Камчатки, вблизи которых проводились микробарографические наблюдения (звездочки), и стационарных станций (треугольники), где размещались микробарографы. Сокращения в названии станций: *КЛЧ* – Ключи; *АПХ* – Апахончич; *КРМ* – Карымский; *КЗР* – Козыревск; *ПТР* – Петропавловск; *ПРТ* – Паратунка.

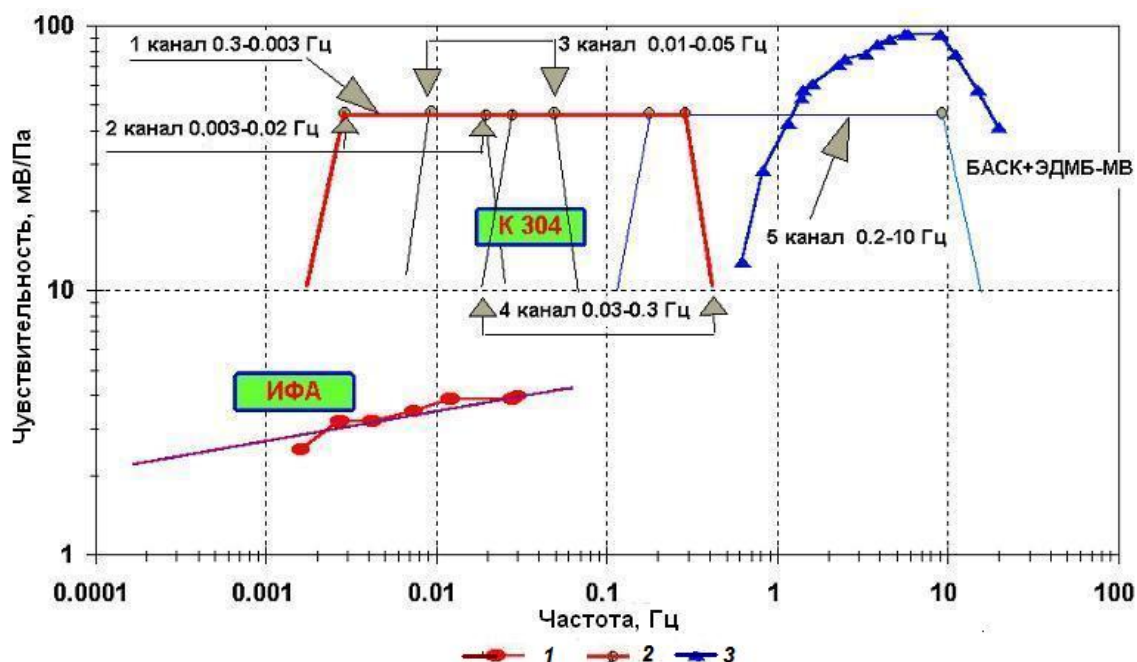
### РЕГИСТРАЦИЯ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ НА СТАНЦИИ «ПАРАТУНКА» В 1992-1996 гг.

Станция «Паратунка» была организована на базе Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН. В качестве датчиков на этой станции использовались: жидкостной микробарограф конструкции Института физики атмосферы РАН (ИФА), конденсаторный микробарограф К304, электродинамический микробарограф ЭДМБ-МВ. Амплитудно-частотные характеристики всех микробарографических каналов приведены на рис. 2. Регистрация осуществлялась с помощью магнитографа.

Жидкостный микробарограф конструкции ИФА предназначен для измерения колебаний давления в диапазоне частот  $f = 10^{-4} \div 10^{-1}$  Гц (Бовшеверов и др., 1979). Он представляет собой две сообщающиеся камеры, заполненные жидкостью (кремнийорганический полимер), с расположенными в них пластинами измерительных конденсаторов. Разность давлений в измерительных камерах приводит к изменению уровней жидкости между пластинами конденсаторов и соответственно к изменению емкости измерительных конденсаторов. При регистрации микропульсаций атмосферного давления одна из камер соединена непосредственно с атмосферой, а вторая (камера сравнения) соединяется с атмосферой с помощью капилляра через буферный объем.

Конденсаторный микробарограф К304 регистрирует колебания атмосферного давления в диапазоне частот  $0.003 \div 10.0$  Гц. Микробарограф позволяет вести регистрацию на пяти одновременно действующих частотных каналах:  $0.003 \div 0.3$ ;  $0.003 \div 0.002$ ;  $0.01 \div 0.05$ ;  $0.03 \div 0.3$ ;  $0.2 \div 10.0$  Гц (рис. 2). Границы каналов соответствуют уровню 0.7 от максимального значения. Крутизна амплитудно-частотных характеристик в переходных областях составляет не менее 36 дБ на декаду. Максимальная амплитуда принимаемого сигнала 100 Па, а максимальная амплитуда напряжения на выходах частотных каналов 5В при нагрузке не менее 10 кОм. Каждый частотный канал имеет три параллельно действующих выхода с пределами заглубления регистрируемого давления 1: 10: 100, т.е.  $S = 5: 0.5: 0.05$  В/Па.

В качестве датчика для регистрации воздушных волн использовался электродинамический микробарограф ЭДМБ-МВ, который также широко применялся при полевых наблюдениях вблизи действующих вулканов (Фирстов, 2003). Этот микробарограф в комплекте с блоком регистрации акустических и сейсмических колебаний (БАСК), разработанным в Институте вулканологии ДВО РАН под руководством



**Рис. 2.** Амплитудно-частотные характеристики микробарографов, работавших на акустической станции «Паратунка» в 1992-1996 гг.: 1 – жидкостной микробарограф конструкции ИФА; 2 – пятиканальный конденсаторный микробарограф К304; 3 – электродинамический микробарограф ЭДМБ-МВ, нагруженный на усилитель БАСК.

В.А. Гаврилова, имеет чувствительность  $S=0.05$  В/Па на частотах 0.2-10 Гц по уровню 0.7 (рис. 2).

Данный комплекс позволял на станции ПРТ с помощью трех микробарографов отечественной конструкции регистрировать волновые возмущения в атмосфере в широком диапазоне частот  $f = 10^{-4} \div 10$  Гц (Фирстов, 2004).

Регистрация волновых возмущений в атмосфере на станции ПРТ позволила выделить вариации атмосферного давления, связанные с метеорологическими процессами: так на рис. 3а на записи широкополосным микробарографом ИФА выделяется суточный ход атмосферного давления, имеющий хорошо выраженный максимум в 20-24 часа и минимум в районе 14 часов LT. Как известно, такое поведение суточного хода давления характерно для всех широт и обусловлено изменением солнечной радиации в течение дня.

На записях инфразвуковых колебаний, зарегистрированных микробарографом К304 (канал 1) в этот же период, периодически наблюдались всплески интенсивности с суточной периодичностью, которые хорошо выделяются на кривой среднеквадратического отклонения амплитуды сигнала, осредненного скользящим средним на интервале  $5 \times 10^3$  секунд (рис. 3б). В условиях «хорошей» погоды 20 – 23 и 25 сентября в огибающей проявляется суточный ход с максимумом в 13-20 ч. LT совпадающий с суточным ходом скорости ветра, обусловленного конвективными процессами в атмосфере за счет

турбулентности (Хргиани, 1986).

За период работы акустической станции ПРТ были зарегистрированы волновые возмущения, связанные с сильными взрывными извержениями вулканов Камчатки. Инфразвуковой сигнал ( $T \approx 5$  с) серии взрывов, которыми началось извержение вулкана Академии наук, расположенного рядом с вулканом Карымский на расстоянии 145 км от станции ПРТ, в январе 1996 г. показан на рис. 4а. В этом случае, по данным акустических наблюдений, было точно установлено время начала извержения, а по резкому изменению характера сигнала, сделано предположение, что первые эксплозии начались на берегу озера Карымского, и только через 3.5 минуты эксплозивный кратер был залит водой (Фирстов, Филиппов, 1997).

На фоне естественных микрофлуктуаций атмосферного давления 22.04.1993 г. выделяется цуг колебаний с избыточным давлением в фазе сжатия около 2.5 Па, который по времени прихода можно связать с самой мощной эксплозией пароксизмальной фазы извержения в Шивелуч (Фирстов и др., 1994). Цуг с периодом  $\sim 2$  мин и длительностью 8 мин, осложненный в головной части более высокочастотными колебаниями с периодом  $T \approx 50$  с (рис. 4б), обусловлен мощным эксплозивным процессом, в результате которого в атмосфере формируется конвективная колонна, и генерируются длинноволновые возмущения.

В этом случае механизм генерации длинно-

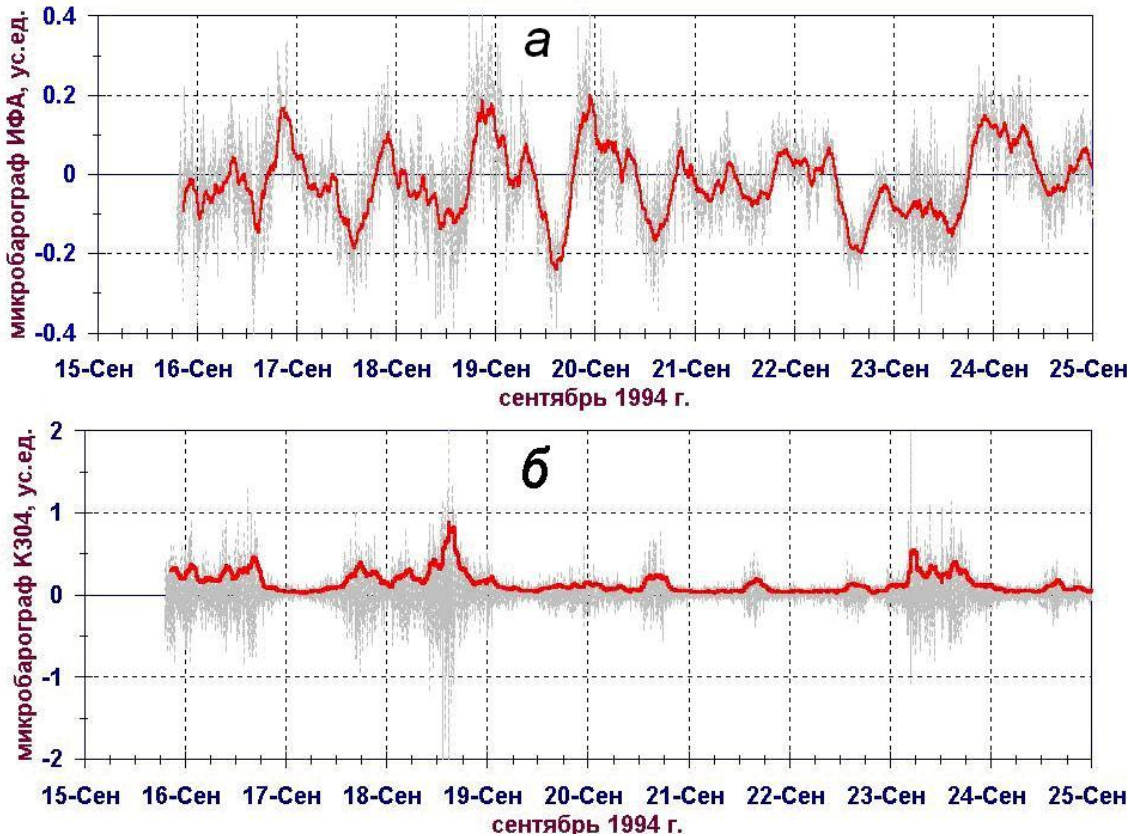


Рис. 3. Пример записи волновых возмущений на станции «Паратунка»: *а* – микробарограф ИФА, тонкая линия – экспериментальные данные, жирная – осреднение скользящим средним; *б* – микробарограф К304, тонкая линия – экспериментальные данные, жирная – осреднение скользящим средним среднеквадратического значения.

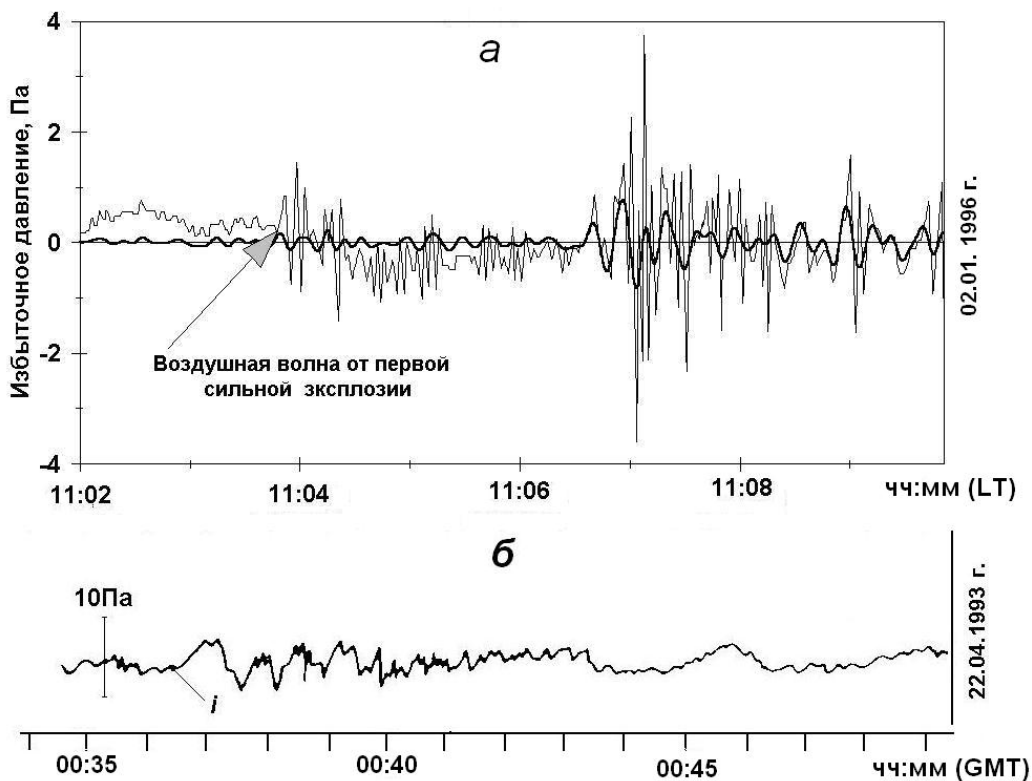


Рис. 4. Записи инфразвуковых сигналов на станции «Паратунка»: *а* – от отдельных взрывов начала извержения вулкана Академии наук 2 января 1996 г. (жирной линией показан сигнал после фильтрации полосовым фильтром); *б* – акустический сигнал от эксплозии вулкана Шивелуч в 1993 г.

волновых возмущений можно представить следующим образом. Генерируемая конвективной эруптивной колонной воздушная волна по мере распространения преобразуется в цилиндрическую волну Лэмба. Волна Лэмба анизотропная, возмущения в ней максимальны на уровне поверхности Земли, а энергия может быть определена по формуле:

$$E_a = \frac{2\pi r H}{\rho C} \int \Delta p^2 dt,$$

где:  $r$  – расстояние между источником и пунктом регистрации;  $H$  – эффективная высота слоя, в котором сосредоточена энергия волны;  $\rho$ ,  $C$  – плотность воздуха и скорость распространения звука в атмосфере соответственно. Расчетная энергия акустического источника в этом случае составит  $E_a \approx 10^{11}$  Дж. Если перейти к относительной мере энергии, характеризующей интенсивность излучаемых волн – тротиловому эквиваленту, выражающему аналогичный эффект, необходимо произвести контактный взрыв 2.8–28 килотонн тринитротолуола, т. к. только от 0.1 до 1% энергии взрыва идет на формирование воздушных волн.

Следует отметить, что длинноволновые возмущения от сильных эксплозивных извержений регистрировались и ранее (Адушкин и др., 1984; Фирстов, 1996). По аналогии с большими площадными пожарами можно предположить, что интенсивность возмущений в атмосфере, вызванных эруптивным процессом, определяется динамикой энерго- и тепломассовыделения в источнике, метеорологической обстановкой (температурная и ветровая стратификация атмосферы) и характером турбулентного обмена горячих продуктов извержения с холодным воздухом. Сильные эксплозивные извержения в отличие от химических и ядерных взрывов можно рассматривать как «мягкий» источник энерговыделения, приводящий к генерации инфразвуковых колебаний за счет подъема постоянно действующей конвективной колонны и еще ряда причин. Это позволяет вести мониторинг сильных эксплозивных извержений акустическими станциями наземного базирования на значительном расстоянии от источника.

В настоящее время акустические наблюдения прочно вошли в набор дистанционных методов за мониторингом эксплозивной деятельности почти на всех действующих вулканах мира. На полуострове Камчатка, после длительного периода отсутствия этого вида наблюдений, задача организации сети станций для регистрации волновых возмущений в атмосфере является весьма актуальной. На первом этапе был принято решение создание программно-аппаратного комплекса для регистрации волновых возму-

щений в атмосфере на опорной станции ПРТ (рис. 1).

### ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ

В качестве датчика в программно – аппаратном комплекс использован микробарограф К304, сигнал с которого через аналого-цифровой преобразователь поступает на персональный компьютер.

Сигнал с К304 снимается с каналов 1, 2, 3, 5, частотные характеристики которых приведены на рис. 2. В качестве аналого-цифрового преобразователя используется внешний модуль E-24 фирмы LCard, который представляет собой 4-х канальный измерительный блок АЦП, предназначенный для подключения к СОМ порту персонального компьютера с питанием через этот же порт, со следующими техническими параметрами:

- диапазон при усилении 1:  $\pm 2.5$  В (биполярный);
- разрядность АЦП: 24-битный со смещенным кодом;
- программируемое усиление до 128;
- разночастотный ввод от 4.8 Гц до 1000 Гц;
- потребление не более 4 мА.

Для сбора и хранения данных создана программа, которая позволяет производить настройку всех параметров АЦП и проводить регистрацию данных непрерывно, сохраняя их в бинарных файлах для каждого канала. Новый файл создается раз в сутки. В программе также предусмотрен модуль визуализации в реальном масштабе времени, что позволяет контролировать работу всего аппаратурно-программного комплекса.

Регистрация сигнала с высокочастотного канала 5 (МВ1) микробарографа К304 ведется с частотой дискретизации 32 Гц, а сигналов снимаемых с каналов 1, 2, 3 (МВ2, МВ3, МВ4) – 8 Гц. Регистрация сигнала с 1-3 каналов ведется с избыточной частотой дискретизации в связи с особенностями применяемого АЦП.

Для первичной обработки получаемых с комплекса данных разработана программа, дающая следующие возможности:

- децимации сигнала до частоты дискретизации 2 Гц и приведения единиц измерения амплитуды к Па;
- визуализации суточного сигнала и отдельных временных выборок;
- расчета огибающей сигнала с помощью преобразования Гильберта;
- расчета и анализа спектральной плотности мощности методом Уэлча.

Таким образом, разработанный программно-аппаратурный комплекс позволяет вести цифровую регистрацию волновых возмущений в атмосфере, хранить исходные данные и производить первичную обработку данных за любой период времени.

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИСТРАЦИИ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ В 2008 г.

С августа 2008 г. акустический комплекс начал непрерывную регистрацию в пункте ПРТ, который рассматривается как опорный пункт сети станций Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН и Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН с целью мониторинга длинноволновых возмущений в атмосфере, сопровождающих сильные взрывные извержения вулканов Камчатки, а в некоторых случаях и Северных Курил.

Рассмотрим некоторые особенности инфразвукового поля на станции ПРТ. В летний период для дней с «хорошей» погодой наблюдается суточный ход, связанный с турбулентными процессами в атмосфере. На рис. 5а и рис. 5б, с определенной долей условности, можно выделить два временных отрезка, где уровень сигнала отличается в два раза – дневной 2-8 часов GT<sup>1</sup> (15-21 час. LT) и ночной 14-20 часов GT (03-09 час. LT). Как указывалось выше (рис. 3б), проявление суточного хода характерно для условий «хорошей» погоды, которая определяется отсутствием

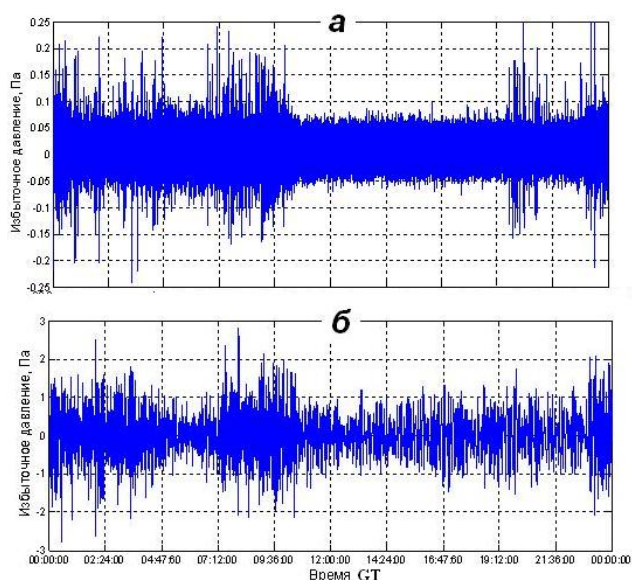


Рис. 5. Запись инфразвуковых сигналов на станции «Паратунка» от 26.08.2008 (GT), а – канал № 1, б – канал № 5.

<sup>1</sup> Соотношение между универсальным временем и летним местным GT = LT – 13 час.

ветра циклонического происхождения и солнечной погодой, обеспечивающей возникновение турбулентности во второй половине дня за счет неравномерного прогрева поверхности.

Рассчитывалась спектральная плотность мощности (СПМ) в диапазоне частот 10<sup>-3</sup>-10<sup>-1</sup> Гц для указанных выше двух интервалов. Первый соответствовал дневному времени с 15 до 21 часа LT, второй – ночному с 3 до 9 LT. На рис. 6а хорошо видно различие в СПМ, которое выражается в том, что «дневной» спектр лежит выше «ночного» и имеет меньшую крутизну спада. Кроме того, на частоте близкой к граничной «дневной» спектр имеет несколько максимумов.

С целью выделения преобладающих частот в спектрах рассчитывалась спектральная плотность мощности сигнала за период с 08.08.2008 г. по 24.08.2008 г. (рис. 6б). На кривой спектральной плотности хорошо выделяются три спектральных пика с частотами  $f=0.0025$  Гц ( $T=6.7$  мин.),  $f\approx 0.0029$  Гц ( $T=5.7$  мин.) и  $f\approx 0.0037$  Гц ( $T=4.5$  мин.). Эти спектральные пики более четко проявляются в «дневное» время, а также возникают во время циклонической активности. Первый спектральный пик является частотой Вейсяля-Брента,

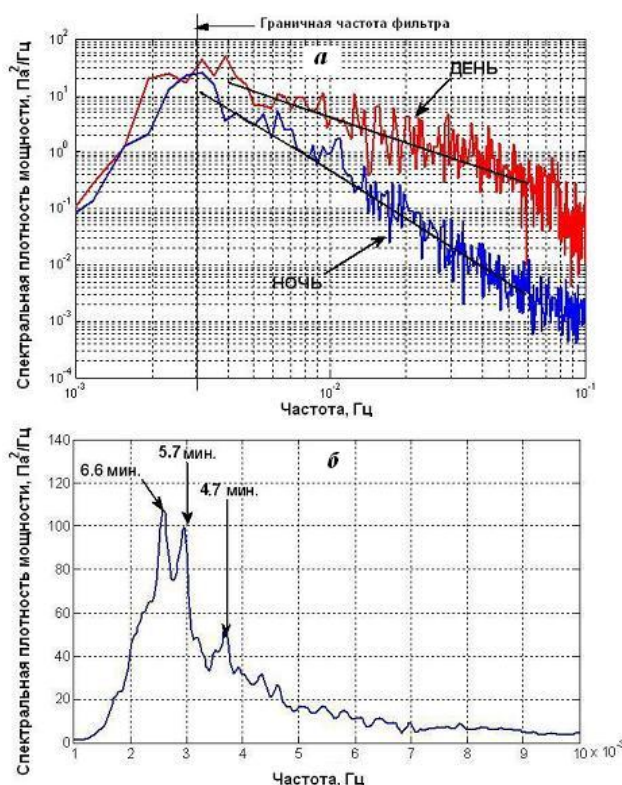


Рис. 6. Кривые спектральной плотности мощности «дневного» и «ночного» сегментов волновых возмущений, записанных на станции «Паратунка» 18.08.2008 г. (а) и спектральная плотность мощности, вычисленная по записям флуктуаций атмосферного давления на канале № 1, за период с 08.08.2008 г. по 24.08.2008 г. (б).

которая характерна для Камчатского региона (Фирстов, 1996). Два вторых спектральных пика, по-видимому, являются «подгорными» волнами. В работе (Чунчuzов и др., 1991) на экспериментальном материале убедительно показано, что горный массив является аэродинамическим источником внутренних гравитационных волн. Так как станция ПРТ располагается в долине между двумя горными массивами высотой до 1500 метров, то логично предположить, что при увеличении скорости ветра возникают внутренние гравитационные волны аэродинамического происхождения, которые проявляются в СПМ двумя спектральными пиками, но чтобы это предположение подтвердить, необходимо реализовать трехточечную расстановку микробарографов с апертурой ~ 5 км.

Для «дневного» и «ночного» сегментов рассчитывались скорости спада СПМ в интервале частот  $10^{-3}$ - $10^{-1}$  Гц за период 5.09.08 г.-4.09.08 г. (рис. 7). В случае «хорошей» погоды разница в скоростях спада СПМ между сегментами достигает до 4 дБ/дек, а при циклонической активности, которая сопровождается понижением атмосферного давления и потерей суточного хода в температурном режиме воздуха, эта разница становится минимальной, а иногда происходит инверсия (рис. 7а).

С целью изучения соотношения полезный сигнал к естественному фону в дальнейшем пла-

нируется более детально исследовать связь между состоянием атмосферы и генерацией волновых возмущений, обусловленных конвективными и турбулентными процессами.

### ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ ОТ ЭКСПЛОЗИВНЫХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ И СЕВЕРНЫХ КУРИЛ

Акустическое излучение указывает на характер и динамику излияния магмы на дневную поверхность и, наряду с традиционной сейсмологией, может и должно служить еще одним дистанционным методом для мониторинга активности вулканов (Адушкин и др., 1984; Фирстов, 1988, 1996, 2003; Фирстов и др., 1978). Акустика вулканических извержений – новое научное направление, которое в настоящее время интенсивно развивается исследователями, работающими на действующих вулканах всего мира (Caplan-Auerbach, McNutt, 2003; Johnson, 2003; Ripere, Marchetti, 2002 и др.)

Благодаря аномальному распространению звука в атмосфере, в ходе которого звуковой луч, исходящий от источника, многократно отражается от верхних слоев атмосферы и поверхности Земли, в некоторых случаях можно осуществлять мониторинг за извержениями вулканов

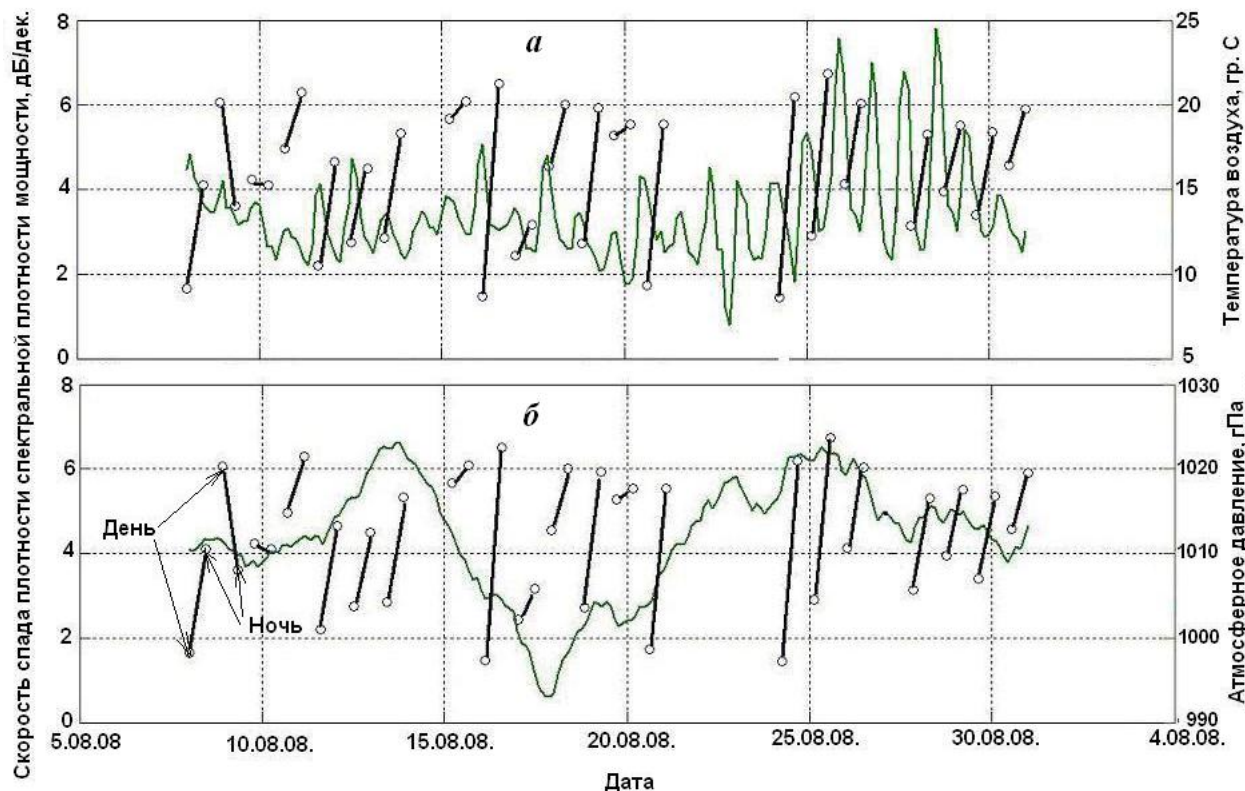


Рис. 7. Сопоставление скорости спада спектральной плотности мощности волновых возмущений для «дневного» и «ночного» сегментов с температурой воздуха (а) и атмосферным давлением (б). Скорость спада СПМ показана кружками, соединенными линиями для каждого суток.

на расстояниях до несколько тысяч километров (Куличков, 1989; Сорокин, 1995). Оперативная информация о количестве выброшенного пепла, оцененного по акустическим данным, может быть весьма полезной для службы безопасности полетов авиалайнеров вблизи Камчатского полуострова.

Оценим на качественном уровне возможности акустической станции ПРТ для мониторинга извержений вулканов Камчатки и Северных Курил на основе представлений о звуковом поле атмосферы. Как известно лучевая структура акустического поля, в основном, определяется профилем скорости звука и высотой источника над уровнем моря, причем согласно расчетам возникают три зоны «слышимости» (Новиков, Фридман, 1989):

- ближняя зона, радиус которой зависит от высоты источника и приближается к 30 км, в случае, если высота источника над уровнем Земли составляет около 10 км;

- зона слышимости на расстояниях 250–350 км, обусловленная рефракцией звуковых лучей в верхней стратосфере за счет роста скорости звука на высотах 30–50 км (стратосферный волновод);

- дальняя зона слышимости на расстояниях более 400 км от источника, возникающая за счет рефракции звуковых лучей в нижней термосфере на высоте более 90 км.

Следует оговориться, что данная картина относится к стандартной атмосфере, построенной за счет большого усреднения. В реальной ситуации атмосфера является неоднородной движущейся средой и возможны значительные отклонения от усредненной картины и даже «засветка» зон акустической тени за счет тонкой неоднородной структуры атмосферы (Чунчuzов и др., 1988). Следует отметить, что в ближней зоне относительно опорной станции находится действующий вулкан Авача, извержение которого может принести определенный ущерб городам Петропавловск-Камчатскому и Елизово, где проживает более половины населения Камчатского края.

В настоящее время накоплен опыт регистрации ударно-волновых эффектов от вулканических извержений, как в ближней, так и дальней зоне. Изучены спектральные характеристики сигналов, излучаемых при различных типах извержений (Фирстов, 2003). Спектральный состав акустических сигналов, регистрируемых вблизи вулканов, лежит в том же частотном диапазоне 0.3–10 Гц, что и сейсмические сигналы. Это позволяет говорить о возможности создания микробарографических наблюдений в ближней зоне относительно действующих вулканов Камчатки на аппаратной базе сейсмической телеметрической сети КФ ГС РАН, что планируется

реализовать в 2009–2010 гг.

Создание сети акустических станции с опорной станцией в п. Паратунка позволит вести мониторинг за активностью вулканов Камчатки и Северных Курильских островов. По отношению к активно действующим вулканам Северной группы вулканов (Камчатка) опорная станция находится в третьей зоне слышимости, а по отношению к вулканам Северных Курил – во второй. Следует отметить, что для района п. Паратунка характерен малый уровень ветровых помех (Колоколов, Фирстов, 1992), что очень важно для опорной станции. В случае организации трехточечной расстановки можно было бы производить локацию сильных взрывных извержений, а регистрация сигнала в широком частотном диапазоне ( $10 \div 10^{-4}$  Гц) позволила бы наблюдать за волновыми возмущениями в атмосфере и от других природных источников.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После 12-летнего перерыва наблюдений волновых возмущений в атмосфере на полуострове Камчатка организациями РАН, установлен программно-аппаратурный комплекс в опорном пункте Паратунка, с помощью которого проводится регистрация волновых возмущений в атмосфере в диапазоне частот 0.003–10 Гц, что позволяет осуществлять мониторинг сильных взрывных извержений вулканов Камчатки и Северных Курил.

Опорная акустическая станция ПРТ, может быть весьма информативной в случае извержения активно действующего вулкана Авача, расположенного в 25 км от г. Петропавловск-Камчатского, где проживает более половины населения Камчатского края. Дистанционный мониторинг с помощью акустического метода может быть весьма полезным с целью прогноза динамики извержения этого вулкана.

С целью мониторинга вулканической активности, в КФ ГС РАН в 2009–2010 гг. планируется создать сеть акустических станций вблизи активных вулканов полуострова Камчатка, необходимость которой не вызывает никакого сомнения.

## Список литературы

- Адушкин В.В., Гостинцев Ю.А., Фирстов П.П.* О природе воздушных волн при сильных взрывных извержениях // Вулканология и сейсмология. 1984. № 5. С. 3–11.
- Бовшевверов В.М., Грачев А.И., Ломадзе С.О., Матвеев А.К.* Жидкостной микробарограф // Физика атмосферы и океана. 1979. Т. 15. № 11. С. 1215–1218.



- Госсард Э., Хук У.* Волны в атмосфере. М.: МИР, 531с.
- Ерущенков А.И.* Экспериментальное исследование инфразвукового излучения атмосферы и высокоширотной ионосферы. Автореферат дисс. канд. физ.-мат. наук Иркутск, 1980. 183 с.
- Ерущенков А.И., Ярошевич М.И., Павлов О.И. и др.* Инфразвуковые и штормовые микро-сейсмические колебания, возникающие при движении циклонов (тайфунов) над океанами // *Физика атмосферы и океана.* 1999. Т. 26. № 6. С. 232-241.
- Колоколов Л.Е., Фирстов П.П.* Экспериментальные наблюдения инфранизкочастотных колебаний в атмосфере от подводных землетрясений Кроноцкого залива (Камчатка) // *Вулканология и сейсмология.* 1992. № 4. С. 125-128.
- Куличков С.Н.* Дальнее распространение звука в атмосфере (обзор) // *Физика атмосферы и океана.* 1989. Т. 25. № 7. С. 688-694.
- Новиков Ю.В., Фридман В.Е.* Лучевая структура звукового поля в стандартной атмосфере // Горький: НИРФИ, 1989. Препринт № 280. 29 с.
- Пасечник И.П., Федосеенко Н.Е.* Электродинамический микробарограф с гальванометрической регистрацией // *Изв. АН СССР. Сер. геогр.* 1958. № 1. С. 122-130.
- Сорокин А.Г.* Исследование дальнего распространения инфразвука от взрывов и океанских штормом. Автореферат дисс. канд. физ.-мат. наук. Иркутск, 1995. 115 с.
- Токарев П.И.* Регистрация взрывов Ключевского вулкана в 1962 г. // *Бюл. вулканол. станций.* 1964. № 37. С. 37-52.
- Токарев П.И.* Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. и его предвестники // *Физика Земли.* 1967. № 9. С. 11-22.
- Фирстов П.П.* Особенности акустических и сейсмических волн, сопровождавших извержение вулкана Безымянный в 1983-1985 гг. // *Вулканология и сейсмология.* 1988. № 2. С. 81-97.
- Фирстов П.П.* Реконструкция динамики катастрофического извержения вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. на основании данных о волновых возмущениях в атмосфере и вулканическом дрожании // *Вулканология и сейсмология.* 1996. № 4. С. 48-63.
- Фирстов П.П., Филиппов Ю.А.* Система хранения и обработки записей волновых возмущений в атмосфере от вулканических извержений // *Вулканология и сейсмология.* 1997. № 2. С. 36-49.
- Фирстов П.П.* Вулканические акустические сигналы диапазона 0.5-10 Гц в атмосфере и их связь с взрывным процессом. 2003. Петропавловск- Камчатский. 90 с.
- Фирстов П.П.* Регистрация волновых возмущений в атмосфере на полуострове Камчатка // *Материалы III международной конференции «Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений.* Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2004. Ч. II. С. 131-142.
- Фирстов П.П., Адушкин В.В., Сторчеус А.В.* Ударные воздушные волны, зарегистрированные во время Большого трещинного извержения в сентябре 1975 г. // *ДАН.* 1978. Т. 259. № 5. С. 1078-1081.
- Фирстов П.П., Гаврилов В.А., Жданова Е.Д., Кирьянов В.Ю.* Начало нового эструзивного извержения вулкана Шивелуч в апреле 1993 г. // *Вулканология и сейсмология.* 1994. № 4-5. С. 33-46.
- Чунчuzов И.П., Буш Г.А., Каллистратова М.В., Куличков С.Н., и др.* Распространение акустического импульса в пограничном слое атмосферы // М.: ИФА АН СССР, 1988. Препринт. 40 с.
- Чунчuzов И.П., Отрезов А.И., Фирстов П.П.* Экспериментальное исследование внутренних гравитационных волн в горной местности // *Физика атмосферы и океана.* 1991. Т. 27. № 4. С. 362-368.
- Хргиани А.Х.* Физика атмосферы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 320 с.
- Caplan-Auerbach J., McNutt S. R.* New insights into the 1999 eruption of Shishaldin Volcano, Alaska, based on acoustic data // *Bull. Volcanol.* 2003. V. 65. № 6. С. 405-417.
- Chapman S., Malin S.R.C.* Atmospheric tides, thermal and gravitational: nomenclature, notation and new results // *J. Atmos. Sci.* 1970. V. 27. № 5. P. 707-710.
- Georges T.M.* Short - period ionospheric oscillations associated with severe weather.-Proc. Sympos. Acoustic-Gravity waves in the atmosphere. Washington D.C. 1969. P. 171-178.
- Hung R.J., Smith R.E.* Study of stratospheric - ionospheric coupling during thunderstorms and tornadoes // *Spase Res.* V. 17. Oxford: Pergamon Press, 1977. P. 211-215.
- Johnson J. B.* Generation and propagation of infrasonic airwaves from volcanic explosions // *J. Volcanol. and Geotherm. Res.* 2003. V. 121. № 1-2. P. 1-14.
- Metz W.D.* Gravity waves: correlation with geomagnetic storms // *Science.* 1973. V. 180. № 4091. P. 1161-1162.
- Ripepe M., Marchetti E.* Array tracking of infrasonic sources at Stromboli Volcano // *Geophys. Res. Lett.* 2002. V. 29. № 2. С. 33/1-33/4.

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВОЛНОВЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ В АТМОСФЕРЕ  
**SETTING UP A SYSTEM TO REGISTER WAVE ATMOSPHERIC  
DISTURBANCE IN KAMCHATKA**

**P.P. Firstov<sup>1,2</sup>, A.B. Tristanov<sup>1</sup>, E.R. Makhmudov<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Kamchatkan Branch, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

*<sup>2</sup>Institute of Volcanology and Seismology of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

The paper provides the description of the hardware and software system to register wave atmospheric disturbances that hasn't been maintained by the Kamchatka Institutes of the Russian Academy of Sciences for 12 years. The system installed at the Paratunka control station allows digital registering wave atmospheric disturbances in a range of frequencies 0.003 – 10 Hz and monitoring strong explosive eruptions in Kamchatka.