

ГЛАВА 3. Организация на вулканах Камчатки микробарографических наблюдений

Комплексные наблюдения за акустическими и сейсмическими колебаниями от извержений вулканов Камчатки проводились автором, начиная с 1970 г. В данной работе использованы материалы регистрации акустических и сейсмических сигналов во время извержений некоторых вулканов Камчатского полуострова (см. рис. 3.1).

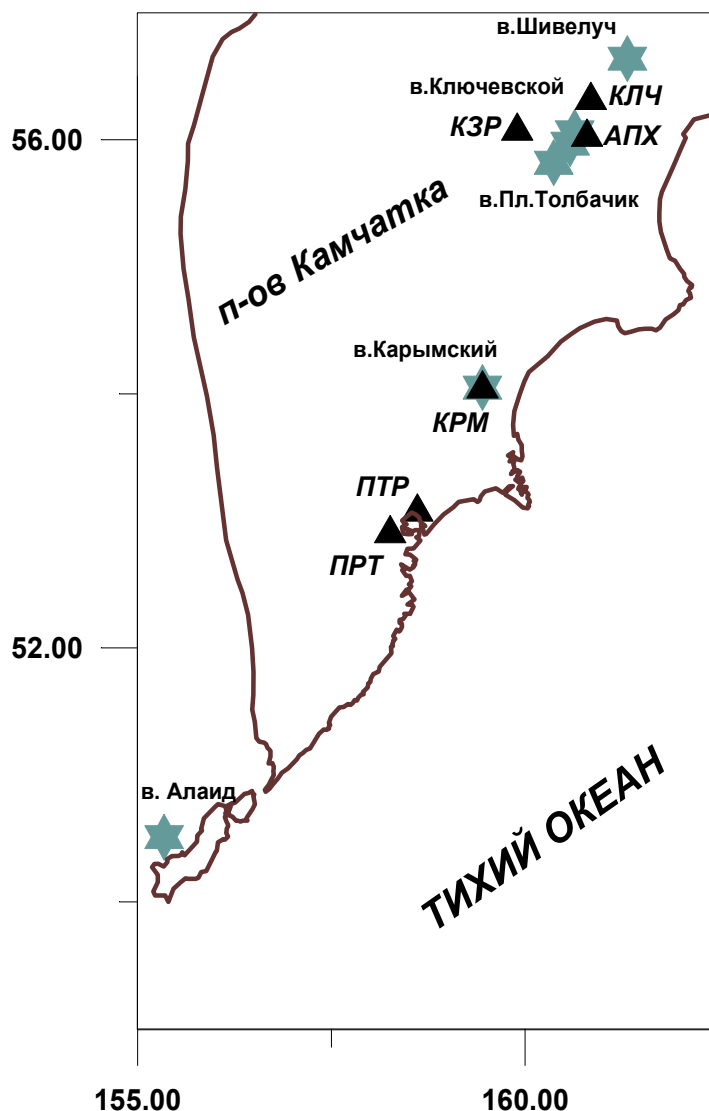


Рис. 3.1. Схема расположения наиболее активных вулканов Камчатки, вблизи которых проводились микробарографические наблюдения (звездочки), и стационарных пунктов (треугольники), где размещались микробарографы. Сокращение в названии станций: **КЛЧ** – Ключи; **АПХ** – Апахончич; **КРМ** – Карымский; **КЗР** – Козыревск; **ПТР** – Петропавловск; **ПРТ** – Паратунка.

3.1. Извержение вулкана Карымского в 1970 - 1973 гг.

Карымский стратовулкан представляет собой правильный конус высотой около 1500 м над уровнем моря, расположенный в центральной части кальдеры. Относительная высота конуса около 700 м. Это один из наиболее активно действующих вулканов Камчатского

полуострова. В мае 1970 г. начался новый эруптивный цикл этого вулкана, который длился с небольшим перерывом до 1983 г. Совместная регистрация сейсмического и акустического колебаний проводилась в 1970-1972 гг. В этот период для вулкана была характерна умеренная деятельность вулканского типа, которая, в основном, носила эксплозивный характер. В кратере вулкана происходили отдельные выбросы с частотой от нескольких в сутки до нескольких десятков в час. Высота эруптивного облака при этом варьировала от нескольких сотен метров до двух километров над кратером вулкана. Среди большого разнообразия выбросов по визуальным наблюдениям выделяются выбросы двух разновидностей (*Фирстов и др., 1977 г.*):

1. Кратковременные выбросы, как правило, сильные. Высота подъема эруптивного облака не менее 1 км. Ночью над кратером появлялись обрывки светящейся лавы. При наиболее сильных выбросах этой разновидности на расстоянии 3,5 км был слышен грохот взрыва и шум падающих камней. Скорость фронта эруптивного облака в начальный момент, определенная по киносъемке, составляла не менее 50 м/с (*Фирстов и др., 1978*), а длительность выбросов была 5-10 секунд. По характеру разлета материала такие выбросы напоминали взрывы взрывчатого вещества (ВВ), и они условно были названы "взрывом".

2. При выбросах второй разновидности из кратера происходило продолжительное истечение (до трех минут) пеплогазовой смеси со скоростью 10-30 м/сек, при этом над кратером медленно появлялось эруптивное облако и иногда был слышен звук, похожий на шум реактивного самолета. Выбросы второй разновидности можно отождествить с истечением многофазной смеси (*дисперсионный режим*). Такие выбросы названы "продувками". Большое количество выбросов было комбинацией взрыва с последующей продувкой.

С середины июля 1971 г. по конец декабря 1972 г. деятельность вулкана носила эффузивно-эксплозивный характер, когда, наряду с выбросами, происходило истечение вязкого лавового потока глыбового типа по западному склону вулкана.

Датчики (сейсмометры и микробарограф) основного комплекта располагались в специальном бункере на расстоянии 3,5 км от кратера вулкана. Гальванометрическая регистрация велась на одном регистраторе, что позволяло определять разность прихода сейсмических и акустических волн с точностью до 0,1 секунды. Амплитудно-частотная характеристика микробарографического канала имела столообразную характеристику в диапазоне частот 1÷10 Гц и чувствительность $S = 0,5$ мм/Па.

3.2. Большое трещинное Толбачинское извержение 1975-1976 гг.

Северный прорыв БТТИ. В первые дни сентября 1975 г., когда осуществлялась регистрация АС на Северном прорыве Большого трещинного Толбачинского извержения, извергался второй конус. В этот период наблюдался непостоянный прерывистый режим эксплозий. В кратере действовало два жерла - в его центральной и южной частях. Одновременно с выделением пепла из центрального жерла происходили и резкие взрывы с "кинжальными" выбросами раскаленной пироклаستيку на высоту до $0,7 \div 1,0$ км. Из центрального жерла выбрасывался, в основном, пепел, иногда в огромном количестве. Для Южного жерла был характерен режим газовой продувки переменной интенсивности, почти без пепла. В периоды относительного ослабления деятельности здесь наблюдались широкие веерообразные фонтаны и выплески лавы на высоту до 200 м с выделением большого количества газа синего цвета. Над жерлом вздувались и лопались лавовые пузыри. Во время усиления активности струи раскаленной пироклаستيку и лавы поднимались на высоту $1,5 \div 2$ км (Федотов и др., 1984). Такая активность в первом приближении может называться вулканостромболианской.

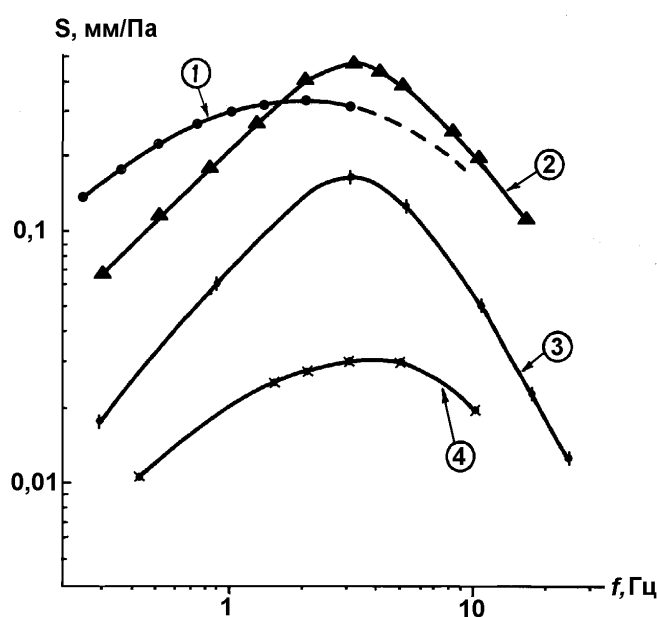


Рис.3.2. Амплитудно-частотные характеристики микробарографических каналов, работавших на временных станциях во время Большого трещинного Толбачинского извержения в 1975 г. (1- ГБ-IV, $f_0 = 15$ Гц) и в 1976 г. (2,3- ГБ-IV, $f_0 = 10$ Гц; 3 - ГБ-IV, $f_0 = 120$ Гц).

Одновременная регистрация акустических и сейсмических волн осуществлялась на временной станции, располагавшейся на расстоянии 9 км от второго конуса. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) микробарографического канала приведена на рис. 3.2. Идентификация сигналов осуществлялась по разности прихода сейсмических и акустических сигналов, а также на основании визуальных наблюдений.

Южный прорыв БТТИ. Регистрация АС на Южном прорыве БТТИ проводилась в августе-ноябре 1976 г. на расстояниях $1,9 \div 2,4$ км от кратера (*Сторчеус, 1987*). Для этого периода характерна умеренная эксплозивная деятельность, которая наблюдалась в кратере симметричного конуса диаметром ~ 90 м, глубиной 30 м, на дне которого из одного или двух жерл диаметром в несколько метров происходили непрерывные взрывы с выбросом обрывков раскаленной лавы. АЧХ микробарографических каналов, работавших в этот период, приведены на рис. 3.2.

3.3. Извержения вулкана Ключевского в 1978, 1983, 1984, 1987-1989 гг.

Вулкан Ключевской – самый активный вулкан Камчатки. Для него характерны как терминальные, так и латеральные извержения. Схема всех расстановок микробарографических датчиков, использованных во время терминальных извержений, приведена на рис.3.3.

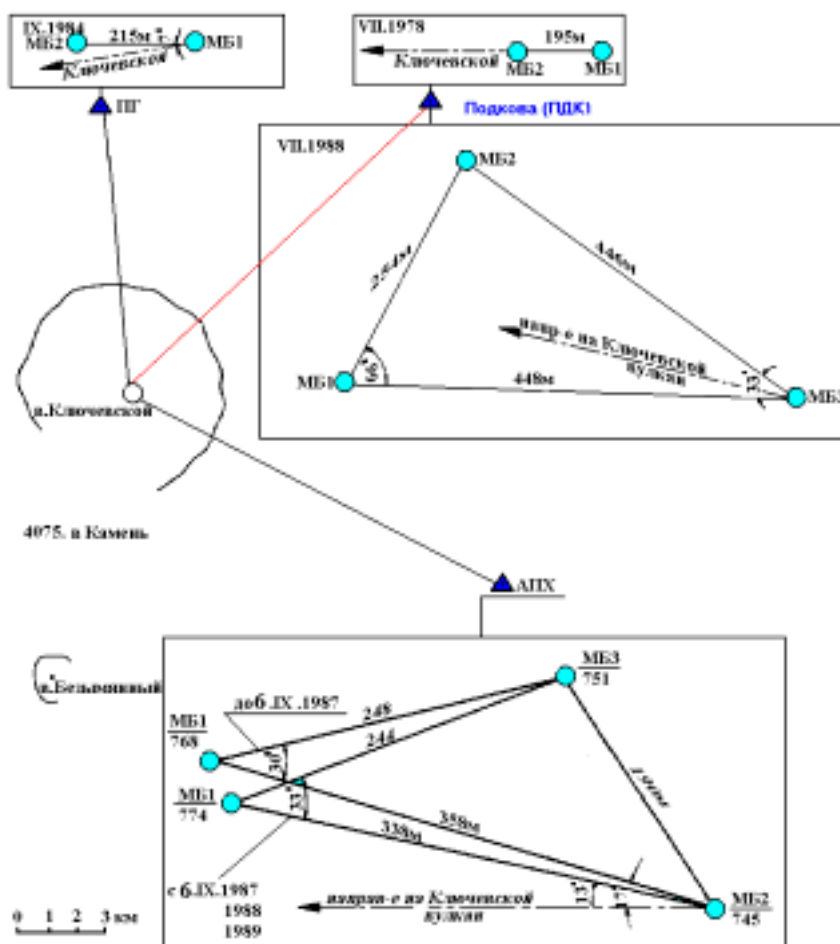


Рис. 3.3. Схема размещения микробарографов при регистрации АС во время терминальных извержений вулкана Ключевского.

Извержение 1978 г. Регистрация АС проводилась в районе станции «Подкова» в 14,6 км от вершинного кратера вулкана Ключевского в июле – августе (рис.3.3). В этот период в западной и центральной частях кратера происходили постоянные взрывы с выбросом газа и

раскаленного лавового материала. Ночью наблюдались от одного до трех огненных фонтанов лавы высотой до 450 м над кромкой кратера. В северо-западный желоб постоянно изливалась лава. В извержении вулкана явно проявлялся взрывно-эффузивный характер (*Иванов, Кирсанов и др., 1979*)

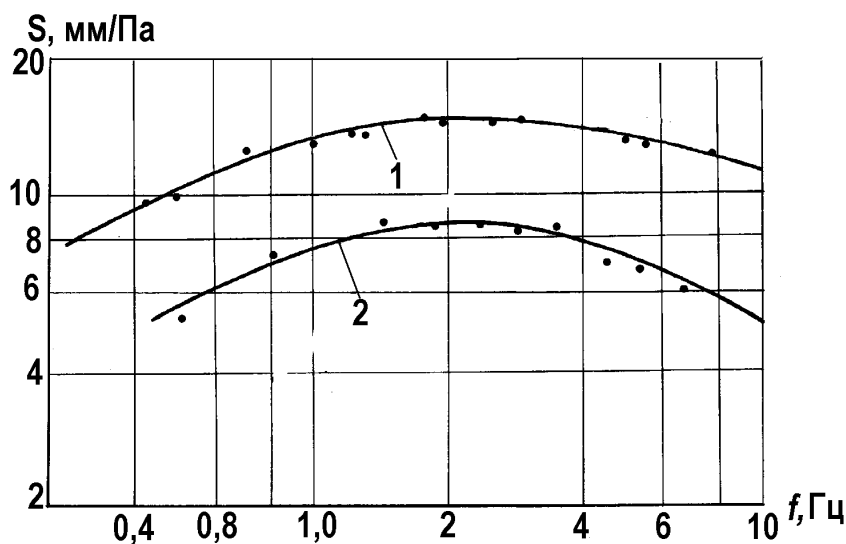


Рис. 3.4. Амплитудно-частотные характеристики микробарографических каналов, работавших во время извержения вулкана Ключевского в июле-августе 1978 г.

В качестве датчиков использовались два микробарографа ЭДМБ-IV, которые были установлены по радиальному профилю на вершину вулкана с базой 195 м. Регистрация велась аппаратурой, описанной в разделе 2.3. Амплитудно-частотные характеристики каналов приведены на рис. 3.3.

Извержение 1983 г. Подготовка к терминальному извержению началась с активизации вершинного кратера, которая выразилась в слабой взрывной деятельности, начиная с начала февраля, а 8 марта на высоте 2875 м над уровнем моря началось извержение побочного кратера, которое продолжалось до 27 июня. Извержение, в основном, носило эффузивный характер. В результате этого извержения образовался лавовый поток объёмом около 0,15 км³. В течение всего периода извержения из сформировавшегося в первые дни шлакового конуса с разной частотой и силой происходили или выбросы шлака и пористых вулканических бомб, или парогазовые выбросы (*Хренов и др., 1985*). Во время активизации вершинного кратера ночью наблюдалось фонтанирование лавы и выбросы обрывков лавы на высоту до 1000 м над кратером вулкана, а днем — газопепловые выбросы светло-серого цвета на высоту 400-600 м. В отдельные моменты наблюдались эруптивные облака типа “цветной капусты”, которые поднимались на высоту 1,5-2,0 км над кратером.

В период извержения регистрировались акустические и сейсмические сигналы, связанные с деятельностью побочного и вершинного кратеров. Регистрация осуществлялась как

стационарными сейсмическими станциями **КЛЧ**, **АПХ**, **ПДК**, так и временными пунктами, которые организовывались в непосредственной близости от побочного кратера (рис.3.2.).

Таблица 3.1.

Расстояние от вершинного и побочного кратеров вулкана Ключевского до пунктов регистрации во время извержения в 1983 г.

Название пункта регистрации	Расстояние до вершинного кратера, км	Расстояние до побочного кратера, км	Вид регистрации	Время регистрации
Ключи (КЛЧ)	31,8	29,7	сейсмика, акустика	Непрерывно с 4. 04
Подкова (ПДК)	14,6	11,4	сейсмика	Непрерывно
Апахончич (АПХ)	14,6	12,2	сейсмика, акустика	Непрерывно с 10.05
Временная, кратер S (S)	9,1	5,5	сейсмика, акустика	Сеансами 27.03-3.05
Временная, кратер К (К)	7,8	3,9	сейсмика, акустика	Сеансами 17.05-3.06

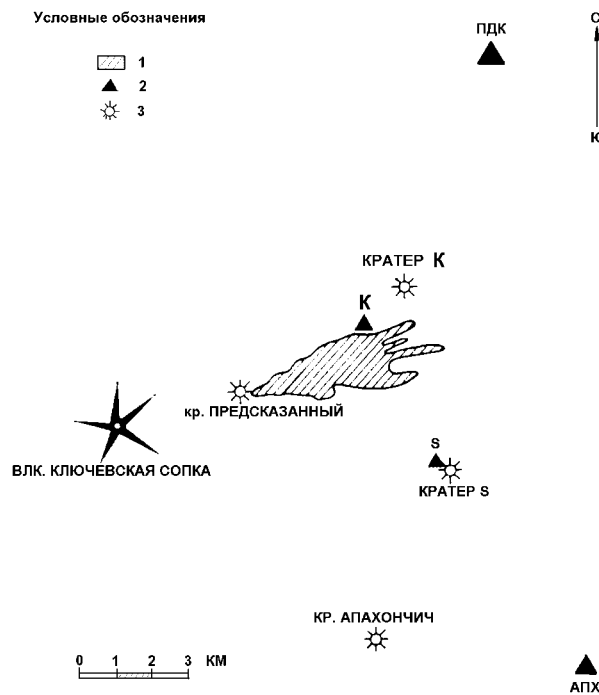


Рис. 3.5. Схема расположения пунктов регистрации во время побочного извержения вулкана Ключевского в 1983 г. 1- площадь лавового потока; 2 - пункты наблюдений; 3 - кратер побочного извержения.

На рис. 3.5 показаны пункты регистрации, а в табл. 3 1 приведены расстояния от пунктов регистрации до кратеров и вид регистрации.

Регистрация АС на стационарных пунктах (**КЛЧ**, **АПХ**) проводилась при помощи электродинамического микробарографа ЭДМБ – IV, нагруженного на гальванометр ГБ-IV с собственной частотой $f = 5$ Гц и затуханием $D = 7$. На временных станциях ставились два акустических канала. Один в качестве датчика имел ЭДМБ-IV, а другой – пьезокерамический микробарограф (ПМБ). Регистрация осуществлялась с помощью самописца Н-327/5 с предваритель-

ным усилением постоянного напряжения УПН-III. Кривые чувствительности акустических каналов показаны на рис. 3.6. Кроме того, короткими сеансами работала малогабаритная акустическая станция (МАС) с полосой пропускания по уровню 0,5 – в диапазоне частот $f = 0,3 \div 0,003$ Гц, с чувствительностью 1 мм/Па. Сейсмические каналы стационарных пунктов имели столообразную амплитудно-частотную характеристику в диапазоне $1 \div 10$ Гц (*Федотов и др., 1962*). Кроме того, на станции АПХ работал сейсмический канал (Z_2) с расширенной АЧХ до 2,5 с.. Полевые станции в зависимости от характера извержения работали сеансами от 15 минут до 3 часов, с развёрткой от 2 до 500 мм/с.

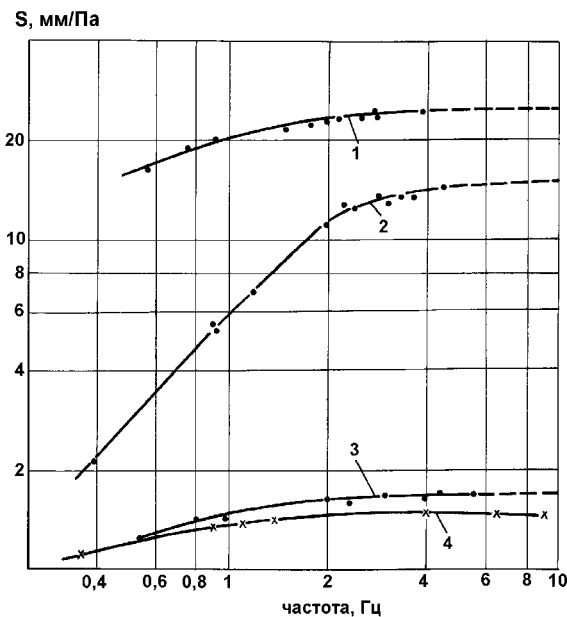


Рис.3.6. Амплитудно-частотные характеристики микробарографических каналов: 1- ЭДМБ IV, 2- ПМБ - временные станции; 3 - станция Апахончич; 4 – станция Ключи.

Извержение 1984 г. В период 6÷17 сентября, когда проводилась регистрация АС, вулкан находился в стадии взрывной активности. Извержение происходило из внутрикратерного конуса высотой 136 м и диаметром в основании около 500 м (*Двигово, 1991*). Наблюдение осуществлялось на расстоянии 9,8 км от кратера вулкана. Расстановка микробарографов показана на рис. 3.3. Работы проводились с тем же комплектом, что и в 1983 г.

Извержение 1987 ÷ 1989 г.г. В эти годы происходило терминальное извержение стромболианского типа (*барбатирующий режим*) вулкана Ключевского. Источниками взрывов являлись всплывающие сквозь магму газовые пузыри, при разрушении которых генерировались АС. Регистрация АС осуществлялась на станции (АПХ), где сеансами работала акустическая трехточечная станция. В июле-августе 1988 г. синхронно со ст. АПХ работала трехточечная станция в пункте ПДК в 14,6 км к северо-востоку от вершины вулкана.

В период извержений регистрировались акустические и сейсмические сигналы, связанные с деятельностью побочного и вершинного кратеров. Регистрация осуществлялась как стационарными сейсмическими станциями КЛЧ, АПХ, ПДК, так и временными пунктами, которые организовывались в непосредственной близости от побочного кратера. На полевых пунктах использовался комплект ЭДМБ+УПН-3+Н3021, а на стационарных – гальванометрическая регистрация. Метрологическое обеспечение осуществлялось по схеме, описанной в гл. 2. В таблице 3.2 приведены относительные характеристики микробарографических каналов, работавших в этот период.

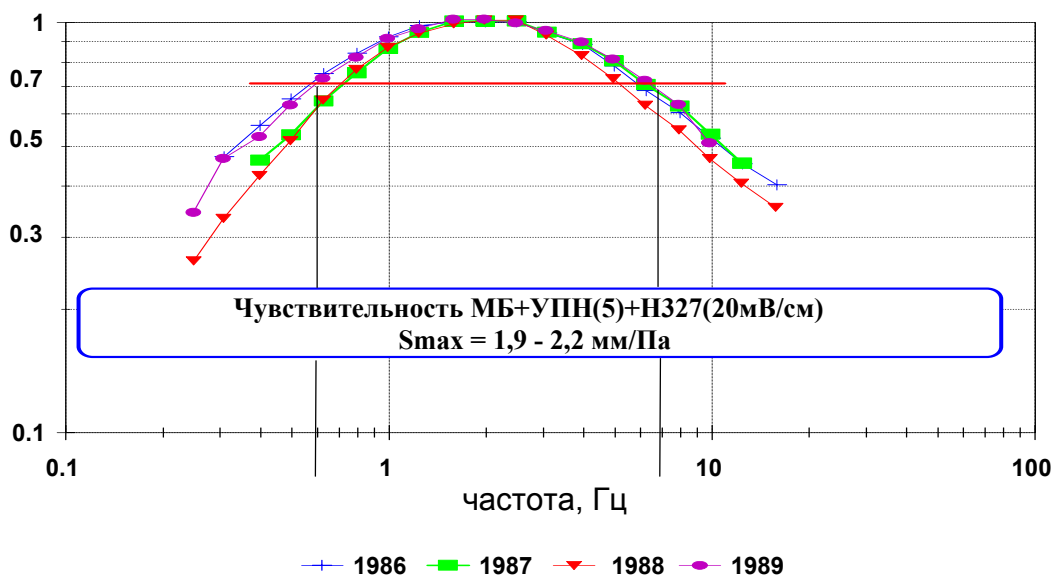


Рис. 3.7. АЧХ микробарографического канала, работавшего у подножия Ключевского вулкана в 1986÷1988 гг.

В качестве примера на рис. 3.7 показана калибровка АЧХ микробарографического канала в течение 4 лет в относительных единицах. Сохраняется устойчивая форма АЧХ, вариации которой в разные годы составляют не более 0,1 ед. лог., что дает погрешность 15% на уровне 0,7 (0,6 ÷ 7 Гц). Близкая погрешность и в абсолютном уровне АЧХ.

Стратификация атмосферы контролировалась по данным зондирования с помощью шаров-пилотов, которое выполнялось два раза в сутки на метеостанции «Ключи» (см. рис. 3.1)

Таблица 3.2

**Амплитудно – частотные характеристики микробарографических каналов полевой станции, работавшей на вулкане
Ключевском в 1986 – 1989 гг.**

Дата	Пункт регистрации	№ <i>f</i> , Гц	Чувствительность относительно максимума																			УПН Н3031	S, мм/ Па	
			0,25	0,31	0,4	0,5	0,63	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,1	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0			
1986	АПХ	МБ1	0,48	0,56	0,64	0,72	0,8	0,88	0,94	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0	0,95	0,88	0,79	0,68	0,58	0,5	0,43	6/20	1,1	
		МБ2	-	0,47	0,56	0,65	0,75	0,84	0,92	0,98	1,0	1,0	1,0	0,94	0,88	0,78	0,68	0,6	0,52	0,45	0,40	5/200	1,9	
		Н3012	-	0,26	0,34	0,45	0,58	0,63	0,88	1,0	1,0	0,95	0,84	0,73	0,62	0,52	-	-	-	-	-	-	500/200	1,0
		ПМБ	-	-	0,06	0,08	0,12	0,17	0,24	0,34	0,48	0,63	0,76	0,86	0,88	0,92	0,96	0,98	1,0	1,0	1,0			25
1987	АПХ	МБ1	0,39	0,48	0,56	0,63	0,72	0,80	0,87	0,91	0,96	0,99	1,0	1,0	0,98	0,9	0,82	0,74	0,65	0,58	0,5	8/100	0,9	
		МБ2	-	-	0,46	0,53	0,64	0,75	0,86	0,94	1,0	1,0	1,0	0,94	0,88	0,8	0,7	0,62	0,53	0,45	-	7/100	1,4	
		МБ3	0,24	0,29	0,36	0,44	0,53	0,63	0,74	0,85	0,94	0,98	1,0	1,0	0,97	0,92	0,86	0,79	0,72	0,63	0,55	5/500	0,9 2	
1988	АПХ	МБ2	0,26	0,33	0,42	0,51	0,64	0,76	0,86	0,93	0,98	1,0	1,0	0,92	0,82	0,72	0,62	0,54	0,46	0,40	0,35	5/20	2,0	
		МБ3	-	0,32	0,39	0,45	0,54	0,63	0,73	0,83	0,92	1,0	1,0	1,0	0,94	0,84	0,74	0,65	0,56	0,47	0,40	5/500	0,9 6	
	ПДК	МБ1	-	-	0,48	0,56	0,66	0,78	0,87	0,95	0,98	1,0	0,98	0,98	0,93	0,89	0,83	0,75	0,68	0,62	0,55	5/50	1,0	
1989	АПХ	МБ2	0,34	0,46	0,52	0,62	0,72	0,81	0,90	0,35	1,0	1,0	0,98	0,94	0,88	0,8	0,71	0,62	0,50	-	-	6/50	1,6	
		МБ3	0,21	0,28	0,37	0,47	0,58	0,68	0,78	0,86	0,94	0,98	1,0	1,0	0,98	0,94	0,87	0,77	0,86	-	-	6/500	1,7	