

4.3. Динамика извержений вершинного и побочного кратеров вулкана Ключевского в 1983 г. по акустическим данным

Латеральное извержение вулкана Ключевского началось 8.III.1983 г. на восточном склоне вулкана на высоте 2870 м и получило название прорыв «Предсказанный». Оно характеризовалось слабой и умеренной деятельностью. В период его усиления широкая белоснежная парогазовая колонна поднималась на высоту около 1,5÷2 км. Одновременно происходило терминальное извержение (Хренов и др., 1985). В период извержения регистрировались акустические сигналы, связанные с деятельностью побочного и вершинного кратеров. Регистрация осуществлялась как стационарными сейсмическими станциями, так и временными пунктами, схема размещения которых приведена на рис. 3.

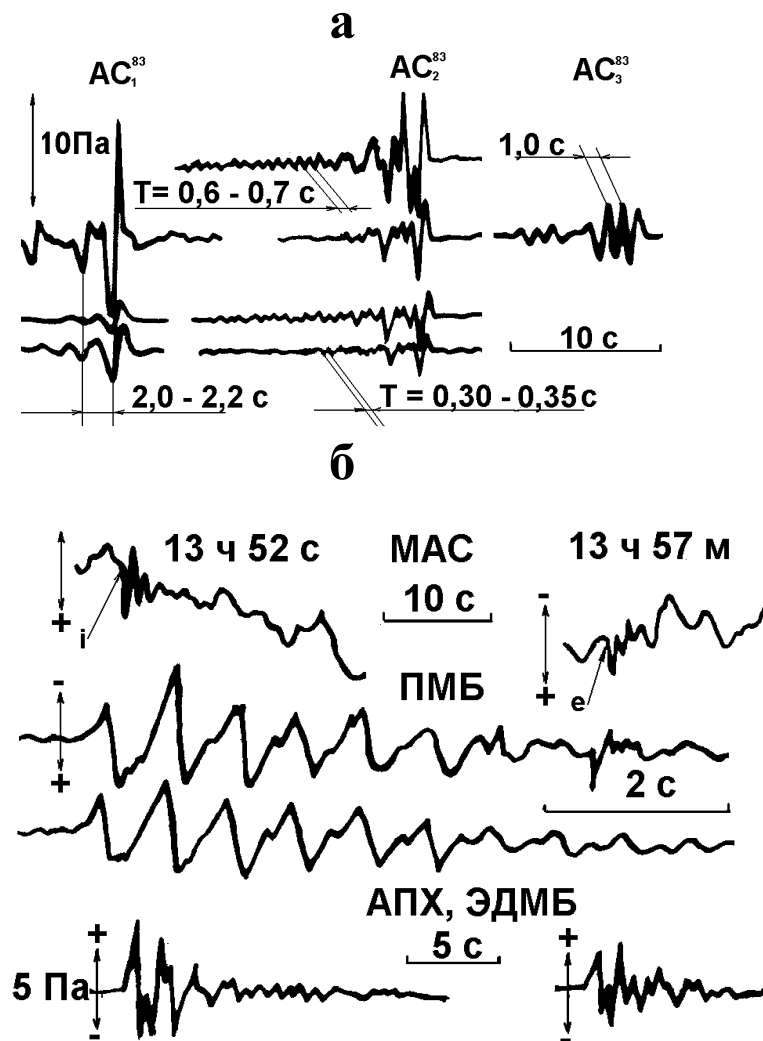


Рис. 4.24. Образцы записей акустических сигналов от эксплозий вершинного кратера: **а** – типы АС, зарегистрированные на станции АПХ в мае-июне 1983 г.; **б** – записи AC_1^{82} , зарегистрированные малогабаритной акустической станцией (МАС), пьезокерамическим микробарографом (ПМБ) на станции К ($R=7,8$ км) и электродинамическим микробарографом на станции АПХ ($R=14,6$ км).

Локализация источника сигналов осуществлялась на основе сопоставления инструментальных данных с визуальными наблюдениями и с помощью специальных расстановок аппаратуры. Так, 2.VI.1983 г. сигналы были зарегистрированы тремя станциями: КЛЧ, АПХ, К

(см. рис.3.1), что позволило локализовать источник, который совпал с вершинным кратером. Для этого периода определялись средние скорости звука на отдельных участках трасс. Из выборки 20 импульсов было получено $C_{Апх-к} = 326 \pm 4$ м/с; $C_{Клч-к} = 338 \pm 5$ м/с; $C_{Клч-Апх} = 339 \pm 6$ м/с. Несколько меньшая скорость распространения АС на трассе АПХ - К объясняется более низкой температурой на этой трассе вследствие превышения станций АПХ (900 м. над ур. м.) и К (1700 м над ур. м.) по отношению к станции КЛЧ.

АС от вершинного и побочного кратеров существенно различались по форме и преобладающим частотам.

Вершинный кратер. АС с $f = 1,0$ Гц уверенно регистрировались на станциях АПХ, К (рис.4.24). По форме записи на станции АПХ, АС⁸³ от вершинного кратера условно были разбиты на три типа (см. раздел 4.2.4). На рис.4.24 показаны образцы АС⁸³₂, зарегистрированные на станции АПХ с помощью ЭДМБ-IV и разнотипной аппаратурой на станции К, где АС⁸³₂ на малогабаритной акустической станции (МАС) представлены цугом колебаний с $f = 0,5$ Гц, амплитудно - частотная характеристика пьезокерамического микробарографа (ПМБ) из этого сигнала выделила колебания с частотами $f = 1,5$ и $3,0$ Гц. Колебания с $f = 1,5$ Гц начинались с фазы разрежения. Широкополосная амплитудно-частотная характеристика микробарографического канала на АПХ позволила записать более широкий спектр частот.

Наряду с отдельными импульсными сигналами регистрировались квазисинусоидальные колебания инфразвукового диапазона с частотой $0,5 \div 1$ Гц длительностью от нескольких минут до нескольких часов. По аналогии с вулканическим дрожанием такие колебания названы *акустическим дрожанием* (АД).

Характерной особенностью АС⁸³ вершинного кратера была почти постоянная продолжительность фазы избыточного давления первого вступления ($\tau_+ \approx 0,5$ с), которая не зависела ни от типа АС⁸³, ни от его амплитуды ($1 \div 10$ Па). Этот факт, а также набор кратных спектральных пиков указывают на то, что формирование АС происходит в резонаторе, в котором возникают нелинейные колебания (см. раздел 4.2.4.), т.е. в жерле вулкана.

Побочный кратер. От побочного кратера, так же как и от вершинного, регистрировались импульсные акустические сигналы (АС^п) и акустическое дрожание. АС^п регистрировались в те периоды, когда происходили выбросы бомб, а АД – во время спокойного истечения из кратера пара и газа.

По форме записи АС^п можно разделить на две группы. В первую группу следует отнести сигналы, состоящие из одной или двух фаз сжатия и одной фазы разрежения, причём $\Delta P_- > \Delta P_+$ (рис. 4. 22, 4.24). На фоне основного сигнала заметны колебания с частотой $f > 10$ Гц и амплитудой, на порядок меньше амплитуды основного сигнала. Наиболее сильные АС^п этой группы отмечались с 20 ч до 21 ч 30 мин 2.VI и с 2 ч 30 мин до 4 ч 00 мин 3.VI. Максимальная

амплитуда сигнала на станции АПХ в этот период была $\Delta P_+ = 5$ и $\Delta P_+ = 2,5$ Па соответственно.

АС^п другой группы представляли собой затухающий цуг из 3-5 колебаний (VI тип) с $f = 3 \div 5$ Гц и амплитудой не более 10 Па на станции К (см. рис. 4.10). АД побочного кратера меняло свою частоту в диапазоне $2,5 \div 5$ Гц. Амплитуда АД на станции АПХ изменялась от 0,3 до 0,8 Па.

АС^п первой группы в период максимальной активности побочного кратера 2-3.VI регистрировались на станции К со скоростью развёртки 50 мм/с (см. рис.4.7, рис.4.10), что позволило записать сигналы с большой детальностью. АС^п этого периода, по всей вероятности, следует отнести к категории слабых воздушных ударных волн (ВУВ). В пользу этого предположения свидетельствуют закономерные изменения амплитуды и периода АС^п в зависимости от расстояния.

Для слабых ВУВ избыточное давление в фазе сжатия $\Delta P_+ \sim r^{-1,4}$, а время действия фазы сжатия $\tau_+ \sim r^{0,4}$ (Цейтлин, Смолий, 1981). Отсюда отношения давлений и длительности фаз сжатия для ВУВ на станциях АПХ (1) и К (2) должны быть

$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^{0,4} = 1,6; \quad \frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^{1,4} = 4,9.$$

Для зарегистрированных АС^п эти отношения получились близкими к расчётным $\tau_1/\tau_2 = 1,5 \pm 0,2$; $\Delta P_1/\Delta P_2 = 4,7 \pm 0,5$.

По данным аэровизуальных наблюдений (Иванов, Гавриленко, Двигало и др., 1984), вершинный кратер после извержения 1983 г. представлял собой провал с диаметром $(2a) \approx 320$ м. В первом приближении кратер можно считать трубой, закрытой с одной стороны жёсткой крышкой (уровнем магмы), а с другой – мягкой крышкой (атмосферой). Эксплозии на дне кратера можно рассматривать как вынуждающее воздействие, которое выводит столб газа в трубе из равновесия. При этом возникают продольные волны с частотами линейных и нелинейных резонансов:

$$f_{\text{лин}} = (2n-1) \frac{C_0}{4L}, \quad f_{\text{нелин}} = (2n-1) \frac{C_0}{8L},$$

где C_0 – скорость звука в невозмущенном газе, L – длина трубы. Частоты: $f_1=0,5$, $f_3=1,5$, $f_2=1$, $f_4=3$ Гц являются первой и второй гармониками нелинейного и линейного резонансов. Генерация вторых гармоник зависит от спектра возбуждающего импульса.

Наименьший предельный размер трубы (L) можно оценить по добротности резонатора для основного тона без учёта нелинейных эффектов (Исакович, 1973): $q=4L^2/\pi a^2$. Оценка добротности оценивалась по ширине спектрального пика и вычислялись длина «трубы» $L \approx 120$ м и $C_0 = 480$ м/с при $a = 160$ м. По наличию в спектре АС₃⁸³ (см. рис. 4.23), кроме харак-

терных частот, еще одного пика с $f_2 \approx 1,2$ Гц можно предположить возникновение ещё одной резонансной системы, которой могла быть “труба” с меньшим диаметром, возникшая в результате опускания уровня лавы в вершинном кратере вулкана. Подтверждением этого факта может служить закономерное уменьшение частоты f_2 , которое можно связать с постепенным понижением уровня лавы. Следует отметить, что по фотограмметрическим данным (Двигало, 1991) наибольшая глубина провала составляет 129 м.

После извержения кратер побочного конуса представлял собой колодец диаметром 20-25 м и глубиной около 60 м. Отмечались значительные колебания уровня лавы на лавовых потоках, что, по-видимому, отражало колебания уровня лавы и в кратере конуса. Частота АД побочного кратера изменялась от 2,5 до 6 Гц (0,15-0,4 с). Оценка линейного размера по добротности даёт для этих частот изменения длины трубы (т.е. уровня лавы) от 20 до 50 м.

На рис.4.25 приведены параметры АС в мае – июне 1983 г. по данным АПХ. По акустическим данным, которые подтверждаются визуальными наблюдениями, выделяются периоды резкой активизации вершинного кратера, когда амплитуда $\Delta P_+ > 1$ Па: 22.V; 27,30.V; 1-2.VI; 23.VI-15.VII. С середины мая происходит закономерная эволюция АС⁸³ вершинного кратера. Вначале происходят АС₁⁸³, которые сменяются АС₂⁸³ и АД, завершается извержение АС₃⁸³. Резкое усиление акустической активности вершинного кратера отмечается 1-2 и 24.VI; это совпадает с резким изменением расхода лавы через побочный кратер (Хренов и др., 1981). Изменение формы АС₃⁸³ произошло после окончания извержения побочного кратера.

Наиболее частые и резкие изменения частоты АД побочного кратера происходили 4-5.VI. Следует отметить, что наибольшая акустическая активность побочного кратера наступила после снижения акустической активности вершинного кратера (2-3.VI). Такая же смена акустической активности произошла 23.VI, когда после прекращения извержения побочного кратера резко активизировался вершинный кратер. На наш взгляд, асинхронность в акустической активности вершинного и побочного кратеров указывает на прямую взаимосвязь обоих эруптивных центров.

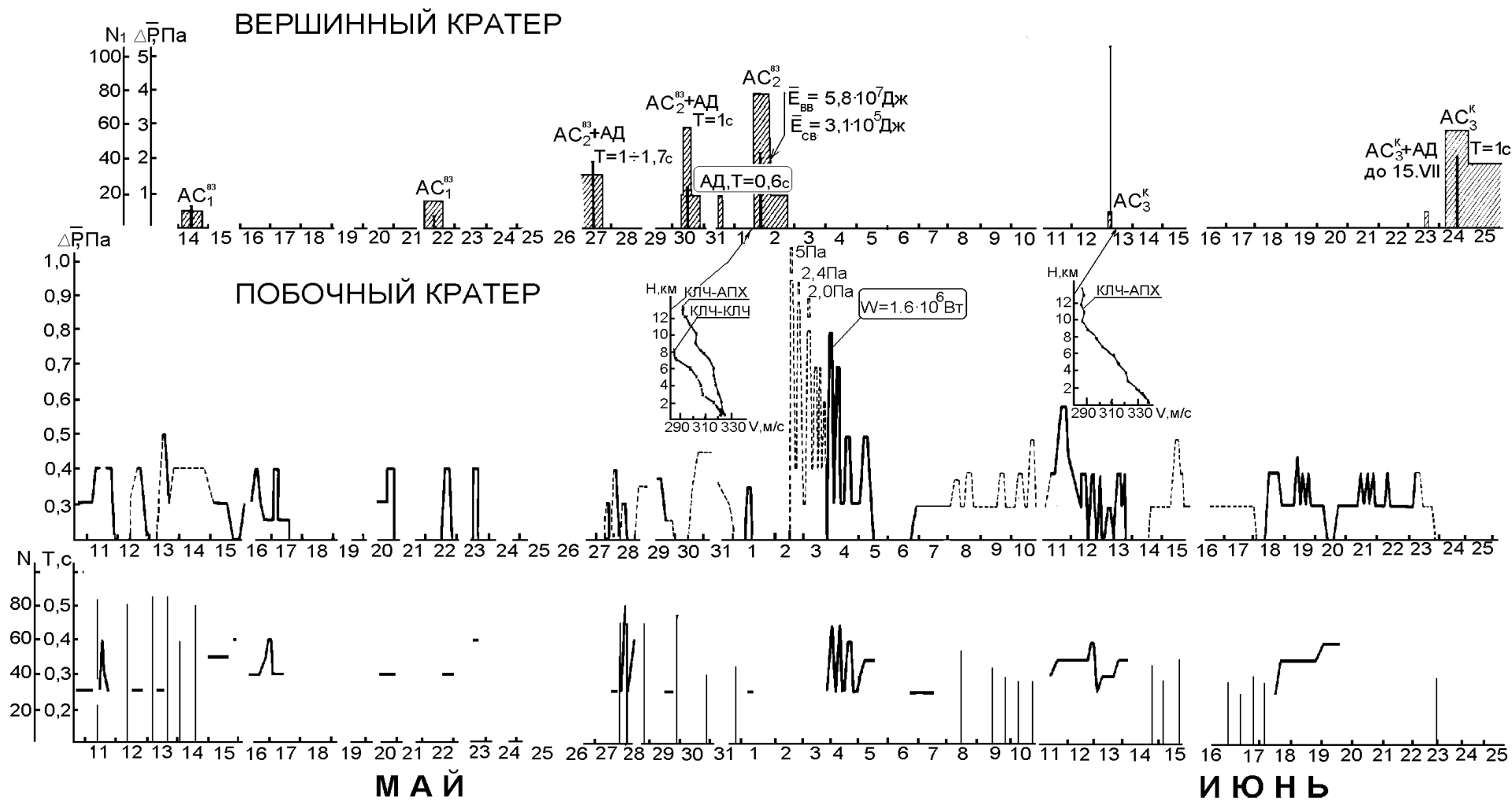


Рис. 4.25. Параметры акустических сигналов в мае – июне 1983 г., зарегистрированных на станции АПХ. Для вершинного кратера приведены: $\Delta \bar{P}$ - средняя амплитуда (вертикальные отрезки); N_1 - среднее число AC^{83} за час (заштрихованное поле); T - период акустического дрожания. Для побочного кратера приведены: ΔP - средняя амплитуда фазы избыточного давления (пунктир) и АД (сплошная линия); N_2 - среднее число AC^n в минуту (вертикальные отрезки); T - период акустического дрожания (ломаные линии). На врезках показаны графики скоростного разреза тропосферы.

Во время побочного извержения вулкана Ключевской в апреле-июне 1983 г. представился уникальный случай регистрации акустического излучения одновременно из двух источников. Зарегистрированы акустические сигналы как от вершинного, так и побочного кратеров, которые были представлены двумя разновидностями: импульсными и непрерывными квазисинусоидальными колебаниями - акустическим дрожанием.

1. В амплитудных спектрах АС и АД вершинного кратера выделяется набор характерных частот $f_1 = 0,5$, $f_2 = 1,0$, $f_3 = 1,5$, $f_4 = 3$ Гц. Данный набор частот хорошо объясняется теорией нелинейных колебаний в полуоткрытой трубе. По форме записи и соотношению характерных частот АС разбиты на три типа. Спектры АС⁸³₁ характеризуются наличием только двух первых частот, а в спектрах АС⁸³₂ появляются вторые гармоники линейного и нелинейного резонансов. В спектрах АС⁸³₃ вблизи $f_2 = 1,0$ Гц появляется дополнительный максимум с $f_2 = 1,2 \div 1,4$ Гц. Различие в спектрах, по-видимому, обусловлено изменением геометрии кратера, что подтверждается закономерной сменой типов АС.

2. АС побочного кратера более высокочастотные ($f = 2,5 \div 5$ Гц) по сравнению с АС вершинного кратера. Отмечались изменения частоты АД от 2,5 до 5 Гц, которые, предположительно, связываются с колебанием уровня лавы в кратере побочного конуса. Самые сильные акустические сигналы побочного кратера, зарегистрированные 2-3.VI, отнесены к слабым воздушным ударным волнам.

3. АС этого извержения генерировались в жерлах побочного и вершинного кратеров. Сделаны оценки длины колодца вершинного кратера $L \approx 120$ м и побочного $L \approx 20 \div 50$ м. Энергия и мощность акустического источника вершинного кратера значительно превосходят энергию и мощность акустического источника побочного кратера. Соответственно, значительно больше и объём газа, выделенный через вершинный кратер, что подтверждает вывод о том, что дегазация расплава происходила преимущественно через вершинный кратер (Хренов и др., 1981).

4. Акустическая активность вершинного кратера отмечалась 19-24.IV; 27,30.V; 1-2.VI; 23.VI÷15.VII. Акустическая активность вершинного кратера 1-2.VI и после 23.VI появились после резкого уменьшения расхода лавы из побочного кратера, что указывает на асинхронность в деятельности вершинного и побочного кратеров.