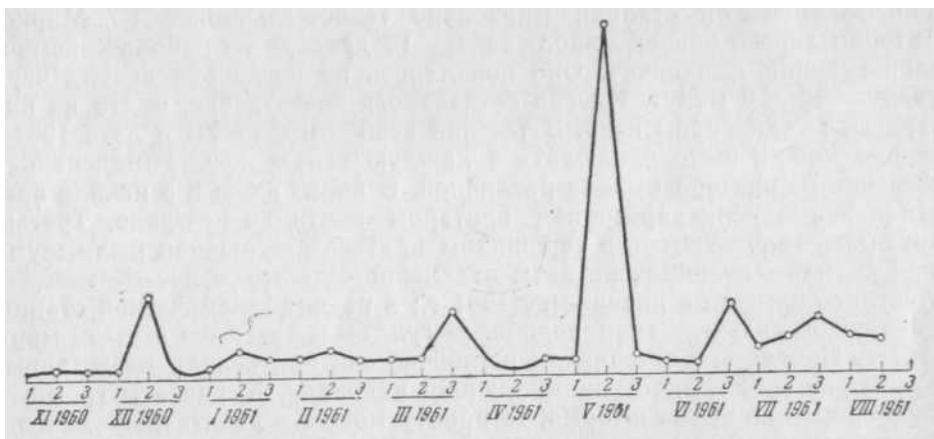


Е. К. МАРХИНИН

### ВОСХОЖДЕНИЕ НА КЛЮЧЕВСКОЙ ВУЛКАН В ПЕРИОД ИЗВЕРЖЕНИЯ (1961 г.)

Усиление активности Ключевского вулкана в 1960/61 г. проявилось раньше всего в вулканическом дрожании. Вулканическое дрожание отмечено сейсмической станцией Апахончич в середине октября 1960 г. Приблизительно тогда же появилась запись на сейсмограммах станции Ключи и Козыревск. С июля 1961 г.— на станции Толбачик; в июле-августе— на временной, переносной станции, расположенной недалеко от кратера вулкана Безымянного. До установки этой станции не было твердой уверенности в том, что вулканическое дрожание связано



Фиг. 1. Изменение амплитуд вулканического дрожания на станции Ключи

Масштабы: 1 микрон — 3 см, 1 декада — 1 см

именно с усилением активности Ключевского вулкана, а не с активным состоянием вулкана Безымянного. После получения сейсмограмм на указанной станции этот вопрос был решен однозначно, так как амплитуда колебаний близ кратера вулкана Безымянного оказалась в несколько раз меньше, чем на сейсмической станции Апахончич. Изменение амплитуд вулканического дрожания на станции Ключи с октября 1960 г. по 20 августа 1961 г. подекадно показано на фиг. 1.

На фиг. 1 видно, что амплитуды вулканического дрожания с течением времени то возрастают, то уменьшаются.

В таблице показаны максимальные амплитуды вулканического дрожания 1 августа по трем составляющим для четырех станций. Как следует из табл. 1, отношения амплитуд не соответствуют отношениям расстояний от кратера Ключевского вулкана до станции. Особенно

обращают на себя внимание малые амплитуды на станции «Кратер Безымянный». По-видимому, амплитуды вулканического дрожания, помимо расстояния от источника до сейсмической станции, зависят от неоднородности геологического строения и особенно рельефа местности.

Таблица 1

Максимальные амплитуды вулканического дрожания 1 августа за время 0—4 часа по Гринвичу

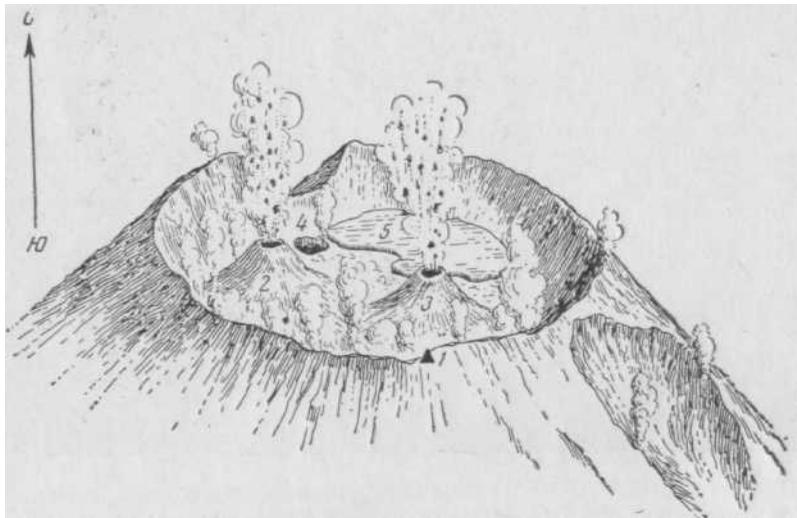
Станция	Расстояние до кратера Ключевской, км	Амплитуда смещения, в $\mu$		
		EW	NS	Z
Кратер Безымянный . . . . .	10	1	0,8	1,7
Апахончич . . . . .	14	4	4	3,3
Ключи . . . . .	32	0,45	0,4	0,5
Козыревск . . . . .	45	1	0,3	0,3

Появление и усиление вулканического дрожания осенью 1961 г.— первый и несомненный признак активизации Ключевского вулкана. Вторым несомненным признаком готовящегося, точнее начинающегося, извержения было появление зарева над вершинным кратером этого вулкана. Впервые в пос. Ключи зарево над кратером Ключевского вулкана было отмечено в начале декабря. Тогда же его наблюдал из района сейсмической станции Апахончич геолог-альпинист Ю. Марков. Автором зарево впервые наблюдалось 12 декабря из района сейсмической станции Апахончич. Оно появлялось на несколько секунд через каждые 15—20 минут. Иногда создавалось впечатление, будто из кратера вылетают снопы искр. В течение всей зимы, весны и лета 1961 г. зарево можно было наблюдать в каждую ясную ночь. Интенсивность свечения из кратера бывала различной. В конце июля и в начале августа в ясные ночи зарево над кратером почти не исчезало. Третьим признаком начавшегося в вершинном кратере извержения были шумы.

Гул, напоминающий раскаты отдаленного грома, в пос. Ключи был отчетливо слышен в апреле-мае 1961 г.; в районе сейсмической станции Апахончич сильный громopodobный гул был часто слышен с марта 1961 г. Иногда его источником ошибочно считали вулкан Безымянный. В июле-августе гул, то напоминающий канонаду, то раскаты грома, то шум прибоя во время шторма, то работу мощного реактивного двигателя, временами был слышен непрерывно. Все это наводило на предположение о возможности скорого прорыва на склоне Ключевского вулкана, а также привело к заключению об уже происходящем внутри вершинного кратера извержении взрывного типа.

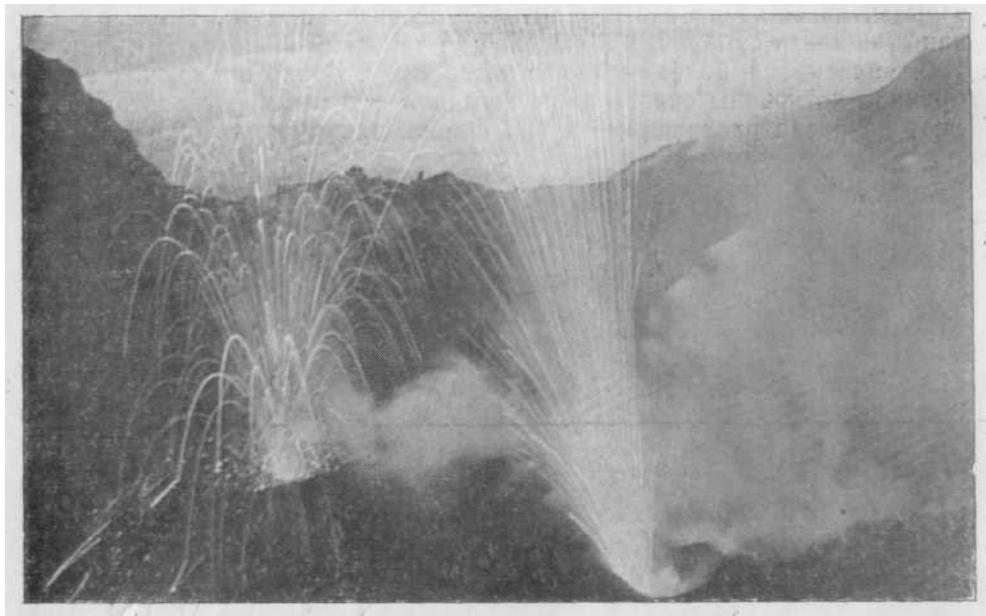
С целью выяснения характера происходящих в вершинном кратере явлений и установления связи их с вулканическим дрожанием 14 августа было совершено восхождение на вершину Ключевской сопки. В восхождении, помимо автора, участвовали геофизик В. Б. Пугач, геологи К. В. Прохоров и Ю. М. Дубик, коллектор А. Рожков, фотограф В. Е. Гиппенрейтер, туристы Ю. И. Тринкунас и В. П. Васильев. Подъем был совершен со стороны южного склона. Подъем осложняли частые камнепады. Интенсивность камнепадов была особенно велика из-за дрожания конуса вулкана, хотя нами оно не ощущалось вплоть до самой вершины. Кратер произвел на нас незабываемое впечатление. Огромный котел диаметром более 0,5 км с почти отвесными стенками весь был окутан густыми клубами пара. Все время что-то клочкотало,

шипело и свистело, а через короткие промежутки времени раздавались взрывы, похожие на взрывы артиллерийских снарядов. По мере того как сгущались сумерки, наблюдение за тем, что происходит в кратере, становилось все более и более интересным. Стало видно, как со дна мрачной котловины сквозь пары фумарол с треском и грохотом вылетают докрасна раскаленные куски шлака, преимущественно из одного



Фиг. 2. Схема кратера Ключевского вулкана 14—15 августа 1961 г.:  
1 — точка наблюдений; 2—3 — действующие шлаковые конусы; 4 — лаповый кратер;  
5 — лавовый поток

места. Но вот столб пламени вырвался правее и ближе и вслед за этим стенки кратера задрожали от взрывов. Звук, сопровождавший эти явления, напоминал канонаду. С наступлением темноты кратер с нашей стороны постепенно очистился от паров, и мы при свете почти непрерывных огненных фонтанов стали различать в нем отдельные детали (фиг. 2). Мы увидели на дне кратера два черных, как кучи углей, шлаковых конуса высотой в несколько десятков метров. В центре этих шлаковых конусов зияли небольшие круглые огненно-желтые отверстия, из которых вырывались огненные струи раскаленного шлака и вулканических бомб. Многие бомбы взлетали на высоту более 300 м. При падении они покрывали черный конус многочисленными, постепенно тускнеющими огнями. Не успели погаснуть эти огни, как еще более мощная струя огня, сопровождаемая еще более мощным залпом взрывов, вырвалась из второго конуса и как бы красные, горящие угли покрыли его поверхность. Но вот начали действовать оба конуса вместе (фиг. 3). От взрывов задрожало тело вулкана. Мы почувствовали, как сопка заколебалась у нас под ногами. В глубине огромной котловины за действующими шлаковыми конусами находился еще один небольшой кратер. Он был заполнен огненножидкой лавой, которая непрерывно бурлила в нем и иногда фонтанировала. В полной темноте в восточной части огромного кратера светилась длинная узкая огненная полоса. Это был еще горячий лавовый поток. Временами брызги лавы взметались вверх и с поверхности лавового потока. В эту ночь на сейсмической станции Апахончич записывалось вулканическое дрожание с максимальной амплитудой 3—4  $\mu$ . Отсюда же был слышен громоподобный гул, а над кратером Ключевской сопки наблюдалось зарево.



Фиг. 3. Взрывы в кратере Ключевского вулкана в ночь с 14 на 15 августа 1961 г.  
(фото В. Е. Гиппенрейтера)

Из проведенных с кромки кратера наблюдений можно сделать следующие выводы.

1. Причиной вулканического дрожания, записываемого сейсмическими станциями, расположенными вокруг Ключевского вулкана, были взрывы, происходящие в главном кратере. Невозможно, однако, было уловить непосредственную связь между отдельными взрывами и колебаниями. Серии сильных взрывов, по-видимому, несколько раскачивали конус, поэтому ощущались плавные горизонтальные колебания.

2. Звуковые эффекты вызывались, несомненно, взрывами лавы в жерлах двух действующих конусов, т. е. в самой вершинной части главного конуса.

3. Появление зарева, а иногда и «искр» над кратером Ключевского вулкана при наблюдениях за ним из пос. Ючи и с сейсмической станции Апахончич соответствовало всегда моментам наиболее сильных взрывов.

Проведенные качественные наблюдения позволяют сделать приблизительные оценки скорости полета кусков шлаков и бомб, количества участвовавших во взрывах газов и давления газа в магме перед взрывом. Наиболее точно из этих величин мы можем определить начальную скорость полета вулканических бомб и кусков шлака ( $U$ ). В среднем высота полета их ( $h$ ) составляла 200 м. Максимальная высота достигала 300 м. Выбросы были вертикальными. Размер кусков шлака порядка 10 см в поперечнике, вес около 1 кг, поэтому сопротивлением воздуха мы можем пренебречь. Тогда

$$U_{\text{ср}} = \sqrt{2gh_{\text{ср}}} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 200} = 64 \text{ м/сек.},$$

$$U_{\text{макс}} = \sqrt{2gh_{\text{макс}}} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 300} \approx 80 \text{ м/сек.}$$

Зная скорость выброса шлаков и бомб и учитывая, что для наблюдавшихся нами взрывов кинетическая энергия составляет подавляющую часть

их общей энергии, мы можем приблизительно оценить количество газовых компонентов, участвовавших во взрывах. Воспользуемся для этого формулой

$$E = 10^8 v x (2x^{0,3} - 1),$$

где  $E$  — общая энергия взрыва,  $v$  — объем продуктов взрыва (за вычетом пор),  $x$  — количество газов, участвовавших во взрыве, в процентах от веса магмы<sup>1</sup>. Заменяя в этой формуле  $v$  на  $\frac{m}{\rho}$ , где  $m$  — масса продуктов взрыва,  $\rho$  — их объемный вес, и подставляя вместо  $E$  выражение кинетической энергии, получаем:

$$\frac{mU^2}{2} = 10^8 \frac{m}{\rho} x (2x^{0,3} - 1)$$

Полагая  $\rho = 2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  и подбирая значение  $x$  в этом выражении, соответствующее значению  $U = 64 \text{ м/сек}$ , находим  $x$  близким к 0,7. Таким образом, мы можем сделать вывод, что в наблюдавшихся нами взрывах газ составлял около 1% от общей массы продуктов взрыва.

Давление газа в магме перед взрывом может быть определено исходя из формулы Пуассона  $P_1 v_1^\gamma = P_2 v_2^\gamma$ , где  $P_1$  — давление газа в магме,  $P_2$  — атмосферное давление,  $v_1$  — объем газа в магме,  $v_2$  — объем этого же количества газа при атмосферном давлении,  $\gamma$  — отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к его теплоемкости при постоянном объеме, равное 1,3; так как газы в магме представлены в основном водяным паром, то  $v_2 = x v v_0$ , где  $v_0 = 1244,4 \text{ см}^3$  — удельный объем водяного пара при нормальных условиях,  $v_1$  можно, очевидно, в хорошем приближении принять равным объему пор в кусках шлака.

Тогда  $v_1 = v \left( \frac{\rho}{\rho_1} - 1 \right)$ , где  $\rho_1 = 1,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  — объемный вес шлака. Подставляя эти значения  $v_1$  и  $v_2$  в выражение для  $P_1$ , получаем:

$$P_1 = \left( \frac{\rho_1 x v_0}{\rho} \right)^\gamma = 41,3 \text{ атм.}$$

Таковы некоторые выводы и оценки, к которым мы пришли в результате наблюдений за извержением, происходящим в главном кратере Ключевского вулкана.