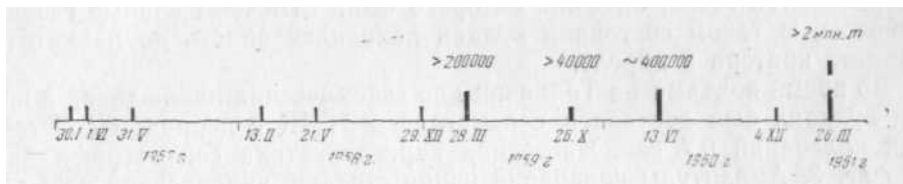


Е. К. МАРХИНИН, П. И. ТОКАРЕВ, В. Б. ПУГАЧ, Ю. М. ДУБИК

ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННОГО ВЕСНОЙ 1961 г.

ВВЕДЕНИЕ

Со времени неожиданного и грандиозного извержения вулкана Безымянного в 1955—1956 гг. этот вулкан, не извергавшийся до того в течение нескольких столетий и считавшийся большинством исследователей потухшим, стал самым активным действующим вулканом в Советском Союзе. Действительно, прошедшие пять лет характеризовались



Фиг. 1 Количество изверженного материала вулкана Безымянного в 1957—1961 гг.

не только ростом в кратере вулкана экструзивного купола, очень интенсивной сольфатарной деятельностью и частыми небольшими пепловыми выбросами, но также несколькими сравнительно интенсивными извержениями. Зарегистрировано одиннадцать наиболее активных извержений: в 1957 г.—3 (30 января, 1 марта, 31 июля); в 1958 г.—3 (13—14 февраля, 21 марта, 29 декабря); в 1959 г.—2 (28—29 марта, 29 октября); в 1960 г.—2 (более сильное 13—14 апреля и очень слабое 4—5 декабря), в первой половине 1961 г.—одно, с пароксизмом 26 марта.

Как правило, перед извержением и во время него резко усиливалась сейсмическая активность. Одновременно отмечалось постепенное увеличение фумарольной деятельности, выбросов пара и газа, а иногда и пепла. Времени максимальной сейсмической активности соответствовал короткий (несколько часов, сутки) пароксизм извержения, когда вулканом выбрасывалась основная масса пепла, а иногда и агломератового материала.

Извержения 26.X 1959 г., 13—14.IV 1960 г. и 26.III 1961 г. за несколько дней до пароксизма были предсказаны по сейсмическим данным. Анализ деятельности вулкана Безымянного в период 1957—1961 гг. позволяет наметить некоторую тенденцию к постепенному уменьшению числа извержений на единицу времени и увеличению интенсивности извержений. Эта тенденция заметна на графике (фиг. 1).

Извержение в марте-апреле 1961 г. было наиболее интенсивным.

ХОД ИЗВЕРЖЕНИЯ

Состояние вулкана Безымянного в январе—марте 1961 г. Предвестники и начало извержения

В январе, феврале и в первых числах марта 1961 г. какого-либо усиления активности вулкана Безымянного не отмечено. Впервые в журнале наблюдений на вулcano-сейсмической станции Апахончич повыше- ние активности вулкана Безымянного зарегистрировано 5 марта — интен- сивное парение фумарол и небольшие газовые выбросы с западной стороны экстррузивного купола. В последующие дни, по данным визуаль- ных наблюдений Б. Н. Сушко и В. А. Аристархова с вулcano-сейсмиче- ской станции Апахончич, вулкан вел себя следующим образом.

6. III — с утра состояние вулкана обычное (интенсивная сольфа- тарная деятельность в кратере и вокруг купола), но приблизительно с 13 часов выбросы газа и пара усиливаются, высота их увеличивается. 7 марта газовая деятельность усиливается также со второй половины Дня.

8. III — во второй половине дня отмечаются интенсивные выбросы газа и пара. К вечеру они становятся сильнее. Цвет их темнеет. К ночи паро-газовые с пеплом выбросы постепенно прекращаются.

9, 10, 11. III — вулкан закрыт.

12 и 13. III — отмечена усиленная деятельность фумарол.

14. III — в середине дня интенсивные выбросы пара и газа.

14. III — в середине дня интенсивные выбросы пара и газа.

15, 16 и 17. III — усиление активности не отмечено.

18. III — выбросы черных клубов вулканических газов с пеплом.

19. III — во второй половине дня выбросы вулканических газов с пеплом.

20. III — над кратером небольшое светло-серое облачко.

21 и 22. III — вулкан закрыт.

23. III — над кратером светло-серое облако.

24. III — над кратером густое черное облако. Снег вблизи вулкана серый.

25. III — с утра над кратером густое черное облако. В 12 часов 50 минут первый большой взрыв — начало главного пароксизма.

Таким образом, согласно визуальным наблюдениям, период времени с 5 по 25 марта можно назвать периодом постепенного усиления актив- ности вулкана и подготовки пароксизма извержения.

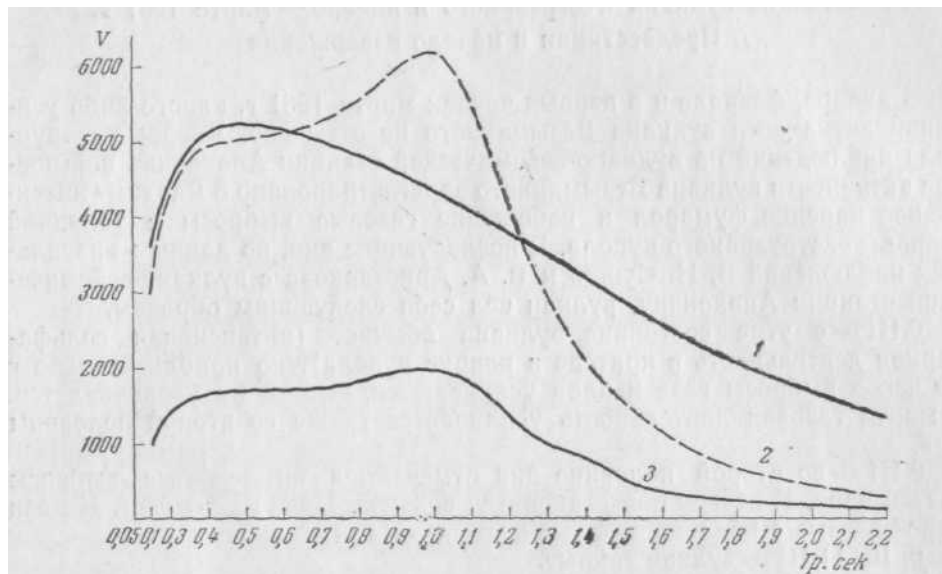
В период подготовки, а также и в период извержения сейсмические наблюдения проводились на трех сейсмических станциях — Ключи, Апахончич, Козыревск.

Сейсмостанция Апахончич (Ап) оборудована сейсмографами ВЭГИК. Основание под приборами — базальтовая скала. Расстояние до центра кратера вулкана Безымянного 16 км. Азимут на вулкан 260°. Зависи- мость увеличения сейсмографов от периода сейсмической волны пред- ставлена на фиг. 2. Сейсмостанция непрерывно работала с 1 января по 26 марта и с 29 марта до конца извержения.

Сейсмостанция Ключи (Кл) оборудована сейсмографами Д. А. Харина, зависимость увеличения которых от периода сейсмической волны предст- авлена на фиг. 2. Основание под приборами — делювиальные и моренные отложения. Расстояние до кратера вулкана 42 км. Азимут на вулкан 204°.

Сейсмостанция Козыревск (Кз) оборудована сейсмографами Д. А. Харина, идентифицированными с сейсмографами станции «Ключи». Основание под

приборами — моренные отложения. Расстояние до центра кратера вулкана Безымянного 45,5 км. Азимут на вулкан 102°.



Фиг. 2. Зависимость увеличения сейсмографов от периода сейсмической волны для станций Апахончич (1), Ключи (2) и Козыревск (3)

Данные по этим трем станциям приведены в табл. 1, где указаны время вступления волн по Гринвичу, максимальные смещения почвы (A_m) и их периоды (T_m), а также плотность энергии (E_e) в районе сейсмической станции «Ключи», которая определялась по эмпирической формуле

$$E_{\text{Кл}} = 2,08 \left(\frac{A_m}{T_m} \right)^2 \text{ эрг/см}^2, \quad (7)$$

где A_m — максимальное смещение почвы в микронах, T_m — период максимального смещения в секундах. В случае отсутствия записи на станции Ключи плотность энергии в этом районе определялась приблизительно по записям землетрясений на станциях Апахончич или Козыревск по следующим формулам:

$$E_{\text{Кл}} = 0,0205 \left(\frac{A_m}{T_m} \right)_{\text{Ап}}^2 = 0,19 \left(\frac{A_m}{T_m} \right)_{\text{Кз}}^2 \text{ эрг/см}^2,$$

где A_m и T_m — максимальные смещения почвы в микронах и их периоды на станциях Апахончич (Ап) и Козыревск (Кз).

Первое землетрясение с очагом под вулканом Безымянным в 1961 г. было зарегистрировано 9 февраля. Этот день можно считать началом сейсмической подготовки мартовского извержения. В марте землетрясения происходят все чаще и чаще, а с 19 марта — каждый день, притом с каждым днем суточное число землетрясений возрастает. 24 марта было отмечено уже семь землетрясений, а всего с момента начала подготовки извержения до первого большого взрыва 25 марта в 12 часов 50 минут было зарегистрировано 27 землетрясений, суммарная плотность энергии которых в районе станции Ключи равна 121 эрг/см².

Таблица 1

Основные данные о землетрясениях с очагом под вулканом Безымянным за период с 1 января по 10 апреля 1961 г.

№ землетрясения	Дата	Сейсмическая станция	Обозначения волны	Время, час мин сек	T _m , сек	A _m , μ			S-P	E, эрг/см ²	Дополнительные сведения
						NS	EW	Z			
1	9.2	Кл	eP iS	0.9.02.28,4	1,2	1,3	1,3	0,4	7,2	5,1	
			Кз	iP S	30,5	1,2	4,7	0,9	0,2	9,0	15,9
2	24.2	Кл	iP iS	12.19.55	1,0	15	13,5	9,2	4,5		
			P S	58,6	1,2	1,6	2,7	1,0	7,3	15,8	
			Кз	iP S	20.00,8	1,0	11,3	2,9	1,9	9,3	13,8
3	8.3	Кл	iP eS	8.09.27,3	1,0	25			4,2		
			P iS	31,5	1,2	1,8	2,2	0,1	7,2	10,7	
			Кз	iP iS	33,7	1,2	11,4	3,3	2,1	7,8	101,5
4	8.3	Кл	eP iS	14.12.35,6	1,0	1,4	6,2	1,4	5,0	42,2	
			S	48	1,2	0,3	0,4	0,1		0,5	
			Кз	P iS	41,6	1,1	0,8	1,4	0,3	9,2	2,22
5	8.3	Кл	iP iS	20.33.24,1	0,9	7,0	12,0	4,7	4,5	5,7	
			S	34	1,1	0,3	0,86			1,4	
			Кз	iP iS	29,5	1,2	4,0	0,9	0,6	9,7	11,9
6	8.3	Кл	iP iS	22.38.34,4	0,8	10,5	17,0	6,0	4,5	76	
			P iS	38,3	1,3	2	2,9	1,0	7,3	17,1	
			Кз	iP iS	39,5	1,4	10,3	2,1	1,1	8,5	56,9
7	9.3	Кл	eP eS	01.38.03,0	0,8	0,5	3,3	1,2	4,5	19,6	
			eS	01.38.14,7	1,1	0,3	0,3			0,25	
			Кз	P S	08,0	1,2	1,1	0,7	0,2	8,8	1,2
8	13.3	Кл	iP iS	23.38.00,4	0,8		2,1	1,0	4,9		
			S	15	1,1	0,7	0,5	0,1		0,14	
9	13.3	Кл	iP iS	23.39.57,2	0,8	0,3	1,3	0,45	4,7		
			e	40,00	1,1	0,7	0,1			0,1	
10	17.3	Кл	P iS	06.41.9,7	1,2	1,3	2,7	0,5	7,3	16,4	
			iP	11,5	1,2	12,2	5	2,8	9,0		
11	19.3	Кл	eP iS	16.49.49,0	1,2	0,6	0,8	0,2	7,2	1,6	
			P iS	51,1	1,0	2,3	1,5	0,7	8,8		
12	20.3	Кл	iP iS	12.40.08,6	0,9	11,6	13,5	3,7	4,6		
			P S	11,7	1,2	1,7	1,7	0,6	7,3	9,1	
			Кз	iP S	14,0	1,1	5,6	2,8	1,3	8,9	34,0
13	21.3	Кл	iP iS	00.24	0,8	2,9	3,5	1,2	4,6		
			Кз	iP iS		1,3	2,3	1,0	0,3	8,8	0,7
14	21.3	Кл	iS	12.17.37	1,0	0,5	0,6	0,1		0,95	
			Кз	P iS	32	1,1	1,1	0,3	0,3	9,0	
15	21.3	Кл	eP iS	20.00.45,3	1,2	0,5	0,7	0,2	7,1	1,5	
			P iS	47,0	1,1	2,1	1,0	0,4	8,8		
16	22.3	Кл	iP iS	6.37.02,9	0,9	13	12		4,5		
			P S	06,2	1,3	1,7	2,1	0,7	7,3	8,3	
			Кз	09	1,2	8	2,8	1,9	8,6		
17	22.3	Кл	iP iS	16.14.35	0,9	1,3	3,3	1,4	4,5		
			eS	46	1,3	0,3	0,5	0,2		0,50	
			Кз	P iS	40,8	1,1	1,7	1,0	0,4	8,7	3,3

Таблица 1 (продолжение)

№ землетрясения	Дата	Сейсмическая станция	Обозначения волны	Время, час мин сек	T _п , сек	A _т , μ			S-P	E, эрг/см ²	Дополнительные сведения
						NS	EW	Z			
18	23.3	Ап	iP iS	00.57.25,2	0,9	10,9	8,7	7,3	4,5	310	
			Кл	P S	28,2	1,2	2,0	2,2	0,8	7,3	13,7
			Кз	iP iS	30,5	1,3	9,7	5,1	2,2	8,8	74
19	23.3	Ап	iP iS	05.53.30,2	0,8	6,1	7,6	1,9	4,5	154	
			Кл	eP S	34,0	1,3	1	1,1	0,4	7,3	2,9
			Кз	iP S	36,0	1,2	3,8	2,5	1,1	9,2	15,1
20	23.3	Ап	iP iS	15.39.49,9	0,8	2,4	2,8	0,7	4,5	22	
			Кл	eS	53,0	1,2	0,3	0,2	0,1		0,2
			Кз	eP	55,0	1,2	0,8	0,4	0,2		0,6
21	23.3	Ап	P S	20.17.43,4	1,0	1,8	4,4	1,3	4,5	93,7	
			Кл	eS	53,0	1,5		0,45			0,4
			Кз	P S	48,0	1,1	1,1	0,7	0,3	9,0	1,47
22	24.3	Ап	eP iS	00.21.18,4	0,9	4,4	11,9	3,1	5,2	210	
			Кл	eS	29,0	1,3		1,0			2,5
			Кз	P	23,0	1,5	4,0	1,6	0,8	8,8	8,5
23	24.3	Ап	eP iS	01.31.32,8	0,9	1,0	3,9	1,2	4,5		
			Кл	eS	43,0	1,2		0,3			0,3
			Кз	M	01.32.15	1,2	0,7	0,2	0,2		
24	24.3	Ап	P iS	4.53.13,0	0,8	3,9	2,2	0,6	4,5		
			Кл	eS	24	1,2	0,2	0,2	0,1		0,13
			Кз	iS	27,5	1,2	0,5	0,5			
25	24.3	Ап	iP iS	07.30.29,3	0,9	4,9	8,0	1,9	4,5	113	
			Кл	eP S	33,3	1,4	1,4	1,5	0,7	7,0	5,5
			Кз	iP iS	34	1,2	5,0	1,8	0,6	9,0	14,8
26	24.3	Ап	iP iS	7.52.19,7	0,9	2,8	4,9	1,1	4,5		
			Кл	eS	30,8	1,0	0,50	0,4	0,2		0,8
			Кз	iP eS	25,0	1,4	2,3	1,1	0,2	9,8	
27	24.3	Ап	iP iS	15.34.33,4	0,9	9,4	10,7	3,8	4,5		
			Кл	eP iS	37,3	1,2	1,3	1,1	0,6	7,3	4,6
			Кз	iP iS	38,5	1,4	4,27	2,5	2,2	9,3	
28	25.3	Ап	iP iS	00.50.38,6	0,8	16,5	7,5	6,8	4,5		
			Кл	iS	59,1	3,0	7,7	3,3	3,3		39,6
			Кз	iP iS	44,0	1,2	15,6	4,4	3,2	8,6	
29	25.3	Ап	iP iS	07.29.46,1	0,7	1,4	1,4	0,2	4,5		
			Кл	eS	56,8	1,2	0,3	0,3	0,1		0,3
			Кз	eP S	51,0	1,2	0,5	0,2	0,4		
30	25.3	Ап	iP iS	10.08.02,9	0,8	3,2	2,1	0,9	4,5		
			Кл	eP iS	07,0	1,3	0,3	0,6		7,1	0,6
			Кз	iP S	09,0	1,1	1,4	1,3	0,4	9,0	0,4
31	25.3	Ап	iP iS	11.17.26,4	0,8	3,7	1,8	0,6	4,5		
			Кл	eP iS	30,7	1,2	0,7	0,8	0,30	7,3	1,52
			Кз	iP	32,0	1,1	2,1	2,0	0,4	9,5	
32	25.3	Ап	iP iS	11.43.53,3	0,8	7,0	5,4	2,8	4,5		
			Кл	P iP	56,9	1,2	3,1	3,6	1,6	7,7	36,0
			Кз	iP S	58,5	1,6	11,8	7,4	0,8	9,5	

Таблица 1 (продолжение)

№ землетрясения	Дата	Сейсмическая станция	Обозначения волны	Время, час мин сек	T _m , сек	A _m · μ			S - P	E, зр/см ²	Дополнительные сведения	
						NS	EW	Z				
33	25.3	Ап	<i>P iS</i>	12.40.20,8	0,9	2,7	2,0	1,3	4,5	1,4		
			Кл	<i>M</i>	51,8	1,2	0,6	0,7				0,3
			Кз	<i>P S</i>	33,0	1,2	1,9	1,4				0,5
34	25.3	Ап	<i>iP iS</i>	13.05.26,8	0,9	6	6,0	3,6	4,5	19,8		
			Кл	<i>M</i>	58	1,2	1,7	3,3				
			Кз	<i>iP S</i>	31,5	1,2	3,6	3,4				0,4
35	25.3	Ап	<i>P S</i>	13.19.13,8	0,9	2,9		0,6	4,5	0,3		
			Кл	<i>M</i>	13.20.06,7	1,1	0,3					0,14
			Кз	<i>P eS</i>	13.19.19,0	1,1	1,1	0,4				0,3
36	25.3	Ап	<i>iP iS</i>	14.04.03,3	0,9	6	4,4	1,8	4,5	8,4		
			Кл	<i>M</i>	36	1,2	1,8	1,6				
			Кз	<i>iP iS</i>	09,0	1,2	4,4	4,3				1,5
37	25.3	Ап	<i>eP iS</i>	14.34.55,2	0,9	1,5		0,8	5,2	0,7		
			Кл	<i>M</i>	14.32.30,5	1,2	0,5					0,2
			Кз	<i>P S</i>	32.000	1,2	1,0	0,7				0,4
38	25.3	Ап	<i>P S</i>	14.33.21,8	0,9	1,8	1,3	0,5	4,8	0,5		
			Кл	<i>M</i>	51,9	1,3	0,3	0,2				0,1
			Кз	<i>M</i>	14.34.11,9	1,2	0,4	0,3				0,3
39	25.3	Ап	<i>P S</i>	15.13.10,4	0,9	2,2	1,5	1,0	4,5	0,4		
			Кл	<i>M</i>	42,1	1,1	0,3	0,4				0,1
			Кз	<i>eP</i>	16,0	1,2	0,8	0,7				0,4
40	25.3	Ап	<i>P S</i>	15.14.08,8	0,9	0,6	0,5	0,4	4,5	0,4		
			Кл	<i>M</i>	45,8	1,0		0,3				0,1
			Ап									
41	25.3	Ап	<i>iP eS</i>	15.21.59,0	0,9	11,3	9,1	5,1	4,2	44,2		
			Кл	<i>M</i>	15.22.21,0	1,2	3,3	4,1				1,7
			Кз	<i>iP iS</i>	04,5	1,1	10	5,5				2,3
42	25.3	Ап	<i>P iS</i>	15.34.12,7	0,9	1,5	0,9	0,5	4,5	0,2		
			Кл	<i>M</i>	36,9	0,9	0,2	0,1				
43	25.3	Ап	<i>iS</i>	15.45.24					5	0,9		
			Кл	<i>M</i>	47,5	1,3		0,9				
			Кз	<i>eP iS</i>	25,0	1,1	1,0	1,6				0,3
44	25.3	Ап	<i>P</i>	15.52.38,6					21,2			
			Кл	<i>M</i>	15.53.11,0	1,7	2,9	4,3				
			Кз	<i>iP S</i>	15.52.45,0	1,1	8					
45	25.3	Ап	<i>P</i>	16.14.02,8					9,1	0,7		
			Кл	<i>M</i>	37,0	1,3	0,5	0,4				0,4
			Кз	<i>P</i>	09,0	1,3	0,6	1,0				0,6
46	25.3	Ап	<i>P</i>	16.32.10,6					0,4			
			Кл	<i>M</i>	44,9	1,0	0,3					0,1
			Кз	<i>P</i>	17,0	1,3	0,5	0,8				0,4
47	25.3	Ап	<i>P</i>	16.37.07					0,3			
			Кл	<i>M</i>	51	1,5		0,4				
			Кз	<i>M</i>	54	1	0,3	0,3				0,1
48	25.3	Ап	<i>P</i>	17.13.44					0,6			
			Кл	<i>M</i>	17.14.51,2	1,0	0,3	0,4				0,1

Таблица 1 (продолжение)

№ землетрясения	Дата	Сейсмическая станция	Обозначения волны	Время, час мин сек	T _m , сек	A _m , μ			S-P	E, эрг/см ²	Дополнительные сведения
						NS	EW	Z			
49	25.3	Кз	M	17.14.35,3	1,1	0,8	0,4	0,1	9,1	0,9	
		Ап	P	17.28.32							
		Кл	M	17.29.05,1	1	0,5	0,4	0,2			
50	25.3	Кз	P	17.28.38	1,1	1,4	1,4	0,3	9,1	3,6	
		Ап	P	17.32.37							
		Кл	M	33.09	1,6	1,1	1,7				
51	25.3	Кз	P iS	17.32.43	1,0	3,2	2,4	0,4	9,1	11,5	
		Ап	P	17.35.20							
		Кл	M	51	1,5	2,5					
52	25.3	Кз	P	25	1,0	1,3			9,9	20,0	
		Ап	P	17.36.30							
		Кл	M	52,8	1	0,8	0,8	0,4			
53	25.3	Кз	M	55,0	1	2,9	1,1	0,3	9,9	11,7	
		Ап	P	17.38.49							
		Кл	M	39.20	1,4	2,7	1,7				
54	25.3	Кз	eP S	17.38.54	1,2	4,1	1,2	0,6	9,2	11,2	
		Ап	P	17.41.01							
		Кл	M	31	1,4	2,3					
55	25.3	Кз	eP S	17.41.06,5	1,2	3,1	2,2	0,4	8,5	10,5	
		Ап	P	17.49.36							
		Кл	M	50,06	1,4	3,3	2,3				
56	25.3	Кз	iP S	17.49.41,5	1,2	6,6	2,8	1,1	9,3	6,4	
		Ап	P	17.58.34							
		Кл	M	59.04	1,4	2,5	1,7				
57	25.3	Кз	iP S	17.58.40	1,2	4,2	0,8	1,3	9,1	0,5	
		Кл	M	21.39.33	1,4	1,3	2,0	0,6			
		Кз	eP iS	21.39.02,9	1,4	7,3	0,9	1			
58	25.3	Кл	M	21.46.32	1,4	0,5	0,4		0,6	0,6	
		Кз	M	21.46.54,7	1,2	1,2	0,2	0,4			
		Кл	M	22.06.57	1,2	0,3	0,6	0,1			
59	25.3	Кз	eP	35,5	1,1	1,7	0,7	0,4	0,9	0,7	
		Кл	M	22.54.29	1,8	0,5	1,0				
		Кз	M	54.36	1,4	1,9	1,2	0,2			
60	25.3	Кл	M	00.20.34	1,7	0,1	0,8		0,7	0,5	
		Кз	M	33	1,5	1,6	1,9				
		Кл	M	01.11.36	1,4	0,4	0,6				
61	25.3	Кз	M	34	1,0	0,5	1,4	0,2	0,5	0,5	
		Кл	M	01.22.28	1,1	0,3	0,4				
		Кз	M	23	1,0	1,3	0,6	0,1			
62	25.3	Кл	M	01.43.06	1,3	0,4			0,4	0,4	
		Кз	M	00	1,5	1,3	1,0	0,4			
		Кл	M	01.52.36	1,0	0,2	0,2	0,1			
63	25.3	Кз	M	02.37.01	1,3	0,3	0,4	0,2	0,4	0,3	
		Кз	M	02.36.56	1,0	0,8	0,5	0,1			
		Кл	M								

Таблица 1 (продолжение)

№ землетрясения	Дата	Сейсмическая станция	Обозначения волны	Время, час мин сек	T _m , сек	A _m , μ			S - P	E, эрг/см ²	Дополнительные сведения
						NS	EW	Z			
67	26.3	Кл	M	03.07.30	1,5	0,4	0,4			0,4	
			Кз	M	50	1,0	0,8				
68	26.3	Кл	M	03.16.13	1,0	0,3	0,4	0,2		0,4	
			Кз	M	18	1,0	1,0	0,4			
69	26.3	Кл	M	03.35.06	1,2	0,1	0,3	0,1		0,2	
			Кз	M	37	1,0	0,4	0,7			
70	26.3	Кл	M	04.28.07	1,5	0,5	0,6	0,2		0,6	
			Кз	M	47	1,3	1,6	0,6			
71	26.3	Кл	M	05.24.04	1,3	0,4	0,6	0,2		0,8	
			Кз	M	24	1,3	2,1	1,8			
72	26.3	Кл	M	06.21.30	1,4		1,1	0,2		2,5	
			Кз	M	39	1,2	2,4	1,6			
73	26.3	Кл	M	06.26.52	1,3	0,1	0,4	0,2		0,3	
			Кз	M	56	1,2	0,6	0,8			
74	26.3	Кл	M	7.12.08	1,2	0,4	0,4			0,5	
			Кз	M	11	1,2	1,2	0,7			
75	26.3	Кл	M	8.04.00	1,2	0,3	0,8			1,1	
			Кз	M	03.47	1,0	1,5	1,3			
76	26.3	Кл	M	8.25.12	1,0	0,4	0,8	0,4		2,0	
			Кз	M	04	1,2	1,4	1,2			
77	26.3	Кл	M	8.46.55	1,4	0,2	0,4			0,2	
			Кз	M	47.05	1,1	0,7	0,4			
78	26.3	Кл	M	9.27.20	1,2	0,3	0,6	0,2		0,6	
			Кз	M	9.26.51	1,0	1,0	0,9			
79	26.3	Кл	M	9.36.26	1,2	0,4	0,7			1,0	
			Кз	M	31	1,0	1,1	1,0			
80	26.3	Кл	M	10.20.44	1,0	0,2	0,2			0,2	
			Кз	M	50	1,2	1,1	0,5			
81	26.3	Кл	M	10.36.57	1,2	0,6	0,8	0,3		1,6	
			Кз	M	54	1,2	2,3				
82	26.3	Кл	M	11.31.04	1,0	0,7	0,7	0,4	9,2	2,2	
			Кз	eP S	11.30.35,5	1,0	2,9	0,9			
83	26.3	Кл	M	12.27.57	1,0	0,4	0,7	0,3		1,5	
			Кз	eP eS	12.27.32	1,0	1,6	1,7			
84	26.3	Кл	M	12.47.13	1,1	0,2	0,3			0,3	
			Кз	M	42	1,3	0,4	0,9			
85	26.3	Кл	M	13.26.42	1,0	0,6	0,5			1,3	
			Кз	M	27.17	1,3	2,1	0,8			
86	26.3	Кл	M	16.52	1,2	0,3	0,4			0,4	
			Кз	M	16.52.05	1,0	0,8	0,8			
87	26.3	Кл	M	17.13.07	1,3	1,0	0,4			1,5	
			Кз	M	33	1,4	1,6	0,7			
88	26.3	Кл	M	17.16.13	1,1	0,8		0,3		2,4	
			Кз	M	26	1,2	0,4	1,1			
89	26.3	Кл	M	19.02	1,2	0,2	0,3			0,2	

Таблица 1 (окончание)

№ землетрясения	Дата	Сейсмическая станция	Обозначения волны	Время, час мин сек	T _{пл} , сек	A _{пл} , μ			S-P	E, эрг/см ²	Дополнительные сведения
						NS	EW	Z			
90	26.3	Кз	М	58	1,2	0,6	0,7	0,2			
			Кл	М	19.36.16	1,0	0,5	1,0			
91	26.3	Кз	М	34	1,3	0,6	1,2	0,2			
			Кл	М	21.52.14	1,2	0,6	0,6			
92	26.3	Кз	М	36	1,2	1,4	0,5	0,2			
			Кл	М	22.40.14	0,8		0,4			
93	26.3	Кз	М	33	1,4	0,3	1,0	0,2			
			Кл	М	22.57	1,4	0,2	0,5			
94	26.3	Кз	М	30	1,2	0,6	0,6				
			Кл	М	22.58.03	1,2	0,8	0,3			
95	27.3	Кз	М	30	1,2	0,6	0,6				
			Кл	М	23.18.10	0,9		0,3			
96	27.3	Кз	М	30	1,2	0,6	0,6				
			Кл	М	01.56.08	1,0	0,2	0,3			
97	27.3	Кз	М	43	1,4	1,9	0,7	0,4			
			Кл	М	01.56.06	1,2	1,3	0,4			
98	27.3	Кз	М	43	1,4	1,9	0,7	0,4			
			Кл	М	06.47.15	1,4	0,7	0,5			
99	27.3	Кз	М	24	2,0	2,1	0,3				
			Кл	М	9.31.36	0,9	0,3	0,2			
100	27.3	Кз	М	24	2,0	2,1	0,3				
			Кл	М	9.56.39	1,1	0,3	0,4			
101	27.3	Кз	М	12,5	1,0	0,6	0,2		9,5		
			Кл	М	10.35.18	1,2	0,2	0,3			
102	27.3	Кз	М	16	1,2	0,5	0,5				
			Кл	М	11.35.31	1,2	0,3	0,5			
103	27.3	Кз	М	28	1,2	0,5	0,5	0,2			
			Кл	М	16.22.29	0,8	0,3	0,4			
104	27.3	Кз	М	32	1,0	1,2	0,9	0,2			
			Кл	М	17.14.16	1,3	0,3	0,3			
105	27.3	Кз	М	18	1,4	0,9	0,4				
			Кл	М	19.14.35	0,9	0,2	0,3			
106	28.3	Кз	М	19.14.38	1,1	0,6	0,5				
			Кл	М	20.45.00	1,2	0,2	0,4			
107	29.3	Кз	М	29	1,2	0,8	0,5				
			Кл	М	00.05	1,1	0,2	0,2			
108	29.3]	Кз	М	29	1,0	0,1	0,5				
			Кл	М	01.20	1,5	0,3	0,4			
109	29.3	Кз	М	32	1,5	1,3	0,6	0,2			
			Кл	М	02.59.15	1,2	0,5	0,6			
110	29.3	Кз	М	13	1,0	1,1	1,3	0,3			

Главный пароксизм извержения

Взрыв в 12 часов 50 минут 25 марта, рассматриваемый нами как начало главного пароксизма извержения, был зафиксирован визуально одновременно на Апахончиче, в Ключах и Козыревске. Выброс газово-леплого облака серовато-белого цвета имел форму гриба. Высота

газово-пеплового столба, определенная В. А. Аристарховым с Апахончича, до 6 км, С. В. Поповым с Козыревска — до 7 км.

Извержение основной массы пирокластического материала произошло в ночь на 26 марта и утром 26 марта. С утра 26 марта в районе сейсмической станции Апахончич отмечались непрерывный грохот извержения, интенсивное выпадение пепла, вспышки молний. Вулкан был закрыт черными пепловыми тучами, от которых было темно. По наблюдениям С. В. Попова из Козыревска, особенно усилилось извержение к 11 часам дня. В это время выбросы происходили почти непрерывно, форма туч менялась ежеминутно. Цвет туч был преимущественно черным. Высота выбросов достигала 8—9 км. Газово-пепловые облака относились ветром в северо-восточном направлении.

В Ключах с утра 26 марта был пеплопад, который усилился во второй половине дня и постепенно прекратился к вечеру. Весь день от пепловых туч и пеплопада было сумеречно. В Козыревске пепел выпал в ночь на 27 марта.

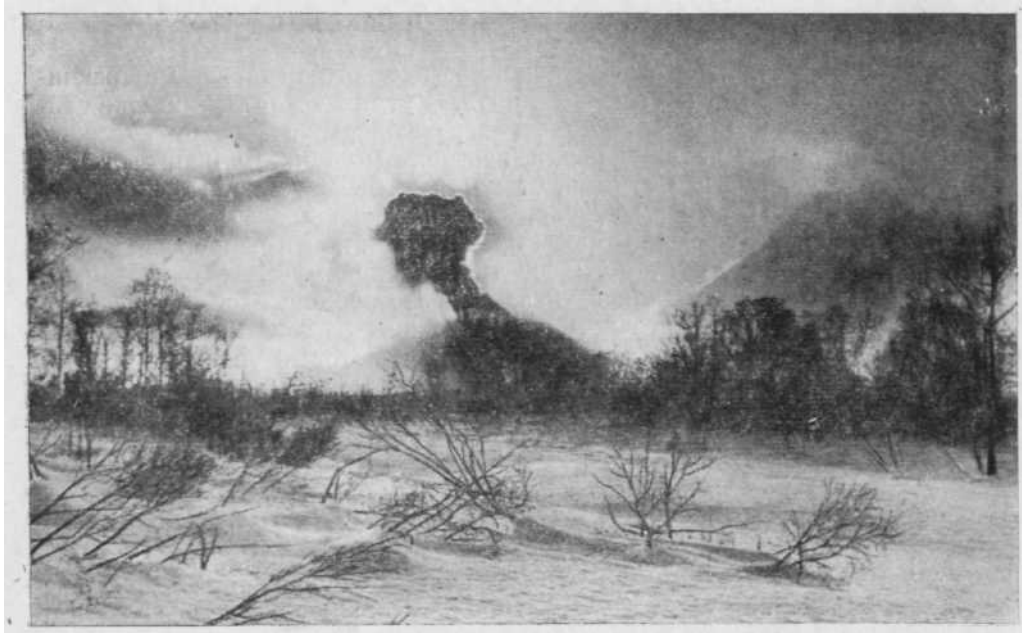
Сейсмические наблюдения в период пароксизма сводятся к следующему: в момент взрыва 25 марта было зарегистрировано всеми сейсмостанциями относительно сильное землетрясение в 12 часов 50 минут 38,6 секунды, по местному времени (00 часов 50 минут, по Гринвичу; см. табл. 1, землетрясение 28). Затем вулкан успокоился, а в 23 часа началась его бурная деятельность и продолжалась весь день 27 марта. За эти двое с половиной суток было отмечено 73 землетрясения (68% всех отмеченных землетрясений), суммарная плотность энергии которых равна 292 эрг/см^2 , т. е. около 71% всей энергии, выделившейся при землетрясениях за период подготовки извержения и самого извержения. Наиболее активным периодом было время с 23 часов 25 марта до 6 часов 26 марта по местному времени, т. е. ночь с 25 на 26 марта. За эти семь часов было отмечено 28 землетрясений с суммарной плотностью энергии, равной 212 эрг/см^2 , что составляет 51% всей энергии землетрясений рассматриваемого цикла извержения вулкана Безымянного. 27 марта сейсмическая активность вулкана быстро снижается. Землетрясения происходят все реже и реже, а их энергия все меньше и меньше. За этот день отмечено 18 землетрясений (из них 12 в первой половине дня), суммарная плотность энергии которых равна $15,5 \text{ эрг/см}^2$.

Затухание извержения

После выброса основной массы пирокластического материала со второй половины дня 26 марта извержение резко пошло на убыль. Результаты наблюдений за вулканом с сейсмических станций Апахончич, Козыревск и лагеря Амбон в период затухания извержения приведены ниже.

28—29 марта. Периодические выбросы газово-пепловых черных облаков на высоту 3—4 км в восточном направлении под углом 60—70° к горизонту, сопровождаемые громopodobным гулом (фиг. 3).

30 марта. Интенсивная фумарольная деятельность, в особенности с западной стороны купола, а также в кратере. Периодические выбросы столбов пара и газа с пеплом. Скатывание с купола лавин раскаленных камней. С 10 часов 05 минут до 10 часов 45 минут скатилось четыре лавины. Движение лавин с сейсмической станции Апахончич хорошо фиксировалось катящимся облачком пыли и газа. В стереотрубу с 20-кратным увеличением были различимы отдельные крупные «прыгающие» камни.



Фиг. 3. Один из пепловых выбросов 29 марта 1961 г.

31 марта. Продолжались периодические выбросы столбов пара и газа с пеплом. С купола скатывались лавины горячих камней.

С 1 по 5 апреля состояние вулкана было аналогичным.

4 апреля в 21 час 20 минут в полной темноте с сейсмической станции Апахончич наблюдалась лавина раскаленных огненно-красных камней, скатившаяся с купола. Судя по цвету камней, температура их достигала 900° .

В последующие дни активность вулкана постепенно ослабевала. 17 апреля между 14 часами 30 минутами и 15 часами отмечен выброс пепла. Пепел в небольшом количестве выпал в районе сейсмической станции Апахончич. 18.IV вулкан был закрыт густым черным облаком, по-видимому, в результате выбросов пепла.

В дальнейшем до июня месяца существенного усиления активности вулкана не наблюдалось¹.

Землетрясения, отмечавшиеся непрерывно в период извержения, с 28 марта почти прекратились. После этого до конца апреля землетрясений с очагом под вулканом Безымянным не отмечено.

СВЯЗЬ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Характер землетрясений

В период подготовки извержения, а также в процессе извержения было зарегистрировано 107 землетрясений с очагом под вулканом Безымянным, суммарная плотность энергии которых в районе станции

Во второй половине июня месяца произошло новое усиление активности вулкана, сопровождавшееся извержением небольших количеств пепла и агломерата и раскаленными лавинами с купола. Оно наблюдалось Г. Е. Богоявленской и Ю. М. Дубик.

Ключи составляет 416 $эрг/см^2$. Эти землетрясения резко отличаются от местных тектонических землетрясений большими периодами объемных волн, малыми фиктивными скоростями и наличием интенсивных поверхностных волн. Кроме того, на каждой станции записи землетрясений почти точно повторяют друг друга. Все эти факты объясняются, очевидно, тем, что очаги всех землетрясений локализованы в небольшом пространстве и залегают неглубоко, в слое осадочных пород.

Таблица 2

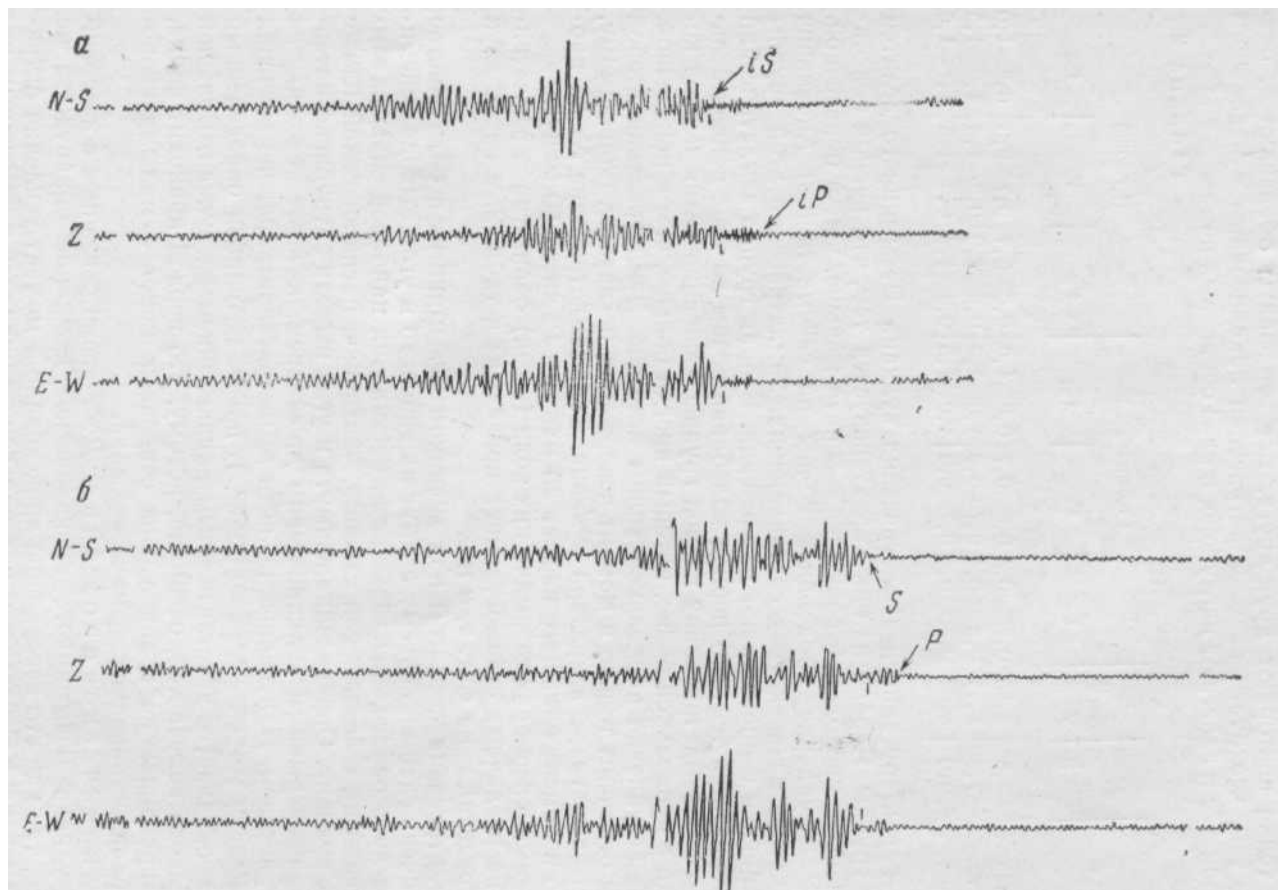
Станция	$(t_s + t_p)$ сек	V_{ϕ} км/сек	I группа			II группа		
			T_p	T_s	T_m	T_p	T_s	T_m
Апахончич .	4,5	3,56	0,25—0,4	0,6—0,7	0,8—1,0	0,6—0,7	0,7—0,8	0,8—1,0
Ключи . . .	7,3	5,75	0,3—0,4	0,7—0,8	1,0—1,3	0,9—1,2	0,9—1,2	1,0—1,5
Козыревск .	9,0	5,05	0,4—0,6	0,7—0,8	1,0—1,3	0,9—1,2	0,8—1,2	1,1—1,6

По характеру записи землетрясения вулкана Безымянного делятся на две группы. Первая из них характеризуется тем, что период колебаний почвы в продольной волне в 2—3 раза меньше, чем в поперечной. Первое вступление продольной волны на сейсмостанции Апахончич очень четкое на всех трех составляющих. Землетрясения этой группы предваряют и сопровождают извержения. Вторая группа землетрясений характеризуется тем, что период колебаний почвы во всех волнах больше, чем при землетрясениях первой группы. Особенно велик период колебаний в продольной волне, который иногда больше, чем в поперечной. Первое вступление продольной волны нечеткое. Землетрясения второй группы отмечены только, в момент извержения и связаны, по-видимому, со взрывами газов в кратере вулкана. Так, землетрясение № 28 произошло в момент большого взрыва 25 марта в 12 часов 50 минут.

Данные о периодах сейсмических волн (в сек) обоих типов землетрясений на различных сейсмостанциях приведены в табл. 2, а копии двух землетрясений — на фиг. 4, а и б.

Землетрясения с очагом под вулканом Безымянным в большинстве своем очень слабые, поэтому азимут на эпицентр и угол выхода сейсмического луча определены только для нескольких наиболее сильных землетрясений на сейсмической станции Апахончич, расположенной ближе всего к вулкану. Определение азимута и угла выхода затруднено интенсивным непрерывным вулканическим дрожанием, которое осложняется землетрясением. Полученные по пяти землетрясениям средние значения следующие: $Az = 256^\circ \pm 3^\circ$; $Q = 61^\circ \pm 3^\circ$. В пределах ошибок определенный азимут совпадает с действительным направлением на вулкан. Большой угол выхода получается, очевидно, потому, что первой приходит волна, дифрагированная на границе слоя осадочных пород с малыми скоростями распространения сейсмических волн.

Вулканическое дрожание. Достоверно связанное с извержением вулкана Безымянного вулканическое дрожание обнаружить не удалось, так как это извержение происходило в момент усиления активности вулкана Ключевского, которая сопровождалась интенсивным непрерывным вулканическим дрожанием, начавшимся в середине октября 1960 г. и продолжавшимся непрерывно до конца извержения вулкана Безымянного; оно то усиливалось, то ослабевало. Период дрожания 0,6—0,8 сек. Амплитуда смещения почвы на станции Апахончич по временам достигала 2—3 м. На фоне непрерывного вулканического дро-



Фиг. 4. Примеры записи двух основных типов землетрясений, сопровождавших деятельность вулкана Безымянного весной 1961 г.:
a — землетрясение № 13; *б* — землетрясение № 22

жания, похожего на биения, выделяются отдельные более интенсивные цуги дрожания, похожие на запись поверхностных волн вулканического землетрясения.

Непрерывное дрожание от вулкана Ключевского, амплитуда смещения почвы при котором иногда превосходит амплитуду смещения почвы при землетрясениях вулкана Безымянного, затрудняло расшифровку последних. Вполне возможно, что многие интенсивные цуги дрожания связаны со взрывами в кратере вулкана Безымянного.

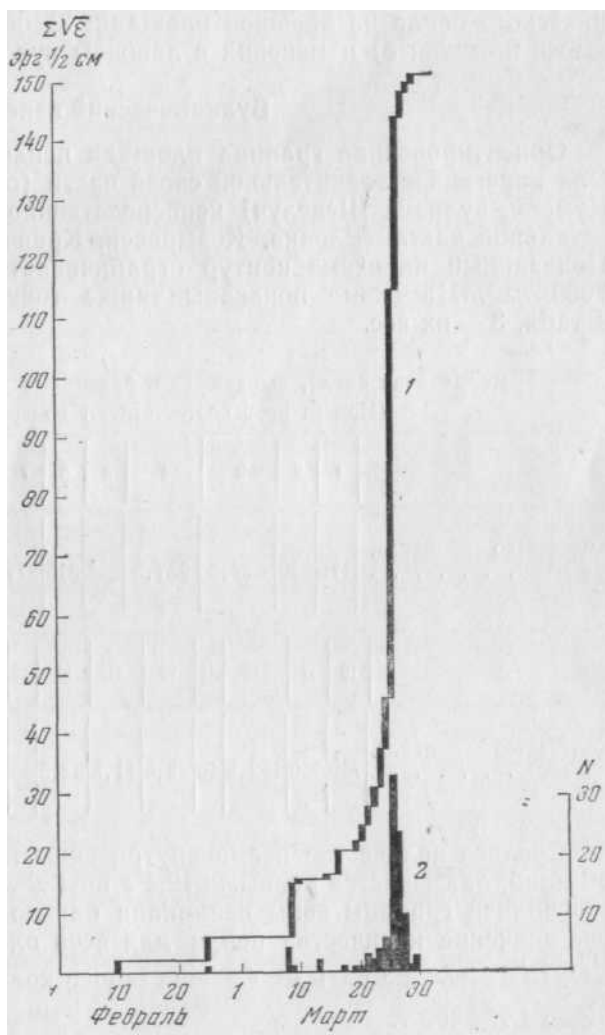
СВЯЗЬ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Как и при предыдущих извержениях вулкана Безымянного, пароксизмальному извержению вулкана 25—26 марта предшествовала длительная сейсмическая подготовка, продолжавшаяся полтора месяца. Землетрясения происходят сначала редко, но значительной силы. Затем их частота постепенно увеличивается. Увеличивается и среднесуточный прирост энергии землетрясений. Пароксизмальное извержение с выбросами пепла и агломератовых потоков происходит в тот момент, когда частота землетрясений и их суммарная энергия достигают максимума. После пароксизмального извержения частота землетрясений и их энергия очень быстро падают. Продолжающиеся небольшие выбросы пепла и небольшие газовые лавины не сопровождаются землетрясениями, очевидно, потому, что они связаны с разрушением купола. По-видимому, пароксизм извержения совпадает с концом максимума сейсмической активности. Объясняется это, вероятно, тем,

что сейсмическая активность связана в основном с ростом, выжиманием купола, с продвижением магмы по выводному ка-

Фиг. 5. График приращения условных деформаций ($\Sigma \epsilon$) для землетрясений, сопровождавших деятельность вулкана Безымянного весной 1961 г.:

1— $\Sigma \epsilon$; 2—суточное число землетрясений (N)



налу, а пароксизм извержения происходит в тот момент, когда из выводящего канала в кратер выжаты новые порции магма, еще насыщенные газами, когда внешнее давление на новые порции магмы уменьшается и газы получают возможность бурно выделяться. На фиг. 5 представлены графики приращения $\Sigma V_{\text{г}}$. Эта величина пропорциональна упругой деформации в очаге землетрясения в момент его подготовки. График $\Sigma V_{\text{г}}$ представляет собою ход накопления упругих деформаций в жерле вулкана. Построение его может быть полезно для предсказания извержения. Как видно из графика, скорость нарастания деформации с начала подготовки извержения постепенно и непрерывно увеличивается. Извержение происходит в тот момент, когда скорость нарастания деформации в жерле вулкана под куполом достигает максимума. На этот же период приходится и максимум числа землетрясений.

ГЛАВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗВЕРЖЕНИЯ. ПРОДУКТЫ ИЗВЕРЖЕНИЯ

Главные последствия извержений следующие: 1) выпадение вулканического пепла на большой площади; 2) образование агломерато-грязевых потоков; 3) изменения в лавовом куполе.

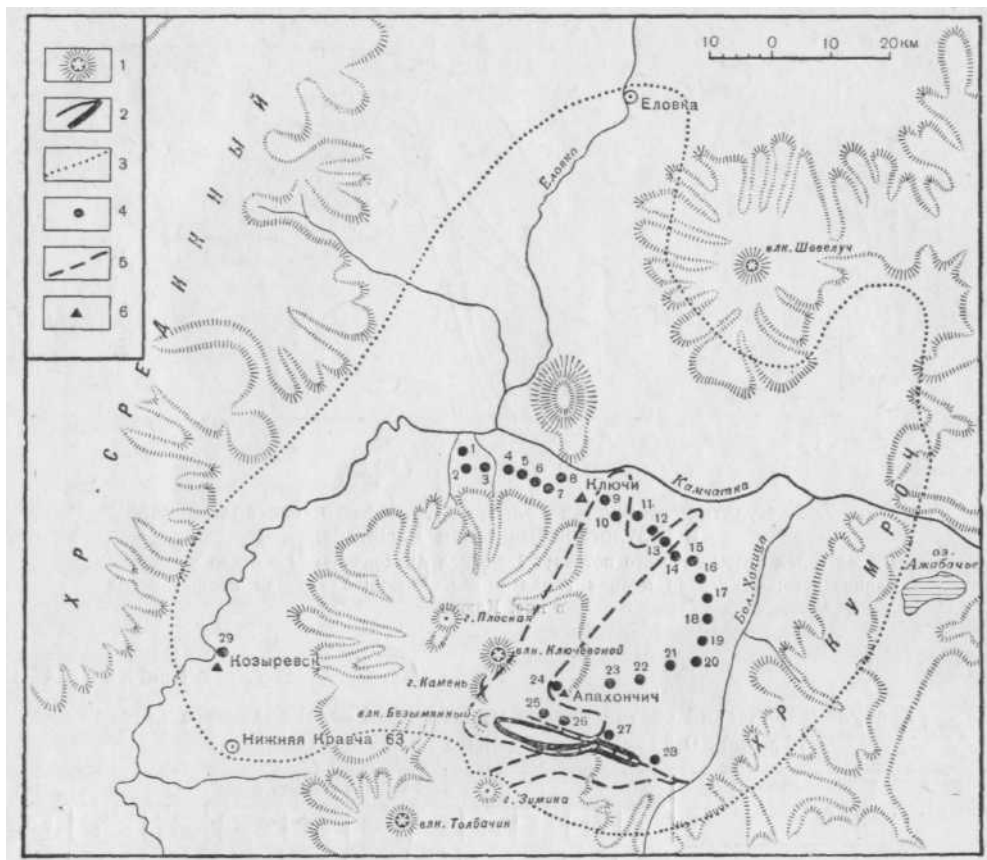
Вулканический пепел

Ориентировочная граница площади пеплопада показана на фиг. 6. Она нанесена в значительной своей части (отроги гор Зиминой, хребта Кумроч, вулкана Шевелуч) непосредственно с местности на карту, в остальной части (Еловка, Козыревск, Кравча) — по опросным данным. Показанный на схеме контур ограничивает площадь приблизительно 7000 км^2 . На схеме показаны также точки взятия проб пепла, а в табл. 3 — их вес.

Таблица 3 **Количество пепла, выпавшего в различных точках зоны пеплопада**
(Номера проб соответствуют номерам на фиг. 6)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Количество пепла, г/м ²	175	230	277,5	237,5	225	315	377	395	1210	1145	965	647	1192	510	600
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Количество пепла, г/м ²	780	550	152,5	40	22,5	11,3	32,5	55	677,5	1315	1685	900	367	15,2	256,8

Среднее количество пепла внутри зоны пеплопада, по данным этих 30 проб, оказывается равным $512,4 \text{ г}$ на 1 м^2 . Учитывая, что содержание его вблизи границы зоны пеплопада близко к нулю, принимаем среднее значение количества пепла для всей площади пеплопада равным $512,4 + 0/2 = 256,2 \text{ г}$ на 1 м^2 . Отсюда общее количество пепла на всей площади $1\ 793\ 400 \text{ т}$.



Фиг. 6. Схема района Ключевской группы вулканов с границами площади пеплопада и агломерато-грязевых потоков:

1 — действующие вулканы; 2 — агломерато-грязевой поток вулкана (извержение 25—26 марта 1961 г.); 3 — граница зоны пеплопада 25—27 марта 1961 г.; 4 — место взятия проб пепла; 5 — площадь с содержанием пепла более 1 кг на 1 м; 6 — сейсмические станции

По-видимому, несколько более точный результат дает выделение на площади двух зон с различным средним содержанием. Аналогичный подсчет количества пепла по каждой такой зоне и суммирование дали результат 1 750 000 т.

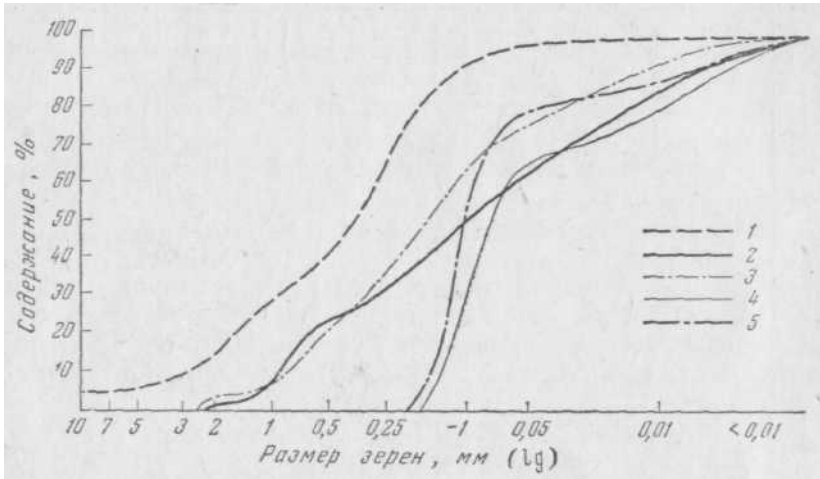
Нерастворимая часть. Выпадение пепла происходило неравномерно, причем изменялось как количество выпадавшего за единицу времени пепла, так и его состав. В частности, в пос. Ключи с 9—10 часов утра до 14 часов дня 26 марта выпало на 1 м² 110,2 г пепла, а с 14 по 18 часов—146,6 г.

Гранулометрический, минеральный и химический составы этих двух проб пепла, взятых в Ключах в 14 и в 18 часов 26 марта, отражены в табл. 4—7 и на графике (фиг. 7). В этих же таблицах и на графике отражено изменение состава пепла с удалением от кратера.

Основные компоненты пепла характеризуются следующими показателями преломления.

Стекло: 1,504—1,509, что соответствует содержанию 69—72% SiO₂.

Плагиоклаз: Пд1,560—1,563; Пр1,551—1,555, что соответствует содержанию аноритовой молекулы 45—46%.



Фиг. 7. Кумулятивная кривая гранулометрического состава пеплов в полулогарифмическом масштабе:

1 — материал агломератового потока; 2 — пепел Апахончича; 3 — пепел у кратера Карпинского; 4 — первая порция пепла в пос. Ключи; 5 — вторая порция пепла в пос. Ключи

Т а б л и ц а 4

Гранулометрический состав пеплов и материала агломератового потока
(Фракции 0,25-0,01 определены по методу Сабанина)

Место взятия	Размер фракции, мм										
	>10	>7	>5	>3	>2	>1	0,5	0,25	0,25— —0,05	0,05— —0,01	<0,01
Пепел в пос. Ключи. 1-я порция	—	—	—	—	—	—	—	—	65,1	14,8	19,9
Пепел в пос. Ключи. 2-я порция	—	—	—	—	—	—	—	—	79,0	7,65	13,2
Пепел у Апахончича	—	—	—	—	1,87	4,85	17,7	7,6	29,7	22,5	14,6
Пепел у кратера Карпинского	—	—	—	—	3,7	2,57	17,8	14,0	38,08	16,3	9,6
Материал потока	4,45	0,56	0,96	3,82	4,7	14,11	13,76	23,29	31,71	1,77	0,67

Т а б л и ц а 5

Минеральный количественный состав пеплов
(Фракция 0,25 мм), %

Минерал	Место взятия проб				
	Ключи I	Ключи II	Апахончич	Кратер Карпинского	Поток
Стекло с микролитами (кусочки основной массы)	53	51,1	50	50,9	51,2
Плагиоклаз	41	38,9	40	36,8	38,4
Роговая обманка	4,2	6,9	6	7,2	7,2
Пироксен	1,1	1,9	2,7	3,6	2,8
Магнетит	0,7	1,2	1,2	1,3	0,7

Таблица 6

**Минеральный состав по разделению в тяжелой
жидкости — бромоформа**
(фракция 0,25 мм), %

Место взятия проб	Легкая фракция	Тяжелая фракция
Ключи I	93	7
Ключи II	99,5	10,5
Ст. Апахончич	90	10
Кратер Карпинского	87,5	12,5
Поток	99	11

Роговая обманка: Пд 1,697—1,701; Пр 1,684—1,689.

Авгит в основной массе: Пд1,698; Пр 1,678.

Для ряда образцов пепла была определена его магнитная восприимчивость c . Она колеблется от 760 до 1430 ед. CGSM на 1 см^3 .

Обращает на себя внимание большая разница в магнитной восприимчивости в первой и второй пробах пепла, взятых в Ключах на территории Вулканостанции в 14 и 18 часов 26 марта. х, отнесенная к 1 см^3 , для первой составляет 777 ± 20 (интервалы доверия Стьюдента), для второй— 1105 ± 35 . Удельный вес первой пробы $1,27 \text{ г/см}^3$, второй— $1,36 \text{ г/см}^3$.

Среднее значение c , отнесенное к 1 г породы для первой пробы, составляет 610 ± 16 ед. CGSM, для второй— 810 ± 26 ед. CGSM. Разница в значениях c объясняется различным содержанием в породе магнетита и общего железа (см. табл. 5, 7).

Совершенно очевидно, что выпавший пепел обладал естественной направленной намагниченностью, хотя замерить ее из-за тонкости пеплового слоя мы не имели возможности.

Растворимая часть. В табл. 8 приведены анализы водных вытяжек пепловых проб. Растворимая часть составляет приблизительно три тысячных от общего количества воздушно-сухого пепла. Принимал общее количество пепла равным $1\,750\,000 \text{ т}$, получаем количество растворимой части 5833 т . Основными анионами являются Cl^- и SO_4^{2-} , основными катионами— Ca^{+2} , Na^{+1} , Mg^{+2} . Спектральным анализом в сухом остатке обнаружены Mo, V, Si (табл. 9).

Таблица 7

**Результаты химического анализа пеплов
вулкана Безымянного, собранных на территории
Вулканостанции 27.III 1961 г., %**
(Аналитик В. С. Скорохова)

Компоненты	Пепел первого сбора (пос. Ключи, 27.III 1961 г.) в 14 час. 00 мин.	Пепел второго сбора (пос. Ключи, 27. III 1961 г.) в 18 час. 00 мин.
SiO_2	61,9	60,0
TiO_2	0,67	0,54
Al_2O_3	17,56	19,03
Fe_2O_3	3,96	4,33
FeO	2,25	2,58
MnO	0,26	0,27
MgO	2,60	2,35
CaO	5,44	6,43
Na_2O	3,84	3,80
K_2O	0,90	0,81
H_2O	0,07	0,07
П.п.п.	0,02	0,2
Сумма	99,65	100,41%

Таблица 8

Водные вытяжки пеплов вулкана Безымянного, собранных на территории Вулканостанции 26.III 1961 г. (мг на 100 г. воздушно-сухого материала)
(Аналитик В. С. Скорохова)

Компоненты	Пепел первого сбора в Ключах		Пепел второго сбора в Ключах		Песок с агломератового потока
	снеговая вытяжка	водная вытяжка в течение 50 часов	снеговая вытяжка	водная вытяжка в течение 50 часов	водная вытяжка
SiO_4^{-2}	23,0	1,2	20,1	1,32	Не обнаруж.
Cl^-	45,5	47,0	48,3	61,75	19,0
Сумма	68,5	48,2	68,4	63,07	19,0
Na^+	20,43	Не обнаруж.	8,29	Не обнаруж.	Не обнаруж.
K^+	4,2	»	6,1	»	»
Ca^{2+}	26,1	7,07	28,53	5,0	5,72
Mg^{2+}	9,0	4,9	6,15	8,3	1,4
Fe^{2+}		Не обнаружено			
Fe^{3+}	0,9	»	0,34	»	»
Al^{3+}	1,56	2,43	6,65	0,32	на
Tl^{4+}		Не обнаружено			0,53
Сумма	62,19	14,4	56,06	13,62	7,65
H_2SiO_3	9,03	40,8	3,4	4,93	5,2
Сумма	139,72	103,4	127,86	81,62	31,83
Сухой остаток . .	200,0		160,0		36,0
pH	5,5		5,5		5,5

Таблица 9

Данные спектральных анализов сухих остатков после выпаривания водных вытяжек из пеплов и возгонов вулкана Безымянного
(Аналитик А. М. Сапожникова)

	Сухой остаток водной вытяжки из пепла, собранного в Ключах	Сухой остаток водной вытяжки из песка агломератового потока	Зеленый возгон с агломератового потока
Mn	00п +	0,0п +	0,п -
Ga	—	0,00п -	0,00п -
Mo	0,00п -	0,00п	
V	0,0п -	0,0п +	0,000п +
Cu	0,00п	~0,01	0,00п +
Na	0,п	п/п +	п
Ti	0,0п	0,п -	0,п -
Co	—	—	0,00п
Ni	—	0,00п	0,00п -
Zr	—	0,0п -	—
Mg	п -	п	0,0п
Si	п -	п/п +	п +
Al	0,п -	п	0,п
Fe	0,0п	0,п +	п
Cr	—	0,00п	—
Ca	п	п/п +	0,0п -
Sr	Не определено	0,0п +	Не определено
Ba	—	0,0п +	—

Агломерато-грязевые потоки

Выброс большого количества пепла в первой половине дня 26 марта сопровождался, по-видимому, извержением агломератового материала. Извержение горячего агломератового материала вызвало бурное таяние снега в окрестностях кратера и образование грязевых потоков. Вновь образованные агломерато-грязевые потоки исследовались нами 31 марта, 1 и 4 апреля.

Общая длина наиболее длинного языка агломерато-грязевого потока составляла около 30 км. На этом расстоянии изменялись как мощность, так и фациальный состав материала. Грязевой поток низвергался в р. Хапицу двумя языками — по руслу ручья Лагерного и несколько сот метров выше устья последнего, но ниже устья ручья Широкого. Здесь он образовал высокий и широкий грязепад. Окончание грязевого потока в русле р. Хапицы представляло собой язык шириной 6—10 м. Конец этого языка был прижат к левому борту каньона р. Хапицы. Толщина грязевого потока 10—20 см, его краев 5—6 см. Ширина потока 6—10 м выдерживалась по руслу Хапицы почти повсюду; «Замерзшая грязь» представляла собой взвешенный в талой снежной воде вулканический пепел. При расколе молотком она давала раковистый излом. Застывший слой грязи не был однородным. В нем довольно отчетливо выделялись три слоя: нижний — с многочисленными порами 1—2 мм, средний — 0,3—0,8 мм и верхний — с редкими и мелкими порами. Грязевый поток местами занимал все русло каньона. Мощность в 10—20 см. В русле Хапицы на поверхности потока встречались сравнительно небольшие обломки андезита (соответствующего материалу купола) диаметром 10—30 см. Местами на поверхности грязевого потока встречались застывшие лужи, а также следы течения по потоку ручьев воды. Скорость грязевого потока была очень велика: на поворотах он «захлестывал» борта речки на 1,5—2 м. Через небольшие препятствия грязевой поток переливался, а большие обтекал. На обрывах русла грязевой поток образовывал грязепад. Мощность грязевого потока вверх по руслу Хапицы постепенно увеличивалась. Становилась больше и величина влекомых потоком камней.

На поверхности старого агломерата выше камня Амбон мощность грязевого потока была уже 20—40 см. Отсюда было видно несколько рукавов грязевых потоков, тянущихся в направлении от кратера вулкана. «Замерзшая грязь», так же как и по руслу Хапицы, лежала на толстом слое снега. В общей массе материала грязевых потоков здесь было уже довольно много крупных камней диаметром 1 м. Эти камни часто лежали в довольно глубоких ямах (глубиной 1 м или больше), которые образовались вследствие протаивания снега под еще горячими камнями. Мощность грязевого потока и в верхней части, по-видимому, не превышала 1—1,5 м.

В 4—5 км от кратера материал грязевого потока переходит в горячий агломератовый материал. Мощность его составляет 2—6 м. При осмотре свежего агломератового материала 1 и 4 апреля 1961 г. на поверхности его отмечено много небольших фумарол с температурой 300—400°. Основную массу агломератового материала составляют вулканическая пыль и песок (60—70%), а остальную (30—40%) — мелкие и крупные обломки андезита, соответствующие в основном материалу купола. Чем ближе к кратеру, тем больше в агломерате крупных глыб. Некоторые крупные глыбы в 40—50 м³ 1 и 4 апреля были теплыми, некоторые из них настолько горячими, что положенная на них бумага загоралась. Вулканическая пыль с поверхности остыла, но на глубине

15—20 см температура ее достигала 220—250°. Горячая пыль была насыщена газом и казалась вязкой.

Отложения агломерато-грязевого потока снизу вверх представляют собой последовательную сумму отложений в таком порядке: 1) холодный грязевый поток, который из-за низкой температуры не может растопить под собой сколько-нибудь значительное количество снега; 2) горячий грязевый поток, активно растапливавший под собой снег, причем более крупные горячие камни уже после остановки потока проплавливали снежный покров на всю его толщину; 3) горячий агломератовый материал, из-под которого снежный покров был удален предшествовавшими порциями агломерата.

Общее количество агломератового материала грубо оценивается в 450 000 т.

4/5) Обращает на себя внимание тот факт, что основную массу (около 4/5) изверженного материала составляет вулканический пепел, выпавший тонким слоем из пепловых туч на большой площади, и только приблизительно 1/5 часть — агломератовый материал.

Гранулометрический и минеральный состав тонкого материала агломератового потока в сравнении с составом пепловых проб отражен в табл. 4, 5 и 6 и на графике (фиг. 7). Магнитная восприимчивость s на 1 см^3 у тонкого материала агломератового потока колеблется в пределах от 1050 ± 20 до 1640 ± 40 ед. CGSM. Этот материал обладает и направленной естественной намагниченностью. Среднее значение угла наклона α по четырем образцам сухого материала кубической формы равно $55^\circ 17'$. Среднее значение угла склонения β $23^\circ 30'$ на восток. Восточное склонение получилось во всех четырех образцах и объясняется оно, очевидно, восточным направлением движения потока. Четко выраженной естественной направленной намагниченностью обладал замерзший грязевый поток. Шесть образцов, взятых с окончания языка грязевого потока, дали следующий средний результат: $\alpha = 71^\circ 40'$, $\beta = 7^\circ 30'$ на запад, что совпадает с направлением местного геомагнитного поля.

В табл. 8 приведены данные анализа водной вытяжки из тонкого материала агломератового потока, взятого еще в горячем состоянии. Общее количество растворимых веществ составило 360 г на 1 т или 162 т на 450 000 т воздушно-сухого материала. Основным анионом является Cl^- основными катионами — Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} . В табл. 9 приведены данные спектрального анализа сухого остатка водной вытяжки. В местах выходов газа (температуры 300—400°) на агломератовом потоке образовались налеты возгонов зеленого цвета.

По определению И. Б. Никитиной, возгоны представляют собой смесь основных и средних хлористых солей и гидроокиси железа. Спектральным анализом в них обнаружены V, Cu, Co, Ni (см. табл. 9).

Изменения в лавовом куполе

В течение извержения купол сильно изменил свою форму. Его «корона» как бы сползла на бок. Купол вырос на несколько десятков метров. Вершина купола после извержения стала почти вровень с гребнем кратера. Еще более заметно купол увеличился вширь. Холодная корка на куполе в значительной мере обвалилась. Наружу выступили горячие внутренние части его и порции лавы, поступающие из его корней. Купол очень сильно растрескался. Крупные трещины в ней хорошо видны в стереотрубу со станции Апахончич и фиксируются рядами сильных фумарол. Лавины горячих камней, скатывавшиеся с купола, представ-

ляли собой, по-видимому, явление, сопровождавшее частичное разрушение купола в процессе его роста. Основание купола окружено шлейфом крупных камней, скатившихся с лавинами. 31.III 1962 г. многие из этих камней были горячими и положенная на них бумага немедленно загоралась, а дерево обугливалось. Из трещин крупных камней (объем многие десятки кубических метров) часто действовали фумаролы, температура которых превышала 500° . Эти фумаролы, подобно фумаролам, действовавшим на горячем агломератовом потоке, отлагали в трещинах камней зеленые возгоны хлоридов железа.

ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ ИЗВЕРЖЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВА УЧАСТВОВАВШИХ В ИЗВЕРЖЕНИИ ГАЗОВ

Известно, что источником энергии извержения является тепло, а газ — его основной движущей силой или, по выражению Грейтона, «трансформатором» тепловой энергии магмы в механическую энергию извержения. Известно также, что этот «трансформатор» способен переводить в кинетическую энергию лишь незначительную часть тепловой энергии магмы. Однако конкретные оценки энергии извержения, несмотря на их, как правило, ориентировочный характер, имеют, несомненно, очень большой интерес, тем более что дают возможность приблизительно оценивать и количество участвовавших в извержении газов.

Количество тепла, «извергнутого» из недр Земли вместе с продуктами извержения и переданного этими продуктами в короткий срок атмосфере, может быть более или менее точно определено по следующей формуле: $Q = mc(t_1 - t_2)$, где m — масса извергнутого материала, c — его теплоемкость, а $(t_1 - t_2)$ — разница между температурой магмы и температурой атмосферного воздуха:

$$\begin{aligned}
 m &= 2,2 \cdot 10^{12} \text{ г}; \\
 c &= 1 \text{ дж/г} \cdot \text{град}; \\
 t_1 - t_2 &\approx 1000^\circ; \\
 Q &= 2,2 \cdot 10^{12} \text{ г} \cdot 1 \frac{\text{дж}}{\text{г} \cdot \text{град}} \cdot 1000^\circ = 2,2 \cdot 10^{15} \text{ дж} = 2,2 \cdot 10^{22}
 \end{aligned}$$

Кинетическая энергия извержения E может быть определена по формуле

$$E = \frac{mU^2}{2},$$

где U — средняя начальная скорость продуктов извержения. Определение U в нашем случае представляет большую трудность и, конечно, не может быть сделано точно.

Для определения U имеются лишь следующие исходные данные: φ — угол между направлением взрыва и горизонтом (фиг. 3) и R — расстояние от места взрыва, на которое были выброшены обломки. При этом R не есть вполне определенная величина. За R может быть принято, в частности, среднее расстояние, на которое выпала основная масса лапилли весом $0,5 \text{ г}$ (приблизительно 14 км). Однако нам не представляется возможным учесть влияние на R сопротивления воздуха, с одной стороны, а с другой, — противоположное влияние ветра

(направление ветра совпадало с направлением взрыва). По-видимому, все же лапилли существенно относились ветром. Поэтому если пренебречь воздушным влиянием на R , величина, получаемая по формуле

$R = \frac{U^2 \sin 2\varphi}{g}$ при $R=14$ км, $\varphi=60^\circ$, $g=9,8$ м/сек², равная приблизительно 400 м/сек, оказывается завышенной. Возможно, с другой стороны, принять за R среднее расстояние, на которое были выброшены с пылево-газовой тучей обломки, входящие в состав агломерата (приблизительно 2 км), пренебрегая при этом воздушным влиянием.

Начальная скорость, определенная по $R=2$ км и $\varphi=60^\circ$, равна приблизительно 150 м/сек. Очень вероятно, что истинное значение средней начальной скорости полета продуктов взрыва заключено в пределах 150—400 м/сек (среднее 275 м/сек). Тогда, очевидно, кинетическая энергия взрыва, определенная по формуле (1) при $m = 2,2 \cdot 10^{12}$ г (масса всех продуктов взрыва), будет заключена в пределах $2,48 \cdot 10^{21}$ — $1,76 \cdot 10^{21}$ эрг (среднее значение 10^{21} эрг). Это составляет от 1,1 до 8% тепловой энергии, выделяемой при извержении.

Зная объем ювенильного пирокластического материала v , образовавшегося при вулканических взрывах (без учета объема пор), и энергию этих взрывов E , по формуле

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

можно определить количество газов x (в весовых процентах от веса магмы), произведших работу взрыва при адиабатическом расширении от некоторого объема V_p , занимаемого газом в магме к моменту взрыва, до объема V_v , который он займет при атмосферном давлении. Если предположить (а это вполне вероятно), что кинетическая энергия составляет подавляющую часть всей энергии взрыва, то полученная приблизительная оценка кинетической энергии взрыва может быть при этом использована при выводе формулы (2, см. Мархинин, 1958).

V_i взято равным 3, из предположения некоторых идеальных условий, — плотной упаковки одинаковых газовых пузырьков в однородной жидкости. Безусловно, что эти идеальные условия фактически никогда не соблюдаются и объем V_i может быть и несколько больше и несколько меньше, чем $3v$. Больше — благодаря тому, что газовые пузырьки в магме разного размера, меньше — благодаря наличию в магме кристаллической фазы. Имея в виду большое количество кристаллической фазы в пепле извержения (более 50%), следует считать вероятным, что $v < V_i < 2v$. При $V_i = v$ формула [2] получает вид $E = 10^8 v x (2,8x - 1)$, при $V_i = 2v$ $E = 10^8 v x (2,3x - 1)$.

Определяя по этим формулам количество газовых компонентов, участвовавших во взрывах, для значений E , равных $2,48 \cdot 10^{20}$ и $1,76 \cdot 10^{21}$ эрг, при $v \approx \frac{2,2 \cdot 10^{12}}{2,54} \text{ см}^3 = 8,8 \cdot 10^{11} \text{ см}^3$ получаем соответственно 5,5; 1,4; 6,6; 1,7%.

Давление газа в магме перед взрывом P_1 может быть определено, исходя из формулы Пуассона

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma, \quad (3)$$

где P_2 — атмосферное давление, а γ — отношение теплоемкости газа при

Выделение кристаллической фазы в магме является, по-видимому, важнейшим фактором, в некоторых случаях увеличивающим ее взрывчатость вследствие увеличения тазового давления, вероятно, в 1,5—2 раза.

постоянном давлении к его теплоемкости при постоянном объеме. Считая водяной пар основной летучей компонентой, возьмем $V_2 = XVV_0$, где $V_0 = 1,24 л$ — объемный вес водяного пара при нормальных давлениях. Значение V_1 , по сделанному предположению, колеблется в пределах от $V_1 = v$ до $V_1 = 2v$. Подставляя в формулу [3] значения v , определенные для значений x , равных 1,4, 6,6%, и V_2 , разное v и $2v$, получаем соответственно P_1 равным 137, 1012, 55, 414 *атм*. Истинное значение P_1 заключено, вероятно, внутри крайних значений (55—1012 *атм*). Приведенные оценки кинетической энергии извержения, количества газовых компонентов, участвовавших во взрывах, и давления газов в магме перед взрывом являются, естественно, сугубо ориентировочными, однако полученные пределы величин представляются вполне вероятными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Со времени катастрофического извержения вулкана Безымянного в 1956 г. произошло еще несколько его извержений. Они происходили периодически, сила их возрастала (особенно весной 1961 г.), хотя интервалы между ними увеличивались. В результате более сильных извержений происходят выпадение вулканического пепла на больших площадях, образование агломератовых потоков, выжимание экструзивного купола. Причем основную массу извергаемого материала составляет пепел, выпадающий на больших площадях, главным образом за пределами вулканической постройки. Существует четкая связь более сильных извержений вулкана Безымянного с его сейсмической активностью, позволившая, в частности, заранее предвидеть время пароксизма последнего извержения (с ошибкой семь дней). Сила извержения и количество извергнутого материала тем больше, чем больше суммарная энергия предшествующих ему землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

- Гущенко И. И. Деятельность вулканов Северной Камчатки в 1957 г. Бюлл. Камч. вулканолог. станции, 1960, № 29.
- Мархинин Е. К., Башарина Л. А., Борисов О. Г., Борисова В. Н., Пугач В. Б., Тимербаева К. М., Токарев П. И. Изучение состояния вулканов Ключевой группы и вулкана Швелуч в 1958—1959 гг. Бюлл. Камч. вулканолог. станции, 1962, № 31.
- Мархинин Е. К., Алыпova О. М., Никитина И. Б., Пугач В. Б., Токарев П. И. Изучение состояния вулканов Ключевой группы и вулкана Швелуч з 1960 г. Бюлл. Камч. вулканолог. станции, 1962, № 32.
- Токарев П. И. и Борисова В. Н. Извержение сопки Безымянной в апреле 1960 г. Бюлл. Камч. вулканолог. станции, 1962, № 31.
- Мархинин Е. К. О количестве ювенильной воды, участвующей в вулканических взрывах. Докл. АН СССР, 1958, т. 119, № 3.
- Токарев П. И. Энергетическая оценка силы землетрясений вулкана Безымянного. Бюлл. Камч. Вулканолог. станции, 1962, № 31.