

Л. А. БАШАРИНА

## ФУМАРОЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННОГО В 1956—1957 гг.

22 октября 1955 г., впервые в историческое время, началось извержение вулкана Безымянного, которое сопровождалось сильными взрывами и выбросом мощных пепловых туч, насыщенных газами и пронизываемых молниями. Пепел выпадал на сотни километров вокруг вулкана. В окрестных селениях слой пепла достигал 5 см, а у подножья вулкана — нескольких десятков сантиметров.

30 марта 1956 г., спустя почти полгода после начала действия вулкана, произошло наиболее сильное его извержение. Грандиозный взрыв выбросил густое черное облако, он сопровождался мощным пеплопадом, от которого днем наступила непроницаемая тьма (фиг. 1).

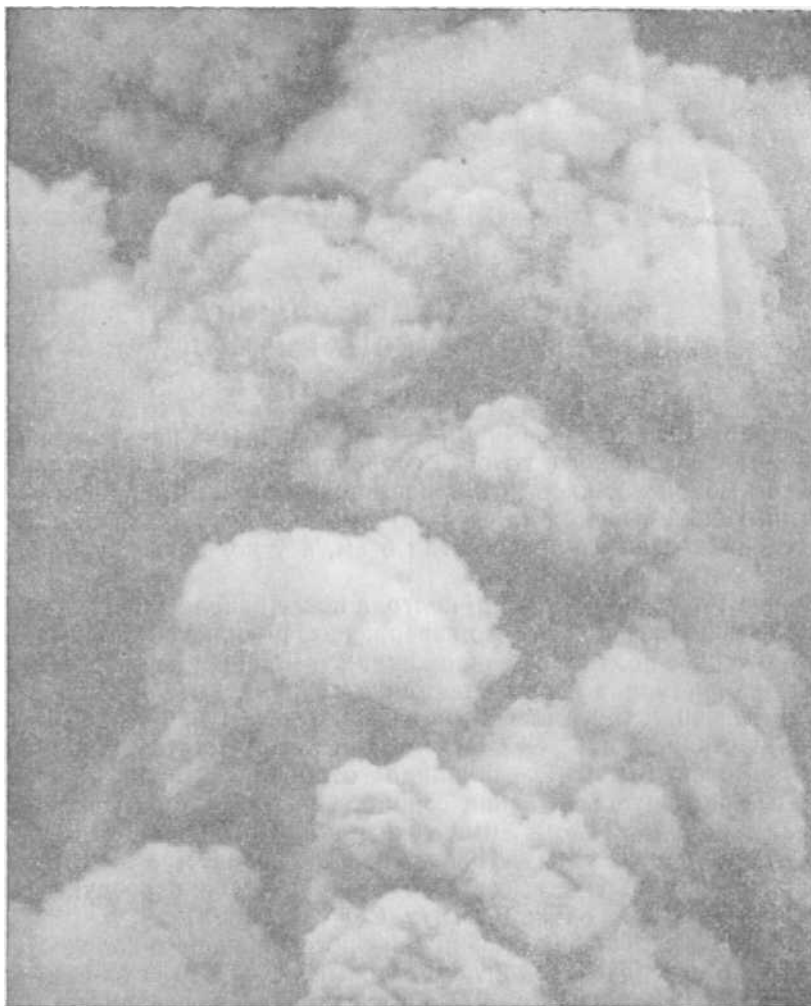
В пос. Ключи, в 45 км от центра извержения, на территории Вулкано-логической станции АН СССР автором этой статьи и лаборантом Н. С. Классовой, в момент пеплопада отбирались пробы воздуха. В воздухе сильно ощущался запах сернистого газа, который вызывал кашель; глаза забило пеплом. Химическим анализом в воздухе были определены вулканические газы —  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , количества которых значительно превышали допустимые концентрации газов в воздухе ( $\text{HCl}$  — свыше 0,1 мг/л,  $\text{SO}_2$  — около 0,3 мг/л,  $\text{CO}_2$  — 2,2 мг/л).

В результате сильной эксплозии с выбросом большого количества пепла и глыб лавы образовался агломератовый поток. На потоке во многих местах встречались обугленные ветки кустарника. С поверхности потока на протяжении 12 км поднимались тысячи струй пара и газа вторичных фумарол. Фумарольная деятельность вулкана Безымянного исследовалась на агломератовом потоке. В это время еще продолжался рост купола, были отмечены частые и довольно сильные взрывы, которые представляли опасность для исследования первичных фумарол.

По характеру отложений и составу газовой фазы на потоке были исследованы четыре фумарольных поля (фиг. 2).

Наиболее активное фумарольное поле расположено в центральной части потока (фиг. 2, 1). Фумаролы линейно вытянутые, по-видимому, вдоль погребенного русла реки. Температура газа у выхода колебалась в пределах 98—105. Газ и пар пробивались из продольных трещин, образовавшихся на участках потока, где пепел хорошо сцементировался и способствовал естественному каптажу фумарол. Устье фумарол инкрустировано возгонами серы желтого цвета; верхний слой возгонов покрыт хрупкими игольчатыми кристалликами. Сера отлагалась также под слоем пепла в виде небольших кусочков или тонких корочек.

Фумарольное поле, расположенное в краевой части потока, представляло собой площадку, покрытую сплошной коркой из различных сульфидов.



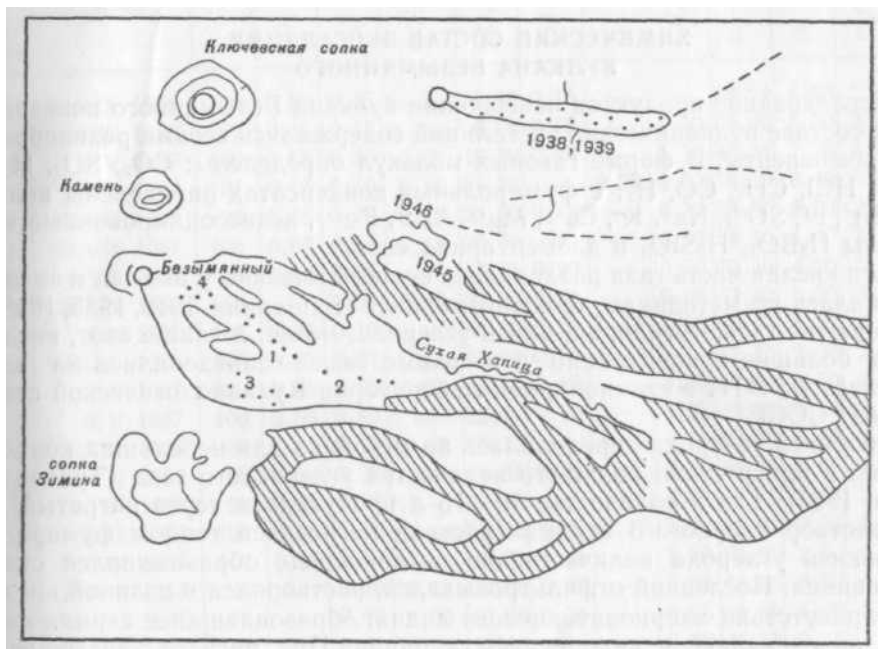
Фиг. 1. Извержение вулкана Безымянного 30 марта 1956 г.  
Вид из пос. Ключи. Фото Н. К. Классова

фатов (фиг. 2, 2). Сквозь корку пробивались струйки газа и пара с температурой от 98 до 110°. В газовой фазе, особенно в начальном периоде фумарольной деятельности, сернистый газ преобладал над сероводородом, а конденсаты фумарольных газов содержали максимальные концентрации сульфатов.

По правому берегу р. Сухой Хапицы, у склона сопки Зиминой, фумарольное поле граничило с грязевым потоком (фиг. 2, 3). Струи газа и пара пробивались из грязи. Газовая фаза состояла преимущественно из водяного пара; в сухом газе преобладал углекислый газ и содержались незначительные количества сероводорода и сероокиси углерода. Температура пара и газа колебалась от 92 до 96°. У выхода газа и в небольших лужах осаждалась сера в виде тонкого желтого налета.

Слабо действующие фумаролы (фиг. 2, 4) наблюдались на потоке выше растительной зоны (абс. выс. 1050—1110 м). Они расположены на

участках агломератового потока с небольшой мощностью. Эти фумаролы едва заметно парили, в газовой составляющей их содержались водяной пар и незначительные концентрации углекислого газа. Возгонов не осаждалось. Температура пара не превышала 45—50°.



Фиг. 2. Схема агломератового потока — расположение фумарольных полей вулкана Безымянного

1, 2, 3, 4 — фумарольные поля

На агломератовом потоке были отмечены выходы фумарол с температурой до 200°. Такие фумаролы обычно были приурочены к более мощным агломератам. Фумаролы характеризовались меньшим содержанием водяного пара; в сухом газе присутствовали углекислый газ и незначительные концентрации сернистого газа. Возгоны состояли из сульфатов и хлоридов.

Севернее агломератового потока, в верховьях р. Каменской, в августе 1957 г. И. И. Гущенко были отмечены фумаролы с температурой до 440°.

Это фумарольное поле было расположено по гребню холма; мощность агломерата здесь составляла 60—65 м. Фумарольное поле было сложено спекшейся лавой красного цвета. Возгоны отлагались на лаве тонким налетом, который состоял из хлоридов и сульфидов. По-видимому, на этих участках потока происходили вторичные разогревания за счет окислительных процессов или за счет первичной высокой температуры, сохранившейся под мощным слоем агломерата.

Кроме фумарол потока, в апреле и в августе 1957 г. были исследованы фумаролы нижней части купола вулкана Безымянного, расположенные на высоте 2300 м. Эти фумаролы представляли собой хаотический навал глыб; из трещин с довольно сильным шумом выделялся пар. Температура, газа не превышала 95°. На холодных глыбах осаждались возгоны

сульфатов и серы. В газовой фазе содержались водяной пар, углекислый газ и небольшие концентрации сероводорода, окиси углерода и водорода. Сбор материала производили Г. Е. Богоявленская, Г. С. Горшков и И. И. Гущенко.

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЭКСГАЛЯЦИИ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННОГО

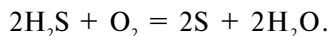
Исследование продуктов извержения вулкана Безымянного показало, что в составе вулканических эксгаляции содержались весьма разнообразные компоненты. В форме газовых молекул определены:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{COS}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ; в фумарольных конденсатах определены ионы:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , недиссоциированные молекулы  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  и элементарная сера.

Вся кислая часть газа разделялась непосредственно у выхода и анализировалась по методикам, описанным ранее (Башарина, 1949, 1955, 1958).

Горючие газы — водород, окись углерода, метан, а также азот, кислород и большие концентрации углекислого газа — определялись на газоанализаторе ВТИ в стационарной лаборатории Вулканологической станции АН СССР.

Сероокись углерода определялась по методике для небольших концентраций в присутствии большого количества углекислого газа (Тредвелл, Голл, 1935). Газ в количестве 10—15 л пропусклся через нагретый до  $50^\circ$  раствор хлористого свинца (раствор нагревался теплом фумарол). Сероокись углерода количественно поглощалась, образовывался сульфид свинца. Последний отфильтровывался, растворялся в соляной кислоте в присутствии хлорноватокислого калия; образовавшаяся серная кислота определялась в виде сульфата бария. При расчете учитывалось содержание сероводорода в газе.

В табл. 1 и 2 представлены результаты химического анализа фумарольных газов вулкана Безымянного. Из анализов видно, что в газовой фазе в значительных количествах содержался водяной пар от 0,65 до 18,0 г/л (90—98% объема газа). В сухом газе содержалось от 18 до 50% фумарольных газов (табл. 1), состоящих из  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{COS}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , остальная часть газа была представлена кислородом и азотом (как примесь воздуха). Воздух был сильно обеднен кислородом, в отдельных пробах газа отношение  $\text{N}_2:\text{O}_2 = 50$  вместо 3,7 в атмосфере. По-видимому, кислород воздуха расходовался на окисление главным образом сероводорода по реакции



В газовой составляющей преобладал углекислый газ, в некоторых пробах его содержалось до 43%, метана до 9,5%, а сероводорода до 3,5%. Остальные компоненты ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{COS}$ ,  $\text{H}_2$ ) присутствовали в количествах от 0,05 до 0,35%.

Следует отметить, что газовая фаза потока имела необычный для вторичных фумарол состав. Остановимся на некоторых особенностях состава газа и формирования фумарол потока.

Особенности в составе газа объясняются тем, что горячий агломеративный поток наложился на зону, богатую водой и растительностью. Высокотемпературные эксгаляции, попадая в иные геотермические и гидрогеологические условия, не могли сохраниться полностью в газовой форме. Компоненты легкорастворимые, как  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ , соединения брома, бора, а также большая часть сернистого газа три соприкосновении с водой, прекрашали свое существование в виде газов.

Таблица 1

Состав фумарольных газов вулкана Безымянного

№ фумарола	Дата взятия пробы	Т° фумарола	Компоненты газа, объем. %										Н <sub>2</sub> О, г/л	N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
			SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	COS	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>			
1	9.IX 1956	100	0,25	0,05	He опр.	21,80	0,15	—	—	69,25	8,50	2,85	8,1	
1	10.IX 1956	102	0,15	0,10	He опр.	26,50	0,15	—	0,20	66,40	6,50	3,05	10,2	
1	8.V 1957	100	0,08	0,36	0,20	42,80	0,20	—	5,10	43,55	7,70	4,52	5,6	
1	9.V 1957	101	0,15	0,40	0,15	34,30	—	0,20	6,30	50,10	8,40	3,74	5,9	
1	22.VII 1957	98	0,05	0,10	0,15	25,50	0,15	—	6,70	58,85	8,50	2,90	6,9	
1	23.VII 1957	100	0,07	0,14	0,15	20,50	—	—	6,20	68,10	4,80	3,15	14,1	
1	24.VII 1957	98	0,05	0,36	—	17,55	0,20	—	5,50	72,10	4,20	2,40	17,1	
1	25.VII 1957	98	—	0,08	0,12	24,60	0,15	—	6,60	63,40	5,00	3,00	12,6	
2	9.IX 1956	105	0,27	0,10	He опр.	38,10	0,20	0,15	0,35	59,63	1,20	3,10	49,7	
2	10.IX 1956	106	0,20	0,05	He опр.	40,10	0,15	0,10	—	57,15	2,25	2,50	25,4	
2	8.V 1957	100	0,05	0,25	0,25	26,50	0,15	—	5,30	61,00	6,50	4,93	9,4	
2	9.V 1957	100	0,06	0,46	—	22,8	0,20	—	4,90	60,80	10,75	3,65	5,6	
2	22.VII 1957	96	—	0,15	0,08	20,15	—	0,15	4,65	69,00	5,80	2,10	11,8	
2	23.VII 1957	98	—	0,22	—	21,85	0,20	—	5,90	65,75	6,05	2,23	10,8	
2	24.VII 1957	98	0,08	0,24	—	17,60	—	—	4,80	67,75	9,50	2,51	6,9	
3	9.IX 1956	100	0,05	3,40	He опр.	21,80	0,20	0,15	1,20	71,00	2,20	9,50	32,2	
3	10.IX 1956	102	0,08	3,00	He опр.	19,75	0,15	—	1,50	73,00	2,5	9,65	29,2	
3	23.VII 1957	98	—	0,25	0,15	20,05	0,15	—	7,65	68,55	3,20	4,22	21,4	
3	24.VII 1957	99	—	0,60	0,20	26,50	0,20	—	6,65	61,80	4,05	5,01	15,2	
3	25.VII 1957	98	—	0,35	0,25	21,90	—	—	7,80	66,55	3,15	4,62	21,1	
3	8.V 1957	96	—	1,04	0,35	36,50	0,15	0,20	6,10	53,10	2,55	4,91	20,8	
3	9.V 1957	95	—	1,60	0,25	24,60	—	0,15	4,50	66,10	2,80	6,20	24,0	
4	9.IX 1956	100	0,10	2,80	He опр.	23,50	—	—	0,85	70,00	2,75	7,25	40,0	
4	10.IX 1956	100	0,05	3,10	He опр.	25,40	0,20	—	0,45	69,00	1,80	6,80	38,3	
4	22.VII 1957	99	—	0,15	0,15	20,15	0,15	—	6,25	71,65	1,5	2,65	47,7	
4	24.VII 1957	98	0,04	0,15	0,30	17,10	0,15	—	6,30	73,90	2,05	2,95	36,0	
4	25.VII 1957	99	0,07	0,10	—	15,50	—	—	6,80	74,00	3,55	2,65	28,0	
5	23.VII 1957	46	—	—	—	0,25	—	—	—	81,25	18,50	0,96	4,3	
6	23.VII 1957	50	—	—	—	0,20	—	—	—	81,55	18,25	0,65	4,4	
7	23.VII 1957	98	—	0,15	0,10	9,80	0,15	0,20	—	75,10	14,50	5,40	5,1	
7	25.VII 1957	92	—	0,20	0,15	12,80	—	0,20	0,45	76,10	10,10	18,00	7,6	
8	23.VII 1957	99	—	0,25	—	21,40	—	0,15	4,25	62,45	11,50	1,45	5,4	
9	24.VII 1957	96	—	0,20	—	15,45	0,15	—	5,20	65,55	13,45	2,10	4,8	
10	24.VII 1957	98	—	0,16	—	14,85	0,20	—	3,65	68,65	12,50	3,15	5,4	
11	23.VII 1957	99	—	0,25	0,15	6,50	0,15	—	0,50	76,65	15,80	6,5	4,8	
12	25.VII 1957	99	—	0,20	—	11,85	0,20	—	0,85	70,45	16,45	4,12	4,2	
13	IV 1957	90	—	0,15	—	16,90	0,15	0,20	—	70,00	12,60	He опр.	5,5	
13	VIII 1957	95	—	0,25	—	17,20	0,15	0,25	—	65,45	16,70	He опр.	3,9	

Примечание.

- 1, 2 — фумаролы агломератового потока сульфатного поля.
- 3, 4 — фумаролы потока с отложениями элементарной серы.
- 5, 6 — фумаролы потока, расположенные выше растительной зоны.
- 7, 8 — фумаролы потока (грязевые) у сопки Зиминной.
- 9, 10, 11, 12 — фумаролы, расположенные в краевой части потока.
- 13 — фумарола кратера.

Таблица 2

**Состав фумарольных газов вулкана Безымянного**  
(после вычета воздуха)

№ фумарол	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	COS	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Сумма
1	1,12	0,22	—	98,00	0,66	—	—	100,00
1	0,55	0,36	—	97,82	0,55	—	0,73	100,00
1	0,16	0,74	0,41	87,81	0,41	—	10,46	99,99
1	0,36	0,96	0,36	82,65	—	0,48	15,18	99,99
1	0,15	0,30	0,46	78,10	0,46	—	20,53	100,00
1	0,25	0,50	0,55	75,75	—	—	22,95	100,00
1	0,21	1,52	—	74,25	0,84	—	23,18	100,00
1	—	0,25	0,38	78,10	0,47	—	20,80	100,00
2	0,69	0,25	—	97,30	0,50	0,38	0,88	100,00
2	0,15	0,77	0,77	81,59	0,46	—	16,26	100,00
2	0,21	1,62	—	80,25	0,70	—	12,22	100,00
2	0,49	0,12	—	98,76	0,37	0,24	—	99,98
2	—	0,59	0,31	80,24	—	0,31	18,55	100,00
2	—	0,78	—	77,56	0,71	—	20,94	99,99
2	0,35	1,05	—	77,55	—	—	21,05	100,00
3	0,20	12,86	—	81,18	0,74	0,56	4,45	99,99
3	0,32	12,26	—	80,65	0,61	—	6,12	99,96
3	—	2,66	0,78	82,00	0,34	0,45	13,77	100,00
3	—	5,14	0,80	79,10	—	0,48	14,46	99,98
3	—	0,88	0,53	72,75	0,53	—	25,31	100,00
3	—	1,76	0,58	77,55	0,58	—	19,53	100,00
3	—	1,16	0,83	72,27	—	—	25,74	100,00
4	0,36	10,28	—	86,25	—	—	3,11	100,00
4	0,17	10,60	—	87,00	0,68	—	1,55	100,00
4	—	0,56	0,56	74,04	0,56	—	23,27	99,99
4	0,15	0,62	1,24	71,25	0,62	—	26,12	100,00
4	0,31	0,44	—	69,00	—	—	30,25	100,00
7	—	1,44	0,96	94,23	1,44	1,93	—	100,00
8	—	0,96	—	82,25	—	0,57	16,22	100,00
9	—	0,95	—	73,57	0,71	—	24,75	99,99
10	—	0,85	—	78,74	1,06	—	19,35	100,00
11	—	3,32	1,98	86,09	1,98	—	6,63	100,00
12	—	1,55	—	90,35	1,55	—	6,55	100,00
13	—	0,85	—	97,15	0,85	1,15	—	100,00
13	—	1,40	—	96,36	0,84	1,40	—	100,00

Примечание.

О времени, месте взятия пробы см. примечание к табл. 1.

Как видно из табл. 1 и 2, газовая фаза потока была обогащена компонентами, наименее растворимыми в воде (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S). Из многочисленных анализов газа камчатских вулканов и других вулканических областей известно, что высокие концентрации метана не характерны для свежих эксгаляций при эруптивном состоянии вулкана.

По-видимому, газовую фазу фумарол потока представляли не только собственно вулканические газы, выброшенные с пепловой тучей и агло-

мератом во время эксплозий вулкана Безымянного. Здесь, несомненно, часть газа являлась генетически чуждой примесью вулканических эманаций. Принимая во внимание, что фумаролы потока возникли в результате выброса мощного слоя раскаленного материала на растительную зону, покрытую слоем снега мощностью более двух метров, вполне можно допустить, что в газовом режиме вторичных фумарол значительная роль принадлежала газам термометаморфического происхождения. В частности, образование метана генетически связано с высокими температурами И органикой; в газах фумарол, расположенных выше растительной зоны, метан не был обнаружен.

По наблюдениям процесс образования метана в природе весьма распространен и протекает всегда при наличии органики в условиях ограниченного доступа воздуха, при этом не обязательны высокие температура и давление (Козлов, 1950).

Аналитические данные говорят о том, что состав газовой фазы существенно менялся со временем, хотя температура газа оставалась почти постоянной в пределах 98—100°. Расхождение в составе газа сбора 1956—1957 гг. главным образом выражается в том, что в пробах за 1957 г. увеличилось количество метана от 0,25 до 9,5%, а содержание сернистого газа уменьшилось от 0,25% до 0.

По-видимому, изменение газового состава связано с происходящими химическими процессами. В начальном периоде фумарольной деятельности создавалась окислительная среда; в газах потока содержались максимальные количества сернистого газа, а в конденсатах пара—сульфаты И почти отсутствовал метан. Во втором периоде, наоборот, в результате химических процессов создавалась восстановительная среда, в анализе отмечено максимальное содержание метана и почти полное отсутствие сернистого газа, а в конденсатах заметно уменьшилось содержание сульфатов.

В литературе имеются указания на явления прямого окисления метана сульфатами при температуре около 100°, причем эта реакция идет и без катализатора, но она проходит быстрее в присутствии силикагеля (Козлов, 1950). Процесс окисления метана сульфатами может быть выражен такой реакцией:



Такая реакция может привести к образованию высоких концентраций сероводорода и углекислого газа, а также к полному уничтожению сульфатов и метана. Весьма вероятно, что подобные реакции имели место и при формировании газов потока, особенно в начальный период фумарольной деятельности.

Как отмечалось выше, в составе фумарольных газов, наряду с сероводородом и сернистым газом, содержалась сероокись углерода. Хартман (Ван-Беммелен, 1957), изучая вторичные газы извержения вулкана Мерапи в 1930—1931 гг., отметил, что газы с температурой около 100° содержали в своем составе до 3,5% сероокиси углерода. Хартман считает, что сероокись углерода образовывалась в результате соприкосновения углерода с серными газами при температуре около 450° (температура воспламенения или чаще обугливания дерева).

Учитывая, что при формировании фумарол потока вулкана Безымянного температура пепла была настолько высокая, что сгорали деревья, можно допустить, что сероокись углерода обязана своим присутствием в газах также вторичным реакциям при участии органического углерода.

Незначительные концентрации сероокиси углерода в газах потока, по-видимому, можно объяснить ее свойствами — в воде она растворяется довольно хорошо и постепенно гидролизуеться по схеме:  $\text{COS} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$ . Для более подробного изучения эксгаляций извержения вулкана Безымянного нами исследованы конденсаты фумарольных газов и вытяжек из пеплов.

Конденсация фумарольных газов происходила настолько быстро, что в течение часа самопроизвольно конденсировалось раствора в объеме до полулитра. Все полученные конденсаты опалесцировали, содержали свободную серу в дисперсном состоянии (15—195 мг/л), растворы слегка пахли сероводородом.

Рассматривая анализы (табл. 3 и 4), видим, что общая минерализация конденсатов фумарольных газов была сравнительно небольшой, максимальная ее величина достигала 490 мг/л. Главной составной частью минерализации конденсатов являются сульфаты. По отношению к общей минерализации они составляют более 40%. Все конденсаты имели кислую реакцию со значением pH от 3,1 до 4,5. Колебание концентрации ионов водорода, очевидно, связано с изменением, количества свободной серной кислоты. В начальный период фумарольной деятельности конденсаты были наиболее минерализованы и имели самое низкое значение  $\text{pH} = (3,1—4,0)$ . Характерно для конденсатов фумарольных газов потока незначительное содержание концентраций хлор-иона (до 28,0 мг/л).

Интересно отметить, что количество хлор-ионов очень мало менялось, практически оставалось таким же, как и в атмосферных осадках этого района. В табл. 4, кроме результатов анализов конденсатов потока, представлены данные анализа (№ 150) конденсата фумарольных газов купола. Следует отметить, что этот конденсат также был слабо минерализован (705 мг/л), причем почти 50% от общей минерализации составляли сульфаты. В отличие от фумарол потока в конденсате купола содержалось хлор-иона в четыре-пять раз больше. В составе катионов преобладали ионы кальция, затем — щелочные металлы (Na, K) и алюминий. Железа содержалось мало: очевидно, присутствие сероводорода способствовало образованию труднорастворимых соединений, в частности сульфида железа.

Катионы в конденсатах фумарольных газов обязаны своим происхождением выносу их из вмещающих пород кислыми газами.

С изменением газового режима фумарол в переносе породообразующих элементов возможно большую роль приобретает водяной пар. Ф. В. Чухров (1955) отмечает, что в результате взаимодействия с породами гидротермальных растворов количество свободной кислоты уменьшается, реакция растворов приближается к нейтральной. Это создает предпосылки для образования коллоидных растворов, которые могут переноситься в существенных количествах паром. Возможно, такой перенос элементов из вмещающих пород имел место и при конденсации фумарольных газов. Как отмечалось, конденсаты не представляли истинных растворов, все они опалесцировали не только от присутствия свободной серы, но и других коллоидных растворов или аэрозолей.

С. И. Набоко (1957), изучая конденсаты сольфатарных газов вулканов Курильских островов, отметила в них резко избыточное количество катионов по сравнению с тем, которое необходимо для химической связи с анионами. С. И. Набоко предполагает, что металлы могли быть в водяном газе и в растворе в виде окислов или других соединений в состоянии аэрозоля. Вообще при таких сложных условиях формирования фумарольных конденсатов трудно ожидать равновесного состояния.



## Состав конденсатов фумарольных газов вулкана Безымянного

Компоненты	Проба № 95		Проба № 96		Проба № 97		Проба № 98		Проба № 99		Проба № 100	
	г/л	мг-экв	г/л	мг-экв	г/л	мг-экв	г/л	мг-экв	г/л	мг-экв	г/л	мг-экв
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,1757	3,66	0,1740	3,56	0,1556	2,90	0,1850	3,85	0,1810	3,75	0,1526	3,18
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,0116	0,12	0,0190	0,20	0,0136	0,14	0,0140	0,14	0,0078	0,08	—	—
Cl <sup>-</sup>	0,0240	0,66	0,0210	0,59	0,0190	0,53	0,0185	0,52	0,0165	0,46	0,0210	0,59
С у м м а	0,2113	4,44	0,2140	4,35	0,1882	3,57	0,2175	4,51	0,2053	4,29	0,1736	3,77
H <sup>+</sup>	0,0008	0,80	0,0006	0,63	0,0004	0,40	0,0002	0,25	0,0006	0,63	0,0001	0,12
Na <sup>+</sup>	0,0150	0,65	0,0210	0,91	0,0132	0,57	0,0201	0,87	0,0260	1,13	0,0166	0,72
K <sup>+</sup>	0,0030	0,07	0,0040	0,10	0,0040	0,10	0,0050	0,12	0,0081	0,20	0,0051	0,13
Ca <sup>2+</sup>	0,0350	1,75	0,0302	1,51	0,0328	1,64	0,0370	1,85	0,0320	1,60	0,0289	1,44
Mg <sup>2+</sup>	0,0056	0,46	0,0052	0,43	0,0048	0,40	0,0062	0,51	0,0055	0,45	0,0061	0,50
Fe <sup>2+</sup>	0,0006	0,03	0,0015	0,05	0,0022	0,08	0,0026	0,09	0,0014	0,05	0,0012	0,07
Fe <sup>3+</sup>	0,0025	0,08	0,0012	0,06	—	—	0,0018	0,10	0,0027	0,03	—	—
Al <sup>3+</sup>	0,0060	0,65	0,0060	0,66	0,0035	0,38	0,0065	0,72	0,0035	0,40	0,0085	0,94
С у м м а	0,0685	4,50	0,0697	4,35	0,0609	3,56	0,0794	4,51	0,0778	4,49	0,0665	3,92
Сера элемент.	0,1950		0,1800		0,1150		0,1300		0,1050		0,0960	
H <sub>2</sub> S общий	0,0075		0,0120		0,0075		0,0060		0,0120		0,0100	
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0,0120		0,0185		0,0153		0,0102		0,0210		0,0140	
Общ. минерализац.	0,4943		0,4942		0,3869		0,4431		0,4211		0,3601	
pH	3,1		3,2		3,4		3,6		3,2		3,9	

Примечание к табл. 3 и 4.

Пробы 95, 96, 97, 98, 99 и 100 взяты 9 и 10 сентября 1956

» 130, 131 взяты 8 и 9 мая 1957 г.

» 143, 144 » 22 и 25 июля 1957 г.

Проба 150 фумаролы конуса взята 25 августа 1957 г.

Таблица 4

## Состав конденсатов фумарольных газов вулкана Безымянного

Компоненты	Проба № 130		Проба № 131		Проба № 143		Проба № 144		Проба № 150	
	г/л	мг-%КВ	г/л	мг-%КВ	г/л	мг-%КВ	г/л	мг-%КВ	г/л	мг-%КВ
$\text{SO}_4^{2-}$	0,1220	2,60	0,1085	2,25	0,0982	2,08	0,0967	2,10	0,2660	5,54
$\text{HSO}_4^-$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\text{Cl}^-$	0,0280	0,80	0,0210	0,59	0,0213	0,60	0,0214	0,60	0,0955	2,68
$\text{HCO}_3^-$	—	—	—	—	—	—	0,0360	0,59	0,1210	2,00
<b>Сумма</b>	<b>0,1500</b>	<b>3,40</b>	<b>0,1295</b>	<b>2,84</b>	<b>0,1195</b>	<b>2,68</b>	<b>0,1540</b>	<b>3,29</b>	<b>0,4825</b>	<b>10,22</b>
$\text{Na}^+$	0,0145	0,63	0,0115	0,50	0,0175	0,76	0,0184	0,80	0,0360	1,56
$\text{K}^+$	—	—	—	—	—	—	—	—	0,0105	0,26
$\text{Ca}^{2+}$	0,0296	1,48	0,0246	1,23	0,0220	1,10	0,0285	1,42	0,1200	6,00
$\text{Mg}^{2+}$	0,0069	0,50	0,0065	0,54	0,0055	0,42	0,0054	0,43	0,0105	0,87
$\text{Fe}^{2+}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\text{Fe}^{3+}$	0,0016	0,08	—	—	—	—	0,0014	0,07	0,0068	0,37
$\text{Al}^{3+}$	0,0062	0,91	0,0060	0,60	0,0050	0,55	0,0055	0,52	0,0104	1,15
$\text{H}^+$	0,0002	0,25	0,0008	0,80	0,0001	0,11	—	—	0,0002	0,25
<b>Сумма</b>	<b>0,0588</b>	<b>3,85</b>	<b>0,0486</b>	<b>3,67</b>	<b>0,0500</b>	<b>2,94</b>	<b>0,0592</b>	<b>3,24</b>	<b>0,1444</b>	<b>10,46</b>
$S_{\text{элемент}}$	0,0135	—	0,0186	—	0,0094	—	0,0255	—	—	—
$\text{H}_2\text{SiO}_3$	0,0120	—	0,0105	—	0,0095	—	0,0090	—	0,0280	—
$\text{H}_2\text{S}_{\text{общ.}}$	0,0062	—	0,0075	—	0,0030	—	0,0208	—	—	—
<b>Сумма</b>	<b>0,2405</b>	<b>—</b>	<b>0,2147</b>	<b>—</b>	<b>0,1914</b>	<b>—</b>	<b>0,2686</b>	<b>—</b>	<b>0,7049</b>	<b>—</b>
pH	3,6	—	3,1	—	3,9	—	4,5	—	4,1	—

Рассматривая данные анализов трех водных вытяжек пеплов, слагающих фумаролы (табл. 5), видим, что они по своему химическому составу были близки конденсатам. Вытяжки были взяты из разных фумарол, имели кислую реакцию (рН от 3,6 до 4,5). Наиболее кислые из них были получены из пеплов sulfateного поля. В растворе, так же как и в конденсатах, преобладали сульфаты. Все образцы пепла содержали в своем составе элементарную серу светло-желтого цвета в количествах от 0,3 до 1,0%. Интересно отметить, что растворимая часть эксплозий вулкана Безымянного находилась в водах сухих рек Ключевской группы вулканов довольно продолжительное время. Вода была настолько минерализована, что имела горько-кислый вкус, пить эту воду было невозможно даже спустя полгода после извержения — она представляла естественную вытяжку пеплов.

Таблица 5

**Водные вытяжки пеплов фумарол агломератового потока вулкана Безымянного в миллиграммах на 100 г воздушно-сухого материала**

Компоненты	Обр. 108	Обр. 109	Обр. 110
$\text{SO}_4^{2-}$	319,0	319,0	344,0
$\text{Cl}^-$	32,0	28,4	24,2
$\text{F}^-$	0,5	0,3	0,5
$\text{Br}^-$	0,2	Следы	Следы
$\text{J}^-$	Не обн.	Не обн.	Не обн.
<b>С у м м а</b>	<b>351,7</b>	<b>347,7</b>	<b>368,7</b>
$\text{Na}^+$	22,3	26,2	28,5
$\text{K}^+$	9,0	10,1	9,7
$\text{Ca}^{2+}$	100,0	107,0	97,0
$\text{Mg}^{2+}$	10,5	7,5	6,3
$\text{Fe}^{2+}$	2,5	1,5	2,5
$\text{Fe}^{3+}$	1,7	1,9	1,7
$\text{Al}^{3+}$	20,0	8,0	18,0
<b>С у м м а</b>	<b>166,0</b>	<b>162,2</b>	<b>163,7</b>
<b>S элемент</b>	<b>312,0</b>	<b>272,0</b>	<b>960,0</b>
$\text{H}_2\text{S}_{\text{общ.}}$	2,8	2,5	3,2
$\text{H}_2\text{SiO}_3$	17,5	19,0	12,5
<b>С у м м а</b>	<b>850,0</b>	<b>803,4</b>	<b>1508,4</b>

Примечание.

Обр. 108 и 109 — пеплы фумарол сульфатного поля.

Обр. 110 — пепел фумарол с отложением серы пробы, взятой 9 сентября 1956 г.

Для исследования растворенных в водах эксгаляций было взято три пробы воды: две (104, 149) из р. Сухой Хапицы и одна (105) из р. Каменистой (табл. 6). Проба 104 была взята в июне 1956 г., имела общую минерализацию свыше 2,50 г/л. Проба, взятая в июле 1957 г., показала, что в этой воде сохранилась минерализация свыше 1,0 г/л. Проба 105, взятая в сентябре 1956 г. приблизительно в 25 км от вулкана Безымянного, имела общую минерализацию до 1,7 г/л. В водах сухих рек, так же как в конденсатах и пепловых вытяжках, сульфаты представляли основную часть минерализации.

Таблица 6

Компоненты	№ 104		№ 149		№ 105	
	мг/л	мг-экв	мг/л	мг-экв	мг/л	мг-экв
Cl <sup>-</sup>	312,40	8,80	156,0	4,40	192,0	5,42
F <sup>-</sup>	3,50	0,20	1,8	0,10	2,6	0,13
Br <sup>-</sup>	1,60	0,02	0,9	0,01	1,1	0,01
J <sup>-</sup>	0,30	—	Следы	—	Следы	—
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1456,80	30,25	594,0	12,37	982,0	20,41
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	—	—	55,0	0,87	—	—
<b>Сумма</b>	<b>1774,60</b>	<b>39,27</b>	<b>807,7</b>	<b>17,75</b>	<b>1177,7</b>	<b>25,97</b>
H <sup>+</sup>	0,60	0,60	0,2	0,20	0,60	0,60
Na <sup>+</sup>	62,00	2,72	54,5	2,37	54,0	2,34
K <sup>+</sup>	17,30	0,44	14,6	0,37	12,7	0,32
Ca <sup>2+</sup>	524,00	26,20	194,9	9,80	286,0	14,30
Mg <sup>2+</sup>	62,00	5,16	39,8	3,31	41,4	3,45
Fe <sup>3+</sup>	7,40	0,41	3,0	0,16	8,4	0,46
Fe <sup>2+</sup>	—	—	—	—	—	—
Al <sup>3+</sup>	38,60	4,30	16,2	1,80	54,9	6,10
<b>Сумма</b>	<b>711,90</b>	<b>39,78</b>	<b>323,20</b>	<b>18,05</b>	<b>458,00</b>	<b>24,47</b>
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	182,00	—	32,4	—	140,0	—
<b>Общая минерализация</b>	<b>2670,36</b>	<b>—</b>	<b>1165,90</b>	<b>—</b>	<b>1776,90</b>	<b>—</b>
pH	3,20	—	3,60	—	3,20	—
Cl:Br	195	—	173	—	174	—

## Примечание.

№ 104— проба воды р. Сухой Хапицы, взятая в июне 1956.

№ 149 — проба воды р. Сухой Хапицы, взятая в июле 1957 г.

№ 105 — проба воды р. Каменистой, взятая в сентябре 1956 г.

Следует отметить, что наряду с сульфатами в эксгаляциях вулкана Безымянного определены в значительных количествах хлор, фтор, бром и бор, присутствие которых характерно для вулканических эманаций.

Хлоро-бромный коэффициент в вытяжках пепла и в водах был значительно ниже, чем в изверженных породах (240), что характерно для эксгаляций с преобладанием сульфатов (Селиванов, 1947). Несомненно, в основной своей массе хлор и бром принадлежали эксгаляциям и были выброшены на поверхность земли в газообразном состоянии.

Рассматривая состав эксгаляций извержения вулкана Безымянного в целом, можно отметить, что они были существенно сульфатными, в меньшей степени — хлоридными, причем эксгаляций первой фазы извержения (октябрь, ноябрь 1955 г.) содержали в своем составе хлора значительно больше, чем последние. Так, например, в пробе пепла № 752, взятой в ноябре 1955 г., содержалось хлора в 3,5 раза больше, чем в пробе № 755 последнего наиболее сильного извержения 30 марта 1956 г. (Башарина, 1958). По-видимому, эманации начальной фазы извержения были более богаты хлором и являлись первыми дистиллятами остывшей андезитовой магмы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Башарина Л. А. Исследование газообразных продуктов вулканов Ключевского и Швелуч. Бюлл. Вулк. ст., № 16, 1949.
- Башарина Л. А. Фумаролы вулкана Швелуч в сентябре-декабре 1953 г. Бюлл. Вулк. ст., № 24, 1955.
- Башарина Л. А. Водные вытяжки пепла и газы пепловой тучи вулкана Безымянного. Бюлл. Вулк. ст., № 27, 1958.
- Богоявленская А. Вулкан Безымянный и его экструзивные образования. Бюлл. Вулк. ст., № 26, 1957.
- Ван-Бемеллен. Геология Индонезии. Л., 1957.
- Козлов А. Л. Проблемы геохимии природных газов. М., 1950.
- Набоко С. И. О составе некоторых конденсатов сульфатарных газов. Бюлл. Вулк. ст., № 26, 1957.
- Селиванов А. С. О происхождении хлора и брома в соляной массе океана. Бюлл. Вулк. ст. на Камчатке, № 11, 1947.
- Тредвелл Ф., Голл В. Курс аналитической химии. Объемный и газовый анализ, т. II, часть II и III, М., 1935.
- Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. М., Изд-во АН СССР, 1955.