

Л. А. БАШАРИНА

**НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ФУМАРОЛ ПОБОЧНЫХ
КРАТЕРОВ ВУЛКАНОВ КЛЮЧЕВСКОГО И ШИВЕЛУЧА****В 1948—1949 гг.**

В настоящей статье представлены результаты исследования газообразных продуктов фумарол побочных кратеров Ключевского вулкана и Шивелуча за время с 1948 г. по сентябрь 1949 г.

Фумарольная деятельность некоторых побочных кратеров Ключевского вулкана усилилась в конце 1948 г. и особенно заметно в мае и августе 1949 г. В этот период (до февраля 1949 г.) в с. Ключи происходили вулканические землетрясения и возросла деятельность самого Ключевского вулкана. Из вершинного кратера Ключевского вулкана усиленно выделялись газообразные продукты. Были дни, когда густое облако поднималось над кратером на 2—3 км и простиралось на 20—30 км.

Фумарольное поле Кратерной вершины вулкана Шивелуч также заметно усилило выделение газообразных веществ. Клубы фумарольного газа поднимались над вершиной на высоту 1—2 км и простирались на 8—10 км. Ниже приводится описание деятельности фумарол и данные анализов газов побочных кратеров Ключевского вулкана и Шивелуча.

Кратер Туйла. Несмотря на то, что извержение кратера Туйла произошло в 1932 г., температура фумарол оставалась значительно выше, чем на других побочных кратерах, образовавшихся после него.

В сентябре 1945 г. Б. И. Пийп (1948) отмечал, что некоторые трещины на Туйле слабо парили, максимальная температура их была 243°. По анализам химика И. З. Иванова и С. И. Набоко, в декабре 1938 г. в газах кратера Туйлы кислая часть отсутствовала. Наши исследования в сентябре 1946 г. показали, что в газах содержится незначительное количество HCl , H_2 , CO и пары воды. Максимальная температура одной из фумарол была 440°. Возможно, что активность фумарол кратера Туйла повысилась в связи с образованием нового побочного кратера Апахончича (октябрь 1946 г.).

В сентябре — декабре 1947 г. отмечено понижение фумарольной деятельности: максимальная температура газа была 187°, в нем увеличилось содержание водяного пара, а HCl оставался в следах.

В августе 1948 г. фумаролы слабо парили, температура немного повышалась, по сравнению с декабрем 1947 г.; температура одной из фумарол была 270°. Газовая смесь содержала главным образом водяной пар, HCl в следах и небольшие количества H_2 и CO . Возгонов было мало, они состояли из хлоридов, фторидов и сульфатов: Fe , Al , Mg , Ca , Na , K , NH_4 .

Кратер Б илюкай. Кратер Билюкай на протяжении трех лет непрерывно остывал.

По сравнению с сентябрем 1945 г., когда Б. И. Пийп (1948) отмечал: «Максимальная температура одной из продолжающих возгонять нашатырь

фумарол на вершине этого конуса была 287°, уже в сентябре 1946 г. максимальная температура одной из фумарол была 170°.

На протяжении 1947 и 1948 гг. температура на кратере Билокай сохранялась в пределах 150—154°, в газовой смеси возросло содержание CO_2 , SO_2 и водяного пара, а HCl был в следах.

К маю 1949 г. фумаролы сохранились только на внутренних стенках кратера, остальные остыли или слабо парили. Вокруг фумарол образовалось много влаги и местами появился мох.

Возгонов было мало, они состояли преимущественно из нерастворимых фторидов и сульфатов.

В мае и августе 1949 г. температура фумарол была 80—85°. Газовая смесь состояла из водяного пара и небольшого количества SO_2 и CO_2 .

Кратер Апахончич. Кратер Апахончич, как и другие побочные кратеры Ключевского вулкана, находился в слабо фумарольном состоянии.

С 1948 по сентябрь 1949 г. наблюдения проводились за фумаролами лавового потока и конуса.

На лавовом потоке газовый и температурный режимы непрерывно понижались. Фумаролы, имевшие в декабре 1946 г. температуру 500° и выше, быстро остывали. В мае 1948 г. сохранившиеся фумаролы слабо парили, температура их была не больше 40—50°. Газовая смесь состояла из водяного пара и воздуха.

В мае 1948 г. фумаролы, расположенные на конусе Апахончича, по сравнению с прошлым годом сильно понизили температуру и концентрацию в газовой смеси HCl и H_2 , а количество SO_2 и водяного пара увеличилось.

Последние исследования фумарол на конусе Апахончича, произведенные в мае и августе 1949 г., хотя и показали повышение температуры и концентраций HCl и H_2 , но по сравнению с фумаролами кратеров Заварицкого и Левинсон-Лессинга они остывали быстрее, несмотря на то, что образовались позже. В мае 1949 г. лавовый поток почти совсем остыл и только в нескольких местах поднимались слабые струйки пара.

Возгонов около фумаролы на лавовом потоке и на вершине конуса кратера Апахончича было мало как в начале, так и при дальнейшей его фумарольной деятельности. На поверхности глыб были лишь тонкие налеты желтого, зеленоватого и белого цвета, состоящие из хлоридов, нерастворимых фторидов и сульфатов: Fe, Al, Mg, Ca, Na, K.

Побочные кратеры Юбилейного прорыва. Из группы Юбилейного прорыва с 1948 г. по сентябрь 1949 г. проводились наблюдения за деятельностью фумарол кратеров Заварицкого и Левинсон-Лессинга как наиболее активных.

Кратер Заварицкого. На кратере Заварицкого исследовались фумаролы, расположенные на склоне конуса и на лавовом потоке.

В 1947—1948 гг. температурный режим был почти постоянным; на фумаролах конуса — 230—240°, на потоке — 160—170°.

В 1949 г. в мае и особенно в августе наблюдалось резкое повышение газового и температурного режимов. Фумарола «первая на склоне конуса на продольной трещине в мае 1948 г. имела температуру 232°, а в мае 1949 г. в том же месте — 358°, в августе — уже выше 500°. Концентрация HCl и H_2 в газовой смеси также значительно повысилась и достигла максимальной величины за весь период наблюдений. Фумаролы лавового потока на протяжении всего периода наблюдений оставались почти без изменения; температура была в пределах 160—170°; газовая смесь состояла из водяного пара, небольшого количества HCl , H_2 и NH_4 . Возгонов было много, они состояли главным образом из нашатыря. На фумаролах конуса возгонов было также много; состояли они из хлоридов, фторидов и

сульфатов Fe, Ca, Mg, Al, Na, K. Среди этих возгонов встречалась самородная сера.

КРАТЕР ЛЕВИНСОН-ЛЕССИНГА

На кратере Левинсон-Лессинга с 1948 г. по сентябрь 1949 г. исследовались фумаролы, расположенные на дне кратера и на его склоне.

В 1948 г., по сравнению с 1947 г., температурный режим фумарол незначительно изменился, а в мае и августе 1949 г. заметно возросла температура.

Измерения температуры производились в трех фумаролах:

		Фумаролы, °С		
		1	2	3
12 XII	1947 г.	380	102	262
8/V	1948 г.	386	99,5	240
5/V	1949 г.	460	100	272
5 VIII	1949 г.	490	120	290

Первая фумарола располагалась на дне кратера, концентрация SO_2 и H_2 в мае — августе 1949 г. достигла максимальных количеств за весь период наблюдений.

Вторая фумарола также находилась на дне кратера, ее температура с начала наблюдений оставалась постоянной 99,5—100° и только в августе 1949 г. повысилась до 120°. В газе содержались водяной пар и небольшие количества H_2S и SO_2 . Возгонов было мало; тонкие налеты белого цвета, состоящие из сульфатов: Al, Mg, Na, K, Ca, Fe.

Третья фумарола была расположена на склоне кратера, она сохраняла температуру 240°. В газах было отмечено повышение концентрации HCl .

Возгоны «Первой» и «Третьей» фумарол состояли из хлоридов и сульфатов: Fe, Al, Mg, Ca, Na и самородной серы.

Следует отметить, что в газах фумарол кратера Левинсон-Лессинга преобладал SO_2 , а в возгонах — сульфаты.

В вулканических газах кратеров Апахончича, Заварицкого, Левинсон-Лессинга в мае и августе 1949 г. мы определяли количественно фтористый водород и аммиак. Для определения их газ непосредственно на фумаролах протягивался через дистиллированную воду, а затем в растворе эти газы колориметрическим методом определялись в Москве в Газовой лаборатории Института им. Обуха. Результаты анализов представлены в табл. 1.

Таблица 1

№ фумарол'	Фумаролы	Дата взятия пробы	HF	NH ₃
			в объемных %	
1	Кратера Заварицкого . . .	5 /V 1949 г.	0,008	0,002
1	То же	5 /V 1949 г.	0,006	0,016
1		4 /VIII 1949 г.	0,012	
1		7/V 1949 г.	0,008	
1	Кратера Апахончича . . .	7 /V 1949 г.	0,010	
	То же	4 /VIII 1949 г.	0,018	0,006
3	Кратера Левинсон-Лессинга	5/V 1949 г.	-	
3	То же	5/ VIII 1949 г.	0,0014	

Вулкан Шивелуч. На вулкане Шивелуч производилось наблюдение за фумаролами старых куполов Кратерной вершины и агломератового потока купола Суелич.

Фумаролы Кратерной вершины находятся в состоянии сольфатар, их газовый и температурный режимы установились, и, вероятно, они уже продолжительное время находятся в таком состоянии.

Еще в 1936 г. химиком И. З. Ивановым были исследованы некоторые фумаролы Кратерной вершины; химический состав и температурный режим их до сих пор остаются почти постоянными.

С сентября 1946 по сентябрь 1949 г. на Осеннем фумарольном поле, расположенном на западной стороне старой Кратерной вершины, исследовались две фумаролы на высоте 2800 м. Выходом фумарол была трещинка, из которой под небольшим давлением выходили струи пара и газа с температурой 92—93°.

Вокруг фумарол образовывалось много возгонов белого и зеленоватого цвета, состоящих из сульфатов Fe, Al, Mg, Na, Ca, Fe, K и самородной серы. Сера иногда выделяется непосредственно у выхода газа в виде тонких игольчатых кристалликов, а иногда на рыхлой породе образуются комочки серы желто-зеленого цвета.

В 1949 г. Осенние фумаролы исследовались в апреле и августе. Температура фумарол оставалась постоянной: 93°. Газовая смесь состояла из водяного пара, который составлял 85—95% (по весу), остальные газы составляли по объему: CO₂ 54—69%, SO₂, H₂S 1,5—2%.

В устье фумарол на разной глубине (до 0,5 м) в разное время года брались пробы рыхлой породы для исследования на содержание свободной H₂SO₄. Пробы в количестве 20—25 г подвергались выщелачиванию дистиллированной водой, и в фильтрате определялась серная кислота. В образцах, собранных в ясную погоду без осадков (в летний период), содержалось серной кислоты больше, чем после атмосферных осадков (дождь, снег) и туманов.

Содержание серной кислоты представлено в табл. 2.

Таблица 2

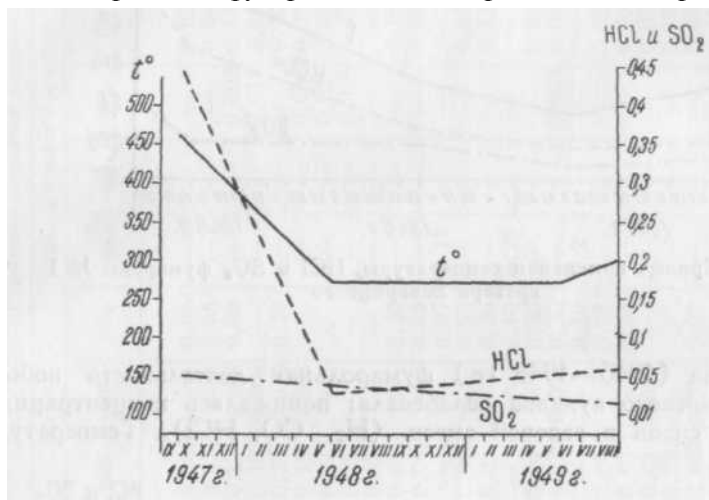
Глубина взятия пробы, см	Содержание серной кислоты				
	Образцы				
	№ 1 после атмосфер. осадков	№ 2 ясная погода	№ 3 ясная погода	№ 4 туман	№ 5 после атмосфер. осадков
15	0,15	1,00	0,68	0,35	0,05
15—30	0,28	0,60	0,38	0,40	0,15
30—40	0,25	0,18	0,20	0,30	0,26
40—50	0,10	—	0,05	0,05	0,10

В 1948 г., в апреле и августе 1949 г. были исследованы фумаролы, расположенные в центральной части Кратерной вершины.

Две фумаролы, так же как и Осенние, сохраняли температуру 86—90°. Газовая смесь состояла из водяного пара до 90% (по весу), остальные компоненты (по объему): CO₂ 45—48%, SO₂ * H₂S до 2%. Возгоны состояли из сульфатов; они были аналогичны возгонам Осенних фумарол.

Одна из центральных фумарол, расположенная ближе к куполу Суеличу, в августе 1949 г. обладала самой высокой температурой: 286°. Горячие газы с резким удушающим запахом (SO_2) выделялись из открытого углубления. Каптировать выход не удавалось. Пробы отбирались сверху у открытого выхода. В трех пробах, отобранных в одно и то же время, содержалось разное количество одних и тех же компонентов: SO_2 , H_2S 2—3,5%, H_2 —0,1—0,25%, CO_2 6,5—28%, водяного пара —50—70% (по весу).

Следует отметить, что особенно сильное выделение газа наблюдалось, когда ветер дул со стороны Суелича. В данном случае, вероятно, на режим этой фумаролы сказывал влияние купол Суелич, который, возможно, был связан с центральной фумаролой вновь образовавшейся трещиной.



Фиг. 1. Кривые изменения температуры, HCl и SO_2 фумаролы № 1 кратера Апахончича

Фумаролы, расположенные на южном склоне Кратерной вершины, исследовались с сентября 1946 по сентябрь 1947 г. С конца 1947 г. рыхлые продукты выбросов купола Суелича засыпали район этих фумарол и в конце года они были погребены.

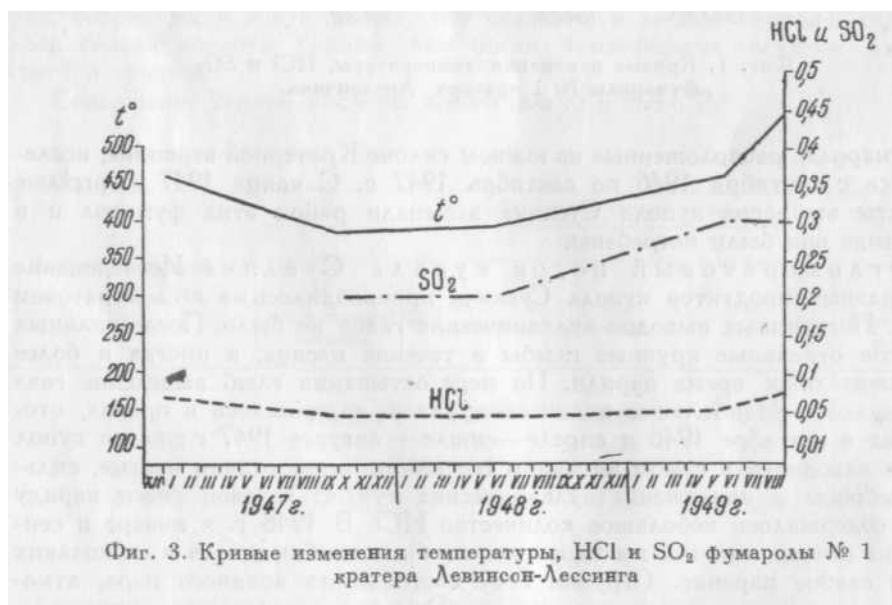
Аггломератовый поток купола Суелича. Исследование газообразных продуктов купола Суелича производилось на аггломератовом потоке. Постоянных выходов вулканических газов не было. После сильных выбросов отдельные крупные глыбы в течение месяца, а иногда и более продолжительное время парили. По мере остывания глыб выделение газа прекращалось. Наибольшее количество газов содержалось в пробах, отобранных в сентябре 1946 и апреле — июле — августе 1947 г.; когда купол Суелич находился в самом активном состоянии, происходили частые, сильные выбросы и извержение вулканических туч. В газовой смеси наряду с SO_2 содержалось небольшое количество HCl. В 1948 г. в январе и сентябре на потоке горячих выходов газа не было, наблюдалось в нескольких местах слабое парение. Струйки газа состояли из водяного пара, атмосферного воздуха и незначительного количества содержащих серу газов, которые определялись только качественно.

В 1949 г. было два посещения вулкана Шивелуча — в апреле и августе. В это время на куполе Суелича мм наблюдали небольшие обвалы. Аггломератовый поток остыл, и только у подножья было несколько выходов, которые слабо парили.

В результате трехлетних наблюдений за деятельностью фумарол побочных кратеров вулкана Ключевского и Шквелуча можно отметить, что в



первые два года (1946—1948 гг.) фумарольная деятельность побочных кратеров Ключевского вулкана ослабевала; понижалась концентрация отдельных компонентов в газовой смеси (H₂, CO, HCl). Температурный



режим у одних фумарол оставался постоянным, у других, как, например, у кратеров Апахончича, Билюкая и Туйлы, непрерывно понижался.

В мае и августе 1949 г. отмечено повышение фумарольной деятельности, особенно это было заметно у кратеров Заварицкого и Левинсон-Лессинга.

Результаты анализов фумарольных газов побочных кратеров Ключевского вулкана

Таблица 3

Пункт сбора газа	№ фумарола	Дата взятия проб	Температура фумарола, °С	Содержание отдельных компонентов в газовой смеси												
				(в объемных %)										в мг/л		
				HCl	HF	SO ₂	H ₂ S	CO ₂	NH ₃	CO	H ₂	O ₂	N ₂ и др.		H ₂ O	
Юбилейная группа:																
Кр. Заварицкого	2	5.V 1948 г.	238	0,061	—	0,084	—	—	—	0,025	—	20,38	79,45	86,9		
Фумарола конуса	1	»	240	0,070	—	0,05	—	—	—	0,06	—	20,15	79,67	16		
	1	6.V 1949 г.	358	0,17	0,008	0,05	—	—	0,002	0,15	0,25	20,05	79,32	101		
	2	»	340	0,10	0,006	—	—	—	0,016	0,15	0,15	20,00	79,58	211		
	1	4.VIII 1949 г.	500	0,25	0,010	0,10	—	—	—	0,20	0,25	19,50	79,69	115		
	2	»	460	0,15	0,008	—	—	—	0,06	0,35	0,45	19,85	79,19	150		
Кр. Заварицкого	3	5.V 1948 г.	145	0,045	—	—	—	—	0,02	0,025	—	20,20	79,68	121		
Фумарола потока	3	5.V 1949 г.	162	0,06	—	—	—	—	0,065	—	—	20,50	79,42	105		
	3	4.VIII 1949 г.	170	0,02	—	—	—	—	—	—	0,15	20,8	78,97	412		
Кр. Левинсон-Лессинга . . .	3	8.V 1948 г.	240	0,05	—	0,20	—	—	—	0,15	0,10	20,40	79,10	956		
	1	»	386	0,04	—	0,15	—	—	—	0,06	0,25	20,10	79,40	862		
	2	»	99,5	—	—	0,07	0,15	—	—	—	—	20,55	79,23	1560		
	3	6.V 1949 г.	272	0,05	—	0,25	—	—	—	0,05	0,15	19,75	79,75	905		
	1	»	460	0,05	—	0,30	—	—	—	0,15	0,20	20,20	79,10	438		
	2	»	100	—	—	0,10	0,28	—	—	—	—	20,50	79,12	1305		
	3	5.VIII 1949 г.	290	0,06	—	0,30	—	—	—	0,05	0,15	19,80	79,6	860		
	1	»	490	0,035	0,002	0,30	—	—	0,003	0,05	0,25	20,05	79,28	315		
	2	»	120	—	—	0,10	0,2	—	—	—	0,10	19,70	79,90	1220		
Кр. Апахончича	1	7.V 1948 г.	268	0,03	—	0,05	—	—	—	0,02	0,15	20,50	79,25	102		
	2	»	217	0,05	—	0,03	—	—	—	0,05	0,10	20,65	79,12	192		
	1	5.V 1949 г.	270	0,05	0,010	—	—	—	—	0,05	0,20	19,45	80,24	165		
	2	»	240	0,030	—	—	—	—	—	0,15	0,10	20,15	79,57	215		
	1	5.VIII 1949 г.	296	0,062	0,018	0,02	—	—	—	0,05	0,15	20,20	79,50	194		
	2	»	272	0,060	—	—	—	—	—	0,15	0,25	20,05	79,50	262		
Кр. Билюкая	1	7.V 1948 г.	154	0,03	—	0,085	—	0,95	—	0,025	0,05	19,95	78,92	365		
	2	»	81	—	—	0,45	—	0,15	—	0,05	—	19,50	79,85	694		
	3	»	56	—	—	0,56	—	0,18	—	—	—	20,10	79,67	1200		
	1	8.V 1949 г.	85	следы	—	0,05	—	0,30	—	—	—	19,95	79,70	1550		
	2	»	80	—	—	0,080	—	0,25	—	—	—	19,85	79,82	1300		
	1	7.VIII 1949 г.	82	—	—	0,05	0,050	0,15	—	—	—	20,15	79,60	1400		
	2	»	80	—	—	0,05	—	0,15	—	—	—	20,25	79,55	1600		
Кр. Туйлы	1	5.VIII 1948 г.	270	следы	—	—	—	—	—	0,10	0,15	19,65	80,10	150		

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ФУМАРОЛ ПОВОРОТНЫХ КРАТЕРОВ 57

Результаты анализов фумарольных газов вулкана Шивелуч

Пункт сбора газа	№ фумарола	Дата взятия проб	Температура фумарола, °С	Содержание отдельных компонентов в газовой смеси											
				в объемных %											в весовых %
				HCl	HF	SO ₂	H ₂ S	CO ₂	NH ₃	CO	H ₂	O ₂ и др.	N ₂ и др.	H ₂ O	
Вулкан Шивелуч	1	28.I 1948 г.	92	—	—	0,26	1,09	51,1	—	0,05	0,25	9,25	35,00	85,00	
Осенние фумаролы	2	» »	93	—	—	0,35	1,45	62,25	—	0,07	0,20	7,6	28,08	87,5	
То же	1*	25.IX 1948 г.	84	—	—	0,80	1,32	56,0	—	—	0,10	8,30	33,40	90,0	
» »	2	» »	92	—	—	1,50	0,65	64,9	—	0,05	0,15	6,6	26,15	92,0	
» »	1	19.IV 1949 г.	93	—	—	0,96	1,00	63,0	—	—	0,10	7,5	28,40	86,0	
» »	2	» »	92	—	—	1,02	0,93	62,0	—	0,05	0,15	7,25	28,6	95,0	
» »	1	21.VIII 1949 г.	93	—	—	0,6	1,4	65,65	—	—	0,10	6,65	26,6	86,0	
» »	2	» »	93	—	—	0,4	1,25	58,70	—	—	0,15	8,00	31,5	90,0	
Центр. фумаролы	1	25.IX 1948 г.	83	—	—	0,65	1,20	48,00	—	0,05	0,15	10,5	39,45	90,5	
То же	1	28.IX 1948 г.	83	—	—	0,96	1,06	45,00	—	0,05	0,15	11,5	41,18	85,0	
» »	1	19.IV 1948 г.	86	—	—	1,25	—	49,50	—	0,05	—	10,0	39,20	91,0	
» »	1	21.VIII 1949 г.	84	—	—	1,50	0,65	51,00	—	—	0,15	9,70	37,00	85,0	
» »	3	» »	258	—	—	3,5	1,2	28,00	—	0,2	0,25	13,50	53,35	90,0	

На фиг. 1, 2, 3 представлены кривые изменений температур и концентраций отдельных компонентов в газе побочных кратеров Ключевского вулкана.

Газы побочных кратеров Ключевского вулкана, а также Шивелуча и Карана, исследовавшиеся с 1946 по сентябрь 1949 г., не являлись первичными; они, вероятно, были отчасти продуктами дистилляции ранних отложений и возгонов за счет повышения температур, либо газами, которые на своем пути к поверхности претерпевали химические изменения. Наиболее близкие к первоначальным были газы агломератового потока действующего купола Суелича, исследованные нами в 1946—1947 гг., когда удавалось собрать их из свежих лав (упавших), выброшенных с вершины купола после сильных выбросов. Существенное отличие их от газов Кратерной вершины Шивелуча состояло в том, что они содержали в своем составе наряду с SO_2 также HCl . Газы фумарол Кратерной вершины, наиболее отдаленные от купола Суелича, в течение всего периода наблюдений оставались почти постоянными, несмотря на то, что исследование их проводилось как в период наиболее активного состояния (сентябрь 1946—1947 гг. — в момент извержения), так и в период менее активного (1948—сентябрь 1949 г.).

Что касается водяного пара, содержащегося в сольфатах, в мофеттах, а также в низкотемпературных фумаролах побочных кратеров Ключевского вулкана, то большая часть его, вероятно, атмосферного происхождения, так как он образуется при испарении просачивающихся атмосферных вод, тем более, что для Камчатки характерны обильные дожди и снегопады.

Многочисленные анализы газов показывают, что в пробах содержится большой процент воздуха и только незначительное количество вулканического газа. Особенно отчетливо это отмечено в газах побочных кратеров Ключевского вулкана и агломератового потока купола Суелича, где некоторые пробы содержали 99,9% воздуха. При таких незначительных количествах вулканического газа требуется усовершенствование методики по отбору проб газа и некоторое изменение в методике производства анализа.

Практика анализа вулканических газов показала, что обычными лабораторными методами анализа газов в наших условиях не всегда можно пользоваться. В процессе работы нам приходилось вносить некоторые изменения применительно к анализу вулканических газов. Такие компоненты газовой смеси, как фтористый водород, аммиак, борные, селенистые и другие летучие соединения, встречающиеся в небольших количествах (тысячные доли процента), мы не определяли, но их необходимо исследовать в такой же степени, как и главные составные части фумарольных газов. Для этого необходимо использовать методы колориметрического и нефелометрического анализа и другие физико-химические методы, позволяющие определять малые количества вещества.

Результаты произведенных нами анализов фумарольных газов приводятся в табл. 3 и 4

ЛИТЕРАТУРА

- А. Н. Заварицкий. Вулкан Авача на Камчатке к его состоянию летом 1931 г. ОНТИ НКТП СССР. 1935.
- И. З. Иванов. Газы и возгоны Билюкая и Туйлы, побочных кратеров Ключевского вулкана. Бюлл. Вулканолог, станции на Камчатке, № 8, 1940.
- Набоко С. И. Деятельность побочного кратера Билюкая в период июль — сентябрь 1938 г. Бюлл. Вулканолог, станции на Камчатке, № 8, 1940.
- Пийп Б. И. Эруптивная деятельность Ключевской сопки в 1944—1945 гг. Бюлл. Вулканолог, станции на Камчатке № 14, 1948.