

Л. А. БАШАРИНА

**ФУМАРОЛЫ ВУЛКАНА ШЕВЕЛУЧ В СЕНТЯБРЕ-ДЕКАБРЕ 1953 г.**

С целью исследования фумарол куполов Кратерной вершины и Суелича на вулкане Шевелуч 1 сентября 1953 г. группа в составе химика, Л. А. Башариной, лаборанта С. В. Попова и рабочего А. М. Вейзера совершила подъем на вулкан.

Со времени последнего моего посещения вулкана Шевелуч в августе 1949 г. купол Суелич сильно изменился. Он не имел уже тех обелисков, которые так величественно возвышались на его вершине в 1946—1949 гг. Купол значительно понизился и на фоне Кратерной вершины казался совсем низким и почти, безжизненным. При подъеме на Суелич мы прошли по центральному фумарольному полю Кратерной вершины, которое расположено на высоте приблизительно 2600 м. Спустившись с западной стороны фумарольного поля, мы пересекли довольно глубокое понижение, затем поднялись по крутому гребню и подошли к куполу с северо-западной стороны.

**Фумаролы Суелича.** Поверхность купола Суелич была покрыта крупными и мелкими глыбами; в отдельных местах порода уже разрушена, газами, и здесь образовались небольшие площадки. Струи газа и пара поднимались из многочисленных трещин, из-под глыб, а также просачивались через рыхлую породу.

Наиболее активное фумарольное поле было расположено в центральной части купола. Там особенно сильно выделялись густые голубовато-белые пары с резким запахом сероводорода. Максимальная температура газов составляла 295°. Эта часть купола наиболее высокая (2445—2450 м). В восточной части купола фумаролы сосредоточены главным образом на гребне; газ и пар выделяются из-под глыб. В западной стороне купола фумаролы наименее активны; здесь наблюдалось только слабое выделение пара. Температура газовых струй не превышала 120°.

Осмотрев купол, мы выбрали для подробного исследования две наиболее сильные фумаролы. Одна из них расположена в центре купола, Другая — в восточной части. Первую фумаролу мы назвали «средней», вторую — «восточной».

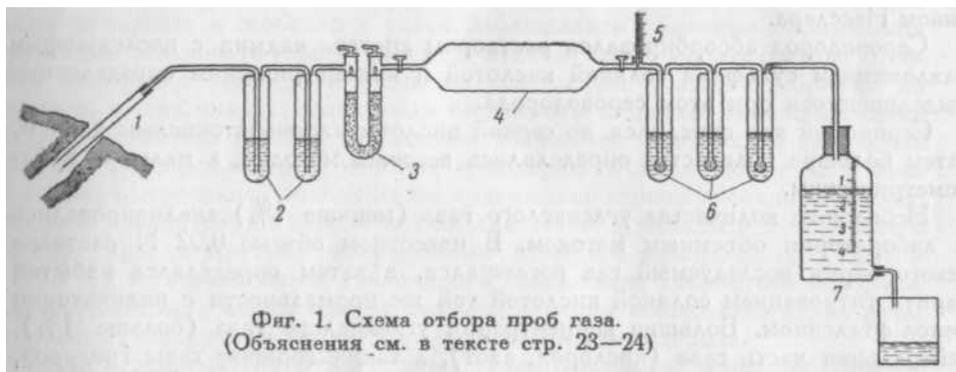
Средняя фумарола расположена на высоте 2445 м. Газ интенсивно выделялся из трещины, которая протягивается в понижение глубиной 7—10 м, находящееся в западной части купола. Голубовато-белые пары, имеющие температуру 295°, обладали резким удушающим запахом. Вокруг фумаролы порода разрушена и пронизана инкрустациями. Собранные образцы инкрустаций представляют собой смесь светложелтых и белых кристаллов солей в рыхлой породе.

Качественный химический анализ этой смеси показал высокое содержание

<sup>1</sup> Все приведенные высоты взяты по барометру.

Вблизи фумаролы и особенно у устья ее вулканический песок имел темно-зеленую окраску. После промывания водой он приобретал серовато-розовый цвет, а раствор становился желтым. Качественным химическим анализом установлены кислая среда вытяжки, высокое содержание в ней хлорида и следы сульфатов закисного и окисного железа, натрия и калия. № газовой смеси и в конденсате пара, как и в средней фумароле, преобладал хлористый водород.

Вторичное посещение купола Суелич и центральных фумарол Кратерной вершины было совершено 13 декабря 1953 г. лаборантом С. В. Поповым с двумя рабочими. Газы и возгоны, собранные из тех же фумарол, оказались близкими по составу, однако в газовой смеси преобладал хлористый



водород, а в возгонах — хлориды. Максимальная температура средней фумаролы была  $280^{\circ}$ ; в восточном поле пробы взяты из фумаролы с температурой газа  $70^{\circ}$ . В отличие от прошлых наблюдений на восточном фумарольном поле отмечено сильное разогревание навала глыб лавы. Конденсаты в декабре 1953 г. не были собраны.

Из табл. 1, 2 и 3 данных анализов обращает на себя внимание содержание относительно большого количества хлористого и фтористого водорода; последний определялся только в конденсате пара и в возгонах. Галогидный характер фумарол купола Суелич также подтверждается преобладанием хлоридов и фторидов в возгонах.

Газообразные продукты купола Суелич нам не удалось исследовать в момент его формирования (1946—1949 гг.) вследствие опасного характера его извержения. Газы и возгоны Суелича мы исследовали в этот период в отложениях раскаленных лавин. В газовой смеси уже тогда было установлено присутствие хлористого водорода, а в возгонах среди сульфатов — примеси хлоридов.

Ниже кратко описан метод отбора и анализа фумарольных газов. На фиг. 1 приводится схема отбора проб газа. Для отбора пробы газа применялась фарфоровая трубка длиной в 30 см (/), которая вводилась в фумаролу на глубину 25 — 30 см. Все фумаролы по возможности каптировались. Чтобы обеспечить надлежащее охлаждение газовой смеси, лишить ее избытка влаги и определить содержание водяного пара, устанавливались два конденсатора. Конденсаторами служили поглотительные трубки (2), соединенные последовательно с U-образной трубкой (3), заполненной фосфорным ангидридом, и газовой пипеткой (4). Газ, освобожденный от влаги с известной температурой, замер которой производился термометром (5), проходил через три поглотителя (6) какого-либо газового компонента. В первых двух поглотителях помещался какой-нибудь один сорбент, а в третьем—

в ней хлоридов, значительное содержание фторидов и незначительное — сульфатов. Из катионов определены окисное и закисное железо, магний, кальций, натрий, калий и алюминий. В газовой смеси среди кислых компонентов преобладал хлористый водород, отмечалось также значительное количество окиси углерода и водорода (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Состав газов купола Суелич

Фумаролы	Дата взятия пробы	Температура фумарола, °С	Компоненты										
			в объемных %										в мг/л
			HCl	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> и др.	H <sub>2</sub> O	
Средняя	2 сентября	295	0,96	0,25	—	—	0,50	0,60	0,45	19,64	77,60	130	
»	13 декабря	280	0,87	0,14	—	—	0,70	0,30	0,15	19,40	78,44	107	
Восточная	2 сентября	180	0,65	0,15	—	—	0,50	0,30	—	20,20	78,20	102	
»	13 декабря	70	0,15	—	—	—	1,20	0,20	—	20,10	78,35	120	

Таблица 2

Состав газов купола Суелвч после вычета воздуха  
(в объемных %)

Газы	Средняя фумарола		Восточная фумарола	
	сентябрь	декабрь	сентябрь	декабрь
HCl	4,25	4,15	3,94	0,78
SO <sub>2</sub>	1,09	0,67	0,92	—
CO <sub>2</sub>	2,19	3,34	3,04	6,25
CO	2,65	1,43	1,82	1,04
H <sub>2</sub>	1,97	0,73	—	—
N <sub>2</sub> и др.	16,67	26,10	13,18	14,03
H <sub>2</sub> O	71,18	63,58	77,10	77,89
	100,00	100,00	100,00	99,99

В фумарольных газах некоторые компоненты содержались в ничтожно малой концентрации, и определить их непосредственно в газовой смеси нам не удалось. Для более подробного исследования газов фумарол мы их сконденсировали. При отборе конденсата приходится пропускать десятки, а иногда и сотни литров газа. Это дает возможность сконцентрировать растворимую часть газовой смеси, которая содержится в газовой фазе в незначительных количествах. В конденсате фумарол купола Суелич наряду с хлором и фтором определялись соединения иода, брома и бора (табл. 3).

Таблица 3

Состав конденсата пара фумарол купола Суелич

Фумаролы	Дата взятия пробы	Температура газа, °С	Компоненты в мг/л					
			HCl	HF	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HBr	HI	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>
Средняя	2 сентября	295	2720	84,0	70,00	2,65	—	4,56
Восточная	»	185	365	14,0	18,500	4,46	1,91	—

Восточная фумарола расположена в восточной части купола на высоте 2400 м. Газ и пар с температурой 185° пробивались из-под глыбы. Возгоны, так же как и в средней фумароле, смешаны с рыхлой породой.

контрольный реактив на анализируемый газ ( $\text{AgO}_3$ ,  $\text{BaCl}_2$  и др.). Поглотитель состоял из трубки, оканчивающейся шариком с мельчайшим отверстием; это обеспечивало хорошую абсорбцию газа. Протягивание газа и замер его объема производился аспиратором (7). Компоненты газовой смеси, реагирующие между собой и подверженные окислению, разделялись непосредственно у выхода (как  $\text{HCl}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ).

Газ, поглощенный сорбентами, анализировался в стационарной лаборатории Вулканологической станции. Хлористый водород и аммиак поглощались дважды перегнанной водой (при абсорбции аммиака U-образная трубка с  $\text{P}_2\text{O}_5$  отнималась из системы). Затем хлористый водород определялся объемным методом по способу Мора, а аммиак — колOMETрически с реактивом Несслера.

Сероводород абсорбировался раствором ацетата кадмия с последующим разложением сульфида соляной кислотой и иодометрическим определением выделившегося при этом сероводорода.

Сернистый газ окислялся до серной кислоты хлорноватокислым калием, затем большие количества определялись весовым методом, а малые — нефелометрическим.

Небольшие количества углекислого газа (меньше 1%) анализировались в лаборатории объемным методом. В известном объеме 0,02 N раствора едкого бария исследуемый газ поглощался, а затем определялся избыток барита титрованием соляной кислотой той же нормальности с индикатором фенол-фталеином. Большие концентрации углекислого газа (больше 1%). нейтральная часть газа (кислород, азот), а также горючие газы (водород, окись углерода и метан) определялись на газоанализаторе ВТИ (Башарина, 1949).

При определении фтора последний предварительно отгонялся в присутствии кварцевого порошка с серной кислотой в виде кремнефтористоводородной кислоты, так как присутствие некоторых элементов ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Ba}$  и др.) мешало его определению. В полученном отгоне фтор определялся калориметрическим или объемным методом — титрованием 0,01 N раствором нитрата тория с цирконевоализариновым индикатором (Кольтгоф, 1952).

Определение в конденсате иода и брома производилось объемным методом. В основе метода лежит окисление иодида до иодата бромной водой, а бромида до бромата гипохлоритом, которые затем определялись иодометрическим титрованием. Выделившийся иод в первом и во втором случае оттитровывался из микробюретки в зависимости от концентрации 0,01 N или 0,001 N раствором  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (в присутствии 0,5% раствора крахмала как индикатора). Перед определением иода и брома производился контрольный анализ с дистиллированной водой и теми реактивами, которые приготавливались для титрования. Предварительно все реактивы были подвержены соответствующей очистке (Драгомирова, 1944; Селиванов, 1946).

Для определения борной кислоты в конденсате пара применялся также объемный метод. Метод основан на способности борной кислоты реагировать с многоатомными спиртами с образованием более сильных комплексных кислот. Для этой цели мы использовали маннит. Маннитоборный комплекс оттитровывался 0,02 N едким барием из микробюретки до  $\text{pH} = 7,6$ , при этом для сравнения применялся буферный раствор с таким же  $\text{pH}$  и индикатором фенол-красным (Кольтгоф, 1952). При проверке реактивов на чистоту мы обнаружили, что свободную кислоту содержал только применяемый маннит, который в количестве одного грамма при титровании потреблял 0,03 мл 0,02 N раствора гидрата окиси бария, что свидетельствовало 0,0084 мг бора; это и принималось во внимание при расчете.

Фумаролы Центральной группы старых куполов Кратерной вершины по характеру газовой смеси и возгонов, а также температурному режиму можно разделить на две группы. Группа фумарол, расположенная в юго-восточном направлении, проявляет слабую сольфатарную деятельность. В газовой смеси преобладает водяной пар, углекислота и незначительное количество содержащих серу газов. Температура фумарол 70–86°. Возгонов почти не образовывалось. Другая группа фумарол, более активная, расположена в северо-восточной части Кратерной вершины ближе к куполу Суелич. Одна из таких фумарол, находящаяся на склоне вершинного гребня, имела 280°. Газ голубоватого цвета с ясным запахом двуокиси серы с силой вырывался из круглого хорошо обособленного отверстия. Вблизи фумаролы и особенно у устья наблюдались обильные образования инкрустаций зеленовато-серого цвета. В отличие от обычного состава отложений сольфатар Кратерной вершины, состоящих главным образом из сульфатов, в этих инкрустациях были определены хлориды. В газовой смеси наряду с сернистым газом в небольшом количестве содержался хлористый водород и в значительном количестве — водород и окись углерода. В конденсате пара отмечались значительное содержание серной и соляной кислот, небольшие концентрации борной кислоты, а также фтористого и бромистого водорода. При вторичном исследовании этой же фумаролы (13 декабря 1953 г.) в газовой смеси увеличилось содержание хлористого водорода, а в конденсате пара концентрация соляной кислоты повысилась в два раза; увеличилось содержание фтористого и бромистого водорода.

Состав и температура фумарольных газов Кратерной вершины Шевелуча представлены в табл. 4, 5 и 6.

Таблица 4

Состав газов Кратерной вершины Шевелуча

Фумаролы	Дата взятия пробы	Температура фумарол, °С	Компоненты							
			в объемных %							в мг/л
			SO <sub>2</sub>	HCl	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
Центральная № 1	2 сентября	280	4,25	0,15	8,00	0,40	0,70	17,45	69,05	1080
	13 декабря	110	3,87	0,29	6,50	0,45	0,65	18,20	70,04	900
Центральная № 2	13 декабря	70	—	—	2,85	—	—	20,3	76,85	Не опр.

Центральные фумаролы Кратерной вершины находятся под наблюдением с 1946 г. Они сохраняли довольно постоянный режим; температура фумарол не превышала 90–92°, в газовой смеси наряду с большим количеством водяного пара обычно содержались углекислый газ и незначительные количества H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CO и водорода. Нарушение состояния нами было отмечено только в августе 1949 г., когда в одной из фумарол центрального ноля, расположенной ближе к куполу Суелич, температура повысилась с 83 до 258°, а в газовой смеси увеличилось содержание сернистого газа Башарина, 1953).

В отличие от фумарол, исследованных в сентябре и декабре 1953 г., в этой фумароле ни в газах, ни в возгонах не обнаружен хлор. Несомненно, на изменения режима сольфатар Кратерной вершины Шевелуча оказывал влияние купол Суелич, который, вероятно, связан с ними образовавшейся трещиной, тем более, что за последние годы купол значительно опустился. Систематические наблюдения за фумарольной деятельностью Шевелуча позволяют более правильно установить причины нарушения режима фумарол.

Осенью фумаролы (Башарина, 1953), располагавшиеся в западной части Кратерной вершины и бывшие под наблюдением в течение 1946—1949 гг., в настоящее время прекратили свою деятельность, возможно, вследствие происшедшего обвала.

Таблица 5

**Состав газов Кратерной вершины Швелуча после вычета воздуха**  
(в объемных %)

Газы	Центральная фумарола № 1	
	2 сентября	13 декабря
SO <sub>2</sub>	2,82	3,09
HCl	0,09	0,23
CO <sub>2</sub>	5,28	5,21
CO	0,26	0,35
H <sub>2</sub>	0,46	0,51
N <sub>2</sub> и др.	2,23	1,23
H <sub>2</sub> O	88,86	89,38
	100,00	100,00

Фумаролы Карана. 4 сентября мы поднялись на купол Каран, расположенный на юго-восточном склоне вулкана Швелуч. Фумаролы, находящиеся на восточном склоне купола, бывшие под наблюдением в 1946—1948 гг., ослабли; температура их понизилась с 92 до 50—60°; в основном фумаролы стали выделять пары воды. Вокруг них, так же как и в остывших местах, появилось много зеленого мха. Более интенсивное фумарольное поле расположено на вершине купола на высоте 1600 м. При приближении к фумаролам еще издали ощущался запах сероводорода. В центре поля мы выбрали фумаролу, наиболее хорошо в естественном виде каптированную, с выходом в виде небольшой воронки, откуда с шипением выделялись горячий пар и газ, имеющий запах сероводорода; тем-

пература газа была 92°. Вблизи фумаролы отлагались инкрустации в виде твердых белых корочек, состоящих из сульфатов железа, кальция, магния и алюминия. В газовой смеси наряду с парами воды содержалось 82,6% угле-

Таблица 6

**Состав конденсата пара фумарол Кратерной вершины Швелуча**

Фумаролы	Дата взятия пробы	Температура фумарол, °С	Компоненты в мг/л						
			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	HF	HBr	HI
Центральная № 1	2 сентября	280	7050	10244	9,59	—	21,0	2,71	—
	13 декабря	210	2565	2055	6,28	—	34,0	6,01	—
Центральная № 2	13 декабря	70	—	—	—	410	—	—	—

кислого газа, около 2% сероводорода и незначительное количество окиси углерода (табл. 7). Вторая фумарола была расположена на 3—3,5 м ниже по

Таблица 7

**Состав газов купола Каран**

Фумаролы	Дата взятия пробы	Температура фумарол, °С	Компоненты						
			в объемных %						в мг/л
			CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> и др.	
№ 1	4 сентября	92	82,60	2,24	0,25	—	2,60	12,31	5500
№ 2	»	70	71,00	0,50	0,20	0,06	5,05	22,65	6000

склону; здесь обильно выделялся пар, имеющий температуру 70°. Вокруг фумаролы и особенно у выхода, несмотря на горячий пар, образовалась корка темнозеленого цвета толщиной 2—3 см, напоминающая губку (повидимому, термофильные водоросли), на которой местами вырос зеленый мох. Возгоны здесь не осаждались, а на расстоянии 2—3 м от этого места площадка была покрыта разноцветной глиной. Газовая смесь была насыщена водяным паром, содержала углекислый газ, незначительное количество сероводорода, метана

Таблица 8

Состав газов купола Каран после вычета воздуха (в объемных %)

Газы	Фумарола № 1	Фумарола № 2
CO <sub>2</sub>	10,69	8,62
H <sub>2</sub> S	0,28	0,06
CO	0,03	0,02
CH <sub>4</sub>	—	0,07
N <sub>2</sub> и др.	0,34	0,44
H <sub>2</sub> O	88,66	90,78
	100,00	99,99

и окиси углерода. Состав и температура газа представлены в табл. 7 и 8, а состав конденсата пара — в табл. 9.

Таблица 9

Состав конденсата пара фумарол купола Каран

Фумаролы	Дата взятия пробы	Температура газа, °C	Компоненты в мг/л		
			CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
№ 1	4 сентября	92	499,4	35	Следы
№ 2	» »	70	460,0	26	Нет

ЛИТЕРАТУРА

Башарина Л. А. Исследование газообразных продуктов вулканов Ключевского и Швелуча. Бюлл. Вулк. ст., № 16, 1949.  
 Башарина Л. А. Наблюдения за деятельностью фумарол побочных кратеров вулканов Ключевского и Швелуча в 1948—1949 гг. Бюлл. Вулк. ст., № 19, 1953.  
 Драгомирова М. А. Содержание иода в питьевых водах. Тр. биогеохимической лаборатории, т. 7, 1944.  
 Кольтгоф И. М. Объемный анализ, т. II, 1952.  
 Селиванов Л. С. Геохимия и биохимия рассеянного брома. Тр. биогеохимической лаборатории, т. 8, 1946.  
 Соколов В. А. Газовый анализ. 1950.