

Л. А. БАШАРИНА

**ВОДНЫЕ ВЫТЯЖКИ ПЕПЛА И ГАЗЫ ПЕПЛОВОЙ ТУЧИ
ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННОГО**

22 октября 1955 г. впервые в историческое время начал извергаться вулкан Безымянный. Извержения его сопровождались сильными взрывами с выбросами мощных пепловых туч, часто пронизанных молниями. Пепел распространялся на сотни километров. В окрестных селениях мощность слоя выпавшего пепла достигала 5 см, а у подножия вулкана — несколько десятков сантиметров. Во время сильных пеплопадов в пос. Ключи (17 ноября 1955 г. и 30 марта 1956 г.) днем наступал мрак, а в воздухе долго ощущался запах сернистого газа.

Из-за катастрофического характера извержения в первое время продукты вулканической деятельности собирались только в 12—16 км от центра извержения и в пос. Ключи.

В настоящем сообщении представлены результаты анализов водных вытяжек из пеплов извержения 1955—1956 гг. и старых пород вулкана Безымянного, а также газа пепловой тучи.

При исследовании вытяжек имелось в виду определить растворимую часть пепла, в которую входят адсорбированные возгоны и газы извержения. Следует отметить, что вытяжки пеплов представляли собой сложные растворы, которые оказывали определенное действие на массу пепла. Все вытяжки имели кислую среду (рН от 3,2 до 4,5). В результате воздействия кислых растворов на пепел, очевидно, возникали реакции растворения, обмена, в результате чего образовывались новые соединения. В частности, в растворе отмечалось повышенное содержание отдельных катионов, таких, как кальций, магний.

Поэтому при рассмотрении анализов водных вытяжек следует иметь в виду, что не все данные для катионов, и в первую очередь для кальция и магния, отвечают действительному их количеству, находившемуся в эксгалляциях пепловой тучи.

В некоторой своей части эти катионы, несомненно, являются вытесненными из породы. Особенно повышенное содержание катионов отмечено в анализах с более низким рН и с наибольшими концентрациями ионов хлора и сульфатов.

Очевидно, различные концентрации адсорбированных кислых газов (HCl , SO_2 , CO_2) сказывались по-разному на растворимость компонентов породы.

Основная масса анионов (Cl^- , SO_4^{2-} и др.) отвечает действительному содержанию их в пеплах в виде вулканических эксгалляций. При сложных процессах, протекающих в пеплах, в вытяжках трудно ожидать равновесного состояния. После непродолжительного стояния они меняли рН от 3,2 до 4,5.

Для исследования вытяжек было взято 9 образцов пепла и три образца породы вулкана Безымянного из старой коллекции. Все пеплы собраны в момент пеплопада или вскоре после выброса пепловой тучи. В сборе пеплов принимали участие Л. А. Башарина, Г. Е. Богоявленская, Г. С. Горшков, И. И. Гущенко и Н. К. Классов. Образцы старой породы были собраны в 1954 г. во время полевых работ Г. Е. Богоявленской.

По минералогическому составу пеплы представляют собой двупироксеновые андезиты светло-серого цвета. Все образцы были подвергнуты механическому анализу с помощью сит диаметром от 0,25 до 1 мм и по методу Сабанина с учетом времени сливания по формуле Стокса (табл. 1 и 2).

Таблица 1
Механический состав пепла вулкана Безымянного
(ситовый анализ)

№ п/п	№ обр.	Фракции, %	
		1—0,25 мм	<0,25 мм
1	749 а	0,9	99,1
2	749 б	80,6	19,4
3	749 в	2,6	97,4
4	752 г	—	100,0
5	753 а	1,7	98,3
6	753 б	9,9	90,1

Таблица 2

Механический состав пепла
(по Сабанину)

№ п/п	№ обр.	Фракции, %				
		1 мм	1—0,25 мм	0,25—0,05 мм	0,05—0,01 мм	<0,01 мм
1	751	—	2,0	55,6	9,1	23,3
2	752 д	—	0,5	52,3	25,0	22,7
3	755	0,5	2,1	69,0	12,9	15,5

Примечание (для табл. 1 и 2)

1. Обр. 749 а. Суммарный от начала извержения. Собран за период от 22 до 29 октября 1955 г. в 16 км от вулкана.
2. Обр. 749 б. Собран 7 ноября 1955 г. в 16 км от вулкана.
3. Обр. 749 в. Собран 9 ноября 1955 г. в 16 км от вулкана.
4. Обр. 752 г. Собран 9 ноября 1955 г. в пос. Ключи, на территории Вулканологической станции АН СССР.
5. Обр. 753 а. Собран 9 февраля 1956 г. в 16 км от вулкана.
6. Обр. 753 б. Собран 9 февраля 1956 г. в 16 км от вулкана.
7. Обр. 751. Собран 7 ноября 1955 г. в 12 км от вулкана.
8. Обр. 752 д. Собран 16—17 ноября 1955 г. в пос. Ключи, на территории Вулканологической станции АН СССР.
9. Обр. 755. Собран 30 марта 1956 г. на территории Вулканологической станции в пос. Ключи.

Пеплы, выпавшие дальше от центра извержения, состояли из более мелких частиц (0,25—0,01 мм) и, наоборот, пеплы, собранные ближе к вулкану, в своем составе содержали фракции с более крупными частицами (1—0,25 мм).

УСЛОВИЯ ЗАГОТОВЛЕНИЯ ВОДНЫХ ВЫТЯЖЕК

Водные вытяжки заготавливались в одних и тех же условиях так, чтобы получились сравнимые между собой результаты анализа. Отвешивалось 100 г воздушно-сухого пепла (с точностью до 0,01 г). К навеске прибавлялась прокипяченная дистиллированная вода в объеме 500 мг.

Банка с содержимым встряхивалась в течение 10 мин., затем ставилась на 5 часов при комнатной температуре (18—20°). После указанного времени вытяжка отсасывалась (с помощью разряжающего насоса) на воронке Бюхнера без промывания. Вытяжка пепла производилась в три приема. В последней вытяжке оставалось всего 2—3% ионов хлора и сульфатов.

Химический анализ выполнялся по общепринятой методике. Концентрация ионов водорода (рН) определялась электрометрическим методом со стеклянным электродом. Калориметрические анализы производились на фотокалориметре —«ФЕК-М». Свободную серу определяли двумя различными методами: экстракцией этиловым эфиром и сульфитным методом (Остроумов и Иванов, 1945). Параллельные определения показали вполне совпадающие результаты.

В вытяжках определялись следующие компоненты: сульфаты, сульфиты, сероводород, элементарная сера, хлор, бром, иод, фтор, бор, кальций, магний, натрий, калий, алюминий, закисное и окисное железо и рН.

В табл. 3 представлены результаты анализов вытяжек.

Из приведенных данных видно, что в вытяжках пепла отдельные компоненты, как хлор, сера, бром, бор, фтор, содержались в значительных кон-

Таблица
3

Результаты анализов водных вытяжек пепла и старой породы вулкана Безымянного (в мг на 100 г воздушно-сухого материала)

Компоненты	Образцы									
	749 а	749 б	751	749 в	752 г	752 д	753 а	753 б	755	10 а
Cl ⁻	167,0	115,0	178,0	530,0	267,0	190,0	135,0	198,0	76,0	3,2
F ⁻	6,7	1,5	4,5	Не опр.	3,5	4,0	3,5	3,0	6,0	—
Br ⁻	1,6	2,1	1,9	—	1,2	1,6	Следы	Следы	1,2	—
J ⁻	Следы	—	Следы	—	—	—	—	—	—	—
SO ₄ ²⁻	438,0	356,0	496,0	938,0	650,0	289,0	237,0	464,0	286,0	11,2
SO ₃ ²⁻	3,8	6,2	4,8	—	2,1	2,4	3,4	3,6	4,6	—
H ₂ S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HCO ₃ ⁻	104,0	12,0	19,0	—	56,0	46,0	42,0	18,0	60,0	9,0
Na ⁺	32,0	10,0	41,0	124,0	24,0	16,8	17,5	16,6	35,0	—
K ⁺	11,5	3,0	10,0	34,5	13,0	6,7	3,8	2,4	13,0	—
Ca ²⁺	185,0	84,0	182,0	489,0	232,0	171,0	109,0	180,0	102,0	3,6
Mg ²⁺	17,3	26,8	27,7	38,8	37,0	26,8	21,0	25,0	24,0	2,8
Al ³⁺	21,0	3,5	8,0	18,0	9,0	6,0	6,5	11,0	3,5	—
Fe ³⁺	4,0	1,1	2,0	2,9	1,5	1,4	3,2	3,0	1,1	—
Fe ²⁺	6,5	2,0	2,8	11,0	2,6	2,2	2,6	2,0	2,5	—
SiO ₂	15,0	4,5	10,0	2,5	9,0	12,0	20,0	5,0	8,0	—
H ₃ BO ₃	3,5	1,5	3,0	1,8	3,6	1,6	2,8	2,4	4,2	—
рН	4,0	4,5	4,0	3,2	4,0	4,0	4,2	4,0	3,8	6,8
S	18,0	25,6	17,9	Не опр.	32,0	22,4	23,5	22,0	16,4	—

Примечание. О времени и месте взятия образцов см. в примечании под табл. 1 и 2. Обр. 10а — старая лава вулкана Безымянного.

центрациях. В вытяжках пород вулкана Безымянного, собранных до извержения, концентрации их были незначительные. Так, количество хлора в пеплах оказалось в 63 раза выше, чем в старых породах, серы — в 50 раз.

Среднее содержание хлора в 9 исследованных пеплах равно $2,04 \cdot 10^{-3} \%$, серы — $4,98 \cdot 10^{-3} \%$, брома — $1,44 \cdot 10^{-3} \%$, фтора — $4,08 \cdot 10^{-3} \%$, бора (в виде H_3BO_3) — $2,6 \cdot 10^{-3} \%$, что значительно превышало те количества, которые могли содержаться в изверженных породах.

Несомненно, в основной своей массе они принадлежат эксгаляциям и были выброшены на поверхность земли в газообразной форме.

Рассматривая в отдельности полученные результаты анализов вытяжек, видим, что некоторые из них существенно отличались от других. Особенно это заметно на образце 749 в. Его вытяжка имела самое низкое значение рН (3,2). Большинство компонентов в ней находилось в максимальных количествах (хлоридов — $5,30 \cdot 10^{-3} \%$, сульфатов — $9,38 \cdot 10^{-3} \%$, натрия и калия — $1,58 \cdot 10^{-3} \%$).

Обр. 749в был собран в 16 км от центра извержения Г.С.Горшковым. В отличие от других образцов, он содержал много влаги, несмотря на то, что во время пеплопада не отмечалось атмосферных осадков. Очевидно, вместе с другими вулканическими эксгаляциями были выброшены в большом количестве пары воды, которые и адсорбировались пеплом.

Интересно провести сравнение результатов анализов вытяжек пепла одного и того же пеплопада, но собранного на различных расстояниях от вершины вулкана. Обр. 752 г, в отличие от обр. 749 в, был собран в 45 км от центра извержения, в пос. Ключи. В этой вытяжке многие компоненты содержались в более низких концентрациях, чем в вытяжке 429 в: серы содержалось почти в полтора раза меньше, хлора — в два, а щелочных металлов — в четыре раза. Однако обр. 755 был собран на том же расстоянии, что и обр. 752 г, т. е. в 45 км от центра извержения. Но концентрация отдельных компонентов в его вытяжке была значительно ниже, чем в вытяжке обр. 752 г: хлора — в 3,5 раза, серы — почти в 2,5 раза. Здесь играл значение механический состав пепла. Пепел обр. 755 состоял на 71,6% из частиц размером от 1 до 0,25 мм, тогда как пепел обр. 752 г — на 100% из частиц меньше 0,25 мм. Пепел, состоящий из более крупных фракций, по-видимому, меньше способствовал адсорбции газов, наоборот, здесь имела место десорбция газа.

Таким образом, состав вытяжек, очевидно, в большей степени зависел от расстояния, которое пролетел пепел, и его механического состава.

ГАЗЫ ПЕПЛОВОЙ ТУЧИ

30 марта 1956 г. произошло наиболее сильное извержение вулкана Безымянного. Как было сказано выше, извержение сопровождалось выбросом пепловых туч. В воздухе сильно ощущался запах сернистого газа, который вызывал кашель и раздражение слизистых оболочек. Пеплопад продолжался несколько часов. В течение первых четырех часов были отобраны пробы газа пепловой тучи. Отбор газа производился по методике, описанной нами ранее. Во избежание загрязнения газовой пробы пеплом перед поглотителями с растворами устанавливались два пустых поглотителя. Непосредственно при отборе проб в газовой фазе определялись HCl , SO_2 , SO_3 , H_2S , CO_2 . Нейтральные газы CO , H_2 , N_2 и O_2 анализировались на приборе «ВТИ». Из вышеперечисленных газов не содержались в газовой смеси следующие: CO , H_2 , SO_3 и H_2S . Следует отметить, что и в вытяжках пепла H_2S не был определен. Однако из табл. 3 видно, что в пеплах содержалась элементарная сера, образование которой, по-видимому, происхо-

дило отчасти в результате взаимодействия сероводорода с сернистым газом по реакции: $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 = 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$.

Таким образом, в составе газа пепловой тучи из кислых компонентов определены CO_2 , HCl и SO_2 . Максимальную концентрацию имела углекислота: SO_2 преобладал над HCl (табл. 4).

Таблица 4
Анализ газа пепловой тучи
(в объемных %)

Компоненты	Пробы		
	1	2	3
HCl	0,006	0,002	0,00018
SO_2	0,010	0,005	0,00010
SO_3	—	—	—
H_2S	—	—	—
CO_2	0,114	0,063	0,05000
H_2	—	—	—
CO	—	—	—
O_2	19,700	19,800	19,85000
N_2	80,15	80,10	80,10
Сумма	99,98	99,97	100,00

Примечание.

Проба 1 была отобрана в течение первых двух часов, проба 2 — в третий час и проба 3 — в четвертый час.

В вытяжках пеплов основными компонентами являлись хлориды и сульфаты, причем последние тоже преобладали. Присутствие в вытяжках таких анионов, как бром, фтор и бор, подчеркивает характерность их для вулканических эманаций. Интересно отметить, что в вытяжках пепла коэффициент $\text{Cl} : \text{Br}$ низкий (в среднем 171), так же как для сульфатных возгонов (Селиванов, 1947) и конденсатов фумарольных газов, содержащих сульфаты (Башарина, 1956). Принимая во внимание то, что анионы в вытяжках являются продуктами вулканических эксгаляций, мы пересчитали ионы хлора и сульфаты, как преобладающие, на газы — HCl и SO_2 . Выходит, что количество выброшенных газов (HCl , SO_2) составляло по весу 0,5% от количества выпавшего пепла. Конечно, это исключительно ориентировочный расчет, так как здесь не учитывались газы, выброшенные в атмосферу, а также выделяемые лавой после пеплопада.

В заключение можно сказать, что исследование водных вытяжек и газа пепловой тучи помогло выяснить, хотя бы ориентировочно, качественный и количественный состав эруптивных газообразных продуктов вулкана Безымянного, которые прямым способом обычно не удавалось собрать.

ЛИТЕРАТУРА

- Башарина Л. А. Фумаролы вулкана Швелуч в сентябре — декабре 1953 г. Бюлл. Вулк. ст., № 24, 1956.
Остроумов Э. А. и Иванов Б. Н. Методы определения серы. 1945.
Селиванов А. С. О происхождении хлора и брома в соленой массе океана. Бюлл. Вулк. ст. на Камчатке, № 11, 1947.