

О ПОВЕДЕНИИ СЕРЫ И ХЛОРА В ФУМАРОЛЬНЫХ ГАЗАХ ПЕРЕД УСИЛЕНИЕМ АКТИВНОСТИ ВУЛКАНОВ

В течение 1962—1965 гг. велись режимные наблюдения за действующими вулканами Ключевской группы, в том числе изучался состав вулканических газов и возгонов. Большой интерес в этом отношении представлял вулкан Безымянный, находившийся в то время в эруптивном состоянии. Кроме отбора газов и возгонов с пирокластических потоков, были отобраны газы и возгоны непосредственно с формирующегося андезитового купола Нового вулкана Безымянного в моменты его относительного покоя и перед самым извержением. Обращалось внимание на изменение отношения серы к хлору перед извержением. С этих позиций были просмотрены некоторые литературные источники советских и зарубежных исследователей. Заимствованные анализы вулканических газов, искусственных конденсатов их и другие данные пересчитаны нами на отношение S/Cl в молярных концентрациях.

ОТНОШЕНИЕ СЕРЫ К ХЛОРУ В ГАЗАХ ВО ВРЕМЯ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА

В литературе имеется много данных по составу фумарольных газов. Исследованием фумарольных газов занимались с начала столетия (на вулканах Гавайских островов, Италии и др.). В Советском Союзе систематическое изучение фумарольных газов началось с 1935 г., т. е. с момента создания вулканологической станции на Камчатке.

Установлено, что в газах вулканов практически присутствуют одни и те же компоненты (Набоко, 1959). По данным, Д. Е. Уайта (White, Waring 1961), вулканические газы большей частью состоят из паров воды, O_2 и N_2 , которым приписывают воздушное происхождение, CO и CO_2 , затем H_2 , H_2S , SO_2 , HCl, HF, CH_4 .

В начальной стадии остывания лав в вулканических газах присутствуют все перечисленные компоненты. Затем, по мере остывания лав, фумаролы приобретают галоидный, сульфатный и, наконец, углекислый состав. Кислая лава богаче летучими, чем основная, и дольше сохраняет фумарольную деятельность (Набоко, 1959).

Из-за трудности отбора газов во время вулканических извержений в литературе мало данных по этим газам. Многие ученые пытались выяснить состав летучих во время извержения вулканов косвенным путем. Предполагается, что при извержении выделяется летучих около 2% всего веса извергнутого материала и что большую часть среди летучих занимает вода (Набоко, 1947). Количество других газов в эруптивном облаке по сравнению с водой считается незначительным. Интересны в последнее время попытки Тазиева (Tazieff, Tonani, 1963) при помощи новейших хроматографических методов установить изменение состава

газов во время периодов покоя и небольших эксплозий вулкана Стромболи.

Из базальтового лавового озера Килауэа на Гавайях Дей и Шепперд отобрали несколько проб газов, которые они считали магматическими. По данным этих авторов, а также японских и американских исследователей (Matsuo, 1960) в газах из кратерного лавового озера, кроме паров воды, в большом количестве присутствовали газообразные соединения серы, в минимальных — хлор.

Таблица 1

Отношение S/Cl в газах и водных вытяжках пеплов эруптивной тучи, образовавшейся при извержении вулкана Безымянного 30.III 1956 г. в пос. Ключи.
(данные по S и Cl Башариной, 1958 и Товаровой, 1958)

Анализируемый материал	Отношение S/Cl	Анализируемый материал	Отношение S/Cl
Проба газов, отобранная в течение первых двух часов прохождения тучи	1,66	Водная вытяжка из пеплов пеплопада	1,42
Проба газов, отобранная в течение третьего часа прохождения тучи	2,56	Водная вытяжка из пеплов пеплопада	
		Водная вытяжка из пеплов заполнителя пирокластического потока	2,56

Во время гигантского взрыва вулкана Безымянного эруптивная туча проходила через поселок Ключи. Здесь в пробе воздуха в количествах, значительно превышающих нормы, присутствовали SO_2 , HCl, CO_2 и др. (Башарина, 1958). Количество SO_2 превышало HCl (табл. 1).

В последнее время некоторые исследователи пришли к выводу, что газы, адсорбированные пеплом в эруптивной туче, в какой-то мере отражают их соотношения при извержении вулкана (см. табл. 1). Поэтому по данным водных вытяжек свежих пеплов можно качественно судить о составе летучих во время извержений.

Водные вытяжки из свежих пеплов Безымянного изучали Л. А. Башарина и И. И. Товарова, Ключевского — Набоко С. П., Шевелуча — Никитина Л. П., Карымского — Серафимова Е. К. Данные перечисленных исследователей подтверждают, что в газах из эруптивных туч различных вулканов преобладали газы группы серы, галоидные находились в подчиненных количествах.

Несомненный интерес представляют попытки оценить изменение газового состава вулканов по компонентам, растворенным в атмосферных осадках (дожде, снеге). Такие исследования в больших масштабах проводились Л. А. Башариной. Мы такие работы начали на вулкане Безымянном летом 1964 г. Во время его извержения отбирались пробы фумарольных газов, дождя и снега как в период покоя, так и во время активизации вулкана (Меняйлов, Никитина, 1965). Везде было приблизительно одинаковое отношение S/Cl (см. табл. 2).

Несмотря на то, что HCl почти в 4 раза лучше растворяется в воде, чем газы группы серы, в осадках, во время извержения Безымянного, отношение S/Cl было очень высоким, т. е. в период извержения газы группы серы значительно преобладали над галоидными.

На многих действующих вулканах имеются кратерные озера. Фумарольные газы, растворяясь в водах этих озер, создают определенную минерализацию. Изменение химического состава вод кратерных озер отражает состав действующих фумарол, а также фиксирует изменение их состава.

Отношение S/Cl в газах и атмосферных осадках, отобранных на вулкане Безымянном

Год извержения	Место и дата отбора газов	В газах	Место отбора, вид осадков и дата	В осадках
1964	Фумарола на куполе. 23.VII 1964 г.	6,72	Дождь, снег, в 1,5 км от купола. 24.VII 1964 г.	2,18
1964	Фумарола на куполе. 23.VII 1964 г.	5,18	—	—
1964	Фумарола на пирокластическом потоке. 28.VII 1964 г.	6,64	Дождь, в 1,5 км от купола. 28.VII 1964 г.	3,60
1965	Фумарола на пирокластическом потоке. 25.III 1965 г.	0,27	Снег на пирокластическом потоке. 25.III 1965 г.	0,15

Изучением химизма вод оз. Бирюзового в кратере вулкана Заварицкого (Зеленов, Канакина, 1962) за период с 1933 по 1959 г. установлено, что количество серы по сравнению с хлором значительно увеличилось во время извержения этого вулкана.

**ИЗМЕНЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ СЕРЫ К ХЛОРУ
ПЕРЕД УСИЛЕНИЕМ АКТИВНОСТИ ВУЛКАНА**

Вулкан Ключевской. До сих пор неясно, имеется ли связь фумарольной деятельности на побочных кратерах Ключевского вулкана с деятельностью его вершинного кратера. Несмотря на это, изучавшие фумарольную деятельность побочных кратеров отмечали увеличение температуры, изменение дебита и состава газов в фумаролах побочных кратеров до и во время активизации вулканической деятельности в вершинном кратере.

Таблица 3

Отношение S/Cl в газах побочных кратеров Ключевского вулкана
(данные по количеству Cl и S заимствованы у Башариной, 1963)

Год отбора	Кратер Заварицкого, S/Cl	Кратер Левинсон-Лессинга, S/Cl	Состояние вершинного кратера
1945	0,0		Стабилизация деятельности (Конец 1948 г. — начало 1949 г.) Извержение после землетрясений в октябре 1948 г.
1946	0,50	0,60	
1947	0,50	2,03	
1948	1,37	4,00	
	0,29	8,54	
	0,41		
	1,50	3,00	

В 1948 г. изменение режима фумарол кратера Заварицкого совпало с усилением сейсмичности, а также активности вершинного кратера Ключевского вулкана. Температура газа повысилась с 232° С до 500° С. Одновременно увеличилась концентрация вулканических газов. Отношение S/Cl увеличилось почти в три раза. Фумарольная деятельность на кратере Левинсон-Лессинга в это время также изменилась. Температура повысилась с 386° С до 490° С. Увеличилось и отношение S/Cl (Башарина, 1963; см. табл. 3.).

В 1954 г., когда Ключевской вулкан находился в состоянии активности, в газах кратера Былинкиной было обнаружено увеличение количества кислых компонентов; отношение S/Cl резко увеличилось.

В конденсатах пара фумарол увеличилась общая минерализация (Башарина, 1963). То же произошло в 1964 г., когда в конденсате кратера Былинкиной повысилась температура, увеличилась в конденсате пара общая минерализация, снизилась величина рН. Отношение S/Cl в фумарольных газах увеличилось почти в 4,5 раза (табл. 4.).

Таблица 4

Отношение S/Cl в газах кратера Былинкиной (Ключевская сопка)
(количество S и Cl по Башариной, 1963)

Дата отбора	Фумарола 1	Фумарола 2	Фумарола 3	Конденсат	Дата отбора	Фумарола 1	Фумарола 2	Фумарола 3	Конденсат
13.1 1952 г.				0,02	19.IX 1955 г.	0,50	2,00	1,33	0,01
11.V 1952 г.	—	—	—	—	20.III 1956 г.	0,66	—	—	—
19.IX 1952 г.	0,0	0,0	0,08	0,02	12.IX 1956 г.	0,48	6,07	4,03	0,02
28.III 1954 г.	0,20	—	1,40	0,08	13.V 1957 г.	0,66	1,33	7,43	0,02
28.V 1954 г.	0,40	1,67	1,34	0,10	26.IV 1959 г.	3,15	2,08	—	0,09
2.VIII 1954 г.	0,33	0,50	3,00	0,02	VIII 1963 г.	—	1,20	—	0,09
17. IX 1954 г.	0,07	0,20	1,32	0,01	VI 1964 г.	—	4,40	—	0,13
20.III 1955 г.	0,0	—	5,02	0,02	VIII 1964 г.	—	—	—	0,09
8.V 1955 г.	2,50	9,00	1,50	0,12					

Примечание. Извержения в вершинном кратере происходили в 1954, 1955, 1961, 1962, 1964 гг.

С. И. Набоко (1947) отмечала изменение химического состава и температуры фумарол кратера Туйла во время извержения вершинного кратера Ключевского вулкана в 1937—1938 гг.

Вулкан Безымянный. Эксгаляции вулкана Безымянного изучены довольно подробно во время начала и дальнейшего развития его деятельности.

С 1962 г. авторами было продолжено систематическое изучение газов фумарол вулкана Безымянного, в частности — купола Нового.

Летом 1962 г. этот купол находился в эруптивном состоянии. Из фумаролы в вершинной части купола был отобран конденсат, в котором определено Cl— 3,78; SO_3^{2-} — 4,8 и SO_4^- — 3,99 г/л. Температура газа равнялась 400—500° С (Башарина, 1964). Высчитанное отношение S/Cl равно 0,95. Зимой и весной 1962—1963 гг. купол находился в спокойном состоянии. В конденсате, отобранном из фумаролы с температурой около 300° С, содержалось Cl— 6,0 и SO_4^{2-} — 6,6 г/л. Отношение S/Cl — 0,04.

В июне — июле 1963 г. произошло очередное извержение Безымянного с образованием пирокластического потока. Тогда же были собраны атмосферные осадки, газы и конденсат из фумаролы на пирокластическом потоке 1963 г. Состав эксгаляций Безымянного в это время был существенно сернистым (Меняйлов, Никитина, 1964).

Весной 1964 г., когда вулкан находился в спокойном состоянии, на куполе в фумаролах с температурой в 340° С обнаружено увеличение отношения S/Cl.

В июле — сентябре 1964 г. произошло следующее извержение Безымянного. Температура фумарол на куполе за несколько часов до извержения равнялась 400—500° С. Эксгаляции вулкана в это время были сернистыми (см. отношение S/Cl в табл. 1). Табл. 5 наглядно отражает отношения S/Cl в осадках, в которых растворялись газы во время извержения вулкана.

Таким образом, в эксгаляциях вулкана Безымянного до и во время извержения резко увеличивается количество газов группы серы, при

**Отношения S/Cl в атмосферных осадках (дождь) в районе вулкана Безьянного
во время его извержения**

Дата отбора	S/Cl	Состояние вулкана	Дата отбора	S/Cl	Состояние вулкана
22.VII 1964 г.	0,90	Спокойное парение С 24.VII 1964 г. извержение	28.VII 1964 г.	3,60	Наивысшая активность Уменьшение активности Дальнейшее уменьшение активности
27.VII 1964 г.	2,18		30.VII 1964 г.	2,15	
			31.VII 1964 г.	0,82	

Примечание. Все пробы отобраны с одной точки в 1,5 км от кратера вулкана. 27.VII 1964 г. шел дождь со снегом.

ослаблении активности и стабилизации деятельности вулкана — преобладает хлор. Температура фумарол на куполе обычно в пределах 300° С. Перед извержением происходит резкое повышение температуры до 100—500° С.

Вулкан Шевелуч. Эксгаляции вулкана Шевелуч изучались различными авторами за длительный период его деятельности. Извержение вулкана в 1944—1950 гг. выражалось в выжимании андезитового купола Суелич, образовании скатывающихся с его склонов раскаленных лавин с отложением пирокластических потоков. Во время этого извержения то усиливалась, то ослаблялась активность купола Суелич. В первом случае о составе эксгаляции можно было судить по возгонам на глыбах, скатывающихся с купола или осевших на холодные камни из эруптивной тучи (Набоко, 1959). Во втором случае были отобраны газы из фумарол, непосредственно из купола (Горшков, Былинкина, 1954).

Эксгаляции вулкана Шевелуч во время активности купола Суелич были существенно сернистыми. Уменьшение активности на куполе отмечалось увеличением галлоидов в газах и конденсатах пара фумарол.

В дальнейшем, когда извержение закончилось и началось остывание лавы купола, галлоидных газов в эксгаляциях стало больше, чем газов группы серы. В длительный этап остывания купола хлор в фумарольных газах почти исчез, и они стали исключительно сернистыми.

В кратерной вершине Шевелуча имеется несколько экструзивных куполов, которые образованы ранее купола Суелич. Фумаролы этих куполов ко времени извержения Суелича находились в сольфатарном состоянии и на активность нового купола отвечали увеличением температуры и изменением состава газов. Л. А. Башарина (1953) отметила, что в августе 1949 г. (тогда Суелич находился в активном состоянии) произошло нарушение обычного режима фумарол старых куполов. Температура газов на выходе увеличилась с 83° до 258° С, в составе газов резко возросла концентрация газообразных соединений серы.

Эксгаляции Шевелуча во время его извержения 12 ноября 1964 г. изучались нами путем анализов водных вытяжек из пеплов эруптивной тучи взрыва и атмосферных осадков, собранных вблизи вулкана. Установлено, что эксгаляции Шевелуча в это время являлись существенно сернистыми, хлор в них находился в сугубо подчиненном количестве.

В 1964 г., за два с половиной месяца до извержения Шевелуча, из фумаролы на кратерной вершине был отобран конденсат, в котором отмечалось значительное повышение количества сульфат-иона по срав-

нению с данными за 1963 г.; количество хлор-иона осталось без изменения, т. е. отношение S/Cl повысилось почти в пять раз.

Из изложенного следует, что во время извержения вулкана Шевелуч в 1944—1950 гг. и в 1964 г., в его эксгаляциях преобладали газы группы серы, а в длительный период остывания — хлор. При приближающейся активности вулкана в фумарольных газах отмечается увеличение отношения S/Cl.

Таблица 6

Изменение отношения S/Cl в водах кратерного озера вулкана Заварицкого
(данные по содержанию S и Cl К. К. Зеленова, 1962)

Дата и автор отбора	S/Cl	Состояние вулкана
1933 г. Харада	0,090	Вулкан находился в спокойном состоянии
1955 г. Желубовский	0,084	То же
12.XII 1957 г. Мархинин	0,637	В ноябре 1957 г. произошло извержение вулкана
VII. 1958 г. Зеленов	0,335	Вулкан находился в спокойном состоянии
VII. 1959 г. Зеленов	0,346	То же

Вулкан Заварицкого (Курильские острова). Хорошо изучен химизм вод оз. Бирюзового в кратере вулкана Заварицкого на о-ве Симушир. Это озеро конденсирует компоненты вулканических газов; стока воды оно не имеет. Расположено озеро непосредственно над жерлом вулкана, который был активен в 1957 г. Во время последних извержений на поверхность кратера поступал свежий магматический материал. Летучие, выделяющиеся из магмы до, во время и после извержения, профильтровываются через воду озера и растворяются в ней. Поэтому изменение химического состава вод озера до, во время и после извержения имеет большое значение для изучения отношений основных компонентов вулканических газов и соответственно для прогноза извержения вулкана Заварицкого.

Из табл. 6 видно, что период извержения вулкана Заварицкого характеризуется увеличением содержания серы по сравнению с хлором в несколько раз (серы в 8,4, а хлора только в 1,1). При этом увеличение количества серы по отношению к хлору происходит очень резко непосредственно перед извержением (Зеленов, Канакина, 1962). Добавим, что извержение в кальдере вулкана Заварицкого, которое произошло между 1916 и 1931 гг., с образованием насыпного конуса, по данным отношений S/Cl было ближе к 1916 г., чем к 1931 г. К 1931 г. в пробе воды, отобранной Харада, количество серы было незначительным. К. К. Зеленов считает, что большие количества хлора накопились в воде оз. Бирюзового за счет активности вулкана между 1916 и 1931 гг. Вероятно, накопление хлора произошло, в основном, в межпароксизмальный период деятельности вулкана, когда в выделяющихся эксгаляциях преобладал хлор. Необходимо при этом учесть разницу в растворимости газообразных HCl, H₂S, SO₂.

Вулкан Эбеко (Курильские острова). Большое количество химических анализов фумарольных газов и термальных вод вулкана Эбеко позволило некоторым авторам сделать попытки прогнозировать извержения этого вулкана (Сурнина, Воронова, 1964). Отмечается

более значительное увеличение количества серы в фумарольных газах и термальных источниках по сравнению с хлором перед извержением этого вулкана (Сидоров, 1966).

Некоторые вулканы мира. В литературе имеются данные свидетельствующие о возможности прогнозирования извержений вулканов по изменению отношения S/Cl. Интересны в этом отношении работы Ногучи и Камия (Noguchi, Kamiya, 1963), которые проводили исследования на вулканах Асама и Михара в 1956—1960 гг. с целью прогнозирования их извержения по изменению химического состава фумарольных газов в кратере. Применив методику фиксации кислых газов в ловушках со щелочами непосредственно на вулкане, авторы доказывают, что отношение S/Cl в газах обоих вулканов резко увеличилось накануне извержения.

За месяц до извержения вулкана Асама, 10 ноября 1958 г., произошло резкое увеличение отношения S/Cl в газах активного кратера. Величина отношения S/Cl в газах кратера Михара, тоже примерно за месяц до извержения была максимальной.

Эти же авторы (Noguchi, Kamiya, 1962) изучали водные вытяжки из пеплов с кромки кратера вулкана Асама. Пробы отбирались периодически в течение 1957—1958 гг. Было установлено, что отношение S/Cl в водных вытяжках из пеплов резко увеличилось перед извержением Асама в 1958 г. и было низким во время спада активности.

При изучении активности вулкана Лангела, по данным Тейлора (Iwasaki, Zawa, 1963), за девять месяцев до извержения вулкана в конденсатах пара фумарол началось постепенное увеличение количества сульфат-иона. Начало извержения Лангела было отмечено конденсированием из пара фумарол почти одной серной кислоты.

Перед извержением вулкана на о-ве Аскья (Sigvaldason, 1964) открылись трещины, по которым на поверхность изливалась горячая вода с увеличенным количеством сульфат-иона. Ожидаемого хлора в ней не было. Вскоре излияние воды сменилось действием гейзеров, затем стал вырываться сухой газ, и, наконец, начала изливаться лава.

Эти исследователи считали, что сульфат-ион и хлор-ион в водах, предшествовавших излиянию лавы, имели магматическое происхождение. Алюминий, железо и другие металлы считались выщелоченными из окружающих пород. Сера в водах и газах значительно преобладала над хлором.

Пайн и Боллард (Payne, Ballard, 1940) отмечали, что перед извержением вулкана Мауна-Лоа в 1939 г. в фумаролах Салфэр Бэнк, около кратера Килауэа, резко увеличилось количество газообразных соединений серы.

С целью выяснить природу вулканических извержений некоторые японские исследователи (Iwasaki и др. 1963) приступили к изучению гейзеров, считая их вулканами в миниатюре. Они изучали изменение дебита, температуры и химического состава газов и вод на протяжении полного цикла деятельности гейзеров. На основании этих данных авторы пришли к выводу о возможности предугадывания времени и характера извержения гейзера с большой точностью. По данным Ивасаки и других, наибольшего значения в газах гейзера Хоко-Зигоку в период извержения достигает H_2S .

ОДНА ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН УВЕЛИЧЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СЕРЫ К ХЛОРУ ПЕРЕД ИЗВЕРЖЕНИЕМ ВУЛКАНА

В результате подробного изучения эксгаляций отдельных Камчатских вулканов С. И. Набоко (1959) пришла к выводу о некоторой специализации эксгаляций вулканов в зависимости от состава лавы. Установлено, что эксгаляций андезитового вулкана Шевелуч обеднены гал-

лоидами и обогащены сульфатами (объяснялось это утерей наиболее активных летучих в процессе длительной эволюции продуктов кислого состава); эксгаляции андезито-базальтового Ключевского вулкана, наоборот, обогащены галлоидными и обеднены сернистыми газами.

Дальнейшие полевые и экспериментальные исследования в СССР (Пийп, 1956; Набоко, 1963) на примере взрывных и эффузивных кратеров Ключевского вулкана и за рубежом (Lovering, 1961; Krauskopf, 1948) на примере вулканов Килауэа, Катмаи, Парикутин показали, что суть дела не только в специализации магмы, но и в различной степени растворимости в ней серы и хлора. Сера меньше растворяется в магме, поэтому она в первую очередь отделяется от нее; хлор обладает большей растворимостью, и поэтому дольше сохраняется в изверженных продуктах¹.

Из магмы, при ее движении к поверхности (когда давление уменьшается), начинают бурно отделяться летучие. В первую очередь отделяется сера, и поэтому в начальную стадию, предшествующую излиянию лавы или сопровождающую ее, газы группы серы преобладают над галлоидными. Фумаролы на образующихся при извержениях шлаковых конусах или пирокластических потоках в начальный момент также обогащены серой, вероятно, за счет газов, адсорбированных пирокластическим материалом из газового облака.

Таким образом, сернистый характер эксгаляций присущ периоду извержения вулкана, а галлоидный состав характерен для эксгаляций начальной стадии остывания лавового материала. Поэтому в межпаракризисный период фумаролы, действующие на лавовых пробках в кратерах или на экструзивных куполах вулканов, имеют галлоидный состав. Перед следующим извержением, т. е. в начале активизации магмы, в таких фумаролах на фоне общего увеличения дебита газов большую роль начинают играть газы группы серы.

Что же является источником газов перед извержением? Питаются ли фумаролы, расположенные над жерлом вулкана, газами, поднимающимися от магмы? На этот вопрос, нам кажется, можно ответить следующим примером. Впервые в больших количествах в фумаролах экструзивного купола вулкана Безымянного был обнаружен фтор в 1963 г. (Меняйлов, Никитина, 1964), т. е. спустя 8 лет после начала его выжигания. В дальнейшем фумаролы купола стали настолько насыщены фтором, что летом 1964 г. порода около выходов газов была (полностью) перерождена в продукт фтористого метасоматоза.

Среди летучих в фумаролах пирокластических потоков извержений Безымянного с 1956 г. фтора не было. В 1963 и 1964 гг., т. е. когда фтор в фумаролах купола был уже обнаружен в значительных количествах, газы пирокластических потоков фтора еще не имели. По-видимому, материал потоков образовался в основном за счет разрушения купола, сложенного лавами ранних извержений. Фумаролы в активных участках купола отражали состав газов, еще не поступивших на поверхность горизонтов магматической колонны.

В фумаролах пирокластических потоков, образовавшихся весной 1965 г., фтор уже был найден. В результате длительного извержения вулкана Безымянного к 1965 г. на поверхность стала поступать магма более глубоких частей колонны, обогащенная фтором.

¹ На основании расчетных данных С. Мацуо (Matsuo, 1960) установил, что содержание различных компонентов вулканических газов зависит от минералогической природы магм, питающих вулканы. Но независимо от состава магмы при различных термодинамических условиях газы группы серы ведут себя одинаково; количество газообразных соединений серы увеличивается, когда повышается температура, но давление не изменяется, или когда давление понижается при постоянной температуре в магме. Эту особенность газообразной серы С. Мацуо предполагает использовать для прогнозирования извержений вулканов по изменению состава фумарольных газов.

Таким образом, газы фумарол «а куполе вулкана Безымянного являются в преобладающем количестве ювенильными. В 1964—1965 гг. они отражали газовый состав более глубоких частей магматической колонны. С другой стороны, можно предположить, что при увеличении температуры от поступающих снизу порций магмы старые породы разогреваются и из них начинают в больших количествах выделяться ранее окклюдированные газы. Согласно экспериментальным данным по нагреванию пород в вакууме, количество галлоидных должно увеличиваться более сильно, чем газов группы серы. Однако в большинстве случаев в фумаролах вулканов происходит обратное. Отношение S/Cl не уменьшается, а увеличивается перед извержением. Значит, в фумаролах перед извержением преобладают газы, непосредственно отделяющиеся от поднимающейся магмы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматривая изменения отношения S/Cl в газах фумарол некоторых вулканов (Безымянный, Ключевской, Швелуч на Камчатке, Заварицкого, Эбеко на Курильских островах и др.), можно заключить, что увеличение отношения S/Cl в газах этих вулканов знаменует начало активизации магмы, что, в свою очередь, может привести к прорыву ее на поверхность.

На фоне количественных колебаний основных компонентов в вулканических газах изменение отношения S/Cl более наглядно и является признаком для прогнозирования вулканических извержений. Авторы предполагают характеризовать степень активности вулкана не по изменению абсолютных количеств отдельных компонентов газовой смеси, так как еще не выработан единый метод отбора проб газов и не исключены возможности примешивания воздуха, а по методу фиксации изменения относительных количеств двух или нескольких компонентов в газовой смеси, особенно суммарных серы и хлора.

Можно воспользоваться изучением отношений S/Cl в поглотительных жидкостях, постоянно находящихся у кратера, в водных вытяжках из мелкой пирокластики на краю или вблизи кратера, в атмосферных осадках, взятых в непосредственной близости от кратера, в водах кратерных озер и пр. Как было показано выше, такие отношения отражают истинный состав вулканических газов.

ЛИТЕРАТУРА

- Башарина Л. А. Наблюдения за состоянием фумарол побочных кратеров вулканов Ключевского и Швелуча в 1948—1949 гг.— Бюлл. вулканол. ст. АН СССР, 1953, № 9.
- Башарина Л. А. Водные вытяжки пепла и газы пепловой тучи вулкана Безымянного.— Бюлл. Вулканол. ст. АН СССР, № 27, 1958.
- Башарина Л. А. Экспозиции побочных кратеров Ключевского вулкана на различных стадиях остывания лавы.— В кн.: «Вулканизм Камчатки и некоторых других районов СССР». М., 1963.
- Башарина Л. А. Экспозиции кислых лав вулкана Безымянного.— В кн.: «Современный вулканизм Северо-Востока Сибири». М., 1964.
- Горшков Г. С., Былинкина А. А. Наблюдения над извержением Швелуча, в 1948—1950 гг.— Бюлл. Вулканол. ст. АН СССР, № 20, 1954.
- Зелеиов К. К., Канакина П. А. Вулкан Заварицкого (Бирюзовое озеро) и изменение химизма его вод в результате извержения в 1957 г.— Бюлл. Вулканол. ст. АН СССР, № 32, 1962.
- Кирсанов И. Т., Серафимова Е. К. и др. Извержение вулкана Карымского в 1962 г.— Бюлл. Вулканол. ст. АН СССР, 1965, № 39.
- Меняйлов И. А., Никитина Л. П. Вулканы Северной Камчатки в 1962—1963.— Бюлл. Вулканол. ст. АН СССР, 1964, № 37.
- Меняйлов И. А., Никитина Л. П. Экспозиции вулканов Северной Камчатки в 1964 г.— Бюлл. Вулканол. ст. АН СССР, 1966, № 40.

- Набоко С. И. Извержение Билюкая, побочного кратера Ключевского вулкана в 1938 г.— Труды Лабор. вулканологии АН СССР и Камчатской вулканол. станции 1947, вып. 5.
- Набоко С. И. Вулканические эксгаляции и продукты их реакций.— Труды лабор. вулканологии АН СССР, 1959, вып. 16.
- Набоко С. И. Гидротермальный метаморфизм в районах активного вулканизма. М., 1963.
- Пийп Б. И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944—1945 гг. и в прошлом.— Труды Лабор. вулканологии АН СССР, 1956, вып. 11.
- Сидоров С. С. Активизация вулкана Эбеко в 1963 г. и эволюция его гидротермальной деятельности в предшествующий период.— Бюлл. Вулканол. станций АН СССР, 1966, № 40.
- Сурнина Л. В., Воронова Л. Г. Значение исследования химического состава вулканических газов для предсказания извержения.— Геология и геофизика. 1964, № 7.
- Товарова И. И. Фумарольная деятельность в кальдере Заварицкого — Бюлл. Вулканол. станции АН СССР, 1960, № 30.
- Iwasaki I., Zawa T. O. Nature of volcanic gases and volcanic eruption.— Bull. volcanol, 1963, t. XXVI.
- Kauama I., Murozzumi M. Volcanic sublimates and volcanic activities.— Bull. volcanol., 1960, t. XXVI.
- Krauskope K. B. Mechanism of eruption at Paricutin Volcano, Mexico.— Bull. geol. Soc. Amer. 1948, v. 59, N 8.
- Lovering T. S. Sulfide ore formed from sulfidedeficient solutions — Econ. geol., 1961, v. 56, N 1.
- Matsuo S. On the origin of volcanic gases.— J. Earth. Sci., Nagoua univ., 1960, N 8.
- Noguchi K., Kamiya H. Растворенные в воде компоненты вулканических пеплов, собранных вокруг г. Асама.— I. Chem. Soc. Japan. 1962, v. 83, N 3.
- Noguchi K., Kamiya H. Prediction of volcanic eruption by measuring the chemical composition and amount of gases.— Bull. volcanol., 1963, t. XXVI.
- Payne J. H., Ballard S. S. The incidence of hydrogen sulfide of Kilauea solfatara preceding the 1940 Mauna Loa volcanic activity.— Science, 1940, N 92.
- Sigvaldason G. E. Some geochemical and hidrothermal aspects of the 1961 Askija eruption.— Beitr. Mineral. und Petrogr. 1964. t. 10, N 3.
- Tazieff H., Tonani F. Fluctuation rapides at importantes de la phaza gazeuse eruption.— C. r. Acad. Sci., 1963, t. 257, N 25.
- White D. E., Waring C. A. A review of the chemical composition of gases from volcanic fumaroles.— Geol. Surv. Profess. Paper, 1961, N 424-C.