

УДК 551.21

МЕНЯИЛОВ И. А., НИКИТИНА Л. П., ПИЛИПЕНКО В. П.,  
ШАПАРЬ В. Н.**СОСТАВ ГАЗОВ И ТЕМПЕРАТУРА КРАТЕРНЫХ ФУМАРОЛ  
ВУЛКАНА МОМОТОМБО (НИКАРАГУА)  
В МАРТЕ — МАЕ 1983 г.**

В марте — июне 1983 г. в Никарагуа работала комплексная экспедиция Института вулканологии ДВНЦ АН СССР. Одной из задач экспедиции были организация и проведение наблюдений в кратере вулкана Момотомбо за вариациями температуры и химического состава фумарольных газов с целью выделения геохимических параметров краткосрочного прогноза извержений. В течение марта — мая регулярно 2—3 раза в неделю отбирались пробы газов из высокотемпературной фумаролы ( $T > 800^\circ\text{C}$ ) и замерялась температура. Химический анализ отобранных проб и обработка материала проводились в тот же день в базовом лагере экспедиции.

**Методика отбора и химического анализа проб.** Отбор газов производился при помощи газоотборной кварцевой трубки, которая вводилась в отверстие, пробитое в устье фумаролы на глубину 70—120 см. Газовая смесь с температурой на выходе около  $130^\circ\text{C}$  разделялась в системе последовательно соединенных охлаждаемых барботёров, в которых происходили конденсация паров воды и поглощение кислых компонентов газовой смеси. Измерение температуры фумарольных газов проводилось хромель-алюмелевой термопарой. Метод отбора и анализа вулканических газов, примененный в период работы на вулкане Момотомбо, описан в [1].

В табл. 1 представлены химический состав газа выбранной нами в 1982 г. фумаролы и измеренные температуры за весь период наблюдений. В табл. 2 сведены результаты обработки аналитических данных — расчетные температуры и парциальные давления кислорода, а также величины соотношений компонентов.

**Предыдущие исследования.** Детальное изучение геохимии фумарольных газов в кратере Момотомбо было начато французскими вулканологами в 1978 г. [3] и продолжено нами в 1982 г. [2]. Установлено, что в период с 1978 по 1982 г. состав газов, отобранных в одно и то же время года из наиболее высокотемпературной фумаролы, оставался на одном уровне — 93—95 мол. %  $\text{H}_2\text{O}$ , 4—5 мол. %  $\text{CO}_2$ , ~1 мол. %  $\text{H}_2$ , а также в меньших количествах  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$  и др.

Замеры температуры на этой фумароле, проводившиеся никарагуанскими специалистами, показали, что температура газов в кратере постепенно повышалась с  $230^\circ\text{C}$  в 1973 г. до  $860^\circ\text{C}$  в 1983 г. Такие высокие температуры газов объясняются близостью к поверхности кровли магматического очага [6]. Вместе с тем были отмечены значительные сезонные колебания температуры. В сухой период года (ноябрь — май) температура газов поднималась до  $800$ — $860^\circ\text{C}$ , а в дождливый период опускалась примерно до  $600^\circ\text{C}$ , что было обусловлено, по-видимому, проникновением в каналы разгрузки фумарольных газов холодных метеор-

Таблица 1

**Химический состав газов режимной фумаролы в кратере вулкана Момотомбо  
в 1983 г., мол.%**

Номер отбора	Дата отбора	T, °C	H <sub>2</sub> O	HF	HCl	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
1a	24.III	851	94,50	0,03	0,36	0,51	0,78	2,84	0,023	0,76	0,17
2a	29.IV	853	94,92	0,03	0,30	0,47	0,66	2,71	0,025	0,76	0,13
26	»	853	94,92	0,03	0,30	0,47	0,66	2,70	0,022	0,75	0,14
4a	1.IV	855	94,74	0,04	0,52	0,60	0,65	2,44	0,026	0,99	0,12
46	»	855	94,72	0,04	0,49	0,58	0,59	2,41	0,029	1,11	0,03
6a	5.IV	858	94,31	0,02	0,30	0,51	0,94	2,68	0,040	1,17	0,03
66	»	858	94,31	0,02	0,31	0,51	0,94	2,61	0,040	1,15	0,11
7a	»	858	95,26	0,02	0,30	0,45	0,85	2,07	0,030	0,99	0,03
76	»	858	95,26	0,02	0,30	0,45	0,85	2,06	0,030	0,95	0,08
8a	8.IV	857	94,99	0,03	0,34	0,52	0,83	2,27	0,030	0,89	0,10
86	»	857	95,00	0,03	0,34	0,52	0,83	2,13	0,030	1,02	0,10
9a	»	857	94,68	0,03	0,34	0,58	0,80	2,31	0,030	1,04	0,19
96	»	857	94,69	0,03	0,34	0,58	0,80	2,30	0,030	1,09	0,14
10a	12.IV	844	96,65	0,03	0,38	0,47	0,75	0,87	0,008	0,80	0,04
106	»	844	96,65	0,03	0,38	0,47	0,75	0,84	0,008	0,85	0,02
11a	»	841	96,76	0,03	0,40	0,47	0,66	0,87	0,008	0,77	0,04
116	»	841	96,77	0,03	0,40	0,47	0,66	0,86	0,008	0,76	0,04
12a	13.IV	841	96,68	0,03	0,40	0,46	0,66	0,90	0,010	0,81	0,05
126	»	841	96,68	0,03	0,40	0,46	0,66	0,94	0,010	0,79	0,03
13a	»	841	96,75	0,03	0,34	0,45	0,66	0,89	0,010	0,86	0,01
136	»	841	96,75	0,03	0,34	0,45	0,66	0,88	0,009	0,83	0,05
14a	15.IV	835	95,43	0,03	0,46	0,59	0,78	1,50	0,010	1,08	0,12
146	»	835	95,49	0,03	0,46	0,59	0,78	1,69	0,016	0,94	0,01
15a	»	835	96,06	0,03	0,35	0,56	0,68	1,36	0,017	0,94	0,01
156	»	835	95,99	0,03	0,35	0,56	0,68	1,57	0,011	0,71	0,10
17a	19.IV	832	95,55	0,04	0,43	0,45	0,70	1,82	0,018	0,93	0,06
176	»	832	95,54	0,04	0,43	0,45	0,70	1,87	0,016	0,88	0,06
18a	22.IV	819	95,14	0,03	0,38	0,48	0,68	2,29	0,020	0,84	0,11
186	»	819	95,13	0,03	0,38	0,48	0,68	2,28	0,020	0,85	0,16
20a	26.IV	835	93,90	0,03	0,37	0,55	0,82	3,36	0,030	0,84	0,10
206	»	835	94,02	0,03	0,36	0,54	0,80	3,33	0,029	0,79	0,09
22a	3.V	839	94,68	0,01	0,17	0,24	0,36	3,70	0,030	0,77	0,04
226	»	839	94,68	0,02	0,17	0,24	0,36	3,70	0,030	0,77	0,04
24a	7.V	842	94,60	0,02	0,31	0,51	0,63	3,08	0,033	0,78	0,03
246	»	842	94,60	0,02	0,31	0,51	0,63	3,12	0,027	0,68	0,09
26a	11.V	842	94,61	0,03	0,32	0,55	0,57	3,05	0,029	0,73	0,11
266	»	842	94,60	0,03	0,32	0,55	0,57	2,98	0,030	0,77	0,15
28a	13.V	842	94,69	0,03	0,33	0,49	0,68	2,80	0,033	0,84	0,13
286	»	842	94,69	0,03	0,33	0,49	0,66	2,93	0,030	0,74	0,10
30a	17.V	842	94,50	0,03	0,34	0,48	0,59	3,02	0,039	0,92	0,08
306	»	842	94,50	0,03	0,34	0,48	0,59	3,10	0,030	0,87	0,06
31a	17.V	842	94,33	0,03	0,33	0,50	0,67	3,04	0,033	0,87	0,10
32a	20.V	842	93,73	0,03	0,30	0,50	0,70	3,67	0,038	0,84	0,12
326	»	842	93,71	0,03	0,38	0,50	0,71	3,79	0,036	0,78	0,06
33a	24.V	845	94,15	0,03	0,35	0,48	0,64	3,28	0,038	0,97	0,08
36a	26.V	853	93,65	0,03	0,35	0,50	0,80	3,68	0,047	0,87	0,07
38a	31.V	856	93,00	0,03	0,36	0,51	0,87	3,52	0,047	0,95	0,11
n	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
X		844	95,05	0,029	0,35	0,49	0,70	2,38	0,025	0,87	0,08
S		10	0,93	0,005	0,06	0,07	0,12	0,92	0,011	0,12	0,04

*Примечание.* Из результатов анализа исключены N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в воздушных отношениях, (~2 об. % N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> в сухом газе).

ных вод. Колебания же состава газов в зависимости от изменения температуры в сухой и дождливый периоды изучены не были.

Масштабы выноса газов оценены на основе замеров количества SO<sub>2</sub> в газовом облаке над кратером и по данным о химическом составе фумарол. Всего суточно из кратера выносилось около 15 т SO<sub>2</sub>, величина отношения (весового) H<sub>2</sub>O/SO<sub>2</sub> в 1982 г. равнялась 57, а общее количество газов, включая H<sub>2</sub>O, оценено в ~1000 т/сут [2]. Согласно определению изотопного состава водорода, кислорода, углерода и серы для

Таблица 2

Измеренные и рассчитанные температуры, величины  $P_{O_2}$  и отношения компонентов для газовых проб из режимной фумаролы вулкана Момотомбо

Номер пробы	Температура, °С		Давление, атм		Весовое отношение		Мольное отношение				
	$T_i$	$T_p$ (1)	$T_p$ (2)	$\lg P_{O_2}$ (3)	$\lg P_{O_2}$ (4)	C/F	S/Cl	C/S	$H_2S/SO_2$	$CO/CO_2 \cdot 10^{-3}$	$H_2O/H_2O \cdot 10^{-3}$
1a	851	797	835	-13,14	-13,00	22,8	3,0	0,84	0,65	8,40	8,25
2a	853	883	827	-13,07	-13,08	18,8	3,3	0,92	0,71	10,03	8,10
26	853	811	825	-13,07	-12,97	18,8	3,3	0,92	0,71	8,15	7,90
4a	855	808	852	-13,27	-13,15	24,1	2,2	0,76	0,92	10,35	10,45
46	855	810	865	-13,37	-13,26	22,6	2,1	0,77	0,98	12,03	11,72
6a	858	860	904	-13,34	-13,37	27,6	4,2	0,68	0,54	14,92	12,40
66	858	875	901	-13,34	-13,41	28,8	4,2	0,68	0,54	15,32	12,19
7a	858	911	903	-13,26	-13,35	27,6	3,6	0,62	0,63	14,49	10,39
76	858	927	872	-13,16	-13,35	27,6	3,6	0,62	0,53	14,56	9,97
8a	857	915	855	-13,12	-13,29	21,6	3,8	0,64	0,63	13,24	9,37
86	857	889	875	-13,24	-13,35	21,6	3,8	0,59	0,63	14,03	10,74
9a	858	854	871	-13,26	-13,31	21,6	4,0	0,63	0,76	12,99	10,98
96	857	841	878	-13,30	-13,29	21,6	4,0	0,63	0,76	13,04	11,51
10a	844	834	837	-13,29	-13,28	24,0	2,9	0,27	0,63	9,19	8,28
106	844	826	846	-13,35	-13,32	24,0	2,9	0,26	0,63	9,52	8,79
11a	841	847	826	-13,31	-13,35	25,2	2,5	0,29	0,71	9,19	7,95
116	841	856	824	-13,31	-13,37	25,2	2,5	0,29	0,71	9,30	7,85
12a	841	893	834	-13,35	-13,53	25,2	2,5	0,31	0,70	11,41	8,38
126	841	887	831	-13,33	-13,59	25,2	2,5	0,32	0,70	10,63	8,17
13a	841	877	843	-13,41	-13,59	21,6	2,9	0,31	0,68	11,23	8,89
136	841	857	838	-13,37	-13,45	21,6	2,9	0,30	0,68	10,23	9,61
14a	835	666	873	-13,21	-13,21	29,2	2,7	0,42	0,76	6,67	11,32
146	835	791	853	-13,62	-13,53	29,2	2,7	0,47	0,76	9,47	9,84
15a	835	880	848	-13,62	-13,77	22,0	3,2	0,42	0,82	12,50	9,78
156	835	787	809	-13,38	-13,27	22,0	3,2	0,48	0,82	7,00	7,39
17a	832	807	859	-13,68	-13,64	20,0	2,4	0,60	0,64	9,89	9,73
176	832	781	851	-13,64	-13,51	20,0	2,4	0,61	0,64	8,58	9,21
18a	819	809	840	-13,88	-13,84	24,0	2,8	0,73	0,71	8,73	8,83
186	819	797	842	-13,88	-13,84	24,0	2,8	0,73	0,71	8,77	8,93
20a	835	802	845	-13,54	-13,47	23,2	3,4	0,93	0,67	8,93	8,94
206	835	813	835	-13,50	-13,45	22,8	3,3	0,95	0,68	8,71	8,40
22a	839	801	832	-13,37	-13,30	19,3	3,2	2,34	0,67	8,11	8,13
226	839	801	832	-13,37	-13,30	19,3	3,2	2,34	0,67	8,11	8,13
24a	842	886	825	-13,33	-13,46	28,8	3,3	1,03	0,81	10,71	8,24
246	842	860	806	-13,24	-13,29	28,8	3,3	1,04	0,81	8,65	7,19
26a	842	850	808	-13,27	-13,36	20,0	3,2	1,04	0,96	9,51	7,71
266	842	769	815	-13,31	-13,41	20,0	3,2	1,02	0,96	10,07	8,14
28a	842	894	839	-13,39	-13,55	20,8	3,2	0,93	0,74	11,78	8,87
286	842	889	822	-13,27	-13,43	20,8	3,2	0,97	0,74	10,24	7,81
30a	842	893	848	-13,47	-13,42	21,6	2,8	1,08	0,81	12,91	9,73
306	842	817	840	-13,41	-13,39	21,6	2,8	1,08	0,81	9,68	9,21
31a	842	853	844	-13,43	-13,49	20,8	3,2	0,99	0,75	10,85	9,21
32a	842	847	842	-13,39	-13,45	18,8	3,7	1,16	0,71	10,35	8,96
326	842	843	832	-13,33	-13,37	24,0	2,9	1,20	0,70	9,50	8,32
33a	845	838	860	-13,45	-13,45	22,0	2,9	1,12	0,75	12,46	10,30
36a	853	905	854	-13,24	-13,37	22,0	3,4	1,08	0,63	12,77	9,28
38a	856	890	870	-13,22	-13,34	22,8	3,5	0,98	0,59	13,35	10,15
n	47	46	47	47	47	47	47	47	47	47	47
$\bar{X}$	844	849	846	-13,38	-13,39	23,1	3,1	0,79	0,72	10,60	9,30
S	10	30	23	0,19	0,17	3,0	0,5	0,43	0,10	2,20	1,30

Примечание.  $T_i$  — измеренная температура;  $T_p$  (1) — рассчитанная температура по реакции (1);  $T_p$  (2) — рассчитанная температура по реакции (2);  $\lg P_{O_2}$  (3) рассчитано по реакции (3);  $\lg P_{O_2}$  (4) рассчитано по реакции (4). Расчеты проводились по данным [5].

$H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$  и  $SO_2$  предполагается, что в кратерных экскавациях Момотомбо большую роль играет вещества корового происхождения [2].

Фумарольная деятельность в кратере. В марте — июне 1983 г. наиболее высокие температуры (500—860° С) отмечены для фумарол в западной части кратера. Газы молочно-белого цвета выделялись из отверстий

или трещин в лавовом холме. В устье некоторых фумарол породы были разогреты до цвета красного каления. Поверхность вокруг газовых выходов покрыта налетом серы, достигающим на некотором удалении от фумарол толщины нескольких сантиметров. Породы, слагающие кратер, интенсивно изменены и имеют охристо-красноватую окраску. В восточной части кратера расположена еще одна группа фумарол с температурой газов 150—550° С. Над устьем некоторых из этих фумарол наблюдалась серные бугры. Горячие выходы газов с температурой 100—150° С прослеживались по всему периметру кратера и на внешних склонах конуса. Фумаролы и горячие выходы газов приурочены к концентрическим трещинам, образовавшимся, по-видимому, в процессе опускания дна кратера.

Для исследований была выбрана наиболее горячая фумарола западной группы фумарол. Температура газов в начале апреля достигала 858° С. Из этой фумаролы производился отбор проб газов в 1978 и 1982 гг. [2, 3]. По сравнению с 1982 г. температура газов в кратере повысилась примерно на 50° С. Однако, как показали отбор первых проб в 1983 г. и их последующий анализ, характер газового состава высокотемпературных фумарол практически не изменился. В составе газов (см. табл. 1) преобладали пары воды (94,5 мол. %), отмечены значительные количества  $H_2$  и  $CO$ , величины отношений  $H_2/H_2O$ ,  $H_2S/SO_2$  и др. остались прежними.

**Изменение состава газов в зависимости от температуры.** За период наблюдений в кратере вулкана были отмечены заметные изменения в температуре и составе газов выбранной фумаролы. При повышении температуры происходило увеличение концентраций  $H_2$ ,  $CO$ ,  $SO_2$  и величин отношений  $H_2/H_2O$  и  $CO/CO_2$  (рис. 1). Если предположить, что химический состав основных фумарольных газов контролируется равновесием газовых реакций, то изменение состава газов может быть вызвано смещением равновесия реакций в зависимости от колебания температуры:



Как показали расчеты (см. табл. 2), температура равновесия реакций (1) и (2) во многих случаях близка к измеренным температурам. Средняя статистическая величина  $\bar{X}_i$  измеренной температуры оказалась равной  $844 \pm 10^\circ C$ , а  $\bar{X}_p$ , рассчитанной температуры для реакций (1) и (2) —  $849 \pm 30^\circ C$  и  $846 \pm 23^\circ C$  соответственно. Если рассчитать температуру равновесия реакций (1) и (2) для среднего состава фумарольного газа (см. табл. 1 и 2), то рассчитанные температуры ( $845$  и  $846^\circ C$  соответственно) будут всего на  $1$ — $2^\circ C$  отличаться от  $\bar{X}_i$  при размахе варьирования не более  $20$ — $30^\circ C$ . Расчеты подтверждают предположение, что газы фумаролы достигали состояния равновесия при изменениях температуры. На рис. 2 показана зависимость между измеренными и рассчитанными для условий равновесия реакций (1) и (2) температурами. Показано также, что значения величин  $P_{O_2}$ , рассчитанных для реакций



располагаются между кривыми значений  $P_{O_2}$  для кварц-магнетит-фаялитового и никель-никель-оксидного буферов. В условиях высоких температур состав газов фумаролы сдвигается в область восстановительной обстановки (ближе к кривой для  $P_{O_2}$  кварц-магнетит-фаялитового буфера, см. рис. 2).

**Изменение температуры и состава газов во времени.** Постоянные замеры температуры и отбор газовых проб в кратере были начаты 24 марта и продолжались в течение 2,5 месяцев (рис. 3). В начальный период

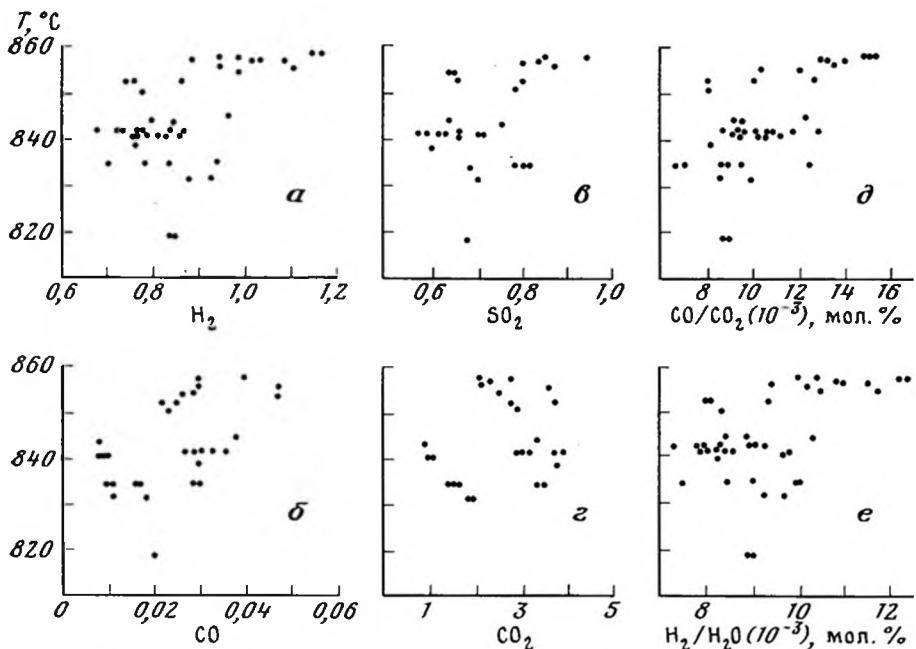


Рис. 1. Зависимость содержаний  $H_2$  (а),  $CO$  (б),  $SO_2$  (в),  $CO_2$  (г) и величин отношений  $CO/CO_2$  (д) и  $H_2/H_2O$  (е) от температуры режимной фумаролы

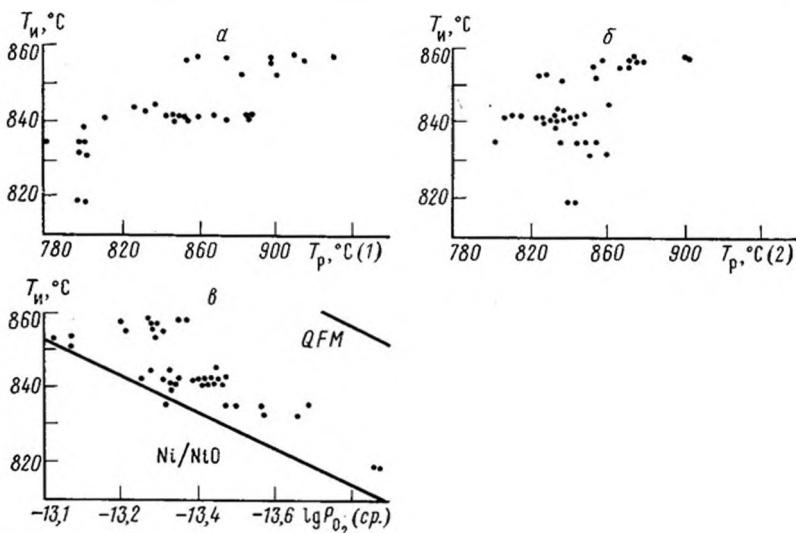


Рис. 2. Зависимость между измеренной и рассчитанной температурами и величиной  $P_{O_2}$ .  
 а — равновесная температура  $T_p$  (1) рассчитана по реакции (1); б — равновесная температура  $T_p$  (2) рассчитана по реакции (2); в —  $P_{O_2}$  рассчитано по реакциям (3) и (4),  $Ni/NiO — P_{O_2}$  для никель-никель-оксидного буфера,  $QFM — P_{O_2}$  для кварц-магнетит-фаялитового буфера

(24 марта — 5 апреля) наблюдалось постепенное повышение температуры с 851 до 858° С. Состав газов изменялся незначительно, за исключением некоторого повышения содержаний  $H_2$  и  $CO$ . Постоянная сейсмостанция, расположенная у подножия вулкана, регистрировала в это время вулканическое дрожание, которое началось 17 марта и закончилось 4 апреля. После прекращения дрожания температура фумаролы за период с 8 по 22 апреля упала с 858 до 819° С. Одновременно с момента

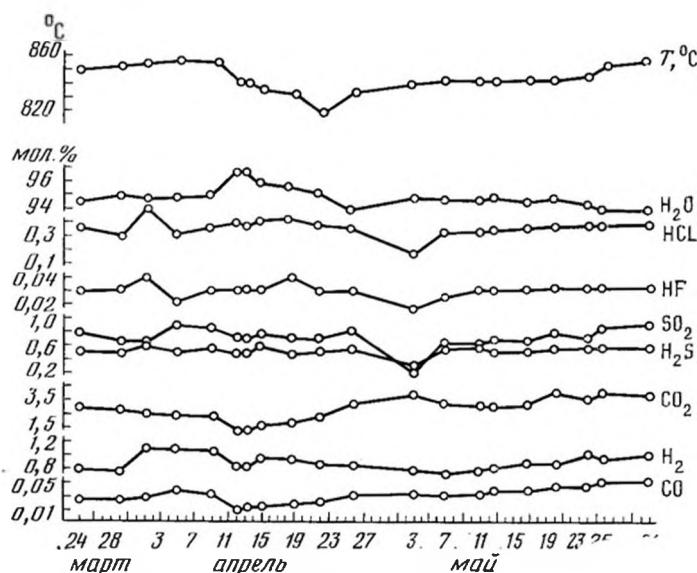


Рис. 3. Колебания температуры и состава газов режимной фумаролы в марте — мае 1983 г.

начала понижения температуры наблюдалось увеличение содержания  $\text{H}_2\text{O}$  с 94,1 до 96,7 мол. % и уменьшение  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$  и  $\text{HF}$ .

После 15 апреля, когда температура фумаролы продолжала падать, начались уменьшение содержаний  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{SO}_2$  и увеличение содержаний  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ . С 22 апреля было отмечено начало подъема температуры газов. К концу апреля содержание  $\text{H}_2\text{O}$  и других газов достигло первоначальных значений. С начала мая температура газов стабилизировалась и длительное время колебалась в пределах 839—842° С. Состав газов оставался практически постоянным. 31 мая, когда был произведен последний отбор проб, температура фумаролы оказалась такой же, что и в первые дни наблюдений.

Необходимо отметить, что понижение температуры в период с 8 по 22 апреля зафиксировано для фумарол всего кратера. В это время многие фумаролы вообще прекратили свою деятельность; общий вынос газов, по визуальным оценкам, значительно сократился. После 22 апреля, когда начался подъем температуры выбранной фумаролы, повысились температуры и расход газов остальных фумарол.

**Следение за геохимическими параметрами.** Вулкан Момотомбо является одним из немногих объектов, на которых проводятся более или менее регулярные геохимические наблюдения. Постоянный подъем температуры, произошедший в последние 10 лет, пока еще не закончился извержением. Аналогичный подъем температуры фумарол, но без каких-либо признаков эруптивной активности отмечался на о-ве Вулькано (температура кратерных фумарол поднялась с 200 до более 300° С) и на куполе вулкана Мерапи (с 400 до 800° С) [6]. Более надежным предвестником извержений, чем повышение температуры, возможно, является изменение состава фумарольных газов в предэруптивный период [6]. В 1983 г. на основе химического анализа газов фумарол в кратере Момотомбо были рассчитаны некоторые отношения компонентов (см. табл. 2), имеющие практическое значение для слежения за состоянием вулкана и поисков геохимических признаков возможного извержения. Выбранные геохимические параметры (величины отношения  $\text{S}/\text{Cl}$ ,  $\text{Cl}/\text{F}$ ,

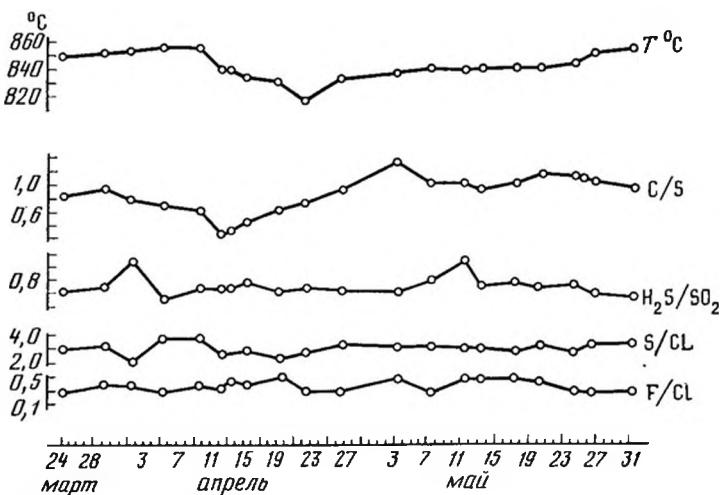


Рис. 4. Колебания геохимических параметров режимной фумаролы в марте—мае 1983 г.

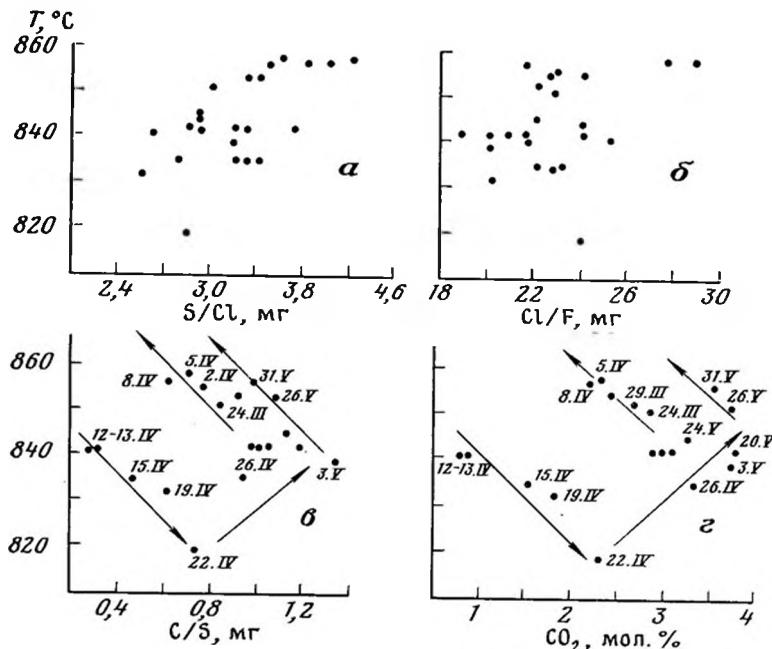


Рис. 5. Зависимость величин отношений S/Cl (а), Cl/F (б), C/S (γ) и содержания CO<sub>2</sub> (δ) от температуры газов режимной фумаролы

$S/C$  и  $H_2S/SO_2$ ) являются отношениями относительно плохо и хорошо растворимых в магматическом расплаве газов. Предполагается [6], что при повышении давления в магматическом очаге в предэруптивный период должно происходить преимущественное выделение относительно плохо растворимых газов и отношения  $S/Cl$ ,  $Cl/F$ ,  $S/C$  и  $H_2S/SO_2$  в фумарольных газах должны увеличиваться.

Наблюдения за режимом кратерных фумарол Момотомбо (рис. 4) показали, что на фоне заметных изменений температуры и состава газов (в основном  $H_2O$ ) величины отношений  $S/Cl$ ,  $Cl/F$ ,  $H_2S/SO_2$  изменились незначительно, что давало возможность в оперативных сводках [4] о

состоянии вулкана утверждать об отсутствии признаков приближающегося извержения. На рис. 5 показаны температурные зависимости величин отношений  $S/Cl$ ,  $Cl/F$  и содержания  $CO_2$  наблюдаемой фумаролы.

**Возможные причины изменения температуры и состава газов в межэруптивный период.** Зафиксированные изменения температуры и состава газов фумарол, как было указано выше, не были связаны с приближающимся извержением. Интервалы колебаний концентраций газов и их отношений, по-видимому, характерны для межэруптивного периода в деятельности вулкана. Эти колебания установлены для сухого периода года; различия же в составе газов в дождливый период пока не выяснены.

Наиболее существенными оказались колебания температуры, содержаний  $H_2O$  и  $CO_2$  (см. рис. 3) и величин отношения  $C/S$  (см. рис. 4). Вместе с падением температуры фумарол содержание  $H_2O$  в газах увеличилось на 2,5 мол.%. Уменьшение содержания  $H_2O$  в фумарольных газах началось, когда температура продолжала падать (см. рис. 3). Содержание  $CO_2$  и величины отношения  $C/S$  после некоторого уменьшения в момент начала понижения температуры и увеличения  $H_2O$  начали резко увеличиваться с 12 апреля, когда температура еще продолжала падать, и увеличивались вплоть до 3 мая, но уже на фоне повышения температуры (см. рис. 3 и 4). После 3 мая содержание  $CO_2$  и отношение  $C/S$  уменьшились до прежних значений.

Для понимания геохимических особенностей фумарольной деятельности вулкана Момотомбо необходимо дать ответ по крайней мере на два взаимосвязанных

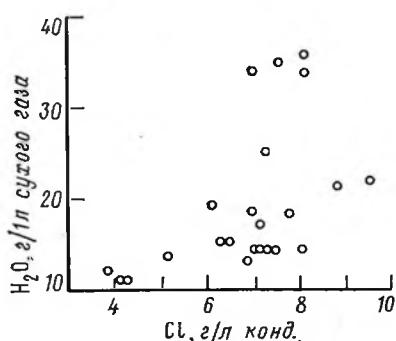


Рис. 6. Зависимость содержания  $Cl$  в конденсатах от количества  $H_2O$  в фумарольных газах режимной фумаролы

вопроса: 1) с чем связаны вариации температур и химического состава фумарол, прослеженные в период геохимических наблюдений в марте — мае 1983 г.; 2) могут ли они служить предвестниками возможного извержения.

Изменениям в температурном и химическом режиме фумарольной деятельности предшествовало вулканическое дрожание в области магматического очага. Резкое падение температуры фумарол с 858 до 819°С сопровождалось существенным увеличением доли воды и содержания хлора, а также уменьшением содержания  $CO_2$  в фумарольном газе, причем происходило это несинхронно. Характерным и отчетливо прослеживающимся является тот факт, что изменение химического режима началось непосредственно после окончания вулканического дрожания, а минимальная температура зафиксирована уже на фоне восстановления химического режима. Иными словами, изменение температуры и состава газов могло быть результатом возросшей сейсмической активности, когда в недрах вулканической постройки произошло раскрытие старых или образование новых трещин, по которым в систему разгрузки вулканического аппарата внедрились грунтовые или высокоминерализованные хлоридные термальные воды. Последнее предположение основывается на наблюдаемой прямой корреляции между увеличением содержания воды и хлора в фумарольном газе (рис. 6). Возможно, проникновение этих относительно холодных вод к кровле магматического очага вызвало понижение температуры и изменение химического состава фумарол, в частности величин отношений  $S/Cl$ ,  $Cl/F$ ,  $C/S$ .

**Заключение.** Природа короткопериодных колебаний температуры и состава фумарольных газов в кратере вулкана Момотомбо пока не

совсем ясна. Можно лишь уверенно констатировать, что эти колебания не были связаны с активизацией вулкана (извержения не произошло). Причиной таких изменений может быть проникновение к кровле и в аппарат разгрузки магматического очага высокоминерализованных растворов из геотермальной системы Момотомбо.

Для выделения геохимических параметров, колебания которых были бы связаны именно с магматической активностью, необходимы круглогодичные наблюдения. В результате наблюдений, проведенных в марте—мая 1983 г., выяснено, что отношения S/C, H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub>, S/Cl и F/Cl, видимо, не подходят для установления факта магматической активизации вулкана Момотомбо, так как эти отношения зависят от факторов экзогенного характера. Наименьшая температурная зависимость характеризует отношение H<sub>2</sub>S/SO<sub>2</sub>, и можно предположить, что оно в большей степени зависит от эндогенных факторов (активизация магмы). Закономерное изменение этого параметра и дальнейшее возрастание температуры могут явиться предвестником начала периода эруптивной активности вулкана Момотомбо, но для подтверждения необходимо продолжение работ в кратере вулкана.

Авторы выражают признательность сотрудникам Института исследования никарагуанских территорий (INETER) и Института национальной энергетики (INE) др. А. Родригесу, др. Р. Археньялу, Д. Фахардо, Р. Эспиносе, И. Вайесио за постоянную помощь во время полевых работ экспедиции в Никарагуа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Меняйлов И. А., Никитина Л. П., Шапарь В. И. Геохимические особенности экстягия Большого трещинного Толбачинского извержения, 1975—1976. М.: Наука, 1980. 250 с.
2. Меняйлов И. А., Никитина Л. П., Шапарь В. И., Гриненко В. А., Буачидзе Г. И., Стойбер Р., Уильямс С. Химический состав, металлоносность и изотопия фумарольных газов вулкана Момотомбо (Никарагуа) в 1982 г.— Вулканология и сейсмология, 1986, № 2, с. 60—71.
3. Allard P. Composition isotopique du carbon dens Cas gaz d'un volcan d'arc: le Momotombo (Nicaragua).—C. r. Acad. sci., P., 1980, v. 290, sér. D, p. 1525—1528.
4. Menyailov I. A., Shapar V. N., Gartzeva L. N., Pilipenko V. P., Argenal R., Fajardo D., Espinoza R., Vallesillo I. Fumarole chemistry changes and temperature drops after tremor ends.—SEAN Bull., 1983, v. 8, p. 13—14.
5. Sabroux J. C. Equilibre thermodynamique en phase gazeous volcanique.—In: Hautes températures et sciences de la terre. Ed. du CNRS. Toulouse, 1979, p. 37—46.
6. Tazieff H. Gas release, observed facts.—In: Forecasting of volcanic events. Amsterdam: Elsevier, 1983, p. 275—291.

Институт вулканологии  
ДВНЦ АН СССР

Поступила в редакцию  
1.VII.1985