

К. А. СКРИПКО, Е. М. ФИЛЬКОВА, Г. Г. ХРАМОВА

СОСТОЯНИЕ ВУЛКАНА ЭБЕКО ЛЕТОМ 1965 г.

8 августа 1965 г. произошло фреатическое извержение в кратерном озере вулкана Эбеко. Вслед за этим произошло понижение уровня озера на 10—11 м, в течение 11 дней ушло более 90% воды, находившейся в озере до 8 августа. В августе—сентябре 1965 г. авторы проводили регулярные наблюдения за температурой, уровнем озера, химическим составом воды и спонтанных газов Горячего озера, а также за фумарольной деятельностью на смежных фумарольных полях.

ГОРЯЧЕЕ ОЗЕРО ЛЕТОМ 1965 г.

В 1934—1935 гг. произошло эксплозивное извержение из Среднего кратера с выбросом свежего магматического материала [бомб типа хлебной корки (Горшков, 1957)]. Горячее озеро образовалось после этого извержения.

До 1957 г. наблюдался сток из Горячего озера в Холодное. В период 1957—1959 гг. произошло понижение уровня озера на 1,5 м, которое связывалось с сейсмичностью. Сток из Горячего озера в Холодное прекратился.

Температура воды в озере была: в 1951 г.—46°С (по Ю. С. Желубовскому); в 1952 г.—30—50° (по Г. М. Власову); в 1955 г.—45—60° (по В. В. Иванову); в 1959 г.—27° (по Е. К. Мархинину); в 1960—1963 гг.—не превышала 25—27°С (по В. Н. Шилову, С. С. Сидорову, И. П. Аверьянову и др.). Зимой 1963 г., во время фреатического извержения, температура воды озера была +8, +10°С, летом 1963 и 1964 гг.—+18, +20°С. Такие же температуры сохранялись до августа 1965 г.

В 1951 г., по данным Ю. С. Желубовского, паро-газовые струи располагались вдоль всех берегов озера (наиболее мощные струи находились на южном и западном берегах). В 1960—1963 гг. фумарольная деятельность на северном и восточном берегах озера не проявлялась.

Все эти явления свидетельствовали об уменьшении во времени активности Среднего кратера, особенно после 1957—1959 гг., что и было отмечено раньше (Сидоров, 1966).

8 августа 1965 г. в озере отмечались большие выбросы парогазовой смеси и темного ила с обломками пород. Высота выбросов в северо-восточной, северо-западной и западной частях озера достигала 6—8 м (рис. 1). Отчетливо наблюдалась пульсация выбросов. Все озеро «кипело» благодаря выделению большого количества газов. Такого рода извержения очень характерны для вулканов с кратерными озерами, например, для вулкана Кава-Иджен в Индонезии (Зеленов, 1965).



Рис. 1. Выбросы парогазовой смеси и ила в северо-восточной части озера 8.VIII 1965 г. Вид с южного берега озера. Фото Н. Степанова

12 августа Г. Лемешко с группой туристов посетил озеро. По его словам, поверхность озера стала спокойной, уровень воды к этому времени понизился на 4—5 м, температура воды не превышала 15—16С.

Наши наблюдения за режимом озера начались 19 августа. По сравнению с 1964 г. уровень воды в озере понизился на 10—11 м (рис. 2). 19 августа озеро было разобщено перемычками на три небольших озера. Позднее от западного перемычкой отделилось северо-западное озеро (рис. 3).

Приведем сведения о размерах и глубине каждого из озерков на 1 сентября 1965 г.:

	Площадь, м ²	Максимальная глубина, м	Объем, м ³
Восточное	1711	2,5	3800
Северо-восточное	1025	0,2	205
Северо-западное	973	0,5	432
Западное	2938	4,5	11744

В северо-восточной части восточного озера и у западного берега (в 2 м от берега) западного озера имелись грифоны диаметром 1,5—

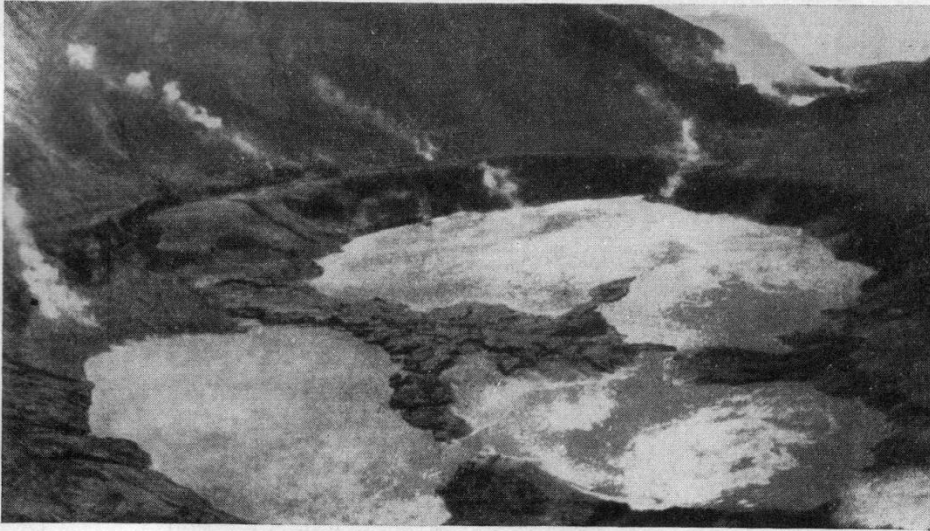


Рис. 2. Общий вид Горячего озера 19.VIII 1965 г. Вид с севера

2 м. Вода в озерах была мутная. Уровень воды 19 августа в восточном озерах был на 34 см выше, чем в западном и северо-западном. Отмечался небольшой сток воды из восточного озера в северо-восточное и далее в северо-западное и западное озера через промоину в перемычке. Температура воды 19 августа была в восточном озерах $+30$, $+31^{\circ}\text{C}$, в западном и северо-западном $+15^{\circ}\text{C}$.

После 19 августа уровень воды продолжал понижаться несмотря на выпадение осадков (рис. 4). При этом в восточном озерах уровень понизился с 19 по 25 августа на 0,68 м, а в западном и северо-западном с 19 по 28 августа — на 0,89 м. Это подтверждает, что основные пути подземного стока находились в западной части озера. Потери воды из восточного озера могли быть в значительной степени обусловлены стоком в западные озера через перемычку, который практически прекратился к 25 августа.

В дальнейшем уровень воды непрерывно повышался. Суммарное повышение уровня озера с 28 августа по 21 сентября для западных озерах — на 1,54 м, для восточного — на 1 м (рис. 4). 21 августа перемычки скрылись под водой, и озеро стало единым.

Понижение уровня озера с 8 по 19 августа, если судить по микроабразионным уступам (рис. 5), было прерывистым. Высота уступов от 1 до 25 см. Можно выделить три цикла, характеризующихся в начале и в конце более медленным, а в середине более быстрым понижением уровня воды. Всего за 11 дней ушло $160\ 300$ — $164\ 300\ \text{м}^3$ воды, или 90,8—93,1% всей воды, находившейся в озерах до 8 августа 1965 г. Это соответствует средней за этот период скорости утечки $168,7$ — $172,9\ \text{л/сек}$.

За 9 дней, с 19 по 28 августа, утечка из озера составила, по заведомо заниженной оценке (пренебрегаем увеличением объема воды за счет выпадения осадков), $3778,7\ \text{м}^3$, что соответствует средней скорости утечки $4,86\ \text{л/сек}$. Временами скорость утечки, вероятно, превосходила это среднее значение. 24 августа было отмечено понижение уровня озера на 4 см за 4 часа. Подсчитано, что количество воды, ушедшей за это время, только на площади двух западных озерах составило $156,44\ \text{м}^3$, что соответствует утечке $10,86\ \text{л/сек}$.

На рис. 4 отчетливо видно несколько импульсов изменения темпера-

туры, что, по-видимому, связано с колебаниями активности донных фумарол. Изменения температуры в озерах в период их разобшенности, особенно в августе, были не одновременны. Максимальные температуры воды за период наших наблюдений отмечены 2—5 сентября: в восточном озере 44—46° С, в северо-западном — 43—45° С, в западном — 44—50° С. К 25 сентября температура воды озера снизилась до 26—29°.

К 19 августа ушло более 90% воды озера и вместе с ней более 90% всех растворенных в воде компонентов. С уходом воды озера и разбавлением оставшейся ее части маломинерализованными поверхностными и метеорными водами фактически заново стал формироваться солевой состав озера.

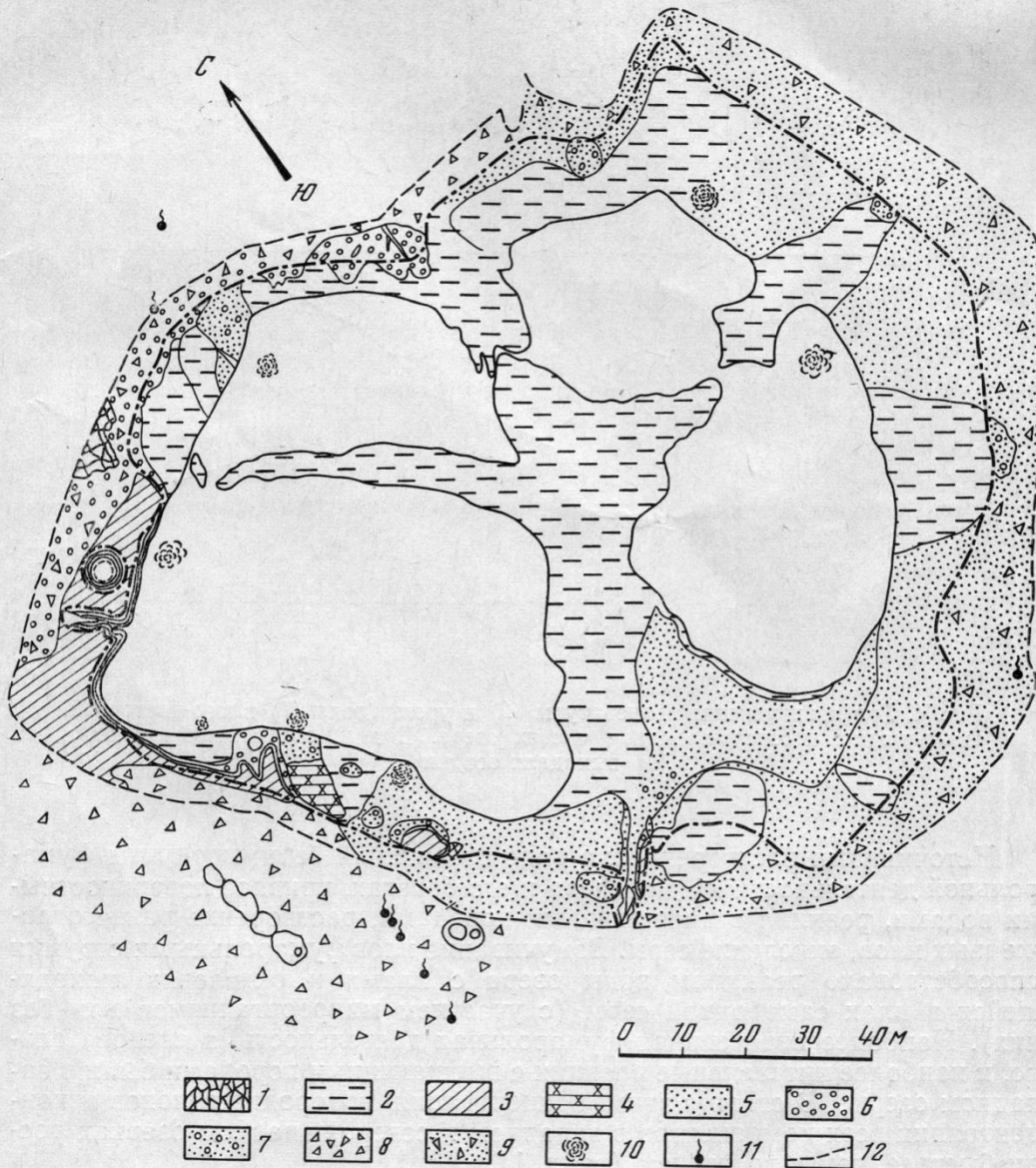


Рис. 3. Литологическая схема озера

1 — сера плавяная, оолитовая; 2 — сернистые илы; 3 — сернистые слоистые алевриты; 4 — слоистые алевриты; 5 — песчано-галечные аллювиально-пролювиальные отложения; 6 — туфы; 7 — туфобрекчи; 8 — осыпи; 9 — осыпи туфобрекчий; 10 — грифоны и грязевые котлы; 11 — фумаролы; 12 — береговая линия озера до извержения 8.VIII 1965 г.

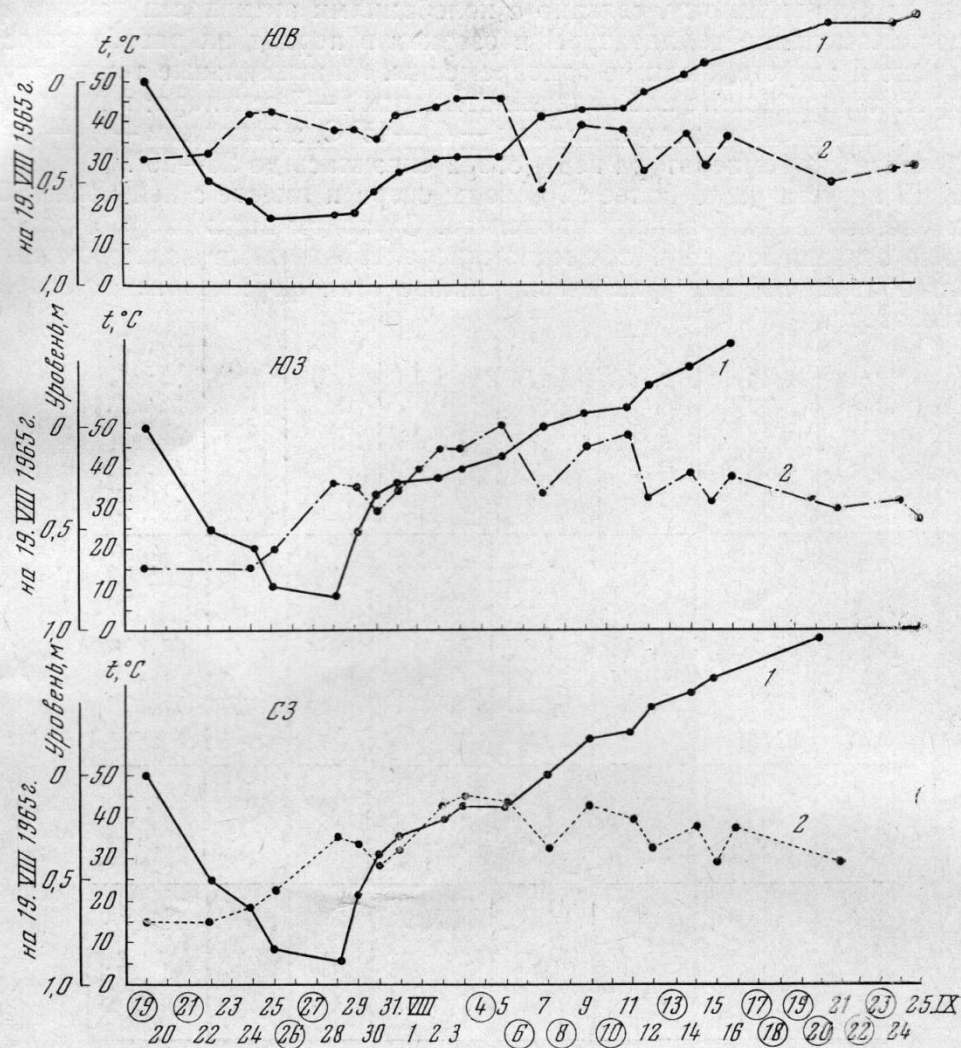


Рис. 4. График изменения температуры (2) и уровня воды (1) в юго-восточной, юго-западной и северо-западной частях озера. В дни, отмеченные кружком, выпадали осадки

Источниками растворенных в воде соединений были продукты фумарольной деятельности на дне озера и его берегах, привнос поверхностными водами, реакции с вмещающими породами, растворение ранее отложенных илов, окисление серы. Взмучивание илов фумарольными струями способствовало реакциям воды озера с илами и окислению находящейся в илах самородной серы (с участием микроорганизмов или без них). Наиболее интенсивная фумарольная деятельность, а следовательно, и наиболее интенсивные реакции с вмещающими породами были в западном озерке. В связи с этим концентрация водородных ионов и концентрации всех компонентов в западном и северо-западном озерках росли быстрее, чем в восточном (табл. 1).

Так, с 19 августа по 5 сентября общая минерализация воды увеличилась в северо-западном озерке с 4,0 до 7,4 г/л, в юго-восточной части озера (восточное озерко) с 2,94 до 3,63 г/л. 21 сентября общая минерализация в юго-восточной части озера достигла 5,12 г/л (рис. 6, табл. 2). Во всех озерках, несмотря на разбавление атмосферными осадками и



Рис. 5. Микроабразионные уступы на южном берегу озера

поверхностными водами, непрерывно увеличивались концентрации водородных ионов (рис. 6), натрия, калия, кальция, магния, закисного железа, сульфат-, хлор- и фтор-ионов (см. табл. 2).

Регулярно в юго-восточной части озера отбирались пробы спонтанных газов. Основными компонентами спонтанных газов Горячего озера (табл. 2) являются двуокись углерода (92,7—98,5%), азот и кислород. В одной из проб в очень небольших количествах был обнаружен сернистый газ.

Отношение азот+инертные газы к кислороду для всех проб значительно выше воздушного, равного 3,772. Отношение углекислоты к азоту, избыточному против воздушного, растворенного в воде, сравнительно постоянно и колеблется от 66 до 92,6. Отношение $(N_2+i)/O_2$ в растворенном в воде воздухе равно 1,976 при температуре 30° С (Перельман,

Химический состав воды Горячего озера

Аналитик

Компоненты	1			2			3		
	мг/л	мг-экв/л	мг-экв. %	мг/л	мг-экв/л	мг-экв. %	мг/л	мг-экв/л	мг-экв. %
Катионы									
H ⁺	14,09	13,98	28,89	16,16	16,03	27,77	25,66	25,46	33,09
Na ⁺	46,70	2,03	4,20	62,00	2,70	4,68	140,50	6,11	7,94
K ⁺	16,70	0,43	0,89	18,50	0,47	0,83	29,60	0,76	0,99
Mg ²⁺	43,42	3,57	7,38	106,40	8,75	15,16	164,30	13,51	17,56
Ca ²⁺	230,28	11,49	23,74	239,13	11,93	20,67	326,43	16,29	21,17
Al ³⁺	106,70	11,87	24,53	96,97	10,79	18,69	96,76	9,77	12,70
Fe ²⁺	140,86	15,02	10,37	196,89	7,05	12,21	140,86	5,04	6,55
Fe ³⁺	Не опр.	—	—	Не опр.	—	—	Не опр.	—	—
Ti ⁴⁺	Не опр.	—	—	Не опр.	—	—	Не опр.	—	—
Сумма	598,75	48,39	100,0	736,05	57,72	100,0	924,11	76,94	100,0
Анионы									
Cl ⁻	893,59	25,20	55,02	751,75	21,20	41,01	1063,80	30,00	41,65
F ⁻	1,75	0,09	0,20	2,25	0,12	0,19	2,00	0,11	0,14
SO ₄ ²⁻	709,00	14,76	32,23	1043,30	21,72	42,01	1195,20	24,90	34,57
HSO ₄ ⁻	557,75	5,75	12,55	835,80	8,73	16,89	1651,90	17,03	23,64
Сумма	2162,09	45,80	100,0	2633,10	51,70	100,0	3912,90	72,04	100,0
H ₂ SiO ₃	177,45			261,95			276,90		
H ₃ PO ₄	0,72			1,75			0,79		
pH	1,92			1,85			1,65		
Общая минерализация, г/л	2,94			3,63			5,12		
t°C	31°			46°			25°		
Формула Курлова	$M_{2,9} \frac{Cl_{55,0} SO_{32,2}^4 HSO_{12,6}^4}{H_{28,9} Al_{24,5} Ca_{23,7} Fe_{10,4}}$			$M_{3,6} \frac{SO_{42,0}^4 Cl_{41,0} HSO_{16,7}^4}{H_{27,8} Ca_{20,7} Al_{18,7} Mg_{15,2} Fe_{12,2}}$			$M_{5,1} \frac{Cl_{41,7} SO_{35,6}^4 HSO_{23,6}^4}{Al_{33,1} Ca_{21,2} Mg_{17,6} Al_{12,7}}$		

Примечание. 1—юго-восточная часть озера (восточное озерко), 19.VIII 1965 г.; 2—там же, 4.IX 1965 г.; 3—там же, 21.IX 1965 г.; 4—северо-западная часть озера

1956). Для температур 30—45° это отношение нами принималось равным 2. Исключение составляет проба 4. Более низкое значение отношения для этой пробы может быть объяснено попаданием в нее атмосферного воздуха, что согласуется с аномально высоким содержанием азота и кислорода в пробе. Отношение углекислоты к азоту в этой пробе после вычета атмосферного воздуха (с отношением (N₂⁺)O₂, равным 3,772) равно 70,2.

Таблица 1

вулкана Эбеко в 1965 г.

Е. М. Филькова

4			5			6		
мг/л	мг-экв/л	мг-экв. %	мг/л	мг-экв/л	мг-экв. %	мг/л	мг-экв/л	мг-экв. %
25,38	25,18	34,99	33,06	32,80	26,98	31,53	31,28	26,98
56,76	2,47	3,43	186,92	8,13	6,69	184,80	8,04	6,94
21,92	0,56	0,78	59,60	1,52	1,25	59,20	1,51	1,30
48,20	3,96	5,50	297,80	24,50	20,15	332,20	27,31	23,56
266,97	13,32	18,51	607,32	30,30	24,92	513,69	25,03	21,59
191,20	21,26	29,54	162,82	18,10	14,87	143,80	15,99	13,80
145,66	5,22	7,25	174,48	6,25	5,14	188,88	6,76	5,83
Не опр.	—	—	Не опр.	—	—	Не опр.	—	—
Не опр.	—	—	Не опр.	—	—	Не опр.	—	—
756,09	71,97	100,0	1522,00	121,60	100,0	1454,10	115,92	100,0
1319,11	37,20	59,33	1872,30	52,80	49,25	1873,70	52,84	49,66
2,00	0,11	0,11	4,00	0,21	0,19	4,50	0,24	0,23
734,90	15,40	24,56	1442,90	30,06	28,04	1448,60	30,18	28,36
970,00	10,00	16,00	2341,60	24,14	22,52	2244,60	23,14	21,75
3026,01	62,71	100,0	5660,80	107,21	100,0	5571,40	106,40	100,0
204,75			220,35			187,20		
1,97			1,85			2,21		
1,68			1,55			1,57		
3,99			7,41			7,22		
15°			43°			49—50°		
$M_{4,0} \frac{Cl_{59,3}SO_{24,6}HSO_{16,0}^4}{H_{35,0}Al_{29,5}Ca_{18,5}}$			$M_{7,4} \frac{Cl_{49,2}SO_{28,0}HSO_{22,5}^4}{H_{27,0}Ca_{24,8}Mg_{20,2}Al_{14,9}}$			$M_{7,1} \frac{Cl_{49,7}SO_{29,4}HSO_{21,8}^4}{H_{27,0}Mg_{23,6}Ca_{21,6}Al_{13,8}}$		

(северо-западное озеро), 19.VIII 1965 г.; 5—там же, 5.IX 1965 г.; 6—юго-западная часть озера (западное озеро), 5.IX 1965 г. н/о — не обнаружено; ниже предела чувствительности метода (Fe... < 2 мг/л; Ti... < 0,25 мг/л).

Такое почти постоянное отношение CO_2 к азоту после вычета воздуха подтверждает, что избыточный азот является ювенильным, вулканическим. Среднее значение отношения CO_2 к этому избыточному азоту 75,7—87,8. Избыточный азот может быть также обусловлен процессами окисления сероводорода, элементарной серы и др. Однако, судя по постоянству отношения CO_2 к избыточному азоту, влияние окислительных процессов на состав спонтанных газов невелико.

ФУМАРОЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВУЛКАНА ЭБЕКО В 1965 г.

В 1965 г. произошли некоторые изменения фумарольной деятельности по сравнению с 1964 г. Так, в Среднем кратере прекратила свою деятельность большая группа фумарол на северо-западном берегу Горячего озера и одна из сильных газовых струй на юго-западном берегу («Маяк»). В юго-юго-восточной группе фумарол в сентябре 1964 г. наблюдалось 4 серных конуса с расплавленной серой. К 1965 г. сохранился лишь один из них, самый юго-восточный, близкий к стенке кратера. Температура газов фумарол юго-юго-восточной группы на выходе достигает 95—

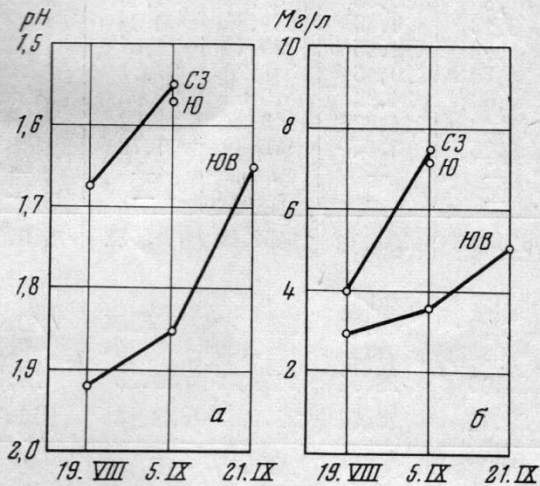


Рис. 6. Изменение во времени общей минерализации (б) и pH (а) в различных участках озера

130°С. Колебания температуры фумарол во времени в пределах 10—14°, как оказалось, были синхронны с температурным режимом озера. Периодически близ фумарол этой группы отмечались маломощные струйки расплавленной серы. Возникли две новые группы фумарол — восточная, с температурой 85° и северо-западная, с температурой 94—95°С. Восточная группа струй периодически превращалась в пароводяные котлы (pH 4—5). Около обеих новых групп фумарол в очень небольших количествах отлагалась элементарная сера.

В Верхнем кратере сохранились лишь мелкие слабые струи с температурой до 94°С в южной и северной частях кратера. В Северном (Нижнем) кратере фумарольная деятельность нигде не отмечалась. От некогда действовавших фумарол сохранились лишь останцы серы на южном и восточном склонах кратера.

Таблица 2

Состав спонтанных газов из Горячего озера, %

№ п/п	Дата взятия пробы		t, °C	HCl	H ₂ S	SO ₂	CO ₂	CO	H ₂	C _п H _п	O ₂	N ₂ и др.	N ₂ +i		CO ₂
													O ₂		
1	22.VIII	1965	32	0,0	0,0	0,0	97,58	0,0	0,0	0,0	0,36	2,06	5,72		72,82
2	24.VIII	1965	41	—	—	—	98,32	0,0	0,0	0,0	0,17	1,51	8,8		84,03
3	29.VIII	1965	38	0,0	0,0	0,01	98,18	0,0	0,0	0,0	0,25	1,56	6,24		92,62
4	2.IX	1965	44,5	0,0	0,0	0,0	92,67	0,0	0,0	0,0	1,26	6,07	4,81	(26,10)	
5	24.VIII	1965	39	0,0	0,0	0,0	98,27	0,0	0,0	0,0	0,08	1,65	20,62		65,95
6	30.VIII	1965	45	0,0	0,0	0,0	98,56	0,0	0,0	0,0	—	1,44	—		68,44

Примечание. 1—4 — юго-восточная часть Горячего озера; 5 — ручей Желтый, стекающий из Верхнего кратера в Средний, газовая струя на освобожденной части дна Горячего озера; 6 — Горячее озеро.

1—5 — новые анализы; аналитики Г. В. Кац и В. И. Капустина (анализы выполнены на приборе ВТИ-2), 6 — В. В. Иванов (1957, стр. 68, табл. 1. Аналитик И. С. Красникова. Воздух, вероятно, вытеснен).



Рис. 7. Наплывы на серном потоке, излившемся 23.VIII 1965 г.

На северо-восточном поле фумарола № 1, имевшая в 1964 г. температуру 104°C , в 1965 г. имела 96°C . Усилила свою деятельность фумарола № 2, исследовавшаяся в сентябре 1964 г. Скорость выхода газов в 1965 г. составляла до 60 м/сек , температура $+112^{\circ}\text{C}$. Фумаролы и грязевые котлы в западной части Северо-Восточного фумарольного поля в 1965 г. резко ослабили свою деятельность.

Самая мощная из фумарол Эбеко — большая фумарола Серного Бугра, возникшая в феврале 1964 г. (Сидоров, 1966) в 60 м от центра извержения в 1963 г., имела в сентябре 1964 г. диаметр около $0,5\text{ м}$. Газы вырывались с сильным грохотом, который был слышен в г. Северо-Курильске, за 10 км от вулкана.

К августу 1965 г. отверстие фумаролы значительно расширилось и составляло на устье $2,5\text{—}3\text{ м}$. Около фумаролы возник конус, сложенный из плавленной и сублимационной серы, высотой до $2,5\text{ м}$. 19 августа в глубине колодца фумаролы (колодец просматривался лишь на 5 м) клокотала расплавленная сера, на склоны конуса периодически выбрасывались мелкие, до $2\text{—}3\text{ см}$, серные бомбочки. 22—25 августа размеры бомб увеличились до $20\text{—}50\text{ см}$, бомбы разбрасывались в радиусе $25\text{—}30\text{ м}$ от фумаролы. Бомбы были темно-серого цвета вследствие присутствия сульфидов и глинистого материала. Выбросы бомб продолжались до конца августа; наряду с этим, возобновилось отложение сублимационной серы, продолжавшееся и в сентябре.

24 августа 1965 г. появился свежий серый поток длиной 50 м и шириной $0,3\text{—}2\text{ м}$ при средней мощности $0,1\text{ м}$. Общее количество излившейся серы оценивается нами в $2,5\text{ м}^3$ ($5,5\text{ т}$). На поверхности потока имелись наплывы (рис. 7), на поворотах и по краям потока — фестоны, вокруг струй в центральной части потока — вытянутые по течению потока газовые пузыри, в подошве потока — включения обломков пород и изометричные газовые пузыри.

В воронке извержения 1963 г. летом 1965 г. наблюдалось очень слабое выделение газов с температурой $60\text{—}70^{\circ}\text{C}$, а на стенках — выцветы легкорастворимых сульфатов. На дне воронки периодически (после дождей) возникало небольшое теплое озеро.

Таблица 3

Свободный газ фумарол вулкана Эбеко

Номер фумаролы	Дата взятия пробы		t, °C	Объемные % (без H ₂ O)									H ₂ O, мг/л	N ₂ +i	O ₂
				HCl	H ₂ S	SO ₂	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	O ₂	N ₂ и др.			
1	14.IX	1964	104	0,0	0,0	1,09	97,96	0,0	0,0	0,0	0,10	0,85	13050	8,50	
1	25.VIII	1965	96	Следы	0,0	0,10	94,07	0,0	0,0	0,0	1,55	4,28	10991	2,76	
1	23.IX	1965	96	0,0	0,0	0,0	40,90	0,0	0,0	0,0	12,50	46,60	6538	3,73	
1	23.IX	1965	96	0,0	0,0	0,0	88,50	0,0	0,0	0,0	3,60	7,90	6538	2,19	
1	23.IX	1965	96	0,0	0,0	0,0	90,80	0,0	0,0	0,0	2,90	6,30	6538	2,17	
2	14.IX	1964	110	0,0	0,0	2,79	92,97	0,0	1,46	0,0	0,58	2,20	19280	3,79	
3	22.VIII	1965	110	Следы	0,11	0,0	96,31	0,0	0,0	0,0	0,68	2,90	7735	4,26	
4	16.IX	1965	85	0,0	0,0	0,0	91,53	0,0	0,0	0,0	2,21	6,26	4634	2,83	
4	16.IX	1965	85	0,0	0,0	0,0	93,66	0,0	0,0	0,0	1,39	4,95	4634	3,56	
4	16.IX	1965	85	0,0	0,0	0,0	81,40	0,0	0,0	0,0	5,60	13,00	4634	2,32	
5	16.IX	1965	95	0,0	0,0	0,0	3,70	0,0	0,0	0,0	20,00	76,30	2723	3,82	

Примечание. Анализ проб на ВТИ-2 выполнен Г. В. Кац и В. И. Капустинной. Фумаролы № 1 и 2—Северо-Восточное фумарольное поле вулкана Эбеко. Фумаролы № 3, 4 и 5—Средний кратер Эбеко, соответственно на южном, восточном и западном берегах Горячего озера, выше его уровня в 1964 г. Точность и чувствительность при анализе на ВТИ-2 не ниже 0,05%. При последовательном обогащении, в случае достаточно большого объема пробы и высокого содержания в ней CO₂, точность и чувствительность анализа достигают 0,01—0,02%.

В августе-сентябре 1965 г. нами был изучен химический состав конденсатов и свободных газов, остающихся после конденсации пара, трех фумарол Среднего кратера вулкана Эбеко, в том числе двух новых, возникших в 1964—1965 гг. Кроме того, велись наблюдения за изменением химического состава газов одной из фумарол Северо-Восточного фумарольного поля, изучавшихся нами в 1964 г.

В составе свободного газа фумарол вулкана Эбеко (табл. 3), как и в предшествующие годы, преобладал углекислый газ (81—98% сухого газа). HCl и SO₂ в свободных газах практически отсутствуют, что связано с почти полным растворением их в конденсатах. Из двух газов — H₂S и SO₂ — в свободных газах сохраняется лишь один, тот, который находился в избытке против стехиометрического отношения. Для фумаролы № 3 Среднего кратера — это сероводород, для фумаролы Северо-Восточного поля № 1 — сернистый газ (см. табл. 4).

В пробах, отобранных в 1964 г., отношение азота (в сумме с инертными газами) к кислороду больше воздушного, а в подавляющем большинстве проб 1965 г. отношение азота к кислороду в газах значительно меньше воздушного. Это, по-видимому, связано с тем, что в этих пробах присутствуют азот и кислород как воздушного происхождения (с отношением (N₂+i) : O₂ = 3,772), так и заимствованные из нисходящих грунтовых вод, отношение азота к кислороду в которых может достигать 1,865 (при t° = 0° C). Такое предположение вполне уместно, поскольку в 1965 г. в дополнение к имеющейся в районе мощной системе подземных вод произошло резкое увеличение поступления поверхностных вод в связи с уходом озера. Одновременным присутствием атмосферных и растворенных в воде азота и кислорода могут быть объяснены колебания отношения азота к кислороду в пределах от 1,86 до 3,77. Ювенильный, глубинный азот также присутствует, но его долю трудно учесть.

Водяные пары составляют от 2,7 до 11 г/л сухого газа, или от 77 до

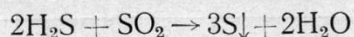
Таблица 4

Состав вулканических газов, растворившихся в конденсатах из фумарол вулкана Эбеко (см³/л конденсата)

№ пробы	Номер фумарола	Дата взятия пробы	t, °C	см ³ /л конденсата						Σ см ³ /л	H ₂ O мг/л	S : Cl
				HCl	HF	H ₂ S	SO ₂	SO ₃	NH ₃			
1	1	14.IX 1964	104	350,56	—	—	407,68	324,64	0,68	1083,56	13050	2,09
2	1	25.VIII 1965	96	0,0	0,0	254,65	718,88	1021,78	0,0	1995,51	10991	—
3	1	5. IX 1965	96	22,40	0,0	37,27	201,23	33,21	0,0	294,11	10991	12,13
4	1	23. IX 1965	96	26,88	0,59	64,13	427,49	287,47	4,35	810,91	6538	28,98
5	1	23. IX 1965	96	49,28	0,0	51,86	584,35	32,40	0,12	718,01	6538	13,57
6	2	14.IX 1964	110	591,38	—	—	602,56	216,99	3,73	1414,66	19280	1,39
7	3	22.VIII 1965	110	170,24	0,0	58,21	34,04	79,47	14,90	356,86	7735	1,01
8	3	22.VIII 1965	110	224,00	0,0	25,57	18,83	0,85	1,86	271,11	7735	0,20
9	3	24.VIII 1965	105	291,20	0,0	52,11	75,35	19,77	0,50	438,93	7735	0,51
10	4	16.IX 1965	85	8,96	0,0	302,31	206,95	124,53	4,97	647,72	4634	70,51
11	5	16.IX 1965	95	0,0	0,0	0,0	197,15	144,30	2,48	343,93	2723	—

Примечание. Пробы № 1 и 6 анализировались Е. М. Фильковой, остальные — В. И. Капустиной. Расчеты выполнены К. А. Скрипко. Фумаролы № 1 и 2 — Северо-Восточное фумарольное поле вулкана Эбеко. Фумаролы № 3, 4 и 5 — Средний кратер Эбеко.

93% газа. При расчете состава газов, растворенных в конденсатах (табл. 4), различные соединения серы рассчитывались следующим образом. Сульфат-ион рассчитывался на трехокись серы; титруемая иодом сера (представленная в исходных анализах как сульфит) — на двуокись серы; осадок элементарной серы рассчитывался на H₂S и SO₂ в отношении 2/1, пропорционально стехиометрическим коэффициентам уравнения:



Расчет различных форм серы на основании анализов конденсата носит формальный характер по следующим причинам.

1. Степень окисления соединений серы во времени изменяется, и, поскольку слабые кислоты — сероводородная и сернистая — окисляются в более сильную серную кислоту, концентрация ионов водорода в конденсате со временем растет. Так, в конденсатах фумарол № 4 и 5 Среднего кратера за полтора месяца рН изменился с 4—5 до 1,83—2,17.

2. Сера, титруемая иодом, выраженная в результатах анализов, как сульфит, на самом деле, как правило, представляет собой сумму сульфит- и тиосульфат-ионов.

3. Образование элементарной серы по вышеприведенной реакции между сероводородом и сернистым газом — не единственный способ. Так, при попытке обнаружить сероводород на Северо-Восточном поле прямым методом, вместо ожидаемого осадка сульфида кадмия, в осадок выпали игольчатые кристаллы элементарной серы. По-видимому, в газах Северо-Восточного фумарольного поля H₂S отсутствует или присутствует в ничтожных количествах. Элементарная сера в этом случае, по-видимому, образуется по реакции:



впервые предложенной О. Дейнесом (Deines, 1934).

Таблица 5

Состав фумарольных газов вулкана Эбеко с учетом состава конденсата

№ пробы	№ фумаролы	Дата взятия пробы	t, °C	Объемные % (без H ₂ O)											H ₂ O, мг/л	S : Cl			
				HCl	HF	H ₂ S	SO ₂	SO ₃	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	NH ₃	O ₂			N ₂ и др.		
1	1	14. IX 1964	104	0,45	—	—	1,60	0,42	96,60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,84	12 869	3,55
2	1	25.VIII 1965	96	Следы	0,0	0,27	0,87	1,10	92,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,52	4,19	10 755	—
3	1	5. IX 1965	96	0,02	0,0	0,04	0,32	0,04	93,77	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,55	4,27	10 956	12,13
4	1	23. IX 1965	96	0,02	Следы	0,04	0,28	0,19	40,68	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,43	46,35	6 503	28,98
5	1	23. IX 1965	96	0,03	0,0	0,03	0,38	0,02	40,71	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,44	46,38	6 507	13,57
6	1	23. IX 1965	96	0,02	Следы	0,04	0,28	0,19	88,03	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,58	7,86	6 503	28,98
7	1	23. IX 1965	96	0,03	0,0	0,03	0,38	0,02	88,09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,58	7,86	6 507	13,57
8	1	23. IX 1965	96	0,02	Следы	0,04	0,28	0,19	90,32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,88	6,27	6 503	28,98
9	1	23. IX 1965	96	0,03	0,0	0,03	0,38	0,02	90,38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,89	6,27	6 507	13,57
10	2	14. IX 1964	110	1,11	—	—	3,85	0,41	90,50	0,0	1,42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,56	2,14	18 768	3,47
11	3	22.VIII 1965	110	0,13	0,0	0,13	0,03	0,06	96,04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,68	2,89	7 713	1,84
12	3	22.VIII 1965	110	0,17	0,0	0,13	0,01	Следы	96,11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,68	2,89	7 718	0,20	
13	3	24.VIII 1965	105	0,22	0,0	0,15	0,06	0,02	95,90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,68	2,89	7 708	0,51	
14	4	16. IX 1965	85	Следы	0,0	0,14	0,10	0,06	91,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,20	6,24	4 620	70,75	
15	4	16. IX 1965	85	»	0,0	0,14	0,10	0,06	93,38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,39	4,94	4 620	70,75	
16	4	16. IX 1965	85	»	0,0	0,14	0,10	0,06	81,16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,58	12,96	4 220	70,75	
17	5	16. IX 1965	95	0,0	0,0	0,0	0,05	0,04	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,98	76,23	2 720	—	

4. Значительная часть сульфат-иона в конденсате, по-видимому, является результатом окисления соединений серы с низшей валентностью. Например, на фумароле № 1 Северо-Восточного поля после пропускания газа в течение 40 минут через подкисленный раствор хлористого бария не было обнаружено заметных на глаз количеств осадка сульфата бария.

Поскольку H_2S , SO_2 и SO_3 не разделялись нами в поле, а достаточно условно рассчитаны на основании анализа конденсатов (табл. 5), мы не пользуемся таким, часто применяемым в литературе отношением, как H_2S/SO_2 , и рассматриваем лишь суммарную серу.

Концентрации хлористого водорода в конденсатах (а соответственно и в газах) Северо-Восточного поля уменьшились на порядок по сравнению с 1964 г. при сохранении прежних концентраций соединений серы (табл. 4 и 5). Это может быть объяснено растворением хлористого водорода в подземных водах, приток которых в 1965 г. резко увеличился в связи с уходом более чем 160 000 м³ воды Горячего озера. В результате этого, также на порядок, увеличилось отношение S/Cl в газах и конденсатах (табл. 4 и 5).

Таким образом, наблюдавшееся нами увеличение подземного стока из Горячего озера привело к уменьшению концентрации хлористого водорода и уменьшению отношения азота к кислороду по сравнению с 1964 г. в газах смежных фумарольных полей.

Приведенный в табл. 5 состав газов с учетом конденсата наиболее полно характеризует вулканические газы вулкана Эбеко.

ЛИТЕРАТУРА

- Горшков Г. С. Каталог действующих вулканов Курильских островов. 30 (2) Эбеко.— Бюлл. вулканол. станций, 1957, № 25.
- Дейнес О. Происхождение вулканических отложений серы по наблюдениям у кратера Вулкано в Южной Италии.— Переводы по геологии и полезным ископаемым, № 105. Л., 1938 (перевод Н. И. Хитарова).
- Зеленов К. К. Алюминий и титан в кратерном озере вулкана Кава-Иджен (Индонезия).— Изв. АН СССР, серия геол., 1965, № 5.
- Иванов В. В. Современная гидротермальная деятельность вулкана Эбеко на острове Парамушир.— Геохимия, 1957, № 1.
- Перельман В. И. Краткий справочник химика. М., 1956.
- Сидоров С. С. Активизация вулкана Эбеко в 1963 г. и эволюция его гидротермальной деятельности в предшествующий период.— Бюлл. вулканол. станций, 1963, № 40.
- O. von Deines. Die Entstehung der vulkanischen Schwefelablagerungen (Nach Beobachtungen am Krater von Vulkano in Südtalien) Naturwissenschaften, 1934, 22, h 9.