

Л. А. БАШАРИНА

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ГАЗЫ НА РАЗЛИЧНЫХ
СТАДИЯХ АКТИВНОСТИ ВУЛКАНОВ

Во время извержения вулкана при подъеме магмы и появлении её на поверхности Земли наблюдается выделение огромных масс летучих. В связи с происходящими при этом взрывами непосредственно исследовать газы не представляется возможным. Изучению обычно подвергаются газы, выделяющиеся из кратера в период затишья вулкана или из лавовых масс, доставленных на поверхность извержением. Такие газы не отражают полностью состава летучих магмы. Они также содержат газы, заимствованные из пород, атмосферы, и газы, возникшие в результате вторичных реакций.

На примерах извержений Камчатских вулканов, сопровождающихся излиянием базальтов и формированием андезитовых куполов, в последние годы нам удалось проследить весь ход остывания лавовых масс с отделением летучих из них, начиная от расплавленного состояния лавы до полного затвердевания ее. Состав вулканических эксгаляций, выделяющихся на поверхностях вулканов, по содержанию компонентов не остается постоянным.

Одним из факторов, определяющих состав вулканических газов, является температура. В начальную высокотемпературную стадию (500—800°) всегда выделяется многокомпонентная газовая смесь. В тех или других соотношениях в ней содержатся все газы: H_2O , HCl , HF , SO_2 , SO_3 , H_2S , COS , CO_2 , H_2 , CO , N_2 и менее распространенные соединения. йода, брома, бора, мышьяка, а также труднолетучие породообразующие, и многие микроэлементы.

При длительном остывании и понижении температуры количественные отношения отдельных компонентов в газовой смеси меняются. Сначала уменьшается выделение галоидных газов, газовая смесь становится существенно сернистой и, наконец, на грани окончательного остывания в газах остаются только пары воды. На побочных кратерах Ключевского вулкана мы проследили полный цикл остывания базальтовой лавы с момента ее излияния.

В табл. 1 представлены результаты анализов газа побочного кратера Белянкина (извержение 1953 г.). Все компоненты газовой фазы пересчитаны в объемных процентах после вычета азота и кислорода в воздушном соотношении¹.

Как видно из данных анализа при наиболее высоких температурах (500—800°), в газовой фазе базальта хлор и фтор в виде водородных

¹В фумарольных газах кислород и азот в основной массе являются атмосферными.

Таблица

Состав газа базальта побочного кратера Белянкина Ключевского вулкана, извержение 1953 г.
(в объемных %, после вычета воздуха)

Дата взятия пробы	17.IX 1953 г.	17.IX 1953 г.	20.III 1954 г.	15.IX 1955 г.	23.IX 1956 г.
T, °C	680	500	360	210	102
Компоненты					
HF	0,26	0,21	0,17	0,07	Не обнаружен
HCl	3,05	2,75	0,89	0,46	Не обнаружен
SO ₂	Не обнаружено	0,02	0,07	0,23	0,08
CO ₂	Не обнаружено	Не обнаружено	0,28	0,63	0,90
CO	1,80	1,28	0,53	0,39	Не обнаружен
H ₂	2,22	1,56	0,71	0,58	Не обнаружен
N ₂	65,00	40,04	31,80	20,00	13,02
H ₂ O	27,67	54,14	65,55	77,64	86,00
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

соединений являлись наиболее характерными. Высокотемпературные газы были богаты водородом и окисью углерода, в связи с чем имели восстановительный характер. Из табл. 1 видно, что с понижением температуры содержание галоидных газов уменьшается и газовые смеси становятся существенно сернистыми и углекислыми, при этом увеличивается содержание водяного пара.

Многолетние наблюдения за фумарольной деятельностью показали, что изменение газовой фазы происходит также во времени при сохранении или незначительном изменении температуры. Так, например, на фумаролах побочного кратера Былинкиной извержения 1951 г. в течение пяти лет температура колебалась в пределах 260—316°. Состав газовой фазы менялся уже в связи с длительностью остывания лавы и независимо от колебания температуры. Состав эксталяций в некоторой степени зависит от состава лавы и условий ее проявления. В случаях излияния лавы на поверхность Земли газы выделяются непосредственно из нее. В газовой смеси излившихся базальтов газы галоидной группы всегда преобладают над серной. В взрывчатых кратерах, когда лава не доходит до поверхности, газы проходят через толщу пород, насыщенных водой и другими газами, и выделяются на поверхность сильно измененными с преобладанием газов группы серы и углекислого газа. Газы андезитов изучались на примере извержения вулкана Шевелуч в 1945—1950 гг. во время формирования купола. Газы андезита Шевелуча отличаются от газов базальта Ключевского вулкана: состав первых богаче сернистыми, вторых галоидными соединениями. В табл. 2 представлены анализы газов андезитового купола Суелич. Как видно из данных анализов, в составе высокотемпературных газов андезита, наряду с хлором, присутствовали максимальные концентрации сернистого газа; с понижением температуры состав газа изменился за счет увеличения в них содержания углекислого газа.

Доступные изучению фумарольные газы обычно содержат собственно вулканические газы в ничтожных количествах, в большинстве случаев они сильно разбавлены газами атмосферы и парами вадозных вод

Состав газа андезитового купола Суелич
(в объемных %, после вычета воздуха)

Дата взятия пробы	2.IX 1953 г.	4.IX 1954 г.	20.VIII 1955 г.	2.VIII 1956 г.	4.VII 1957 г.
T °C	360	280	220	180	122
Компоненты					
HCl	1,32	0,41	0,20	0,16	Не обнаружено
SO ₂	1,89	1,88	0,83	0,60	0,05
CO ₂	1,19	0,79	2,54	0,99	6,16
CO	0,49	Не обнаружено	0,27	Не обнаружено	0,15
H ₂	0,62	0,47	0,41	0,21	Не обнаружено
N ₂	22,19	15,45	7,38	7,95	8,82
H ₂ O	72,20	81,00	88,36	90,09	84,82
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

С целью более подробного изучения состава вулканических эксгаляции мы применяли способ искусственной конденсации летучих компонентов. В табл. 3 и 4 представлены результаты анализов конденсатов газа на различных стадиях активности.

Химический состав и степень минерализации конденсатов газа стоят в прямой зависимости от изменения вулканических газов, отражающих определенную стадию остывания магмы. Все конденсаты высокотемпературных газов имеют низкое значение pH (в пределах 0,76—1,15) и обогащены ионами хлора, фтора и сульфата. При конденсации высокотемпературных вулканических газов образуются кислоты, которые в природных условиях активно взаимодействуют с породами, обогащая породообразующими компонентами и микроэлементами.

Из анализов конденсатов газов базальта и андезита видно, что ионы хлора, фтора и сульфата связаны с ионами водорода на 60—80% от общей минерализации конденсатов.

Многочисленные анализы конденсатов газа показали, что в высокотемпературную стадию (500—800°) из базальта и андезита выносятся хлором, фтором и сульфатами породообразующие компоненты и микроэлементы. Несмотря на то, что фтор по количеству уступает многим газам, тем не менее роль его в переносе металлов в вулканическом процессе значительна. Фтор как наиболее активный из группы галоидов энергично соединяется с металлами и образует в основном плохо

растворимые соединения. Поэтому он частично задерживается в продуктах вулканической деятельности в виде фтористых минералов и меньше рассеивается в атмосфере.

В газовой фазе фтор выносит из магмы и лавы в первую очередь кремний и железо, как обладающие более низкими температурами кипения. Фтор и кремний летят в виде четырехфтористого кремния (SiF₄).

В парах воды SiF₄ подвергается гидролизу до кремнефтористой кислоты (H₂SiF₆) которая активно участвует в разложении пород.

В конденсатах с высокими концентрациями фтора (свыше 1 г/л) наблюдалось содержание кремния в виде кремневой кислоты свыше 1 г/л. В эксгаляциях начальной стадии излияния базальта хлор являлся

Состав конденсатов газа из базальтовой лавы побочного кратера Белянкина, Ключевского вулкана

Компоненты	680		Т, °С				210		102	
	г/л	мг/экв. %	500		360		г/л	мг/экв. %	г/л	мг/экв. %
			г/л	мг/экв. %	г/л	мг/экв. %				
Катионы										
H ⁺	0,1555	69,75	0,1724	70,90	0,0714	72,10	0,0016	22,70	—	—
Na ⁺	0,2680	5,25	0,3420	6,12	0,0820	3,58	0,0187	11,25	0,0126	17,65
K ⁺	0,0780	0,95	0,0940	0,99	0,0210	0,50	0,0061	2,08	Не обнаружено	—
Mg ⁺⁺	0,0374	1,38	0,0810	2,77	0,0260	2,12	0,0102	11,70	0,0110	29,90
Ca ⁺⁺	0,1710	3,84	0,1850	3,78	0,1066	5,53	0,0460	31,85	0,0320	52,45
Fe ⁺⁺⁺	0,0890	2,24	0,0780	1,72	0,0504	2,72	0,0030	2,22	Не обнаружено	—
Al ⁺⁺⁺	0,3320	16,55	0,3010	13,70	0,1190	13,40	0,0120	18,10	»	»
Mn ⁺⁺	0,0025	0,04	0,0018	0,02	0,0015	0,05	0,0005	0,10	»	»
Сумма	1,1334	100,00	1,2552	100,00	0,4779	100,00	0,0981	100,00	0,0556	100,00
Анионы										
F ⁻	1,5400	36,40	1,5960	34,50	0,2715	14,30	0,0061	4,95	Не обнаружено	—
Cl ⁻	4,9450	62,58	5,5860	64,66	2,9120	83,05	0,1514	66,10	0,0249	23,05
Br ⁻	0,0080	0,04	0,0060	0,02	0,0014	0,02	Не обнаружено	—	Не обнаружено	—
I ⁻	Не обнаружено	—	0,0016	—	0,0003	—	То же	—	Не обнаружено	—
SO ₄ ⁻	0,0816	0,76	0,0710	0,61	0,1095	2,30	0,0740	24,00	0,0640	43,75
HCO ₃ ⁻	0,0494	0,22	0,0495	0,21	0,0320	0,30	0,0300	4,95	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	0,0622	33,20
Сумма	6,6240	100,00	7,3101	100,00	3,3267	100,00	0,2625	100,00	0,1511	100,00
Недиссоциированные молекулы										
H ₂ SiO ₃	1,1540	—	1,2100	—	0,2890	—	0,0310	—	0,0220	—
Общая минерализация	8,9114	—	9,7753	—	4,0936	—	0,3916	—	0,2187	—
pH	0,80	—	0,78	—	—	—	—	—	—	—

основным компонентом. Рассматривая состав конденсатов газа (табл. 3), видим, что при температурах 680—360° из базальта выносились с хлором все пороодообразующие элементы. Количество алюминия иногда превышало 40% от общей суммы металлов. Натрий и калий выносились также в виде хлоридов, причем отношение Na/K в конденсатах было выше (5—8), чем в исходной базальтовой лаве (3). В последующую стадию фумарольной деятельности при остывании базальта отношение Na/K в конденсатах приближается к отношению в исходной лаве. Кальций и магний с хлором выносятся из лавы при высокой температуре менее интенсивно, чем при более низкой.

Вследствие остывания базальта и ослабления фумарольной деятельности, как мы уже отмечали, состав газовой фазы меняется и значительную роль начинают приобретать углекислый газ и пары воды.

В связи с этим меняется состав конденсатов. В кислых конденсатах высокотемпературных газов преобладали катионы алюминия, железа и щелочных металлов. Конденсаты низкотемпературных газов были слабокислые (рН = 4—5), в них преобладали щелочноземельные металлы (Са, Mg). По-видимому, здесь в переносе металлов принимал участие водяной пар. Из табл. 4 видно, что в конденсатах газа андезита при температурах 360—280° присутствует также хлор, и с хлором летят в значительных концентрациях алюминий и натрия. С понижением температуры фумарол газы группы серы становятся преобладающими.

В соединениях с серой при температуре 280—360° также выносились щелочные металлы натрия и калия. Причем, в серных эксгаляциях андезита отношения еще более высокие (11—16), чем в эксгаляциях базальта. Вынос кальция из андезита в сернистых соединениях был более интенсивным, чем в соединениях с хлором. Магний как с хлором, так и с серой из свежих андезитовых масс выносился относительно незначительно. Следует отметить, что, если для эксгаляций базальта начальной стадии активности был характерен хлор и фтор, то для андезита — сера и бор. Бор присутствовал в продуктах прямого возгона в виде сассолина, в конденсатах газа количество его достигало свыше 1 г/л. В эксгаляциях андезита определен также мышьяк. Судя по спектральным анализам сухого остатка конденсатов газов базальта и андезита, наряду пороодообразующими элементами выносились и микроэлементы. Причем в начальную стадию остывания лавы эксгаляций были более богаты микроэлементами. В табл. 5 и 6 представлены результаты спектральных анализов сухих остатков конденсатов газов.

В базальте побочного кратера Белянкина (извержение 1953 г.) в самую высокотемпературную стадию, в начальный момент остывания лавы обнаружены: Be, Sc, Fe, Ga, Bi, Mo, V, Cu, Ag, Co, Pb, Ni, Zr, Cr, Sr, Ba. При дальнейшем остывании лавы, при температуре 450—500° из перечисленных выше элементов уже не обнаружено Be, Te, Ag, Zn, Bi. При дальнейшем остывании базальта в продолжении двух лет (T—220°) в эксгаляциях определены только Pb, Ga, Mo, V, Cu, Zn, Sr.

При температуре 100—102° в сухом остатке конденсата обнаружены лишь Pb, Ga, Mo, V, Cr, Zn.

При этом газовая фаза уже не содержала хлора, перенос элементов, по-видимому, осуществлялся в виде сульфатов, главным образом перегретым водяным паром.

В эксгаляциях андезита (табл. 6) в различные стадии его остывания содержание микроэлементов стояло в прямой зависимости от времени, прошедшего с момента начала экструзии андезитового купола. В возгонах раскаленных туч С. И. Набоко отмечает обогащение эксгаляций ванадием. В конденсатах газа из андезитового купола, остыва-

Таблица

Компоненты	Т, °С							
	360		280		220		128	
	г/л	мг/экв. %	г/л	мг/экв. %	г/л	мг/экв. %	г/л	мг/экв. %
Катионы								
H ⁺	0,1420	71,20	0,0954	82,45	0,0502	69,00	0,0102	62,00
Na ⁺	0,2840	6,20	0,0840	3,15	0,0550	3,29	0,0130	3,00
K ⁺	0,0210	0,26	0,0090	0,19	0,0090	0,31	0,0030	0,00
Mg ⁺⁺	0,0240	1,06	0,0120	0,86	0,0160	1,83	0,0168	8,00
Ca ⁺⁺	0,1840	4,61	0,0910	3,92	0,0960	6,60	0,0560	17,00
F ⁺⁺⁺	0,1330	3,58	0,0460	2,14	0,0376	2,72	0,0030	0,00
Al ⁺⁺⁺	0,2350	13,05	0,0750	7,20	0,1064	16,20	0,0105	7,00
Mn ⁺⁺	0,0025	0,04	0,0015	0,09	0,0015	0,05	0,0010	—
Сумма . . .	1,0255	100,00	0,4139	100,00	0,3717	100,00	0,1135	100,00
Анионы								
F ⁻	0,1030	2,72	0,0180	0,81	0,0260	1,88	0,0060	2,00
Cl ⁻	3,9055	55,06	2,6000	63,50	1,3000	50,05	0,3520	40,00
Br ⁻	0,0015	0,01	0,0015	0,01	0,0012	0,01	0,0002	—
J	0,0002	—	0,0006	—	Не обнаружено	—	Не обнаружено	—
SO ₄ ⁻	3,1497	32,90	1,6513	29,73	1,5840	45,03	0,3140	45,00
HSO ₄ ⁻	1,7760	9,31	0,6693	5,95	0,2940	3,03	0,1764	12,00
Сумма . . .	8,9359	100,00	4,9407	100,00	3,2052	100,00	0,8486	100,00
Недиссоциированные молекулы								
H ₂ SiO ₂	0,0960	—	0,0320	—	0,0760	—	0,0180	—
H ₃ BO ₃	0,1480	—	0,1410	—	1,1300	—	0,2420	—
Общая минерализация	10,2054	—	5,5276	—	4,7829	—	1,2221	—
pH	0,85	—	1,03	—	1,30	—	2,0	—

ющего в продолжении восьми лет (Т—360°), обнаружены Be, Sc, Te, Pb, Sn, Ga, Bi, Mo, V, Cu, Ag, Zn, Co, Ni, Cr, As. При температуре 140—128° в сухом остатке конденсата обнаружены только Ga, Mo, V, Cu, Zn, Ba.

Рассматривая данные спектрального анализа конденсатов газа в различных стадиях остывания базальта и андезита, можно отметить что наиболее характерными микроэлементами эксгаляций андезита являются ванадий, молибден и свинец. Кобальт и никель характерны для эксгаляций базальта, в эксгаляциях андезита они были определены только в высокотемпературных газах.

Медь определяется в конденсатах газов андезита и базальта, но наиболее характерна для эксгаляций базальта. Около высокотемпературных фумарол на базальтовых потоках встречены медные возгоны. Медь, по-видимому, переносится в газовой фазе в виде хлоридов и сульфатов. Молибден определен в 28 из 52 образцов сухого остатка конденсата. Свинец определен в 24 образцах из 52 анализированных как

Таблица 5

Данные спектрального анализа сухого остатка конденсата газа базальта, %

Элементы	Т газа, °С						
	680	650	500	450	360	220	102
Be	0,00п	0,00п	—	—	—	—	—
Sc	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	—	—	—
Te	0,00п	0,00п	—	—	—	—	—
Pb	0,0п	0,0п	0,00п	0,00п	—	0,00п	0,00п
Sn	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	—	—	—
Ga	0,00п	0,00п	0,00п	—	0,00п	0,00п	0,000п
Bi	0,00п	0,00п	—	—	—	—	—
Mo	0,0п	0,0п	0,00п	0,00п	0,000п	0,00п	0,00п
V	0,00п	0,00п	0,000п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п
Cu	0,00п	0,00п	0,0п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п
Ag	0,0п	0,00п	—	0,000п	—	—	—
Zn	—	—	—	—	—	0,0п	0,0п
Co	0,000п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	—	—
Ni	0,0п	0,0п	0,00п	0,00п	—	—	—
Zr	0,0п	0,0п	—	0,00п	0,0п	—	—
Cr	0,0п	0,0п	0,00п	—	0,00п	—	—
Sr	0,0п	0,0п	0,0п	0,00п	0,00п	0,00п	—
Ba	0,0п	0,00п	0,0п	0,0п	0,00п	—	—

Аналитик А. М. Сапожникова.

Таблица 6

Данные спектрального анализа сухого остатка конденсатов газа андезита, %

Элементы	Т газа, °С						
	360	280	240	220	140	128	90
Be	0,000п	0,000п	—	0,000п	—	—	—
Sc	0,000п	—	—	—	—	—	—
Fe	0,00п	—	—	—	—	—	—
Pb	0,0п	0,0п	0,00п	—	—	—	—
Sn	0,00п	0,0п	—	—	—	—	—
Ga	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п
Bi	0,0п	—	—	—	—	—	—
Mo	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п
V	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,000п
Cu	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п
Ag	0,00п	—	—	—	—	—	—
Zn	0,0п	0,п+	0,0п	0,0п	0,0п	—	—
Co	0,00п	—	—	—	—	—	—
Ni	0,00п	0,00п	—	—	—	—	—
Zr	—	0,0п	0,0п	0,0п	—	—	—
Cr	0,0п	0,0п	0,00п	0,00п	—	—	—
Sr	—	—	—	—	—	—	—
Ba	—	0,0п	0,0п	—	—	0,00п	—
As*	0,п	0,п	0,0п	0,0п	0,0п	0,0п	0,00п

Аналитик А. М. Сапожникова.

* As определен колориметрическим и спектральным методами.

высокотемпературных, так и низкотемпературных конденсатах фу-марол.

В 16 случаях из 24 свинец обнаружен в конденсатах, в которых над галоидами преобладали сульфаты. Возможно, свинец более интенсивно переносился в соединениях с серой. Цинк определен в 17 образцах конденсата газов, из них 12 конденсатов сульфатных эксгаляций андезита и только 5 конденсатов низкотемпературных паро-газовых струй базальта. Интересно отметить, что в твердых возгонах базальта и андезита цинк определен в образцах сульфатов высокотемпературных эксгаляций. В хлоридных возгонах цинк до сих пор не был определен (Набоко, 1959).

Таблица 7

Спектральный анализ сассолина андезитового купола Шевелуча, %

Элементы	Т° фумарол			
	280	270	260	240
Pb	0,0п	0,0п	0,0п	0,0п
Sn	0,00п	—	—	—
Ga	0,00п	—	0,00п	0,00п
Bi	0,0п	—	—	—
Mo	0,00п	—	0,00п	0,00п
V	0,0п	0,00п	0,0п	0,00п
Cu	0,00п	0,00п	0,00п	0,00п
Ag	0,00п	—	—	—
Zn	—	0,0п	0,0п	—
Ni	0,0п	—	—	—
Co	0,00п	0,00п	—	—
Cr	0,0п	0,0п	0,0п	0,0п
Sr	0,п	0,0п	0,0п	0,0п
Ba	—	0,00п	0,0п	0,00п

Аналитик Л. М. Сапожникова.

Из 52 анализированных образцов конденсатов серебро определено в 15 случаях. Из них только 3 образца сульфатно-хлоридных эксгаляций андезита и 12 конденсатов высокотемпературных хлоридно-фторидных эксгаляций базальта.

Олово было определено всего в 8 образцах этих конденсатов газов. причем в 6 случаях это были конденсаты высокотемпературных галоидных газов базальта.

Интересно отметить содержание микроэлементов в образцах сассолина, кристаллизовавшегося из эксгаляций андезита. В табл. 7 представлены результаты спектрального анализа четырех образцов сассолина. Все четыре образца были взяты из фумарол древних андезитовых куполов Шевелуча при температурах газа 240—280°. При температуре 280° обнаружено 12 элементов, в остальных образцах (Т = 270—240°) - 9—8 элементов. Все образцы содержали свинец в максимальных, по сравнению с другими образцами возгонов и конденсатов, концентрациях (0,0п), а также медь, хром и ванадий. Серебро, никель и олово определены в одном случае при температуре газа 280°. Систематически; наблюдения за деятельностью сольфатарных полей Кратерной вершины вулкана Шевелуч показали, что существенные изменения температуры и химического состава эксгаляций связаны с изменением режима вул-

кана. Сольфатарные выходы, расположенные ближе к действующему куполу, ранее имели температуру около 90—92°. Через три года после образования андезитового купола Суелич, извержение которого продолжалось в течение пяти лет (1945—1950), температура этих сольфатар повысилась до 280° и химический состав эксгаляций резко изменился. Появились хлор, фтор, бор в виде сассолина и многие микроэлементы. Такой режим сохранялся около восьми лет (1949—1957). Осенью 1958 г. снова установился прежний режим: температура упала до 90°, эксгаляции приняли существенно сульфатный характер, причем среди них уже не было обнаружено отложений бора. Содержание микроэлементов в летучих резко упало (см. табл. 6). Оживление fumarольной деятельности, несомненно, было связано с формированием растущего купола.

К этому же периоду были приурочены взрывы 1950 г., в результате которых на Кратерной вершине Шевелуча образовалась воронка. Можно допустить, что эти взрывы могли способствовать возникновению глубоких трещин, явившихся путями, через которые осуществлялась дегазация летучих глубинного происхождения.

Таким образом, состав эксгаляций одного и того же вулкана не остается постоянным, его изменения носят периодический характер и зависят от активности вулкана. При рассмотрении анализов газов видно,

Таблица 58

Летучие компоненты базальта побочного кратера Ключевского вулкана, извержение 1953 г.
(в весовых %)

Компоненты	Т, °С				
	680 *	500 *	360 *	210 *	102 *
Катионы					
Na ⁺	0,0260	0,0345	0,0082	0,0018	0,0012
K ⁺	0,0077	0,0094	0,0021	0,0006	—
Mg ⁺⁺	0,0037	0,0081	0,0026	0,0010	0,0011
Ca ⁺⁺	0,0171	0,0185	0,0106	0,0046	0,0032
Fe ⁺⁺⁺	0,0087	0,0078	0,0050	0,0003	—
Al ⁺⁺⁺	0,0331	0,0310	0,0119	0,0012	—
Mn ⁺⁺	0,0002	0,0001	0,0001	—	—
Сумма . . .	0,0965	0,1094	0,0405	0,0095	0,0055
Анионы					
F ⁻	0,1540	0,1596	0,0271	0,0006	—
Cl ⁻	0,4950	0,5586	0,2912	0,0151	—
Br ⁻	0,0008	0,0008	0,0001	—	—
SO ₄ ⁼⁼	0,0130	0,0139	0,0141	0,0010	0,0064
HCO ₃ [']	—	—	—	—	0,0062
Недиссоциированные молекулы					
H ₂ SiO ₃	0,1154	0,1210	0,0289	0,0031	0,0022
H ₂ O	99,1253	99,0367	99,5981	99,9707	99,9797
Сумма . . .	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000

О датах сбора проб см. табл. 1.

что наиболее интенсивная дистилляция летучих происходит на первом высокотемпературном этапе состояния лавы. Температура этих эксгаляций близка к температуре магмы и, очевидно, состав их также близок к составу магматических летучих.

Вынос летучих из базальта осуществлялся главным образом участии хлора, причем даже в начальный период, который обычно вает непродолжительным (1—1,5 года), галоиды летели в своей основной массе с водородом.

В дальнейшем, по мере остывания лавы, изменялся состав газов базальта: исчез хлор, появилась в незначительных количествах сера в газовой составляющей преобладали углекислый газ и водяной пар. Как видно из анализов газовой фазы базальта (см. табл. 1, 3), уже через два года после образования кратера, при температуре 102°, в этих газах хлор не был обнаружен. В конденсатах газа с рН около 5 также не было встречено ни алюминия, ни железа.

Эксгаляции андезитов имеют обычно сульфатный характер, вынос летучих осуществляется в большей степени при участии серы. Для вулкана наиболее продолжительным является сольфатарное состояние, в этот период выделяется гораздо большее количество газов группы серы, чем галоидов.

Анализы конденсатов газа андезита, взятые через 10 лет после извержения, характеризовались значительно более высокой минерализацией, чем конденсаты базальта, взятые через два года после извержения.

Таблица

Летучие компоненты андезитового купола Суелич
(в весовых %)

Компоненты	Т газа, °С			
	360 *	280 *	220 *	128 *
Катионы				
Na ⁺	0,0284	0,0084	0,0055	0,0013
K ⁺	0,0021	0,0009	0,0009	0,0003
Mg ⁺⁺	0,0024	0,0012	0,0016	0,0016
Ca ⁺⁺	0,0184	0,0091	0,0096	0,0056
Fe ⁺⁺⁺	0,0133	0,0046	0,0037	0,0003
Al ⁺⁺⁺	0,0235	0,0075	0,0106	0,0010
Mn ⁺⁺	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
Анионы:				
F ⁻	0,0403	0,0048	0,0026	0,0006
Cl ⁻	0,3905	0,2600	0,1300	0,0352
Br ⁻	0,0001	0,0001	0,0001	—
SO ₄ ^{iv}	0,4925	0,2320	0,1878	0,0490
Недиссоциированные молекулы				
H ₂ SiO ₃	0,0096	0,0032	0,0076	0,0018
H ₂ BO ₃	0,0148	0,0141	0,1130	0,0242
H ₂ O	99,0039	99,4569	99,5269	99,8790
Сумма	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000

О датах сбора проб см. табл. 2.

С эксгаляциями андезита продолжали выноситься все породообразующие компоненты, в том числе алюминий до 30%, железо свыше 10% и многие микроэлементы (см. табл. 6). Таким образом видно, что андезиты обладают способностью более длительной дестилляции летучих, чем базальты. Поэтому можно допустить, что соединения серы выносят металлы даже в большей степени, чем галоиды.

Располагая количественными данными сконденсированных легколетучих труднолетучих компонентов в конденсате газа, можно учесть также несконденсированные легколетучие компоненты (HCl , HF , CO_2 , H_2CO_3) и пары воды.

В результате пересчетов всех летучих были получены весовые доли. в табл. 8 и 9 представлены данные о составе летучих базальта и андезита. Как видно по результатам пересчета, породообразующие элементы выносятся газами в десятых и сотых долях процентов, хотя и представляют собой основную массу труднолетучих компонентов; микроэлементы присутствуют в составе летучих в ничтожно малых количествах.

ЛИТЕРАТУРА

- Б а ш а р и н а Л. А. Фумарольные газы вулканов Ключевского и Шевелуча. Труды Лаб. вулканол. АН СССР, вып. 13, 1958.
- Б а ш а р и н а Л. А. Фумаролы вулкана Шевелуч в сентябре — декабре 1953 г. Бюлл. вулканол. станции АН СССР, № 24, 1953.
- Н а б о к о С. И. Вулканические эксгаляции и продукты их реакций. Труды Лаб. вулканол. АН СССР, вып. 16, 1959.