

Е. К. МАРХИНИН, В. А. УРАКОВ, Н. Е. ПОДКЛЕТНОВ

**УГЛЕВОДОРОДЫ В ГАЗАХ БАЗАЛЬТОВЫХ ЛАВОВЫХ РЕК
ТОЛБАЧИНСКОГО ТРЕЩИННОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ 1975-1976 гг.**

(Представлено академиком Ю. А. Косыгиным 6 IV 1977)

Вопрос об углеводородах в вулканических газах имеет большое значение для геохимии, в частности в связи с проблемой происхождения нефти и природного газа.

Особенно важны данные о составе углеводородов, содержащихся в чисто магматическом газе. Наиболее достоверные сведения такого рода могут быть получены при анализе газов, отобранных непосредственно из жидкой лавы лавовых рек. Однако, вследствие значительной технической сложности, такого рода газовых проб, взятых из жидких лавовых рек, во всем мире насчитываются буквально единицы ⁽¹⁾.

В настоящей статье описываются результаты анализа 36 газовых проб, отобранных (впервые в Советском Союзе) Е. К. Мархининым и В. А. Ураковым в 1975—1976 гг. непосредственно из жидких текущих лавовых потоков на Южном прорыве при извержении вулкана Толбачик на Камчатке ⁽²⁾.

Отборные трубки из керамики, нержавеющей стали, титана, ванадия, а позже из кварцевого стекла (наиболее удачный вариант) различной длины, от 1,5 до 4 м, погружались в текущую жидкую лаву на глубину 10—50 см. В отдельных случаях были отобраны пробы газа из только что появившихся на поверхности лавового потока пузырей, вздутых магматическим газом. Лава имела ячеистую структуру, магматический газ концентрировался в ее порах-пузырьках. Попадая в газовую пору, отверстие отборной трубки не забивалось лавой. Видимо, в месте соприкосновения трубки и лавы создавался перепад давления, который усиливал приток газовых пузырьков к трубке, а затем и в отборную систему. Температура лавы постоянно замерялась платино-платино-родиевой термопарой, она составляла $1000 \pm 65^\circ\text{C}$.

Система отбора высокотемпературных газов состояла из специально сконструированного газоотводного канала, изготовленного из кварцевого стекла, многоходового холодильника для конденсации водяных паров, поглотителей кислых компонентов или сосудов для отбора газов, крана-пипетки, насоса (рис. 1). Перед отбором система неоднократно «промывалась» магматическим газом. Следует отметить, что газ, как правило, входил в систему под давлением выше атмосферного. Это практически исключало подсос атмосферного воздуха. При хранении газа, до его анализа в лаборатории, принимались необходимые меры против контаминации его атмосферным воздухом.

В табл. 1 приведены результаты общего анализа, выполненного хроматографическим методом, четырех из 36 отобранных газовых проб.

Как видно из табл. 1, в составе газа, отобранного из жидкой лавы Толбачинского извержения, обращает на себя внимание наличие углеводородов, высокое содержание водорода и углекислого газа. В пробах относительно мало окиси углерода. Содержание кислорода также невелико. Оно составляет от 1,5 до 10%. Следовательно, можно предположить, что по крайней мере значительная часть азота и редких газов в исследованных пробах имеет глубинный генезис. Об этом же свидетельствует содержание

Не, составляющее в отдельных пробах десятые доли процента. Количество конденсата, полученного при охлаждении магматического газа, составляет 11,2 мл на 1 л откачанного газа, что соответствует ~90об.%. Установлена зависимость вязкости лавы от растворенной в ней воды (рис. 2). Эта зависимость хорошо согласуется с лабораторными экспериментами (3). Существует также корреляция между количеством сконденсированного пара и содержанием водорода в магматическом газе — она изображена на рис. 3.

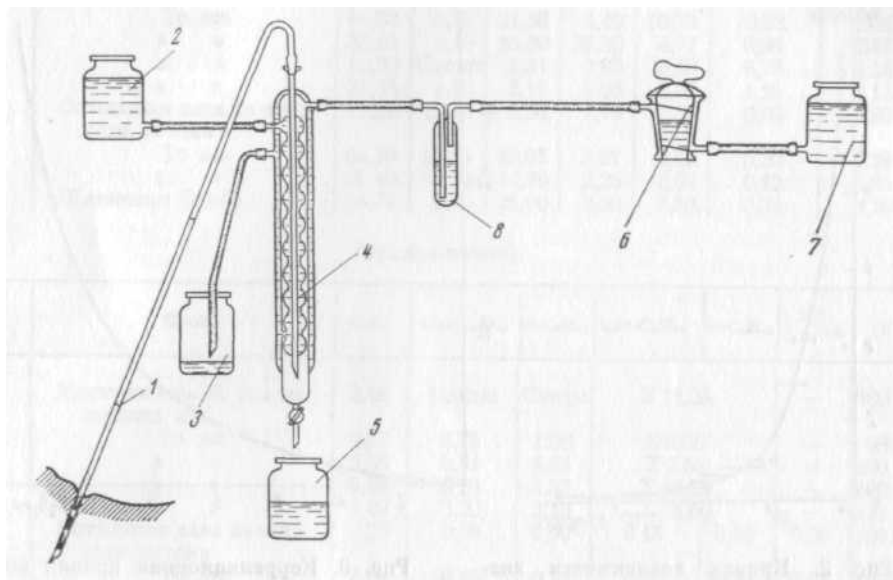


Рис. 1. Схема отбора проб вулканического газа: 1 - газоотводный канал; 2 — сосуд с охлаждающей жидкостью; 3 — сосуд для слива охлаждающей жидкости; 4 — многоходовой холодильник; 5 — сосуд для слива конденсата; 6 — кран-пипетка; 7 — насос; 8 — барботер с поглотителем

В пробах конденсата магматического газа определены ионы фтора, хлора, сульфата и металлов. Получены следующие усредненные результаты анализа конденсата (мг/л): Cl^- 23 800; F^- 2560; SO_4^{2-} 220,4; H_2SO_4 1327,3; NH_4^+ 6,2; Na^+ 770,0; Al^{3+} 250,6; Zn^{2+} 190,3; Cu^{2+} 93,5; Ca^{2+} 68,0; Fe^{2+} 37,5; Mg^{2+} 18,3; Cd^{2+} 24,79; K^+ 2,58; Li^+ 1,5; Pb^{2+} 1,41; Mn^{2+} 1,23; Sn^{2+} 0,05; As^{3+} 0,05; Ag^+ 0,001; Co^{2+} сл.; pH 0,66-0,85; H_2O 11200 мг на 1 л газа.

Анализ показал, таким образом, что основным компонентом отобранных проб магматического газа является вода. Практически во всех пробах присутствуют (в высоких концентрациях) цинк, медь, кадмий, причем в некоторых случаях эти элементы преобладают над породообразующими. Весьма интересно также то, что в пробах обнаружено относительно мало калия, и его содержание близко к содержанию лития.

Таблица 1
Результаты общего анализа газа (за вычетом сконденсированной фазы) (об. %)

№№ п. п.	T, °C	CO ₂	CO	He+Ne	O ₂	N ₂ +Ar	H ₂	Углеводороды	Σ
1	1040	7,49	—	Следы	9,60	74,40	8,50	0,70·10 ⁻³	99,99
2	950	7,30	0,26	0,17	9,66	82,20	0,30	0,14·10 ⁻¹	100,00
3	1065	24,40	—	0,22	1,50	39,28	34,60	0,70·10 ⁻²	100,00
4	1035	16,30	0,20	Следы	2,40	55,59	25,50	1,50·10 ⁻³	99,99

Сравнительно незначительно содержание в конденсате магния и кальция. В общем, можно сказать, что с магматическими газами выделяются относительно незначительные количества петрогенных элементов (за исключением натрия) при высоких содержаниях рудных элементов. Такова общая характеристика отобранных проб магматического газа.

Детальный анализ углеводородной части магматического газа был проведен методом газовой хроматографии. Полученные при этом результаты

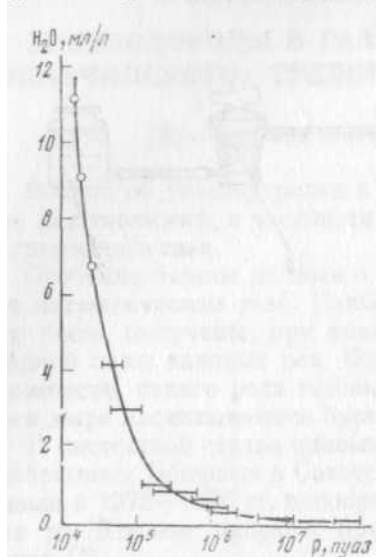


Рис. 2. Кривая зависимости вязкости лав от содержания в них воды

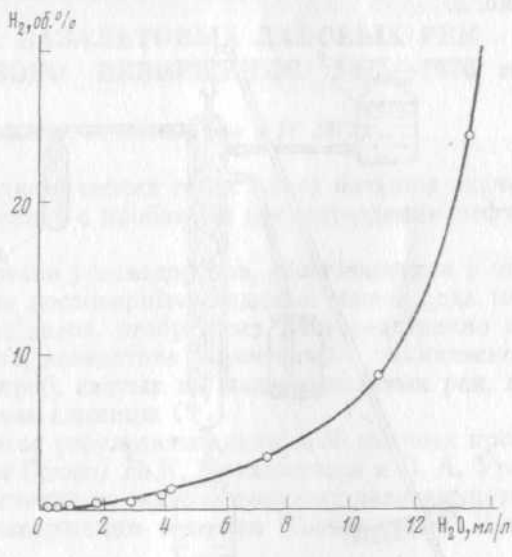


Рис. 3. Корреляционная кривая водород - вода

по определению группового углеводородного состава магматического газа представлены в табл. 2.

В углеводородной части газа преимущественное положение занимают метан и его гомологи до гексана и выше. Кроме того, присутствуют углеводороды неопредельного характера — этилен, пропилен, бутилен. Последнее обстоятельство позволяет предполагать протекание процессов термического крекинга углеводородов, т. е. разложение крупных углеводородных молекул.

При отборе газа и конденсата из лавовых речек отбирали также образцы лав, вулканических бомб, пепла, в которых определяли углеводородный состав газов, адсорбированных вулканическими продуктами. Результаты анализа этих газов представлены в той же табл. 2.

В углеводородном составе газа, сорбированного твердыми продуктами, преимущественное положение также занимает метан (~ до 70%). Кроме метана, обнаружен и ряд более тяжелых углеводородов, вплоть до C_6H_{14} и выше. Общее количество адсорбированных углеводородов составляет 0,08—0,3 см³ на 1 кг лавы. Следует отметить тождественность в качественном составе газов, отобранных из жидкой лавы и адсорбированных твердыми продуктами.

А. Н. Земцовым и А. А. Тронем (частное сообщение) были получены спектрограммы вспышек-пламен над пузырями, появляющимися в истоке лавовых рек. При дешифровке этих спектрограмм было установлено наличие углеводородов. Определить полностью компонентный состав смеси углеводородов при полученном разрешении им не удалось. Однако, по предварительным данным, идентифицированы CH_4 , C_3H_8 , C_2H_2 . Это согласуется с приведенными выше анализами магматического газа, отобранного из подобных лавовых пузырей (кроме C_2H_2).

Таблица 2

Углеродный состав магматического газа (об. %)

№ п. п.	Проба	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	изо-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀
1	Магматический газ из жидких лав	66,17	2,56	4,06	2,10	6,39	1,28	3,01
2	То же	41,33	8,98	21,56	4,49	10,78	0,52	2,25
3	» »	33,45	4,49	15,30	28,85	4,77	0,86	2,06
4	» »	10,38	Следы	1,61	3,80	6,43	6,73	4,24
5	» »	22,35	1,62	2,12	2,93	5,86	4,15	2,12
6	Остывшая лава из жидкого потока	71,93	12,42	9,34	2,74	2,30	0,04	0,23
7	То же	61,29	12,88	15,07	3,27	2,62	0,20	1,28
8	» »	69,40	6,94	14,90	2,25	2,04	0,12	0,66
9	Шлаковая бомба	55,37	5,70	25,00	3,50	3,80	0,34	1,90

(продолжение)

№ п. п.	Проба	C ₁ H ₃	изо-C ₃ H ₁₂	n-C ₃ H ₁₂	изо-C ₆ H ₁₄	n-C ₆ H ₁₄	УВ с n > 6	Σ
1	Магматический газ из жидких лав	3,16	Следы	Следы	Σ 11,28		—	100,01
2	То же	1,17	5,75	1,08	Σ 2,08		—	99,98
3	» »	6,68	0,81	3,81	Σ 2,86		—	100,01
4	» »	8,33	5,70	4,53	Σ 48,25		—	100,00
5	» »	7,99	2,22	3,13	Σ 45,50		—	99,99
6	Остывшая лава из жидкого потока	0,25	0,09	0,09	0,15	0,34	0,08	100,00
7	То же	2,18	0,15	0,22	0,50	0,28	0,06	100,00
8	» »	1,40	0,16	0,20	1,26	0,36	0,37	100,06
9	Шлаковая бомба	3,30	0,44	0,53	0,12	—	—	100,00

Авторы выражают благодарность С. П. Левшуновой (Всесоюзный научно-исследовательский геологоразведочный нефтяной институт) и В. В. Пономареву, выполнившим ряд экспериментальных работ.

Институт вулканологии
Дальневосточного научного центра
Академии наук СССР
Петропавловск-Камчатский

Поступило
23 IV 1977

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. Магдональд, Вулканы, М., «Мир», 1975. ² С. А. Федотов, А. П. Хренов, А. М. Чирков, ДАН, т. 228, № 5, 1193 (1976). А. А. Кадик, Е. Б. Лебедев, И. И. Хитаров, Вода в магматических расплавах, М., «Наука», 1971.