

УДК 551.21

Н. А. Малик<sup>1</sup>, М. Е. Зеленский<sup>2</sup><sup>1</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский  
e-mail: malik@kscnet.ru<sup>2</sup> Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка

## О температуре и составе газа фумарол вулкана Авачинский в 2012–2013 гг.

Приводятся данные о температуре фумарол и составе газа вулкана Авачинский в последние годы. Показано, что высокотемпературные фумаролы с большим дебетом газа приурочены к трещине, образовавшейся в лавовой пробке в 2001 г.

### Введение

Авачинский вулкан (Авача) — активный вулкан, наиболее близко (23 км) расположенный к г. Петропавловск-Камчатский. Он сравнительно часто извергался в историческое время (1737, 1772, 1779, 1827, 1855, 1878, 1881, 1894–95, 1901, 1909, 1926, 1938, 1945, 1991, 2001 гг.) [3]. В период между извержениями вулкан характеризуется умеренной фумарольной активностью. Существует ряд статей, посвящённых последнему сравнительно крупному извержению Авачи 1991 г. [2, 3], всего несколько работ, описывающих состояние фумарольных площадок и состав газов в 1993–94 гг. [9], в 1994–99 гг. [5], очень кратко активизацию 2001 г. [4], фумарольную активность в 2004–05 гг. по данным дистанционных измерений [1]. Около 10 лет фумаролы Авачи детально никто не исследовал. Между тем, составы и температура фумарольных газов любого вулкана зависят от процессов, происходящих на глубине. По изменению этих параметров можно судить и о возможной активизации вулкана. В настоящей работе мы приводим последние данные по состоянию фумарольных площадок на вершине вулкана, температуре, изотопным и химическим составам фумарольных газов в августе-сентябре 2013 г., а также сравнение с ранее отобранными пробами.

### Методы

Авторами работы в 2012–13 гг. были обследованы несколько фумарольных площадок на вершине вулкана Авачинский. Температура всех доступных выходов измерялась ХА термпарой и пирометром, труднодоступных — пирометром.

В выход газа помещали кварцевую трубку диаметром 20 мм, в неё вставляли более тонкую кварцевую трубку диаметром 7–8 мм, которая соединялась при помощи шланга из силиконовой резины с вакуумированными ампулами Гиггенбаха со щелочным поглотителем (4N KOH) или с барботерами со щелочным поглотителем (4N KOH + 25% Cd(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>).

Отбор продолжался 5–15 минут до значительного ослабления потока газа.

Для отбора конденсата газ прокачивали через 2 последовательно соединённых барботера, которые охлаждались снежно-водяной смесью. Затем их содержимое объединялось.

В лаборатории непоглощённые газы (H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar, CO, CH<sub>4</sub> и углеводороды C<sub>2</sub>–C<sub>4</sub>) определяли методом газовой хроматографии (АЦ ИВиС ДВО РАН). Кислую часть (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, HCl, HF) в щелочном поглотителе анализировали методами мокрой химии, в щелочных зарядках без ацетата кадмия определяли суммарную серу в виде SO<sub>2</sub>. Количество воды в пробах определяли по разности привеса и измеренных кислых компонентов.

### Фумарольные площадки вулкана Авачинский

В 2012 г. были измерены температуры практически всех газовых выходов, расположенных по краям лавовой пробки (рис. 1), кроме юго-юго-западных. За исключением фумаролы Западной, расположенной на пересечении трещины с кромкой кратера,

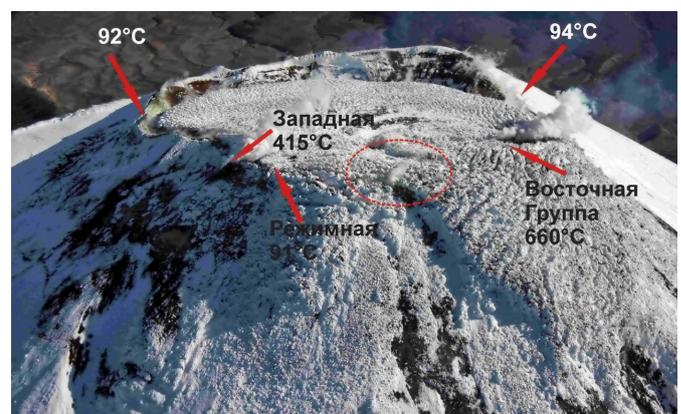


Рис. 1. Фумарольные площадки кратера вулкана Авачинский и их максимально измеренные температуры в 2012–13 гг. Вид с юго-запада. Фото А. В. Сокоренко, 28.09.13. Овалом обведена непромеренная площадка.



**Рис. 2.** Выход газа с температурой 660° С. 28 сентября 2013 г.

температура всех фумарольных площадок не превышала 94° С (рис. 1). Температура Режимной фумаролы не превышала 91° С. В 1994 г., когда из неё был начат отбор газа, её температура была 470° С [9], за день до активизации в 2001 г. — 500° С, после этого температура постепенно снижалась и в мае 2005 г. была 130° С [10].

Западная фумарола представляет собой выход газа из глубокой трещины, образованной в 2001 г. в лавовой «пробке». Ширина трещины в верхней части достигает 1–1,5 м, глубина ~10 м. Именно в этом месте отмечалась максимальная температура до 415° С в сентябре 2013 г., и до 370° С годом ранее. Трещина уходит вниз по склону конуса, где температура падает до 85° С.

18 августа и 28 сентября 2013 г. была опробована высокотемпературные (до 660° С) газовые выходы, находящиеся на фумарольной площадке «Восточная» в юго-восточной части лавовой «пробки» и также привязанные к трещине. Фумарольная площадка, размером ~15×20 м, представляла собой скопление выходов газа, обрамленных инкрустациями. Максимальная температура была измерена в её южной части, где из-под камней чёрного цвета выходили наиболее мощные струи газа (рис. 2), и составила 660° С (по измерениям термопарой). Размер фумаролы около 1 м. В 10 метрах к северу от этой группы выходов была найдена фумарола, пригодная для отбора газа и конденсата (рис. 3), с температурой 610° С (18 августа) и 626° С (28 сентября 2013 г.).

### Состав газов

Пробы газа и конденсата из фумаролы с температурой 610–626° С отбирали 18 августа и 28 сентября 2013 г.

Результаты анализа представлены в таблице, вместе с неопубликованными данными М. Е. Зеленого за 4 октября 2001 г. и данными за 1994–1999 гг. из [5, 9]. Газы, отобранные в 2013 г. из высокотемпературных фумарол отличаются от газов, отобранных из Режимной фумаролы в 1994–2001 г. меньшим содержанием воды и большими содержаниями



**Рис. 3.** Отбор газа и измерение температуры. 28 сентября 2013 г.

ми двуокиси углерода, магматического азота и соединений серы. Как следствие высокой температуры, газы содержали значительное количество  $H_2$  и  $CO$ . Равновесная температура (670° С), рассчитанная по геотермометру Гиггенбаха [8]:

$$\log \left( \frac{[SO_2][H_2]^3}{[H_2S][H_2O]^2} \right) = 3,66 - \frac{10744}{K},$$

где  $K$  — абсолютная температура, близка к температуре отбора. Соотношение других компонентов ( $CO_2/S \approx 2,5 - 3$ ;  $CO_2/N_2 \approx 60 - 70$ ) характерно для высокотемпературных газов зоны субдукции.

Изотопные составы воды ( $\delta D - \delta^{18}O$ ) в конденсатах Авачи (рис. 4) практически совпадают с областью «андезитовых» вод [6]. Это означает, что примесь метеорного или гидротермального компонентов в фумарольных газах весьма мала, т. е. высокотемпературные фумаролы вулкана Авачинский представляют собой выходы «чисто магматического» газа. Из рис. 4 видно, что изотопные составы газов наиболее высокотемпературных фумарол практически не менялись по крайней мере с 1994 г.

Химический состав фумарольных газов вулкана Авачинский, ммоль/моль

№	Дата	T, °C	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>	HCl	HF	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Ar	He
1	02.08.1994 г.	335	972,3	7,5	2,4	13,5	1,70	0,050	0,0011	0,00 200	0,32	0,85	0,0011	0,00 072
2	12.09.1994 г.	473	944,9	22,6	3,4	23,7	3,60	0,030	0,0024	0,00 300	0,50	1,30	0,0087	0,00 005
3	07.08.1997 г.	416	970,7	9,8	5,7	11,4	2,20	—	0,0015	0,00 180	0,11	0,14	0,00084	—
4	04.04.1998 г.	420	963,6	9,3	3,8	19,8	3,13	—	0,0016	0,00 064	0,23	0,14	0,00028	—
5	01.03.1999 г.	390	959,7	8,9	2,7	24,8	2,98	—	0,0015	0,00 029	0,39	0,20	0,00079	—
6	08.04.1999 г.	381	972,9	6,3	2,3	15,7	2,38	—	0,0009	0,00 180	0,21	0,10	0,00060	—
7	30.08.1999 г.	400	961,1	12,7	3,6	19,7	2,41	—	0,0012	0,00 026	0,21	0,17	0,00031	0,00 001
8	08.09.1999 г.	401	959,8	11,1	5,5	20,8	2,10	0,283	0,0017	0,00 065	0,24	0,34	0,00289	—
9	04.10.2001 г.	500	919,6	36,7	5,0	34,0	3,38	—	0,0147	0,00 008	0,38	0,83	0,00018	—
10	01.08.2013 г.	610	916,0	58,5	—	20,9	2,02	0,197	0,1100	0,00 050	1,41	0,83	0,0120	—
11	02.09.2013 г.	626	918,0	56,5	4,6	17,2	1,73	0,127	0,1770	0,00 019	1,62	0,50	0,0200	—
12	02.09.2013 г.	626	873,0	76,1	—	47,1	1,20	0,070	0,1510	0,00 015	1,57	1,04	0,0240	—

Примечание. Прочерк — компонент не определялся. Концентрации N<sub>2</sub> и Ar скорректированы с учётом загрязнения воздухом.

Пр. 10 и 12 отобраны в ампулы Гигенбаха со щелочным поглотителем, остальные — в барботёры с щёлочно-кадмиевым поглотителем.

Пр. 10 — ср. из 2-х анализов, пр. 11 — ср. для 4-х анализов. Анализ выполнен в АЦ ИВУС ДВО В. И. РАН Гусевой (непоглощённые газы) и Л. Н. Гарцевой (поглощённые газы).

Пр. 1,2 — из [9], пр. 3–8 из [5], пр. 9 — неопубликованные данные М. Е. Зеленского.

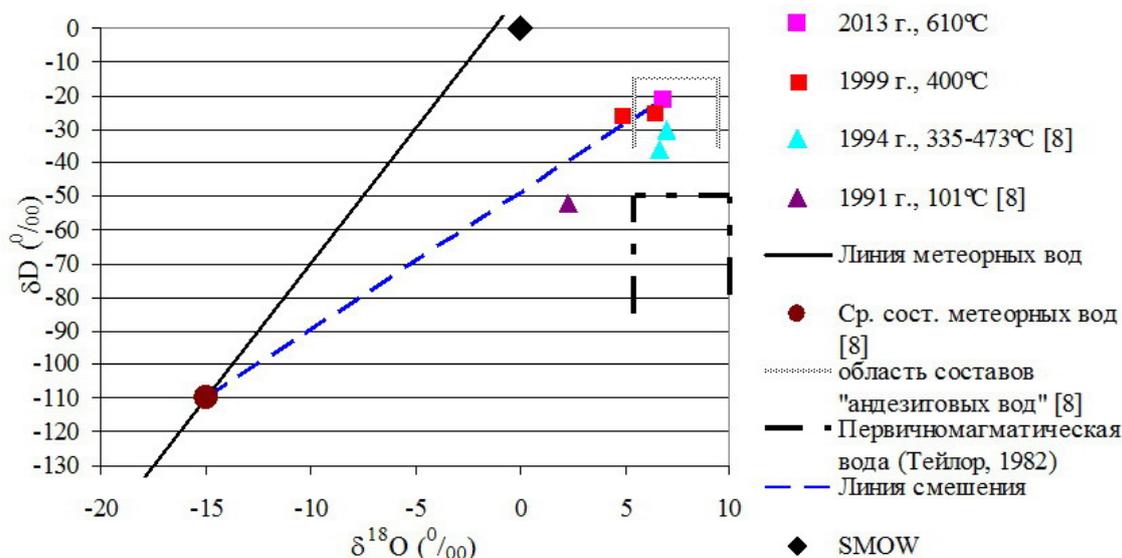


Рис. 4. Изотопный состав воды фумарольных газов вулкана Авачинский. Анализ пробы конденсата 2013 г. выполнен в UNAM, Mexico.

### Заключение

Впервые с 1991 г. были обнаружены высокотемпературные фумаролы с температурой более 660°С. Такая высокая температура фумарольных газов вулкана Авачинский была измерена только задолго до извержения 1991 г. на дне кратера (700°С) [7]. После заполнения кратера лавой, до образования в ней трещины, в 1993–94 гг. максимальные температуры 473 и 335°С отмечались в юго-западной и северо-западной частях кратера [9], 4 октября 2001 г. перед извержением — 500°С. Составы газа высокотемпературных фумарол соответствуют средним магматическим газам островных дуг без разбавления метеорными водами. Температура и составы газов однозначно свидетельствуют о близости дегазирующего магматического тела. Для определения динамики состава и температуры фумарол работы на вулкане Авачинский будут продолжены.

Авторы выражают благодарность за помощь в организации и участие в работах на вулкане Авачинский сотрудников ИВиС ДВО РАН Я. Д. Муравьева, С. В. Полушина и КФ ГС РАН С. С. Сероветникова, В. В. Ящука, а также сотрудников АЦ ИВиС Л. Н. Гарцеву и В. И. Гусеву за выполнение анализов газа, А. А. Овсянникова за обсуждение материалов, А. В. Сокоренко за предоставленные фотографии.

### Список литературы

1. Дрознин В. А., Дубровская И. К. Фумарольная активность вулкана Авачинский в 2004–2005 гг. (дистанционные измерения) // Проблемы эксплозивного вулканизма (к 50-летию катастрофического извержения вулкана Безымянный). Материалы первого международного симпозиума. 25–30 марта 2006 г. // Отв. редактор чл.-корр. РАН Е. И. Гордеев. Петропавловск-Камчатский. 2006. С. 120–126.
2. Дрознин В. А., Муравьев Я. Д. Энергетический и экологический аспекты извержения вулкана Авачинский на Камчатке (январь 1991 г.) // Вулканология и сейсмология. 1994. №3. С. 3–19.
3. Иванов Б. В., Флёров Г. Б., Масуренков Ю. П. и др. Динамика и состав продуктов извержения Авачинского вулкана в 1991 г. // Вулканология и сейсмология. 1995. №4–5. С. 5–27.
4. Мелекесцев И. В., Селивёрстов Н. И., Сенюков С. Л. Информационное сообщение об активизации в октябре 2001 г. вулкана Авачинский на Камчатке и проведённых исследованиях // Вулканология и сейсмология. 2002. №2. С. 79–80.
5. Серафимова Е. К., Овсянников А. А., Муравьев Я. Д. Вулканические эксгаляции вулкана Авачинский в постэруптивном процессе после извержения в 1991 г. // Вулканология и сейсмология. 2002. №4. С. 22–30.
6. Таран Ю. А., Покровский Б. Г., Дубик Ю. М. Изотопный состав и происхождение воды в андезитовых магмах // ДАН. 1989. Том. 304. С. 440–443.
7. Федотов С. А., Балеста С. Т., Дрознин В. А. и др. О возможности использования тепла магматического очага Авачинского вулкана // Бюлл. вулканол. ст. 1977. №53. С. 27–37.
8. Goggenbach W. F. Redox processes governing the chemistry of fumarolic gas discharges from White Island, New Zealand // Applied Geochemistry. 1987. 2. P. 143–161.
9. Taran Y. A., Cornor C. B., Shapar V. N. et al. Fumarolic activity of Avachinsky and Koryaksky volcanoes, Kamchatka, from 1993 to 1994 // Bull. Volcan. 1997. Vol. 58. P. 441–448.
10. Ushakov S. V., Muravyev Ya. D., Ovsyannikov A. A., Senyukov S. L., Dvigalo V. N., Timofeeva I. F. Gas monitoring in 1994–2005 and recent activity at Avachinsky volcano // Proceedings of the 5th Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes (JKASP-2006). Hokkaido University International Congress Hall, Sapporo, Hokkaido, Japan, July 9–21, 2006. С. 167–169.