Минеральный и фазовый состав возгонов Западного фумарольного поля Авачинского вулкана (Камчатка)

Плутахина Е.Ю., Малик Н.А.

Mineral and phase composition of exhalations of the Western fumarole field of Avachinsky volcano (Kamchatka)

Plutakhina E.Yu., Malik N.A.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский; e-mail: peu@kscnet.ru

В работе приведена информация о минеральном и фазовом составе высокотемпературных возгонов Западного фумарольного поля Авачинского вулкана, отобранных в 2023-2024 гг.

Введение

Авачинский вулкан (2751 м) – один из самых активных и доступных вулканов Камчатки, расположенный в ~25 км от городов Петропавловск-Камчатский и Елизово. Вулкан имеет тип Сомма-Везувий, сомма сложена породами от риолитов до базальтов, а Молодой конус – преимущественно андезибазальтами [1]. В историческое время произошло не менее 14 извержений вулкана [4]. В результате извержения 1991 г. кратер вулкана был заполнен андезибазальтовой лавой, которая была разбита серией субпараллельных трещин во время извержения 2001 г. [5]. На пересечении самой длинной из трещин и кромки кратера находятся высокотемпературные фумарольные поля Восточное и Западное, регулярные наземные исследования которых начались в 2013 г. [2].

Западное фумарольное поле (ЗФП) расположено вокруг одноименной фумаролы на западном склоне Молодого конуса. Фумарола представляла собой глубокую трещину с интенсивным выходом газа (рис. 1а). В 2015-2016 гг. были отмечены обвал и оползание стенок трещины; в 2018-2019 гг. склоны стали более пологими, при этом отмечался прогрев грунта и увеличение площади распространения возгонов [3].

Материалы и методы

Летом 2023 и 2024 гг. на ЗФП в процессе полевых работ были отобраны образцы возгонов с поверхности грунтов, в температурных зонах ~150, 350 и 650 °С. Также были отобраны образцы с глубины ~40 см, где температура составляла ~240 °С (рис. 1б). Образцы исследовались методами рентгеновской дифракции и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на Tescan VEGA 3 в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

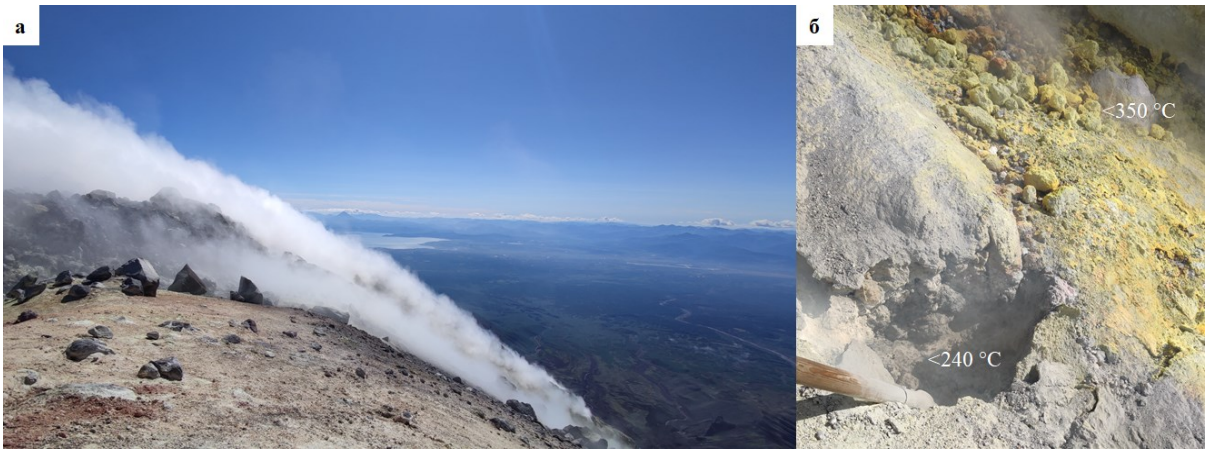

Рис. 1. Авачинский вулкан: а – вид на Западное фумарольное поле с кромки кратера; б – участок пробоотбора ниже Западной фумаролы с закопушкой (отмечены температуры в месте пробоотбора).

Результаты и обсуждение

По данным рентгенофазового анализа, наиболее распространенный минерал возгонов ЗФП – самородная сера, измененных пород – опал и алунит. По данным СЭМ, возгоны сложены неравномерно опализированными породами (андезитами разной степени пористости), самородной серой и тонкой скрытокристаллической смесью гематита, сассолина, галита, сильвина, нашатыря. Редко встречаются пирит, реальгар, аурипигмент, англезит, барит, тенардит, наталиямаликит, йодсодержащие и селен-теллуровые фазы. Натечные образования сложены самородной серой и арсеносульфуритом. Наиболее низкотемпературные инкрустации сложены алунитом, натроалунитом, алуногеном, галотрихитом, пиккерингитом (таблица).

Таблица. Минеральный состав возгонов Западного фумарольного поля

Минерал	Химическая формула	До 2019 г.	2023-2024 гг.
Сера	S	+	+
Кристобалит	SiO_2	+	+
Опал	$SiO_2 \times nH_2O$	+	+
Гематит	Fe_2O_3	+	+
Сассолин	$B(OH)_3$	+	+
Галит	NaCl	+	+
Сильвин	KCl	–	+
Нашатырь	NH_4Cl	–	+
Наталиямаликит	TlI	–	+
Пирит	FeS_2	+	+
Реальгар	AsS	–	+
Аурипигмент	As_2S_3	–	+
Англезит	$PbSO_4$	–	+
Барит	$BaSO_4$	–	+
Тенардит	Na_2SO_4	–	+
Алунит	$KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	–	+
Натроалунит	$NaAl_3(SO_4)_2(OH)_6$	–	+
Алуноген	$Al_2(SO_4)_3 \times 17H_2O$	+	+
Галотрихит	$FeAl_2(SO_4) \times 22H_2O$	+	+
Пиккерингит	$MgAl_2(SO_4) \times 22H_2O$	+	+
Арсеносульфурит	(As,S)	–	+
–	As-O-I	–	+
–	Te-Se	–	+

Образцы со дна закопушки представлены рыхлыми опализированными породами с самородной серой и арсеносульфуритом. Среди редких микрокристаллов диагностированы барит, рутил, ильменит. Исследование этих образцов продолжается.

В образцах возгонов ЗФП, отобранных до 2019 г., были диагностированы в основном самородная сера, опал, редко наблюдался нашатырь, сассолин, галит и гематит; на поверхности низкотемпературных участков грунта описаны инкрустации галотрихит-пиккерингита и алуногена (неопубликованные данные авторов).

Минеральное разнообразие возгонов ЗФП меньше, чем на Восточном фумарольном поле [6]. Но в образцах 2023-2024 гг. диагностировано значительное количество минералов и фаз, которые ранее не были встречены в образцах. Образцы, отобранные в высокотемпературной зоне, содержат: значительное количество нашатыря, выполняющего пустоты в скрытокристаллическом агрегате опала (рис. 2б); в натечных образованиях арсеносульфурита (на поверхности агрегатов опала и самородной серы) встречены бесформенные образования селен-теллурового состава (рис. 2а); в образцах самородной серы из температурной зоны ~650 °C и со дна закопушки обнаружены удлиненные агрегаты состава As-O-I (рис. 2в). Для

йодсодержащей фазы не удалось составить эмпирическую формулу по анализам СЭМ (из-за сильной вариативности концентраций йода в спектре).

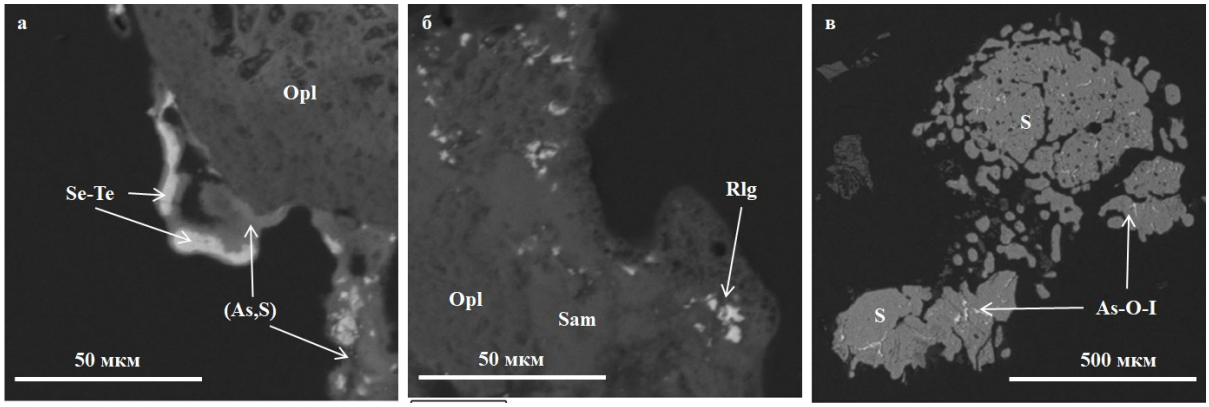

Рис. 2. Взаимоотношения минералов в возгонах ЗФП: а – корки арсеносульфурита (As,S) с агрегатами Se-Te состава на поверхности опалового агрегата (Opl); б – микрокристаллы реальгара (Rlg) в агрегате опала и нашатыря (Sam); вытянутые включения состава (As-O-I) в агрегате кристаллов самородной серы (S). Полированный аншлиф, фото СЭМ в обратно-рассеянных электронах.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИВиС ДВО РАН А.А. Платонову, А.А. Гайчукову за помощь в отборе и пробоподготовке образцов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН по теме НИР № FWME-2024-0006, при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-27-00156 (https://rscf.ru/project/23-27-00156/).

Список литературы

1. *Иванов Б.В.* Андезиты Камчатки (Справочник химических анализов вулканитов и основных породообразующих минералов). Москва: Наука. 2008. 364 с.
2. *Малик Н.А., Зеленский М.Е., Округин В.М.* Температура и состав газа фумарол вулкана Авачинский (Камчатка) в 2013-2016 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. Вып. 33. № 1. С. 21-33.
3. *Малик Н.А., Некрасова М.Ю.* Комплексные исследования активности Авачинского вулкана в 2013 – начале 2020 гг.: наземные, видео и сейсмические наблюдения // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2020. Вып. 46. № 2. С. 41-54. https://doi.org/10.31431/1816-5524-2020-2-46-41-54
4. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И.* Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Ч. II (1926-1991 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 3-23.
5. *Мелекесцев И.В., Селиверстов Н.И., Сенюков С.Л.* Информационное сообщение об активизации в октябре 2001 г. вулкана Авачинский на Камчатке и проведенных исследованиях // Вулканология и сейсмология. 2002. № 2. С. 79-80.
6. *Округин В.М., Малик Н.А., Плутахина Е.Ю. и др.* Новые данные о возгонах и сублиматах Авачинского вулкана (2014-2015 гг.) // Материалы XIX региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 2016 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. С. 400-405.