

УДК 551.23

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗГОНАХ И СУБЛИМАТАХ
АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА (2014-2015 ГГ.)

*Округин В.М.^{1,2}, Малик Н.А.¹, Плутахина Е.Ю.^{1,2},
Назарова М.А.¹, Козлов В.В.³, С.В. Москалева¹, М.В. Чубаров¹*

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683006;
e-mail: okrugin74@gmail.com, malik@kscnet.ru*

²*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга,
Петропавловск-Камчатский, 683032*

³*Oxford Instruments OM - Moscow Office, Москва, 105005;
e-mail: v.kozlov@oxinst.ru*

В сообщении приведены результаты исследований минералов возгонов и сублиматов Авачинского вулкана, выполненных авторами в течение 2015 года с применением новейших методов физико-химического анализа и в первую очередь электронно-зондовых. Охарактеризованы микроморфология, химический состав таких уникальных минеральных фаз как йодиды таллия, лафоссаит, рениит и некоторые другие.

Введение

Авачинский вулкан – вулкан типа Сомма-Везувий, высотой 2751 м, сложенный базальтами, андезибазальтами, андезитами, дацитами. Это один из наиболее близких к г. Петропавловску-Камчатскому (~25 км) и удобных для изучения вулканической активности «полигонов». Со времени последнего извержения вулкана прошло 25 лет (13-30 января 1991 г.), но он остается в состоянии активной фумарольной деятельности, масштабы которой нарастают с увеличением спектра минеральных фаз, что может свидетельствовать о приближающемся пароксизме.

За прошедшие годы изучению минерального состава продуктов фумарольной деятельности Камчатских вулканов уделялось пристальное внимание многими геологами и вулканологами (Набоко С.И., Серафимова Е.К., Вергасова Л.П., Зеленский М.В. и др.) [1,2,7,8].

Начиная с 2012 года на Авачинском вулкане стали проводиться систематические вулканологические, минералого-геохимические исследования, включая эксперименты с кварцевыми трубками, позволившие не только уточнить спектр известных ранее минеральных видов, но и диагностировать новые фазы.

В привершинной части Молодого конуса вулкана располагаются низкотемпературные фумарольные площадки, известные под названием «Серный гребень» и высокотемпературные – Восточная фумарольная площадка и Западная фумарола. Серный гребень находится в зоне контакта лавовой пробки (эффузивно-эксплозивное извержение 1991 г.) с кромкой кратера. Западная фумарола и Восточная фумарольная площадка (наиболее крупное по размерам скопление выходов газа, обрамленных инкрустациями) приурочены к одной из секущих лавовую пробку трещин, образовавшихся во время фреатического события 2001 г. [3].

Во время проведения режимных работ в сентябре 2015 г. были выполнены визуальные исследования фумарольных площадок с измерением температур вулканических газов. Температуры Западной фумаролы, полученные с помощью пирометра TemPro-1200 с расстояния нескольких метров составили $\sim 700^{\circ}\text{C}$, что на 150°C выше, температур августа 2014 и апреля 2015 гг. Измерения проводились в сходных условиях (парообразование, расстояние, угол). Температуры фумарольных газов Восточного поля в течение 2013-2015 гг. существенно не менялись и достигают 665°C .

Среди возгонов на фумарольных площадках вулкана наиболее распространена самородная сера, в ассоциации с которой находятся около 30 минералов. Кроме возгонов (естественных природных образований) диагностировано более 20 минеральных фаз в сублиматах, отложившихся во время экспериментов на стенках кварцевых трубок [5,7,8].

Методы исследований

Кроме классических минералогических методов визуального изучения (стереомикроскопы Leica EZ40, Discovery V.12 Carl Zeiss) наиболее представительные и оригинальные образцы продуктов реакции газ-порода и отдельные монофракции возгонов и сублиматов были изучены с помощью методов рентгенофазового (XRD-7000 MAXima Shimadzu) и рентгенофлуоресцентного анализа (S4 Pioneer фирмы "Bruker") в АЦ ИВиС ДВО РАН.

Так как возгоны и сублиматы чаще всего представлены тонкодисперсными образованиями нескольких парагенетичных фаз, либо встречаются в виде единичных выделений (очень мелкие зерна), то неоценимый вклад в детальные исследования внесло их изучение методами сканирующей электронной микроскопии.

Из измененных пород с возгонами, мономинеральных агрегатов, сублиматов были изготовлены плоско полированные и рельефные препараты. Исследования выполнялись в лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН (SEM Vega 3 Tescan с энергетическим спектрометром Oxford X-max с площадью кристалла 50 mm^2 , программное обеспечение Aztec Oxford Instruments), демонстрационном комплексе Всероссийского теплотехнического института (Lyra 3 FE SEM) и химическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова (настольные РЭМ JCM-6000 NeoScope II).

Результаты исследований

Минеральный состав возгонов Авачинского вулкана (27 наименований, [5]), из которых наиболее распространенные - самородная сера, опал, кристобалит, гематит, пирит, галотрихит - пикеренгит, англезит, алуноген, алунит, сильвин, галит и др., увеличен до 30 за счет обнаружения касситерита (SnO_2), лафоссайта ($\text{Tl}(\text{Cl},\text{Br})$) и рениита (ReS_2).

Касситерит слагает микровключения порых матрицы реальгара (рис. 1а). Формы выделения минерала – отдельные зерна (размером до 5 мкм) и сложные сростания с агрегатами медьсодержащих фаз.

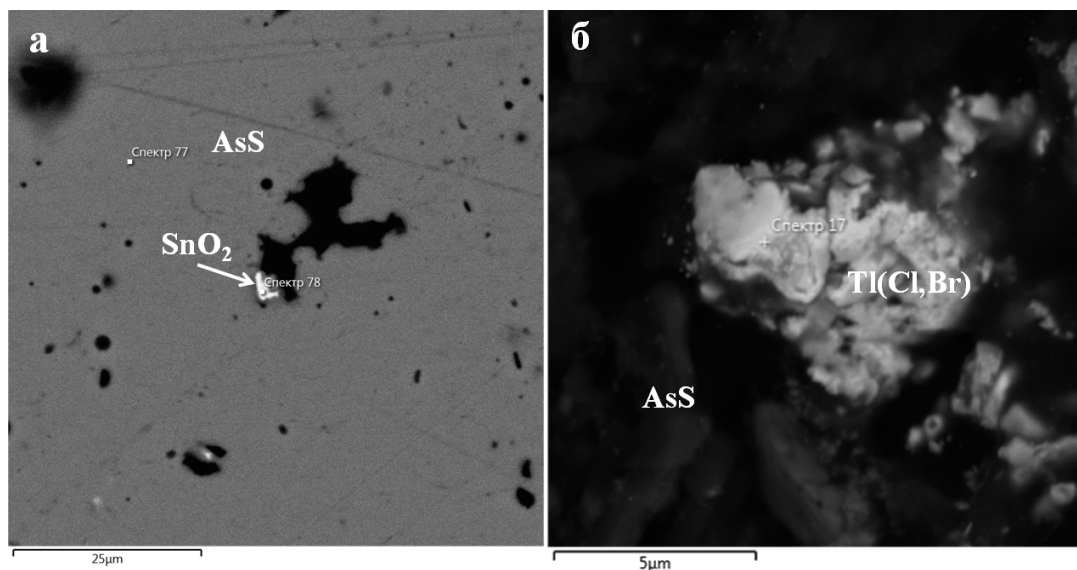


Рис.1. Фотография в отраженных электронах микрозерен касситерита SnO_2 (а, SEM Vega3 Tescan) и лафоссита $\text{Tl}(\text{Cl},\text{Br})$ (б, Lyra 3 FE SEM) в плоскополированных образцах возгонов реальгара AsS .

Лафоссит в виде изометричных кристаллов и агрегатов неправильной формы диагностирован в ассоциации с реальгаром, аурипигментом, рентгеноаморфной мышьяковистой серой и йодсодержащими фазами (рис. 1б).

Впервые в отдельных зернах англезита диагностирован такой элемент-примесь как висмут (до первых процентов), что может быть связано с локальными включениями сульфосолей в процессе отложения англезита (рис. 2 а, б).

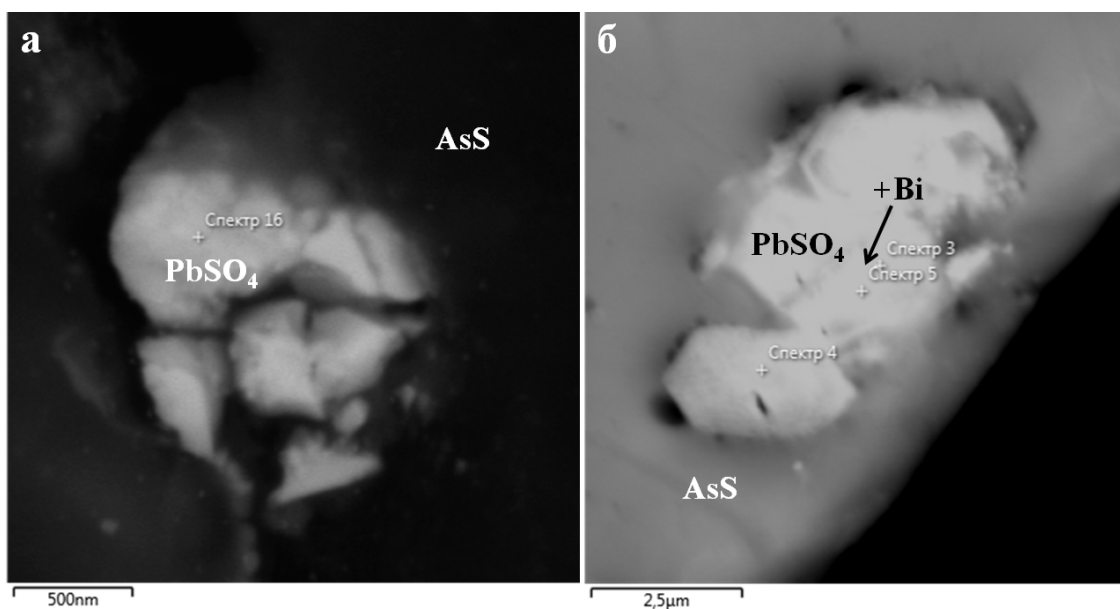


Рис. 2. Фотографии в отраженных электронах (Lyra 3 FE SEM) микроморфологии англезита (плоскополированные образцы, а – зерна в поре, б – зерна в срезе).

Рениит – одна из новых находок для возгонов вулканов Камчатки [4,5]. Морфология агрегатов – либо изометричные микрокристаллы в порах реальгара, либо «фестоны» в плотных реальгаровых массах (рис. 3а, 3б).

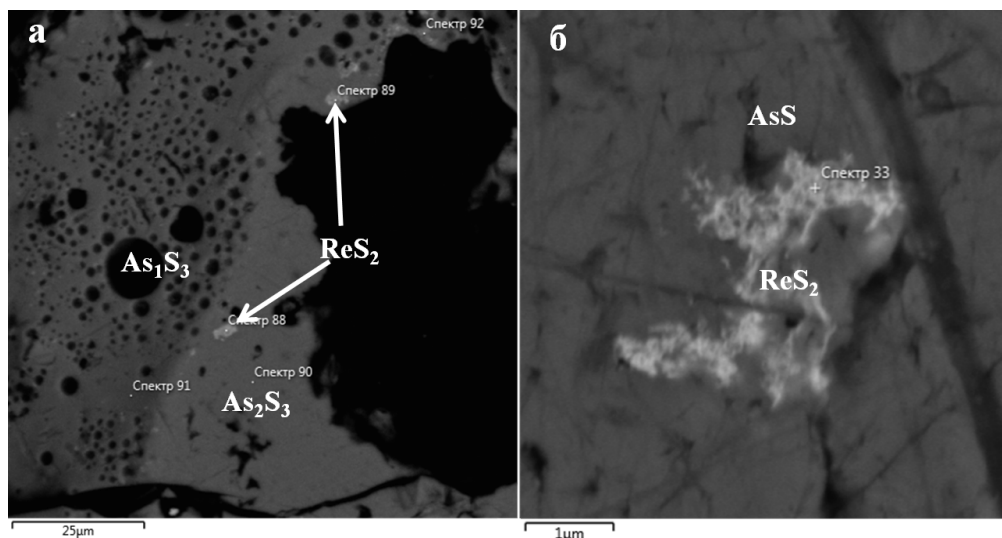


Рис. 3. Фотографии в отраженных электронах форм выделения рениита ReS_2 в плоскополированных препаратах в реальгаровой матрице (а – SEM Vega 3 Tescan, б - Lyra 3 FE SEM).

В сублиматах кварцевых трубок установлено более 20 различных минеральных фаз. Сублимация в трубках продолжалась от 3 до 12 месяцев. Такой разброс сроков экспериментов был выбран для изучения изменений их минерального состава при возможных вариациях химизма вулканических газов. В интервале температур $\sim 600\text{-}200^\circ\text{C}$ выделены зоны распространения хлоридов, оксидов, сульфидов, мышьяковистой самородной серы.

Среди хлоридов, преимущественно около устья трубки в высокотемпературной ($\sim 400\text{-}600^\circ\text{C}$) зоне, наиболее распространены сильвин KCl и галит NaCl , образующие в сростаниях пушистые скелетные агрегаты. Менее распространены котунит PbCl_2 и чаллоколлоит KPbCl_2 , приуроченные к средне- и низкотемпературным ($\sim 200\text{-}400^\circ\text{C}$) участкам трубки.

Оксиды представлены, в основном, гематитом Fe_2O_3 и опалом, кристобалитом, количество которых резко падет при уменьшении температур по длине трубки. Единичные зерна касситерита SnO_2 диагностированы в начале трубки вблизи от ее зоны наибольшего распространения хлоридов.

Большую часть среднетемпературной зоны трубок занимают сульфаты – тенардит Na_2SO_4 , афтиталит $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$, арканит K_2SO_4 , на которых узкими ограниченными полосами располагаются уплощенные кристаллы гринокита CdS и сфалерита ZnS . Кристаллы галенита PbS находятся как на поверхности так и внутри сульфатных матриц.

Рентгеноаморфная мышьяковистая сера ($\text{AsS} - \text{As}_2\text{S}_3 - \text{As}_2\text{S}_5$) распространена в наиболее низкотемпературной области трубок. Если температура газа, выходящего из трубки, превышала 300°C , то мышьяковистая сера на стенках трубки практически исчезала. Её максималь-

ная мощность 0,6 см. В четырех из шести трубок мышьяковистая сера составляет более 80% от общего количества сублиматов. Поверхность натечных образований «пористая» из-за затвердевания массы во влажных условиях, покрыта единичными кристаллами и обособлениями хлоридов и йодидов, концентрирующихся вокруг микропор матрицы.

К одной из новых находок относится обнаружение йодида свинца (PbI_2), образующего вытянутые кристаллы до 20 мкм в длину (рис. 4а).

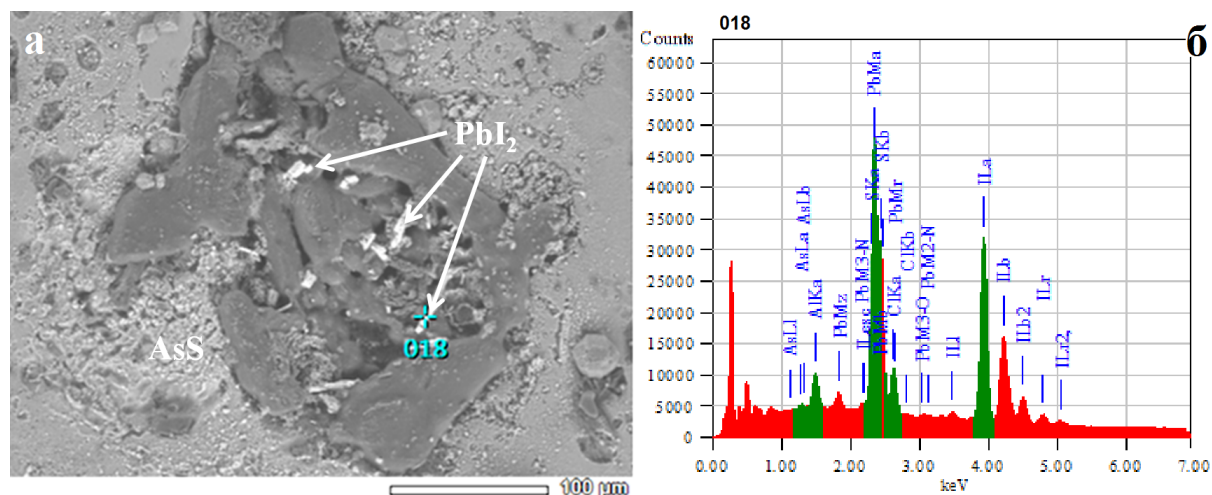


Рис.4. Фотография в отраженных электронах (NeoScore II) многочисленных вытянутых кристаллов йодида свинца на матрице мышьяковистой серы (а) и рентгеновского спектра соответствующего аналитической точке 018 (б).

На протяжении последних двух лет изучение «свежих» образцов самородной серы Авачинского вулкана показывает нестабильность «химической нагрузки» этого минерала, но тенденции к уменьшению количества изоморфных примесей не наблюдается [6].

Следует обратить особое внимание на высокие содержания йода в большинстве изученных образцов самородной серы Восточной фумарольной площадки при его, практически, полном отсутствии в образцах Западной фумаролы и Серного гребня. Этот факт может говорить как о разных путях миграции вулканических газов, так и о поступлении йода только с определенными порциями газа. Однако пока он не находит подтверждения при минералогическом картировании. Подобная картина наблюдается в поведении селена и теллура. Эти элементы присутствуют в составе конденсатов вулканических газов и, теоретически, должны образовывать изоморфные примеси в самородной сере (до нескольких весовых процентов). Тем не менее, высокие содержания этих элементов зафиксированы только в самородной сере Восточной фумарольной площадки.

Выводы

За 25 лет прошедших с момента последнего эффузивно-пирокластического извержения Авачинского вулкана среди возгонов обнаружено до 30 минеральных видов, при этом более десяти сделаны авторами в период 2012 – 2015 гг.

Благодаря проведению детальных комплексных минералого-химических исследований, выполненных в 2014-2015 гг. установлены такие уникальные минеральные фазы как йодиды таллия, лафоссаит, рениит и некоторые другие. Сублиматы (минеральные фазы экспериментальных исследований) находятся в стадии изучения и обещают обнаружение еще более широкого, по сравнению с возгонами, спектра минеральных видов.

Авторы благодарны сотрудникам лаборатории вулканогенного рудообразования и Аналитического центра за помощь в пробоподготовке и проведении аналитических исследований.

Список литературы

1. Вулканические серные месторождения и некоторые проблемы гидротермального рудообразования, под ред. Власова Г.М. М., 1971.
2. *Зеленский М.Е., Казьмин Л.А., Округин В.М.* Моделирование геохимических процессов на вулкане Мутновский (Южная Камчатка) // Вулканология и Сейсмология. 2004. № 5. С. 37-50.
3. *Малик Н.А.* Опыт изучения фумарол вулкана Авачинский в 2012-2014 гг. // Сборник тезисов XVIII научной конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы» 30 марта - 1 апреля 2015 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2015. С. 90-91.
4. *Округин В.М.* Вулканическая фантазия - месяц третий // Горный вестник Камчатки. 2013. №1 (23). С. 79-92.
5. *Округин В.М., Малик Н.А., Москалева С.В. и др.* Новые данные о минералах в продуктах фумарольной деятельности Авачинского вулкана (2013-2014 гг.) // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 30-31 марта 2015 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2015.
6. *Плутахина Е.Ю., Малик Н.А., Назарова М.А.* Самородная сера фумарольных полей вулканов Восточной Камчатки // Материалы XIII Региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле». 10 декабря 2015 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2015.
7. *Серафимова Е.К.* Минералогия возгонов вулканов Камчатки. М.: Наука, 1979. 167 с.
8. *Серафимова Е.К., Овсянников А.А., Муравьев Я.Д.* Вулканические эксгаляции вулкана Авачинский в постэруптивном процессе после извержения 1991 г. // Вулканология и сейсмология. 2002. №4. С. 22-30.