

## Новые находки в сублиматах Авачинского вулкана

*Плутахина Е.Ю., Малик Н.А.*

### New findings in the sublimates of Avacha volcano

*Plutakhina E.U., Malik N.A.*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;*

*e-mail: e.plutakhina@gmail.com*

Приведены результаты изучения минеральных фаз сублиматов вулканических газов Авачинского вулкана из кварцевой трубки, установленной в фумароле со 2 по 16 сентября 2015 г. Описаны главные и редкие минеральные фазы сублиматов.

#### Введение

Исследование микрокомпонентного состава вулканических газов – сложная задача, для решения которой выполняется анализ конденсатов, фумарольных инкрустаций и сублиматов фумарольных газов. Среди этих методов сублимация газов позволяет изучать минеральные фазы, наименее измененные окружающими условиями. Метод осаждения сублиматов в кварцевых трубках, установленных в устье фумарол, впервые применен Ф. Ле Герном и А. Бернардом на вулкане Мерапи в 1982 г. [3]. На Авачинском вулкане такой эксперимент проводится с 2013 г. [1 и ссылки в ней]. Относительная близость вулкана к г. Петропавловск-Камчатский позволяет проводить эксперимент непрерывно, устанавливая трубки в разные сезоны и на разные сроки для получения наиболее полной информации об осаждающихся минеральных фазах.

В данной работе представлены результаты изучения сублиматов трубки № 9. Минералообразование в трубке проходило 2 недели, что является наименьшим временем по сравнению с другими трубками (от 1 до 9 месяцев).

#### Методы исследований

В лабораторных условиях кварцевая трубка размечалась на участки около 10 см в длину, разбивалась. Морфология минеральных агрегатов просматривалась на стереомикроскопах Leica EZ 4 D (Leica Microsystems) и Stemi 2000-C (Carl Zeiss). Фазовый состав наиболее распространенных фаз сублиматов изучен XRD-7000 MAxima (Shimadzu) в АЦ ИВиС ДВО РАН. Микроморфология и химический состав минеральных фаз изучен с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM Tescan Vega3 (HV 20 kV, инт. зонда 14, программное обеспечение AZtec).

#### Результаты исследований

Минеральные агрегаты распределены по трубке непрерывно, с ярко выраженной зональностью на границе перехода минеральной матрицы с опал-хлоридной массы на рентгеноаморфное мышьяковистое серное стекло (рис. 1).

К главным минеральным фазам сублиматов трубки № 9 отнесены опал ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), галит ( $\text{NaCl}$ ), сильвин ( $\text{KCl}$ ) и рентгеноаморфное мышьяковистое серное стекло (As,S). К фазам средней распространенности отнесены оксиды железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}_2$ ), маскагнит ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), ральстонит ( $\text{Na}_{0.5}(\text{Al,Mg})_2(\text{F,OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), чаллоколлоит ( $\text{KPb}_2\text{Cl}_5$ ), гефестосит ( $\text{TPb}_2\text{Cl}_5$ ), ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ), коттунит ( $\text{PbCl}_2$ ), самородная сера (S).

Минеральные формулы фаз с теллурием не подтверждены рентгенофазовым анализом, наиболее близкие минералы по химическому составу – парателлуриит ( $\text{TeO}_2$ ) и каргурлиит ( $\text{As}_2\text{Te}_3$ ). Микрокристаллы оксида теллура найдены преимущественно в высокотемпературной зоне трубки на опаловых агрегатах и на поверхности самородной серы (рис. 2а). Изометричные агрегаты листовидных кристаллов теллурида мышьяка найдены в низкотемпературной части трубки на сере с примесью селена до 5 вес. % (рис. 2в). Ранее таких минералов для сублиматов Авачинского вулкана отмечено не было [2].

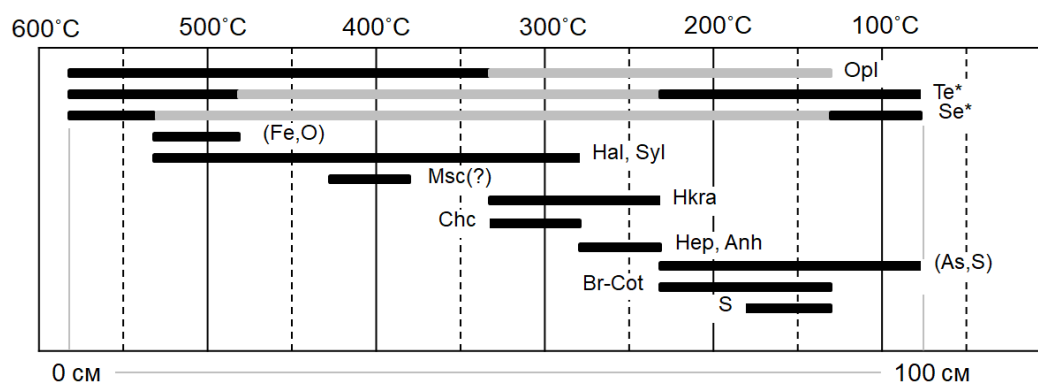


Рис. 1. Последовательность отложения сублиматов в кварцевой трубке. Обозначения: opl – опал, Te\* – теллурсодержащие фазы, Se\* – селенсодержащие фазы, (Fe,O) – оксиды железа; Hal, Syl – галит, сильвин, Msc – маскагит, Hkra – ральстонит, Chc – чаллоколлоит, Hep – гепестосит, Anh – ангидрит, (As,S) – мышьяковистое серное стекло, Br-Cot – бромсодержащий коттунит, S – самородная сера.

Минеральная форма селена определена как самородный селен (Se). Нанокристаллические неплотные агрегаты на матрице рыхлых микрокристаллов опала часто показывают примесь теллура до первых вес. %. Коттунит в данной трубке бромсодержащий, расчетная формула наиболее крупных кристаллов  $PbCl_{1.7}Br_{0.3}$ .

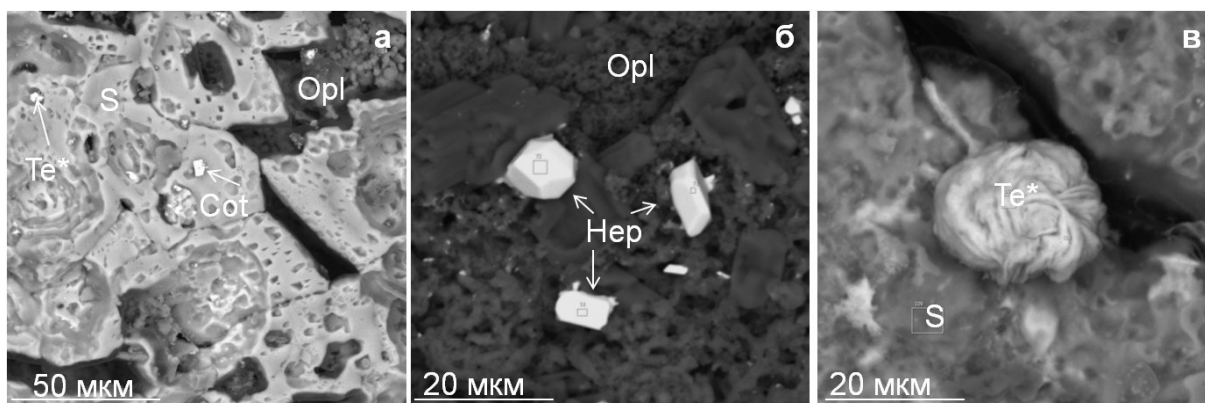


Рис. 2. Формы выделения сублиматов в кварцевой трубке: а – кристаллы коттунита (Cot) на опаловом агрегате (Opl) и теллурсодержащие (Te\*) кристаллы на самородной сере (S); б – кристаллы гепестосита (Hep) и маскагита (Msc) на матрице опала (Opl); в – пример агрегата кристаллов теллурида мышьяка на матрице сере.

Отличительной чертой минералогии сублиматов трубки № 9 стало отсутствие собственных минералов йода. Примеси йода до 4 вес. % отмечены только в самородной сере, в виде неоднородностей на поверхности агрегатов.

Исследование выполнено при поддержке РНФ (грант № 23-27-00156, <https://rscf.ru/project/23-27-00156/>).

### Список литературы

1. Малик Н.А., Зеленский М.Е., Округин В.М. Температура и состав газа fumarol вулкана Авачинский (Камчатка) в 2013-2016 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 1. Вып. 33. С. 21-33.
2. Округин В.М., Малик Н.А., Плутахина Е.Ю. и др. Новые данные о возгонах и сублиматах Авачинского вулкана (2014-2015 гг.) // Материалы XIX ежегодной региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 29-30 марта 2016 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. С. 400-405.
3. Le Guern F., Bernard A. A new method for sampling and analyzing volcanic sublimates – application to Merapi volcano, Java // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1982. V. 12. P. 133-146. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(82\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0377-0273(82)90008-7)