

**О минеральных отложениях из остывающего лавового туннеля Толудского поля ТТИ-50 (2020 г.)**

***М.А. Назарова, Л.П. Вергасова, С.В. Москалева, А.А. Каргопольцев***

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: [nazarovamar@mail.ru](mailto:nazarovamar@mail.ru)*

Изучены образцы минеральных отложений одного из остывающих лавовых туннелей Толудского лавового поля ТТИ-50 (2012-2013 гг., Камчатка). Получены данные по химическому и минеральному составу новообразованных фаз, формирующихся при взаимодействии отделяющихся вулканических газов при остывании изверженных пород, слагающих туннель, с атмосферными осадками.

Лавовый туннель (рис. 1) находится недалеко от туристической тропы (со стороны древнего вулканического центра Клешня), к юго-востоку от конуса Набоко Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС ДВО РАН (ТТИ-50, 2012-2013 гг.).



Рис. 1. Остывающий туннель Толудского поля ТТИ-50 (2020 г.). Фото А.А. Каргопольцева.

Минеральные отложения были отобраны в виде обтеканий на лавовых сталактитах (ТТИ-1, 2, 3/2020), с подошвенной части туннеля (ТТИ-4/2020), с натеков на стенках лавовода (ТТИ-6/2020). В этом случае образцы имели лавовый «стержень» внутри. Некоторые пробы (ТТИ-5 а, б/2020) имели вид сосулков и состояли целиком из новообразованной минеральной фазы, то есть без породной части внутри. Максимальный размер сталактитов и сосулков в длину составлял до 4-6 см, диаметр – от 1 до 5 см, мощность отложений новообразований – от 1 до 3 мм. При отборе проб температура не измерялась.

Помимо микроскопического изучения вещества были осуществлены химические исследования, а также порошковая дифрактометрия (XRD-7000, Shimadzu). Химические исследования проводились методом мокрой химии (анализ водных вытяжек), а также с использованием сканирующего электронного микроскопа (SEM, TESCAN «Vega 3» с энергетическим спектрометром X-MAX 50, Oxford).

Исследования водных вытяжек проводились с использованием атомно-абсорбционной спектроскопии и метода электротермической атомизации (SOLAR, Thermo) (табл. 1).

Химический состав минералов анализировался в аншлифе, который был приготовлен из отдельных зерен, залитых эпоксидной смолой. Напыление угольное. Приготовление аншлифов проводилось без использования воды. Также на

сканирующем электронном микроскопе исследовалась морфология частиц минералов с получением соотношений ряда компонентов в них. На рис. 2 представлены электронно-микроскопические изображения некоторых минералов.

Таблица 1. Химический состав новообразований (водные вытяжки, мг/л).

Компоненты	ТТИ-16/2020	ТТИ-2/2020	ТТИ-3/2020	ТТИ-4/2020	ТТИ-56/2020	ТТИ-6/2020
pH	5.7	5.67	5.58	5.89	5.68	5.7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.66	6.10	7.32	7.32	3.66	3.66
Cl <sup>-</sup>	14.20	12.78	23.43	264.10	19.88	9.94
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	314.9	679.70	672.00	395.50	326.4	292.0
Сумма, мг/л	332.76	698.58	702.75	666.92	349.94	305.60
-∑ А, мг-экв/л	7.02	14.61	14.77	15.80	7.42	6.42
Na <sup>+</sup>	142.5	306.40	297.10	324.40	145.7	134.4
K <sup>+</sup>	6.76	5.08	17.38	12.77	10.44	10.51
Ca <sup>2+</sup>	1.30	0.44	3.65	0.32	5.45	3.90
Mg <sup>2+</sup>	2.00	4.04	7.58	1.40	4.34	3.06
Сумма, мг/л	152.56	315.96	325.71	338.96	165.93	151.93
+∑ К, мг-экв/л	6.60	13.81	14.17	14.58	7.23	6.57
Минерализация	485.32	1014.54	1028.46	1005.88	515.87	457.53

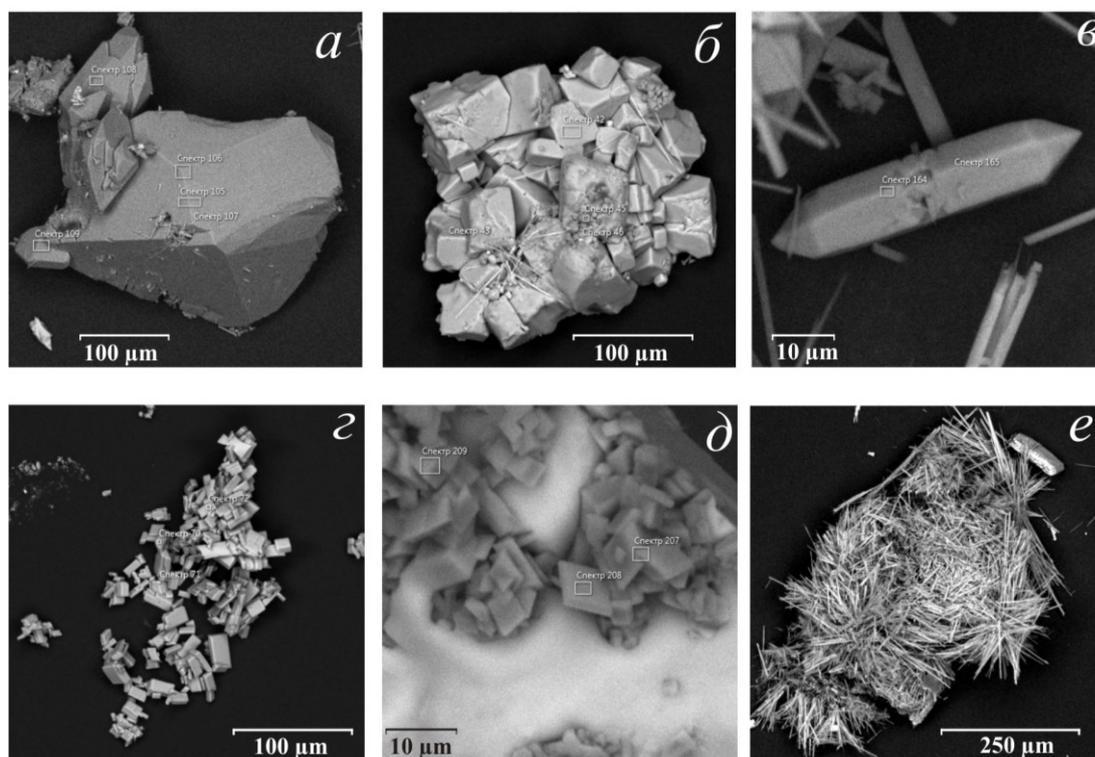


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения минералов: а – тенардит; б – галит; в – афтиталит; г – сингенит; д – «гнездо» леонита в галите; е – эвгстерит.

По данным минералогических исследований среди новообразованных фаз выделено два класса соединений – сульфаты и хлориды. Видообразующими элементами в катионной части являются Na, K, Ca, Mg, присутствие которых подтверждается результатами анализов водных вытяжек (табл. 1). В исследуемых солевых новообразованиях преобладают соединения класса водных и безводных

сульфатов, среди которых безводный сульфат тенардит  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  имел преимущественное распространение. Второстепенными минералами являются галит  $\text{NaCl}$  и афтиталит  $(\text{K}, \text{Na})_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$ . Полученные данные о преобладающем минеральном составе представлены в работах Л.П. Вегасовой с соавторами предыдущих лет [1]. В намного подчиненном количестве установлены: сильвин  $\text{KCl}$ , арканит  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , сингенит  $\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , кизерит  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , эвгстерит  $\text{Na}_4\text{Ca}(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  [3], леонит  $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , блоедит  $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  [2]. Метод электронной микроскопии позволил также выделить акцессорные микрофазы (без названий), не имеющие ярко выраженных морфологических признаков. Например, фтор-сульфат  $\text{Na}, \text{Mg}; \text{O}, \text{K}, \text{Mg}, \text{S}, \text{Cl}; \text{O}, \text{Na}, \text{K}, \text{S}, \text{Cl}$  и др.

Агрегатные формы выделения новообразованных фаз представляют собой, большей частью, скрытокристаллические образования. Это стекловатые прозрачные и бесцветные маломощные корочки облекания, местами довольно плотные, на лавовых сосульках (сталактитах), сменяющиеся участками, иногда зонально (на внутреннюю и внешнюю зоны, например), на непрозрачные, молочно-белого цвета. На поверхности некоторых проб с прозрачным покрытием новообразованных фаз фиксировались фрагменты простых кристаллографических форм. Редкие кристаллы были встречены у галита и афтиталита (рис. 2). Самостоятельные кристаллические скопления наблюдались у таких примесных фаз, как сингенит, эвгстерит, леонит (рис. 2), кизерит. Скопления фиксировались в местах концентрирования фаз молочно-белого цвета, менее плотных и изобилующих наличием пор.

В таблице 2 представлен химический состав большинства минералов по данным электронной микроскопии. По результатам рентгенофазового анализа установлены только преобладающие фазы тенардит и галит.

Таблица 2. Химический состав минералов (по данным электронной микроскопии, вес. %)

Минералы	O	Na	K	Ca	Mg	S	Cl	Прочие	$\Sigma$
тенардит	43.38	31.54				23.57			98.43
афтиталит	38.98	8.42	32.32			19.27		0.62	99.61
галит	0.83	46.46	0.21			0.42	53.88	0.9	102.7
леонит	48.54		23.35		7.5	19.18			98.57
блоедит	57.13	13.95			7.66	19.9			98.64
кизерит	57.03	0.47			18.8	20.86		0.62	97.77
эвгстерит	50.77	19.08	0.21	8.66		20.51		0.81	100.05
сингенит	47.33	0.34	22.13	10.83		18.37		1.14	100.03
арканит	46.24	0.78	27.53			22.56			97.12

Микрокомпоненты, установленные в новообразованных фазах остывающего туннеля Толудского лавового поля: V, Mn, Fe, Ti, Ni, Cr, Tl, Sr, Ba, Cd, Zn, Cu.

### Выводы

В лавовых туннелях в ходе их остывания формируется многокомпонентная полиминеральная система новообразований. Этому способствует взаимодействие отделяющихся вулканических газов при остывании лавовых масс и атмосферной воды, проникающей через лавовую толщу по трещинам. Об этом также свидетельствует частая встречаемость ведущих фаз со следами растворения (рис. 3).

Выражаем благодарность сотрудникам ИВиС ДВО РАН: В.В. Куликову за кропотливую и тщательную работу по приготовлению аншлифов из водорастворимых солей, а также коллегам из Аналитического центра за помощь в проведении аналитических исследований.

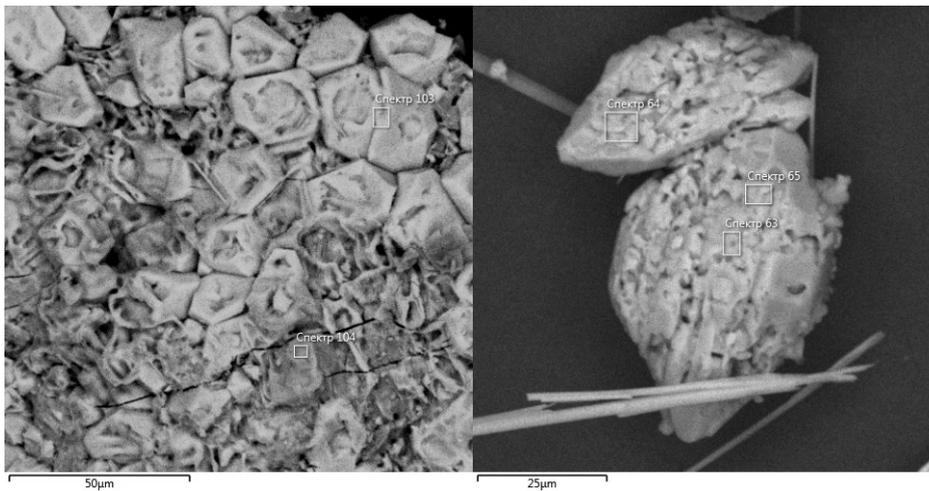


Рис. 3. Следы растворения галита (фото слева) и афтиталита (фото справа).

### Список литературы

1. *Вергасова Л.П., Карнов Г.А., Филатов С.К. и др.* Об эвгеяционной минерализации лавовых потоков Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС ДВО РАН // Материалы региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 30-31 марта 2014 г., г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 22-25.
2. *Дэна Дж., Дэна Э.С. и др.* Система минералогии. Том II, полутом I. М.: Изд-во Иностранной литературы, 1953. 773 с.
3. *Сонненфелд П.* Рассолы и эвапориты. М.: «Мир», 1988 г. 478 с.