

## **Морфология, закономерности формирования и остывания лавовых труб извержения вулкана Толбачик 2012-2013 гг.**

*А.Б. Белоусов, М.Г. Белоусова*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,  
e-mail: belousov@mail.ru*

### **Введение**

Преимущественно эффузивное трещинное извержение вулкана Толбачик 2012-2013 гг. продолжалось 9 месяцев, образовав сложнопостроенное лавовое поле, состоящее из переслаивания многочисленных потоков типа "аа" и "пахойхой" трахиандезибазальтового состава (52% SiO<sub>2</sub>) [3]. Общая площадь лавового поля достигла 40 км<sup>2</sup>, а объем около 0,7 км<sup>3</sup>, при максимальной толщине лавовых наслоений до 70 м [3]. Такие крупные излияния лавы происходят нечасто и поэтому представляют большой интерес для науки. Несмотря на суровые климатические условия Камчатской зимы, участникам Толбачинской экспедиции ИВиС удалось выполнить практически непрерывный ряд наблюдений разнообразных геологических процессов, которые происходили в ходе этого природного явления. Одним из главных результатов работы было получение данных о динамике распространения лавовых потоков на большие расстояния [4], что имеет прикладное значение при разработке методов оценки вулканической опасности. Наблюдения, в частности, показали, что с увеличением площади лавового поля и уменьшением расхода извергающейся магмы произошел постепенный переход от излияния лавы по открытым каналам непосредственно из кратера формирующегося шлакового конуса Набоко к ее скрытому распространению в толще лавового поля по полностью закрытым каналам – лавоводам или лавовым трубам. В ходе извержения лавовые трубы постепенно удлинялись, ветвились, их отдельные рукава отмирали, появлялись новые, и на заключительном этапе извержения лава текла на расстояние нескольких километров по сложной, разветвлённой системе лавовых труб, скрытых в толще лавового поля. Жидкая текущая лава была видна только через несколько газовых отдушин в кровле труб и выходила на поверхность лавового поля только уже непосредственно на фронтах активных лавовых потоков.

Образование лавовых труб характерно для извержений маловязких базальтовых лав. Течение лавы по трубам резко снижает скорость ее остывания и позволяет распространяться на большие расстояния. Для понимания процессов распространения лавы важно знать характерные размеры и внутреннее строение лавовых труб, которые скрыты в толще лавового поля. Получить эти данные можно только после окончания извержения. К концу извержения уровень лавы в трубах постепенно понижается, и после извержения остаются подземные пустоты – лавовые пещеры. Сразу после извержения в лавовые пещеры не проникнуть – температура там превышает 1000°С. Однако, пещеры со временем остывают и становятся доступны для исследования.

Лавовые пещеры на Камчатке известны давно. В лавах доисторических извержений вулканов Толбачик и Горелый они впервые были изучены Ю.Б. Слёзиным [2]. В породах основания Ключевского вулкана (мегаплагиофировых базальтах) лавовые пещеры были найдены А.Б. Белоусовым в 1984 г. В ходе исторических извержений образование лавовых труб наблюдалось в 1975–1976 гг. на Толбачике, где они достигают 500 м в длину и 5 м в диаметре [2], а также при побочных извержениях Ключевского вулкана.

### **Механизм образования лавовых труб**

Считается, что лавовые трубы образуются при застывании поверхности лавы, текущей в открытом канале. Наблюдения на лавовых потоках 2012-2013 гг. показали,

что так образуются только самые первые трубы лавового поля, которые не имеют ветвей. В дальнейшем, важную роль в формировании разветвлённой системы лавоводов играют скачки гидростатического давления лавы, которые возникают в лавовых трубах при блокировании свободного течения лавы аккреционными шарами. Аккреционные шары, диаметр которых составляет от 0.5 до 5 м, образуются вокруг глыб застывшей лавы, обвалившихся в поток со стенок или кровли лавовых труб. Шары плывут или перекатываются в потоке лавы, постепенно увеличиваясь в размерах, пока не застревают в сужении трубы. Выше по течению от заблокированного участка начинается быстрое накопление лавы. Лава имеет плотность около 2700 кг/м<sup>3</sup>, поэтому при заполнении лавой даже пологонаклонных труб гидростатическое давление достигает больших значений. Скачки давления приводят к разрывам стенок лавовых труб и силлоподобным внедрениям новых порций лавы в толщу формирующегося лавового поля. Из таких силлов образуются рукава лавовых труб. Скачки давления проявляются на поверхности лавового поля образованием над лавовой трубой разнообразных структур вспучивания: тумули (tumuli), кольца дробления (shatter rings) и др., из которых вытекают небольшие потоки лавы. После разрыва трубы гидростатическое давление лавы резко падает и вспучивание сменяется проседанием - на поверхности лавового поля на месте структур вспучивания образуются провалы, в которых часто виден вход в лавовую трубу. Выполненное нами картирование лавовых пещер извержения 2012 -2013 гг. показало, что их максимальная длина составляет 357 м (таблица, рис. 1, 2). Далее проходы запечатаны застывшей лавой. Характерная ширина лавоводов этого извержения – около 10 м при высоте 3–10 м, а самый крупный обнаруженный зал имеет высоту до 20 м.

Таблица. Характеристики пещер нового лавового поля извержения вулкана Толбачик 2012-13 г.

№	Название	Широта	Долгота	Выс.над ур.мор, м	Характеристики пещер (длина / ширина / высота)
1	<b>Сауна</b>	55°45'51.6"	160°19'01.6"	1633	>80 м (не удалось обследовать полностью) / до 17 м / до 20 м
2	<b>Холодная</b>	55°45'48"	160°19'05.8"	1630	103 м / до 30 м / до 20 м, на дне входного колодца конус фирна
3	<b>Сушилка</b>	55°45'32.2"	160°19'22.4"	1578	>30 м (не удалось обследовать полностью) / до 4 м / до 4 м
4	<b>Двойная</b>	55°45'28"	160°19'24.6"	1580	143 м / до 10-13 м / до 6 м
5	<b>Марина</b>	55°45'23.3"	160°19'22.2"	1580	357 м / до 10м / до 15 м
6	<b>Шоколадная</b>	55°45'01.5"	160°19'39.7"	1505	>65 м (не удалось обследовать полностью) / до 8-9 м / до 4 м



Рис. 1. Схема расположения входов в крупные лавовые пещеры (всего обнаружено 10 пещер) на лавовом поле извержения ТТИ-50 в 2012-2013 гг. Номера соответствуют номерам в таблице.

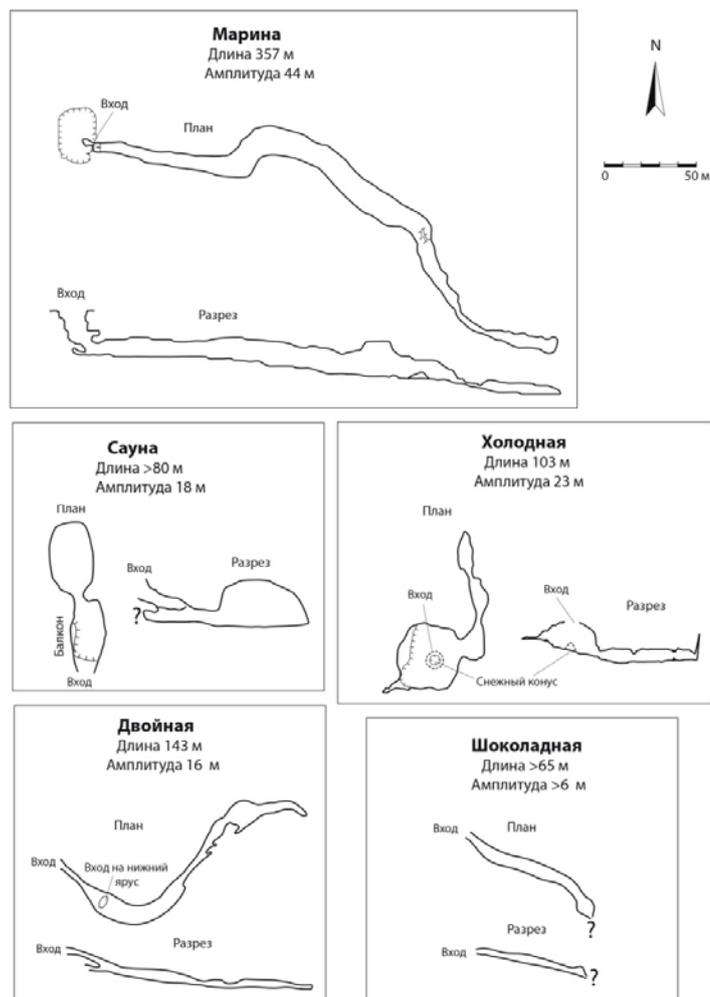


Рис. 2. Схемы внутреннего строения лавовых пещер извержения 2012-2013 гг.

### Остывание лавовых труб

Насколько известно авторам, данных натуральных измерений динамики остывания лавовых труб в литературе в настоящее время не имеется. Чтобы определить динамику остывания лавовых труб мы ежегодно в течение 5 лет после извержения 2012-2013 гг. проводили измерения температуры лавовых труб. Выбор методики таких измерений является нетривиальной задачей, поскольку распределение температур внутри трубы очень неравномерно. Как показали наши измерения, температура стенок труб, как правило, заметно выше температуры заполняющего её воздуха, температура воздуха в привходовой части труб может быть как выше, так и ниже, чем в её глубокой части, что зависит от характера циркуляции воздуха. В стенках лавовых труб обычны глубокие открытые трещины, температура в которых, как правило, более высокая. Для определения некой осреднённой температуры лавовой трубы, которая могла бы характеризовать степень её остывания, мы выбрали измерение температуры её привходовой части (это было практично и позволяло начать измерения, когда пещера была ещё слишком горяча для проникновения внутрь). Измерения проводились один раз с одного и того же места и расстояния. Измерения, выполненные через короткие (часы-дни) интервалы времени, явно недостаточные для заметного остывания пещер, давали одинаковые значения, т.е. были хорошо воспроизводимы. Измерения, выполненные через значительные (годы) интервалы времени, достаточные для заметного остывания пещер, показывали устойчивые тренды понижения температур (рис. 3), т.е., выбранная методика измерений позволяла уверенно отслеживать режим остывания каждой пещеры.

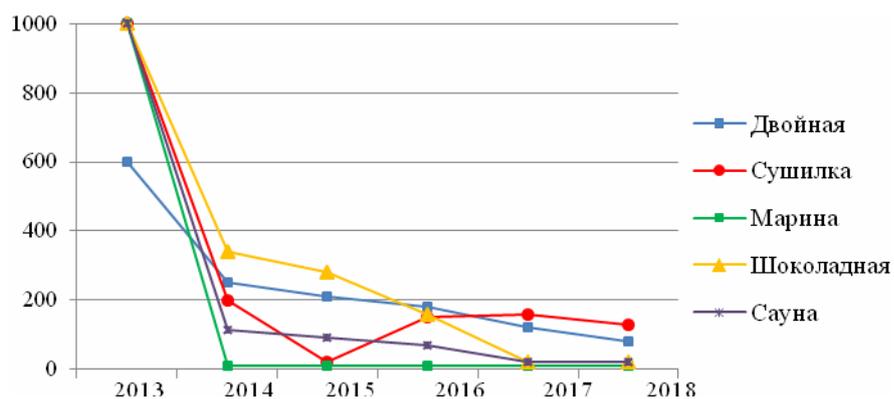


Рис. 3. Динамика остывания лавовых пещер в течение 5 лет после конца извержения

Остывание пещер происходит с различной скоростью, которая зависит от характера подземной циркуляции воздуха. В некоторые пещеры воздух интенсивно засасывается – в их входной части температура уже в 2014 г. опустилась до 10–20°C и даже накопились небольшие снежки. Из некоторых входов, наоборот, происходит интенсивное истечение воздуха, и тогда он очень горячий. Интересно, что само лавовое поле за прошедшее время остыло в меньшей степени. На расстояниях всего несколько десятков метров от заполненных снегом входов в пещеры наблюдались участки лавового поля, температура которых достигала 400°C.

Неожиданным оказалось обнаружение в обследованных пещерах необычных натечных образований. Кроме черных и темно-коричневых базальтовых «сосулков», типичных для лавовых труб, нам встретились сталактиты и сталагмиты, состоящие из белоснежного, желтоватого, красноватого, зеленоватого или голубоватого полупрозрачного горько-соленого кристаллического вещества. Установлено, что их основу составляет минерал тенардит (сульфат натрия) с примесями других веществ [1]. Первоначально эти вещества кристаллизовались в трещинах массива лавового поля из газов, отделяющихся из текущей лавы. Когда температура пород лавового поля локально понизилась до 100°C, по этим трещинам началось просачивание метеорных вод, которые растворили и перенесли эти вещества в находящиеся ниже пещеры. Эти сталактиты и сталагмиты очень недолговечны и вскоре после образования растворяются теми же метеорными водами. Лавовые трубы извержения 2012-2013 гг. оказались в несколько раз крупнее лавовых труб его прежних извержений. Вероятно, это связано с гигантским расходом лавы, превышавшим на начальном этапе извержения 400 м<sup>3</sup>/с.

Картирование лавовых пещер, выполнено с помощью спелеологов Евдокимова Ю., Шеремета С., Жук А., Бельского В. Рис. 1 выполнен с помощью Мельникова Д. В полевых работах принимали участие Чирков С., Утешев И., Ножииков А., Толстых О.

### Список литературы

1. *Вергасова Л.П., Карпов Г.А., Филатов С.К. и др.* Об эксгаляционной минерализации лавовых потоков Трещинного Толбачинского извержения им.50-летия ИВиС ДВО РАН. Материалы ежегодной конференции, посвящённой Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». 2014. С. 22-25.
2. *Слезин Ю.Б.* Вулканоспелеология и лавовые пещеры Камчатки. // Вопросы географии Камчатки. 2008. Выпуск 12. С. 48-58.
3. *Belousov A., Belousova M., Edwards B. et al.* Overview of the precursors and dynamics of the 2012–13 basaltic fissure eruption of Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia. // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2015. Vol.307. P.22-37.