

Вулканоспелеология и лавовые пещеры Камчатки

Приведена краткая общая характеристика вулканических пещер, как объекта спелеологии и вулканологии и информация о состоянии вулканоспелеологии в мире и на Камчатке. Описаны основные особенности вулканических пещер, отличающие их от карстовых, их роль в развитии извержения и в формировании ландшафта. Отмечена чрезвычайно слабая изученность лавовых пещер Камчатки и практическая значимость изучения распространения лавовых пещер

Volcanic caves are characterized as objects of speleology and volcanology. The information of the volcanospeleology status in the world and in Kamchatka is given. The difference between volcanic and karstic caves as well as the role of volcanic caves in eruption process and in the formation of landscape is described. The pooriness of the information about the Kamchatka lava caves and practical importance of this information is stressed.

Введение

Вулканоспелеология – это часть спелеологии, ставящая своей целью изучение вулканических пещер. Одновременно она и часть вулканологии. Всех людей, занимающихся пещерами, объединяет Международный Союз Спелеологов (МСС), в который входит и международная комиссия по вулканоспелеологии. Россия давно является активным членом МСС и внесла немалый вклад в изучение пещер, однако к вулканоспелеологии она примкнула лишь в недавнее время, и пока с вулканическими пещерами соприкоснулись лишь немногие вулканологи, а формально единственным представителем России в вулканоспелеологии является автор этих строк. Спелеологов-географов камчатские лавовые пещеры еще ждут.

Большая часть пещер в мире, включающая наиболее протяженные, сложные и глубокие из них, относится к карстовым, возникшим в известняковых массивах под действием текущей воды. Вулканические пещеры возникают в процессе вулканических извержений и представляют собой, в основном, так называемые лавовые трубы, возникающие в текущих по поверхности земли потоках и вертикальные шахты – опустошенные выводные каналы извержений и провалы над лавовыми трубами. Главное отличие вулканических пещер от карстовых в том, что первые возникают в процессе извержения, продолжительность которого невелика, то есть геологически мгновенно, а потом происходит только их разрушение и заполнение, вторые же способны расти, развиваться и усложняться очень долго, в течение десятков и сотен тысяч лет. Поэтому размеры вулканических пещер относительно невелики (хотя и достигают иногда десятков километров в длину с перепадом высот в сотни метров), и структура их относительно проста. Возможно, поэтому они мало привлекали внимание наших

спелеологов, но для России главным, я полагаю, была удаленность и труднодоступность края вулканов - Камчатки, и закрытость ее в советское время.

Всерьез заинтересовались пещерами камчатские вулканологи во время Большого трещинного Толбачинского Извержения 1975-1976 гг, непосредственно наблюдая процессы их образования, и убедившись в огромной роли лавовых труб в формировании лавового поля Южного прорыва извержения [1]. Действующие лавовые трубы часто можно было хорошо проследить по валообразным вздутиям на поверхности остановившегося потока с газящими трещинами и, иногда, «слуховыми окнами» - отверстиями, через которые был виден текущий внутри трубы «живой» поток. Расстояние от поверхности потока до кровли, видимое через такое окно составляло обычно от полуметра до метра, то есть это была уже пещера. Стеkanie лавы после прекращения действия ее источника увеличивало это расстояние: на Рис. 1 приведена фотография входа в еще не остывшую пещеру, появившегося после обвала кровли на лавовом поле Южного прорыва Толбачинского извержения 1975-1976 гг.



Рис.1. Еще не остывший вход в пещеру на лавовом потоке Южного прорыва Толбачинского извержения 1975-1976 г. Для масштаба висит геологический молоток. На дне просматривается канатная поверхность потока.

Длина отдельных действующих труб достигала первых километров, однако оставались пещерами после остановки они далеко не по всей длине и не всегда и, естественно, не скоро могли стать доступными.

Доступными для изучения на Толбачинском Долу должны были быть пещеры в подобных лавах предыдущих извержений. Первая такая пещера была обнаружена геодезистами в достаточно старых (около 2000 лет) лавах в районе Северного Прорыва извержения и использовалась ими для установки наклономеров [2]. Целенаправленный поиск пещер с целью изучения был начат во время извержения Южного Прорыва в относительно свежих лавах исторического (1740 г.) извержения конуса «Звезда», расположенного рядом. Первая пещера здесь была обнаружена С.А.Федотовым, и позже закартирована мной [8] (Рис. 2).

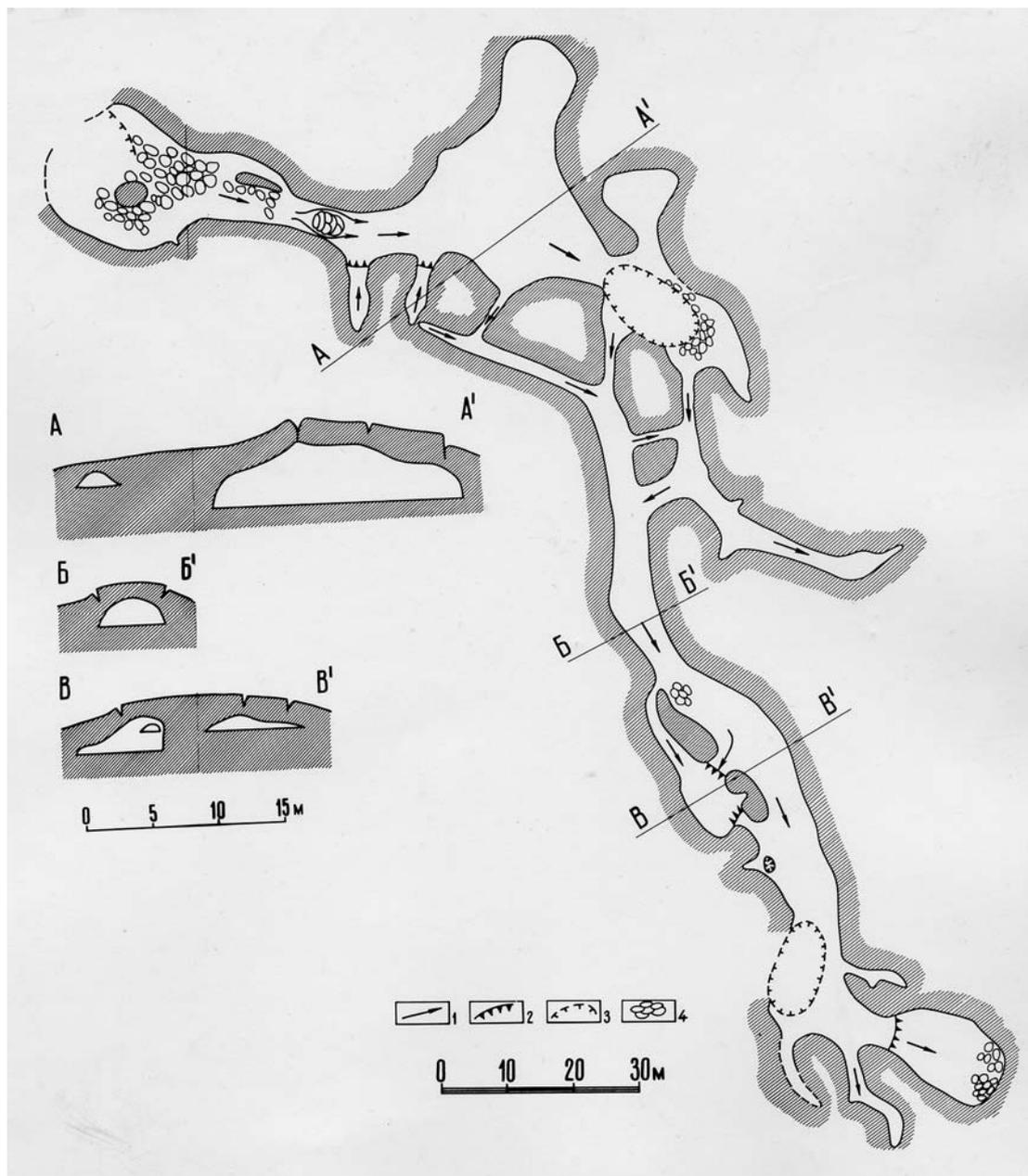


Рис. 2. План лавовой пещеры. Масштаб разрезов увеличен вдвое. 1 – направление течения лавы; 2 – уступы ложа потока – «лавопады»; 3 – провалы кровли; 4 – нагромождения обвалившихся глыб.

Затем в этом районе было найдено еще более десятка пещер, пещеры были описаны в лавах вулкана Горелого и в лавах Ключевского, но первая пещера Толбачинского Дола до сих пор остается наиболее протяженной (суммарная длина ходов более 500 метров).

Лавовые пещеры и вулканоспелеология в мире

Публикация плана первой пещеры в сборнике, посвященном Толбачинскому извержению [9], переведенном вскоре на английский язык, привлекла внимание зарубежных вулканоспелеологов, которые нашли меня и пригласили в состав Комиссии по вулканоспелеологии. В 1994 году я съездил на очередной (7-й) международный симпозиум по вулканоспелеологии, где познакомился с состоянием этой науки в мире и рассказал о лавовых пещерах Камчатки, после чего к нам начали приезжать зарубежные спелеологи. Первые из них: Вильям Холлидей, США, председатель (сейчас почетный председатель) комиссии по вулканоспелеологии, наши ближайшие соседи - японские спелеологи во главе с Таканори Огавой, и швейцарцы во главе с Уве Вейдманном. Швейцарцы сделали больше, чем кто-либо – произвели съемку и определили GPS – координаты более чем двух десятков камчатских пещер, в том числе и вновь обнаруженных ими, на Толбачинском Долу и в лавах вулкана Горелого.

Основная задача вулканоспелеологов, как и спелеологов вообще – поиск, детальное картирование и описание пещер. Вторая задача – изучение морфологии и минералогии пещер, механизма их образования. Третья задача – изучение своеобразной пещерной жизни. И, наконец, последняя, четвертая, которая приобретает все большее и большее значение – защита пещер, их уникального минералогического и животного мира от давления цивилизации.

По сравнению с известняковыми пещерами для лавовых пещер ведущую роль играет изучение морфологии и механизма образования. Минералогия именно пещер мало отличается от минералогии лавовых потоков вообще, а животный мир лавовых пещер не обладает большой специфичностью, так как лавовые пещеры не глубоки, активно вентилируются и вообще хорошо сообщаются с поверхностью. В связи с последним обстоятельством несколько иначе стоит и проблема защиты вулканических пещер от цивилизации. Из-за гораздо меньшей изолированности от внешней среды вулканические пещеры менее чувствительны к антропогенному воздействию, чем карстовые, но из-за близости к поверхности они более доступны, и серьезно повредить их хозяйственной деятельностью легче. Недавно по просьбе Холлидея я писал письмо губернатору штата Гавайи, где выражал озабоченность «спелеологов России» проектом новой автомобильной дороги, предполагающим обрушение участка крупнейшей лавовой

пещеры Большого Острова. Я получил подробный ответ от губернатора. Под давлением общественности проект был изменен.

Особенности пещерных обитателей, связанные с адаптацией к жизни в подземных полостях, одни и те же в лавовых и карстовых пещерах, однако, эволюция пещерных сообществ в разных типах пещер протекает по-разному из-за разного характера эволюции самих пещер. Поэтому специальное изучение обитателей лавовых пещер может дать ценную информацию для построения эволюционных моделей [14].

Изучение же морфологии и механизма образования лавовых пещер в связи с механизмом образования вулканических форм рельефа вообще приобрело в последние десятилетия особое значение. Это связано с изучением планет Солнечной системы, где формы поверхности в значительной степени создавались вулканизмом. Известный американский вулканолог Рональд Грили, работающий по заданиям NASA, выпустивший совместно с М. Карром книгу «Вулканические формы Гавайев. База для сравнения с Марсом» [11], в последнее время занимается составлением базы данных по всем вулканическим пещерам Земли также для планетологических целей.

Количество известных вулканических пещер на Земле оценить трудно, так как неизвестен минимальный регистрируемый размер. В каталоге вулканических пещер Канарских островов, например, приведены 206 пещер при минимальной длине пещеры 14 м и минимальной глубине вертикальной шахты 5 м [13]. Самый богатый лавовыми пещерами регион – это Гавайские острова, где находится и самая большая пещера – Пещера Кацумуры (Kazumura Cave) - длиной 46.7 км (суммарная длина ходов, расстояние между крайними точками почти вдвое меньше). Каталог гавайских лавовых пещер содержит более 800 единиц [12]. В целом количество вулканических пещер на земном шаре составляет, по видимому, несколько тысяч.

Почти все лавовые пещеры образованы базальтовыми лавами, и ареалы их распространения приурочены к таким лавам. Прежде всего, это вулканические острова над «горячими точками» и в районе срединно-океанических хребтов, а также рифтовые зоны на суше (Восточная Африка, Аравия). На Камчатке основные пещеры приурочены к базальтовым вулканам Центральной Камчатской Депрессии.

Основные типы и формы вулканических пещер

Вулканические пещеры подразделяются на лавовые трубы и вертикальные шахты – пит-кратеры.

Лавовые трубы возникают на лавовых потоках в результате образования неподвижной корки поверх продолжающего движение потока. Понижение уровня лавы

под коркой после снижения ее расхода приводит к образованию пещеры. Лавовые трубы, благодаря уменьшению теплоотдачи и длительному сохранению текучести лавы, способствуют дальнему ее растеканию по поверхности с небольшим уклоном. Средний уклон лавовых труб составляет от 2 до 10-15 градусов. Они способны ветвиться как из-за ветвления самого потока, так и из-за разделения широкого потока на несколько узких труб деформацией кровли. Такой сложной пещерой-трубой является и первая закартированная на Камчатке: суммарная длина ее ходов в 2 с лишним раза больше расстояния между крайними точками по направлению потока лавы.

Кровля лавовых труб образуется разными способами, может наращиваться за счет разного рода заплесков и последовательного застывания лавы на поверхности [13] и за счет «движущихся лавовых плотин» [3], но в любом случае ее толщина не превышает примерно 20 метров. Обычно же она от десятков сантиметров до первых метров. Довольно часто кровля местами проваливается, образуя «слуховые окна» над движущимся потоком и, иногда, - большие провалы после остановки и остывания лавы. Такие провалы разрывают пещеру на части. Так же разрывают пещеру на части и лавовые пробки. Поэтому длина конкретной пещеры всегда меньше длины родительского потока и действовавшей лавовой трубы. Ответвления трубы могут обходить провал и восстанавливать непрерывность ходов пещеры (см. план на рис. 2).

Перепад высот между концами лавовой пещеры-трубы может достигать значительной величины: у крупнейшей пещеры Кацумуры он составляет 850 м. Для карстовой пещеры такой перепад соответствует ее глубине, но для лавовой пещеры глубиной его назвать нельзя, так как ее кровля везде не далеко отстоит от поверхности и на протяжении пещеры имеется несколько входов. Вопрос можно ли считать пещеру Кацумуры глубочайшей в США специально обсуждался на 7-м международном симпозиуме, и был сделан вывод, что нельзя.

Содержащие пещеры лавовые потоки могут перекрываться последующими потоками, также содержащими пещеры, и, таким образом, оказываться глубоко под поверхностью. Однако, такие глубоко расположенные лавовые пещеры, как правило, теряют связь с поверхностью и становятся недоступными. Лишь в редких случаях возможно возникновение связи между двумя ярусами пещер. Основная масса известных лавовых пещер геологически молоды – десятки, сотни, первые тысячи лет, однако, в районах, где активный вулканизм уже прекратился, описаны лавовые пещеры с возрастом в сотни тысяч лет (Олд Колоа на острове Кауаи или Олд Бейлисс в Австралии). Но таких древних пещер мало.

Формы поперечных сечений пещерных ходов весьма разнообразны. Кровля пещеры чаще всего представляет собой полукруглый свод туннеля, иногда местами прогнутый и провисший и со следами частичного обрушения; пол плоский - образован поверхностью остановившегося потока с характерными формами течения, чаще типа «канатов», иногда засыпанный обломками. Высота туннеля может быть как больше, так и меньше его ширины, на стенках часто видны следы, оставленные уровнем поверхности потока, впоследствии, по-видимому, резко понизившимся. Случаи, когда высота пещеры больше ширины и когда у дна ширина меньше, чем на половине высоты, обычно интерпретируются, как результат углубления дна за счет эрозии движущимся потоком. Кроме туннелей в лавовых пещерах встречаются и «залы» - приблизительно изометричные в плане, с горизонтальными размерами в десятки метров и высотой несколько метров, названные нами «лавовые камеры» [7,2].

Поверхность потолка относительно свежей лавовой трубы обычно микроскопически гладкая, глазированная, с многочисленными «сосульками» - «сталактитами». (Рис. 3,4) В Камчатских пещерах на Толбачинском Долу я наблюдал сосульки длиной примерно до 20 см и шириной у основания 5-10 см, тогда как в пещерах образованных более жидкими гавайскими лавами, на вулкане Килауэа, я видел сосульки длиной до метра при ширине в основании всего в 2-3 см. На кровле часто присутствуют цветные возгоны.



Рис. 3. Лавовые сосульки пластинчатой формы, расположенные рядами – редкое расположение. Длина сосуллек до 15 см.



Рис. 4. Прогнутый, низко нависший свод с беспорядочно расположенными сосульками.

Вертикальные шахты. Представляют собой опустошенные верхние части подводящих каналов вулканов и провалы в толстой кровле потоков. Обычно они в верхней части кратерообразно расширяются за счет оползаний: широкая воронка часто резко переходит в вертикальную, сначала узкую, а потом расширяющуюся книзу шахту. Глубина обычно составляет от первых метров до первых сотен метров. Глубочайшая «сухая» лавовая шахта находится на острове Гавайи и имеет глубину 263 м [12]. Общее количество вертикальных шахт составляет около 25% всех лавовых пещер, и средний размер их значительно меньше размера лавовых труб. На Камчатке мне известна только одна шахта.

Вулканические пещеры Камчатки

Пещеры Толбачинского Дола. Все закартированные пещеры находятся в лавах конуса «Звезда», извержения 1739 года. Всего 11 пещер типа лавовых труб длиной от 12 до 540 м. Самая большая пещера была найдена С.А.Федотовым и закартирована мной, остальные нанесены на карту группой швейцарцев во главе с Иво Вейдманном [17]. Надо сказать, что большая часть этих последних пещер была первоначально найдена и осмотрена мной, но до картирования их руки у меня не дошли. В более старых лавах Толбачинского дола (возраст – около 2000 лет) была найдена лишь одна пещера - труба длиной около 100 м, в которой геодезисты устанавливали наклономер, однако к настоящему времени ее свод обрушился и завалил вход, так что она прекратила свое

существование. И одна вертикальная шахта глубиной около 10 метров в лавах конуса «гора Высокая» (около 1000 лет), колоколообразно расширяющаяся вниз от входного отверстия, имеющего размер порядка метра.

В пределах Толбачинского Дола имеется много провальных структур, иногда выстраивающихся в линии, возможно трассирующих скрытые пещеры. В январе 1976 году в паре километров к юго-востоку от конуса «Звезда» в районе старых лавовых потоков, заросших лиственничным лесом, возник паровой столб, хорошо видный издали. Я обследовал источник пара и обнаружил заваленную глыбами кратерообразную депрессию, где между глыб выходил поток влажного воздуха с температурой +2 градуса и расходом около $3 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$. Расход и температура не менялись в течение месяца наблюдений. Поток воздуха не имел запаха и, очевидно, был результатом вентиляции большой подземной полости – пещеры. Неожиданное возникновение отсутствовавшей ранее вентиляции возможно было связано с ощутимым землетрясением, имевшим место перед этим.

В самых молодых лавах Южного Прорыва 1975-1976 гг, где во время извержения наблюдались протяженные действующие лавовые трубы до нескольких километров длиной, а после остановки течения лавы входы в обширные пещеры, пока недоступные из-за высокой температуры, через несколько лет удалось обнаружить лишь немного небольших гротов длиной до десятка метров, заваленных обломками. Это подтверждает заключение об эфемерности лавовых пещер и необходимости особых условий не только для их возникновения, но и для и сохранения после остановки и остывания потока.

Структура первой самой большой пещеры достаточно сложна (Рис. 2). При суммарной длине ходов 540 м полное расстояние от верхнего конца пещеры до нижнего равно примерно 230 м – более чем вдвое меньше. Многочисленные слепые отростки являются, как правило, притоками, верховья которых закупорены лавой. Система туннелей с весьма различными по форме и площади поперечными сечениями включает и значительных размеров камеру с максимальным горизонтальным размером 40 м и высотой 4.5 м. Пол пещеры почти везде покрыт канатной лавой, так что изгиб канатов везде указывает направление течения. В пещере встречаются уступы с лавопадами высотой до полутора метров и один колодец около метра глубиной, через который, судя по следам течения, лава уходила на нижний уровень, а потом закупорила его. Потолки туннелей почти везде глазированные и с сосульками (Рис. 3,4). Полный перепад высоты между верхним и нижним концами пещеры составил 11 м, так что средний уклон несколько меньше 5 градусов.

Другие районы Ключевской группы вулканов. Судя по характеру лав, наличия пещер можно ожидать в основании Ключевского вулкана и в лавах вулкана Ушковского и Крестовского. Однако, поскольку Крестовский и Ушковский вулканы уже давно прекратили активную деятельность, а на Ключевском они вероятны в древних мегаплагиофировых лавах, образующих фундамент группы с возрастом свыше 10000 лет, найти их сложно. Известна лишь небольшая (около 10 м) пещера, обнаруженная в лесу недалеко от поселка Ключи вулканологом А.Белоусовым, и несколько также небольших пещер со следами обитания первобытного человека, описанных писателем и археологом-любителем Л.Пасенюком на берегу реки Камчатка на Западном фланге Ключевской группы вулканов. Специально в этих краях никто пещеры не искал [16].

В то же время существуют косвенные свидетельства наличия пещер в лавовом фундаменте Ключевской группы. Это, прежде всего, провальные явления в рыхлом грунте, покрывающем лавовую основу у подножия Ключевской группы вулканов. В поселке Ключи такие провалы привели к обрушению ряда зданий и к повреждению взлетно-посадочной полосы аэропорта [6]. Большие объемы, поглощаемого воронками грунта, говорят о больших объемах полостей и о переносе грунта вдоль них потоками воды. В некоторых случаях пещеры в лавах фундамента вскрывались скважинами изыскателей [5,6]. К необходимости изучать и учитывать лавовые пещеры при строительстве пытался привлечь внимание руководства инженер ДальТИСИЗа А.И. Тараканов с помощью вулканологов и автора этих строк в их числе, но пока, насколько мне известно, убедить в важности учета этого момента начальников не удалось.

Непосредственно на Ключевском вулкане, лавы которого имеют андезитобазальтовый состав, пещер не находили. В то же время я лично наблюдал на извержении побочного Прорыва Предсказанного в 1983 году протяженные действующие лавовые трубы и потоки, вытекающие из гротов с раскаленным сводом, нависающим в полуметре-метре над поверхностью потока. Возникновение лавоводов и пещер здесь было связано с деятельностью так называемых «лавовых плотин», описанных В.Пановым и мною в [3]. Однако, через 3 года после извержения на возникшем лавовом поле пещер опять обнаружить не удалось. Очевидно, все они были завалены или закупорены лавой. На небольшом шлаковом конусе высотой в несколько десятков метров, возникшем над истоком лавы сразу после прекращения извержения мне удалось наблюдать опустошенный вертикальный канал в виде вертикальной цилиндрической шахты глубиной 60 м с раскаленными гладкими глазированными стенками. На дне была видна светящаяся поверхность лавы. Впоследствии эта шахта также разрушилась.

Быстрому исчезновению пещер в этих местах очевидно способствовало действие снега и льда на нижней границе нивальной зоны. Можно было бы ожидать находок пещер ниже, но там отсутствуют условия для их образования в относительно вязких андезито-базальтовых лавах.

Лавовые пещеры в районе вулкана Горелого. Группа пещер описана к северу от вулкана Горелого на небольшом участке крупного лавового потока, имеющего возраст приблизительно 2000 лет. Всего здесь закартировано 14 пещер (той же группой Иво Вейдманна [17]), самая длинная из которых - 140 м, а самая короткая – 16 м. Для вулкана Горелого характерны высокие и широкие открытые гrotы – результат полного разрушения значительных участков пещер (Рис. 5,6). Если на Толбачинском Долу в потоках конуса «Звезда» проваленный участок большой пещеры имеет длину до 5-8 м и смотрится как, именно, провал, то на Горелом есть разрушенные участки длиной 50-100 м, по обеим сторонам которых находятся широкие входы в относительно короткие, выглядящие независимыми гrotы. Очевидно, это связано с гораздо большим возрастом пещер Горелого.



Рис.5. Вход в пещеру. На переднем плане заваленное обломками дно обвалившегося участка пещеру длиной около 100 м. На другом конце такой же вход в другую ее часть, показанный на рис.6.



Рис.6. Продолжение пещеры Рис.5.

Обращает на себя внимание, что все пещеры вулкана Горелого сосредоточены на очень небольшом участке одного потока. Максимальный размер площадки с пещерами менее 1.5 км, тогда как полная длина потока 15 км. Вопрос о том, в какой степени это есть просто результат недостаточной изученности, а в какой – особых условий, необходимых для образования пещер, остается открытым.

Механизм образования вулканических пещер

Лавовые трубы. Возникают, когда движущийся лавовый поток покрывается неподвижной коркой. Продолжающая течь под коркой лава формирует трубу, которая после прекращения поступления лавы из источника превращается в пещеру. Способы первоначального наращивания неподвижной корки различны: 1) от бортов к середине; 2) от истока вниз по течению; 3) объединение сначала свободно плывущих по поверхности кусков [15]. Однако в любом случае корка должна не только появляться, но и сохраняться.

Возникающая на поверхности потока корка испытывает значительные нагрузки со стороны движущейся под ней лавы, в результате чего деформируется, рвется и в большинстве случаев превращается в навал пересыпающихся глыб. Для того, чтобы возникла труба и пещера, необходимо, чтобы лава обладала вполне определенными свойствами: она должна очень резко переходить из текучего в твердое, жесткое состояние. Про такие материалы говорят, что они обладают пределом текучести.

Простейшая модель подобного вещества была предложена Бингамом, и названа его именем. В ней предполагается, что при напряжениях ниже предела текучести тело ведет себя как абсолютно жесткое, а при напряжениях выше этого предела – как вязкая жидкость. Классическими веществами, ведущими себя подобным образом, являются взвеси твердых частиц в вязкой жидкости, к которым Бингам и применил впервые свою модель. Лавы, в которых на Камчатке найдена большая часть пещер, – мегаплагиофировые базальты - как раз и представляют собой относительно маловязкий расплав с большим количеством взвешенных кристаллов, среди которых выделяются крупные кристаллы плагиоклаза характерной плоской формы, способные расти в потоке [10]. На Рис. 7 показана фотография естественного поперечного скола кровли свежей лавовой трубы на Южном Прорыве – видны обильные крупные кристаллы плагиоклаза.

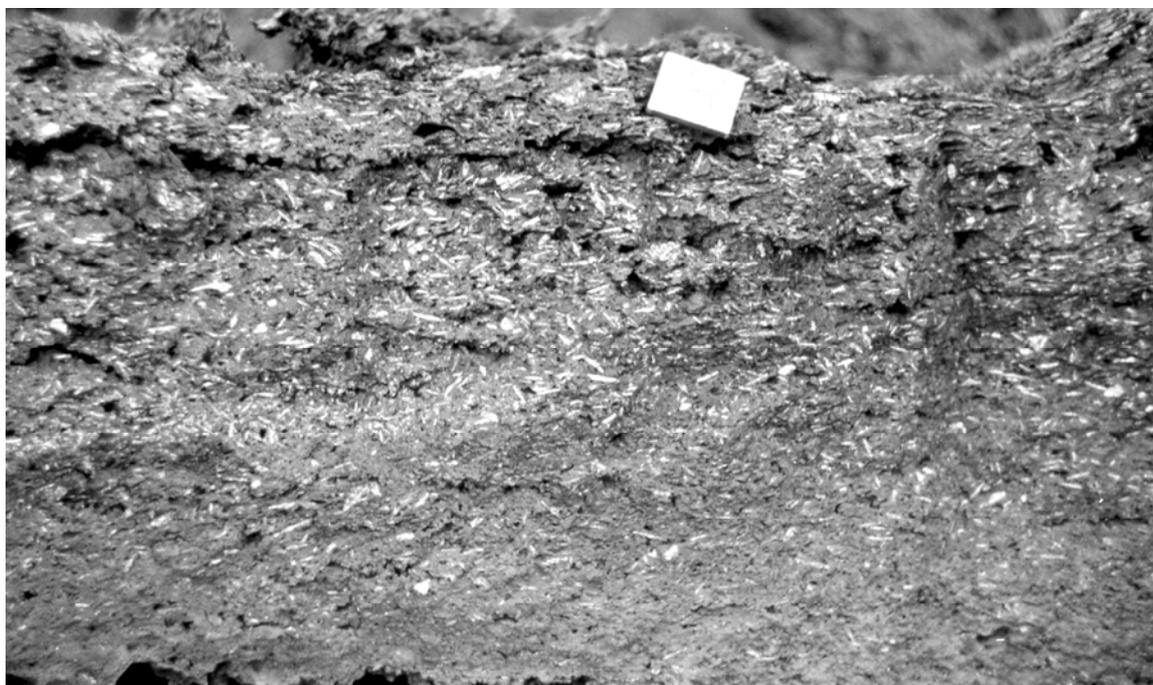


Рис. 7. Поперечный скол кровли лавовой трубы. У наружной поверхности кровли для масштаба – спичечный коробок.

В системе лавовых труб присутствуют также и крупные полости - *лавовые камеры*. Их образование связывается со следующими особенностями формирования лавового поля, наблюдавшимися автором на Южном Прорыве Толбачинского извержения 1975-1976 гг [1]. Продвигающийся вперед единичный лавовый поток расширялся, замедлялся и, достигнув длины 1-3 км при ширине фронта до 1 км, останавливался. После этого через некоторое время (порядка часов) в одной или в двух точках широкого фронта потока происходил прорыв новой, вторичной боки (Рис. 8), и возникала следующая ступень потока, подобная предыдущей, на фронте которой также мог произойти

очередной прорыв. Каждому возобновлению течения предшествовало «набухание» концевых частей – образование локальных вздутий на поверхности потока, против которых обычно и происходили прорывы. Опустошение таких вздутий (тумулусов) после прорыва и порождало лавовые камеры.



Рис. 8. Вторичная бокка на конце лавовой трубы.

Другой способ образования лавовых труб и пещер впервые описан В.Пановым и мной на извержении прорыва «Предсказанного» в 1983 году [3]. На довольно крутом склоне лавовые потоки образовывали узкие русла с относительно высокими бортовыми валами. На этих потоках периодически возникали образования, названные мною движущимися лавовыми плотинами. Куски застывшей корки и блоки, отслаивающиеся от бортов, смешиваясь с жидкой лавой, образовывали высоковязкую с большим пределом текучести массу, движение которой резко замедлялось. Замедление создавало подпор, уровень «плотины» повышался, пока верхняя ее часть не начинала переливаться (пересыпаться) через борта, надстраивая их в высоту. Большая часть плотин в результате вскоре разрушалась, и поток восстанавливался в прежнем виде между все более высокими бортами, но в ряде случаев плотина останавливалась, и поток продолжал течь под плотиной по лавовой трубе. Образованная плотиной кровля могла достигать 15-20 метров толщины. На одном из потоков мы наблюдали его истечение из-под такой плотины, из пещеры с высотой свода над потоком около метра, а в нескольких десятках метров выше по течению в этой толстой кровле был провал - шахта, в глубине которой был виден быстро несущийся поток яркой лавы.

Такая кровля могла устойчиво держаться над потоком только в узком каньоне с высотой стенок, значительно превышающей ширину потока. Тем не менее, ее частичное разрушение происходило постоянно, так как мы наблюдали вынос из пещеры крупных твердых глыб в 2-3 метра диаметром, которые катило потоком по дну. В массе такие пещеры вряд ли были долговечны, но при особо благоприятных условиях могли сохраняться достаточно долго.

Для превращения лавовой пещеры в лавовую трубу не обязательно значительное уменьшение расхода лавы в источнике. Самое небольшое уменьшение расхода, если при этом прекращается контакт потока с потолком, приводит к уменьшению сопротивления трения, увеличению скорости и значительному понижению уровня потока при том же расходе. Толщина потока может уменьшиться при этом в 1.6 раза, если лава – ньютоновская жидкость, и почти в 2 раза, если лава жидкость Бингама с большим пределом текучести [4].

Такое резкое понижение уровня потока может произойти почти сразу после возникновения трубы, и возникшая полость под кровлей заполняется газами, отделяющимися от текущей лавы. К газам подмешивается воздух, подсасываемый через трещины в кровле, который вступает в реакции с горючими компонентами этих газов. Такое «горение» приводит к разогреву газов, поверхности лавы и кровли. В результате увеличивается способность лавы к дальнему растеканию при минимальном уклоне, а потолок пещеры оплавляется, покрывается «глазурью» и лавовыми сосульками. Измерения температур газа в фумаролах, возникающих над действующими лавоводами показало, что они могут превышать температуру текущей лавы на величину от десятков до первых сотен градусов [2].

Способы разрушения пещер также различны. В основном это обвалы кровли и стен наиболее интенсивные в первое время после остановки извержения из-за температурных напряжений. Помогают разрушению землетрясения. Второй принципиальный путь, ведущий к исчезновению пещеры – это заполнение ее рыхлым материалом. Иногда такое заполнение начинается через значительное время после образования пещеры, когда она уже перекрыта толстым слоем последующих отложений. Именно такой процесс являлся, очевидно, причиной разрушительных провалов в поселке Ключи, когда в относительно небольшую воронку уходили многие десятки и сотни кубометров грунта и детали строений.

Заключение

Вулканические пещеры отличаются от карстовых прежде всего горными породами, в которых они возникают, и механизмом образования. Этими главными обстоятельствами определяются и другие отличия: меньшие размеры, менее сложная структура и относительная недолговечность вулканических пещер, а также большая бедность специфической спелеофауны. Эти особенности делают вулканические пещеры в какой-то мере менее привлекательными в спортивно-географическом смысле, однако придают им специфику ценную для вулканологов и эволюционистов. Кроме того, наличие лавовых пещер необходимо учитывать при проведении любых строительных и хозяйственных работ в вулканических районах и как объект туризма.

На Камчатке вулканические пещеры начали изучаться лишь в недавнее время и свои спелеологи-географы до сих пор отсутствуют, так что не ведется систематическое описание и картирование пещер. Закартировано лишь 25 пещер, в основном усилиями зарубежных гостей. Наибольшая из них имеет длину ходов 540 м. Явные свидетельства существования пещер в перекрытых рыхлыми отложениями лавах фундамента Ключевской группы вулканов в районе поселка Ключи были получены при изучении просадок грунта, приводивших к разрушению строений. Немало морфологических признаков возможного существования пещер отмечалось на Толбачинском Долу. Существуют и другие места, где пещеры возможны. Можно предполагать, что при систематическом поиске количество и протяженность лавовых пещер на Камчатке должны увеличиться по крайней мере на порядок. Нужны лишь энтузиасты, которыми могли бы стать студенты-географы Камчатского Государственного Университета.

Список литературы

1. Андреев В.И., Гусев Н.А. Ковалев Г.Н., Слезин Ю.Б. Динамика лавовых потоков Южного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения 1975-1976 гг. // Бюлл. вулканол. ст., 1978, № 55. С. 18-26.
2. Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка 1975-1976. - Коллект. монография под ред. С.А.Федотова. - М.: Наука, 1984. - 637 с.
3. Панов В.К., Слезин Ю.Б. Механизм формирования лавового поля побочного прорыва "Предсказанный" (1983 г. Ключевской вулкан). // Вулканология и сейсмология, 1985, № 3. С. 3-13.

4. *Слезин Ю.Б.* Механизм формирования бортовых валов на лавовых потоках и лавовых труб // Вулканонология и сейсмология, 2002, № 1. С. 29-33.
5. *Слезин Ю.Б., Тараканов А.И., Цюрупа А.И.* Особенности гидрогеологических условий области развития пещерообразующих лав на Камчатке. - В сб.: Инженерно-строительные изыскания, № 1. - Стройиздат, М., 1980. С. 50-54.
6. *Слезин Ю.Б., Тараканов А.И., Цюрупа А.И.* Лавовые пустоты и проблемы освоения территорий развития пещерообразующих лав на Камчатке. // Инженерная геология, 1981, № 3. С. 64-69.
7. *Слезин Ю.Б., Цюрупа А.И.* Лавовые пещеры как причина деформаций рыхлых покровных отложений. - В кн.: Вулканические пояса Камчатки (тезисы докладов IV Камчатской геологической конференции 27-29 марта 1979 г.). - Петропавловск-Камчатский, 1979. С. 42-46.
8. *Федотов С.А., Мархинин Е.К., Ковалев Г.Н., Слезин Ю.Б., Цюрупа А.И.* Большое трещинное Толбачинское извержение: Южный прорыв 1975-76 гг. // ДАН СССР. - 1977. - т.237, № 5. - С.1155-1158.
9. *Федотов С.А., Ковалев Г.Н., Мархинин Е.К., Слезин Ю.Б., Цюрупа А.И., Гусев Н.А., Андреев В.И., Леонов В.Л., Овсянников А.А.* Хронология и особенности Южного Прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения 1975-1976 гг. В кн.: Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975-1976 гг. М.: Наука, 1978. С. 11-22.
10. *Цюрупа А.И.* Вкрапленники в эффузивах и инверсия температур ликвидуса. Владивосток: Дальнаука. 1997. 243 с.
11. *Carr M.H., Greeley R.* Volcanic Features of Hawaii. A basis for comparison with Mars. - Wasington, DC, NASA. 1980. 211 p.
12. *Halliday W.R.* Recent vulcanospeleological progress in Hawaii. – Proceedings of the 7th Int. Symp. on vulcanospeleology. Santa Cruz de la Palma, Canary Islands, Nov. 1994. 1996. P. 51-58.
13. *Howarth F.G.* A comparison of the ecology of cave-adapted faunas in volcanic and carstic caves. – Proceedings of the 7th Int. Symp. on vulcanospeleology. Santa Cruz de la Palma, Canary Islands, Nov. 1994. 1996. P. 63-68.
14. *Martín M.R.* Historia de la espeliología en Canarias. – Proceedings of the 7th Int. Symp. on vulcanospeleology. Santa Cruz de la Palma, Canary Islands, Nov. 1994. 1996. P. 101-108.

15. *Peterson D.V., Holcomb R.T., Tilling R.I., Christiansen R.L.* Development of lava tubes in the light of observations at Mauna Ulu, Kilauea Volcano, Hawaii // *Bull. Volcanol.*, 1994. V. 56. No 5. P. 343-360

16. *Slezin Yu.B., Tsyurupa A.I.* Lava caves in Kamchatka. – Proceedings of the 7th Int. Symp. on volcanospeleology. Santa Cruz de la Palma, Canary Islands, Nov. 1994. 1996. P. 113-120.

17. *Veidmann Y., Perret C., Adank M.* Preliminary data from Kamchatka expedition 1996. – Commission on Volcanic Caves of the IUS, 1999.