

Роль оползней в формировании гейзеров Долины Гейзеров, Камчатка

А.Б. Белоусов, М.Г. Белоусова

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,

e-mail: belousov@mail.ru

Показана роль оползней в формировании геологических условий для образования многочисленных гейзеров Долины Гейзеров. Описано современное состояние гейзеров Долины и процесс их восстановления после оползней 2007 и 2014 гг.

Введение

События 2007 и 2014 гг. наглядно показали, что в Долине Гейзеров (далее по тексту "Долина") периодически происходят крупные оползни, обвалы и селевые потоки (далее по тексту обобщённо "оползни"), которые радикально меняют её ландшафт, оставляя мощные грубообломочные отложения, подпруживающие значительные участки русла реки. Активному развитию склоновых гравитационных процессов способствует глубокий эрозионный врез Долины (до 500 м) и малая механическая прочность горных пород слагающих её борта (представленных слаболитифицированными озёрными туфами и трещиноватыми лавами). Установлено, что на протяжении Голоцена оползни в Долине происходили многократно [4]. Возникает вопрос: как в такой динамичной геологической обстановке могли образоваться и существовать многочисленные гейзеры?

Возраст гейзеров

Постройки большинства современных гейзеров Долины представляют нагромождение валунов, покрытых тонким слоем гейзерита. Толщина этого слоя составляет первые сантиметры. Самый мощный слой гейзерита (порядка 10 см) имели гейзеры Сахарный и Тройной. Оползни 2007 и 2014 гг. сильно повредили постройки гейзеров Жемчужный, Великан, Щель и Первенец, и вокруг них началось отложение нового слоя гейзерита. Скорость накопления этого слоя по нашим измерениям составляет в среднем 0,1-0,3 мм/год. Легко посчитать, что возраст многих действующих гейзеров Долины не более первых сотен лет, а возраст самых старых из них, вероятно, не превышает одну тысячу лет.

Геологические данные показывают, что гейзеры в Долине существуют с середины Голоцена. В бортах русла реки Гейзерной вскрываются отложения нескольких древних оползней, в которых видны выполненные гейзеритом палеоканалы давно недействующих гейзеров. Калиброванный радиоуглеродный возраст почвы, погребённой одним из таких оползней (обнажение в строительной выемке гостиницы заповедника) составил 6020-6270 лет. Следовательно, на протяжении второй половины Голоцена, гейзеры в Долине периодически возникали, несколько сотен лет действовали, откладывая гейзерит, затем уничтожались очередным оползнем, а после каждой такой катастрофы появлялись снова. Почему же гейзеры с таким постоянством образуются именно в этом районе? Какие геологические особенности Долины, помимо выхода кипящих подземных вод, благоприятствуют образованию гейзеров?

Строение питающей системы и принцип действия гейзеров

Изучение формы каналов современных гейзеров Долины с помощью водонепроницаемой термостатированной видеокамеры, а также каналов древних гейзеров, вскрытых эрозией, позволило установить, что они имеют характерный крутой изгиб с обратным наклоном - так называемый сифон или гидрозатвор [1, 10].

Заполненный водой сифон играет роль ловушки или сепаратора для пузырей пара, поднимающихся снизу из более глубоких частей гидротермальной системы (в англоязычной литературе закрепился предложенный авторами термин "bubble trap" [10]). Пар постепенно накапливается в ловушке и периодически прорывается через сифон к поверхности, придавая деятельности кипящего источника периодический (т.е. гейзерный) режим. А.М. Нечаев [6] дал физическое объяснение действия гейзера с таким строением подводящей системы. Интересно, что эта модель во многом соответствует самой первой схеме питающей системы исландского Гейзера, предложенной Mackenzie ещё в 1811 г., которая, однако, впоследствии была практически забыта.

Геологические предпосылки образования гейзеров

Одиночный гейзер с каналом в форме сифона может образоваться случайно в любой геологической обстановке. Но как объяснить образование десятков гейзеров (и соответственно десятков каналов с сифонами), сконцентрированных в одном месте, например в Долине Гейзеров на Камчатке, Йеллоустоне в США или Эль Татио в Чили? Мы предложили теорию [1,10], согласно которой многочисленные гейзеры образуются там, где вскипающие термальные воды поднимаются к поверхности через рыхлые геологические отложения, имеющие хаотическую внутреннюю структуру. Рыхлый, несцементированный, или слабосцементированный характер таких отложений облегчает проработку (т.е. промывание) в них каналов восходящими термальными водами. А их хаотическая структура (где соседствуют линзы и блоки пород с различными физико-механическими свойствами) обеспечивает прорабатываемым каналам сложно изогнутую конфигурацию. Яркую выраженную хаотическую структуру имеют отложения оползней. Именно древние оползни, перекрывшие область гидротермальной разгрузки, создали уникальное сочетание геологических и гидрогеологических факторов, которое привело к образованию многочисленных гейзеров Долины. Хаотическую внутреннюю структуру имеют также отложения морен (в которых проработаны каналы гейзеров Исландии, Йеллоустона и Эль Татио), отложения коллювия (в котором проработан канал гейзера на озере Карымское) и отложения взрывных брекчий (в которых проработан канал гейзера в кальдере Узон).

Самовосстановление гейзеров

В результате оползней 2007 и 2014 гг. многие гейзеры Долины в разной степени пострадали: потеряли гейзеритовую постройку, оказались полностью или частично заваленными грубообломочными отложениями, затоплены подпрудным озером. Это настоящая катастрофа для туристической индустрии, но с точки зрения науки это природный эксперимент, который дал редкую возможность изучить процессы восстановления пострадавших гейзеров и образование новых.

Гейзеры представляются хрупкими эфемерными образованиями. Однако, наблюдения показали, что гейзеры Долины - даже сильно пострадавшие от оползней, с течением времени могут восстанавливать свою деятельность. Ниже рассмотрено два наиболее ярких примера самовосстановления гейзеров.

Гейзер Первенец был полностью перекрыт грубообломочными отложениями дистальной части оползня 2007 г. толщиной около 6 м. Однако это не привело к полному прекращению его деятельности. К апрелю 2008 г. над его грифоном образовалась воронка глубиной около 4 м, на дне которой действовал пульсирующий кипящий источник. Таким образом, погребённый гейзер оказался способен постепенно перемалывать и вымывать обломочный материал, перекрывающих его отложений. К

2015 г. воронка расширилась и углубилась до 6 м (при этом одна сторона её была срезана эрозией р. Шумная), и находившийся в ней источник восстановил гейзерный режим деятельности с периодом 15 мин и высотой выброса паро-водяной струи до 3-5 м (таблица).

Широкий канал гейзера Великан в 2014 г. был почти полностью забит валунно-гравийным материалом селя. Это радикально изменило режим гейзера, но не прекратило его деятельность. Пульсирующие выбросы медленно прочищают канал гейзера. В 2015 г. валунно-гравийная пробка начиналась в канале на глубине 2,5 м, режим работы гейзера был очень нерегулярный, спазматический с высотой выброса паро-водяной струи до 2 м. Во время извержений пузыри пара пробивались по всей площади пробки. К 2016 г. толщина пробки уменьшилась, она начиналась на глубине 2.9 м, и в ней заметно сократилось количество гравийной фракции. Прорыв пузырей пара сконцентрировался у северной стенки канала, где пробка состояла только из валунов (гравийная фракция вымыта извержениями). В результате режим работы гейзера стал более регулярный (таблица).

Таблица. Режим гейзеров Долины Гейзеров

Гейзер	Период, мин	Длительность фонтанирования, мин	Высота фонтана, м	Год измерения	Год повреждения
Первенец	до 150/13/15/15	4/1/2/2	15/1/5/5	до 2007 ^[9] /2011 ^[5] / 2015/2016	2007
<i>Владимир</i>	60-210	2	7	2016	
<i>Андрей</i>	10/18-20	>1/>1	3/3	2015/2016	
<i>Веер</i>	10-11/12-13	<1/<1	2/2	2015/2016	
Большой	90-120/55/65-70	4/3/2	15/15/15	1990-2000 ^[2] / 2015/2016	2007
<i>Малыш</i>	90-110/80-90	25-30/12-20	1/1	2015/2016	
Щель	35-36/28-35/3-10	<1/<1/<1	2-3/3/3	1998-2000 ^[2,3] / 2015/2016	2014
Крепость	140-170	2-3	5	2016	2014
Новый	120/23-55	40-120/12-30	3/3	2009 ^[5] /2016	
Фонтан	20-25/25-35	4/2	10/10	2011 ^[9] /2016	
Непостоянны	1-5/6-10	1/<1	3/4	2011 ^[5] /2016	
Парящий	>1800/480-540	нет /300-360	3/4	2007 ^[9] /2016	2014
Великан	300-360/50-80/45	2/30-40/8-15	30/2/3	до 2014 ^[2] / 2015/2016	2014
Жемчужный	180-300/ 150/150-180	4/2/2	15/7	до 2014 ^[3,7] / 2015/2016	2014
Розовый	15/18-20/18-20	<1/<1/<1	2/2/2	до 2012/2015/2016	
Под Розовым конусом	40-42/34-40	1/1	2/2	2012/2016	
Пийп	240/330	5/15	3/3	1963 ^[8] /2016	2014
Нора	9/8	<1/<1	0,5/0,5	2013 ^[5] /2016	

До 2012 г. по литературным данным; в 2012, 2015 и 2016 гг. - по данным авторов. Новые гейзеры, образовавшиеся после 2014 г, выделены курсивом. Нами названы гейзеры *Андрей* и *Владимир* (54°26'15,2", 160°08'11,0"), *Малыш* (54°26'37,2", 160°08'20,2") и *Пийп* (54°26'21,0", 160°08'41,2"); последний ранее описан как безымянный гейзер с неопределённым режимом [7,8]; в скобках даны его географические координаты.

Образование новых гейзеров

На отложениях оползней 2007 и 2014 гг. гейзеров пока не образовалось. Очевидно, для проработки совершенно новых каналов требуется более длительное время. Несколько новых гейзеров появились на отложениях древних оползней, вероятно в связи с изменением гидрогеологической обстановки вокруг подпрудного озера 2007 г. Можно предположить, что каналы новых гейзеров были проработаны по уже существовавшим здесь каналам фумарол и горячих источников.

Наиболее интересными являются два новых гейзера (координаты 54°26'15,2"С, 160°08'11,0"В), находящиеся примерно в 30 м ниже по течению от гейзера Большой (названы нами "Владимир" и "Андрей" в честь отца и сына Леоновых, внёсших большой вклад в изучение Долины). Режимы деятельности этих гейзеров, расположенных на расстоянии 5 м друг от друга, связаны между собой. Гейзер "Андрей" извергается, как правило, с интервалом 18-20 мин, эти извержения чётко прописываются в виде пиков на термограмме логгера, опущенного в канал гейзера "Владимир". Некоторые из извержений гейзера "Андрей" провоцируют извержения гейзера "Владимир", которые происходят с нерегулярным интервалом от 1 до 3,5 час. После каждого извержения гейзера "Владимир", период покоя гейзера "Андрей" резко увеличивается до 45 мин (продолжительность излива до 13-18 мин). Очевидно, что каналы этих двух гейзеров соединены на небольшой глубине.

Изменения режима гейзеров

Для регистрации режима гейзеров, помимо визуальных наблюдений, мы использовали камеры покадровой съёмки, а также логгеры температуры, которые опускались непосредственно в канал гейзера. Камеры и логгеры устанавливались на срок, достаточный для записи нескольких десятков гейзерных циклов, что позволило получить точные данные о режиме гейзеров Долины (таблица).

Список литературы

1. Белоусов А.Б., Белоусова М.Г. Как устроен гейзер и почему в Долине Гейзеров их много? // Труды Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. 2014. Выпуск 3. С.142-151.
2. Кирюхин А.В., Дрознин В.А., Кожемяка Н.Н. Динамические характеристики гейзеров // Отчет ИВ ДВО РАН. 2002.
3. Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карпов Г.А. и др. Кальдера Узон и Долина Гейзеров // Действующие вулканы Камчатки: в 2-х т. Т. 2. М.: Наука.1991. С.94-141.
4. Леонов В.Л. Геологические предпосылки и возможность прогноза оползня, произошедшего 3 июня 2007 г. в Долине Гейзеров, Камчатка // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. 2008. №. 2. С. 91-95.
5. Леонов А.В. Каталог гейзеров Кроноцкого заповедника. Долина гейзеров и кальдера вулкана Узон: история и современность // Издательство Город, 2017. 401 с.
6. Нечаев А.М. О механизме извержения гейзера // Труды Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. 2012. Выпуск 2. С.135-142.
7. Набоко С.И. Гейзеры Камчатки. // Труды Лаборатории вулканологии. М.: Изд. АН СССР, 1954. Вып. 8. С. 126-209.
8. Райк А.А. О режиме гейзеров Камчатки // Исследование природы Дальнего Востока. Таллин. 1963. С. 39–90.
9. Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г., Дрознин В.А. и др. Жемчужина Камчатки – Долина гейзеров. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 2009. 108 с.
10. Belousov A., Belousova M., Nechayev A. Video observations inside conduits of erupting geysers in Kamchatka, Russia, and their geological framework: Implications for the geyser mechanism // Geology. 2013. V. 41(4). P. 387-390.