

Современные экзогенные процессы в долинах р. Юрьева (о. Парамушир) и руч. Горчичный (о. Кетой) и их влияние на разгрузки термальных вод

Т.А. Котенко, Е.Г. Калачева, Е.В. Волошина

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: sinarka2017@mail.ru

Курильские острова, с развитой сетью вулканических хребтов с крутыми, изрезанными ледниками и эрозионными процессами, склонами, характеризуются частыми сходами водно-грязевых потоков. Решающими факторами образования селевых потоков являются геологические и геохимические процессы, сейсмическая активность и климатические условия. Сход селей является не только опасным природным явлением. В результате схода больших объемов горных пород, слагающих борта и выстилающих русла рек, меняется облик речных долин и условия разгрузки подземных, в том числе термальных, вод. Откликом на события подобного рода может являться изменение дебитов источников и их химического состава.

В данной работе мы кратко рассматриваем морфологические и динамические характеристики мощных селей, сошедших по долинам р. Юрьева (о. Парамушир) и руч. Горчичный (о. Кетой) в 2017 и 2016 гг., соответственно, а также вызванные этими событиями последствия для поверхностных проявлений гидротермальных систем, приуроченных к постройкам вулканов Эбеко и Кетой.

Краткая морфологическая и гидрологическая характеристика объектов

Верхние части бассейнов обоих водотоков схожи и представляют собой разветвленные системы глубоких врезов в крупные эрозионные котловины центральных частей разрушенных построек вулканов Влодавца (р. Юрьева) и Кетой (руч. Горчичный). Глубина врезов составляет 100-300 м.

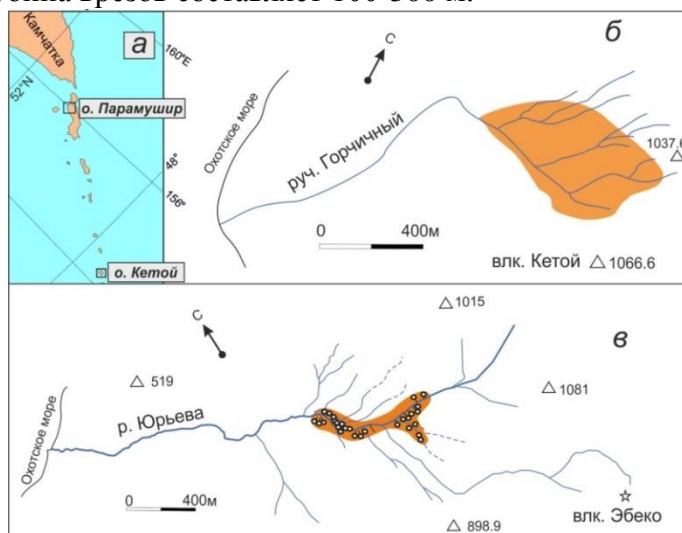


Рис. 1. (а) Схема района и локализация гидротермальных проявлений; (б) сольфатарное поле вулкан Кетой; (в) Верхне-Юрьевские горячие источники.

Выходы Верхне-Юрьевских ультракислых (pH<2) SO₄-Cl термальных (Т до 85-90 °С) источников с минерализацией до 14 г/л локализованы на протяжении 1.3 км в русле и бортах левого притока (р. Горячий) и главного русла реки в высотном интервале 340-600 м (рис. 1в). Разгрузка термальных вод происходит из трещин в измененных лавах рядом или непосредственно в русле реки, а также из-под обвальных (осыпных) отложений на некотором (до 5-10 м) расстоянии от уреза воды.

Эрозионный кратер вулкана Кетой, к которому приурочен бассейн руч. Горчичный (рис. 1б), сформирован крупными обвалами его постройки. Длина

ручья составляет 2.7 км, уклон тальвега 13.5 %, расход в устье 125 ± 15 л/с (июль 2016 и 2017 гг.). Гидротермальные проявления руч. Горчичный занимают площадь 0.12 км^2 , представлены сольфатарными и термальными источниками с температурами от 20 до 100°C , с $\text{pH}=2-7.5$ и минерализацией до 3 г/л. Они относятся [3] к двум гидрохимическим типам: 1) кислые и слабокислые Ca-SO_4 -воды, разгружающиеся в верхней части сольфатарного поля; 2) кипящие близнейтральные Na-Ca-SO_4 – воды с высоким содержанием бора.

Результаты и их обсуждение

Характеристика селевых потоков. Следы прохождения небольших селей на притоках и в главном русле р. Юрьева отмечались авторами неоднократно, тогда как масштабных событий за весь период наблюдений (с начала 50-х гг.) описано не было. Исследуемый нами катастрофический сель сошел 4 сентября 2017 г. [4]. В ходе полевых работ 2018-2019 гг. была выполнена верификация русловых изменений, селевых отложений и селевых меток. В результате было выявлено, что на притоках р. Юрьева формировались в основном водокаменные потоки с разгрузкой в главное русло. В главном русле морфологические признаки прохождения водокаменного селя (глубокая донная эрозия и боковая эрозия) наблюдаются от высоты 790 м до 340 м, где водокаменный сель трансформировался в грязекаменный. Основные характеристики селевого потока в русле р. Юрьева даны в таблице 1. Средний расход воды в устье с июля по октябрь равен $0.86 \text{ м}^3/\text{с}$. Расход селя в устье реки, установленный по селевым меткам составлял $\sim 1100 \text{ м}^3/\text{с}$, что превышает средние значения по воде более чем в 1200 раз. Донная и боковая эрозия зачистили многие участки днища долины от обломочного материала, из-за чего часть источников, расположенных близко к берегу, открылись в естественном виде выходов, а не из-под рыхлообломочного плаща.

Таблица 1. Морфологические и динамические характеристики селей. Расчет динамических параметров согласно стандартной методике [5]

Селевой бассейн	р. Юрьева	руч. Горчичный
Длина селя, м	5500	2600
Селевые отложения в зоне аккумуляции, тыс. м^3	~ 300	~ 600
Макс. толщина отложений, м	8	11
Площадь зоны аккумуляции, км^2	0.05	0.14
Расход, $\text{м}^3/\text{с}$	1100	3000
Скорость селя, м/с	5.5-9.6	9.1-9.5
Макс. удельный расход на 1 м ширины потока	72	105

О многократных сходах ранее селевых потоков по руслу руч. Горчичный свидетельствовали конус выноса в устье реки, сохранившиеся селевые террасы, селевые отложения в днище долины. Единственное описание подобного события сделано Л.И. Барабановым [1]. По его данным, сель сошел 2.09.1970 г. после трех дней сильных осадков. Дно каньона на расстоянии 2 км от устья покрылось грязекаменными отложениями мощностью до 60 см. Расход воды во время дождя в 0.5 км от устья составлял 250 л/с (1.09.1970 г.), тогда как до дождя – 100 л/с (26.08.1970 г.). Мощность селевых террас в долине ручья на высоте 210 м, наблюдаемая нами в июле 2016 г. составляла 5-6 м. В устье ручья старый селевой конус выноса с шириной фронта 0.5 км занимал площадь 0.15 км^2 .

Последний грязекаменный поток, исходя из анализа спутниковых снимков и метеорологических данных, предположительно сошел 9-10 августа 2016 г. Авторы работали на руч. Горчичный в июле 2016 г. и в августе 2017 г., благодаря чему удалось наблюдать произошедшие изменения в долине, выявить следы прохождения и отложения мощного селевого потока. Его основные морфологические и динамические характеристики приведены в таблице 1. Обрушение части фронтальной стенки кратера

в истоках ручья вызвало сход селя, в значительной мере изменившего конфигурацию верхней части сольфатарного поля и условия разгрузки термопроявлений. Весь участок оказался погребенным под толщей смеси обломочных скальных и рыхлых отложений разной мощности. На месте маломощных сольфатар и небольших кипящих котлов верхней части поля сформировался 10-ти метровый увал, где довольно быстро восстановилось рассредоточенное парение, и в августе 2017 г. уже действовала одна достаточно мощная сольфатара. Из-под увала теперь вытекают многочисленные термальные ручьи с дебитами до 5-7 л/с и температурами до 40°C. Выход вод на поверхность сопровождается интенсивным осаждением гидроокислов железа. Мощность насыпных отложений в среднем течении ручья составила ~2 м. Источники, располагавшиеся ранее на высоте 2-2.5 м над урезом воды, теперь практически сравнялись с руслом. В зоне аккумуляции селя в устье ручья сформировался конус выноса с шириной фронта 410 м и максимальной мощностью отложений до 4 м.

Влияние селей на разгрузки термальных вод. Сход селя в долине реки Юрьева не отразился на физико-химических параметрах и химическом составе Верхне-Юрьевских источников (таблица 2). Это закономерно, учитывая, что формирование химического состава термальных вод происходит за пределами бассейна реки в привершинной части вулкана Эбеко [2]. Однако, вследствие донной эрозии, врез русла в районе выходов термальных вод увеличился на 1-2.5 м, в результате чего вскрылись новые источники. Согласно нашим измерениям гидротермального потока хлор-ионов (как наиболее консервативного компонента), значимых изменений в количественных оценках до и после схода селя не произошло. Это означает, что не произошло увеличения объема разгружающихся термальных вод, часть разгрузки осуществлялась ранее в виде подруслового стока, поступая непосредственно в реку за пределами термального поля.

Таблица 2. Химический состав термальных и речных вод (мг/л)

Место отбора	бассейн р. Юрьева				бассейн руч. Горчичный			
	устье		ВЮ источники (источник 1)		устье		источники нижний участок	
год	2017	2019	2017	2019	2016	2017	2017	2016
T, °C	14.5	17.4	74.8	89.5	12.8	18.2	97	96
pH _{лаб}	2.07	2.04	1.18	1.39	6.79	5.89	7.48	7.63
F ⁻	12	16	64	68.5	0.699	0.819	3.3	2
Cl ⁻	481	553	2461	2561	10.2	10.3	12.6	9.3
SO ₄ ²⁻	1433	1583	6101	5995	714	540	666	1014
HCO ₃ ⁻					55	52	24	153
Na ⁺	49	57	219	250	52.8	50.8	265	302
K ⁺	32	32	144	136	4.134	4.531	21.7	19.3
Ca ²⁺	77	96	332	379	205	223	161	170
Mg ²⁺	31	38	138	172	30.9	34.8	17.8	17.4
Fe _{общ.}	43	74	252	312				
Al ³⁺	105	128	466	520				
Q, м ³ /с	2.10	1.90			0.11	0.10		
Cl, т/сутки	87	90						

Формирование большей части термопроявлений руч. Горчичный происходит в близповерхностных условиях за счет адсорбции сольфатарных газов грунтовыми или поверхностными водами [3]. Соответственно, изменения в условиях их разгрузки, связанные с образованием новых мощных насыпных отложений, внесли коррективы как в расположение, так и в геохимию вод. В верхней части сольфатарного поля разгружались высокотемпературные слабокислые источники [3]. Воды

новообразованных термальных источников кислые (рН 2.7-3.7) SO₄-Ca типа с минерализацией до 2 г/л и температурами от 30 до 80 °С. Сток с верхней термальной площадки попадает в руч. Горчичный.

Изменения коснулись и кипящих выходов нижней части сольфатарного поля. Дебиты источников незначительно увеличились, снизилась минерализация воды с 1.5-2 г/л до 1-1.5 г/л и изменились содержания SO₄-ионов (табл. 2).

Изменения в геохимии вод источников практически не отразились на общем гидротермальном стоке, расходе и составе вод.

Выводы

В 2016-2017 гг. по руч. Горчичный (о. Кетой) и р. Юрьева (о. Парамушир) сошли сели, значительно изменившие морфологию долин. Последствия коснулись и термальных вод, разгружающихся в этих речных бассейнах. Наибольший урон нанесен внешнему виду разгрузок. Яркая травянистая растительность, устоявшиеся проявления с озерцами, разноцветными плащами по руслам ручейков, сформированными за счет осаждения из термальных растворов различных минеральных образований, – все это стерто, засыпано, залито грязью. Часть выходов, формировавших подрусловой сток р. Юрьева, вышла на поверхность, а в верхней части сольфатарного поля руч. Горчичный образовались многочисленные кислые сульфатные источники. Изменения, произошедшие на термальных полях, не повлияли на разгрузку гидротермальных систем в целом. Общий гидротермальный сток остался без изменений.

Авторы статьи выражают благодарность Л.В. Котенко за всестороннюю помощь при проведении полевых работ в бассейнах р. Юрьева и руч. Горчичный.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-17-00016.

Список литературы

1. *Барабанов Л.Н.* Гидротермы Курильской вулканической области: в двух книгах. Петропавловск-Камчатский. ИВ ДВНЦ АН СССР, 1976. 802 с.
2. *Калачева Е.Г., Котенко Т.А.* Химический состав вод и условия формирования Верхне-Юрьевских термальных источников (о. Парамушир, Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Серия «Науки о Земле». 2013. Вып. 22. № 2. С. 55-68.
3. *Калачева Е.Г., Таран Ю.А., Волошина Е.В., Котенко Т.А.* Геохимия термальных вод о. Кетой (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 3. С. 21-35.
4. *Котенко Т.А., Котенко Л.В.* Дождевые сели 4 сентября 2017 г. в северной части острова Парамушир, Курильские острова // Геориск. 2018. № 3. С. 46-55.
5. РД 52.30.238-89. Руководство селестокосным станциям и гидрографическим партиям. Вып. 1. Организация и проведение работ по изучению селей. М.: Гидрометеоздат, Госкомгидромет СССР, 1990. 197 с.