DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings of the 5th International Conference

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



Editors S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Publishing House "Universal" Tbilisi 2018

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды 5-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г.



Ответственные редакторы С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

> Издательство Универсал Тбилиси 2018

<mark>ღვარცოფები:</mark> კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა

მე–5 საერთაშორისო კონფერენციის მასალები

თბილისი, საქართველო, 1–5 ოქტომბერი, 2018



რედაქტორები ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი

გამომცემლობა "უნივერსალი" თბილისი 2018 УДК 551.311.8 ББК 26.823

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 5-й Международной конференции. Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г. – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили. – Тбилиси: Универсал, 2018, 671 с.

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 5th International Conference. Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018. – Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili. – Tbilisi: Publishing House "Universal", 2018, 671 p.

ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა. მე–5 საერთაშორისო კონფერენციის მასალები. თბილისი, საქართველო, 1–5 ოქტომბერი, 2018. გამომცემლობა "უნივერსალი", თბილისი 2018, 671 გვ. პასუხისმგებელი რედაქტორები ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი.

Ответственные редакторы С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили Edited by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Верстка: С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева, Е.А. Савернюк Page-proofs: S.S. Chernomorets, K.S. Viskhadzhieva, E.A. Savernyuk

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51). Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman's book on Debris Flows (Moscow: Geografgiz, 1951, p. 51).

ISBN 978-9941-26-283-8

- © Селевая ассоциация
- © Институт водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава Грузинского технического университета
- © Debris Flow Association
- © Ts. Mirtskhulava Water Management Institute of Georgian Technical University
- © ღვარცოფების ასოციაცია
- © საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი

Сели 4 сентября 2017 г. в бассейнах рек Кузьминка и Матросская, остров Парамушир, Курилы

Т.А. Котенко, Л.В. Котенко

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия, sias2011@rambler.ru

Целью работы является изучение формирования и схода селевых потоков 4 сентября 2017 г. по руслам рек Матросская и Кузьминка (о. Парамушир, Курильские острова). Авторы провели маршрутное обследование селевых потоков, фотосъемку, аэрофотосъемку, также были проанализированы спутниковые снимки и метеоданные (интенсивность и количество осадков). Установлено, что сошедшие сели относятся к несвязным потокам эрозионного типа зарождения ливневой генерации. Селеформирующая сумма осадков на высоте метеостанции (24 м) составила 100 мм. Селевые очаги располагались в диапазоне абсолютных высот 190-240 (р. Матросская) и 226-266 м (р. Кузьминка). Определены основные морфометрические характеристики сошедших селевых потоков: ллина водокаменных селей составила 1.5-1.8 км, скорость потоков 5-8 м/с, максимальный уровень 3.5-4 м, расход селей 800-1300 м³/с, объем твердой составляющей 106-123 тыс. м³. Получено подтверждение реальности достижения селевыми потоками территории г. Северо-Курильск и разрушительного воздействия селей на его инфраструктуру. Даны рекомендации по организации селезащитных мероприятий.

дождевой сель, каньон, селевые отложения, паводок, водокаменный поток, селевая гряда

The 4 September 2017 mudflows in river basins Kuz'minka and Matrosskaya, Paramushir Island, the Kuril Islands

T.A. Kotenko, L.V. Kotenko

Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, sias2011@rambler.ru

This paperwork's aim is to study the formation and descent of the mudflows descended down the river beds of the Matrosskaya and the Kuz'minka of Paramushir Island, the Kuril Islands, on 4 September 2017. The authors conducted a route survey of mudflows, photography, aerial photography, the authors also analyzed the satellite images and the weather data (intensity and amount of the precipitation). It was established that the mudflows belonged to the unrelated flows of erosion generated by storm waters. The precipitation amount that originated the mudflow was recorded as 100 mm at 24 m altitude of the weather station. The mudflow original sites were located within the altitudes of 190-240 m (the Matrosskaya River) and 226-266 m (the Kuz'minka River). The main morphometric characteristics of the descended mudflows are defined: the length of the water-rock -flows (1.5-1.8 km), the velocity of debris flows (5-8 m/s), the maximum level of (3.5-4 m), the volume of debris flows in unit time $(800-1300 \text{ m}^3/\text{s})$, the volume of the solid component (106-123 thousand m³). The events of September 4, 2017 are proof of the reality of achieving a mudslide within the town of Severo-Kurilsk and the devastating impact of the floods on its infrastructure. The article provides recommendations for the location of antimud slide protection structures.

Key words: rain mudflow, canyon, mudflow deposits, high water, water-rock-flow, mudflow levee

Введение

Целью работы является изучение формирования и схода селевых потоков с определением основных морфометрических характеристик, необходимых в дальнейшем для проектирования селезащитных сооружений для снижения угрозы негативного воздействия на хозяйственные объекты и инфраструктуру г. Северо-Курильск, а также обеспечения безопасности жизни населения. Район исследования – бассейны рек Кузьминка и Матросская, расположенные на восточных склонах хребта Вернадского о. Парамушир (рис. 1).



Рис. 1. Схема района и бассейнов рек: I – р. Кузьминка, II – р. Матросская

В исследуемом районе существуют все условия для высокой вероятности формирования селевых потоков разного генезиса: дождевых, гляциальных, вулканогенных, эрозионно-сдвиговых [Атлас..., 2009; Мальнева и др., 2014; Мелекесцев 2012]. Селеформирующими факторами являются: и др., 1993; Рыбальченко, геологическое строение, морфология русел, гидрологический режим, метеорологические условия данной территории, близость действующего вулкана Эбеко, сейсмоактивность региона. Твердую составляющую селей способны обеспечивать эрозионными склоновыми процессами разрушающиеся анлезитовые и андезибазальтовые вулканогенные образования, а также породы, подвергшиеся глубокой гидротермальной переработке [Атлас..., 2009 Мелекесцев и др., 1993; Рыбальченко, 2012].

4 сентября 2017 г. по руслам рек Кузьминка и Матросская синхронно сошли водокаменные сели, нанесшие урон инфраструктуре г. Северо-Курильск. По полевым наблюдениям на пролювиальном конусе выноса в районе слияния рек установлено, что селевые потоки подобного масштаба не наблюдались на данной территории с 30-х годов прошлого века: данные получены по геоботаническим признакам проявления селевых (возраст процессов древесной растительности конусе на выноса) И тефрохронологическим колонкам (наличие маркирующих пеплов). Авторы приводят результаты геоморфологических, гидрологических и метеорологических исследований по изучению характеристик и условий возникновения селевых потоков 4 сентября 2017 г.

В работе были использованы следующие материалы:

- результаты маршрутного обследования бассейнов рек, выполненного 5.09-15.09.2017 г.;

- аэрофотосъемка, выполненная с помощью квадрокоптера 5.09.2017 г. (автор съемки Кундиус А.В.);

- фото- и видеосъемка авторов и очевидцев события;

- космические снимки со спутника WorldView-2 за 06.09.2017 г. с разрешением 0.46 м, (интернет-ресурс: http://catalog.sovzond.ru);

- данные об интенсивности и сумме осадков автоматического метеорологического комплекса аэрологической станции «Северо-Курильск».

Метеорологические условия, вызвавшие возникновение селевых потоков

Причиной образования селей стали очень сильные осадки, принесенные тайфуном «Санву». К 16 час 4 сентября сумма осадков уже была около 100 мм, после чего вновь начался ливень с максимальной интенсивностью до 7.2 мм/10мин, что стало спусковым механизмом для зарождения селей (рис. 2, 3).



Рис. 2. Интенсивность осадков в мм/10 мин 4.09.2017 г. по данным аэрологической станции «Северо-Курильск».



Рис. 3. Накопление сумм осадков за дождь 4 сентября.

Поэтапное развитие процесса (время сахалинское UTC+11час):

1 этап – до 8 час утра 4 сентября уже выпало 31.2 мм осадков.

2 этап – с 5:40 до 10 час интенсивность осадков уменьшилась до слабой (0.8 мм/10 мин и менее).

3 этап – с 10 до 11:40 вновь сильный ливень с максимальной интенсивностью 2.8 мм/10 мин. Накопленная сумма осадков составила уже 60.5 мм. Наблюдался первый паводок.

4 этап – прекращение ливня, слабый дождь.

5 этап – в 14:30 вновь пошел дождь с нарастающей интенсивностью, около 16 час дождевой паводок трансформировался в синхронные селевые потоки на двух реках. От высшей высотной отметки селевого очага на р. Кузьминка сель достиг первого объекта (электростанция) за ~4 мин и еще через 2-3 мин - городской черты. Максимальная интенсивность осадков в этот период составила 7.2 мм/10 мин. Сильный дождь продолжался до 18 час, за это время выпало еще 46 мм осадков. Как только интенсивность выпадения осадков уменьшилась, вода стала спадать.

6 этап – после 18 час шел слабый дождь. Полностью осадки прекратились в 3 час утра 5 сентября.

В сумме за сутки 4 сентября выпало 130.1 мм осадков. Таким образом, в этот день сложились благоприятные условия для формирования дождевых селей:

- значительные осадки предшествующего периода переувлажнили грунты, вода перестала отбираться на инфильтрацию, резко возрос поверхностный сток;

- интенсивность ливня на 5 этапе (10.5-21.25 мм/час) оказалась катастрофической, к 16 час накопленная сумма осадков составляла около 100 мм.

Характеристика селевых потоков 4 сентября 2017 г.

Селевые потоки 4 сентября 2017 г. согласно классификации селей [*Перов, 2012*] относятся к водокаменным (наносоводным) эрозионного типа зарождения ливневой генерации.

Бассейн р. Кузьминка. В строении селевого потока отчетливо выделены следующие элементы: очаг, зона транзита с промежуточной областью аккумуляции, зона аккумуляции, а также площадь, подвергшаяся воздействию селевого паводка (рис. 4).



Рис. 4. Строение селевых потоков: 1 – селевые очаги, 2 – зона частичной аккумуляции (верхний участок) и транзита на р. Кузьминка, 3К – зона аккумуляции на р. Кузьминка, 3М – зона транзита и аккумуляции в русле р. Матросская, 4 – верхняя часть зоны воздействия селевого паводка. С1-С5 – расчетные створы для Табл. 2.

Селевой очаг в русле р. Кузьминка сформировался в каньоне на высоте 266 м н.у.м., выше которой следов направленного размыва донных отложений и разрушений склонов нет. Вход водного потока в узкий каньон шириной от 3 м и высотой

вертикальных стенок 12 м, сложенных отполированными лавами андезитов (рис. 5а), привел к резкому увеличению скорости и динамического напора. Начался срыв естественной отмостки русла до коренных пород с увеличением насыщенности водного потока наносами. В потоке перемещались валуны размером до 2 м в поперечнике.



Рис. 5. Каньон на отметке 264 м (а); б - отложения селевых лент на высотной отметке 260 м. Фото Т.А. Котенко.

Средний уклон русла в селевом очаге составляет 0.076. Длина селевого очага равна 520 м. Селевой каньон U-образной формы хорошо отшлифован почти по всей длине. После схода селя на дне каньона на прямолинейных участках наблюдались россыпи галечно-валунного материала поверх коренных пород или песчаные отложения мощностью до 0.03 м. Отложения мощностью до 2 м и протяженностью до 6 м валунно-галечного и песчаного материала были сосредоточены в резких изгибах русла. На стенках каньона были установлены сортированные отложения двух селевых волн в виде лент (рис. 56). На высоте 230 м на выходе из каньона (ширина 8.7 м) высота селя, установленная по селевым меткам, составила 2.9 м. Скорость потока, рассчитанная для этого участка по формуле В.В. Голубцова и размеру перемещенных валунов [*Руководство..., 1990*], составила соответственно 5.9 и 5.7 м/с.

На выходе из первого каньона (высота 226-200 м) произошла частичная аккумуляция в виде селевых гряд высотой до 4 м. На этом участке был полностью срезан выступающий участок левого борта и подмыт правый, увеличившие твердую составляющую селя (рис. 6).

Затем сель вошел во второй каньон, скорость его за счет сужения русла возросла до 8-9 м/с, после чего произошло падение с 17-ти метрового водопадного уступа. На этом участке происходила дальнейшая эрозия днища и нижних частей склонов. На высоте 130 м селевой поток вышел в расширяющуюся долину, где с падением скорости началась аккумуляция наполнителя (преимущественно крупно-валунного) в виде селевых гряд высотой до 5 м (рис. 7).

Не дойдя 180 м до дизельной электростанции, поток разделился на рукава (рис. 8): одна часть прорвалась по старому паводковому руслу под склоном сопки, вторая пошла по основному руслу р. Кузьминка, выйдя из берегов ниже противоселевой направляющей стенки. Селевой поток выбил и опрокинул в русло бетонные опоры моста к гидроэлектростанции, в результате чего мост обрушился.



Рис. 6. Срезанный участок левого борта, выступавший в долину на расстояние 12 м. Фото Л.В. Котенко.



Рис. 7. Аккумуляция отложений в виде селевой гряды и оголенный эродированный склон напротив. Фото Т.А. Котенко.



Рис. 8. Разделение селевого потока на рукава выше электростанции (сплошная линия). Пунктиром показано направление движение селевого паводка. Фото А.В. Кундиуса.

В нижней части зоны аккумуляции сформировались отложения селевых масс в виде лент аккумуляции вдоль русла, характерных для наносоводных селей. Отложения состоят преимущественно из средних (0.1- 0.5 м) и крупных (0.5-2 м) валунов (рис. 9). Мелкая фракция представлена галькой, гравием, средне-зернистыми песками, глинами, пеплами.



Рис. 9. Поверхность селевого потока на высоте 80 м (а) и один из крупных обломков размером 1.3 м в поперечнике (б). Фото Т.А. Котенко.

Часть крупноглыбового материала еще транспортировалась селевым паводком. Последнюю одиночную селевую гряду длиной 50 м, состоящую из этой фракции, отделяет от городских построек расстояние 150 м.

От высоты 80 м, на которой остановился селевой фронт (рис. 8), вниз пошел селевой паводок, который содержал значительную долю влекомого материала: твердых песчано-алеврито-глинистых наносов, небольшое количество галечного материала и мелких валунов (до 0.3 м). Происходило неравномерное отложение супесчаного и глинистого материала мощностью от 5 мм до 0.8 м. Площадь, охваченная грязевым потоком, составила 1.4 км². Жилые строения разрушены не были, но были затоплены и замыты наносами квартиры первых этажей, подъезды, подвалы. На территории города мощность паводка была не более 1.5 м: были повреждены и снесены сараи, гаражи, припаркованные у домов машины, образовались промоины, размыты участки дорог с грунтовым покрытием. Глинистыми наносами покрылась значительная часть территории города.

Бассейн р. Матросская. Селевой очаг в русле реки Матросская возник в интервале высот 190-240 м и морфологически представляет собой ущелье длиной 420 м (ширина по днищу 9-12 м) со стенками высотой до 120 м (левый борт) и до 350 м (правый борт) и крутизной склонов 40-60° (рис. 10).



Рис. 10. Селевой очаг в русле р. Матросская: размывы левого борта. Фото Т.А. Котенко

Верхняя часть склонов сложена четвертичными лавовыми потоками, лежащими на пачках неогеновых отложений, основную массу которых представляют сцементированные туфы и туфолавы. Краевые части лавовых потоков имеют характерную структуру в виде столбчатой отдельности. Повышенная трещиноватость краевых частей способствует их разрушению и обвалам в русло, поставляя потенциальный селевой материал. Осмотр селевого очага показал значительную эрозию склонов (сплывы и оползни) и обвалы в русло на протяжении всего участка.

После выхода из ущелья на участок расширяющегося русла (абсолютная высота 190 м) началась неравномерная аккумуляция вдоль потока, в том числе в прудунакопителе бетонной плотины, который полностью завален крупноглыбовым материалом (рис. 11, 12а,б). Максимальный размер обломков достигает 2 м в поперечнике. Зона транзита неотделима от зоны аккумуляции. На этом участке произошла перестройка речной сети – основное русло сместилось к левому борту и врезалось в русло другого водотока (ручей Белый), разрушив мост через р. Белый (рис. 12в,г).



Рис. 11. Плотина, заваленная глыбами до 2 м в поперечнике. Фото Т.А. Котенко.



Рис. 12. Верхняя часть зоны аккумуляции: после схода селя (а) и до схода (б); высота 104 м: в – опора разрушенного моста; г – мост до схода селя и старое русло р. Матросская. Стрелки указывают общие точки на местности. Фото Л.В. Котенко.

Ниже плотины в движение вовлекались пролювиально-аллювиальные отложения, травянистая растительность и ольховый стланик, которые росли в долине, формируя бугристо–грядовый с навалами выкорчеванного кустарника микрорельеф.

Ниже высотной отметки 100 м началось движение селевого паводка. Сначала движение потока контролировалось руслом. На высоте 19 м произошел прорыв потока из русла, выход его на территорию, занятую несколькими муниципальными предприятиями, разрушение части построек и размыв грунтовой дороги на глубину до 1.5 м (рис. 13).



Рис. 13. Река Матросская: уровень селя (а, б); в – фронт селевой волны; г – размыв дороги на глубину 1.5 м. (Фото Л.В. Котенко, Л.Е. Примак).

Полученные динамические и морфометрические характеристики селей приведены в Табл. 1 и 2.

селевой бассейн	длина очага, м	высота очага н.у.м., м	длина водокаменного селя, м	длина вместе с грязевым шлейфом, м	селевые отложения в зоне аккумуляции, тыс.м ³	Макс. толщина отложений. м	Площадь зоны аккумуляции, км ²	селевые отложения в зоне паводка тыс.м ³	суммарный объем твердой составляющей селя в тыс.м ³
река Кузьминка	520	266	1800	5200	63	5	0.02	43	106
река Матросская	240	240	1500	4200	110	4	0.06	13	123

Таблица 1. Морфометрические характеристики селевых потоков 4.09.2017 г.

Заключение

Современные селевые процессы на Курильских островах не изучены. Впервые получены параметры реальных селевых потоков, сошедших 4 сентября 2017 г. по руслам рек Матросская и Кузьминка. Установлено, что по типу данные сели относятся к несвязным потокам эрозионного типа зарождения. Селевой процесс был генерирован сильными осадками с высокой интенсивностью при прохождении тайфуна «Санву». Селеформирующая сумма осадков на высоте метеостанции (24 м) составила около 100 мм. Селевые очаги располагались в диапазоне абсолютных высот 190-240 (р. Матросская) и 226-266 м (р. Кузьминка).

селевой очаг	№ створа	макс. глубина потока, м	скорость по В.В.Голубцову, м/с	скорость по диаметру селевых глыб, м/с	уклон, ‰	площадь створа, м ²	макс. расход селевого потока по Голубцову, м ³ /с	макс. расход селевого потока по размеру обломков, м ³ /с	макс. удельный расход селевого потока на 1 м ширины потока, м ³ /с
река Кузьминка	C1	2.9	5.9	5.7	77	25	150	143	17.2
	C2	3.5	7.3	6.3	124	42	307	266	25.6
	C3	3	6.2	5.7	83	132	812	747	18.5
река Матросская	C4	2	5.1	4.6	140	36	185	164	10.3
	C5	4	8.1	5.7	130	160	1300	905	32.2

Таблица 2. Динамические характеристика селевых потоков 4.09.2017 г. Расчетные створы показаны на рис. 4

В зоне разрушительного воздействия селевых потоков оказались участки ниже высотной отметки 190 м для долины р. Матросская и ниже высотной отметки 130 м для долины р. Кузьминка. На р. Матросская пострадали следующие объекты: плотина, подъездные дороги, мосты, муниципальные предприятия вблизи русла, расположенные ниже высотной отметки 19 м. Разрушительное действие селевого паводка в русле р. Кузьминка распространилось на территорию электростанции (здания, топливные баки); гидроэлектростанцию (водовод, здание, мост) и всю территорию г. Северо-Курильск.

Поэтому для защиты от селевых потоков с целью предотвращения событий, подобных событиям 4 сентября 2017 г., необходимо возведение инженерных мер защиты объектов, расположенных в зоне селевой опасности. На р. Кузьминка может быть рекомендовано строительство селеулавливающей дамбы на высотной отметке 100 м и двух направляющих противоселевых стенок: по левому берегу р. Кузьминка (с перекрытием старого селевого русла, являющегося путем прорыва селя в сторону города) и по правому берегу с перекрытием выхода на гидроэлектростанцию (рис.14а).

Аналогичное сооружение может защитить от выхода селя из русла р. Матросская ниже отметки 19 м (рис. 14б). На р. Матросская выше бетонной плотины необходимо строительство селепропускных или селенаправляющих сооружений инженерной противоселевой защиты.



Рис. 14. Рекомендуемое расположение селезащитных сооружений на реках Кузьминка (а) и Матросская (б).

Список литературы

Атлас Курильских островов (2009). М., Владивосток, ИПЦ «ДИК», 516 с.

- Мальнева И.В., Кононова Н.К., Крестин Б.М. (2014). Активность селей на Курильских островах в период современных изменений климата. Геориск, 3: 1-10.
- Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирьянов В.Ю. и др. (1993). Вулкан Эбеко (Курильские о-ва): история эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Ч. 1. Вулканология и сейсмология, 3: 69-81.

Перов В.Ф. (2012). Селеведение. М., Географический факультет МГУ, 274 с.

- Руководство селестоковым станциям и гидрографическим партиям (1990). Вып. 1. Организация и проведение работ по изучению селей. М., Гидрометеоиздат, Госкомгидромет СССР, 197 с.
- Рыбальченко С.В. (2012). Селевая опасность населенных пунктов Сахалинской области. Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе. Материалы Всероссийского совещания по современной геодинамике. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2: 118-120.