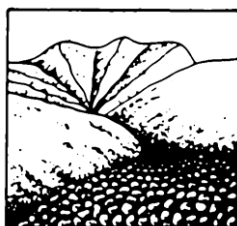


DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 5th International Conference

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



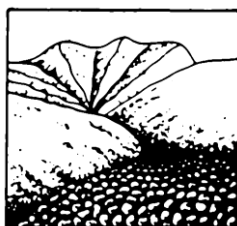
Editors
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Publishing House “Universal”
Tbilisi 2018

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
5-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г.



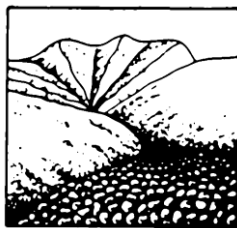
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

Издательство Универсал
Тбилиси 2018

ღვარცოფები: 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: Geografiz, 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



Реки вулканических территорий Камчатки и их лахароопасность

Л.В. Куксина¹, Я.Д. Муравьев²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, ludmilakuksina@gmail.com

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, murjd@kscnet.ru

Рассмотрены особенности гидрологического режима рек районов активного вулканизма Камчатки. Выявлены характерные черты внутрисуточного, сезонного и многолетнего режима рек, дренирующих склоны вулканов Авачинской и Ключевской вулканических групп, обусловленные, прежде всего, таянием ледников и снежников на склонах действующих вулканов и крайне высокой фильтрационной способностью рыхлых вулканогенных грунтов, слагающих их русла. На основе данных о снегозапасах произведены оценки потенциального объема выноса твердого материала вулканогенными селями со склонов Корякского и Ключевского вулканов.

река на склоне вулкана, лахар, инфильтрация, подрусловой поток, ледник, снегозапас, гидрограф, субаэральная дельта

Rivers of Kamchatka volcanic territories and their lahar danger

L.V. Kuksina¹, Ya.D. Muravyev²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, ludmilakuksina@gmail.com

²Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, murjd@kscnet.ru

The peculiarities of active volcanic areas hydrography are observed. The specific features of daily, seasonal and long-term “dry” rivers flow fluctuations of Avachinsky and Kliuchevskoy volcano groups are described. They mostly depend on ice and snow melting on slopes and flanks of active volcanoes and also high filtration rates of volcanic rocks in their valleys. On the basis of data on snow supplies the potential volumes of lahars are estimated from Koryaksky and Kliuchevskoy volcanoes.

river draining volcanic flank, lahar, infiltration, underflow, glacier, snow-supply, hydrograph, subaerial delta

Введение

Характерным явлением гидрографии районов современного вулканизма Камчатки является наличие водотоков, характеризующихся рядом специфических черт гидрологического режима (так называемых «сухих» рек (рис. 1), впервые в отечественной литературе обозначенных таким термином геологом М.Ф. Двали [Двали, 1936].

Основной особенностью стока этих рек является его эпизодичность, обусловленная очень высокой водопроницаемостью рыхлых вулканогенных пород, слагающих их долины. По этой причине уровень грунтовых вод в пределах таких вулканических сооружений лежит очень глубоко (глубина залегания зеркала грунтовых вод достигает 20-46 м [Ресурсы..., 1973]). Водоток в русле является как бы подвешенным по отношению к данному уровню и в силу этого чрезвычайно быстро инфильтруется в рыхлые толщи вулканогенных отложений [Краевая, 1964].

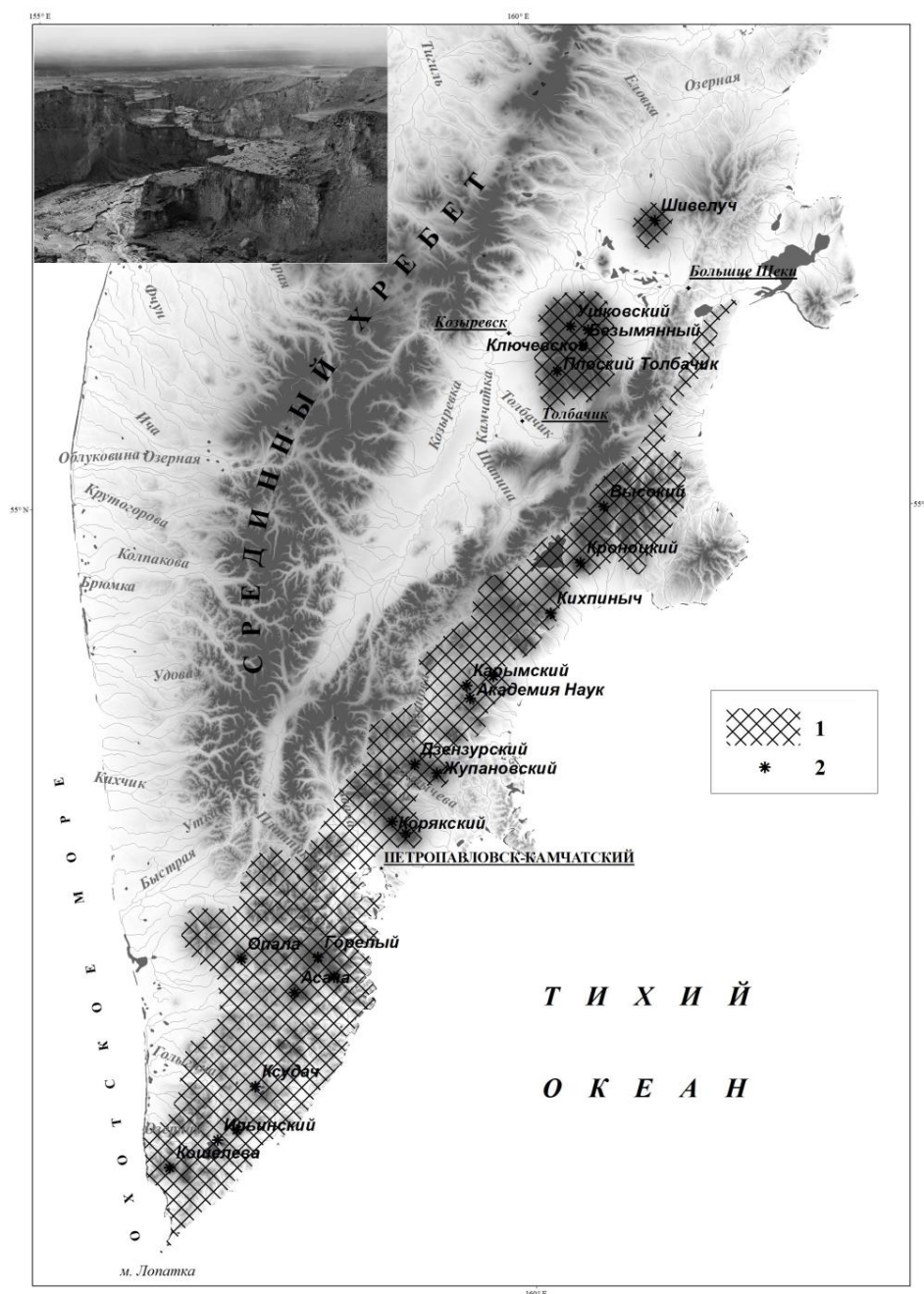


Рис. 1. Восточный вулканический район Камчатки (на фото (автор Ю.В. Демянчук) русло р. Байдарной дренирующей отложения пирокластического потока вулкана Шивелуч, август 2009 г.). 1 – территория Восточного вулканического района, 2 – действующие вулканы Камчатки.

Особенности стока рек вулканических районов можно разделить на зональные и азональные. К зональным относятся весенне-летнее таяние ледников и снежников и выпадение жидких атмосферных осадков в теплое время года. Азональной



специфической чертой гидрологии рек территорий активного вулканизма служит таяние льда и снега во время извержений вулканов, приводящее к многократному увеличению жидкого и твердого стока по сравнению с их величиной в период спокойствия вулканов. Характерные особенности гидрологического режима рек на склонах вулканов проявляются в суточном, сезонном и многолетнем масштабе колебаний.

Поскольку основным источником питания рек, дренирующих склоны и подножия действующих вулканов, служит таяние сезонного снежного покрова и ледников, регулярный сток в них наблюдается в первой половине лета и имеет ярко выраженный внутрисуточный ход. Воды отличаются повышенной мутностью, что связано с постоянной аккумуляцией на склонах вулканов большого количества рыхлого вулканогенного материала. В начале лета, в период интенсивного снеготаяния, реки вулканических районов являются наиболее полноводными и совершают активную эрозионно-аккумулятивную деятельность. Но многократное возрастание интенсивности переноса материала происходит во время извержений вулканов [Lipman, Mullineaux, 1981].

Основной целью данной работы является изучение основных особенностей формирования стока рек районов активного вулканизма и анализ его изменения в различных масштабах времени (суточном, внутригодовом, многолетнем), а также оценка потенциальной опасности возникновения вулканогенных селей (лахаров) на их склонах.

Регион исследований

В работе рассматриваются реки Камчатки, испытывающие воздействие извержений крупнейших и наиболее активных на территории вулканов Северной (Ключевская группа вулканов и вулкан Шивелуч) и Авачинской вулканических групп, положение которых приурочено к Восточному вулканическому району (см. рис. 1), характеризующемуся максимальными для региона средними высотами (1600–1800 м) и уклонами (50%), хорошо развитой речной сетью (1.0 км/км²), где сосредоточены практически все действующие вулканы Камчатки (за исключением единственного действующего вулкана в Срединном хребте – Ичинского), наиболее активными из которых являются Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Плоский Толбачик, Карымский, Авачинский, Корякский, Горелый, Мутновский. На вершинах и склонах вулканов расположены обширные области современного оледенения, крупнейшие из которых приурочены к Ключевской группе вулканов [Виноградов, 1975].

Наибольшую площадь распространения на территории района имеют четвертичные рыхлые отложения, четвертичные вулканические образования, неогеновые осадочные и вулканогенные отложения, имеющие малые значениями неразмывающих скоростей (0.3 – 2.0 м/с) и слабую устойчивость к размыву.

Район характеризуется максимальным количеством среднегодовых осадков на территории Камчатского края (до 1800 мм), запасами воды в снежном покрове (в мм водного эквивалента), достигающими значений в 3000 мм [Муравьев, 1985]; снежный покров залегает на территории в среднем 175 – 300 дней.

Обширные площади в районе вулканических построек заняты свежими вулканическими отложениями – пеплами, шлаками, лавами – и почти лишены растительного покрова.

Главная особенность почвенного покрова на территории Восточного вулканического района – его генетическая зависимость от современной вулканической деятельности. Район располагается в зоне интенсивных и умеренных пеплопадов [Соколов, 1973], где выпадение пирокластического материала случается не реже одного раза в 10–20 лет. Количество материала, поступающего на поверхность в результате одного извержения, может достигать нескольких тысяч тонн на 1 км², а мощность накопления пепла – десятков сантиметров [Пуйн, 1953]. В результате, самым распространенным типом почв являются вулканические, характеризующиеся наименьшей устойчивостью к размыву [Куксина, Алексеевский, 2016].



Совокупность орографических, климатических и литологических условий на территории района создает особые условия формирования и изменения стока в многолетнем, сезонном и суточном масштабах времени, а также предпосылки для развития различных гравитационных процессов, в том числе, вулканогенных селей (лахаров). Наиболее ярко этот процесс выражен на высотах от 1000 м, что связано с наличием здесь многолетних снежников и ледников, покрытых чехлом из пирокластического материала. При насыщении водой он становится текучим, что обеспечивает возможность его сползания по гладкой снежно-ледовой поверхности [Виноградов, 1975].

Суточные изменения стока

Суточные колебания характеристик стока определяются погодными условиями (температурой воздуха, влияющей на интенсивность снеготаяния, количества и интенсивности выпадающих осадков), а также гидравлическими условиями взаимодействия потока и русла. Материалы, послужившие основой для изучения колебаний характеристик стока в данном масштабе времени, были собраны в период проведения экспедиционных работ на реках Камчатки в 2008–2017 гг.

Исследование роли снеготаяния и выпадения жидких осадков выполнялось в речных бассейнах разной площади в районах Авачинской и Ключевской групп вулканов. Наблюдения, выполненные в створах на небольших водотоках (рр. Сухая Елизовская, Сухая Халактырская, руч. Лавовый), расположенных на удалении от источника питания (ледника или снежника), показали синхронность изменения мутности и расхода воды, что обусловлено слабой устойчивостью к размыву рыхлых вулканогенных пород, слагающих русло, и большими его уклонами (25–60 ‰), и периодическим полным прекращением стока в связи с прекращением его питания талыми водами и высоким уровнем фильтрации стока в толщину рыхлых вулканогенных грунтов (рис. 2, а).

Аналогичные наблюдения на р. Бильченке (площадь водосбора 206 км²) на высоте 600 м над у.м. в 1.5 км от истока свидетельствуют о наличии стока в любое время суток (рис. 2, б). Это связано с более близким расположением гидроствора к источнику питания ручья (один из крупнейших ледников Камчатки - Бильченке) и его большей водностью по сравнению с водотоками северо-восточного склона Ключевского вулкана; здесь же наблюдалась асинхронность колебаний расхода воды и мутности в связи с сильным разбавлением и снижением содержания частиц в потоке.

Наблюдения за характером стока на реках, дренирующих склоны вулканов, показали, что насыщенный наносами водный поток характеризуется заторможенным характером движения, что связано с особенностями поступления воды в русло. Механические преобразования в русле (создание временных плотин при обрушении снежных мостов или кровли ледника, размыв временных плотин, русловые деформации), а также просачивание вод в рыхлые вулканогенные толщи и их выклинивание ниже по течению приводят к импульсным изменениям расхода воды, как в сторону повышения, так и уменьшения.

На примере р. Сухой Халактырской можно отметить характерные особенности стока на различных ее участках. Если для постоянных водотоков увеличение расхода воды происходит пропорционально приращению водосборной площади, то для условий протекания рек вулканических территорий возможны три сценария изменения расхода воды при увеличении площади водосбора: расход воды увеличивается; расход воды остается постоянным или изменяется слабо; расход воды уменьшается вплоть до полного осушения русла. Выделенные участки с характерными стоковыми характеристиками образуют следующую зональность в формировании стока «сухих» рек: 1) зона питания; 2) зона транзита; 3) зона инфильтрации (здесь также происходит максимальное отложение наносов). На этом участке происходит формирование субэвальной дельты [Мелекесцев и др., 1974].

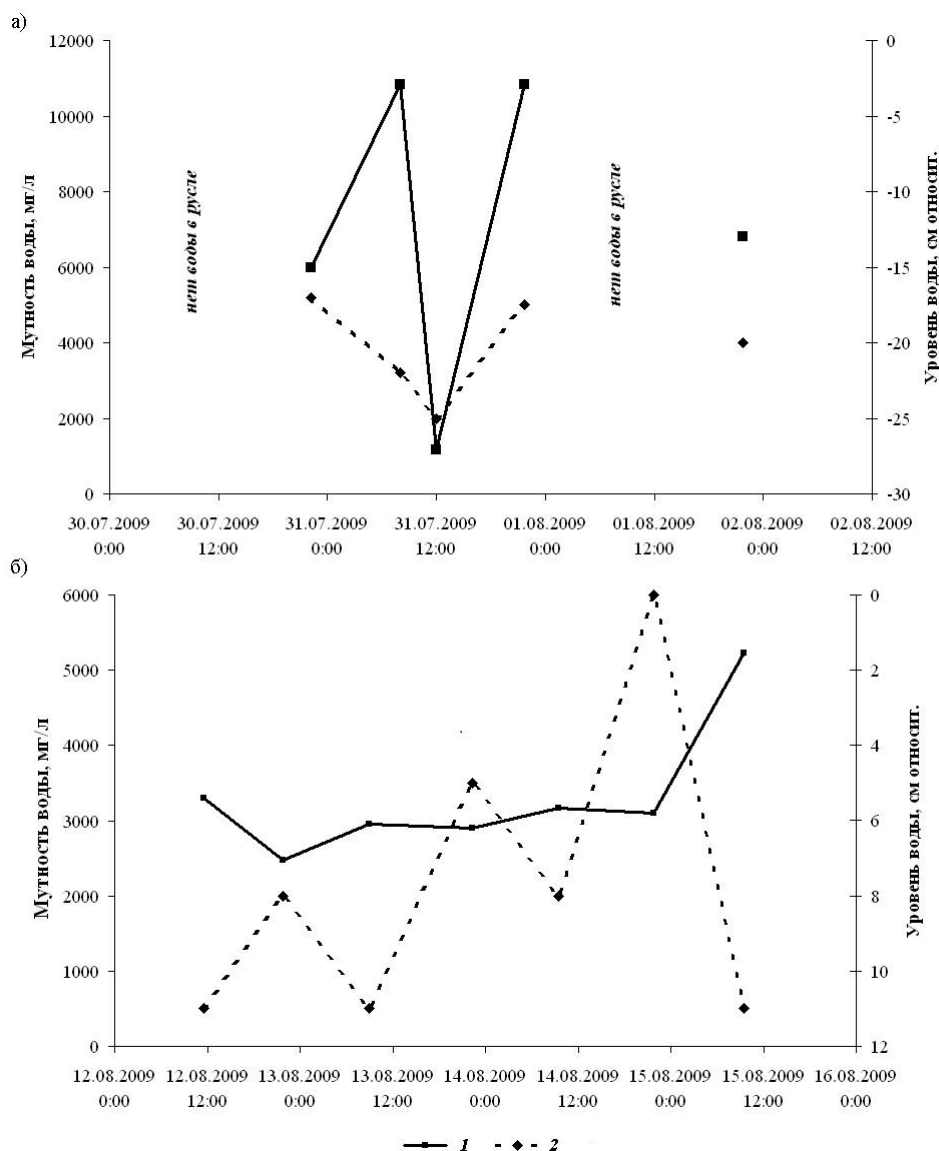


Рис. 2. Суточный ход уровня и мутности воды а) руч. Лавовый (северо-восточный склон Ключевского вулкана); б) руч. Бильченок (северо-западный склон Ушковского вулкана). 1 – мутность воды, 2 – уровень воды

В зависимости от величины расхода воды происходит изменение гранулометрического состава перемещаемого потоком материала от мелких алевритовых частиц до валунов. В связи с уменьшением расходов воды вниз по течению вследствие высокой инфильтрации воды в толщи грунтов изменяется крупность транспортируемых наносов: в период низкой водности в среднем течении поток перемещает гальку, гравий и песчаные частицы, в нижнем течении – вулканический пепел, представленный песчаными и алевритовыми частичками. Наличие в верхних и средних частях русел рек, дренирующих склоны и подножия действующих вулканов, глыб и валунов свидетельствует о том, что в периоды прохождения лахаров мощный поток способен перемещать обломочный материал значительной крупности. В зоне формируемых такими реками аллювиальных равнин в составе наносов преобладает мелкий обломочный материал – гравий, песок, вулканический пепел.

Сезонные изменения стока

Внутригодовые колебания стока рек на склонах вулканических построек также характеризуются неравномерностью, что связано как с особенностями питания



водотоков на склонах вулканов, так и с высокой инфильтрационной способностью вулканогенных пород.

В зимний период их русла полностью лишены воды. В периоды максимальной водности (весенне-летнее половодье и летне-осенние паводки) происходит максимальный подъем уровня грунтовых вод и наблюдается смыкание подруслового стока с поверхностным. В этот же период происходит наиболее значительное увеличение мутности воды [Виноградов, Купцов, 1980]. В конце весны, в период интенсивного таяния сезонного снежного покрова, реками вулканических территорий совершается основная эрозионно-аккумулятивная работа по перемещению рыхлого обломочного материала со склонов постройки вулкана к его подножию. Постоянный сток воды в летний сезон наблюдается только в верховьях наиболее крупных водотоков (руч. Бильченок, Киргурич, рр. Сухая, Студеная и др.), воды которых, несущие наиболее мелкие фракции взвешенных наносов, к вечеру достигают субаэральных дельт. При длительной жаркой солнечной погоде поверхностный сток лишь некоторых рек может достигать приемных водных объектов (например, р. Сухая впадает в р. Камчатку).

Реки на склонах вулканических построек основную часть взвешенных наносов переносят в период половодья и крупных паводков [Виноградов, Купцов, 1980] (табл. 1), т.е. в летне-осенний период (при отсутствии экстремальных паводков при извержениях в зимне-весенний период, когда снеготзапасы на склонах вулканов достигают максимальных значений). Сочетание максимальных снеготзапасов, значительных осадков в теплый период на склонах вулканов и слабой противозэрозийной устойчивости рыхлых вулканических отложений приводит к тому, что в этот период водные потоки совершают здесь наибольшую эрозионную работу. Мутность воды нередко достигает $1.0\text{--}6.0 \text{ кг/м}^3$ для рек с площадью водосбора порядка 1000 км^2 и до 600 кг/м^3 для рек с площадью водосбора меньше 100 км^2 .

Таблица 1. Внутригодовое распределение стока взвешенных наносов для рек, испытывающих воздействие вулканизма (в % годового стока взвешенных наносов)

Река	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Реки в зоне активного вулканизма												
1ая Мутная (Авачинская группа вулканов)	1. 78	1. 73	2. 27	9. 15	28 .2	10 .4	8. 30	9. 52	6. 59	12 .4	6. 20	3. 46
Реки, дренирующие склоны и подножия активных вулканов												
Большая Хапица (влк. Безымянный, Ключевская группа вулканов)	1. 91	1. 21	0. 81	1. 94	21 .9	38 .4	10 .2	18 .1	2. 25	0. 71	1. 50	1. 07

Многолетние колебания стока

Основными причинами циклических колебаний многоводных, маловодных и средних по водности периодов в стоке постоянных водотоков являются колебания климата. Однако, в многолетнем режиме рек вулканических областей изменчивость стока имеет свои особенности, которые связаны с азональными причинами. Наиболее полноводными реки, дренирующие склоны и подножия действующих вулканов, бывают в зимне-весенний период таяния снега и льда во время извержений, когда снеготзапасы на склонах вулканов достигают максимальных значений. В этом случае на них проходят мощные паводки, а их долины, как правило, являются путями схода лахаров (вулканогенных селей) [Scrivenor, 1929], распространяющихся на десятки и сотни километров и представляющих собой одно из наиболее опасных явлений, сопровождающих вулканические извержения. Существенное возрастание водности приводит к формированию экстремально больших объемов стока воды и наносов в XX



веке [Виноградов, 1985; Виноградов и др., 1985; Краевая, 1969; Ротман, 1960]. Последующие крупные извержения вулканов на этой территории становятся фактором понижения водности рек, поскольку они лишаются важного источника питания вследствие разрушения снежников и ледников. Очевидно, что это должно сопровождаться временным уменьшением характеристик стока наносов.

Режим стока взвешенных наносов местных рек находится в зависимости от извержений вулканов. Наибольший сток взвешенных наносов р. Камчатка (пункт наблюдений уроч. Большие Щеки) формировался в годы после крупных извержений вулканов Безымянный (1955 – 1956 гг.) [Горишков, Богоявленская, 1965] и Шивелуч (1964 г.) [Токарев, 1967]. На р. Толбачик максимальные значения мутности воды и расхода взвешенных наносов наблюдались после Большого трещинного Толбачинского извержения (1975 – 1976 гг. [Большое трещинное..., 1984]).

Массы рыхлого материала (вулканические шлаки, пеплы, агломераты пирокластических потоков и раскаленных лавин), периодически отлагающиеся на склонах активных вулканов, являются источниками поступления огромного количества перемещаемых наносов [Torres et al., 2004]. Мощность грязевых потоков зависит от следующих характеристик:

- площади водосбора;
- величины максимальных снегозапасов в бассейне;
- характера рельефа местности.

В условиях Камчатки значительные запасы снега и льда на склонах действующих вулканов обуславливают огромные объемы снеговой и ледниковой составляющих стока в течение извержения. В результате, именно во время формирования лахаров наблюдается максимальная водность рек вулканических территорий, характеризующаяся наибольшими расходами воды и объемами перемещаемых наносов.

Внедрение лавовых потоков в ледник Келля в марте – апреле 1983 г. вызвало бурное таяние снега и льда, что способствовало образованию и сходу нескольких крупных лахаров к подножию вулкана на расстояние 15–20 км от места извержения [Виноградов и др., 1985]. Движущийся поток и формирующийся по его левому борту талый сток подрезали крутой склон долины, вызывая частые оползни в его нижней части. Обрушения массы рыхлого обломочного материала и блоков снежников образовывали на короткое время плотины, которые затем прорывались накапливающейся талой водой. Результаты эпизодических наблюдений за стоком на одном из притоков р. Каменистой позволили получить гидрограф стока (рис. 3а) 19, характеризующийся заторно-волновым движением. Согласно пульсациям расходов воды в реке происходило изменение крупности перемещаемых наносов (рис. 3б), указывающее на разнородность размываемой толщи – наиболее крупные обломки соответствуют материалу лавового потока, более мелкие являются вторичным материалом пирокластических потоков. Максимальные измеренные расходы в период прохождения лахара превышают максимальный измеренный расход воды на «сухих» реках в период летней межени более чем в 40 раз.

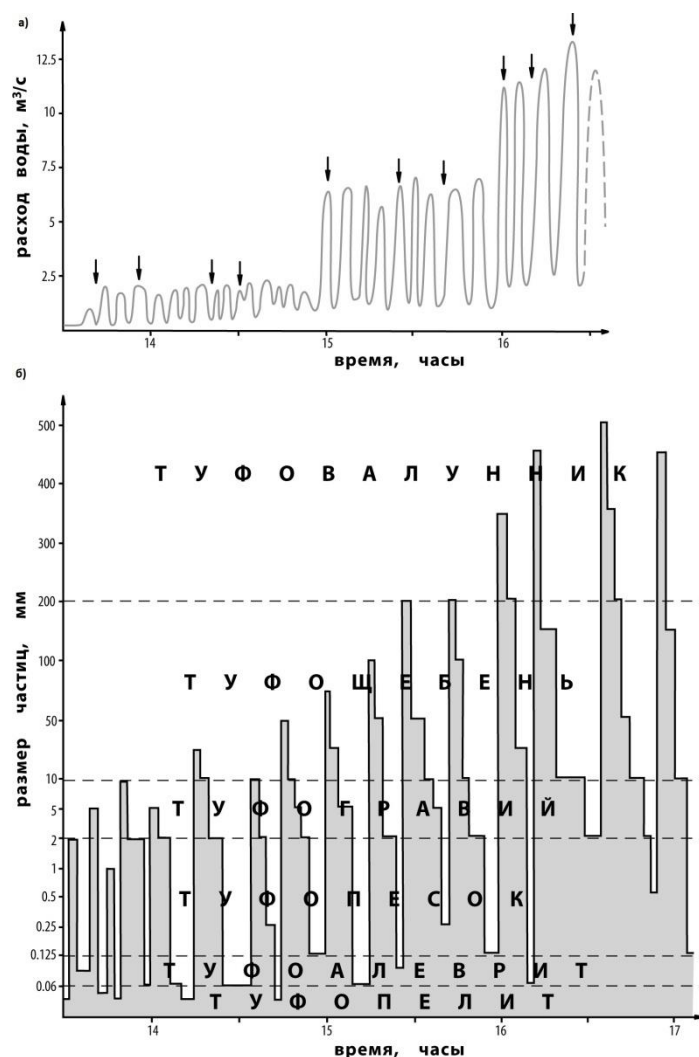


Рис. 3. Гидрограф талого стока 30 апреля 1983 г. с 13:30 до 17:00 с указанием состава транспортируемых наносов. Стрелками показано время фактических измерений расходов [по Виноградов и др., 1985].

Согласно расчетам, в результате стаивания примерно 80 млн. м³ льда и снега водными потоками и лахарами к подножию Ключевского вулкана было вынесено до 8 млн. м³ рыхлого вулканогенного материала, и был сформирован конус выноса отложений площадью до 3,5 км² [Виноградов и др., 1985].

Вершинное извержение Ключевского вулкана, происходившее с 8 сентября по 4 октября 1994 г. (с пароксизмом 1 октября), было одним из наиболее мощных. Грязекаменные потоки, сошедшие во время кульминационной фазы, оставили грубообломочный материал на площади около 4 км², а общая площадь тонких отложений превышала 20 км² [Хубуня и др., 1995]. По результатам облета района извержения 2 сентября 1995 г. суммарный объем растопленного льда в леднике Эрмана оценивается в (0.7–1.0)·10⁷ м³. Складывается он из части ледника, разрушенной лавинами раскаленного изверженного материала, сошедшими по Крестовскому вулканотектоническому желобу (около 0.5·10⁷ м³) в пределах высот 3000–4000 м, и выработанного каньона во льду на высотах 3000–1800 м, до (2.3–4)·10⁶ м³. Твердая составляющая, по-видимому, составила около 20% общего объема лахара. Эта оценка удовлетворительно согласуется с объемом наносов на конусе выноса, оцениваемого в (1–1.5)·10⁶ м³, хотя часть наносов осталась на поверхности ледника в зоне транзита потока. Лахарообразующий эффект извержения 1994 г. мог быть гораздо выше, но терминальное



извержение вулкана в июле-августе 1993 г. существенно снизило запасы снега и льда в области формирования грязевых потоков в северо-западном секторе вулкана.

Район Авачинской группы вулканов относится к одним из наиболее многоснежных на территории полуострова, что подтверждается существованием здесь развитого современного оледенения. Только на склонах вулкана Корякский залегают 6 ледников суммарной площадью около 4.5 км^2 и объемом до 0.14 км^3 . Так как основную опасность для населения представляют лахары, формирующиеся на южных склонах вулкана, ниже приводится оценка максимального талого стока при возможном извержении.

Для прогноза объема возможного лахара необходимо знать площадь водосбора, на которой происходит формирование талого стока, ее распределение с высотой, а также объем снеготопливных запасов на склонах перед извержением. На основе методики расчетов максимальных снеготопливных запасов в горных районах [Атлас..., 1997; Муравьев, 1985], не обеспеченных метеорологической информацией, по средней летней температуре воздуха на высоте границы питания ледников, были рассчитаны даты наступления максимума снеготопливных запасов с высотой для района исследований. В пределах постройки Корякского вулкана эти даты смещаются по высоте от 225 м над уровнем моря в третьей декаде марта до 3200 м во второй декаде июля. О количестве твердых осадков в привершинной части постройки вулкана можно судить также по результатам снегомерной съемки, выполненной на леднике в центральном кратере вулкана в начале июля 1994 г. Мощность снежного покрова на реперной площадке составила около 2300 мм в водном эквиваленте. Эту величину примем в качестве фоновой оценки количества атмосферных осадков, выпадающих на высотах свыше 3000 м.

Расчетные величины распределения снеготопливных запасов на склонах разной экспозиции и их изменение во времени показаны на рис. 4.

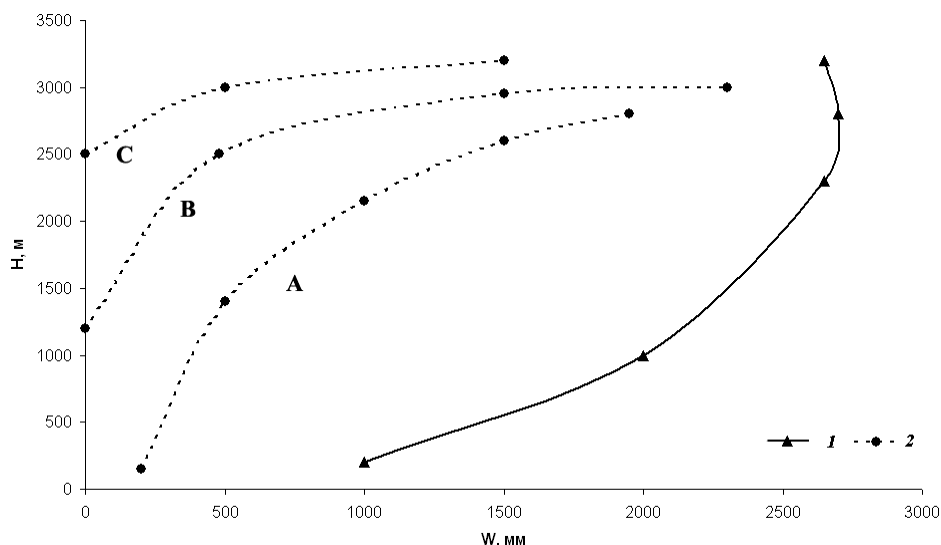


Рис. 4. Распределение сезонного снежного покрова на склонах Корякского вулкана. 1 – северный склон, 2 – южный склон: А – май, В – июль, С – сентябрь, Н – высота над уровнем моря, W – запас воды в снежном покрове

По кривой, построенной для южного склона вулкана, было рассчитано распределение снеготопливных запасов на дату максимума в двух основных лахарообразующих бассейнах на склонах вулкана – рек Железная и Мутная. Согласно полученным результатам, при умеренной активизации Корякского вулкана (например при сходе пирокластических потоков из вершинного кратера объемом десятки – первые сотни тысяч м^3) возможно образование лахаров объемом более 3 млн м^3 в эквиваленте водного стока, что достаточно для их продвижения в долину реки Авача на 20–25 км. Максимальные объемы грязевых потоков в случае пароксизмального извержения Корякского вулкана в конце холодного сезона года могут составить 10–12 млн м^3



(жидкий сток), что будет достаточно для того, чтобы покрыть своими отложениями большую часть территорий дачной застройки и сельскохозяйственных угодий, расположенных на конусах выноса рр. Мутная, Железная и руч. Скрытый.

Заключение

Анализ пространственно-временных особенностей формирования и изменчивости характеристик стока рек вулканических областей Камчатки позволил выявить основные черты их гидрологического режима в различных масштабах (суточном, сезонном, многолетнем) и выявить их причины. Ключевой особенностью рек, дренирующих склоны и подножия активных вулканов, является эпизодичность стока, обусловленная, прежде всего, снежно-ледниковым типом их питания в сочетании с крайне высокими фильтрационными свойствами подстилающих вулканогенных пород, в результате чего не менее 30% воды поступает в глубокий подземный сток [Виноградов, Муравьев, 1992]. Отличительной чертой таких водотоков является формирование субэкранных дельт (аккумулятивный тип рельефа у подножий молодых вулканических построек).

Формирование внутрисуточной, сезонной и многолетней динамики стока рек вулканических областей определяется режимом таяния сезонных запасов снега и многолетних льдов на склонах вулканов и зависит от активности проявлений вулканических процессов. Характерной особенностью рек, дренирующих склоны и подножия вулканов, является их мощная эрозионно-аккумулятивная деятельность и, как следствие, огромное количество перемещаемых к подножию вулкана наносов в течение весенне-летнего половодья и при извержениях вулканов.

Случаем максимального стока рек минимальной обеспеченности, иногда принимающим катастрофические размеры, является сход по их долинам вулканогенных селей (лахаров) - одного из самых опасных явлений, сопровождающих извержения вулканов Камчатки. В связи с этим прогноз возможного объема лахаров является одной из важнейших задач оценки степени опасности при вулканическом районировании территории, окружающей действующий вулкан.

На основании данных о снегозапасах на склонах вулканических построек получены оценки объема лахаров на реках Авачинской и Ключевской групп вулканов.

Авторы выражают благодарность Е.С. Марченко за помощь в проведении полевых работ на реках вулканических районов Камчатки. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ (проект №17-77-10047).

Список литературы

- Атлас снежно-ледовых ресурсов Мира (1997). Т. 2, кн. 1. Под ред. Котлякова В.М. М.: РАН, Институт географии, 263 с.
- Большое трещинное Толбачинское извержение (1975 - 1976 гг., Камчатка) (1984). М., Наука, 638 с.
- Виноградов В.Н. (1975). Современное оледенение районов активного вулканизма. М., Наука, 103 с.
- Виноградов В.Н. (1985). Вулканизм и оледенение. Гляциологические исследования, 27: 7-25.
- Виноградов В.Н., Купцов А.Н. (1980). О гидрологии «сухих» рек районов активного вулканизма. Водные ресурсы, 5: 178-184.
- Виноградов В.Н., Литасов Н.Е., Муравьев Я.Д., Озеров А.Ю., Хренов А.П. (1985а). Побочное извержение в ледниковом поясе Ключевского вулкана в 1983 г. Вопросы географии Камчатки, 9: 3-23.
- Виноградов В.Н., Литасов Н.Е., Муравьев Я.Д. и др. (1985б). Побочное извержение в ледниковом поясе Ключевского вулкана в 1983 г. Вопросы географии Камчатки, 9: 3-23.
- Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д. (1992). Ледник Козельский (Авачинская группа вулканов). СПб: Гидрометеиздат, 119 с.
- Гидрогеология СССР (Камчатка, Курильские и Командорские острова) (1972). Т. XXIX. М., Недра, 364 с.
- Горшков Г.С., Богоявленская Г.Е. (1965). Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955-1963 гг. М., Наука, 171 с.
- Двали М.Ф. (1936). К познанию геологического строения восточного побережья полуострова Камчатки. Тр. Нефтяного геол.-развед. ин-та. М.-Л., А(82), 64 с.



- Краевая Т.С. (1969). Краткая характеристика селеопасных районов Камчатки. Труды КазНИГМИ, 33: 144-151.
- Краевая Т.С. (1964). Сухие реки районов Ключевской и Авачинской групп вулканов. Вопросы географии Камчатки, 2: 56-62.
- Кукулина Л.В., Алексеевский Н.И. (2016). Эрозионное районирование территории Камчатского края. География и природные ресурсы, 2: 132–141.
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Эрлих Э.Н. и др. (1974). История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. Камчатка, Курильские и Командорские острова. М., Наука, 440 с.
- Муравьев Я.Д. (1985). Снежный покров горных районов Камчатки. Вопросы географии Камчатки, 9: 30-40.
- Пийп Б.И. (1953). Извержение Авачинской сопки в 1945 г. Бюл. вулк. ст., 17: 6-23.
- Ресурсы поверхностных вод СССР (1973). Т. 20. Камчатка. М., Гидрометеиздат, 367 с.
- Ротман В.К. (1960). О неогеновых лахаровых отложениях Камчатки. Доклады АН СССР, 134(4): 913-916.
- Соколов И.А. (1973). Вулканизм и почвообразование. М., Наука, 224 с.
- Токарев П.И. (1967). Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. и его предвестники. Изв. АН СССР. Сер. физика Земли, 9: 11-22.
- Хубуная С.А., Жаринов Н.А., Муравьев Я.Д. и др. (1995). Извержение вулкана Шивелуч в 1993 г. Вулканология и сейсмология, 1: 3-19.
- Lipman P.W., Mullineaux D.R. (eds.) (1981). The 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washington (U.S. Geological Survey Professional Paper 1250), 844 p.
- Scrivenor J.B. (1929). The mudstreams (lahars) of Gunong Kelot in Java. Geological Magazine, 66: 433–434.
- Torres R., Mougini-Mark P., Self S., Garbeil G., Kallianpur K., Quiambao R. (2004). Monitoring the evolution of the Pasig–Potrero alluvial fan, Pinatubo Volcano, using a decade of remote sensing data. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 138: 371-392.