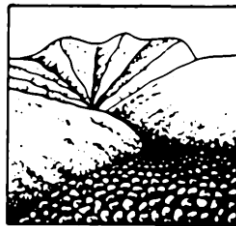


DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 5th International Conference

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



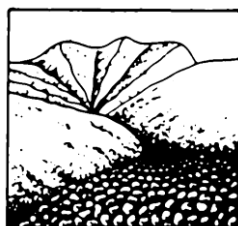
Editors
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Publishing House “Universal”
Tbilisi 2018

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
5-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г.



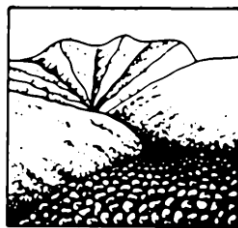
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

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



Методы дистанционного зондирования и численного моделирования для изучения селевых потоков в бассейнах рек Ахангаран и Тегермеч

Э. Семакова¹, Ё. Алимов², Л. Сычугова¹, Д. Семаков¹, К. Граф³

¹*Астрономический институт им. Улугбека Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан, ella9sem@gmail.com*

²*Центр гидрометеорологической службы при Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан*

³*Федеральный институт исследований леса, снега и ландшафта WSL, Бирменсдорф, Швейцария*

В работе рассматриваются методы идентификации селевых процессов на спутниковых снимках, результаты численного моделирования дождевого селя Ирташсай, сошедшего в бассейне реки Ахангаран, Узбекистан, и возможного гляциального селя в случае прорыва ледниковых озер в верховьях реки Исфайрамсай, Киргизия, с использованием программы RAMMS.

селевые потоки, численное моделирование, разновременные снимки, методы ДЗЗ, динамические параметры, ЦМР, программа RAMMS

Remote sensing techniques and numerical simulation of debris flows in the Akhangaran and Tegermech Rivers basins, using RAMMS software

E. Semakova¹, Yo. Alimov², L. Sichugova¹, D. Semakov¹, C. Graf³

¹*Ulugh Beg Astronomical Institute, Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan, ella9sem@gmail.com*

²*Centre of Hydrometeorological Service at Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

³*Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Birmensdorf, Switzerland*

Identification of debris flows using satellite data, the results of numerical simulation of Irtash rainfall flow (Akhangaran River basin, Uzbekistan) and of possible glacial flow in the case of lakes outburst (Isfayramsai River basin, Kyrgyzstan) using RAMMS software are considered in the paper.

debris flows, numerical simulation, multi-temporal images, remote sensing techniques, DEM, dynamic parameters, RAMMS software

Введение

К потенциально селеопасным зонам Узбекистана относятся все горные и предгорные районы республики. Многолетние наблюдения за селевыми потоками



показывают, что основное число селей (84%) сформировано за счет выпадения интенсивных жидких осадков ливневого характера. В течение весенне-летнего сезона года формируется около 98% всех случаев селей. В будущем за счет потепления и увеличения доли жидких осадков ожидается увеличение повторяемости селей на 6-7% по сравнению с современной селеопасной ситуацией. Для малых рек низкогорной зоны Узбекистана ожидается увеличение максимальных расходов селевых паводков на 20-30%. Также увеличится селевая опасность от прорыва озер в верхних зонах гор [Чуб и др., 2007]. В силу появления новых доступных средств и методов для изучения опасных природных явлений, становятся актуальными исследования селей и селевых паводков методами дистанционного зондирования и численного моделирования.

Исходными данными являлись информация о прохождении селевых потоков и паводков по водотокам Ташкентской области с 2010 по 2016 гг., спутниковые данные Landsat, Google Earth и SASPlanet, цифровая модель рельефа ALOS PALSAR DEM [Dataset, 2017] и программный модуль численного моделирования селевых процессов Debris Flow (v1.7.10). Данный модуль является частью программы RAMMS по изучению динамических параметров геофизических потоков (снежных, ледовых, скальных лавин, русловых и склоновых потоков, небольших быстротекущих оползней, грязевых потоков и обвалов) от начала возникновения их движения до момента остановки [Christen et al., 2012].

Информация о селях и паводках, зарегистрированная наблюдательными пунктами Узгидромета или другими организациями, включала дату и время прохождения потока, наименование водотока и населенного пункта или объекта, которому нанесен ущерб, тип потока и причина его формирования, при наличии расход или уровень воды. Основная трудность в использовании этой информации заключалась в поиске исследуемых водотоков на топокартах или снимках, поскольку они могли быть временными водотоками без названия, каналами или склоновыми стоками, а также местоположения зоны зарождения селевого потока. Однако если имелись сведения об ущербе касательно повреждения автодорог, мостов или отдельных населенных пунктов, то это позволяло оценить дальность прохождения селевого потока.

Методика идентификации таких водотоков в исследуемых районах заключалась в анализе снимков Landsat-8 до и после прохождения потока с использованием программного обеспечения ERDAS IMAGINE. Вначале проводилось визуальное дешифрирование каждого синтезированного изображения (RGB: 7-5-3), выделялась рассматриваемая область, и рассчитывался вегетационный индекс NDVI. Значительные изменения индекса после прохождения селевого потока (паводка), а также результаты использования алгоритма разности изображений (Change Detection) позволяли получить информацию о случившемся изменении за период между съемками. После наложения результатов обработки на карты (снимки) высокого разрешения из сервиса SASPlanet, были выявлены селепаводковые водотоки и зоны подтопления на заданную дату. Такие карты-схемы с указанием населенных пунктов, рек, авто- и ж/д дорог, сельскохозяйственных угодий, которым нанесен ущерб, и прошедших селевых потоков составлены для территорий г. Ангрена по состоянию на 16.08.2016 г., Ахангаранского района на 28.04.2014 г., Паркентского района на 9.05.2015 г.

Моделирование движения селевого потока проводилось для водотока Ирташсай в Ангренском районе, для которого было известно местоположение зоны зарождения селя, сформированного ливневыми осадками 28.06.2015 г., и место слияния его с рекой Ахангаран.

В основе программы RAMMS лежит модель текучих сред Вельми, которая учитывает начальные условия (положение и размер массы в зоне отрыва), параметры сухого кулоновского и вязко-турбулентного трения, зависящие от поверхности (шероховатости, растительности) и составляющих материалов (снегового, ледяного или грязевого содержания селя). Программа позволяет калибровать параметры трения по данным полевых наблюдений или экспертных оценок о скорости и высоты потока, составе обломочного материала. Ввиду большого разнообразия состава селевого потока и изменения топографии вследствие эрозии или наносов, имеется возможность задать



участки с различными параметрами трения, эрозии и отложений вдоль одного канала. Для успешных вычислений необходимы цифровая модель рельефа (ЦМР) с высоким разрешением, топографические данные или спутниковые изображения исследуемого района. В зависимости от типа моделируемого потока, имеются два варианта установки начальных условий: область отрыва блочной массы определенной толщины для склоновых процессов (мелкие оползни, грязекаменные массы) и входной (простой) гидрограф для русловых процессов (селевые потоки и паводки) с заданным объемом в определенном створе канала.

Моделирование селевого потока Ирташсай проводилось по второму варианту. Длина водотока составляет 11 км, высота места зарождения селя – 1850 м, места слияния – 1150 м. Зона зарождения представлена водосборной воронкой площадью 19 км² с эрозионными врезами, на пересечении которых выбрано положение входного гидрографа. При выпадении осадков не менее 10 мм, объем движущейся массы составляет более 190000 м³, расход воды принят 1000 м³/с, начальная скорость и плотность селевой смеси – 10 м/с и 1500 кг/м³, коэффициенты жидкостного и сухого трения – 500 м/с² и 0,1. При наличии цифрового представления рельефа лучшего разрешения и полевых данных можно было бы использовать дополнительные модули, где учитывается сцепление обломочного материала, напряжение сдвига, плотность, скорость и глубина эрозии. Вычисления при запуске программы занимают достаточно длительное время. В целях его сокращения и уменьшения охваченной области исследования, мы воспользовались возможностью анализа крутизны, кривизны рельефа и результатов моделирования на основе ЦМР более грубого разрешения. В процессе подбора параметров трения, времени моделирования, зоны отложения, мы ориентировались на дождевое содержание селя, его дальности пробега, и на тот факт, чтобы моделирование завершилось не в результате окончания заданного времени или оттока определенного объема из анализируемой площади, а из-за слабой интенсивности потока.

В результате получены значения высоты, скорости, силы давления на препятствие в каждой точке движения селевого потока. В среднем по длине потока они составляют 0,6 м, 1,4 м/с, 7,3 кПа, максимальные значения – 9,8 м, 10,5 м/с, 164 кПа. Смоделированная высота потока в зоне выноса (рис. 1а) соответствует реальному случаю, когда селя, не нанося ущерба, прошел под мостом (дорогой) и влился в поток р. Ахангаран. Основные селевые отложения (до 3 м) оказались бы в русле принимающей реки (рис. 1б), если бы не ее собственное течение, (взаимодействие с ее потоком не учитывалось в моделировании).

Данная программа была применена также для моделирования движения потенциально возможных гляциальных селей, образованных в результате возможного прорыва ледниковых озер, например, моренных озер Озерное верхнее и нижнее [Семакова, Семаков, 2017], тем самым определяя потенциальную опасность этих озер. В данной работе предпринята попытка выполнить численное моделирование движения возможных селей в случае прорыва ледниковых озер, расположенных в верховьях р. Исфайрамсай, берущей начало в отрогах Алайского хребта, Киргизия. В 1962 и 1973 гг. по реке прошли серьезные грязекаменные сели, что привело к эвакуации города Кувасая и близлежащих посёлков Узбекистана. В настоящее время, по сведениям специалистов, наблюдающих за этими озерами, медленно набирают прорывоопасность два озера в долине р. Тегермеч (верховья р. Исфайрамсай), а также не исключено появление других нестационарных озер, ванны которых наполняются внезапно, за 1-3 месяца один раз в 5-20 лет. По данным снимков Landsat мы обнаружили 12 гляциальных озер в верховьях р. Тегермеч, общей площадью 0,78 км², из них самое крупное – озеро Тегермеч, площадью 0,55 км².

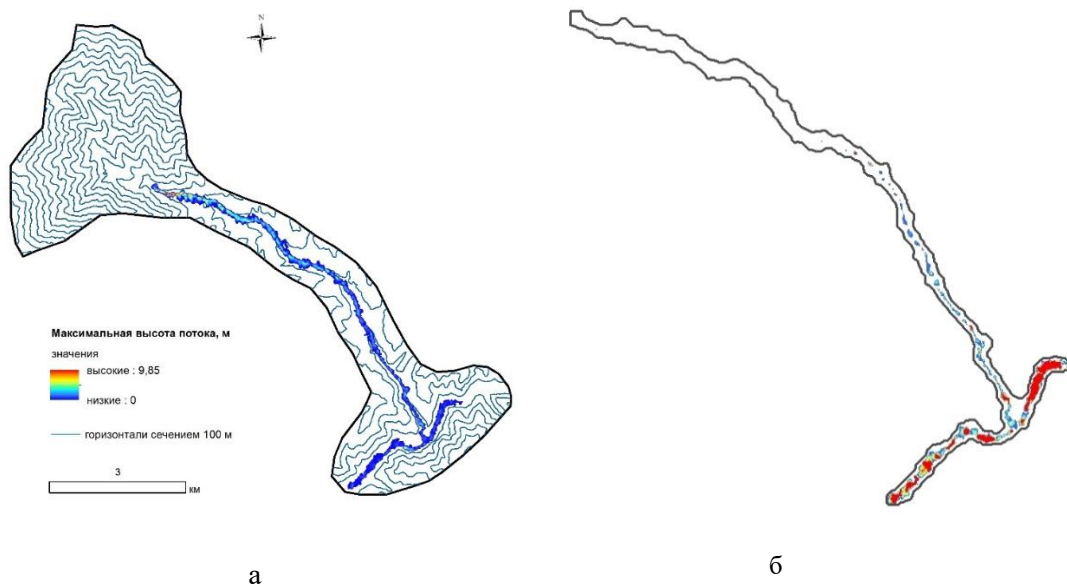


Рис. 1. Моделирование максимальной высоты потока (а) и толщины селевых отложений (б) селя Ирташсай (бассейн р. Ахангаран)

Для моделирования возможного селя, мы воспользовались вариантом блочного отрыва, предполагая, что его источником одномоментно будет вся вода, содержащаяся в озерах. Задавая различную глубину озер (для оз. Тегермеч - 20 м, для остальных – от 5 до 10 м), мы получили оценочный общий объем воды в озерах 12 млн. м³. В качестве ЦМР подбирались данные с различным разрешением и точностью. Площадь рассматриваемой территории составляла 419 км², длина пути - 80 км, перепад высот – 4,2 км. Плотность воды, коэффициенты трения, порядок численной схемы, критерий остановки потока и другие параметры моделирования выбраны такими же, как и в первом случае. Результаты расчетов сильно отличались в зависимости от выбранной модели рельефа и времени окончания моделирования. При выборе данных ALOS PALSAR моделирование выполнялось только для долины р. Тегермеч, SRTM – для всего участка. При заданных входных параметрах, селевой поток прошел около 45 км и остановился на высоте 1200 м (рис. 2). При появлении возможностей, было бы интересным рассмотреть возможные потоки в отдельных суб- бассейнах, полученных на основе ЦМР лучшего разрешения, с последующим их взаимодействием и объединением.

Оценка влияния точности и релевантности ЦМР на результаты моделирования проводилась для лавинных потоков на примере хорошо изученных небольших лавиносборов района перевала Камчик, отличающегося значительным антропогенным воздействием в последнее время [Semakova, Bühler, 2017]. Предварительно совместив модели, различные по времени и сезону съемки (7 видов съемки), относительно данных лазерной альтиметрии GLAS/ICESat и оценив их точность в данном районе, было рассмотрено соответствие результатов моделирования наблюдаемым параметрам сошедших лавин. Получено, что наилучшей основой для расчетов лавинных показателей является ЦМР, построенная по данным TerraSAR-X / TanDEM-X зимнего периода съемки.

Дальнейшие работы в области численного моделирования селевых процессов могут быть связаны с выбором тестового района для проведения полевых наблюдений и калибровки необходимых параметров модели, выполнением наземной геодезической съемки для построения подходящей цифровой модели рельефа, оценкой чувствительности модели к различному генезису потоков. Результаты этих работ будут способствовать своевременной оценке природной опасности и риска, выбору обоснованной защиты.

Работы выполнены при поддержке Академии наук РУз и Swiss National Science Foundation (проекты ФА-А3-Ф013 и SNF SCOPES IZ74Z0_160463/1).

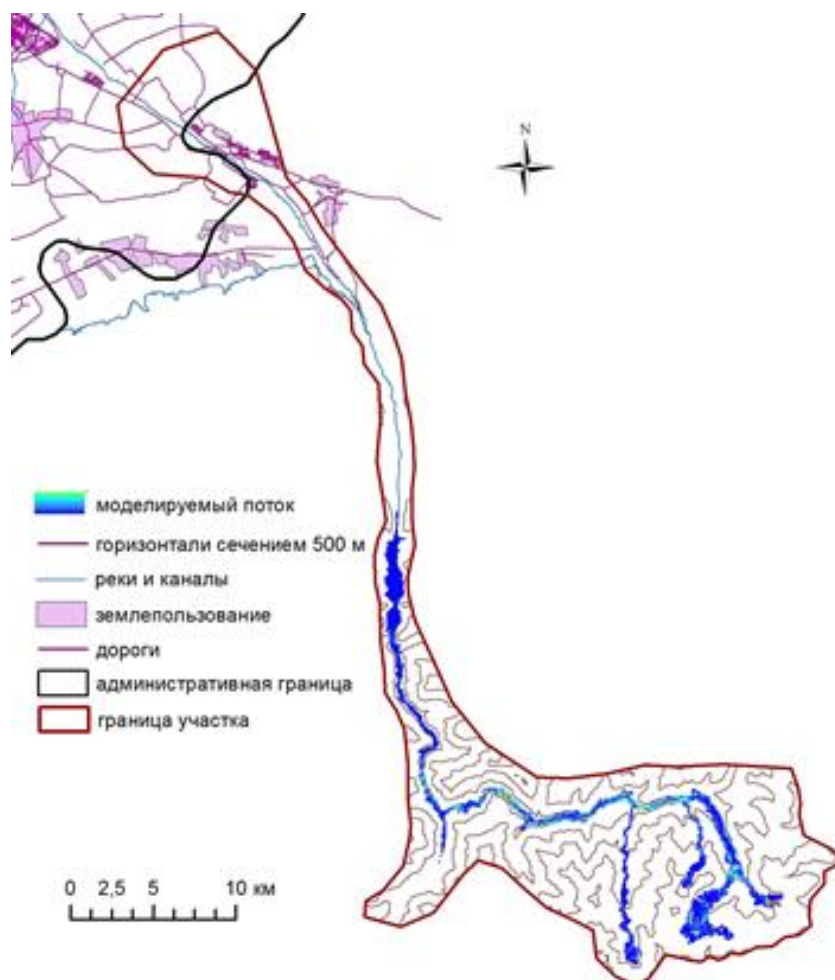


Рис. 2. Моделируемый поток в случае прорыва ледниковых озер в долине реки Тегермеч.

Список литературы

- Семакова Э.Р., Семаков Д.Г. (2017). О возможности использования методов дистанционного зондирования Земли в проведении гляциологических расчетов для горных районов Узбекистана. *Лед и Снег*, 2(57): 185-199.
- Чуб В.Е., Трофимов Г.Н., Меркушкин А.С. (2007). *Селевые потоки Узбекистана*. Ташкент, НИГМИ, 109 с.
- Christen M., Bühler Y., Bartelt P., Leine R., Glover J., Schweizer A., Graf C., McArdell B.W., Gerber W., Deubelbeiss Y., Feistl T., Volkwein A. (2012). Integral hazard management using a unified software environment: numerical simulation tool "RAMMS" for gravitational natural hazards. *Proc. of the 12th Congress INTERPRAEVENT*, Grenoble, France, Klagenfurt, Kobltschnig G., Hübl J., Braun J. (Eds.). 1: 77–86.
- Dataset (2007): ASF DAAC 2015, ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_high_res; Includes Material © JAXA/METI. Accessed through ASF DAAC, 2017.
- Semakova E., Bühler Y. (2017). TerraSAR-X / TanDEM-X data for natural hazards research in mountainous regions of Uzbekistan. *Journal of Applied Remote Sensing*, SPIE, 11(3): 036024. doi: 10.1117/1.JRS.11.036024.