

Гидравлический прыжок в связных селевых потоках

Поступила 20.03.2020 г. / Принята к публикации 01.07.2020 г.

© *Натишвили Отар Георгиевич¹, Губеладзе Давид Отарович²*

¹ Национальная академия Наук Грузии, г.Тбилиси, Грузия

² Грузинский технический университет, г.Тбилиси, Грузия

Аннотация. Горные, предгорные и равнинные участки земель в зависимости от климатических, топографических и почвенных условий обычно характеризуются более или менее интенсивным проявлением эрозионных процессов, отрицательно влияющих на почвы. Эти процессы особенно остро происходят в горных и в предгорных условиях, где они нередко достигают катастрофических размеров, смывающих несколько десятков тонн почвы с гектара в течение всего одного года. Так, например, по данным Международного центра по интеграции и развитию горных регионов в отдельных случаях потери почвы колеблются от 5...10 до 40...2000 тон с га в год. Движения связного селевого потока следует определять в зависимости от основных закономерностей динамики селевых потоков и принципах их взаимодействия с окружающей средой. Исследования гидравлического прыжка в связных селевых потоках показали, что в связных селевых потоках для характеристики состояния потока решающую роль наряду с относительной глубиной потока играет кинематический коэффициент вязкости. В данной работе приведенные зависимости позволяют судить о бурном, спокойном и критическом состояниях связного селевого потока как с постоянным так и переменным расходом по пути. Получена зависимость для построения кривых свободной поверхности потока которое позволяет одновременно судить о динамических характеристиках волновых потоков.

Ключевые слова. Селевой поток, грязекаменный конгломерат, эрозионный врез, гидравлический прыжок, критический уклон, обломочные материалы, эрозия, грунты.

Hydraulic jump in cohesive mudflow

Received on March 20, 2020 / Accepted on July 01, 2020

© *Natishvili Otar Georgievich¹, Gubeladze David Otarovich²*

¹ Georgian National Academy of Sciences, Tbilisi, Georgia

² Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

Abstract. Mountain, piedmont, and flat plots of land, depending on climatic, topographic, and soil conditions, are usually characterized by a more or less intense manifestation of erosion processes that have a rather negative effect on the soil surface, with all the ensuing negative consequences. These processes are especially acute in mountainous and foothill conditions, where they often reach catastrophic sizes, that washing away several tens of tons of soil from a hectare in just one year. So, for example, according to the International Center for the Integration and Development of Mountain Regions, in some cases, soil loss ranges from 5...10 to 40...2000 tons/ha per year. The movements of a connected mudflow should be determined by dependence, based on the basic laws of the dynamics of mudflows and the principles of their interaction with the environment. Hydraulic jump studies in cohesive mudflows showed that in connected mudflows to characterize the state of the stream, the kinematic viscosity coefficient plays a decisive role along with the relative depth of the stream. In the work, the given dependences make it possible to judge the turbulency, calmness, and critical states of a connected mudflow, both with constant and variable discharge along the way. A dependence is obtained for constructing curves of the free surfaces of the flow, which allows us to simultaneously judge the dynamic characteristics of wave flows.

Keywords. Mudflow, mudstone conglomerate, erosive insert, hydraulic jump, critical bias, clastic materials, erosion, soils.

Введение. Селеведение как самостоятельная область знаний претерпела значительный прогресс в XX веке и продолжает интенсивно развиваться в настоящее время. Причиной тому послужили участвовавшие случаи прохождения селевых потоков на горных и предгорных территориях многих стран

мира, в том числе и на Кавказе, сопутствующим им значительными материальными ущербами и нередко даже человеческими жертвами

В такой небольшой стране, как Грузия, насчитывают более 1000 очагов потенциальных селей. Можно сказать, что реальные условия в горных регио-

нах страны имеют существенный риск для жизни людей. Особую тревогу вызывает то, что селевые потоки уносят много жизней. К сожалению, надежная «вакцина» для борьбы с селями до сих пор не найдена. Полученные ниже результаты в основном базируются на трактовке гидравлического прыжка в связанных селевых потоках.

В горных и предгорных регионах часть территории находится в зоне разрушительного действия селевых потоков. Мощные селевые потоки формируются в основном в эрозионных врезках, представляющих собой целую систему русел в верховьях горных водотоков, которые в результате непрерывного разрушения горных пород и движения их с вышележащих участков, заполняются обломочной массой подвергающейся затем выветриванию, дроблению и измельчению под влиянием различных природных факторов [1, 2, 7, 8].

Образующаяся в результате подобных явлений грязевая масса обволакивает (в смесей со щебнем) обломочные материалы и заполняют пустоты между ними. Процесс завершается консолидацией (связной) смеси при содержании в ней 3...6% глинистых коллоидных частиц и 10...20% (по массе) воды. Такой поток включает в себя 80...90% (по массе) твердого материала и 10...20% воды (в связанном состоянии). Плотность подобной смеси находится в пределах 1,8...2,3 т/м³, движущая среда – пластический грязекаменный конгломерат [10, 11].

Материалы и методы исследования. Как и в водных потоках в связанных селевых потоках наблюдается гидравлический прыжок.

В первую очередь следует определить критическую глубину и критический уклон.

Расход Q связанного селевого потока (см. рис.) следует определить по зависимости [2]:

$$Q = \frac{BgiH^3}{\nu} f(\beta); \quad (1)$$

$$f(\beta) = \frac{\beta}{2}(\beta^2 - 1) + \frac{1}{3}(1 - \beta^3), \quad (2)$$

где $\beta = h/H$ – относительная глубина; $\nu = \mu/\rho$ – кинематический коэффициент вязкости; ρ – плотность селя; μ – динамический коэффициент вязкости; H – полная глубина потока; h – глубина ядра структурной части потока; i – уклон русла; g –

ускорение свободного падения; B – ширина русла с прямоугольным поперечным сечением.



Схема распределения скоростей по вертикали в селевом потоке (пояснения в тексте)

Формула для определения скорости связанного селевого потока имеет вид:

$$V = \frac{giH^2}{\nu} f(\beta). \quad (3)$$

Число Фруда Fr для связанного селевого потока с учета (3) определяется по зависимости вида:

$$Fr = V^2/(gH) = [gi^2H^3f(\beta)^2]/\nu^2. \quad (4)$$

Критическая $H_{кр}$ глубина связанного селевого потока при $Fr = 1$ будет определяться как:

$$H_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\nu^2}{gi_{кр}f(\beta)^2}}. \quad (5)$$

Тогда критический уклон $i_{кр}$:

$$i_{кр} = \sqrt{\frac{\nu^2}{H_{кр}^3gf(\beta)^2}}. \quad (6)$$

При $Fr > [gi^2H^3f(\beta)^2]/\nu^2$ будет наблюдаться спокойное течение потока, при $Fr < [gi^2H^3f(\beta)^2]/\nu^2$ – бурное течение.

Известно, что уравнение гидравлического прыжка имеет вид [3]:

$$\frac{Q^2}{g\omega_1} + H_1\omega_1 = \frac{Q^2}{g\omega_2} + H_2\omega_2, \quad (7)$$

где ω – площадь живого сечения потока; H_1 и H_2 – соответственно первая и вторая сопряженные глубины.

Вторую H_2 сопряженную глубину можно определить по зависимости:

$$H_2 = 0,5H_1 \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{H_{к\mu}}{H_1} \right)^3} - 1 \right], \quad (8)$$

а с учетом (5):

$$H_2 = 0,5H_1 \left[\sqrt{1 + 8 \frac{v^2}{H_1^3 g f(\beta)^2}} - 1 \right]. \quad (9)$$

Аналогично можно записать выражение для первой сопряженной глубины:

$$H_1 = 0,5H_2 \left[\sqrt{1 + 8 \frac{v^2}{H_2^3 g f(\beta)^2}} - 1 \right]. \quad (10)$$

Скорость V_{\max} (см. рис.) структурной части селевого потока определяется по зависимости из [6]:

$$V_{\max} = V(3/2), \quad (11)$$

где V – средняя скорость связного селевого потока.

Формула для расчета глубины структурной части потока имеет вид при $(3V/V_0) > 2$:

$$h = H \left(3 \frac{V}{V_{\max}} - 2 \right). \quad (12)$$

Если обозначить расход Q на единицу ширины русла B через q , то:

$$q = Q/B = [giH_1^2 f(\beta)]/v. \quad (13)$$

В том случае когда глубина по длине пути будет переменной, назовем эту глубину критической глубиной для переменного расхода и обозначим через $H_{\text{п.кр.}}$.

Расход q_1 на единицу длины потока x шириной B :

$$q = Q/(Bx) = [giH_1^2 f(\beta)]/[vx]. \quad (14)$$

$$H_{\text{п.кр.}} = \sqrt[3]{\frac{q_1 x^2}{g}}. \quad (15)$$

Тогда можно получить формулу для определения критической глубины потока в виде:

Результаты исследований и их обсуждение. В настоящей работе предпочтение дается феноменологическому подходу, где некоторые рассуждения часто носят интуитивный характер и не опираются на строгих математических и физических постулатах. При этом подходе иногда допускаются кажущиеся на первый взгляд противоположные рассуждения для рассмотрения разных проблем, что делается для достижения конкретной цели при решении гидравлических задач. Для наглядности этого суждения достаточно сослаться на случай описания движения связного селевого потока, при котором делается попытка совместить как будто противоположные положения относительно «твердых» и «текучих» (вязких) тел (движение «квазитвердого» тела). Такое представление о движении ньютоновских тел приводит нас к нестрогому (приближенному) определению этих понятий. Для инженера это несущественно, важно, что подход удачно работает с позиции практических расчетов.

Концепция о «твердом» теле подразумевает, что величина деформации зависит от величины действующей силы, тогда как согласно концепции «вязкого» тела величины деформации зависят от скорости деформации. В первом случае тело сохраняет свою первоначальную форму, тогда как во втором случае этим свойством тело не обладает или обладает частично. Несмотря на противоречие, с практической точки зрения в феноменологическом подходе представляется возможным изучение вопросов динамики неньютоновских жидкостей, в том числе и селевых потоков, совмещая несовместимое.

В данном случае основное внимание сосредоточивается на то, что жидкость (т.е. селевой поток) «прилипает» к стенке русла, в результате чего у контактной плоскости потока с руслом наблюдается градиент скорости.

В последнее время в технической литературе появились работы, которые рассматривают явления «скольжения».

Совмещение несовместимости часто трактуется как «кентавризм», указывая на возможность сосуществования противоположностей неньютоновских жидкостей на контактной поверхности без прилипания. Аналогичную схему можно применить и по отношению связных селей.

В общем случае жидкость, конечно, не «скользит» по контактной поверхности потока с руслом, как «твердое» тело. Неньютоновские же жидкости могут «скользить» по поверхности, как «твердое» тело, лишь в том случае, если касательное напряжение у контактной поверхности меньше предела текучести неньютоновской жидкости. Когда касательные напряжения превышают этот предел, наблюдается скольжение на прослойке пристенного граничного подслоя.

В настоящей части работы делается попытка выразить расход безнапорного движения как ньютоновских, так и неньютоновских жидкостей с помощью такого описанного выше подхода.

Заключение

Приведенные зависимости позволяют судить о бурном, спокойном и критическом состояниях связного селевого потока как с постоянным так

и переменным расходом по пути. Анализ физического смысла полученной формулы показывает, что в связанных селевых потоках для характеристики состояния потока решающую роль играет наряду с относительной глубиной потока, кинематический коэффициент вязкости.

Библиографический список

1. Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси, издательство «Сабчета Сакартвело», 1970, 385с.
2. Натишвили О.Г., Круашвили И.Г., Инашвили И.Д. - Прикладные задачи динамики связанных селевых потоков. Москва, ООО «Научтехлитиздат», 2018. 141 с.
3. Штеренлихт Д.В. Гидравлика, Москва, «Энергоатомиздат», 1984, 639 с.
4. Натишвили О.Г., Губеладзе Д.О. Некоторые соображения о гидравлическом моделировании связанных селевых потоков // Экологические системы и приборы. 2017. № 12. С. 12-18.
5. Натишвили О.Г., Губеладзе Д.О. Критериальное условие устойчивости равномерного движения взвешенного потока в руслах с большими уклонами // Экологические системы и приборы. 2017. № 4. С.8-10.
6. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Оценка глубин без градиентного и градиентного слоев гиперконцентрированного селевого потока // Гидротехническое строительство. 2011. № 12. С. 57-59.
7. Aratano M., Deganutti A. Mazchil Debris Flow Monitoring Activities in an Instrumental Watershed on the Italian Alps // Debris-Flow Hazard Mitigation. Proceeding of First International Conference. San Francisco, 1997, ASCE, pp. 506-515.
8. Gartner J. , Relation between debris-flow volumes generated from recently burned basins and basin morphology storm rainfall and material properties M.S. thesis, University of Colorado , Boulder , CO, 2005, 73 p.
9. Garson B. Erosion and Sedimentation Process in the Nepalese Himalaya // ICIMOD Occasional Paper №2 / Kathmandu, Nepal, August, 1985, p. 39
10. Scotto Di., Santolo A. , Evangelista A., Some observation on the prediction of the dynamic parameters of debris flows in pyroclastic deposits in the Campania

region of Italy . Int. Journal of Natural Hazards 50, 2009, pp. 605-622.

11. Hirano M., Harada T., Banihabib M., Kawahara K. Estimation of Hazard Area Duct to Debris Flow. //DebrisFlow Hazard Mitigation. Proceeding of First International Conference. San Francisco, 1997, ASCE, pp. 697-706.

References in roman script

1. Gagoshidze M.S. Selevye yavleniya i bor'ba s nimi. Tbilisi, izdatel'stvo «Sabcheta Sakartvelo», 1970, 385s.
2. Natishvili O.G., Kruashvili I.G., Inashvili I.D. - Prikladnye zadachi dinamiki svyaznyh selevyh potokov. Moskva, OOO «Naughtekhlitizdat», 2018. 141 s.
3. SHterenliht D.V. Gidravlika, Moskva, «Energoatomizdat», 1984, 639 s.
4. Natishvili O.G., Gubeladze D.O. Nekotorye soobrazheniya o gidravlicheskom modelirovanij svyaznyh selevyh potokov // Ekologicheskie sistemy i pribory. 2017. № 12. S. 12-18.
5. Natishvili O.G., Gubeladze D.O. Kriterial'noe uslovie ustojchivosti ravnomernogo dvizheniya vzvesenesushchego potoka v ruslah s bol'shimi ukлонami // Ekologicheskie sistemy i pribory. 2017. № 4. S.8-10.
6. Natishvili O.G., Tevzadze V.I. Ocenka glubin bez gradientnogo i gradientnogo sloev giperkoncentrirovannogo selevogo potoka // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. 2011. № 12. S. 57-59.
7. Aratano M., Deganutti A. Mazchil Debris Flow Monitoring Activities in an Instrumental Watershed on the Italian Alps // Debris-Flow Hazard Mitigation. Proceeding of First International Conference. San Francisco, 1997, ASCE, pp. 506-515.
8. Gartner J. , Relation between debris-flow volumes generated from recently burned basins and basin morphology storm rainfall and material properties M.S. thesis, University of Colorado , Boulder , CO, 2005, 73 p.
9. Garson B. Erosion and Sedimentation Process in the Nepalese Himalaya // ICIMOD Occasional Paper №2 / Kathmandu, Nepal, August, 1985, p. 39
10. Scotto Di., Santolo A. , Evangelista A., Some observation on the prediction of the dynamic parameters of debris flows in pyroclastic deposits in the Campania

11. Hirano M., Harada T., Banihabib M., Kawahara K. Estimation of Hazard Area Duct to Debris Flow. //DebrisFlow

Hazard Mitigation. Proceeding of First International Conference. San Francisco, 1997, ASCE, pp. 697-706.

Дополнительная информация

Сведения об авторе:

Натишвили Отар Георгиевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН Грузии; Национальная академия Наук Грузии; Грузия, г. Тбилиси, проспект Руставели, 52.

Губеладзе Давид Отарович, доктор технических наук, профессор; Грузинский технический университет; Грузия, г. Тбилиси, ул. Гурамишвили, 24.



В этой статье под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International License, которая разрешает копирование, распространение, воспроизведение, исполнение и переработку материалов статей на любом носителе или формате при условии указания автора(ов) произведения, защищенного лицензией Creative Commons, и указанием, если в оригинальный материал были внесены изменения. Изображения или другие материалы третьих лиц в этой статье включены в лицензию Creative Commons, если иные условия не распространяются на указанный материал. Если материал не включен в лицензию Creative Commons, и Ваше предполагаемое использование не разрешено законодательством Вашей страны или превышает разрешенное использование, Вам необходимо получить разрешение непосредственно от владельца(ев) авторских прав.

Для цитирования: Натишвили О.Г., Губеладзе Д.О. Гидравлический прыжок в связанных селевых потоках // Экология и строительство. 2020. № 2. С. 36–40. doi: [10.35688/2413-8452-2020-02-005](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2020-02-005).

Additional Information

Information about the author:

Natishvili Otar Georgievich, doctor of technical sciences, professor, academician of Georgian NAS; Georgian National Academy of Sciences; 52 Rustaveli Avenue, Tbilisi, Georgia.

Gubeladze David Otarovich, doctor of technical sciences, professor; Georgian Technical University; 24 Guramishvili st., Tbilisi, Georgia..



This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

For citations: Natishvili O.G., Gubeladze D.O. Hydraulic jump in cohesive mudflow // Ekologiya i stroitelstvo. 2020. № 2. P. 36–40. doi: [10.35688/2413-8452-2020-02-005](https://doi.org/10.35688/2413-8452-2020-02-005).