

# **DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection**

---

Proceedings  
of the 5<sup>th</sup> International Conference

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



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

---

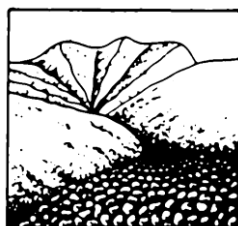
Publishing House “Universal”  
Tbilisi 2018

# **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

---

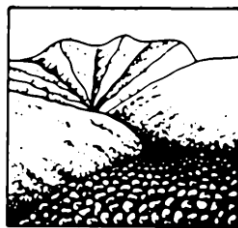
Издательство Универсал  
Тбилиси 2018

# 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: 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



## Гидравлический расчет противоселевого сооружения с донной решеткой для гашения кинетической энергии несвязного селевого потока с целью трансформации его в обыкновенный наносонесущий поток

О.Г. Натишвили<sup>1</sup>, Г.В. Гавардашвили<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальная академия наук Грузии, Тбилиси, Грузия, o.natishvili@gtu.ge

<sup>2</sup>Институт водного хозяйства им. Ц. Мицхулава Грузинского технического университета, Тбилиси, Грузия, givi\_gava@yahoo.com

Основным элементом противоселевого сооружения с донной решеткой является металлическая решетка, которая обеспечивает частичное разделение твердого и водного компонентов смеси. Решетка обеспечивает гашение той части кинетической энергии потока, которая проходит через решетку. Этим транспортирующая способность потока значительно снижается и происходит выпадение крупных каменных включений в зоне построенного сооружения.

*несвязный селевой поток, донная решетка, трансформация, наносонесущий поток*

## Hydraulic calculation of anti-mudflow structure with a bottom grating to extinguish the kinetic energy of noncohesive debris flow to transform it into an ordinary silt-carrying flow

O.G. Natishvili<sup>1</sup>, G.V. Gavardashvili<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Georgia National Academy of Sciences, Tbilisi, Georgia, agr.otari@science.org.ge

<sup>2</sup>Ts. Mirtskhulava Water Management Institute of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, givi\_gava@yahoo.com

The principal component of the anti-mudflow structure with a bottom grating is metal grating, which provides an incomplete isolation of the solid and watery components of the mixture. The grating ensures the extinguishment of the part of the kinetic energy of the flow passing through the grating. As a result, the transportability of the flow reduces significantly and large stone admixtures fall out into the zone of the built structure.

*noncohesive debris flow, bottom grating, transformation, silt-carrying flow*

### Введение

Основным элементом противоселевого сооружения с донной решеткой является металлическая решетка (с продольным или поперечным расположением стержней). Она обеспечивает частичное разделение твердого и водного компонентов смеси (рис. 1). На каждой ступеньке каскада решетчатых сооружений из поступающего потока постепенно выпадают твердые включения с заданным диаметром камней. В зависимости от рельефа местности, где намечено строительство, сооружения размещаются таким образом, чтобы максимальное количество крупных включений имело возможность отложения в русле водотока.

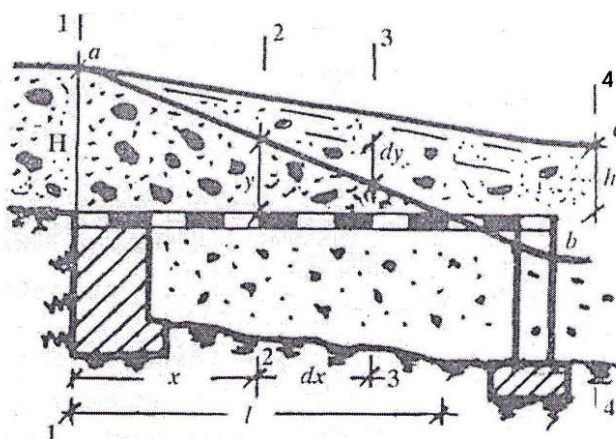


Рис. 1. Схема противоселевого сооружения с донной решеткой.

Решетка может иметь как нулевой, положительный, так и отрицательный уклон. При этом положительный уклон решетки должен быть меньше уклона дна водотока, с целью обеспечения свободного прохождения (полного или частичного) расхода поступающего потока. Решетка обеспечивает гашение той части кинетической энергии потока, которая проходит через решетку. Этим транспортирующая способность потока значительно снижается и происходит выпадение (отложение) крупных каменных включений в зоне построенного сооружения [Натишвили, Тевзадзе, 2012; Натишвили и др., 2014; Натишвили, Гавардашвили, 2015].

Расстояние между стержнями решетки на конкретном участке каскада сооружений назначается в зависимости от заданного минимального диаметра каменных включений, которые следует пропустить ниже сооружения.

Опоры решеток следует расположить в расширенной части русла таким образом, чтобы можно было обеспечить свободный пропуск потока в нижний бьеф.

Прочность противоселевого сооружения возможно принять меньше прочности монолитного сооружения, так как конструкция этого сооружения не подвергается лобовому удару поступательного потока. При эксплуатации каскада допускается выход из строя нескольких конструкций решетчатых сооружений. Следует отметить, что при выходе сооружения из строя (т.е. при полном его занесении), оно еще в состоянии выполнять частично возложенные на него функции. Из-за простоты конструкции не требуется ее высокая прочность, стоимость таких сооружений значительно ниже по сравнению с капитальными противоселевыми сооружениями, предназначенными для этих же целей.

В каскаде на каждой ступени комплекса сооружений происходит как гашение кинетической энергии потока, так и уменьшение расхода селевого потока за счет выпадания по пути твердого компонента смеси.

Гидравлический расчет сооружения сводится в основном к нижеприведенным задачам.

### Гидравлический расчет неподтопленного сооружения с нулевым уклоном донной решетки

Для створа 1-1 (рис. 1), применив уравнение неподтопленного водослива с широким порогом, без бокового сжатия, будет иметь [Натишвили, Тевзадзе, 2012; Натишвили, Гавардашвили, 2015]:

$$q_B = \mu \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$



где:  $q_B = \frac{Q}{B}$  - расход потока на единицу ширины в створе 1-1;  $B$  - ширина донной решетки;  $\mu$  - безразмерный коэффициент расхода неподтопленного водослива при входе на решетку.

Так как поток на решетке движется с переменным расходом вдоль пути, тогда в створе 2-2 (т. е. на расстоянии  $x$  от створа 1-1) расход на единицу ширины потока на решетке с глубиной  $y$  будет:

$$q_x = \mu_H \sqrt{2g} y^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

где:  $\mu_H$  - коэффициент расхода потока, оставшегося на поверхности решетки. Для створа 3-3, что находится на расстоянии от створа 2-2, будем иметь:

$$q_{(x-dx)} = \mu_H \sqrt{2g} (y-dy)^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

Принимая во внимание, что

$$(y-dy)^{\frac{3}{2}} \cong y^{\frac{3}{2}} - \frac{3}{2} y^{\frac{1}{2}} dy \quad (4)$$

или с учетом (4) взамен (3) будем иметь:

$$q_{(x+dx)} = \mu_H \sqrt{2g} \left( y^{\frac{3}{2}} - \frac{3}{2} y^{\frac{1}{2}} dy \right) \quad (5)$$

Разность расходов, оставшихся на  $dx$  участке решетки будет:

$$q_x - q_{(x+dx)} = \frac{3}{2} \mu_H \sqrt{2g} y^{\frac{1}{2}} dy \quad (6)$$

Разность расходов в пределах решетки вызвана проваливанием части расхода воды вместе с наносами определенного диаметра.

«Накопление» крупных каменных включений над решеткой, что уменьшает пропускную способность решетки, можно оценить поправочным коэффициентом  $n$ , тогда взамен (6) будем иметь:

$$q_1 - q_{(x+dx)} = \frac{3}{2} \mu_H n \sqrt{2g} y^{\frac{1}{2}} dy \quad (7)$$

С другой стороны, на участке  $dx$  среднее давление над решеткой, что обеспечивает проваливание расхода смеси через решетку, будет:

$$y - \frac{dy}{2} \approx y$$

а расход потока, провалившегося на единицу ширины решетки на участке  $dx$



$$q_p = \mu_p \varepsilon \sqrt{2gy} dx \quad (8)$$

где:  $\varepsilon = \frac{w_1}{w}$  - коэффициент стеснения решетки;  $w_1$  - общая площадь отверстий решетки;  $w$  - площадь, перекрываемая решеткой;  $\mu_p$  - коэффициент расхода решетки;  
Приравнявая (7) и (8) с отрицательным знаком, будем иметь:

$$\frac{3}{2} \mu_H n dy = \mu_p \varepsilon dx \quad (9)$$

Интегрирование (9) с учетом граничных условий (при  $x = 0$ ,  $y = H$ ) дает:

$$y = H - \frac{2}{3} \frac{\mu_p \varepsilon x}{\mu_H n} \quad (10)$$

Зависимость (10) дает возможность судить о свободной поверхности потока над решеткой (рис.1, линия  $ab$ ).

Длина решетки для пропускания полного расхода через решетку будет (при  $y = 0$ ,  $x = l$ ):

$$l = \frac{3}{2} \frac{\mu_H n H}{\mu_p \varepsilon} \quad (11)$$

#### Гидравлический расчет подтопленного противоселевого сооружения с нулевым уклоном донной решетки

В том случае, когда с нижнего бьефа решетка подтоплена с глубиной  $h$ , то, проводя аналогичные выкладки, как и выше, будем иметь:

$$q_x = \mu_H K_n \sqrt{1 - K_n} \sqrt{2gy}^{3/2} \quad (12)$$

$$q_{(x+dx)} = \mu_H K_n \sqrt{1 - K_n} \sqrt{2g} \left( y^{3/2} - \frac{3}{2} y^{1/2} dy \right) \quad (13)$$

$$q_x - q_{(x+dx)} = \frac{3}{2} \mu_H K_n \sqrt{1 - K_n} \sqrt{2g} y^{1/2} dy \quad (14)$$

$$q_p = \mu_p \varepsilon \sqrt{1 - K_n} \sqrt{2g} y^{1/2} dy \quad (15)$$

$$y = H - \frac{2}{3} \frac{\mu_p \varepsilon}{\mu_H n K_n} x \quad (16)$$

$$l = \frac{3}{2} \frac{\mu_H n K_n}{\mu_p \varepsilon} (H - h) \quad (17)$$





где:  $K_n = \frac{h}{H}$  - коэффициент подтопления решетки;  $h$  - высота подтопления.

Полученные зависимости (16), (17) позволяют судить об изменении глубины потока над решеткой (рис. 1, линия  $ac$ ) или определить длину решетки для пропуска полного расхода несвязного селя через решетку.

Гидравлический расчет подтопленного противоселевого сооружения с положительным уклоном донной решетки.

При проектировании решетчатых сооружений следует учесть, что уклон донной решетки ( $i_p$ ) должен быть меньше уклона водотока ( $i_B$ ) на этом участке.

По аналогии с предыдущими задачами, для неподтопленной решетки будем иметь:

$$q_x - q_{(x+dx)} = \frac{3}{2} C \sqrt{i_p} y^{\frac{1}{2}} dy \quad (18)$$

где:  $C$  - коэффициент Шези, учитывающий накопление твердого компонента над решеткой.

Принимая во внимание (8), с учетом граничных условий (при  $x=0$ ,  $y=H$ ) имеем:

$$y = H - \frac{2\mu_p \varepsilon \sqrt{2g} x}{3C \sqrt{i_p}} \quad (19)$$

Для подтопленной решетки:

$$y = H - \frac{2\mu_p \varepsilon \sqrt{1-K_n} \sqrt{2g} x}{3C \sqrt{i_p}} \quad (20)$$

Длина решетки  $l$  для пропуска полного расхода селевого потока через решетку соответственно будет:

для неподтопленной решетки –

$$l = \frac{3C \sqrt{i_p} H}{2\mu_p \varepsilon \sqrt{2g}}, \quad (21)$$

для подтопленной решетки:

$$l = \frac{3C \sqrt{i_p} (H - h)}{2\mu_p \varepsilon \sqrt{1-K_n} \sqrt{2g}} \quad (22)$$

С целью назначения просвета (т.е. расстояния между стержнями решетки для первого приближения частично можно воспользоваться методикой, изложенной в [Усовершенствование..., 1957; Методические..., 1978; Натишвили, Гавардашвили, 2015].



После разумного осуществления строительства каскада рекомендуемых сооружений, несвязный селевой поток можно трансформировать в обыкновенный наносонесущий поток.

### Список литературы

- Методические рекомендации по гидравлическому расчету селезадерживающих и селепропускных сооружений (1978). Тбилиси, 58 с.
- Усовершенствование водоприемника донной решеткой (1957). Труды ГрузНИИ механизации и электрификации сельского хозяйства, Вып. 2, Тбилиси, 51-71.
- Натишвили О.Г., Гавардашвили Г.В. (2015). Расчет характеристик движения головной части связного селевого потока. Сборник научных трудов Института водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава Грузинского технического университета, 70: 138-143.
- Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. (2012). Одномерные наносонесущие русловые потоки. М., Научтехлитиздат, 192 с.
- Натишвили О.Г., Урушадзе Т.Ф., Гавардашвили Г.В. (2014). Волновое движение склонового стока и интенсивность эрозии почвогрунтов. М., Научтехлитиздат, 162 с.