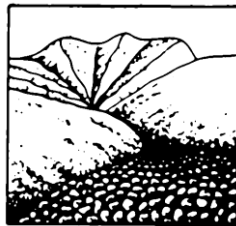


# **DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection**

---

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

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



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

---

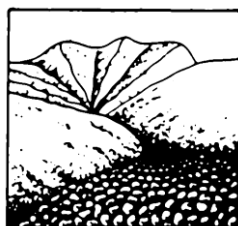
Publishing House “Universal”  
Tbilisi 2018

# **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

---

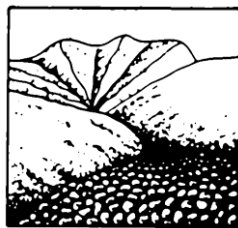
Издательство Универсал  
Тбилиси 2018

# 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: 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



## Прогноз положения поверхности отложений на верхнем бьефе селезащитных сооружений

П.О. Балджян<sup>1</sup>, В.О. Токмаджян<sup>1</sup>, В.П. Балджян<sup>2</sup>, А.В. Баюнц<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Шушинский технологический университет, Шуши, Республика Армения, baljyan-1951@list.ru, tokmajyanv@gmail.com, bayunc1986@mail.ru

<sup>2</sup>ЗАО «Аэрокомполит», Москва, Россия, baljyan@mail.ru

На верхних бьефах противоселевых сооружений, особенно весной и осенью, развивается процесс накопления наносов. Прогнозирование окончательного положения стабилизированной поверхности накоплений является важным условием установления объёма накоплений и размеров селезащитного сооружения. Существующие предложения по прогнозированию координат стабилизированной поверхности отложений имеют серьезные недостатки. Они не раскрывают многофакторный гидродинамический процесс, протекающий перед сооружением. Целью работы является разработка теоретических основ прогнозирования координат стабилизированной поверхности на верхнем бьефе селезащитного сооружения. Проведены натурные наблюдения и исследования наносного режима рек. Параметры, характеризующие русло и поток горных и предгорных рек по длине водотока, сильно меняются. Поэтому очень важно, во-первых, установить значения параметров того участка водотока, под влиянием которых происходит процесс стабилизации наносовых отложений. Обосновано, что таковым является конечный участок транзитной зоны реки, где поток приобретает предельную наносонесущую способность. Величины именно этого «предельного» участка русла диктуют, какой будет форма образования конечной стадии любых руслоформирований в русле, в том числе и на верхнем бьефе сооружений. Процесс накопления речных наносов при нестационарных природных явлениях с течением времени затухает. На данном участке будут установлены новые русловые условия, соответствующие стабилизированному режиму и восстановлению баланса водонаносного расхода. Используя предложения по определению расхода наносов в результате изменения балансового уравнения, была установлена связь между гидравлическими параметрами, характеризующая «предельный» участок и зону отложений наносов. Одновременно доказано, что система уравнений неравномерного движения, неравновесности одномерного потока и баланса наносов без существенных допущений может быть применена для турбулентных селей. В результате проведённых разработок получено безразмерное уравнение для определения координат поверхности селевых отложений. Это уравнение даёт возможность прогнозировать результаты стабилизирующихся руслообразований природного и искусственного происхождения на верхних бьефах селезащитных сооружений.

*селевой поток, сооружение, наносы, русло, отложения, процесс стабилизации, руслообразование.*

## The prediction of surface position of sediments in the upper bay of mudflow protection structures

P.O. Baljyan<sup>1</sup>, V.O. Tokmajyan<sup>1</sup>, V.P. Baljyan<sup>2</sup>, A.V. Bayunts<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shushi Technological University, Shushi, Republic of Armenia, baljyan-1951@list.ru, tokmajyanv@gmail.com, bayunc1986@mail.ru

<sup>2</sup>“Aerocomposit” CJSC, Moscow, Russia, baljyan@mail.ru



The phenomenon of accumulation of sediments develops in the upper bays of anti-precipitation and mudflow protection structures, especially in spring and autumn. Predicting the final form of the stabilized accumulation surfaces is an important condition on the basis of which the volume of accumulations and dimensions of the structure is calculated. Existing proposals for predicting the coordinates of the stabilized accumulation surface have serious shortcomings. They do not disclose the hydrodynamic multifactor phenomena occurring on the upper bays of the structures. The aim of the work is the development of the theoretical basis for predicting the determination of the stabilized surface of accumulated sediments in the upper bays of mud protection constructions. We conducted field of natural observations and studies of the alluvial regime of rivers. The parameters characterizing the bed and stream of mountain and foothill rivers along the length of the watercourse vary greatly. Therefore, it is very important to establish the values of the parameters of that section of the watercourse under the influence of which the process of stabilization of alluvial sediments occurs. Based on the analysis of the results of the studies, it is proved that it is the final section of the river transit zone where the stream acquires the ultimate alluvial capacity. The values of the very "limiting" section of the channel claim what the form of the formation of the final stage of any channel formations in the stream will be including the upper bay of the structures. The process of accumulation of river alluvial in non-stationary natural phenomena dies out over time. New watercourse conditions will be established in this section corresponding to the stabilized regime and the balance rate of water alluvial is established. Using the proposals for determining the sediment discharge as a result of the change in the balance equation, the relations were established between the hydraulic parameters characterizing the "limiting" area and the sedimentation zone. Simultaneously, it was proved that the system of equations of unequal movement, the continuity of dimensional flow and balanced alluvial can be applied to turbulent mudflows without significant assumptions. As a result of the processing a dimensionless equation for determining the coordinates of the surface of the mud sediments is obtained. This equation enables to predict the results of stabilizing changes in channels of natural and artificial origin in the upper bays of mud protection structures.

*mudflow, structures, alluvial, channel, sediments, process of stabilization, channel formation.*

## Введение

На верхних бьефах противоселевых заградительных сооружений, особенно весной и осенью, развивается процесс накопления наносов. Прогнозирование окончательного положения стабилизированной поверхности накоплений является важным условием установления объема накоплений и размеров селезащитного сооружения. Существующие предложения по прогнозированию координат стабилизированной поверхности отложений имеют серьезные недостатки. В частности, в этих предложениях использован ряд спорных положений и сомнительных гипотез. Это в основном следствие неправильного выбора тех характеристик водостока, под влиянием которых происходит стабилизация процесса отложения наносов. Одновременно, в основных уравнениях часто используются ненадежные связи и выражения. Из-за этого полученные результаты неточно раскрывают многофакторный гидродинамический процесс, протекающий перед сооружением [Флейшман, Перов, 1986; Тевзадзе, 1977].

Целью работы является разработка теоретических основ прогнозирования координат стабилизированной поверхности селеотложений на верхнем бьефе заградительного сооружения.

### Методика исследования

Предлагаемые разработки по прогнозу расположения поверхности селевых отложений перед селезаградительным сооружением основываются на три основные балансовые уравнения гидродинамики стационарного движения: энергии (уравнение движения потока), расходов воды и наносов (уравнения неразрывности потока и деформации русла). Одновременно использованы положения и закономерности, основанные на проведенных многолетних натурных и лабораторных исследованиях.

### Характеристики объекта

Предположим, что на определенном участке русла, из-за размещения селезаградительного сооружения, начинается процесс отложения наносов на его верхнем бьефе. До начала этого процесса имеем следующие исходные гидравлические и геометрические параметры:

- расходы потока и наносов:  $Q, Q_T$ ;
- наносонесущая способность потока:  $S$ ;
- продольный уклон русла и его вертикальная координата:  $i_r, z_r$ ;
- глубина потока, ширина русла, площадь, смоченный периметр и средняя скорость поперечного сечения движения:  $h_r, b_r, A_r, \chi_r, V_r$  (рис. 1).

Величины указанных параметров, кроме первых трех, по длине русла меняются.

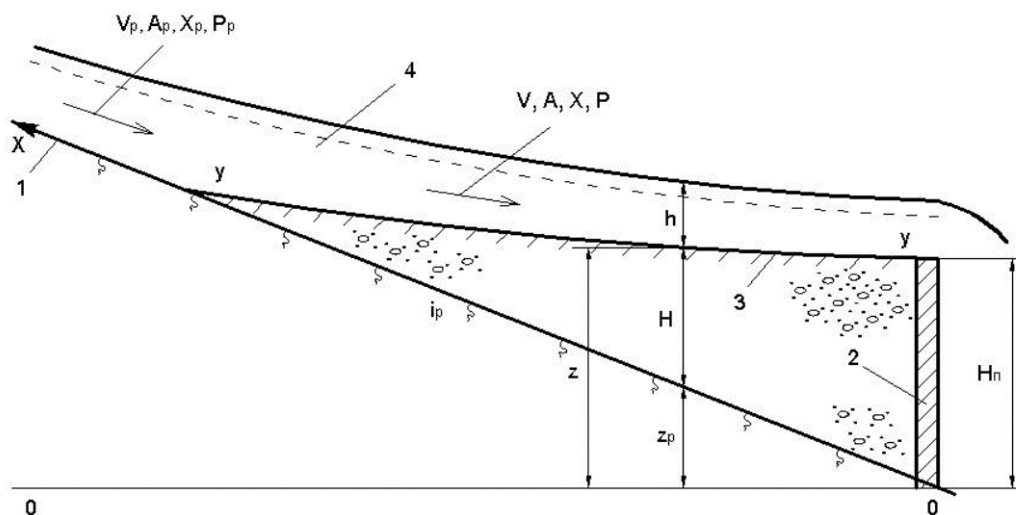


Рис. 1. Стабилизированный верхний бьеф селезаградительного сооружения. 1-начальное положение дна русла, 2- селезаградительное сооружение, 3-новое дно русла, образованное из отложений (поверхность  $y - y$ ).

После установления сооружения при сходе селей начнется нестационарный процесс отложения наносов. Через определенное время этот процесс приведет к полному заполнению верхнего бьефа. Подобно любому нестационарному явлению, восстановится стационарность движения и транзитная транспортировка наносов через сформированную поверхность селевых отложений  $y - y$  (рис.). Необходимо прогнозировать гидравлические и геометрические параметры этого нового русла:  $z, i, h, b, A, \chi, V$ .

### Полученные результаты

Параметры, характеризующие русло и поток по длине горных и предгорных водотоков, сильно меняются. Поэтому очень важно выявить и обосновать те значения этих параметров, которые диктуют режим установления стабилизированной стадии отложения наносов на верхнем бьефе. С этой целью были проведены многочисленные натурные наблюдения и экспериментальные исследования [Балджян, Бахиян, 2007;



«Защита народнохозяйственных..., 2004]. На основе анализа их результатов показано, что обоснованными являются те значения указанных параметров, которые соответствуют участку русла, где наносонесущая способность потока приобретает максимальную величину. Т.е., там поток движется с предельной транспортирующей способностью. Это означает, что в русле реки между зоной транзитного движения наносов и зоной их отложений находится очень важный участок (<предельный>), значения параметров которого диктуют каковым будет конечный результат любых руслообразующих процессов в данном водотоке. Параметры этого участка обозначены индексом <0>.

Для оценки наносного режима вододоков около 40 известных в литературе предложений по определению расхода наносов и транспортирующей способности подвержены количественному и качественному анализу. В результате, в условиях соблюдения баланса наносов, получена обобщающая зависимость [Балджян, 2005]:

$$\chi = A^a, \quad (1)$$

где,  $a$  - показатель, учитывающий многообразие анализированных предложений в пределе 2,7...4,2.

Логично, что подобно любому начатому нестационарному изменению, процесс отложения наносов тоже со временем завершится, и верхний бьеф сооружения будет полностью наполнен селевой массой. Установятся новые условия для русла и потока (рис. 1). В этом случае параметры движения практически не зависят от времени и меняются только по длине движения  $x$ .

Таким образом, вместо решений сложного нестационарного явления по установлению конечного результата отложений наносов, предлагается новая, более простая физическая модель, которая полноценно отражает гидродинамику протекающего процесса. На ее основе будет составлена соответствующая математическая модель. В условиях новой постановки задач можем использовать систему известных уравнений стационарного турбулентного движения потока:

$$\frac{dz}{dx} + \frac{dh}{dx} + \frac{d}{dx} \left( \frac{V^2}{2g} \right) = \frac{dh_f}{dx}, \quad (2)$$

$$A \cdot V = const, \quad (3)$$

$$\chi = A^a. \quad (4)$$

(Положительное направление координата  $x$  принято против течения).

В работе [Tokmajyan et al., 2009] доказано, что уравнение неравномерного движения водного потока (2) вполне допустимо использовать и для турбулентных селей в пределах изменения их объемной концентрации наносов до значения 0,4.

Указанную систему уравнений удобно представить в безразмерном виде. Масштабом линейной безразмерности выбрана ширина <предельного участка> русла  $b_0$ . Тогда будем иметь:

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} - \frac{Fr_0}{\beta_0} \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} = \frac{i_0}{\bar{C}^2} \bar{V}^2, \quad (5)$$

$$\bar{A} \cdot \bar{V} = 1, \quad (6)$$





$$\bar{\chi} = \bar{A}^a, \quad (7)$$

где  $Fr_0$  - число Фруда на предельном участке.

Правая часть уравнения (5) представляет потерю энергии. С учетом формулы Шеззи, после некоторых преобразований получим:

$$\frac{\bar{V}^2}{C^2 \bar{R}} = \frac{\bar{n}_c^2}{\bar{A}^2 (\bar{A}/\bar{\chi})^{4/3}} = \frac{\bar{n}_c^2 \bar{\chi}^{4/3}}{\bar{A}^{10/3}}, \quad (8)$$

где  $\bar{n}_c$  - приведенный коэффициент шероховатости (при движении селевого потока).

Используя зависимость (1) и известную формулу Штриклера-Чанга, потери энергии можно представить в виде:

$$\frac{\bar{V}^2}{C^2 \bar{R}} = \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{A}^{(4a-10)/3} \quad (9)$$

Таким образом, из совместного решения уравнений (2), (3) и (4) для расчета координат стабилизированной, конечной поверхности селеотложений на верхнем бьефе задерживающих сооружений получается следующее дифференциальное линейное уравнение:

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} - \frac{Fr_0}{\beta_0 \bar{A}^3} \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{A}^{(4a-10)/3}. \quad (10)$$

Оно обобщает основные уравнения баланса энергии, жидкого и твердого составляющих потока, а также ряда известных закономерностей, оценивающих наносный режим и русловых условий. Данное уравнение устанавливает связь между координатами стабилизированной поверхности отложений наносов  $\bar{z}$ , глубиной транзитного потока  $\bar{h}$  и площадью его живого сечения  $\bar{A}$  (рис.). Уравнение (10) применительно для различных русловых условий.

Для получения окончательного решения задачи необходимо конкретизировать поперечные формы верхнего бьефа и поперечное сечение потока. Это позволит установить закономерности между параметрами  $\bar{z}$ ,  $\bar{h}$  и  $\bar{A}$ .

### Заключение

Полученные результаты позволяют для различных условий селевого русла, заградительного сооружения и селевого потока прогнозировать положение конечной, стабилизированной поверхности селевых отложений на верхнем бьефе селезадерживающего сооружения. В разработках анализированы и оценены пределы применимости использованных уравнений и закономерностей.

Разработанная математическая модель также может быть применена для прогноза других типов руслообразований (деформации подмостовых русел, отложения селевой массы в нижних, равнинных течениях русел, в задачах дельтообразования и т.д.).

### Список литературы

- Флейшман С.М., Перов В.Ф. (1986). Сели. М., Изд. МГУ, 286 с.  
Тевзадзе В.И. (1977). Методика расчета параметров селевых потоков и конструкций противоселевых сооружений, применяемых в Японии. ЦБНТИ Минводхоза СССР, Обзорная информация, №12, М., 48 с.



- Балджян П., Бахсян А. (2007). О методике расчета руслоформирующего процесс в верхнем бьефе селевых и паводковых задерживающих сооружений. Материалы V научно-технической конф. «Политранспортные системы», ч. 1, Красноярск, 334-340.
- Защита народнохозяйственных объектов от воздействия селевых потоков (2004). Материалы Международной конференции по селям, Пятигорск, 17-21 ноября 2003 г. Вып. 2, Пятигорск, 175 с.
- Балджян П.О. (2005). Определение зависимости между гидравлическими параметрами потока при постоянстве их наносонесущей способности. Известия НАН РА и ГИУА (серия ТН), Ереван, 58(2): 380-385.
- Tokmajyan H., Baljyan P., Sarukhanyan A. (2009). Boundaries of applicability of liquids flow regularities for mud flows. International Symposium on "Floods and modern methods of control measures" 23-28 September, 2009, Tbilisi, 492-494.