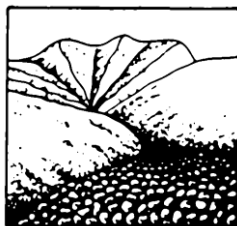


DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

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.



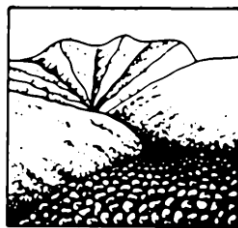
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

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



К анализу существующих методов определения скорости селевого потока

К.А. Гегиев, А.Х. Шерхов, З.Ж. Гергокова

*ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, Россия,
fff.ddd.11@mail.ru, zayna.gerg@mail.ru*

В данной статье рассматриваются дополнения к анализу ряд существующих эмпирических формул по определению скорости сошедшего селевого потока с натурными скоростями (7 примеров) приведенные в статье Н.В. Рухадзе [1984]. По результатам анализа определены рекомендуемые для практического использования (при натуральных обследованиях русла селевого водотока) эмпирические расчетные зависимости по определению скорости сошедшего селевого потока по руслу реки. Выбранные формулы не требуют определения значения удельного веса твердой фазы, удельного веса селя, относительной гидравлической крупности селевой массы, процент твердой составляющей селей и др. параметров, которые весьма затруднительно определить после схода селя.

сель, уклон русла, глубина потока, скорость селевого потока, селевая масса

The analysis of existing methods of determining the mudflow velocity

K.A. Gegiev, F.Kh. Sherkhov, Z.J. Gergokova

*FSBI "High-Mountain Geophysical Institute", Nalchik, Russia, fff.ddd.11@mail.ru,
zayna.gerg@mail.ru*

This article considers additions to the analysis of a number of existing empirical formulas for determining the velocity of the descent mudflow with full-scale velocities (7 examples) given in the article by N.V. Rukhadze [1984]. Based on the results of the analysis, the empirical calculated dependences recommended for practical use (in field surveys of the riverbed flow) for determining the velocity of the mudflow of descending the river bed were determined. The selected formulas do not require the determination of the specific gravity of the solid phase, the specific gravity of the mud, the relative hydraulic size of the mudflow, the percentage of the solid component of the mud flows and other parameters that are very difficult to determine after the mudflow.

mudflow, the slope of channel, the depth of the flow, the velocity of debris flow, mudflow mass

Для определения скорости селевого потока необходимы данные основных параметров, таких как уклон и ширина русла, средняя высота селевого потока, удельный вес твердой фазы и удельный вес селя, гидравлический радиус и др. Так как сели исследуются в основном после схода селевого потока, точное определение значений удельного веса твердой фазы удельного веса селя, относительной гидравлической крупности селевой массы, процента твердой составляющей селя и др. параметров весьма затруднительно. В связи с этими для анализа нами пополнен ряд рассмотренных в статье [Рухадзе, 1984] другими существующими эмпирическими формулами для определения



скорости потока в которых можно использовать данные, легко определяемые по оставленным следам и меткам сошедшего селя.

Сравнительный анализ сделан по натурным данным скоростей (V_n) селевого потока, указанным в литературе [Херхеулидзе И.И., 1970].

Формула определения скорости селевого потока, полученная из упрощенной формулы

$$V_c = \alpha \sqrt{d_{\max}} = 4 \sqrt{d_{\max}} \quad (1)$$

где α – параметр, в среднем принимаемый ($\alpha=4$) [Соколовский, 1947; Болдаков, 1972], d_{\max} – максимальный диаметр включения, вынесенного селевым потоком.

Для горных потоков большой мутности и переходных к селевым была предложена формула [Руководство..., 1976]:

$$V_c = 6.5 h_{cp}^{2/3} \cdot i^{1/4} \cdot \frac{1}{a_c} \quad (2)$$

где: h_{cp} – средняя глубина селевого потока; i – уклон исследуемого селевого русла;

$$a_c = \left[\frac{\gamma_T (\gamma_C - 1)}{\gamma_T - \gamma_C} + 1 \right]^{1/2} \quad (3)$$

в которой: γ_T – удельный вес твердой фазы селевого потока (2,4 - 2,7 т/м³); γ_C – удельный вес селевого потока (1.1 – 2.2 т/м³).

Для наносоводных селевых потоков (при γ_C до 1.1 т/м³) [Херхеулидзе И.И. и др., 1977; РД 52.30238-89, 1990; Никулин, 2005]:

$$V_c = 4.5 h_{cp}^{2/3} \cdot i^{1/6} \quad (4)$$

Для грязевых и грязекаменных селей (при γ_C от 1.14 до 2.29 т/м³) [Херхеулидзе И.И., 1970; Рухадзе, 1984; Никулин, 2005]:

$$V_c = 3.75 \sqrt{h_{cp}} \cdot \sqrt[6]{i} = 3.75 h_{cp}^{1/2} \cdot i^{1/6} \quad (5)$$

Формулы Болдакова Е.В. [Болдаков, 1972; Рухадзе, 1984]:

$$V_c = 15 h_{cp}^{2/3} i^{1/2} \left(\frac{0.70 - S_0}{0.70} \right)^{1/2} \quad (6)$$



$$V_c = 10h_{cp}^{2/3} i^{1/2} \left(\frac{0.70 - S_0}{0.70} \right)^{1/2} \quad (7)$$

где расчетная концентрация твердого материала для пиковой фазы селя определяется по формуле [Флейшман, 1978; Рухадзе, 1984]:

$$S_{0p} = \frac{S_{пт} \lambda_{S_p}}{1 + \frac{0.0555}{\mu(I:1000)^{X_2}}} \quad (8)$$

Здесь λ_{S_p} - переходный коэффициент от обеспеченности $p=1\%$ к заданной обеспеченности (равный единице при $p=1\%$); μ - коэффициент селеносности бассейна, определяемый по формуле:

$$\mu \geq 0.063I^{0.40} \quad (9)$$

где I – средний уклон главного тальвега в ‰,

$$X_2 = \frac{2,0}{(I + 32)^{0.2}} \quad (10)$$

Объемная концентрация, осредненная за весь паводок, определяется по формуле:

$$\bar{S}_{0p} = 1.065(S_{0p})^{1.25} \leq 0.645 \quad (11)$$

Формула Ростомова Г.Д. для галечно-валунных русел горных рек [Ростомов, 1969; Херхеулидзе И.И. и др., 1977]:

$$V_c = 11.6h_{cp}^{0.5 + \frac{0.74}{2.3 + 0.35h^2}} \cdot i^{0.36 + 2i} \quad (12)$$

Для критического (или волнового) режима без учета уклона i и влияния твердой фазы $\omega_{от}$ рекомендуется формула [Херхеулидзе И.И., 1970; Херхеулидзе И.И. и др., 1977; Херхеулидзе Г.И., 1977; Флейшман, 1978; Рухадзе, 1984]:

$$\left. \begin{aligned} V_c &= \alpha \sqrt{h_{cp}} \\ V_c &= 2.78 \sqrt{h_{cp}} = 2.78 \cdot h_{cp}^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где: α - параметр, изменяющийся в пределах 2-3, h_{cp} - средняя глубина селевого потока.



Формула И.И. Херхеулидзе для средней скорости селевого потока (равномерный режим) без учета твердой фазы [Ростомов, 1969; Флейшман, 1978; Рухадзе, 1984; РД 52.30.238-89, 1990, и др.] имеет вид:

$$V_c = 1.54 \sqrt{gh_{cp}} \sqrt[4]{i} = 4.83 h_{cp}^{0.5} i^{0.25} \quad (14)$$

где: h_{cp} – средняя глубина селевого потока; i – средний уклон русла на участке исследуемого створа.

Формула для максимальной скорости, не учитывающая твердой фазы [Флейшман, 1978]:

$$V_{max} = 10.75 \cdot h^{0.55} \cdot i^{0.33} \quad (15)$$

Решение системы уравнений на ЭВМ для описанного массива 76 точек по формуле 13 приближенного расчета средней скорости селевого потока с учетом твердой фазы [Ростомов, 1969; Рухадзе, 1984]:

$$V_c = 4.9 \cdot 1.06h^{0.47} i^{0.22} = 5.2h^{0.47} \cdot i^{0.22} \quad (16)$$

где: h – средняя глубина селевого потока; i – средний уклон исследуемого селевого русла.

Сравнивая выражения (13), (14) и (15) заметим, что параметры этих формул различаются весьма незначительно, что подтверждает надежность полученных результатов [Рухадзе, 1984].

Формула скорости селевого потока, полученная в результате функционального анализа, не учитывающая влияние твердой фазы имеет вид [Флейшман, 1978]:

$$V_c = 3.98h_{cp}^{0.508} i^{1/6} \quad (17)$$

После анализов существующих формул, выражение (17) нами усовершенствовано путем ввода коэффициента погрешности $K_i=1.1$, т.е. принимает вид:

$$V_c = 3.98 \cdot 1.1 \cdot h_{cp}^{0.505} \cdot i^{1/6} = 4.4 \cdot h_{cp}^{0.5} i^{0.17} \quad (18)$$

Сравнительные результаты расчета скоростей селевого потока по формуле (19) дают наилучшее приближение к натурным данным (таблица 1).

Формула скорости селевого потока при равномерном (мгновенный) режиме без учета влияния твердой фазы (формула Мосткова М.А.) [Флейшман, 1978]:

$$V_c = 1.09h_{cp}^{2/3} \cdot i^{1/3} \quad (19)$$



Анализ аналитических расчетных формул скорости селевого потока

Для сравнительного анализа расчетных формул (2,4-7,12-19) нами выбран ряд натуральных данных, полученных по семи примерам при различных данных (средней высоты селевого потока, уклона русла, удельного веса твердой фазы селя и удельного веса селя) [Ростомов, 1969].

Для оценки точности полученных результатов используется коэффициент среднеарифметического отношения между натурными (V_n) и вычисленными ($V_{выч}$) значениями скорости селевого потока:

$$K_i = \frac{V_{ni}}{V_{выч.i}} \quad (20)$$

$$\overline{K}_i = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n} \quad (21)$$

характеризующие непосредственные поправки к формуле скорости.

Натурные данные для сравнительного анализа формул (2, 4-7, 12-19) приведены в таблице 1 [Ростомов, 1969].

Таблица 1. Натурные данные для сравнительного анализа формул (2, 4-7, 12-19)

№ примера	$h_{ср}$ м	i	γ_c т/м ³	γ_T т/м ³	S_0	$\omega_{от}$	V_n
1	11,2	0,2	2,0	2,75	0,571	0,19	11,28
2	1,5	0,077	2,0	2,75	0,571	0,19	4,33
3	6,40	0,077	2,10	2,75	0,628	0,109	7,40
4	2,20	0,04	2,0	2,75	0,571	0,19	3,25
5	1,20	0,04	2,0	2,75	0,571	0,19	3,10
6	0,08	0,296	1,92	2,65	0,558	0,209	1,21
7	1,0	0,232	1,05	2,65	0,03	0,957	3,40

Результаты расчетов по формулам (2, 4-7, 12-19) и сравнение их по семи натурным примерам по таблице 1 приведены в таблице 2.

Вывод

Как видно из таблицы 2, наилучшее приближение к натурным данным дают формулы (5), (12), (16), (17), (18), совместное применение которых позволит взаимоконтролировать при расчете скорости селевого потока при практической исследовании селевого водотока по следам и меткам сошедшего селя.

Зная площадь поперечного сечения F (м²) и скорость селевого потока, можно определить еще один параметр – расход селя $Q_c = V_c \cdot F_c$ м³/с.



Таблица 2. Результаты расчета скоростей селевых потоков.

№ при-мера	Пара-метр	Формула ($V_{\text{выч}}$)												
		2	4	5	6	7	12	13	14	15	16	17	18	19
1	V	10.09	17.25	9.60	14.41	9.61	11.7	9.30	10.8	23.9	11.36	10.33	11.2	3.2
	Ki	1.12	0.65	1.18	0.78	1.17	0.96	1.21	1.04	0.47	0.99	1.09	1.01	3.52
2	V	2.08	3.84	2.98	2.34	1.56	4.19	3.39	3.10	5.77	3.58	3.16	3.48	0.61
	Ki	2.08	1.13	1.45	1.85	2.78	1.03	1.28	1.40	0.75	1.20	1.37	1.24	7.1
3	V	4.96	10.1	6.16	4.59	3.05	8.53	7.09	6.44	12.8	7.08	6.6	7.2	1.60
	Ki	1.49	0.73	1.20	1.61	2.43	0.87	1.04	1.15	0.58	1.04	1.12	1.02	4.62
4	V	2.27	4.44	3.25	2.18	1.45	4.83	4.12	3.20	5.73	3.71	3.43	3.77	0.63
	Ki	1.43	0.73	1.0	1.49	2.24	0.67	0.79	1.02	0.57	0.88	0.95	0.86	5.16
5	V	1.52	2.97	2.40	1.45	0.97	3.22	3.04	2.36	4.1	2.79	2.53	2.79	0.42
	Ki	2.04	1.04	1.29	2.14	3.20	0.96	1.02	1.31	0.76	1.11	1.22	1.11	7.3
6	V	0.428	0.683	0.866	0.684	0.455	0.459	0.786	1.01	1.8	1.21	0.76	1.01	0.13
	Ki	2.83	1.77	1.40	1.77	2.66	2.64	1.54	1.20	0.67	1.0	1.59	1.2	9.3
7	V	4.34	3.52	2.92	7.04	4.70	3.48	2.78	3.35	6.64	3.77	3.1	3.43	0.41
	Ki	0.78	0.96	1.16	0.48	0.72	0.98	1.22	1.01	0.53	0.92	1.10	0.99	8.29
8	\overline{K}_i	1.68	1.00	1.24	1.45	2.17	1.16	1.16	1.16	0.62	1.02	1.21	1.06	6.47

Список литературы

- Болдаков Е.В. (1972). Краткий справочник по трубам и малым мостам. М., Транспорт, 176 с.
- Никулин А.С. (2005). Максимальные расходы селей в бассейне р.Баксан (по следам потоков). Труды Всероссийской конференции по селям. М., 153-160.
- Соколовский Д.А. (1947). Селевые паводки, их гидрологические особенности и методы расчета // Метеорология и гидрология, 5: 65-75.
- РД 52.30.238-89 (1990). Руководство селестоковым станциям и гидрографическим партиям. Вып. I Организация и проведение работ по изучению селей. М., Гидрометеоздат.
- Ростомов Г.Д. (1969). Технические указания по расчету максимального стока рек в условиях Закавказья. Изд. ЗакНИГМИ, Тбилиси, 57 с.
- Рухадзе Н.В. (1984). К определению скоростей течения паводков и селевых потоков при проектировании селезащитных и селе пропускных сооружений. В кн.: Гидрологические и гидротехнические проблемы противоселевых мероприятий. М., Гидрометеоздат, 83 (903): 60-66.
- Руководство по изучению селевых потоков (1976). Ленинград, Гидрометеоздат.
- Флейшман С.М. (1978). Сели. Ленинград, Гидрометеоздат, 312 с.
- Херхеулидзе И.И., Рухадзе Н.В., Цквитинидзе З.И., Херхеулидзе Г.И., Кистаури М.М. (1977). Опыт применения статистических методов и использования ЭВМ для анализа скоростных характеристик селевых потоков. Труды ЗакНИГМИ, 48(54): 3-16.
- Херхеулидзе И.И. (1970). Скорости течения и русловые характеристики селевых потоков. – Труды ЗакНИГМИ, 1970, 40(46): 134-180.
- Херхеулидзе Г.И. (1977). Вопросы анализа практических рекомендаций по расчету русловых и динамических характеристик селевых потоков. Труды ЗакНИГМИ, 48(54): 17-27.