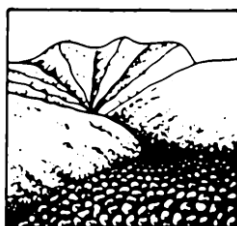


DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 5th International Conference

Tbilisi, Georgia, 1-5 October 2018



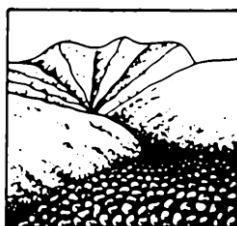
Editors
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili

Publishing House “Universal”
Tbilisi 2018

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
5-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 1-5 октября 2018 г.



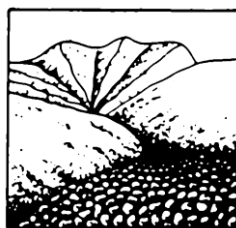
Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили

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



Оценка скорости движения селевого потока по различным методикам

Д.П. Соколова, Т.А. Виноградова, А.А. Осташов

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,
dariia.sokolova@yandex.ru, vinograd1950@mail.ru, andrey.ostashov@gmail.com*

Селевые потоки являются наиболее опасными и распространенными гидрологическими явлениями в горной местности. Главной динамической характеристикой является скорость движения селевого потока, от которой зависит разрушительная сила селевого потока. В данной работе проводился расчет скоростей селевых потоков на р. Баддон и руч. Чат-Баш (Кавказ) с помощью различных методик. Так же, произведен расчет скоростей движения селевого потока по данным селевого эксперимента на р. Чемолган, воспроизведенным институтом КазНИГМИ под руководством Ю.Б. Виноградова и сравнение их с измеренными значениями. Был проведен численный эксперимент по формуле Ю.Б. Виноградова для расчета скорости селевого потока. Произведена оценка результатов расчетов.

селевой поток, скорость селевого потока, расчет, эмпирические формулы

Assessment of dynamic characteristics of debris flow

D.P. Sokolova, T.A. Vinogradova, A.A. Ostashov

*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia, dariia.sokolova@yandex.ru,
vinograd1950@mail.ru, andrey.ostashov@gmail.com*

Debris flows are the most dangerous and widespread hydrological phenomena in the mountainous area. The main dynamic characteristic is the velocity of the debris flow, on which destructive force of the debris flow depends. In this research, we calculated the velocities of debris flows on the river Buddon and the stream Chat-Bash (Caucasus) using various methods. In addition, the velocities of the mudflow motion were found out according to the data of the mudflow experiment on r. Chemolgan, which was conducted by the institute KazNIGMI under the direction of Yu.B. Vinogradov. The comparison with the measured values was made. A numerical experiment was carried out using the Yu.B. Vinogradov method to investigate the velocity of the mudflow. To sum up, the results were estimated.

debris flows, velocity of debris flow, calculation, empirical formulas

Введение

В горных районах случается большое количество катастроф. Такие явления, как селевые потоки могут вызывать массовую гибель людей, уничтожение городов и поселков, разрушение мостов и транспортных путей. Опасные явления необходимо тщательно изучать и исследовать для защиты населения.

Цель данной работы является расчет скоростей селевого потока и сравнение различных методик. Решались следующие задачи: аналитический обзор имеющихся способов расчета скорости движения селевого потока; расчет скоростей движения



селевого потока с использованием различных методик на разных объектах; сопоставление и анализ полученных результатов.

Одной из основных характеристик селевых потоков является скорость. Если известна скорость движения селевого потока, можно рассчитать время появления селя, определить силовое воздействие селя на инженерные сооружения и естественные преграды, изучить режим движения потока. В данной работе мы хотели затронуть тему определения скорости селевого потока. Есть много способов определения скоростей селя, но, к сожалению, разница в результатах расчетов значительная. Таким образом, трудно определить какая из формул может дать точный результат. Это связано с недостаточным количеством данных. Проведение селевых экспериментов дает возможность восполнить этот пробел с информацией.

Объекты исследования

Ручей Чат-Баш и река Баддон располагаются в горах Северного Кавказа. Ручей Чат-Баш является притоком реки Камык-Су, которая протекает в Кабардино-Балкарской республике. Ручей относится к бассейну Каспийского моря междуречья Терека и Волги. Река Баддон впадает в реку Ардон. Протекает в Республике Северная Осетия — Алания, в межгорной котловине между широтно направленными хребтами (Скалистым и Большим Кавкавским). Относится река Баддон к бассейну реки Терек. Река Баддон относится к категории селеопасных, по которой часто проходили грязекаменные и наносоводные селевые потоки. К селевому очагу относится 4-километровый участок реки от устья и вверх по течению [Васильев, Падня, 2015].

В Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (г. Алма-Ата, Казахстан, СССР) отделом селевых потоков, которым руководил Виноградов Ю. Б. с 1964 по 1978 гг., был произведен селевой эксперимент, то есть был создан настоящий селевой поток в природных условиях. Подходящим объектом для селевого эксперимента стало верховье реки Чемолган, располагающейся в западной части Заилийского Алатау (рис.1). Длина селевого вреза составляла около 1 км, глубина до 80 м. Этот селевой врез располагался в интервале высот от 2500 до 2900 м над уровнем моря [Vinogradova, Vinogradov, 2017].



Рис. 1. Вид на селевые врезы р. Чемолган [Vinogradova, Vinogradov, 2017].



Материалы и методы исследования

Скорость движения селевого потока является важнейшим параметром, определяющим его динамику. Без знания этого параметра невозможно решение большинства инженерных задач, которые связаны с защитой от селевых потоков.

Определение скорости движения селевого потока – непростая задача. Разработка надежных методов и формул требует большого количества экспериментального материала. Но с учетом того, что селевые потоки – это опасные гидрологические явления и случаются неожиданно, данных немного. Учитывая необходимость в определении этого параметра, особенно максимальных значений, рядом исследователей были предприняты попытки разработать формулы для осредненного значения скорости селевого потока [Флейшман, 1978].

Руководство селестокковым станциям и гидрографическим партиям [РД 52.30.238-90] рекомендует использовать для расчета скоростей селевого потока следующие формулы:

Расчет средней скорости наносоводного селя в метрах в секунду производится по формуле В.В. Голубцова:

$$v = 4,5h^{0,67}i^{0,17}, \quad (1)$$

где h – средняя глубина потока, м; i – продольный уклон русла на участке.

Если селевая смесь не обладает вязкопластическими свойствами, то расчет скорости движения потока с достаточной для практики точностью может быть произведен по известным формулам:

$$v_c = 2,1 \frac{R}{l} \sqrt{R \sin \alpha}, \quad (2)$$

$$v_c = 4,83h^{0,5}(\sin \alpha)^{0,25}, \quad (3)$$

Формула (5) предложена И.И. Херхеулидзе.

Так же для определения скорости селевого потока используют формулу Кханна [Срибный, 1960; Голубцов, 1969]:

$$v_{cp} = 8,05h_{cp}^{0,58}i^{0,30}, \quad (4)$$

где h – средняя глубина потока, м; i – продольный уклон русла на участке.

Для расчетов также используется формула Срибного [Флейшман, 1978], которая в развернутом виде запишется так:

$$v_c = \frac{6,5R^{2/3}I^{1/4}}{\sqrt{\frac{\gamma_c \gamma_T - \gamma_T}{\gamma_T - \gamma_c} + 1}}, \quad (5)$$

где R – гидравлический радиус потока в метрах, I – уклон русла, γ_T – плотность наносов, γ_c – средняя плотность селевой массы, т/м³.

Приняв предположение о равенстве объемов твердой и жидкой составляющих селя, по формуле Срибного получим:

$$v_c = 4,25R^{2/3}I^{1/4}, \quad (6)$$

По учебно-методическому пособию, выпущенному Академией ГПС МЧС России [Крюков, Бутенко, 2013], скорость продвижения селевого потока можно определить по формуле:

$$V = 11,4 * h_{cp}^{0,5} * (U_0 * \sin \alpha)^{1/3}, \quad (7)$$



где U_0 - относительная гидравлическая крупность вовлекаемых в поток каменных материалов (для оперативных расчетов принимается равным 0,7...1,0); α - средний угол наклона селевого русла, град; $h_{\text{ср}}$ - средняя глубина потока, м.

При оперативной оценке средняя глубина потока (h) обычно принимается в зависимости от типа селевого потока равной для:

маломощного потока - 1...1,5 м; среднемощного - 2...3 м; мощного потока - 3...5 м.

Также, В.В. Голубцов предложил формулы для расчета грязевых и грязекаменных потоков:

$$V = 3,75 * h_{\text{ср}}^{0,5} * I^{0,17}, \quad (8)$$

где $h_{\text{ср}}$ - средняя глубина потока, м; I - продольный уклон русла на участке.

В настоящей работе скорость селевых потоков рассчитывалась по формулам: Голубцова, Херхеулидзе, Срибного, Кханна, а также по формуле, приведенной в пособии МЧС.

Результаты и обсуждение

Селевые потоки по ручью Чат-Баш проходили достаточно часто. Последний сформировавшийся сель прошел 14.06.2005 г. Этот сель был грязекаменным, о чем свидетельствуют оставленные им следы – грязевые примазки на бортах, селевые валы. Обследование показало, что в бассейне ручья Чат-Баш имеется мощный селевой очаг с достаточным запасом рыхлообломочного материала, что может стать причиной для схода селей в ближайшем будущем. На сход селевых потоков значительное влияние оказывают ливневые осадки, а в бассейне ручья Чат-Баш так же имеет большое значение снегонакопление на водосборе очага [Запорожченко, Падня, 2005].

Имеются 6 поперечных профилей селевого вреза на двух участках. Первый участок располагается в 200 м от устья р. Тырнауз. Второй участок - в 100 м от устья р. Тырнауз [Запорожченко, Падня, 2005]. Скорости движения селевого потока от 14.06.2005 года были посчитаны по формулам 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8. Результаты представлены на рисунке 2 и в таблице 1.

Таблица 1. Расчеты средней скорости движения селевого потока в бассейне руч. Чат-Баш.

Участки		Скорость, м/с						
		Херхеу- лидзе	МЧС	Голубцов для грязека- менных	Голубцов для наносо- водных	Срибного упрощен- ная формула	Срибного, учитываю- щая плотность	Кхан- на
р. Чат- Баш 200 м выше устья р. Тыр- науз	1	5.62	10.1	5.08	7.55	6.10	5.77	9.42
	2	7.05	12.6	6.37	10.2	8.24	7.80	12.2
	3	5.21	9.32	4.70	6.80	5.50	5.21	8.62
р. Чат- Баш 100 м выше устья р. Тыр- науз	4	4.82	8.40	4.46	6.46	5.09	4.82	7.85
	5	5.20	9.07	4.82	7.16	5.64	5.34	8.59
	6	4.40	7.67	4.07	5.71	4.51	4.27	7.06

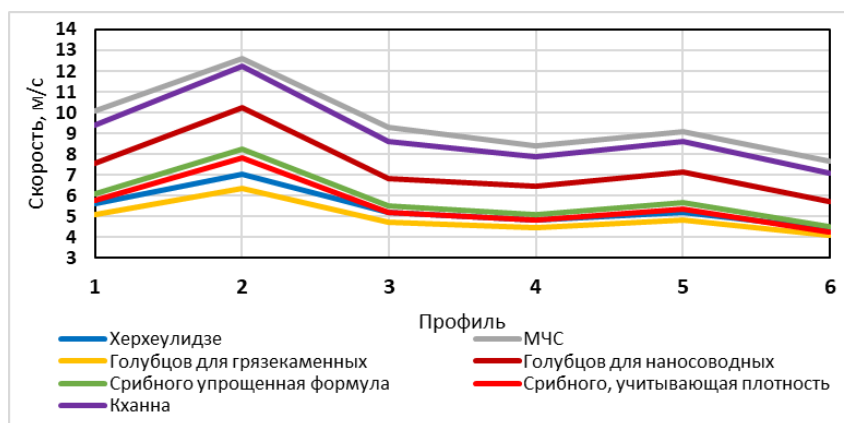


Рис. 2. Скорости движения селевого потока в бассейне руч. Чат-Баш.

По реке Баддон часто проходят как грязекаменные сели, так и наносоводные потоки, которые причиняют ущерб местным жителям. В устьевой части реки после прохождения селей были снесены мосты, затоплены и занесены наносами огороды в пойме реки, уровень воды доходил до школы и т.п.

Имеется 5 поперечных профилей в устьевой части реки Баддон. Глубина селевого потока была определена по меткам наибольших уровней, оставленных последними наносоводными селевыми потоками [Васильев, Падня, 2015]. Данные для расчета скоростей движения селевого потока представлены в таблице 2. Далее на графике представлены скорости движения селевых потоков, рассчитанные по различным формулам.

Таблица 2. Расчеты средней скорости движения селевого потока в бассейне р. Баддон

Участки		Скорость, м/с						
		Херхеулидзе	МЧС	Голубцов для грязекаменных	Голубцов для наносоводных	Срибного упрощенная формула	Срибного, учитывающая плотность	Кханна
р. Баддон устьевая часть	1	4.28	7.32	4.04	5.72	4.43	5.06	6.82
	2	4.51	7.72	4.26	6.15	4.76	5.44	7.26
	3	5.07	8.67	4.79	7.19	5.56	6.35	8.32
	4	4.55	7.94	4.22	5.99	4.72	5.39	7.35
	5	3.64	6.34	3.37	4.43	3.50	4.00	5.67

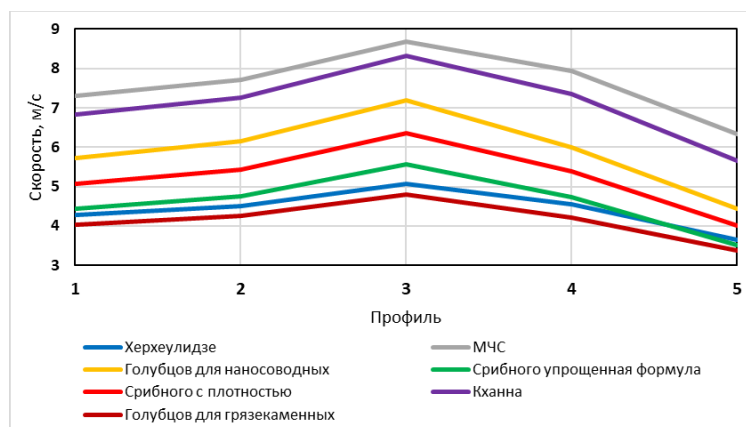


Рис. 3. Скорости движения селевого потока в бассейне р. Баддон.



Казахским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом был осуществлен селевой эксперимент. Местом для спуска искусственного селевого потока стал крупный селевой врез расположенный в верховьях реки Чемолган, в 50 км по прямой от Алма-Аты. Селевой очаг, выше которого наметили создать плотину и водохранилище для осуществления попусков с необходимыми расходами и продолжительностью, представлял собой грандиозный врез, рассекающий уступ древней ледниковой морены; его длина 930 м, средняя ширина по верху 95 м и средняя глубина 45 м. Всего было проведено 5 экспериментов, в 1972, 1973, 1975, 1976 и 1978 годах [Vinogradova, Vinogradov, 2017].

При воспроизведении экспериментальных селевых потоков в бассейне р. Чемолган были измерены скорости продвижения потока на различных участках русла и скорости в стационарном створе.

При эксперименте в 1972 году скорости селевого потока в стационарном створе получены с помощью автоматического скоростемера. Створ располагался на расстоянии 1700 м от плотины. Расчет скоростей представлен с интервалом времени 270 секунд в таблице 3 и на рисунке 4.

Таблица 3. Расчеты скорости движения экспериментального селевого потока в бассейне р. Чемолган, 1972 г.

Интервалы		Скорость, м/с						
		Херхеулидзе	МЧС	Голубцов, для грязекаменных селей	Срибный, упрощенная формула	Срибный, учитывающая плотность	Кханны	Измеренные
р. Чемолган, контрольный створ	1	4.85	8.88	4.28	4.88	3.39	7.95	6.99
	2	4.37	8.01	3.86	4.25	2.95	7.05	5.70
	3	3.28	6.01	2.89	2.90	2.01	5.05	5.03
	4	2.92	5.36	2.58	2.49	1.73	4.43	4.39

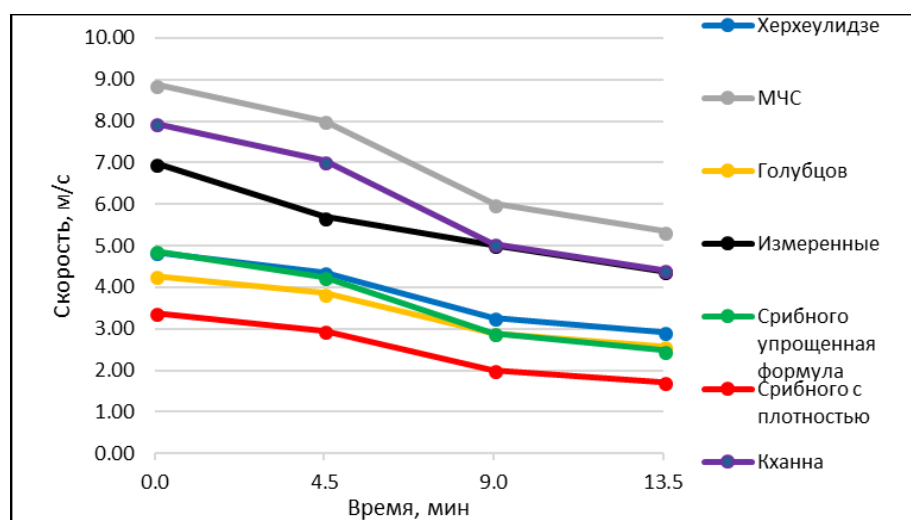


Рис. 4. Скорости движения экспериментального селевого потока в бассейне р. Чемолган, 1972 г.

В 1975 году в бассейне р. Чемолган сотрудниками отдела селевых потоков КазНИГМИ был проведен третий эксперимент по искусственному воспроизведению селевого потока. Было осуществлено два попуска из водохранилища. Основные характеристики грязекаменного потока измерялись в контрольном створе, который



располагался в селевом русле на границе с нижним врезом в 1,6 км от плотины. Расчет скоростей в контрольном створе представлен в таблице 4 и на рисунке 5.

Таблица 4. Расчеты скорости движения экспериментального селевого потока в бассейне р. Чемолган, 1975 г.

Интервалы		Скорость, м/с						
		Херхеулидзе	МЧС	Голубцов, для грязекаменных селей	Срибный, упрощенная формула	Срибный, учитывающая плотность	Кханн	Измеренные
р. Чемолган, контрольный створ	1	8.23	15.1	7.27	9.90	6.21	14.7	9.80
	2	5.11	9.36	4.51	5.24	3.28	8.45	6.40
	3	5.11	9.36	4.51	5.24	3.28	8.45	6.30
	4	5.21	9.54	4.60	5.37	3.37	8.65	6.10
	5	7.58	13.9	6.69	8.86	5.55	13.3	8.00

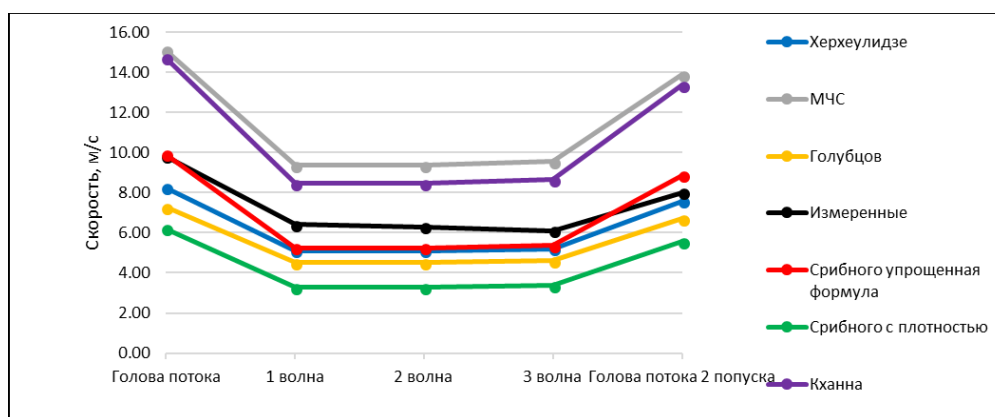


Рис. 5. Скорости движения экспериментального селевого потока в бассейне р. Чемолган, 1975 г.

Четвертый эксперимент по созданию селевого потока прошел в 1976 году на том же Чемолганском полигоне. Данные о скоростях валов в селевом потоке получены с помощью киносъемки. Скорости измерялись в контрольном створе. Данные представлены в таблице 5. Далее на графике представлены расчеты скоростей движения селевого потока и измеренные скорости валов (Рис. 6).



Таблица 5. Расчеты скорости движения экспериментального селевого потока в бассейне р. Чемолган, 1976 г.

Интервалы		Скорость, м/с						
		Херхеулидзе	МЧС	Голубцов, для грязекаменных селей	Срибный, упрощенная формула	Срибный, учитывающая плотность	Кханн	Измеренные
р. Чемолган, контрольный створ	1	3.74	6.65	3.40	3.56	1.99	5.86	3.00
	2	3.37	5.99	3.06	3.10	1.73	5.20	3.00
	3	3.50	6.22	3.18	3.25	1.82	5.42	1.60
	4	3.62	6.44	3.29	3.41	1.90	5.65	3.40
	5	3.50	6.22	3.18	3.25	1.82	5.42	2.80
	6	3.37	5.99	3.06	3.10	1.73	5.20	4.90
	7	2.80	4.99	2.55	2.42	1.36	4.20	3.60
	8	3.24	5.76	2.94	2.94	1.64	4.96	2.80
	9	3.24	5.76	2.94	2.94	1.64	4.96	3.50
	10	3.50	6.22	3.18	3.25	1.82	5.42	2.30
	11	3.62	6.44	3.29	3.41	1.90	5.65	1.60
	12	3.50	6.22	3.18	3.25	1.82	5.42	3.60
	13	3.50	6.22	3.18	3.25	1.82	5.42	2.50
	14	3.24	5.76	2.94	2.94	1.64	4.96	2.70
	15	3.24	5.76	2.94	2.94	1.64	4.96	2.90
	16	3.50	6.22	3.18	3.25	1.82	5.42	5.10

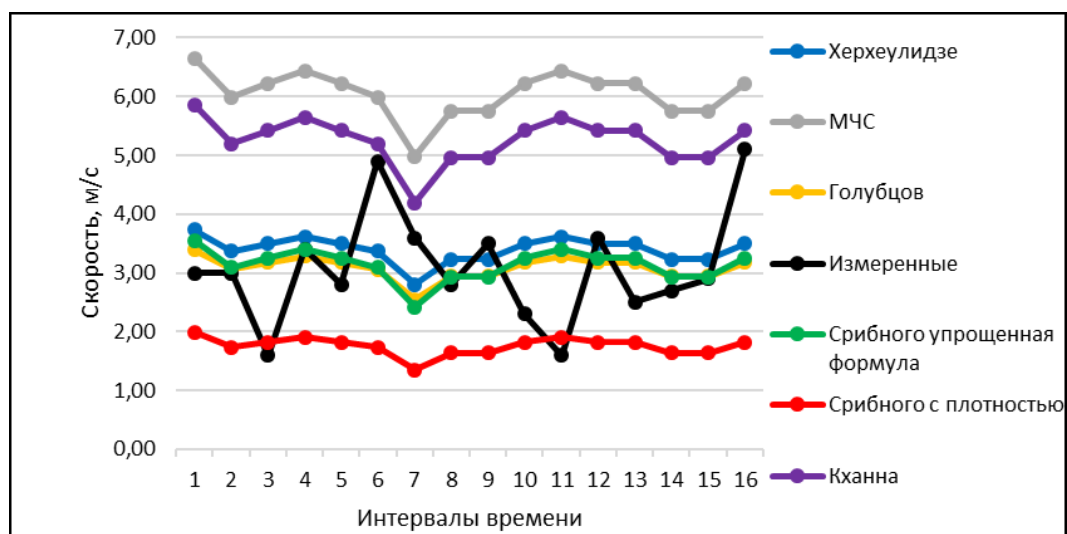


Рис. 6. Скорости движения экспериментального селевого потока в бассейне р. Чемолган, 1976 г.



В 1978 году был произведен пятый эксперимент по искусственному воспроизведению селевого потока. Данные об уровнях были взяты с осредненных данных по фотосъемке и доплеровского прибора, измеряющего поверхностную скорость. Расчет скоростей движения селевого потока на контрольном створе через каждые 20 секунд представлен в таблице 6 и на рисунке 7.

Таблица 6. Расчеты скорости движения экспериментального селевого потока в бассейне р. Чемолган, 1978 г.

Интервалы		Скорость, м/с						
		Херхеулидзе	МЧС	Голубцов, для грязекаменных селей	Срибный, упрощенная формула	Срибный, учитывающая плотность	Кханн	Измеренные
р. Чемолган, контрольный створ	1	4.85	8.64	4.41	5.04	2.47	7.94	4.40
	2	4.07	7.24	3.70	3.99	1.95	6.48	4.60
	3	3.62	6.44	3.29	3.41	1.67	5.65	5.30
	4	3.37	5.99	3.06	3.10	1.51	5.20	4.80
	5	2.64	4.70	2.40	2.24	1.10	3.92	4.30
	6	3.24	5.76	2.94	2.94	1.44	4.96	4.10
	7	3.91	6.95	3.55	3.78	1.85	6.17	3.20
	8	3.10	5.51	2.82	2.77	1.36	4.72	2.30
	9	2.38	4.24	2.16	1.95	0.95	3.48	2.80

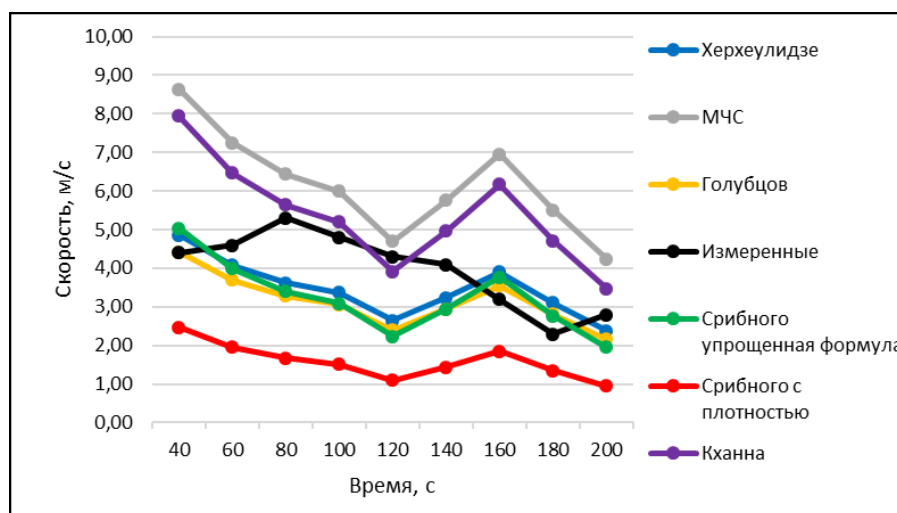


Рис. 7. Скорости движения экспериментального селевого потока в бассейне р. Чемолган, 1978 г.

Все формулы, по которым проводились расчеты скоростей селевого потока, дали различные результаты.

Формула, предложенная МЧС, дает самые высокие значения скоростей селевого потока по всем объектам исследования. На руч. Чат-Баш значения скорости изменялись от 4 м/с до 10,2 м/с, на р.Баддон значения скоростей получились немного ниже: 3,5-8,7 м/с. Значения, полученные по формулам Голубцова и Херхеулидзе оказались между собой довольно близки. Данные формулы выводились на основе обработки натурных данных по следам селевых потоков. Голубцов занимался селями на территории Казахстана, а Херхеулидзе на территории Грузии. На руч. Чат-Баш самые низкие значения скорости дает формула Голубцова для грязекаменных потоков, а самые



большие – формулы МЧС и Кханна. Разница в результатах по двум формулам Срибного незначительная. На р. Баддон значения скорости селевого потока примерно совпадают по формулам Херхеулидзе, Срибного и Голубцова для грязекаменных. Что касается селевого эксперимента на р. Чемолган, можно сказать, что результаты по формулам не совпадают с измеренными скоростями селевого потока. Например, в 1972 году был проведен первый селевой эксперимент. Результаты расчетов получились такими: измеренные скорости в некоторых случаях совпадали с результатами по формуле Кханна, остальные формулы занижали значения, кроме формулы МЧС. В 1975 году измеренные скорости близки к рассчитанным по формулам Срибного (упрощенной формуле) и Херхеулидзе. В 1976 и в 1978 году измеренные скорости не совпадают с рассчитанными, но примерно соотносятся с результатами по формулам Херхеулидзе, Голубцова и Срибного. Во всех случаях формула, предложенная МЧС, давала самые высокие результаты. В работе мы использовали два варианта формулы Срибного. Можно заметить, что значения скоростей селевого потока на р. Чемолган, рассчитанных по формуле Срибного, включающей в себя плотность селя, намного занижены.

Заключение

В результате проделанной работы был проведен анализ имеющихся формул для расчета скорости селевого и были выбраны основные формулы, используемые в регламентирующих документах. По выбранным формулам произведен расчет скорости селевого потока. Выявлены существенные различия в результатах.

- Формула, предложенная МЧС, дает самые высокие значения скоростей селевого потока по всем объектам исследования. На разных объектах скорости селевых потоков менялись от 4 м/с до 15 м/с. В результате использования этой формулы скорости могут быть завышены, это приводит к увеличению территории затопления и к увеличению расхода селевого потока, в следствие этого защитные сооружения будут стоять намного дороже.

- Формулы Херхеулидзе и Голубцова дают близкие между собой результаты на всех объектах исследования. Так как эти формулы выводились на основе обработки натурных данных по следам селевых потоков. На разных объектах результаты скоростей по данным формулам колебались от 3 м/с до 9 м/с. Но рассчитанные скорости не совпадают с измеренными на р. Чемолган, так как скорости при эксперименте определены в момент прохождения селевого потока, а параметры формул Херхеулидзе и Голубцова определены на конусах выноса уже прошедших селевых потоках.

- Формула Срибного приведена в двух форматах: в виде упрощенной формулы и в расширенном виде, где используется плотность селя. Упрощенная формула дает похожие результаты с формулой Херхеулидзе, а расширенная формула дает низкие значения скоростей грязекаменных селевых потоков. Можно сделать вывод, что данная формула не подходит для расчета скоростей грязекаменных селей, но упрощенная формула дает неплохие результаты.

- Было проведено сравнение результатов, рассчитанных по формулам и по инструментально измеренным скоростям на р. Чемолган. Получилось, что результаты по формулам не совпадают с измеренными скоростями селевого потока. Ближе к измеренным значениям получились результаты по формулам Херхеулидзе и Голубцова, Срибного, а МЧС давала завышенные результаты. Данные формулы учитывают в основном только уклон русла и глубину потока. По графикам видно, что линия рассчитанных скоростей не повторяет ход измеренных, следовательно, уклона и глубины потока недостаточно, чтобы надежно оценить скорость, требуется введение дополнительных параметров.

Таким образом, после расчета скорости селевого потока был произведен анализ полученных результатов и сопоставление различных методик. Полученные результаты исследования можно использовать при проектировании в строительстве селезащитных сооружений.



Список литературы

- Васильев Б.В., Падня А.М. (2015). Инженерно-гидрологические изыскания по р. Баддон и моделирование прохождения наносоводных паводков на сопряжении рек Баддон — Ардон для разработки рабочей документации по объекту: Защита территории в долине р. Баддон (Зарамагская ГЭС-1). Институт «Севкавгипроводхоз».
- Голубцов В.В. (1969). О гидравлическом сопротивлении и формуле для расчета средней скорости течения горных рек. Труды КазНИГМИ, 33: 30-41.
- Запороженко Э.В., Падня А.М. (2005). Защита г. Тырнауза КБР от затопления р. Баксан в условиях селевой опасности р. Камык-Су. Рабочий проект, Институт «Севкавгипроводхоз».
- Крюков Е.В., Бутенко В.М. (2013). Опасные природные процессы: учеб.-метод. пособие. М., Академия ГПС МЧС России, 119 с.
- РД 52.30.238-90 (1990). Руководство селестоковым станциям и гидрографическим партиям. Выпуск 1. Организация и проведение работ по изучению селей.
- Срибный М.Ф. (1960). Формула средней скорости течения рек и их гидравлическая классификация по сопротивлению движению. В кн.: Исследование и комплексное использование водных ресурсов. М., Изд-во АН СССР, 204-220.
- Флейшман С.М. (1978). Сели. Учебное пособие. Гидрометеиздат, 312 с.
- Vinogradova T.A., Vinogradov A.Y. (2017). The experimental debris flows in the Chemolgan river basin. Natural Hazards, 88(1 Suppl.): 189-198.