

УДК 551.482.215.3

Г. Г. ВАРДУМЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И РАСХОДОВ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

В динамическом отношении селевые потоки исследованы исключительно слабо по вполне понятным причинам. Всякого рода измерения даже высоты уровня воды по рейке, не говоря уже о скоростях, чрезвычайно затруднены тем, что селевые потоки возникают обычно внезапно. Наблюдатели не успевают подготовиться к соответствующим измерениям, а сами измерения очень часто сопряжены даже с опасностью для жизни наблюдателя. Как общее правило, можно констатировать, что во время катастрофических селей водомерная рейка бывает сорвана (снесена) и никаких следов, кроме меток на берегу, не остается. Применять же для измерения скорости какие-либо приборы вроде вертушки абсолютно невозможно, поскольку поток, несущий в себе твердые материалы, моментально ломает любую вертушку. Измерения скорости, в лучшем случае, можно было бы производить поплавками, но для этого нужно иметь заранее подготовленные створы.

Внезапность, катастрофичность и вся специфичность явления селевого потока не позволяют применять к нему метод непосредственных наблюдений в качестве основного. Наиболее доступным и возможным для массового применения является метод обследования селевых потоков по всему комплексу следов, оставляемых их прохождением. Этот метод нами был использован в работах при исследовании селевых водосборных бассейнов, расположенных на территории Армении.

Работы имели целью определение скорости, максимальных расходов воды, гидравлических элементов и удельный вес селевых потоков. Одним из основных разделов полевых работ было исследование коэффициентов шероховатости русел селевых потоков, определение крупности и количества вынесенных твердых материалов.

Параметры гидравлических элементов определены следующим образом: расчетные участки выбирались прямолинейными и правильной формы поперечного сечения; метки горизонта высоких вод (ГВВ) определялись по следам селевых потоков; уклоны и профили живых сечений расчетных створов селевых потоков определялись нивелировкой четвертого класса; диаметр камней установлен как средний из трех взаимноперпендикулярных замеров; объем отложений на конусе выноса определен путем непосредственных измерений всего вынесенного материала в момент обследования водотока.

Для установления методов подсчета средних скоростей турбулентных воднокаменных, грязекаменных и грязевых селевых потоков потребовалось тщательное изучение этого вопроса.

Для определения предельной скорости потока, отвечающей началу массового движения наносов, предложено большое количество эм-

пирических формул, основанных на общеизвестном законе Эри и на равенстве сил давлений, сопротивлений и моментов, действующих на частицу, лежащую на дне потока, а также на шероховатость русла.

Известные формулы Тьери, Эри и Сенжена могут быть записаны в следующем виде:

$$\text{Формула Тьери} \quad V = K \sqrt{\frac{d(\gamma_n - \gamma_c) f \cos \alpha}{\xi \gamma_c}} \quad (1)$$

$$\text{Формула Эри} \quad V = K \sqrt{\frac{2d(\gamma_n - \gamma_c) \operatorname{tg} \beta}{3k'}} \quad (2)$$

$$\text{Формула Сенжена} \quad V = K \sqrt{\frac{4gd(\gamma_n - \gamma_c) f}{3\xi\gamma_c}} \quad (3)$$

где V — начальная скорость влечения в м/сек;

γ_n — удельный вес наносов;

γ_c — удельный вес селевой массы;

f — коэффициент трения (0,76 ÷ 0,80);

d — диаметр влекаемого наноса в метрах;

ξ — коэффициент формы (0,076);

α — уклон в градусах;

g — ускорение силы тяжести;

k' — коэффициент, равный $\frac{\gamma_c \xi}{2}$;

K — коэффициент массового влечения наносов (1,30—1,50);

β — коэффициент, равный $37^\circ \alpha$.

М. А. Великановым, совместно с Н. М. Бачковым [1], на основании лабораторных исследований, была получена следующая формула для начальной скорости влечения:

$$\frac{V^2}{g} = 15d + \beta \quad \text{или} \quad V = \sqrt{g(15d + \beta)} \quad (4)$$

где V — начальная скорость влечения (м/сек); d — диаметр влекаемых наносов (м); g — ускорение силы тяжести; β — коэффициент (0,006).

Формула М. А. Великанова получена в лабораторных условиях для частиц диаметром $d \leq 5$ мм, и, как показали исследования Шамова [6], дает сильно преувеличенные значения скоростей селевых потоков для более крупных наносов. Поэтому использование ее для определения скорости селевых потоков приводит к явно неудовлетворительным результатам. Исходя из этого, формула (4) не использована в расчетах скоростей селевых потоков.

Формулы Эри и Сенжена не использованы в расчетах скоростей ввиду того, что полученные скорости по этим формулам очень большие.

Приведенные выше формулы не учитывают влияния глубины потока, с увеличением которой, как показывают опыты, растет также предельная скорость потока.

Влияние глубины селевого потока было учтено в последующих формулах, предложенных В. Н. Гончаровым, Г. И. Шамовым, М. Ф. Сриб-

ным, И. В. Егiazаровым, Шези-Манингом, Г. Г. Вардумяном и др.
 Формула В. Н. Гончарова [2] имеет следующий вид:

$$V = 3KH_{\text{ср}}^{0,2} \cdot d^{0,3}, \quad (5)$$

где V — предельная скорость (м/сек); $H_{\text{ср}}$ — средняя глубина потока (м); d — диаметр влекомых наносов (м); K — коэффициент, зависящий от насыщенности потока наносами и равный $1/\gamma_c$; γ_c — удельный вес селевой массы.

Формула Г. И. Шамова [6] представлена в виде:

$$V = 3,0 H_{\text{ср}}^{1/6} \cdot d^{1/3} \sqrt{\frac{\gamma_n - \gamma_c}{\gamma_c}}, \quad (6)$$

где $H_{\text{ср}}$ — средняя глубина потока (м); d — диаметр влекомых наносов (м); γ_n и γ_c — удельный вес наносов и селевой массы.

Формула М. Ф. Срибногo [5] имеет следующий вид:

$$V = \frac{6,50}{a} H_{\text{ср}}^{2/3} \cdot i^{1/4}, \quad (7)$$

где $H_{\text{ср}}$ — средняя глубина потока (м); i — уклон расчетного створа;
 a — коэффициент, равный $\left[\frac{\gamma_n (\gamma_c - 1)}{\gamma_n - \gamma_c} + 1 \right]^{1/2}$.

Формула И. В. Егiazарова [4] получена на моделях р. Гетар и имеет следующий вид:

$$V = \sqrt[3]{0,15 C^2 d}, \quad (8)$$

где $C = 17,7 \lg \frac{R}{K} + 20,5$ (R — гидравлический радиус в метрах;
 K — средняя высота выступов — неровности, дна русла в расчетном створе в метрах).

Формула И. В. Егiazарова получена на моделях для частиц диаметром $d \leq 10-15$ мм и дает также сильно преувеличенные значения скоростей селевых потоков.

Значение коэффициента „ C “ при определении по формуле Кармана $C = 17,7 \lg \frac{R}{K} + 20,5$ получается сильно преувеличенным. Мини-

мальное значение коэффициента „ C “ при $17,7 \lg \frac{R}{K} = 0$ получается 20,5,
 а максимальное значение при $17,7 \lg \frac{R}{K} > 0$ в пределах от 22 до 35,

что соответствует более гладкому или земляному каналу.

Формула Шези-Манинга [3] представлена в виде:

$$V = \frac{1}{n} H_{\text{ср}}^{1/6} \sqrt{H_{\text{ср}} i}, \quad (9)$$

где n — коэффициент шероховатости русла в расчетном створе;

H_{cp} — средняя глубина (м); i — уклон русла или высоких вод на участке расчетного створа.

Формула Г. Г. Вардумяна получена в полевых условиях на естественных селевых водотоках при различной насыщенности потока наносами и имеет следующий вид—предельная скорость (начало движения влекомых наносов) составит:

$$V_n = 1,40 \cdot K \cdot H_{cp}^{1/6} \sqrt[3]{gd}. \quad (10)$$

Скорость массового транспорта влекомых наносов будет

$$V_m = 1,96 \cdot K \cdot H_{cp}^{1/6} \sqrt[3]{gd}, \quad (11)$$

где K — коэффициент, зависящий от насыщенности потока наносами ($K = 1/\gamma_c$); H_{cp} — средняя глубина потока (м); g — ускорение силы тяжести; d — диаметр влекомых наносов (м).

Рассмотрение существующих формул, связывающих шероховатости русла, глубину потока и крупности влекомых наносов, позволило выделить из их числа семь формул для определения скорости, шероховатости русла и расходов селевых потоков.

Согласно обработанным полевым материалам нами определены скорости и максимальные расходы селевых потоков по шероховатости русла и крупностям влекомых селем наносов по формулам Шези-Маннинга, Тьери, Гончарова, Шамова, Срибного, Егиазарова и Вардумяна (табл. 1).

Приведенные формулы Тьери, Гончарова, Шамова, Вардумяна дают величину предельной скорости, т. е. скорости, соответствующей лишь моменту начала движения наносов. Для получения величины скорости, соответствующей установившемуся транспорту наносов, что отвечает природе селевого потока, эти формулы требуют введения в них дополнительного коэффициента. Величина этого коэффициента определена различными исследователями, колеблется в разных пределах: по Шаффернаку 1,45—1,67, по Тьери 1,30—1,50, по Бочкову 1,30—1,40 и по Гончарову 1,40—1,80. Верхние пределы коэффициентов Шаффернака и Гончарова очень большие и не приняты нами.

На основании этих данных было принято значение коэффициента от предельной скорости к скорости массового транспорта 1,40. Величина удельного веса селевой массы, значение которого входит в приведенные выше формулы, определялась по вынесенным и отложенным материалам селевых потоков. На основании количества вынесенных селем наносов величина удельного веса селевых потоков на территории Армении колеблется в пределах от 1,15 до 1,50 г/см³.

Для перехода от рыхлых тел, вынесенных селем наносов, к плотному телу, нами коэффициент пустотности принят в пределах от 0,35 до 0,55.

Удельный вес селевой массы, по литературным данным, колеблется в пределах 1,20—2,60. Так например, по Срибному $\gamma_c = 1,80$, по

Штини $\gamma_c = 1,55$, по Коновалову $\gamma_c = 1,20—2,60$. Удельный вес селевой массы по Коновалову $2,60 \text{ г/см}^3$ относится к пывунам, а не турбулентным селям. Удельный вес наносов, вынесенных селевым потоком, в условиях Армянской ССР принят в среднем $2,40 \text{ т/м}^3$.

Точность определения скорости потока по крупности влекаемых наносов во многом зависит от правильности выбора размеров камней. Не следует принимать для расчета скорости огромные глыбы, встречающиеся иногда в селевых руслах после прохождения селя, так как пере-

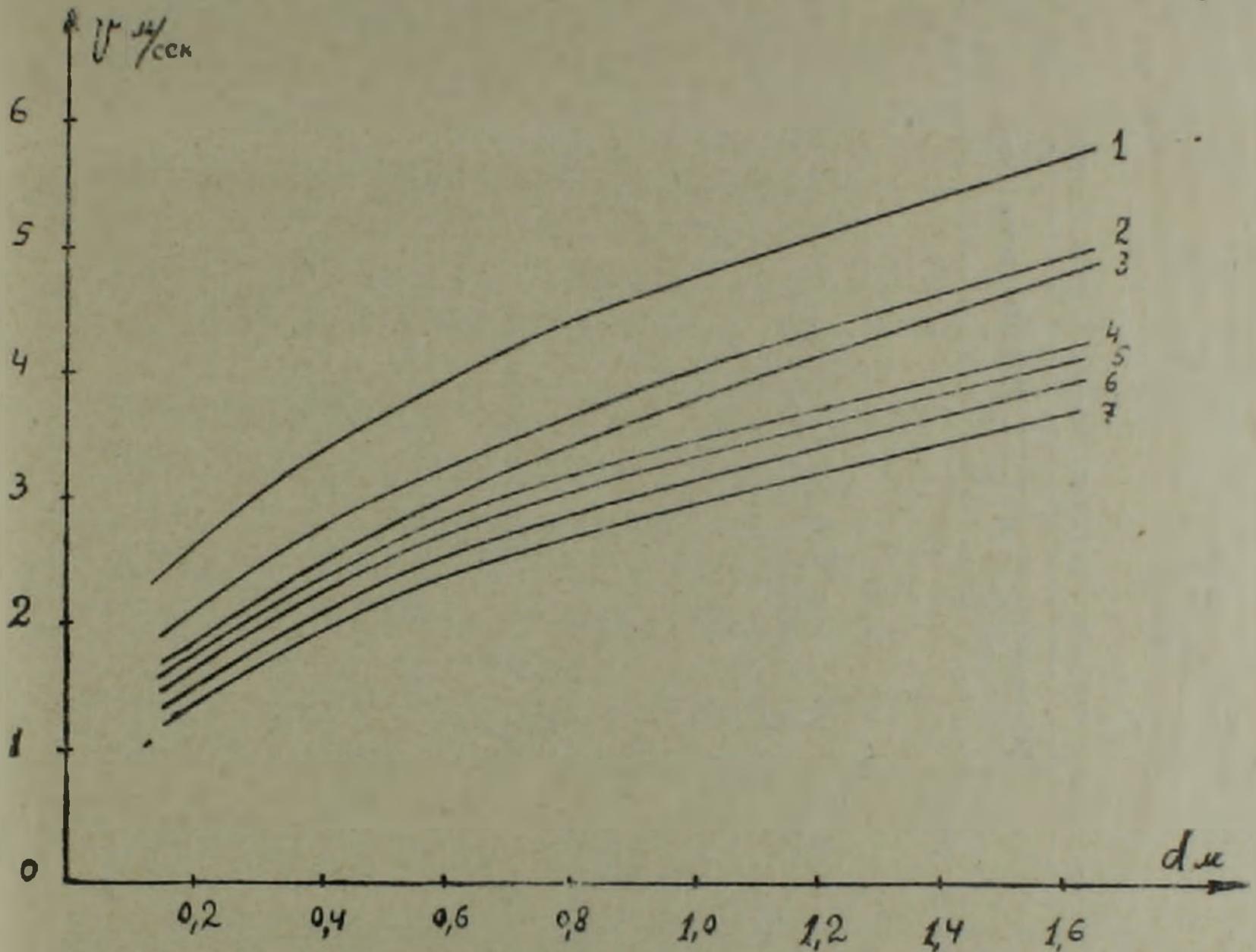


Рис. 1. Кривые связи между скоростями и диаметрами влекаемых наносов селевых потоков определены по формулам: 1—И. В. Егнazarова, 2—Г. И. Шамова, 3—Тьерн, 4—В. Н. Гончарова, 5—Г. Г. Вардумяна, 6—Шези-Манинга, 7—М. Ф. Срибного.

движение их обусловлено факторами, не учитываемыми формулами предельных скоростей. Перемещение таких крупных глыб совершается обычно на коротких расстояниях и происходит довольно редко—под непосредственными ударами селевых волн при прорывах заторов из нагроможденных выше по течению камней. Передвижение крупных валунов способствует также образованию резких уклонов и уступов дна в результате вымывания из-под них более мелких наносов. По размерам таких одиночных глыб или валунов можно судить о мгновенных (пульсационных) значениях максимальных скоростей селевых потоков. Для определения же средних значений скорости селевого потока следует принимать средний диаметр наиболее часто встречающихся в русле или в отложениях крупных камней.

В табл. 1 приводятся скорости и шероховатости русла селевых потоков, полученных по формулам различных авторов.

Таблица 1

Определение скорости селевых потоков по формулам различных авторов

Река	Пункт	Бассейн реки	Дата прохождения селея	Шези—Манинга		Тьерри		Гончарова		Шамова		Срибного		Егизарова		Вардуняна		Средняя	
				$\frac{1}{п}$	ср.	$\frac{1}{п}$													
Бзовдал	с. Жданово	Памбак	14/VI—1963	2,40	14,3	2,78	16,6	2,66	15,8	3,05	18,2	2,12	12,6	3,94	23,5	2,55	15,2	2,59	15,4
Мендзор	Лорканал	Дзорагет	12/VIII—1958	3,21	10,0	3,63	11,3	3,28	10,2	3,84	12,0	3,27	10,2	4,65	14,5	3,21	10,0	3,41	10,6
Овнанадзор	устье	Дзорагет	12/VIII—1958	3,22	10,0	3,87	13,6	3,37	11,8	3,92	13,8	3,11	10,8	5,00	17,5	3,30	11,6	3,46	12,1
Алаверди	г. Алаверди	Дебед	12/VIII—1941	3,60	10,5	4,99	14,6	4,02	11,8	4,77	14,0	3,46	10,1	5,52	16,4	3,98	11,6	4,14	12,1
Тозлухидзор	с. Гамзачиман	Агстев	17/VII—1936	2,33	10,0	3,05	13,1	2,63	11,3	3,10	13,3	2,28	9,8	3,82	16,4	2,57	11,0	2,66	11,4
Пахджур	с. Тала	Агстев	29/VII—1939	3,58	10,5	4,90	14,4	4,07	12,0	4,82	14,2	3,56	10,5	5,75	17,0	4,05	11,9	4,16	12,3
Спитакджур	близ устья	Агстев	12/VI—1964	3,51	10,5	4,49	13,4	3,79	11,4	4,47	13,4	3,46	10,4	5,23	15,7	3,73	11,2	3,91	11,7
Кетигет	г. Леникан	Ахурян	10/VII—1954	1,83	14,3	1,90	14,8	1,95	15,2	2,24	17,4	1,70	13,2	2,82	22,0	1,87	14,6	1,92	14,9
Селав Мастара	г. Октемберян	Севджур	15/VII—1957	1,92	18,2	2,06	19,4	2,30	21,7	2,60	24,5	1,86	17,5	3,24	30,6	2,19	20,6	2,15	20,3
Селав Шамирам	г. Октемберян	Севджур	19/V—1959	1,86	15,4	2,11	17,6	2,14	17,8	2,45	20,4	1,73	14,4	2,96	24,7	2,05	17,1	2,06	17,2
Гетар	г. Ереван	Раздан	25/V—1946	4,25	10,0	4,90	11,8	4,34	10,2	5,10	12,0	4,36	10,3	6,25	14,8	4,27	10,0	4,54	10,7
Джрвеж	г. Ереван	Раздан	25/V—1946	3,80	10,0	4,78	12,6	4,08	10,7	4,80	12,6	3,80	10,0	5,88	15,5	4,02	10,6	4,52	11,1
Вохчаберд	с. Вардашен	Раздан	4/VIII—1953	2,78	13,3	3,32	15,9	3,13	15,0	3,63	17,4	2,65	12,7	4,50	21,7	3,02	14,5	3,09	14,8
Памбак	с. Памбак	оз. Севан	12/VIII—1951	2,30	11,1	2,83	13,7	2,49	12,1	2,93	14,2	2,10	10,2	3,72	18,0	2,45	11,8	2,52	12,2
Чорселав	близ устья	Азат	13/VII—1960	2,04	14,3	2,20	15,5	2,30	16,2	2,63	18,5	2,00	14,1	3,28	23,1	2,20	15,5	2,23	15,7
Кетуз	близ устья	Веди	18/V—1959	2,27	12,5	2,78	15,3	2,62	14,4	3,03	16,7	2,18	12,0	3,78	20,8	2,54	14,0	2,57	14,1
Элпин	близ устья	Арпа	5/VIII—1960	1,58	14,4	2,53	23,0	2,29	20,8	2,65	24,0	1,50	13,6	3,37	30,5	2,22	20,1	2,13	19,3
Мегригет	Мегри ГЭС	Аракс	11/VII—1947	2,25	14,3	2,78	17,6	2,68	17,0	3,10	19,7	2,11	13,4	3,86	24,6	2,57	16,3	2,58	16,4
Шванидзор	близ устья	Аракс	21/VII—1960	3,33	11,1	3,87	13,0	3,66	12,3	4,22	14,1	3,50	11,7	4,98	16,6	3,55	11,9	3,69	12,3
Нювади	близ устья	Аракс	21/VII—1960	3,46	11,1	3,90	12,5	3,58	11,5	4,18	13,4	3,42	11,0	4,85	15,6	3,50	11,2	3,68	11,8
Вохчи	г. Кафан	Вохчи	28/VIII—1956	2,34	14,3	2,91	17,7	2,99	18,3	3,40	20,8	2,50	15,3	3,86	23,6	2,84	17,4	2,83	17,3
Гехануш	г. Кафан	Вохчи	21/VII—1960	2,77	13,4	3,32	16,0	3,11	15,0	3,60	17,3	2,92	14,0	4,18	20,0	3,12	15,0	3,14	15,1
Горисгет	г. Горис	Воротан	13/V—1959	2,33	12,5	2,78	15,0	2,56	13,8	3,00	16,1	2,20	11,8	3,52	18,9	2,49	13,3	2,56	13,7
Сисиан	выше с. Уз	Воротан	18/IV—1968	2,29	14,4	2,83	17,8	2,75	17,2	3,17	20,0	2,25	14,2	3,63	22,9	2,66	16,7	2,66	16,7

Анализ полученных скоростей показывает, что наибольшие скорости получаются по формулам И. В. Егiazарова, а затем Г. И. Шамова и Тьерри.

Сравнительно малое значение скоростей селей получается по формуле М. Ф. Срибного. Формула М. А. Великанова не использована вследствие сильного преувеличивания значения скоростей селей для более крупных влекомых наносов. Средняя скорость селей (табл. 1) получена из скоростей указанных формул, кроме формулы И. В. Егiazарова.

В табл. 2 приводится процент отклонения скоростей этих формул от средних величин (V_{cp}) и пределы изменения шероховатости русла.

Из табл. 2 видно, что наибольший процент отклонения скоростей и наименьшие шероховатости русла получаются по формулам И. В. Егiazарова и Г. И. Шамова.

Таблица 2

Авторы	Знак отклонения	Процент отклонения скоростей отдельных формул от средних величин скоростей		Пределы изменения шероховатости по формулам указанных авторов	
		от	до	от	до
Шези-Манинга	+	3	20	0,055	0,100
Тьерри	++	1	18	0,055	0,090
Гончарова	+++	0	8	0,150	0,100
Шамова	++++	13	25	0,040	0,085
Срибного	+	3	22	0,065	0,100
Егiazарова	++	28	50	0,030	0,070
Вардумяна	+++	9	6	0,050	0,100

Таблица 3

Основные гидравлические параметры, по которым определены максимальные расходы некоторых селевых потоков на территории Армянской ССР

Река	Пункт	Дата прохождения селя	Средняя глубина, м		Диаметр влекомых наносов, м	Удельный вес селевой массы, г/см ³	Площадь живого сечения потока, м ²	Средняя скорость селевого потока, м/сек	Расход селевого потока, м ³ /сек
			Средняя	Уклон, 0/00					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
р. Бзовдал	с. Жданово	14/VI—1963	1,21	22	0,50	1,34	26,6	2,59	68,9
р. Мендзор	Лорканал	12/VIII—1958	1,50	60	0,80	1,30	21,7	3,41	74,0
р. Овнанадзор	устье	12/VIII—1958	1,52	56	1,0	1,36	22,6	3,46	78,3
р. Алаверди	г. Алаверди	12/VIII—1941	1,62	62	1,50	1,30	40,5	4,14	167
р. Тозлухидзор	с. Гамзачиман	17/VII—1936	0,89	64	0,60	1,34	20,0	2,66	53,2
р. Пахджур	с. Тала	29/VII—1939	1,87	50	1,50	1,32	90,0	4,16	375
р. Спитакджур	Близ устья	12/VI—1964	1,64	58	1,20	1,29	28,0	3,91	110
р. Селав—Мастара	г. Октемберян	15/VII—1957	1,42	7,0	0,25	1,29	69,3	2,15	149
р. Селав—Шамирам	г. Октемберян	19/V—1959	0,86	18	0,25	1,26	32,6	2,06	67,1