

ўтадиган оқим миқдори йилликка нисбатан  $57,3 \div 81,2$  фоизни ташкил этади. Бу эса Зарафшон ҳавзасидаги 2-турга кирувчи дарёлар сув ресурсларидан фойдаланиш самарадорлигини оширишнинг катта имкониятлари мавжуд эканлигидан далолат беради. Ушбу имкониятлар 2-турга кирувчи ҳар бир дарё учун хос бўлган сув хўжалиги йилининг турли даврлари ва мавсумларига тегишли бўлган оқим миқдорларини қайта тақсимлашни тўғри ташкил этишда ақс этади.

#### Адабиётлар:

1. Давыдов Л.К. Колебания водоносности рек Средней Азии // Тр. Средазмета. -Ташкент, 1927.Т.1. - Вып.2. С. 5-48.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 14. Средняя Азия. Вып. 3. Бассейн реки Амударьи. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 471 с.
3. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. – Т.: Voris-nashriyot, 2007. - 132 с.
4. Шульц В.Л., Машрапов Р. Ўрта Осиё гидрографияси. - Т: Ўқитувчи, 1969. -328 б.
5. Щеглова О.П. Питание рек Средней Азии. – Т.: Изд-во СамГУ, 1960. - 243 с.
6. Ҳикматов Ф.Ҳ., Ҳайдаров С.А., Эрлапасов Н.Б. Зарафшон дарёси оқимининг йилларо тебраниши ва унга метеорологик омилларнинг таъсири ҳақида // Ўз ГЖ ахбороти. 44-жилд. – Т., 2014. -Б. 85-89.
7. Ҳикматов Ф.Ҳ., Эрлапасов Н.Б., Шодиев А.М. Зарафшон дарёси оқимининг йил давомида тақсимланиши // Ўз ГЖ ахбороти. 45-жилд. – Т., 2015. - Б. 177-180.

**Трофимов Г.Н., Исакова А.Я.\***

#### РАСЧЕТ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ СЕЛЕВЫХ ПАВОДКОВ НА МАЛЫХ РЕКАХ УЗБЕКИСТАНА

**Аннотация:** в работе рассмотрены вопросы расчета эмпирической обеспеченности максимальных расходов селевых паводков, зарегистрированных на малых реках Узбекистана

**Ключевые слова:** малые реки, ливневые дожди, селевые потоки, максимальные расходы, наносоводные сели, повторяемость селей.

#### Ўзбекистондаги кичик дарёларда кузатиладиган сел тошқинлари максимал сув сарфларининг назарий таъминланишини ҳисоблаш

**Аннотация:** мақолада Ўзбекистондаги кичик дарёларда кузатиладиган сел тошқинлари максимал сув сарфининг назарий таъминланишини ўрганиш масалалари кўриб чиқилган.

**Ключевые слова:** кичик дарёлар, жала ёмғирлар, сел оқимлари, максимал сув сарфлари, сув оқизикли селлар, селларнинг такрорланиши.

#### Empirical calculation ensure maximum expenses mud floods on small rivers in Uzbekistan

**Resume:** The paper deals with the empirical calculation of costs ensure maximum mudflows recorded on small rivers in Uzbekistan.

**Key words:** small rivers, intense rains, mudslides, the maximum cost nanosovodnye mudslides, debris flows repeatability.

**Введение.** Расчеты максимальных расходов являются одной из наиболее сложных задач при проектировании и строительстве разного рода сооружений на реках. Занижение максимальных расходов приводит к разрушению сооружений, затоплению прибрежных территорий и нередко к человеческим жертвам. В свою очередь, завышение этих

\*Трофимов Геннадий Николаевич – НУУз, Геолого-географический факультет, профессор, д.г.н.

Исакова Азиза Ядгаровна - НУУз, Геолого-географический факультет, преподаватель кафедры гидрологии суши.

максимумов повышает стоимость сооружений и снижает их экономическую эффективность. Многократно усложняется задача расчета максимумов, когда речь идет о селевых потоках. Кратко остановимся на причинах, определяющих эту проблему являются:

1. Селевые потоки, характеризующиеся большими, а лучше сказать выдающимися максимальными расходами – явление объективное, можно сказать необходимое в жизни реки;

2. Данных о составе селевой массы «классических» селевых потоков нет;

3. В Узбекистане на малых, особенно низкогорных реках формируются, так называемые «наносоводные сели». Основной причиной формирования таких селей являются интенсивные дожди;

4. В подавляющем большинстве случаев максимальный расход большого паводка характеризуется как селевой, особенно если прохождение его сопровождалось какими-либо разрушениями;

5. Сведения о максимальных расходах селей гидрологи получают на основании обследования «следов селей», которые зачастую выражены не на всем протяжении русла, а только в некоторых его местах;

6. Для 33,7% рек Узбекистана сведений о селевых максимумах вообще нет (29,3% для рек бассейна Амударьи и 42,7% для рек бассейна Сырдарьи). Для более 70% случаев зарегистрированных селей место (створ) оценки максимумов определить невозможно [9];

7. Вероятностную оценку таких максимумов дать затруднительно, т.к. во-первых, ряды наблюдений очень короткие, во-вторых, изначально, к примеру из-за пп.4 и 6, ряды неоднородны.

Тем не менее, потребности практики требуют хотя бы приблизительной вероятностной оценки таких максимумов. Как видно из сказанного выше, единственной возможностью для статистических расчетов остается использование годовых максимумов, зарегистрированных на водпостах.

**Результаты и их обсуждение.** Максимумы селевых потоков, приведенные в справочных материалах [10], следует использовать в качестве определенного ориентира, или «фона» общей картины селеопасности водотока. Для очень малых рек с площадями водосборов 10-20 км<sup>2</sup>, видимо можно включать данные Каталога селей и других справочников по максимумам, т.к. в силу небольшой протяженности водотоков изменение местоположения створа измерений этого максимума существенного влияния на его размер не окажет.

Как известно, вероятность превышения (обеспеченность) максимального расхода определяется родом (классом) сооружения, его стоимостью, условиями эксплуатации и т.п. Обычно, согласно строительным нормам, обеспеченность максимальных расходов изменяется от 0,01 до 1% и, если речь идет о годовом максимуме, то для такой оценки требуется ряд наблюдений продолжительностью 100 лет и более. При отсутствии таких данных рекомендуется использовать те, или иные теоретические законы распределения переменных. В гидрологии чаще всего используются распределения К.Пирсона, С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля, реже распределения Е.Гамбела [2, 6, 7].

Условием применимости в гидрологии того или иного теоретического распределения посвящено большое число работ. Здесь же хотелось бы отметить, что очень короткие, по понятиям математической статистики, ряды наблюдений за максимальными в году расходами воды и статистические особенности этих рядов в большинстве случаев не дают положительного результата при использовании того, или иного теоретического закона распределения. Так С.Н.Крицкий и М.Ф.Менкель отмечают, что «точки, изображающие на графике обеспеченности наблюдаемые величины максимального стока, порою значительно отклоняются от верхнего участка теоретической кривой...» [4].

Формирование выдающихся максимальных расходов явление объективное, обусловленное сочетанием случайных процессов, происходящих в речном бассейне. Это

может быть дождь исключительной интенсивности, прорывы плотин высокогорных озер, резкие подвижки ледников, сход оползней и оплывин, перегораживающих русла рек и др. В силу этого до проведения статистических расчетов необходимо убедиться в том, что такие ситуации возможны в будущем. К примеру, на р.Исфайрамсай в 1963 году при прорыве плотины высокогорного озера Яшинкуль сформировался исключительный по абсолютной величине максимум – 1770 м<sup>3</sup>/с. Отметим, что второй максимум в ранжированном ряде составил «всего» 286 м<sup>3</sup>/с. При отсутствии других таких объектов в бассейне реки повторение таких максимумов исключено [10].

Основой статистических расчетов и их результатов является ряд наблюдений. Для описания эмпирической функции распределения и экстраполяции данных расчетов в область редкой повторяемости в гидрологии используется ряд формул. Чаще всего это формулы:

$$- \text{А.Хазена } p = \frac{m - 0,5}{n} \cdot 100\% ; (1)$$

$$- \text{Н.Н.Чегодаева } p = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100\% ; (2)$$

$$- \text{С.Н.Крицкого-М.Ф.Менкеля } p = \frac{m}{n + 1} \cdot 100\% ; (3)$$

$$- \text{Е.Г.Блохинова } p = \frac{m - 0,4}{n + 0,2} \cdot 100\% ; (4)$$

$$- \text{Д.Коудена } p = \frac{1}{\sqrt{n} + 1} \left( \frac{m}{\sqrt{n}} + \frac{1}{2} \right) \cdot (5)$$

Отметим, что формула Крицкого-Менкеля полностью соответствует ранее предложенной формуле Е.Гамбела, а формулу Д.Коудена зачастую называют формулой «min/max». Все приведенные выше формулы не учитывают ни абсолютные изменения исходных переменных, ни их статистические характеристики. Основными аргументами в них являются порядковый номер переменной  $m$  и общая длина ряда  $n$ . Детальный анализ таких формул проделан Ю.Б.Виноградовым и М.А.Мамедовым [1, 5].

К сожалению, в математической статистике практически не разработаны методы вероятностной оценки «резко выделяющихся величин», которые часто называют «выбросами» [3]. Математиков, в основном интересует вопрос исключения таких «выбросов», искажающих, по их мнению, статистические характеристики рядов. Детально разработана процедура исключения таких аномальных значений. Гидрологам же важны именно такие, резко отличающиеся члены ряда.

Как известно, в математической статистике применяются те, или иные критерии для оценок, как законов распределений, так и для характеристик совокупностей. В числе этих критериев критерий Ирвина [8] призван дать ответ на вопрос – принадлежат ли крайние члены ряда данной совокупности:

$$\lambda = \frac{x_i - x_{i+1}}{\sigma_x}, (6)$$

где  $x_i$  и  $x_{i+1}$  смежные члены ранжированного ряда.

Нами для расчета эмпирической обеспеченности предложена формула

$$p^* = \frac{mn - \lambda^2}{n(n + \lambda^2)}. (7)$$

Проверка этой формулы на сильно асимметричных рядах максимальных в году расходах воды для ряда рек показала, что:

- она является наименее смещенной по сравнению с формулами (1-5);

- при малой разности между соседними членами ряда мы практически получаем несмещенную оценку обеспеченности  $p^* = \frac{m}{n}$  ;

- для резко асимметричных рядов формула (7) дает наименьшую дисперсию оценок  $p^*$ ;

- добавим, что с ростом  $n$  вероятность превышения  $p^*$  стремится к 1, что говорит об ее состоятельности.

Для демонстрации преимуществ формулы (7) при вычислении эмпирических обеспеченностей максимумов приведем данные наблюдений на р.Шаугазсай (левый приток р.Ахангаран). Площадь водосбора реки до водпоста (урочище Караташ) - 65,8 км<sup>2</sup>, длина водотока - 15 км, общая протяженность реки 22 км, средняя высота водосбора 1,66 км.

Имеется ряд наблюдений с 1951 по 2004 гг., т.е. несколько более 50 лет. Максимальный, измеренный на посту расход воды, составил 172 м<sup>3</sup>/с (27 июля 1964 г.), наименьший годовой минимум 0,55 м<sup>3</sup>/с, который наблюдался дважды в 1962 и 1977 гг. Средний из максимальных расходов - 7,46 м<sup>3</sup>/с. Коэффициент вариации этого ряда равен 3,20, а коэффициент асимметрии 6,61. Результаты вычисления эмпирических обеспеченностей по вышеприведенным формулам для верхней части кривой (первые 10 членов ранжированного ряда) приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Эмпирические обеспеченности максимальных расходов воды р.Шаугазсай (без селевого максимума)**

№	Q <sub>max</sub> , м <sup>3</sup> /с	Эмпирические обеспеченности максимальных расходов воды							
		$\frac{m}{n}$	$\frac{m}{n+1}$	$\frac{m-0,3}{n+0,4}$	$\frac{m-0,5}{n}$	$\frac{m-0,4}{n+0,2}$	$\frac{1}{\sqrt{n+1}}(\frac{m}{\sqrt{n}}+0,5)$	$\frac{m}{n+1+K_m^z}$	$\frac{mn-\lambda^2}{n(n+\lambda^2)}$
1	172	0,0189	0,0185	0,0131	0,0094	0,0113	0,0771	0,0017	0,0042
2	33,5	0,0377	0,0370	0,0318	0,0283	0,0301	0,0937	0,0270	0,0376
3	24,0	0,0566	0,0556	0,0506	0,0472	0,0489	0,1104	0,0466	0,0565
4	19,3	0,0755	0,0741	0,0693	0,0660	0,0677	0,127	0,0659	0,0755
5	17,2	0,0943	0,0926	0,0880	0,0849	0,0865	0,1436	0,0893	0,0941
6	8,79	0,1132	0,1111	0,1067	0,1038	0,1053	0,1602	0,1083	0,1132
7	7,58	0,1321	0,1296	0,1255	0,1226	0,1241	0,1768	0,1272	0,1321
8	6,23	0,1509	0,1481	0,1442	0,1415	0,1429	0,1935	0,1463	0,1509
9	5,29	0,1698	0,1667	0,1629	0,1604	0,1617	0,2101	0,1651	0,1698
10	5,09	0,1887	0,1852	0,1816	0,1792	0,1805	0,2267	0,1836	0,1887

Таблица 2

**Эмпирические обеспеченности максимальных расходов воды р.Шаугазсай (с селевым максимумом)**

№	Q <sub>max</sub> , м <sup>3</sup> /с	Эмпирические обеспеченности максимальных расходов воды							
		$\frac{m}{n}$	$\frac{m}{n+1}$	$\frac{m-0,3}{n+0,4}$	$\frac{m-0,5}{n}$	$\frac{m-0,4}{n+0,2}$	$\frac{1}{\sqrt{n+1}}(\frac{m}{\sqrt{n}}+0,5)$	$\frac{m}{n+1+K_m^z}$	$\frac{mn-\lambda^2}{n(n+\lambda^2)}$
1	274	0,0189	0,0185	0,0131	0,0094	0,0113	0,0771	0,0011	0,0024
2	33,5	0,0377	0,0370	0,0318	0,0283	0,0301	0,0937	0,0300	0,0377
3	24,0	0,0566	0,0556	0,0506	0,0472	0,0489	0,1104	0,0495	0,0566
4	19,3	0,0755	0,0741	0,0693	0,0660	0,0677	0,127	0,0687	0,0755
5	17,2	0,0943	0,0926	0,0880	0,0849	0,0865	0,1436	0,0872	0,0942
6	8,79	0,1132	0,1111	0,1067	0,1038	0,1053	0,1602	0,1093	0,1132
7	7,58	0,1321	0,1296	0,1255	0,1226	0,1241	0,1768	0,1281	0,1321
8	6,23	0,1509	0,1481	0,1442	0,1415	0,1429	0,1935	0,1469	0,1509
9	5,29	0,1698	0,1667	0,1629	0,1604	0,1617	0,2101	0,1657	0,1698
10	5,09	0,1887	0,1852	0,1816	0,1792	0,1805	0,2267	0,1842	0,1887

На основании обследования следов катастрофического паводка 1964 г. максимальный расход был оценен в 274 м<sup>3</sup>/с для створа, расположенного несколько ниже водпоста. Естественно, изменились статистические характеристики ряда – среднее значение расхода 9,38 м<sup>3</sup>/с, коэффициенты вариации и асимметрии – 4,00 и 7,00 соответственно (табл. 2).

При анализе данных (табл. 1 и 2) обращает на себя внимание то, что если для расхода 172 м<sup>3</sup>/с эмпирическая обеспеченность равна 0,0042 а, естественно, обеспеченность расхода 274 м<sup>3</sup>/с существенно меньше и по формуле (8) она равна 0,0024, т.е. практически в 2 раза меньше. Очевидно, что формулы (1-5) такой корректировки в оценке эмпирической обеспеченности выполнить не могут.

Очевидно, что при приведенных выше статистических характеристиках ряда, использование традиционно применяемого в гидрологии, трехпараметрического распределения Крицкого-Менкеля невозможно и, для сравнения эмпирических обеспеченностей, вычисленных по формулам (1-7) с теоретическим, мы использовали распределение К.Пирсона. Для иллюстрации выбран максимум 1% обеспеченности, результаты расчетов представлены в табл. 3.

При сопоставлении максимумов, рассчитанных по эмпирическим формулам с их величиной, полученной по распределению К.Пирсона видно, что величина расходов полученных по формуле «min/max» неоправданно завышена. Вполне понятно завышение максимумов, рассчитанных по формулам (1-5), т.к. с уменьшением числа точек неизбежно возрастает обеспеченность в области ее малых значений. Иная картина изменения максимумов 1% обеспеченности, вычисленных по формуле (7). Добавим, что в среднем наименьшее отклонение эмпирических максимумов от их значения по Пирсону получено по формуле (7) – 22,0%.

Таблица 3

**Максимальные расходы воды 1% обеспеченности, вычисленные по различным формулам (без учета селевого максимума)**

Число точек	Максимальный расход воды 1% обеспеченности, м <sup>3</sup> /с								
	По Пирсону	$\frac{m}{n}$	$\frac{m}{n+1}$	$\frac{m-0,3}{n+0,4}$	$\frac{m-0,5}{n}$	$\frac{m-0,4}{n+0,2}$	$\frac{1}{\sqrt{n+1}}(\frac{m}{\sqrt{n}}+0,5)$	$\frac{m}{n+1+k_m Z}$	$\frac{mn-\lambda^2}{n(n+\lambda^2)}$
53	120	222	220	180	152	166	740	91,2	120
26	161	310	306	251	212	232	764	121	138
18	187	355	348	287	244	266	765	142	143
10	240	430	418	348	297	323	770	174	120

Таблица 4

**Максимальные расходы воды 1% обеспеченности, вычисленные по различным формулам (с учетом селевого максимума)**

Число точек	Максимальный расход воды 1% обеспеченности, м <sup>3</sup> /с								
	По Пирсону	$\frac{m}{n}$	$\frac{m}{n+1}$	$\frac{m-0,3}{n+0,4}$	$\frac{m-0,5}{n}$	$\frac{m-0,4}{n+0,2}$	$\frac{1}{\sqrt{n+1}}(\frac{m}{\sqrt{n}}+0,5)$	$\frac{m}{n+1+k_m Z}$	$\frac{mn-\lambda^2}{n(n+\lambda^2)}$
53	186	354	351	351	238	261	938	127	159
26	255	496	488	399	337	369	1230	178	188
18	300	568	557	459	389	425	1230	212	199
10	381	687	668	556	475	516	1230	271	174

Возвращаясь к проблеме включения, либо не включения, селевых максимумов в общий многолетний ряд наблюдений сошлемся на мнение И.Ф.Горошкова [2].

Руководствуясь его соображениями нами выполнены расчеты максимума 1% обеспеченности р.Шаугазсай с учетом максимума 1964 года, полученного на основании

гидравлических расчетов для сечения русла, расположенного ниже гидроствора, примерно на 1,5-2 км. Этот максимум, как отмечено выше, оценен селевиками в размере  $274 \text{ м}^3/\text{с}$  [9]. Используя новый ряд максимумов, мы повторили вычисления 1% расхода воды при разном числе членов ряда (табл. 4).

Как видно из табл. 3 и 4, селевые максимумы превышают максимумы, наблюдаемые на водпосту примерно в 1,4-1,6 раза, что в какой-то степени обусловлено несовпадением расчетных створов. Наименьшее в среднем отклонение расходов 1% обеспеченности по сравнению с кривой Пирсона получено по формуле (5) – 28,7%. Однако, по формуле (7) аналогичное отклонение составляет 32,3%.

Видимо следует добавить, что отношение наибольшего 1%-го максимума (при малом числе членов ряда), к наименьшему (при максимальной длине ряда), при расчетах по формулам (1-4) примерно равно 1,9-2,0. Существенно меньше это отношение для формул (5 и 7), но, как уже отмечалось расчет по формуле «min/max» сильно завышает, по сравнению с остальными, величину 1% максимума, что вызывает сомнения в целесообразности ее использования в практических расчетах. Этот вывод, по нашему мнению, важен при использовании коротких рядов и невозможности эти ряды дополнить какими-либо данными, к примеру, используя материалы наблюдений на реках-аналогах.

#### **Итак, можно кратко сформулировать полученные выводы:**

- оценка эмпирической обеспеченности максимальных расходов по формуле (7) является наименее смещенной по сравнению с остальными смещенными оценками;
- малая изменчивость ее говорит о ее состоятельности;
- оценивая максимумы в районе редкой повторяемости нас, как отмечает Ю.Б.Виноградов, «... не должно смущать, то, что минимальный член вариационного ряда при любом  $n$  будет иметь оценку  $p^*=1$ » [1];
- эмпирическая обеспеченность, вычисленная по формуле (7) в наименьшей степени зависит от числа членов ряда;
- в практических расчетах для малых рек целесообразно учитывать селевые максимумы, причем использование формулы (7) обеспечивает наименьшее увеличение расчетных величин (примерно в 1,3-1,4 раза), что, в какой-то степени, предотвращает не оправдываемое завышение максимумов и мало обоснованное удорожание проектируемых сооружений.

#### **Литература:**

1. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. - Л.: Гидрометеоздат, 1988. -С.203-251.
2. Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. - Л.: Гидрометеоздат, 1979. - С.214-231.
3. Длин А.М. Математическая статистика в технике. - М.: Наука, 1958. - С.49-51.
4. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. - М.: Наука, 1981. - с.27-77.
5. Мамедов Магбет Адил оглы Анализ условий формирования и методы расчета максимальных расходов горных рек (на примере рек Закавказья и Дагестана).-Автореф. дисс...докт. геогр. наук. - Л., ГГИ, 1984. -39 с.
6. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеоздат, 1984. - С.23-63.
7. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеоздат, 1984. - С.41-70.
8. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики (для технических приложений). - М.: Наука, 1965. - 510 с.
9. Хальд А. математическая статистика с техническими приложениями. - М.: ИЛ, 1956. - 664 с.
10. Чуб В.Е., Трофимов Г.Н., Меркушкин А.С. Селевые потоки Узбекистана. - Ташкент: Изд-во Узгидромета, 2007. - 109 с.