

## ГИДРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ

## HYDROLOGY AND CLIMATOLOGY

УДК 627.141.1

Сагдеев Н.З., Аденбаев Б.Е., Исакова А.Я.

Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент, Узбекистан

МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ НА МАЛЫХ  
НИЗКОГОРНЫХ РЕКАХ УЗБЕКИСТАНА

***Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы расчета максимального стока на малых низкогорных реках Узбекистана. Выполнены расчеты по данным о стандартных наблюдениях Узгидромета и с учетом расчетных максимумов селевых паводков. Рассмотрены вопросы подсчета селевых максимумов в трех стандартных случаях: при достаточно длительном ряде наблюдений; при коротком ряде наблюдений; расчеты при отсутствии данных наблюдений. Выполнены расчеты по формулам В.М. Денисова, А.Ф. Шахидова, Ю.Б. Виноградова. Обнаружено, что практически все максимальные расходы воды на малых низкогорных реках республики формируются за счет выпадения дождей большой интенсивности. Максимальные расходы воды на исследуемых реках Узбекистана могут формироваться практически в течение всего календарного года, но почти 90% зарегистрированных в году максимумов приходится на весну и начало лета.*

***Ключевые слова:** селевые паводки, максимальный расход, малые низкогорные реки, максимальный модуль дождевого стока, ранжированный ряд, трехпараметрическое гамма-распределение.*

Sagdeev N.Z., Adenbaev B.Ye., Isakova A.Ya.

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

MAXIMUM WATER DISCHARGE IN SMALL LOW-MOUNTAIN RIVERS IN  
UZBEKISTAN

***Abstract.** The article deals with the issues of calculating the maximum flow on small low-mountain rivers of Uzbekistan. Calculations were made according to the data on standard observations of Uzhydromet and taking into account the calculated maxima of mudflow floods. The issues of calculating mudflow peaks in three standard cases are considered: with a sufficiently long series of observations; with a short series of observations; calculations in the absence of observational data. Calculations were made according to the formulas of V.M. Denisov, A.F. Shahidov, Yu.B. Vinogradov. It was found that almost all the maximum water discharges on small low-mountain rivers of the republic are formed due to heavy rainfall. The maximum water discharges on the studied rivers of Uzbekistan can be formed almost during the entire calendar year, but almost 90% of the maximums recorded in the year occur in spring and early summer.*

***Key words:** mudflows, maximum discharge, small low-mountain rivers, maximum rainfall modulus, ranked series, three-parameter gamma distribution.*

**Введение.** Расчеты максимальных расходов воды являются наиболее сложной и ответственной задачей при проектировании различных сооружений. Строительство различных объектов в горах, причем в основном это строительство происходит в нижней зоне гор, вызывает необходимость постройки большого числа сооружений на малых реках. Несмотря на относительно небольшие размеры этих сооружений и относительно небольшую их стоимость, нужно иметь в виду их огромное количество, что в конечном

счете обуславливает колоссальные затраты при их строительстве. Все сказанное говорит о важности и актуальности исследования закономерностей формирования максимумов на малых реках и разработки методов их расчетов.

**Изученность проблемы.** Имеются два рода сведений о максимальных расходах малых низкогорных рек. Это данные стандартных гидрометрических наблюдений на водпостах и отрывочные данные по максимумам селевых потоков. Изучением проблемы максимального стока занимались многие ученые, как за рубежом, так и в Узбекистане.

По данным [19], всего в Узбекистане насчитывается 17777 водотоков, причем подавляющее большинство рек – это малые реки. Наблюдения за стоком ведется на 19 малых реках в бассейне Амударьи и на 20 реках в бассейне Сырдарьи. Таким образом, данные по максимальным расходам имеются лишь для 0,25% рек Узбекистана, а если учесть большую межгодовую изменчивость максимумов, то достаточные для расчетов ряды имеются лишь по 0,12% рек страны от их общего числа.

**Цель и задачи работы.** Целью работы является выявление генезиса максимального стока, как с применением стандартных наблюдений, так и с учетом вычисленных максимальных расходов. Отсюда следуют задачи по вычислению этих расходов с применением различных методов.

Как отмечает В.Л. Шульц «...на реках Средней Азии максимальные расходы довольно часто являются расходами смешанного (дожде-талого) происхождения» [22]. Очевидно, с полным основанием это утверждение можно отнести к большим и средним рекам, причем можно заведомо сказать, что доля дождевой составляющей для малых низкогорных рек существенно больше талой, составляя, зачастую практически 100%.

**Материалы и методы.** И.Ф. Горошков, а вслед за ним и С.Н. Крицкий с М.Ф. Менкелем, говорят о необходимости расчета отдельно талого и дождевого максимумов, но при этом практические пути решения этой проблемы ими не указываются [4]. Шахидовым А.Ф., на основании разработок В.П. Черногорова и Ю.М. Денисова, разработан метод расчета смешанных максимальных расходов воды горных рек Средней Азии [20]. Расчеты производились на основании стандартных наблюдений Узгидромета.

**Результаты и их обсуждение.** Учитывая своеобразие режима стока и условий стокообразования малых низкогорных рек, мы провели анализ времени и условий формирования максимумов на этих реках. Прежде всего, нас интересовали вопросы времени прохождения максимума и участия в его формировании талых вод. Получено, что максимальные расходы воды на малых низкогорных реках Узбекистана могут наблюдаться практически в течение всего года (рис. 1).

Однако подавляющее большинство максимумов формируется в период март-июнь, т.е. тогда, когда сезонный снежный покров на этих высотах уже сошел. Для доказательства этого обратимся к данным В.Л. Шульца. По его данным на высотах до 2000-2500 м тыл снеготаяния (граница снежного покрова) в зависимости от снежности года приходится на начало марта (реже конец февраля) - конец (третья декада) мая. Другими словами, в бассейнах малых низкогорных рек к основному периоду формирования максимальных расходов воды сезонный снежный покров практически отсутствует и максимумы, в подавляющем своем большинстве формируются за счет выпадения интенсивных жидких осадков.

Возвращаясь к вопросу о времени формирования максимумов на водосборах малых низкогорных рек, добавим, что в период март-июнь зафиксировано 86,8% максимумов за многолетие. Также добавим, что в феврале зарегистрировано лишь 1,1% от общего числа максимумов. Учитывая все сказанное, мы в дальнейших расчетах использовали данные по максимальным расходам воды без разделения их по генезису на талые и дождевые.

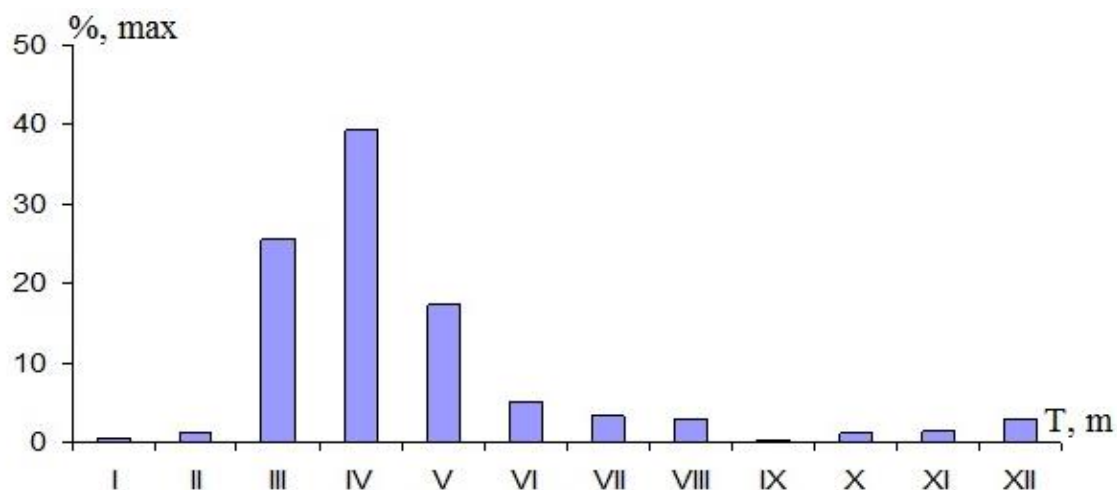


Рис. 1. Процент максимальных расходов воды по месяцам

Интересным фактом является то, что максимумы наблюдаются достаточно часто и зимой. В среднем для исследуемых рек в январе наблюдается около 3 % максимумов, а вообще зимой (декабрь-февраль) их около 5 %. Добавим, что для этой зоны гор достаточно характерным бывает выпадение дождя на тающий снег в конце зимы – ранней весной.

Второй особенностью максимумов на малых низкогорных реках является большая разность между средними годовыми и максимальными расходами воды. Если для больших рек Средней Азии в среднем соотношение  $Q_{max}/Q_{сред}$  составляет 13,0 (расчеты выполнены для 29 рек), то для малых рек это соотношение в среднем равно 112. Для 38,1 % рек бассейна Сырдарьи отношение  $Q_{max}/Q_{сред}$  более 100 и для 57,1 % это соотношение более 50. Для рек бассейна Амударьи получено соответственно для 36,8 % рек более 100 и для 56,9 % рек это соотношение более 50. Очевидно, такие характеристики рядов обусловлены их большой изменчивостью. Значения основных статистических характеристик наибольших расходов воды малых низкогорных рек приведены в (табл.1).

Таблица 1

Основные статистические характеристики максимальных расходов воды (без учета селевых максимумов)

Река	Число лет наблюдений		$Q_{max}, м^3/с$	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$	$Q_{1\%}, м^3/с$ по формулам:				
	Факт	С 20 % погреш.					1	2	3	5	8
<b>Бассейн р. Сырдарьи</b>											
Кирканасай	7	<b>88</b>	1,81	2,55	2,64	1,04	27,6	33,2	41,1	30,4	<b>6,95</b>
Гульдраут	25	<b>37</b>	3,67	1,48	1,66	1,22	23,3	26,0	29,9	24,7	29,3
Джумджум	7	<b>54</b>	5,18	1,87	2,61	1,39	<b>58,0</b>	<b>16,4</b>	<b>85,5</b>	<b>63,8</b>	<b>24,8</b>
Маджерум	38	<b>46</b>	3,45	1,68	4,62	2,76	40,6	48,9	61,3	34,6	29,3
Сентябсай	4	<b>14</b>	3,61	0,80	1,91	2,40	16,8	19,5	23,3	18,2	<b>8,34</b>
Четыксай	10	11	1,02	0,67	1,41	2,12	3,85	4,37	5,12	4,11	4,09
Джиблан	<b>24</b>	9	2,33	0,59	0,82	1,38	6,77	6,51	7,15	6,30	7,19
Наугарзан-1	8	<b>31</b>	32,9	1,31	2,24	1,71					
Наугарзан-2	<b>10</b>	9	21,1	0,62	0,37	0,60	52,1	56,3	62,3	54,2	63,0
Абджаз	26	<b>32</b>	6,45	1,34	3,28	2,46	53,9	62,9	76,5	58,4	58,1
Шаугаз	52	<b>126</b>	7,46	3,20	6,61	2,07	159	194	248	176	119
Янгикурган	<b>37</b>	28	5,67	1,22	3,57	2,92	42,9	49,6	59,7	46,3	46,0
Наувалисай	<b>36</b>	7	15,0	0,53	0,80	1,51	35,7	36,9	38,8	36,3	38,9

Чимгансай	36	32	2,55	1,35	3,10	2,29	22,7	19,6	22,5	18,6	23,8
Каранкуль	39	44	3,40	1,64	3,44	2,10	30,2	34,2	40,2	32,2	40,6
Гальвасай	24	23	4,97	1,08	2,17	2,00	25,8	28,9	33,5	27,3	35,6
Акташ	58	15	7,08	0,82	1,54	1,87	23,5	23,9	24,5	23,7	24,6
Алтынбелъ	38	29	10,3	1,25	2,09	1,68	44,7	45,8	80,2	45,3	78,5
Паркент – 1			26,4	1,97	3,65	1,85					
Паркент – 2	17	38	24,9	0,94	2,52	2,69	144	168	202	156	146
<b>Бассейн р. Амударьи</b>											
Харангон-1	9	15	3,10	0,82	1,26	1,55					
Харангон-2	34	16	7,79	0,87	1,36	1,56	22,6	23,2	41,2	22,9	38,0
Майдан	22	38	11,8	1,49	3,71	2,48	118	140	162	129	86,2
Караагач	26	56	6,64	1,91	3,34	1,74	75,7	88,6	108	82,1	93,8
Актеласай	24	30	4,92	1,30	2,24	1,72	32,0	63,5	41,7	34,0	38,2
Тегерман	26	64	12,1	2,09	3,57	1,71	157	187	230	172	141
Сазагансай	50	26	12,8	1,17	3,18	2,71	63,8	65,0	116	64,4	114
Агалык	20	16	31,1	0,85	2,80	3,31	176	206	236	191	146
Кафлятунсай	11	23	1,22	1,10	2,40	2,19	7,98	9,34	11,3	8,67	6,54
Аманкутан-1	42	23	18,5	1,17	3,63	3,11	138	160	189	149	160
Аманкутан-2	10	26	7,71	1,51	2,90	1,92	75,9	90,8	112	83,4	40,8
Ургут	44	19	4,89	0,95	2,10	2,21	20,9	21,9	23,4	21,4	23,6
Лянгар	22	9	7,05	0,61	0,49	0,81	17,6	18,6	20,3	18,1	20,3
Гульдара	16	6	0,79	0,48	0,16	0,32	1,58	1,63	1,74	1,63	1,76
Аккапчигай	23	11	4,01	0,68	0,72	1,06	12,8	14,2	16,1	13,5	15,7
Гуруфтьма	26	10	13,2	0,64	2,31	3,60	56,5	65,2	78,0	60,9	55,7
Аксу	34	29	8,96	1,25	2,55	2,04	61,9	70,7	84,0	66,3	77,0
Шаргунъ	35	14	10,1	0,81	1,90	2,36	45,5	51,1	59,6	49,1	54,1
Гулиоб	23	16	4,56	0,87	1,22	1,40	15,0	16,0	18,1	15,6	16,7

Как видно из таблицы 1, минимальные значения  $C_v$  рядов равны 0,48 - 0,67. Значений  $C_v$  менее 1,0 получено для 6 рек в бассейне Сырдарьи (30,0 %) и для 10 рек в бассейне Амударьи (55,5 %). Максимальные  $C_v$  составили 2,55 - 3,20 (рр. Кирканасай и Шаугаз) в бассейне Сырдарьи и 2,09 (р. Тегерман) в бассейне Амударьи. В целом, коэффициенты вариации более 1,0 получены для 42 % рек в бассейне Сырдарьи и для 58 % рек в бассейне Амударьи. Отметим относительно небольшое соотношение  $C_s/C_v$ , как правило, около 2. Такие соотношения коэффициентов асимметрии и вариации получены для 71 % рек бассейна Сырдарьи и 79 % рек бассейна Амударьи.

Приведенный краткий анализ основных статистических характеристик рядов наибольших расходов воды достаточно убедительно говорит об относительно низкой точности расчетов кривых обеспеченности. Если принять во внимание, что продолжительность рядов наблюдений за максимальными расходами воды в среднем 20-40 лет, а основное число исследуемых нами рек характеризуются коэффициентами вариации не менее 1,0, то точность оценок не выше 15,8 - 22,4 % [25].

В заключение необходимо отметить, что для 42,1 % рек бассейна Сырдарьи и 63,2 % рек бассейна Амударьи продолжительность рядов наблюдений может считаться достаточной при 20 % ошибке расчетов.

При расчетах максимальных расходов воды в гидрологии обычно используют три подхода к решению этой задачи:

- расчеты при достаточно длительном ряде наблюдений;
- расчеты при коротком ряде наблюдений;
- расчеты при отсутствии данных наблюдений.

Прежде чем перейти к расчетам максимумов и анализу результатов расчета, следует, на наш взгляд, кратко остановиться на требованиях, предъявляемых к расчетным вероятностям превышения максимумов для различных типов сооружений. Для гидротехнических сооружений и сооружений мелиоративных систем в зависимости от их класса, приняты следующие величины вероятности превышения (табл.2). Свои

нормы вероятности превышения максимальных расходов воды приняты в автодорожном и железнодорожном строительстве. Добавим, что обеспеченность максимальных расходов воды в зависимости от категории дорог меняются от 1 до 5 %.

Таблица 2

Вероятность превышения максимальных расходов воды  
для разных классов сооружений на реках

Класс сооружения	I	II	III	IV	V
Обеспеченность, %	0,01	0,1	0,5	1,0	10,0

Таким образом, ставится задача расчета максимального расхода воды с повторяемостью 1 раз в 10 - 10000 лет. Очевидно, используя фактические ряды наблюдений, такая задача не выполнима и поэтому в расчетах используется то, или иное теоретическое распределение максимальных расходов воды. Исходными параметрами при этом служат средние значения переменных и их коэффициенты вариации и асимметрии.

**Расчеты при достаточном ряде наблюдений.** В гидрологических расчетах в качестве стандартизированного распределения используется распределение С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля [24, 25], однако использование этого распределения для расчетов максимумов часто мало оправдано. Дело в том, что ряды максимальных расходов воды, как это показано выше, характеризуются весьма большой вариацией и фактические характеристики распределения зачастую оказываются за пределами табулированных ординат трехпараметрического гамма-распределения. Не является выходом из положения, как это показал Г.Н. Трофимов, применение законов распределения Гумбеля и Фишера - Типпета, рекомендованных соответствующими Наставлениями по гидрологическим расчетам [9, 10, 16]. Ю.Б. Виноградов и А.В.Рождественский с А.И.Чеботаревым убедительно доказали сомнительность применения распределения Гумбеля в гидрологических расчетах, учитывая необходимые свойства исходных переменных. В их числе – размер требуемой выборки и независимость элементов ее. Одним из главных аргументов неприменимости распределения Гумбеля – это постоянство коэффициента асимметрии ( $C_s = 1,14$ ), что приводит к завышенным значениям переменной в области малой обеспеченности. Наконец, оценка обеспеченности в области малых ее значениях производится путем линейной экстраполяции данных [2, 11].

В дополнение к сказанному следует заметить, что для любого теоретического распределения необходимо знать значения двух-трех параметров, рассчитываемых по фактическим рядам наблюдений. Имеющиеся к настоящему времени ряды наблюдений за максимумами не позволяют оценивать эти параметры с достаточной степенью точности. К таким выводам приходят практически все гидрологи, занимающиеся статистическими расчетами. Добавим также, что, как правило, суждение о соответствии теоретического распределения и эмпирических значений опирается лишь на визуальное их сопоставление на чертеже.

Касаясь вопросов использования в гидрологических расчетах того, или иного теоретического распределения, сошлемся на мнение Н.А. Картвелишвили: «Подобранное (по параметрам, вычисленным по имеющемуся ряду) аналитическое выражение функции распределения вероятностей иногда называют теоретическим» и «смотреть на эти выражения следует только как на эмпирические формулы». И еще: «Мнение, что аналитические выражения повышают достоверность экстраполяции функции распределения в область очень больших и очень малых вероятностей не превышения сильно переоценивается» [7].

Как показано выше, примерно для половины исследуемых нами рек фактические ряды наблюдений достаточны для расчетов максимумов с ошибкой расчета не более 20 %. Тогда логично использовать эмпирические ряды наблюдений для расчета максимумов определенной обеспеченности. Для такого рода расчетов гидрологами предложен ряд формул. Наиболее часто используются следующие формулы расчета эмпирической обеспеченности ранжированных рядов наблюдений:

$$- \text{А. Хазена} \quad p^* = \frac{m - 0,5}{n}; \quad (1)$$

$$- \text{Н.Н. Чегодаева} \quad p^* = \frac{m - 0,3}{n + 0,4}; \quad (2)$$

$$- \text{Э. Гумбеля, Г.А. Алексеева,} \quad P^* = \frac{m - 0.25}{n + 0.5}; \quad (3)$$

$$- \text{С.Н. Крицкого - М.Ф. Менкеля} \quad p^* = \frac{m}{n + 1}; \quad (4)$$

$$- \text{Е.Г. Блохинова} \quad p^* = \frac{m - 0,4}{n + 0,2}; \quad (5)$$

$$- \text{Д. Коудена} \quad p^* = \frac{1}{\sqrt{n} + 1} \left( \frac{m}{\sqrt{n}} + \frac{1}{2} \right); \quad (6)$$

$$- \text{М. Мамедова} \quad p^* = \frac{m}{n + 1 + K_m^Z}; \quad (7)$$

$$- \text{Г.Н. Трофимова} \quad p^* = \frac{m(n - \lambda^2)}{n(n + \lambda^2)}, \quad (8)$$

здесь  $m$  – порядковый номер ранжированного ряда,  $n$  – общее число членов ряда,  $K_m$  – модульный коэффициент (отношение  $m$ -го члена ряда к среднему значению переменной),  $Z$  – показатель степени, зависящий от величины коэффициента вариации,  $\lambda = \frac{X_m - X_{m+1}}{\sigma_x}$  – критерий согласия Ирвина.

Расчеты эмпирической обеспеченности максимальных расходов воды и сопоставление этих формул выполнили Ю.Б. Виноградов и Г.Н. Трофимов [1, 2, 13, 14, 15, 16]. Первый пришел к выводу, что при расчетах максимумов логичней всего использовать оценку эмпирической вероятности превышения по формуле  $p^* = \frac{m}{n}$ . Это

свое мнение Ю.Б. Виноградов обосновывает тем, что эта оценка не смещена, а равенство ее при  $m = n$  единице не столь важно при расчетах максимумов редкой повторяемости.

Г.Н. Трофимов, использующий критерий Ирвина при расчете эмпирической обеспеченности максимальных расходов воды показал, что эта оценка имеет наименьшее смещение относительно не смещенной оценки, имеет наименьшую дисперсию для выборок различного объема и, что самое главное, учитывает смещенность наибольших значений исходной переменной.

Также Г.Н. Трофимовым для малой низкогорной реки – притока р. Ахангаран (Шаугазсай) получено, что формула Д. Коудена дает сильно завышенные квантили распределения, а формула М. Мамедова, наоборот, сильно заниженные значения расчетных максимумов. Практически близкие значения максимумов 1 % обеспеченности получены по формулам Н.Н. Чегодаева и С.Н. Крицкого - М.Ф. Менкеля. Более «осторожные» по выражению С.Н. Крицкого - М.Ф. Менкеля значения вероятности превышения дают формулы А. Хазена и Е.Г. Блохинова.

Ю.М. Денисов для расчета, вернее уточнения, статистических характеристик срочных максимальных расходов воды предлагает использовать значения

среднегодовых расходов воды. Он считает, что осредненные за год расходы воды обладают неким стабилизирующим фактором, при котором завышенные расходы компенсируются их заниженными значениями и этим свойством не обладают срочные максимальные расходы. Основным требованием при использовании стабилизирующего влияния среднегодовых расходов на вероятность срочных является значение коэффициента корреляции между ними не ниже 0,8 [6]. К сожалению, столь тесных связей между среднегодовыми и максимальными срочными расходами воды мы не получили. Так для выбранных малых рек наибольший коэффициент корреляции оказался для р. Ургутсай – 0,60, наименьший для р. Сазагансай – 0,31. Следует добавить, что по расчетам Ю.М. Денисова, даже при коэффициенте корреляции таких связей для Амударьи створы Керки и Дарганата 0,81, получено уточнение эмпирической обеспеченности не более 8 - 9 % при ошибке измерения максимумов 15 - 20 %.

В дальнейших расчетах максимумов малой обеспеченности мы использовали формулы А. Хазена, Н.Н. Чегодаева, С.Н. Крицкого - М.Ф. Менкеля, Е.Г. Блохинова и Г.Н. Трофимова.

**Расчеты при недостаточном ряде наблюдений.** Как показано выше, примерно 50 % рядов наблюдений за максимальными расходами воды на малых реках коротки и продолжительность этих рядов наблюдений явно недостаточна для обоснованных статистических расчетов даже при 20 % погрешности. В этих случаях рекомендуется использовать связи между переменными для исследуемых рек и рек-аналогов. Очевидно, что для таких расчетов требуются достаточно надежные, тесные связи, характеризующиеся значениями коэффициентов корреляции не менее 0,8 - 0,9 [15, 16]. Однако, как показали наши расчеты, даже для близкорасположенных рек в пределах одного склона коэффициент корреляции такой связи немногим больше 0,50.

Таким образом, при расчетах максимумов с использованием рек-аналогов практически для всех пар рек мы получили не значимые коэффициенты корреляции этих связей и этот метод нельзя рекомендовать для продления коротких рядов наблюдений за максимальными расходами воды на малых низкогорных реках.

**Расчеты при отсутствии наблюдений.** Для условий горной зоны Средней Азии разработаны методики расчета максимальных расходов дождевых паводков Ю.Б. Виноградовым, В.М. Денисовым и А.Ф. Шахидовым [1, 2, 5, 20, 21]. Эти методики хорошо адаптированы к условиям малых горных рек и дают хорошую сходимость результатов расчета. При строительстве различных объектов на территории Узбекистана также рекомендуется использовать Справочник «КМК 2.01.14-98» [8].

Нами, для сравнения наблюденных и рассчитанных максимумов, расчеты выполнены для рек имеющих достаточные ряды наблюдений. Имеет смысл кратко привести методику расчетов.

Во всех расчетных схемах используются данные об осадках, точнее о суточных суммах жидких осадков различной обеспеченности. Ю.Б. Виноградов использует суточные суммы жидких осадков из выборки слоем  $\geq 1$  мм с обеспеченностью 10 и 0,1 %. Кроме того, используется среднее число дождей в году и «показатель асимметрии» - пн. В расчетных схемах В.М. Денисова и А.Ф. Шахидова используется суточный слой дождей 1 % обеспеченности из всей совокупности данных. Нами для выбранных гидрологических районов получены связи этих климатических показателей от высоты местности. Примеры связей для двух районов приведены на (рис. 2 и 3).

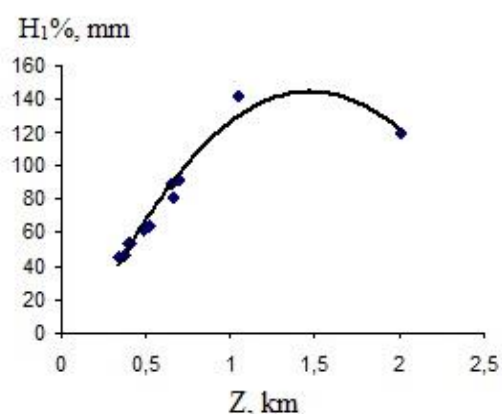
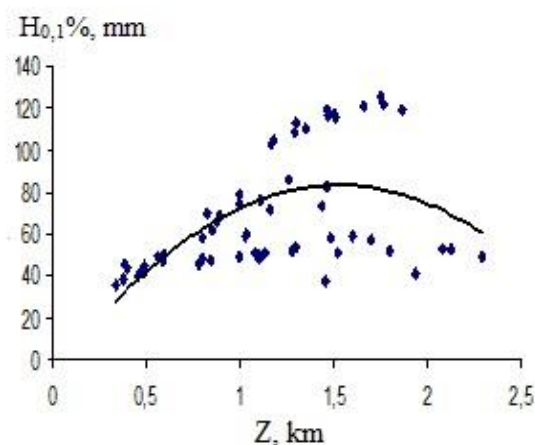
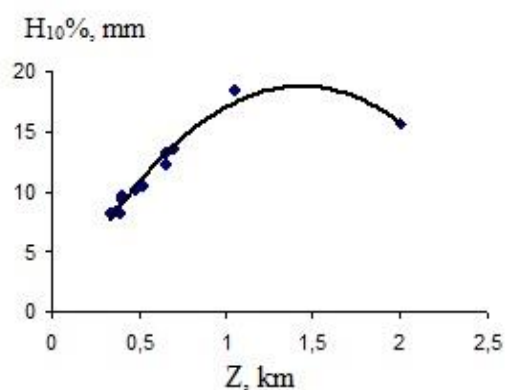
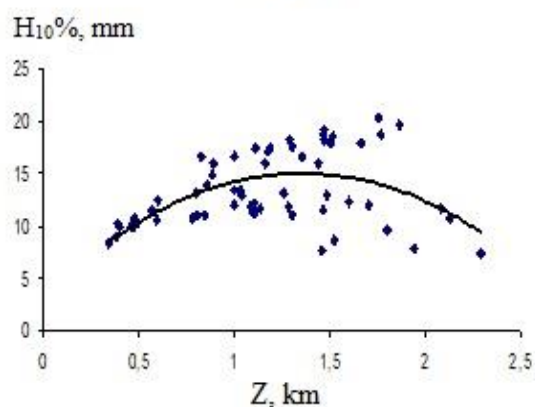
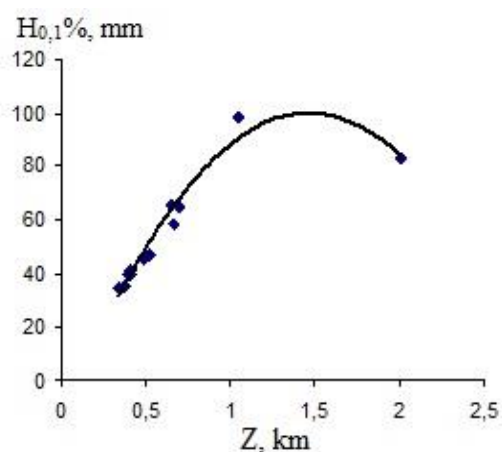
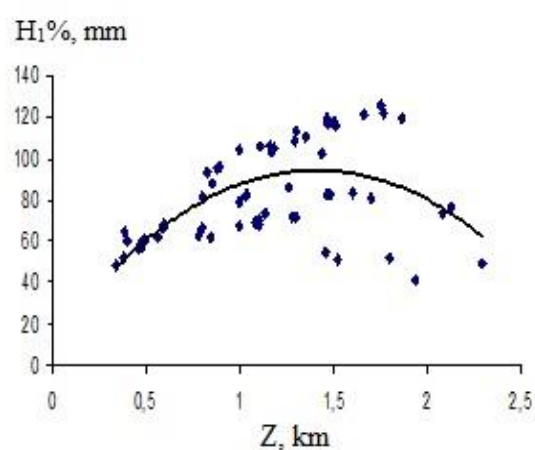


Рис. 2. Связь  $H_{10}\%$ ;  $H_{0.1}\%$ ;  $H_1\%$  с высотой (Чирчик-Ахангаранский бассейн)

Рис. 3. Связь  $H_{10}\%$ ;  $H_{0.1}\%$ ;  $H_1\%$  с высотой (Северные склоны Каратепе)

**Расчеты по методу В.М. Денисова.** Метод расчета максимального стока с поверхности водосборов Средней Азии был разработан в 1986 году [5]. Максимальный модуль дождевого стока с учетом гидравлических характеристик русел рассчитывается по формуле:

$$q_{\max} = \frac{A}{1 + \frac{D}{q_m^4}},$$

где



$$D = \frac{n_0^{\frac{3}{4}} \cdot a \cdot L}{0,001 \cdot j^{\frac{1}{3}} \cdot F^{\frac{1}{4}} \cdot \gamma \cdot H_0}$$

здесь  $L$  – длина водотока,  $n_0$  – шероховатость русла,  $j$  – уклон русла,  $F$  – площадь водосбора,  $a$  – средняя интенсивность дождя,  $H_0$  – слой дождя,  $\gamma$  – интенсивность поглощения воды почво-грунтом,  $A$  – параметр, учитывающий строение бассейна. Максимальный расход паводка вычисляется по формуле:

$$Q_{\max} = q_{\max} \cdot F, \quad \text{м}^3/\text{с}.$$

**Расчеты по методу А.Ф. Шахидова.** В 1995 году А.Ф. Шахидовым [20] была предложена формула для расчета дождевых максимумов в виде:

$$Q = 16,7 \cdot a_{\text{ч}} \cdot K_t \cdot F \cdot \alpha \cdot \varphi \cdot \delta_{\text{об}},$$

где  $F$  – площадь водосбора,  $a_{\text{ч}}$  – интенсивность ливня часовой продолжительности,  $K_t$  – коэффициент перехода от часовой интенсивности к интенсивности с учетом длины водосбора и скорости стекания воды,  $\alpha$  – коэффициент стока,  $\varphi$  – коэффициент неполноты стока,  $\delta_{\text{об}}$  – обобщенный региональный коэффициент.

**Метод Ю.Б. Виноградова.** Кратко схема формирования стока на горном склоне при выпадении дождя представлена Ю.Б. Виноградовым [1, 2] следующим образом. В начале дождя сухая (относительно сухая) почва жадно впитывает воду, и сток на поверхности склонов отсутствует. Та часть дождевых осадков, которые идут на смачивание поверхности склона, заполнение водой отрицательных форм микрорельефа, смачивание растительности и т.п., принято называть “начальными потерями дождя” ( $H_0$ ), а продолжительность этого процесса – временем до стокообразования на склоне ( $T_0$ ).

Образование стока на склоне помимо “силы” дождя зависит от инфильтрационной способности подстилающей поверхности.

Зависимость величины инфильтрации дождевой воды в почво-грунты от интенсивности дождя, как показали Ю.Б. Виноградов, А.Ф. Литовченко, В.П. Мочалов, Г.Н. Трофимов и др., имеет вид:

$$f_i = f_0 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{i}{f_0}\right) \right]$$

где  $f_0$  – предельная интенсивность инфильтрации (коэффициент фильтрации),  $f_i$  – интенсивность инфильтрации, соответствующая данной интенсивности дождя  $i$ .

Интенсивность стокообразования на горном склоне ( $q_i$ ) будет равна

$$q_i = i - f_0 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{i}{f_0}\right) \right].$$

Слой стока за интервал  $t$  будет равен

$$\Delta H_q = q_i \cdot t.$$

А слой стока за весь паводок

$$H_q = \sum \Delta H_q.$$

Объем стока за паводок будет

$$W_q = H_q \cdot F \cdot 1000, \quad \text{м}^3$$

с учетом размерностей исходных данных,  $F$  – площадь водосбора (км<sup>2</sup>).

Наконец, максимальный расход дождевого паводка можно рассчитать по показательной зависимости, предложенной Ю.М. Денисовым [6]

$$Q_{\max} = \alpha \cdot W_q^\beta,$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  - региональные коэффициенты.

Результаты расчетов по всем трем методикам и сравнение их с наблюдаемыми данными приведены в (табл.3).

В целом можно отметить, что все три методики расчетов дают близкие значения максимальных расходов. Также эти значения достаточно хорошо сходятся с данными наблюдений.

**Максимальные расходы селевых паводков.** Помимо максимумов, зарегистрированных на водпостах, в гидрологических расчетах считается необходимым учитывать, так называемые «исторические максимумы» [23]. Очевидно, что включение этих максимумов в статистические ряды с точки зрения математической статистики не оправдано. Однако потребности практики и, в первую очередь, потребность обеспечения безопасности объектов, находящихся в зоне возможного затопления паводковыми водами, определяют необходимость включения в расчеты именно этих «сверх максимальных» расходов воды. Для горных рек – это обычно селевые расходы.

При прохождении паводков селевого характера оценки их максимумов проводятся, как правило, на тех участках реки, где имелись разрушения, причиненные потоком, либо происходила существенная деформация русла (изменение планового рисунка русла, обрушение берегов и т.п.). Другими словами, местоположение так называемых «селевых поперечников» часто не совпадает с расположением гидрологических постов. По этой причине для больших рек включение максимумов такого рода в общую совокупность не всегда обосновано. Для малых рек, видимо, можно включать данные Каталога селей и других справочников по максимумам в общий ряд, т.к. в силу небольшой протяженности водотоков изменение местоположения створа измерений этого максимума существенного влияния на его размер не окажет.

Таблица 3

Основные статистические характеристики максимальных расходов воды  
(с учетом селевых максимумов)

№	Река	Число лет наблюдений		$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$	$Q_{1\%}$ , м <sup>3</sup> /с по формулам:				
		Факт.	При погреш. 20%					1	2	3	5	8
Бассейн Сырдарьи												
1	Наугарзан-1	8	31	25,1	0,91	1,95	2,15	132	154	184	143	123
2	Шаугаз	52	126	7,46	3,20	6,61	2,07	159	194	248	176	119
3	Акташ	58	15	7,57	0,82	3,32	1,87	46,8	53,6	63,8	50,2	51,8
4	Алтынбельсай	38	29	10,9	1,38	2,68	1,94	83,8	96,2	115	90,0	99,9
5	Каракульсай	41	44	3,77	1,64	4,13	2,10	46,0	53,9	65,9	50,0	66,6
6	Паркентсай-2	17	38	33,9	0,94	3,83	2,69	398	478	595	438	247
Бассейн Амударьи												
1	Харангон-2	34	16	11,5	2,01	4,50	2,24	160	193	242	176	94,3
2	Аманкутан-1	42	23	20,3	1,55	4,94	3,18	216	218	312	237	200
3	Ургут	44	19	5,27	1,19	3,34	2,81	37,4	42,6	50,4	40,0	43,0
4	Аккапчигайсай	23	11	15,4	3,49	4,57	1,31	375	460	585	418	132
5	Аксу	34	29	11,0	1,87	4,33	2,32	138	165	206	152	119
6	Гулиоб	23	16	5,11	1,11	2,46	2,21	15,0	16,0	18,1	15,6	16,7
7	Актепа	24	30	9,22	2,83	4,68	1,65	179	217	274	198	103

В дальнейших расчетах нами для тех рек, для которых в Справочниках по селевым потокам приводятся данные о максимальных расходах и их значения превышают максимумы, зарегистрированные на водпосту, выполнены расчеты расходов 1% обеспеченности (табл. 3). В расчетах мы производили замену измеренного максимального расхода в данном году на максимум селевого паводка этого же года.

Анализ полученных результатов показывает, что существенно увеличились значения коэффициентов вариации рядов и соответственно значения расходов 1% обеспеченности.

**Заключение.** Таким образом, можно сделать следующие основные выводы.

1. Практически все максимальные расходы воды на малых низкогорных реках формируются за счет выпадения дождей большой интенсивности, либо при обязательном участии их в формировании дружного половодья.

2. Максимальные расходы воды на малых реках Узбекистана могут формироваться практически в течение всего календарного года. Однако, на весну и начало лета приходится около 85-90% зарегистрированных в году максимумов.

3. Весьма характерным для максимальных расходов на малых реках является то, что по своей величине они превышают средние годовые расходы в десятки, а чаще в сотни раз.

4. Ряды наблюдений за максимальными расходами воды характеризуются весьма высокими значениями коэффициентов вариации от 0,53 до 3,20 для рек бассейна Сырдарьи и от 0,48 до 2,09 для рек бассейна Амударьи, что затрудняет использование каких-либо теоретических распределений случайных величин.

5. Примерно для 50% исследуемых рек имеющиеся к настоящему времени ряды наблюдений недостаточны для производства статистических расчетов, а удлинение рядов затруднено из-за очень слабых связей между максимумами разных рек. Выходом из создавшегося положения является, по нашему мнению, использование данных фактических наблюдений с экстраполяцией их в область малой обеспеченности.

6. Включение в ряды наблюдений данных о селевых максимумах приводит к увеличению изменчивости рядов в 1,5-2 раза.

7. Для рек, не имеющих наблюдений за максимумами можно рекомендовать имеющиеся к настоящему времени методы расчетов Ю.Б. Виноградова, В.М. Денисова, А.Ф. Шахидова.

#### Использованная литература:

1. Виноградов Ю.Б. Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Южного Казахстана // Тр. КазНИГМИ, 1967, вып. 28. 263 с.
2. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. С.203-251.
3. Владимиров А.М., Дружинин В.С. Сборник задач и упражнений по гидрологическим расчетам. Санкт-Петербург, 1992. 207 с.
4. Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 430 с.
5. Денисов В.М. О расчете максимальных расходов воды дождевых паводков // Труды САНИИ Госкомгидромета. 1986. Вып.119 (200). С.23-43.
6. Денисов Ю.М. Оценка статистических характеристик максимальных расходов воды и возможности их уточнения // Тр. НИГМИ, 2010. Вып. 12 (257). С.19-26.
7. Картвелишвили Н.А. Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулировании речного стока. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. С.106-112.
8. КМК 2.01.14-98 Определение расчетных гидрологических характеристик. Ташкент, 1998. 118 с.
9. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 241 с.
10. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. С. 14-58.

11. Рождественский А.В., Чеботарев А.М. Статистические методы в гидрологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. С. 94-137.
12. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики (для технических приложений). Москва: Наука, 1965. 511 с.
13. Трофимов Г.Н. Потери дождя при поверхностном стокообразовании в Чаткало-Кураминских горах (по материалам искусственного дождевания малых площадок). Автореф. дисс. ... к.г.н. Ташкент, 1972. 22 с.
14. Трофимов Г.Н., Сирлибаева З.С., Артыкова Ф.Я., Сагдеев Н.З. К оценке селеактивности малых низкогорных рек Узбекистана // Актуальные проблемы современной географии. Материалы международной научной конференции. Андижан, 2007. С.310-313.
15. Трофимов Г.Н., Исакова А.Я., Хамзаева Ж.Т. К статистической оценке максимальных расходов воды некоторых рек Узбекистана // Материалы республиканской научно-практической конференции. Ташкент, 2007. С.112-115.
16. Трофимов Г.Н. Расчет эмпирической обеспеченности максимальных расходов паводков // Гидрометеорология и экология. 2009. №3. С.131-142.
17. Чуб В.Е., Трофимов Г.Н. Изменение климата и опасные гидрологические явления (паводки, сели) // Информация об исполнении Узбекистаном своих обязательств по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Бюллетень №.5. Ташкент: САНИГМИ, 2002. С. 65-74.
18. Чуб В.Е., Трофимов Г.Н., Меркушкин А.С. Селевые потоки Узбекистана. Ташкент: Изд-во НИГМИ, 2007. 109 с.
19. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. Ташкент: Изд-во НИГМИ, 2007. 132 с.
20. Шахидов А.Ф. Расчет максимальных расходов дождевых паводков. Ташкент: Изд-во Узгидромет, 1995. 125 с.
21. Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. С.73-93.
22. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1965. 692 с.
23. Hazen A. (1914), Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal water supply, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, Pap. 1308, 77, pp. 1547-1550.
24. Sagdeev N.Z. (2004), Climate observation in mountains, *Report of the GCOS regional workshop for Central Asia on improving observing system for climate*, Almaty, GCOS-94, (WMO/TD № 1248), pp. 63-67.
25. Schroder H, Severskiy I. (2004), *Water resources in the basin of the Ili river*, Berlin, 305 p.

#### References:

1. Vinogradov Yu.B. (1967), Problems of hydrology of rain floods in small watersheds of Central Asia and South Kazakhstan, *Proceedings of the Kazak Scientific Research Hydrometeorological Institute*, issue 28, 263 p. (In Russ.).
2. Vinogradov Yu.B. (1988), *Mathematical modeling of runoff formation processes*, Leningrad, pp. 203-251. (In Russ.).
3. Vladimirov A.M., Druzhinin V.S. (1992), *Collection of tasks and exercises on hydrological calculations*, Sankt. Petersburg, 207 p. (In Russ.).
4. Goroshkov I.F. (1979), *Hydrological calculations*, Leningrad, 430 p. (In Russ.).
5. Denisov V.M. (1986), On the calculation of the maximum flow rates of rainwater floods, *Proceedings of the SANI Goskomgidromet*, Issue 119 (200), pp. 23-43. (In Russ.).
6. Denisov Yu.M. (2010), Evaluation of the statistical characteristics of the maximum water flow and the possibility of their refinement, *Proceedings Scientific Research Hydrometeorological Institute*, Issue 12 (257), pp. 19-26. (In Russ.).
7. Kartvelishvili N.A. (1985), *Theory of probabilistic processes in hydrology and regulation of river flow*, Leningrad, pp. 106-112. (In Russ.).
8. КМК 2.01.14-98. (1998), *Determination of calculated hydrological characteristics*, Tashkent, 118 p. (In Russ.).
9. *International Guide to Methods for Calculating Basic Hydrological Characteristics* (1984), Leningrad, 241 p. (In Russ.).
10. Manual for determining the calculated hydrological characteristics (1984), Leningrad, pp. 14-58. (In Russ.)

11. Rozhdestvensky A.V., Chebotarev A.M. (1974), *Statistical methods in hydrology*, Leningrad, pp.94-137. (In Russ.).
12. Smirnov N.V., Dunin-Barkovsky I.V. (1965), *Course of Probability Theory and Mathematical Statistics (for technical applications)*, Moscow, 511 p. (In Russ.).
13. Trofimov G.N. (1972), *Rain losses during surface runoff formation in the Chatkal-Kurama mountains (based on artificial sprinkling of small areas): abstract of the diss. PhD*, Tashkent, 22 p. (In Russ.).
14. Trofimov G.N., Sirlibayeva Z.S., Artykova F.Ya., Sagdeev N.Z. (2007), On the assessment of the mudflow activity of small low-mountain rivers of Uzbekistan, *Actual problems of modern geography, Proceedings of the international scientific conference*, Andijan, pp. 310-313. (In Russ.).
15. Trofimov G.N., Isakova A.Ya., Khamzaeva Zh.T. (2007), On the statistical assessment of the maximum water flow of some rivers of Uzbekistan, *Materials of the republican scientific-practical conference*, Tashkent, pp. 112-115. (In Russ.).
16. Trofimov G.N. (2009), Calculation of the empirical security of the maximum flow rates of floods, *Hydrometeorology and ecology*, No. 3, pp. 131-142. (In Russ.).
17. Chub V.E., Trofimov G.N. (2002), Climate change and dangerous hydrological phenomena (floods, mudflows), *Information on the fulfillment by Uzbekistan of its obligations under the UN Framework Convention on Climate Change*, Bulletin No 5, Tashkent, pp. 65-74. (In Russ.).
18. Chub V.E., Trofimov G.N., Merkushkin A.S. (2007), *Mudflows of Uzbekistan*, Tashkent, 109 p. (In Russ.).
19. Chub V.E. (2007), *Climate change and its impact on hydrometeorological, agro-climatic and water resources of the Republic of Uzbekistan*, Tashkent, 132 p. (In Russ.).
20. Shahidov A.F. (1995), *Calculation of the maximum costs of rain floods*, Tashkent, 125 p. (In Russ.).
21. Shelutko V.A. (1991), *Numerical methods in hydrology*, Leningrad, pp. 73-93. (In Russ.).
22. Shultz V.L. (1965), *Rivers of Central Asia*, Leningrad, 692 p. (In Russ.).
23. Hazen A. (1914), Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal water supply, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, Pap. 1308, 77, pp. 1547-1550.
24. Sagdeev N.Z. (2004), Climate observation in mountains, *Report of the GCOS regional workshop for Central Asia on improving observing system for climate*, Almaty, GCOS-94, (WMO/TD № 1248), pp. 63-67.
25. Schroder H, Severskiy I. (2004), *Water resources in the basin of the Ili river*, Berlin, 305 p.

*Сведения об авторах:*

**Сагдеев Наил Завдятович** – Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан), старший преподаватель. E-mail: nailsagd@mail.ru

**Аденбаев Бахтиёр Ембергенович** – Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан), доктор географических наук, доцент. E-mail: bahtiyor.adenbayev@mail.ru

**Исакова Азиза Ядгаровна** – Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан), преподаватель. E-mail: isakovaziza@mail.ru

*Information about the authors:*

**Sagdeev Nail** – National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan), Senior Lecturer. E-mail: nailsagd@mail.ru

**Adenbaev Bakhtiyor** – National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan), Doctor of Geography, assistant Professor. E-mail: bahtiyor.adenbayev@mail.ru

**Isakova Aziza** – National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan), teacher. E-mail: isakovaziza@mail.ru

**Для цитирования:**

Сагдеев Н.З., Аденбаев Б.Е., Исакова А.Я. Максимальные расходы воды малых низкогорных реках Узбекистана // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2022. № 1-2. С. 77-90.

**For citation:**

Sagdeev N.Z., Adenbaev B.Ye., Isakova A.Ya. (2022), Maximum water discharge in small low-mountain rivers in Uzbekistan, *Central Asian journal of the geographical researches*, No 1-2, pp. 77-90. (In Russ.).