

## РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ НА РЕКАХ БАССЕЙНА р. ГАНЫХ (в пределах Азербайджана)

Ф.А.Иманов, Н.И.Гасанова

*Бакинский государственный университет  
AZ1143, Баку, ул. З.Халилова, 23*

В данной работе на примере рек бассейна р. Ганых, где максимальные в году расходы воды формируются за счет дождевых осадков, выполнен расчет предельно возможных максимальных расходов воды редкой обеспеченности на основе совместного использования многолетних данных как гидрологических наблюдений, так и осадков редкой повторяемости. Показано, что подобный подход вполне эффективен в расчетах дождевых максимальных расходов воды горных рек.

Паводки – естественные природные явления, которые происходят все время и от которых никогда не возможно полностью защититься. В связи с наводнениями на реках, освоением горных территорий и использованием водных ресурсов для удовлетворения растущих потребностей сельского хозяйства, гидроэнергетики, промышленности и других нужд возникает необходимость усовершенствования методики и повышения точности расчета максимальных расходов воды. Расчеты максимального стока являются основой долгосрочных мер по защите от наводнений. Характеристики паводочного стока – максимальные расходы редкой обеспеченности, объем и форма гидрографа – определяют размеры водопропускных сооружений, их стоимость и безопасность.

Как отмечено в работах (Лобанов, Рождественский, 2004; <http://planet.utp.ru/miq/abut.html>), в настоящее время при строительном проектировании для расчета максимальных расходов воды различной обеспеченности используют два подхода. В первом случае при наличии рядов гидрометеорологических наблюдений задача сводится к выбору статистической схемы, устанавливающей закон распределения имеющейся выборки, определению параметров этого распределения и вычислению характеристик максимального стока заданной вероятности. В качестве основы расчетных построений принимают кривые обеспеченности (Доброумов, Люттик, 1980).

В другом случае в качестве обеспеченных величин принимается максимально воз-

можный расход воды, который определяется по неблагоприятному сочетанию факторов формирования максимального стока. Чаще всего определение предельно возможного значения максимального расхода воды осуществляется по предельному максимуму осадков (теоретически или по совокупности рядов наблюдений за осадками в однородном районе) (Лобанов, Рождественский, 2004).

Каждый из подходов имеет свои преимущества и недостатки. В строительном проектировании при наличии гидрометеорологических данных обычно не используется дополнительная информация. К недостаткам можно отнести и ограниченность ряда наблюдений. При втором подходе для определения предельно возможного максимума осадков используются два пути:

1) устанавливается однородный район с одинаковыми условиями формирования осадков и по всем многолетним рядам наблюдений выбирается наибольшее значение максимальных осадков, которое принимается в качестве предельно возможного;

2) теоретически оценивается предельно возможный объем водяного пара в облаке, формирующий наибольшие ливневые осадки.

Преимущество данного подхода состоит в том, что он позволяет установить предельные значения максимальных расходов на основе теоретического представления и анализа фактически наблюдаемых осадков. Недостатками данного подхода является то, что условно принимаются гипотеза эргодичности, стационарность и однородность данных наблюдений за

максимальными осадками в пространстве и во времени. Предельный максимум осадков не остается постоянной величиной, т.к. зависит от продолжительности наблюдений и новой информации. Значение обеспеченности для предельно возможного максимального расхода воды не определяется, когда фактически оно должно существовать. Поэтому точность гидрологических расчетов в значительной мере зависит как от объема, так и от качества гидрометеорологической информации.

Указанные методы расчета носят чисто условный характер, т.к. в зависимости от наличия той или иной гидрометеорологической информации во многих странах используются оба подхода. В ряде случаев оба эти подхода применяются независимо. Получаемые результаты при этом часто различаются (Мамедов, 1989; Соколова и др., 1978).

В работе (Лобанов, Рождественский, 2004) представлена теоретическая основа для объединения этих двух подходов. Если для предельного максимума расходов воды выявить его повторяемость, в результате принципиально изменится методика гидрологических расчетов, т.к. появится возможность перейти от экстраполяции, как менее точного, к интерполяции, как более эффективному подходу.

Предлагаемая методика интерполяции позволяет использовать все виды имеющейся

информации, в том числе исторические данные об исторически максимальных уровнях и расходах воды.

Совместное использование обоих подходов дает меньшие погрешности, чем применение каждого в отдельности. При этом погрешности уменьшаются за счет процедуры интерполяции. Если при расчетах будут использоваться исторические максимумы и уровни, то эта методика будет объединять все существующие на настоящий момент в гидрологии другие подходы.

Представленная в работе (Лобанов, Рождественский, 2004) теоретическая основа обобщенного статистического подхода рассмотрена на конкретном примере рек бассейна р. Ганых. Максимальные в году расходы воды в этом бассейне формируются за счет дождевых осадков. Площади водосборов изучаемых рек не превышают 200 км<sup>2</sup>. Для анализа использованы ряды наблюдений за максимальными в году суточными осадками на 8 метеорологических станциях, равномерно расположенных на рассматриваемой территории, за период 1963-2001гг., а по станции Шеки – за 1891-2001гг. Параметры распределений рядов максимальных в году суточных осадков – среднее значение, стандартное отклонение (S), коэффициенты вариации (C<sub>v</sub>) и асимметрии (C<sub>s</sub>) и отношение C<sub>s</sub>/C<sub>v</sub> – приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры распределений максимальных в году суточных осадков

Метеостанция	Период наблюдений	Число лет наблюдений, n	Среднее значение (мм)	Сред.кв. отклонение, S(мм)	Кoeff. вариации, C <sub>v</sub>	Кoeff. асимметрии, C <sub>s</sub>	Отношение C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub>
Алибек	1964-2001	36	83.5	33.2	0.40	0.98	2.5
Загатала	1964-2001	38	76.3	29.5	0.39	0.83	2.1
Дамарчик	1963-1990	28	61.0	20.3	0.33	0.071	0.2
Балокен	1964-1990	27	65.6	25.6	0.40	0.66	1.6
Илису	1964-2001	38	61.0	27.9	0.46	1.14	2.5
Баш-Дашагыл	1964-1990	27	60.3	19.4	0.32	0.72	2.2
Шеки	1891-2001	80	59.1	21.5	0.36	1.18	3.3
Сарыбаш	1964-1987	21	57.0	18.5	0.32	0.52	1.6

Для применения обобщенного статистического подхода вначале была оценена возможность объединения рядов наблюдений за максимальными в году суточными осадками в одно распределение. С этой целью выполнен анализ статистической значимости пространственной связанности рядов. Для этого рассчитана матрица парных коэффициентов корреляции между каждыми двумя временными рядами (табл.2).

Из 28 значений коэффициентов парной корреляции статистически значимы только семь. Для оценки пространственной однородности были применены статистические критерии Стьюдента и Фишера. По этим критериям ряды наблюдений максимальных в году суточных осадков из 28 пар оказались неоднородными в 10-ти случаях. Поэтому в целом для бассейна реки Ганых по имеющимся рядам наблюдений за максимальными в году суточными осадками было построено одно распределение общим объемом 295 значений (рис.1). На основании этого распределения интерполяцией определены расчетные значения осадков редкой обеспеченности 0.1, 0.5 и 1%. При построении данного распределения условно принимается гипотеза эргодичности, т.е. много выборок за ограниченный интервал времени можно представить в виде одной совокупности, свойства которой будут аналогичны квази-генеральной совокупности за исторический период в сотни и тысячи лет (Лобанов, Рождественский, 2004).

В качестве стоковой характеристики рассмотрены максимальные расходы воды до-

ждевых паводков в 7 пунктах (таблица 3). В той же таблице приведены: число лет наблюдений ( $n$ ), период наблюдений ( $T_n$ ), площадь водосбора ( $F$ ), средняя высота водосбора ( $H_{cp}$ ) и переходный коэффициент ( $b_1$ ) от максимальных суточных расходов к мгновенным максимальным расходам. Из этой таблицы следует, что продолжительность рядов наблюдений за максимальными расходами воды недостаточна для того, чтобы определить расчетные расходы воды 1%-ной обеспеченности и менее. Это вызывает необходимость экстраполяции кривой обеспеченности в верхней части.

Приведение этих рядов наблюдений к многолетнему периоду не представляется возможным, т.к. коэффициенты парной корреляции зависимостей в основном меньше 0.7.

По этим рядам наблюдений определены параметры максимальных срочных расходов воды: среднее значение ( $Q_{max}$ ), коэффициент вариации ( $C_v$ ), рассчитанный по эмпирическому ряду, коэффициент асимметрии  $C_s$ , отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации ( $C_s/C_v$ ) и соответствующее отношение, принятое в расчет в случае наилучшей аппроксимации ( $C_s/C_v$ ), а также расчетные значения максимальных срочных расходов воды ( $Q_p$ ) обеспеченностью ( $P\%$ ) в 0.1%, 0.5% и 1% (табл. 4). Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых обеспеченности применены кривые трехпараметрического гамма-распределения. Коэффициенты изменчивости и асимметрии определены методом наибольшего правдоподобия (Методические указания..., 2007; Пособие по определению..., 1984; Сикан, 2007).

Таблица 2

Матрица парных коэффициентов корреляции максимальных в году суточных осадков

н/п	Метеостанция	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Алибек	1	0.70	0.04	0.27	0.35	0.29	0.21	0.54
2	Загатала		1	0.22	0.34	0.42	-0.06	0.17	0.41
3	Дамарчик			1	0.31	0.35	0.24	0.17	0.35
4	Балокен				1	0.49	0.20	0.24	0.12
5	Илису					1	0.29	-0.01	0.75
6	Баш-Дашагыл						1	0.42	0.26
7	Шеки							1	-0.15
8	Сарыбаш								1

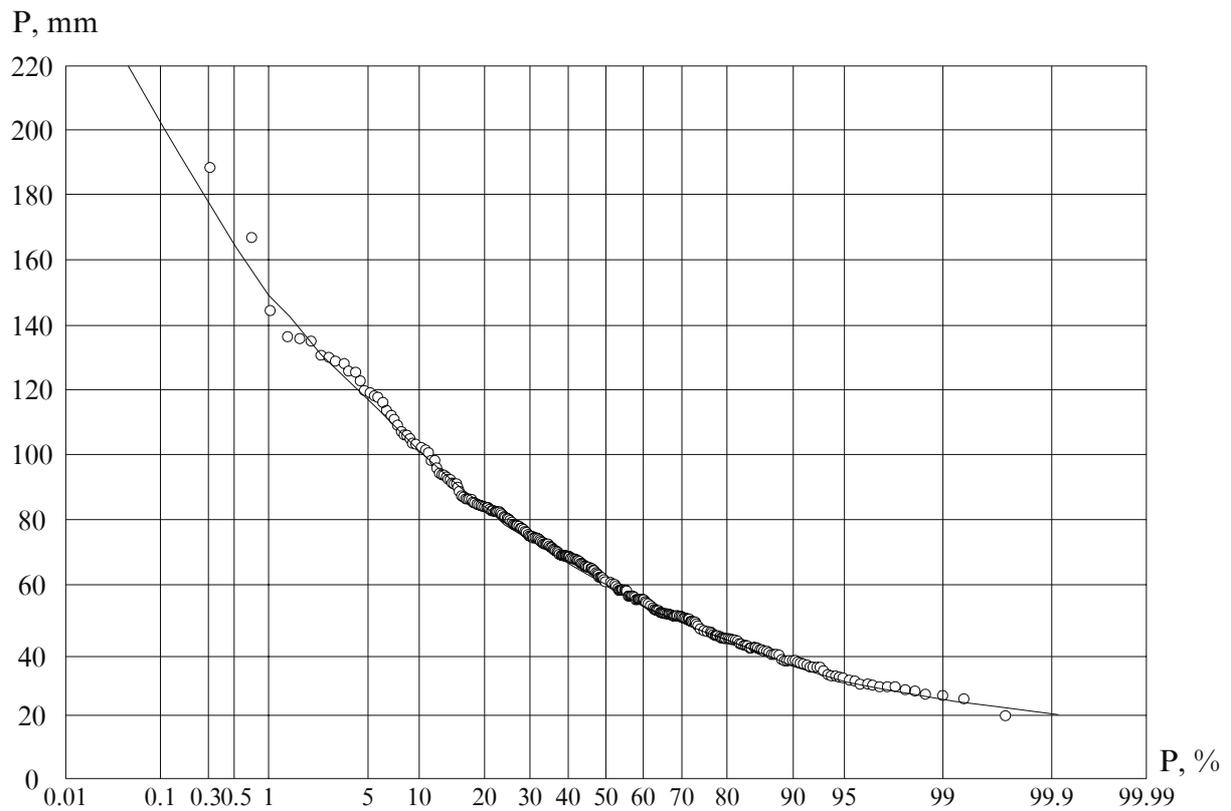


Рис. 1. Кривые обеспеченности максимальных в году суточных осадков по данным 8 метеостанций в бассейне реки Ганых

Таблица 3

Пункты наблюдений за максимальными в году расходами воды

н/п	Река-пункт	Период наблюдений $T_n$	Число лет наблюдений $n$	Площадь водосбора $F, \text{ км}^2$	Средняя высота водосбора $H_{\text{ср}}, \text{ м}$	Переходный коэффициент $b_1$
1	Балокенчай-г.Балокен	1961-2006	41	146	1560	1.75
2	Талачай-г.Загатала	1948-2006	54	136	1710	1.30
3	Курмухчай-г.Илису	1952-2006	47	166	2270	1.10
4	Агричай-с.Баш Дашагыл	1950-2006	55	92	1560	1.75
5	Чхотурмас – близ устья	1947-2006	58	35	2210	1.10
6	Дамарчик-близ устья	1947-2006	58	35	2326	1.10
7	Гайнар-близ устья	1948-2006	58	18	2040	1.30

Таблица 4

Расчетные значения параметров максимальных расходов воды

н/п	Река-пункт	Среднее значение $Q_{\max}$	Коэфф. вариации $C_v$	Коэфф. асимметрии $C_s$	Отношение $C_s/C_v$	Принятое отношение $C_s/C_{vp}$	Расчетные значения $Q_{\max\%}$ при Р %		
							0.1	0.5	1
1	Балокенчай-Балокен	30.7	1.70	4.29	2.5	4	$\frac{550}{592}$	$\frac{319}{485}$	$\frac{244}{444}$
2	Талачай-Загатала	37.5	1.61	3.90	2.4	3	$\frac{469}{550}$	$\frac{338}{451}$	$\frac{281}{412}$
3	Курмухчай-Илису	40.5	1.79	4.12	2.3	3	$\frac{552}{672}$	$\frac{338}{551}$	$\frac{265}{504}$
4	Агричай-Баш Дашагыл	18.2	1.05	2.77	2.6	4	$\frac{179}{234}$	$\frac{115}{192}$	$\frac{93.3}{176}$
5	Чхотурмас – близ устья	5.92	1.32	3.54	2.7	4	$\frac{77}{104}$	$\frac{48}{85}$	$\frac{37}{78}$
6	Дамарчик-близ устья	15.3	1.76	3.58	2.0	3	$\frac{220}{242}$	$\frac{155}{198}$	$\frac{131}{182}$
7	Гайнар-близ устья	2.69	1.35	5.36	4.0	4	$\frac{37.7}{54.0}$	$\frac{22.9}{44.3}$	$\frac{17.9}{40.5}$

Примечание: в числителе приведены максимальные расходы воды, определенные по наблюдаемым рядам, в знаменателе – по максимальным суточным осадкам.

Среднесуточные максимальные расходы воды определяются по формуле (Сикан, 2007):

$$Q_{\max.ср.сут} = 0,01157 \cdot P \cdot F \cdot \alpha, \quad (1)$$

где 0.01157 – коэффициент размерности; P – максимальные суточные осадки, (мм); F – площадь водосбора (км<sup>2</sup>);  $\alpha$  – коэффициент стока, показывающий какая часть выпавших осадков перешла в сток, учитывая фильтрацию и испарение; в первом приближении может быть принят равным 1.

Следующим этапом является переход от максимальных среднесуточных расходов к максимальным срочным расходам воды дождевых паводков. Общая формула такого перехода имеет следующий вид (Лобанов, Рождественский, 2004):

$$Q_{мс} = 0,01157 \cdot P \cdot F \cdot b_1 \cdot \alpha, \quad (2)$$

где  $Q_{мс}$  – срочный или мгновенный максимальный расход воды дождевого паводка (м<sup>3</sup>/с);  $b_1$  – коэффициент перехода от среднесуточного максимального расхода воды к мгновенному, принят по (Мамедов, 1989).

Используя обобщенную кривую распределения максимальных в году суточных осадков определены расчетные значения осадков редкой повторяемости (0.1%, 0.3%, 0.5%, 1%) и подставлены в формулу (2). И по этой формуле для каждого водосбора были рассчитаны экстремальные расходы воды. При этом обеспеченность этих расходов принята такая же, как и для осадков.

Пример распределения максимальных расходов с учетом вычисленных экстремумов приведен на рис.2. Из этого графика следует, что вычисленные по осадкам экстремальные расходы достаточно эффективно вписываются в продолжение эмпирического распределения и близки к его аналитической аппроксимации. В таблице 5 приведены отношения расчетных расходов воды, определенных по аналитической кривой эмпирического распределения, к соответствующим расчетным расходам воды, полученным на основе экстремальных осадков ( $\alpha_{р\%}$ ) для обеспеченностей 0.1%, 0.5% и 1%. В этой же таблице приведены среднее отношение для этих трех расчетных расходов ( $\alpha_{ср}$ ) и площади водосборов F.

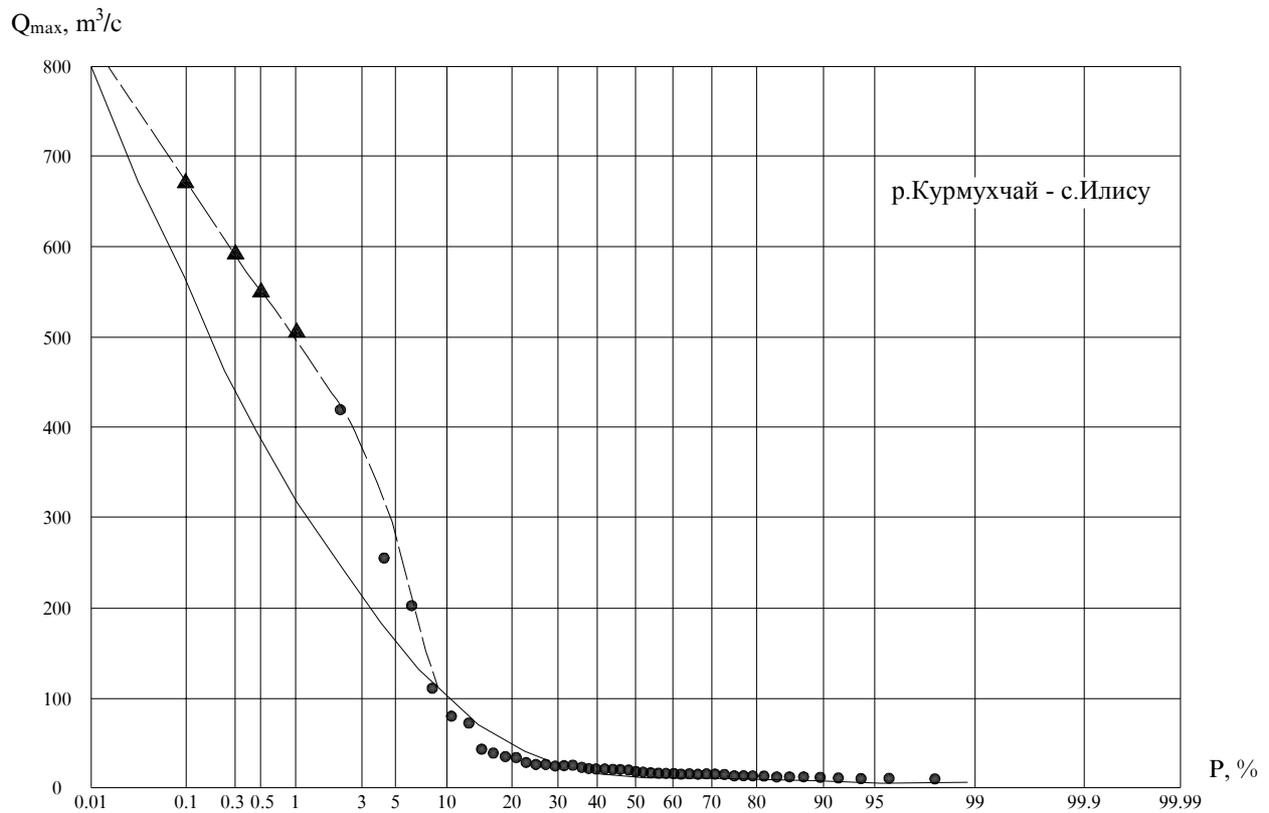


Рис. 2. Эмпирическое распределение максимальных дождевых расходов воды(•), их аналитическая аппроксимация (—) и расходы, рассчитанные по экстремальным осадкам (▲)

Таблица 5

Отношения расчетных расходов воды, полученных по двум подходам

н/п	Река-пункт	Отношения расчетных расходов воды по аналитической кривой к расходам, полученным по экстремальным осадкам			
		$\alpha_{0,1\%}$	$\alpha_{0,5\%}$	$\alpha_{1\%}$	$\alpha_{ср}$
1	Балокенчай-Балокен	0.93	0.66	0.55	0.71
2	Талачай-г.Загатала	0.85	0.75	0.68	0.76
3	Курмухчай-с.Илису	0.82	0.61	0.52	0.65
4	Агрничай-с.Баш Дашагыл	0.76	0.60	0.53	0.63
5	Чхотурмас – близ устья	0.74	0.56	0.47	0.59
7	Дамарчик-близ устья	0.91	0.78	0.71	0.80
6	Гайнар-близ устья	0.70	0.52	0.44	0.55

Таким образом, в данной работе на примере рек бассейна р.Ганых, где максимальные в году расходы воды формируются за счет дождевых осадков, выполнен расчет предельно возможных максимальных расходов воды редкой повторяемости на основе объединенного подхода при совместном использовании многолетних данных как гидрологических наблюдений, так и осадков редкой повторяемости. Проверка применимости этой методологии на примере нескольких рядов даже в таком упрощенном варианте (коэффициент стока был принят равным 1, не учитывалась неравномерность выпадения осадков во времени и по площади и т.д.) дала достаточно эффективные результаты. Данный подход вполне эффективен в расчетах дождевых максимальных расходов воды, когда определяющим фактором являются осадки, особенно в случае катастрофических паводков.

#### ЛИТЕРАТУРА

- ДОБРОУМОВ, Б.М., ЛЮТИК, П.М. 1980. Принципы расчета паводочного стока для строительного проектирования. Проблемы расчета и прогнозирования паводков. Тезисы докладов. Одесса. 1-5.
- ЛОБАНОВ, В.А., РОЖДЕСТВЕНСКИЙ, А.В. 2004. Теоретические основы обобщенного подхода в расчетах максимального стока, основанного на эмпирическом распределении расходов воды и предельном максимуме осадков. *Сборник работ по гидрологии*, 27, Гидрометеоздат, Санкт-Петербург, 69-81.
- МАМЕДОВ, М.А. 1989. Расчеты максимальных расходов воды горных рек. Гидрометеоздат. Ленинград. 184.
- МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометеорологических наблюдений. 2007. Вектор-ТиС. Нижний Новгород. 134с.
- ПОСОБИЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ расчетных гидрологических характеристик. 1984. Гидрометеоздат. Ленинград. 447.
- СИКАН, А.В. 2007. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. РГМУ. Санкт-Петербург. 278.
- СОКОЛОВ, А.А., РАНЦ, С.Е., РОШ, М. (под ред.) 1978. Расчеты паводочного стока. Методы расчетов на основе мирового опыта. Гидрометеоздат. Ленинград. 304. [http:// planet.utp.ru/miq/abut.html](http://planet.utp.ru/miq/abut.html)

*Рецензент: член-корр. НАН Азербайджана Г.И.Джалалов*