

УДК 556.166;048 (575.2)(04)

## К ПРОБЛЕМЕ АДЕКВАТНОЙ ОЦЕНКИ УГРОЗЫ НАВОДНЕНИЙ

*Р.И. Гальперин, А. Авезова, Т.В. Колча*

Максимальные уровни и расходы воды редкой повторяемости – это гидрологическая составляющая риска наводнений. Рассмотрены вопросы их оценки в современных условиях для территории Казахстана.

*Ключевые слова:* наводнения; расход воды; уровень; бассейн; распределение; плотина; опасность.

Проблема водной безопасности проявляется в мире всё острее. Растущий дефицит водных ресурсов, столь очевидный, в частности, в странах Центральной Азии, – отнюдь не единственный ее аспект. Увеличивается угроза и от самих водных объектов на побережьях водоемов, в поймах и устьях рек. Причем, никакие превентивные мероприятия не дают гарантии полной безопасности. К примеру, в 1951 г. при наводнении в дельте р. По была разрушена защитная система, которая, по данным В. Хайта и В. Лонгбейна [1], считалась в то время лучшей в мире, в итоге унесено сто жизней, а экономика Италии потеряла четверть годового бюджета страны. Город Новый Орлеан в США, расположенный в устье одной из самых зарегулированных рек мира – Миссисипи – после ее обвалования более 100 лет серьезно не страдал от наводнений, но угроза оставалась, и вот несколько лет назад беда все-таки случилась.

Многочисленные водохранилища, число которых в мире ежегодно значительно увеличивается, регулируют речной сток. Некоторые из них при прохождении выдающихся половодий “работают по гидрографу”, то есть их плотины сбрасывают естественный приток, но другие заметно срезают пики. К примеру, создание крупных водохранилищ на р. Жайык уменьшило даже средний из максимальных расходов воды в створе с. Кушум более чем в 2 раза, а аналогичные воздействия на р. Тобыл снизили данный показатель в створе г. Костанай более чем в 2,5 раза [2, с 77–83]. Выдающиеся максимумы снизились еще значительно. Однако параллельно этому возрастает угроза разрушения сооружений и схода в нижний бьеф разрушительной “волны прорыва”. Сказывается возрастающий износ производственных фондов и не лучшие условия эксплуатации.

К 2006 г. в Казахстане насчитывалось 653 гидросооружения, из которых 268 нуждались в срочном ремонте, включая 28 крупных. Средний фактический износ водохозяйственных объектов – 60 %. О серьезности ситуации свидетельствует недавняя катастрофа (март 2010 г.), вызванная прорывом плотины на р. Кызылжар в Алматинской области, когда погибло 45 человек, пострадало свыше тысячи семей, а общий ущерб оценен в 100 млн долларов. Сложившаяся ситуация не могла оставаться без внимания. По заданию руководства республики было проведено обследование водохозяйственных объектов, и в 2010 г., согласно данным Комитета по водным ресурсам, осуществлена реконструкция гидротехнических сооружений на 40 объектах. Но в одночасье положение исправить сложно, и значительная опасность сохраняется [3, с. 103–107].

Для гидротехнических сооружений основная угроза возникает при формировании на реке экстремально высоких расходов воды. Поэтому важно знать, какая волна половодья может в исключительных случаях сформироваться на реке (предвидение в виде конкретного прогноза или вероятностной форме).

В равнинном Казахстане эта проблема особенно остра, так как здесь почти весь объем сформировавшегося стока проходит с волной половодья, то есть в короткое время, и форма гидрографа – очень резкая (“исключительно снеговое питание” по М.И. Львовичу и “казахстанский тип”, по классификации Б.Д. Зайкова). Из карты коэффициента вариации речного стока, составленной В.А. Румянцевым и И.В. Бовыкиным [4], следует, что на рассматриваемой территории – рекордная для континента межгодовая изменчивость стока, то есть в отдельные годы сток (именно весенний) очень низкий, в другие – исключительно высокий.

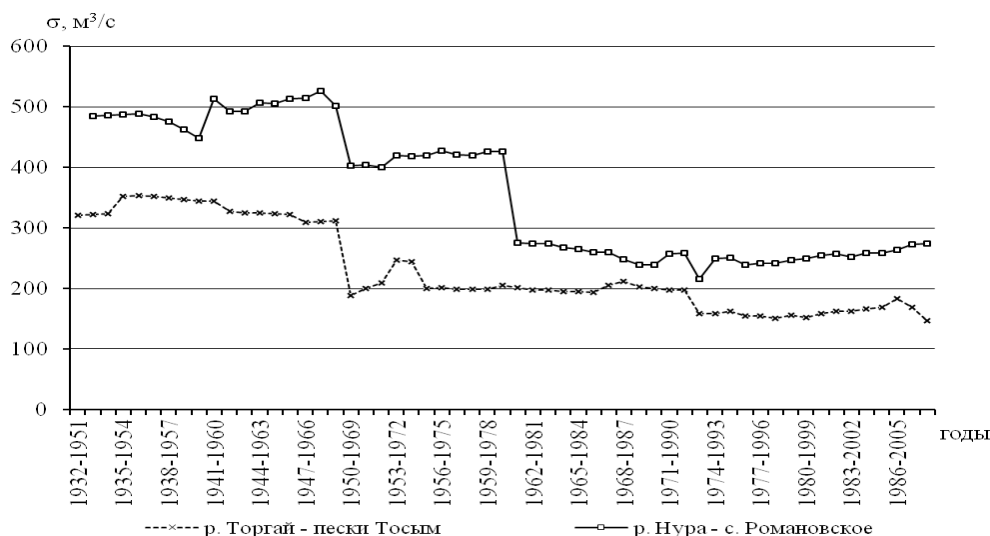


Рисунок 1 – Среднее квадратическое отклонение максимальных расходов воды рек Торгай, Нура по 20-летиям

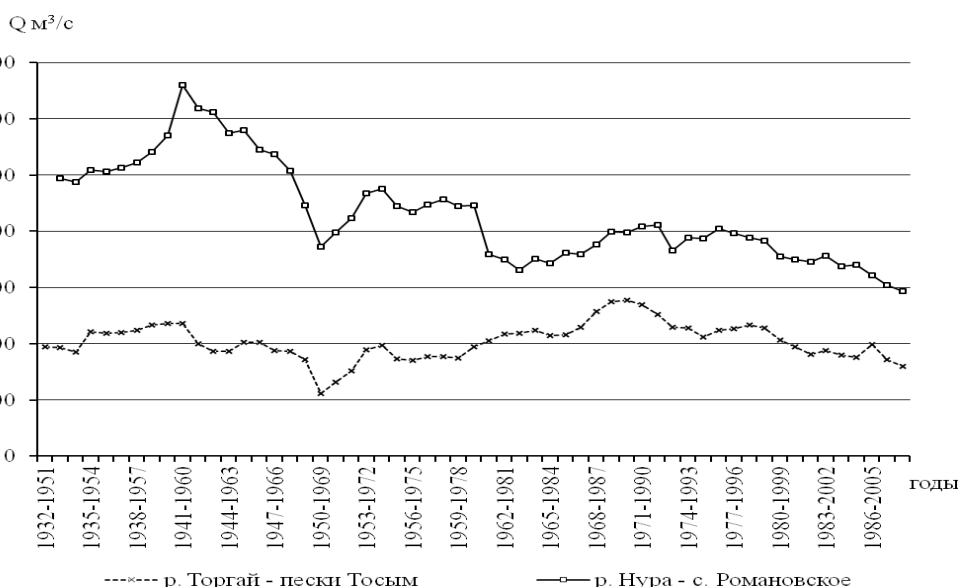


Рисунок 2 – Средние 20-летние максимальные расходы воды рек Торгай, Нура

На некоторых реках (Торгай, Моинты) значения наибольших расходов воды в разные годы различаются в несколько тысяч раз. Максимальный за весь период наблюдений расход р. Урал (Жайык) в пределах Казахстана в 1957 г. оценен в 14 000 м<sup>3</sup>/с, то есть в какой-то момент водность этой не столь великой реки была сопоставима с водностью самых многоводных рек континента.

Пока неясно, что именно в плане многолетних тенденций максимального стока можно ожи-

дать в связи с продолжающимся потеплением. С одной стороны, сокращение периода снегонакопления должно уменьшить весенний сток, а следовательно, и максимальные расходы воды. Действительно, по российским данным весенний сток на значительной части РФ в последние 10-летия снизился [5]. По нашим данным [6, с. 214–224] есть определенные основания полагать, что на реках равнинного Казахстана параллельно некоторому снижению годового стока

несколько снизились и максимальные расходы воды, а также их многолетняя изменчивость (рисунки 1, 2).

Но эти тенденции далеко не повсеместны, а в некоторых бассейнах они прямо противоположны. В литературе неоднократно озвучивалось мнение, что в период неустойчивого климата катастрофические явления в природе, включая очень высокие половодья, учащаются. Например, с 70-х годов увеличилась частота наводнений в Северной Америке, особенно в период 1970–1995 гг. [7, с. 45–60]. По имеющимся сведениям аналога катастрофического наводнения 2010 г. на Висле не было с 1844 г.

Следовательно, опасность “водного гнева”, в том числе гидротехническим сооружениям, остается значительной. В десятилетие 1946–1955 гг. в мире зарегистрировано разрушение 12 крупных плотин из 2000, а в следующее десятилетие было уже 24 случая при числе крупных плотин 2500. В настоящее время число плотин значительно увеличилось, следовательно, возросла и опасность. По результатам анализа 300 аварий выяснилось, что 30 % из них связано с превышением прошедшего по реке расхода воды над расчетным при проектировании [8].

Итак, проблема адекватной оценки водных опасностей остается актуальной. Некоторые исследователи ратуют за применение при расчетах максимальных расходов воды не экспоненциальных кривых, а степенных [9, с. 44–58]. Их выводы: “Если использовать для стандартной обработки временных гидрологических рядов распределение из семейства экспоненциальных, как это рекомендуют Строительные нормы и правила, очевидно, что катастрофические наводнения будут для нас всегда неожиданными”. А также: “Наводнения исключительной силы последних лет убедительно показали, что рассчитывать защитные дамбы, плотины и другие гидротехнические сооружения необходимо на *основании иных вероятностных закономерностей*”.

Но насколько обосновано стремление описать всё распределение одним статистическим законом? Высокие и низкие половодья вызываются не одинаковым набором определяющих факторов. В равнинном Казахстане, в частности, в маловодные годы весенний сток определяется почти исключительно запасами снега в руслах рек. В более многоснежные зимы играют роль уже снеготопы на значительной части водосбора. Но многочисленные депрессии рельефа и мелкие озера иногда значительно снижают действующую площадь водосбора в сравнении с общей. Нако-

нец, в самые многоводные годы депрессии рельефа переполняются талыми водами, дают сток в русло главной реки, т.е. действующая площадь водосбора в условиях равнинного Казахстана в разные годы значительно варьирует.

Возможность подбора теоретической кривой обеспеченности, адекватно отражающей весь набор эмпирических точек – по всей их амплитуде, в ряде случаев бывает сомнительна, какое бы математическое выражение ни лежало в основе этого статистического описания. Результатом может быть неадекватная интерпретация распределения именно в интересующей потребителя части распределения, например, для самых высоких расходов воды.

Представляется целесообразным использование усеченных распределений, описывающих лишь определенную часть амплитуды исследуемой характеристики. В случае максимальных расходов или уровней воды – это верхняя часть ранжированного ряда.

Идея использования усеченных распределений была развита Е.Г. Блохиновым [10]. Возможность их использования предусмотрена и СНиП 2.01.14–83, пока не отмененном для территории РК; хотя никаких практических рекомендаций в этом документе не приводится. В новых российских нормах [11] предусмотрена возможность их использования для максимальных расходов воды – в варианте Е.Г. Блохинова. Для этого варианта характерно, во-первых, стремление описать полное распределение одним статистическим законом. Во-вторых, фиксированная точка усечения, соответствующая медианному значению элемента. В более новых российских исследованиях предпочтение отдается тому же медианному значению [12, с. 668–682].

Но перелом эмпирической кривой распределения не обязательно совпадает с медианной ординатой. В отношении максимальных уровней воды эта точка явно определяется особенностями морфологии долины – вплоть до разных знаков коэффициента асимметрии для разных частей ранжированного ряда [13]. Это обстоятельство, как и упомянутые различия в величине действующей площади водосбора в разные годы, не может не сказаться на характере распределения и максимальных расходов воды.

На рисунке 3 представлено эмпирическое распределение максимальных расходов воды западноказахстанской р. Купернакты в районе с. Алгабас, где очевиден перелом кривой в районе обеспеченности 20–25 %. Вывод однозначен: выбор точки усечения должен исходить из эм-

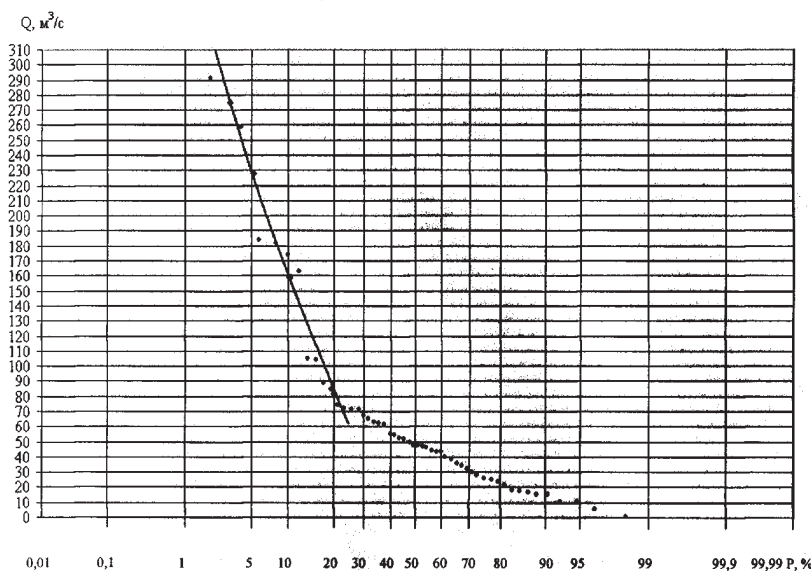


Рисунок 3 – Обеспеченность максимальных расходов воды  
р. Куперанкаты – с. Алгабас

Таблица 1 – Расхождение параметров усеченного распределения  
максимальных уровней воды (с расчетами по полному ряду)

Река–створ	C <sub>s</sub>		Разница уровней воды, см		
	усеченное	полное	1 %	3 %	10 %
Урал – г. Уральск	-0,2	0,4	-30	6	18
Илек – рзд.47	-1,4	0	-46	2	28
Сарыхобда – пос. Бессарабский	-2,0	0	-28	-17	-5
Уил – аул Алтыкарасу	-1,7	0,6	-55	-25	-2
Сагиз – с. Сагиз	-0,2	1,6	-99	-42	4
Эмба – свх. Эмбинский	1,8	0,2	44	11	-11

пирического распределения, а не назначаться волевым порядком, поскольку “закон” распределения и соответствующая кривая обеспеченности – всего лишь технический прием, заключающийся в подгонке к эмпирическим данным. Именно для такой “подгонки” ранее предложен прием использования графоаналитического метода Г.А. Алексева применительно к усеченному распределению, подробно изложенном в [14, с. 109–111]. Среднеквадратичное отклонение оценивается по двум опорным точкам, снятым с усеченной эмпирической кривой обеспеченности (например, для P=5 и 40 %), а значение коэффициента асимметрии – привычным для гидролога методом подбора.

Если не выходить за пределы обеспеченности 0,5 % (а более значительная экстраполяция всегда

очень неточна), и, учитывая, что верхняя опорная точка (например, 5 %), снятая с эмпирической кривой, фиксирована, то возможно использование обычных в гидрологической практике законов распределения, например, биномиальной кривой.

Этот прием применен, в частности, при выполнении расчетов максимальных расходов воды малой обеспеченности для рек значительной части Казахстана при выполнении исследований по фундаментальным и прикладным заданиям Министерства образования и науки и Комитета по водным ресурсам РК в тех случаях, когда было нецелесообразно использовать полное распределение, т.е. когда эмпирическая кривая обеспеченности испытывала явный “перелом”.

Некоторые примеры различий при оценке максимальных уровней воды редкой повторяе-

Таблица 2 – Сравнение результатов расчёта  $Q_{1\%}$  с данными [15–17]

Река–створ	$Q_{1\%}$ , м <sup>3</sup> /с		Расхождение, %
	расчетные данные	данные [15–17]	
Есиль – г. Петропавловск	1970	6600	235
Жайык – с. Кушум	10840	15800	46
Елек – г. Актюбинск	1300	3520	171
Ертис – г. Усть-Каменогорск	2220	3920	77
Жем – с. Жанбике	1340	2820	110
Орь – с. Бугетсай	1300	2550	96
Актасты – с. Белогорский	46,1	79,1	72
Темир – с. Ленинский	1180	2540	115
Ключ Орловка – с. Орловка	10,4	13,7	32
Улькен Бокен – с. Джумба	344	424	23
Куршум – с. Вознесенское	1270	842	-34

мости для ряда рек Западного Казахстана при использовании полного и усеченного распределений даны в таблице 1. Из нее следует, что в связи с влиянием поймы для верхней части ранжированного ряда максимальных уровней воды в данном районе нередко присуща отрицательная асимметричность распределения. В итоге уровни воды повторяемостью раз в 100 лет нередко оказываются ниже рассчитанных по полному ряду на 0,3–1 м, что весьма существенно сказалось бы на стоимости возводимых сооружений. Однако может быть и противоположный случай – значительная асимметричность усеченного распределения и превышение расчетного расхода над его значением, оцененным по полному ряду. Примером может служить створ на р. Жем (Эмба) (см. таблицу 1).

В таблице 2 приведены примеры сравнения максимальных расходов воды, обеспеченностью 1 %, оцененных по рядам, включающим наблюдения до 2007 г., при статистической обработке которых при необходимости использован описанный прием, с опубликованными значениями в справочниках “Ресурсы поверхностных вод СССР” [15–17].

Из данных таблицы 2 следует, что расхождения могут быть очень велики. В случае постов на Есиль, Ертисе, Елеке (расхождения более чем до 200 %) причиной было создание крупных водохранилищ. Однако и в других случаях оно может достигать 100 %, из-за коротких или недостаточно репрезентативных выборок при составлении справочников [15–17]. Так, в створе р. Куршум – с. Вознесенское к моменту составления справочников максимальный зафиксированный расход был 778 м<sup>3</sup>/с. Но в последующий пери-

од последовали значительно большие максимумы: в 1969 г. – 1050, в 1993 г. – 963, в 1994 г. – 900 м<sup>3</sup>/с. Кроме того, была восстановлена величина очень высокого максимального расхода воды 1937 г. В результате расчетный расход увеличен в 1,5 раза. В отдельных случаях определенную роль могла сыграть и различная статистическая интерпретация рядов, о чем говорилось выше. Но в принципе вполне очевидно, что опубликованные значения в обязательном случае должны были уточняться. Это было сделано нами для значительной части Казахстана.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

Водная опасность при прохождении волны половодья остается значительной как в случае естественного стока, так и на зарегулированных водохранилищами реках. Вполне очевидна важность адекватной статистической оценки возможных максимумов стока.

В условиях равнинного Казахстана высокие и низкие половодья определяются неодинаковым набором исходных факторов, и далеко не всегда целесообразно описывать всё распределение одним статистическим законом.

Предлагается в некоторых случаях (когда нецелесообразно использование полного распределения) использовать графоаналитический метод Г.А. Алексева применительно к усеченному распределению. При этом точка усечения не фиксирована для всех случаев, а должна определяться по эмпирической кривой обеспеченности элемента.

Анализ рядов максимальных расходов воды свидетельствует о случаях значительного расхождения (до 100–200 % и более) ранее опублико-

ванных значений, оцененным по более длительным выборкам с учетом последних десятилетий. Необходимо пересмотр расчетных значений, что было сделано нами для многих рек Казахстана.

#### Литература

1. Hoyt W.G., Langbein W.B. Floods. Princeton, New Jersey: Princeton Univ. Press, 1955. 469 p.
2. Гальперин Р.И., Белгожаева А.А., Колча Т.В. К вопросу о расчетах максимальных расходов воды зарегулированных рек (на примере рек Урал и Тобол) // Вестник КазНУ, сер. геогр. 2006. № 2 (23).
3. Плеханов П.А., Раюшкин Б.В. Проблемы безопасности прудов и водохранилищ в Казахстане // Матер. 2 Уральск. межд. экологич. конгр. "Экологическая безопасность промышленных регионов". Екатеринбург; Пермь, 2011.
4. Румянцев В.А., Бовыкин И.В. Пространственно-временные колебания стока рек Евразии. Л.: Наука, 1985. 147 с.
5. Водные ресурсы России. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
6. Гальперин Р.И., Достай Ж.Д. Вопросы совершенствования методов гидрологических расчетов и прогнозов для управления водными ресурсами. Географические проблемы устойчивого развития: теория и практика // Матер. межд. научн.-практич. конф. Алматы: Ин-т геогр. АО ЦНЗМО РК, 2008.
7. Сен-Ролан Д., Месфью М., Эвен Г. Гидроклиматическая изменчивость и связь с наводнениями (Южный Квебек, Канада) // Водные ресурсы. 2009. Т.36. № 1.
8. Разумов Г.А., Хасин М.Ф. Тонушие города. М.: Стройиздат, 1991. 260 с.
9. Найденов В.И., Кожеевникова И.А. Математические модели эффекта Харста // Российская наука – дорога жизни. М.: Октопус, 2002.
10. Блохинов Е.Г. Распределение вероятностей величин речного стока. М.: Наука, 1974. 169 с.
11. Определение основных расчетных гидрологических характеристик СП 33-101–2003. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.
12. Осипова Н.В. О выборе точки усечения в задаче аппроксимации распределения максимальных расходов воды // Водные ресурсы. 2009. Т.3. № 6.
13. Гальперин Р.И. Высокие уровни воды на реках равнинного Казахстана. Алматы: КазГУ, 1994. 172 с.
14. Гальперин Р.И. Использование усеченных кривых распределения для расчета максимальных уровней воды в реках // Вестник КазНУ, сер. геогр. 1999. № 8–9.
15. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель, Акмолинская область Казахской ССР. Л.: Гидрометеоздат, 1959. Вып. 1. 789 с.
16. Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Т. 12. Вып. III. Актюбинская область. Л.: Гидрометеоздат, 1966. 515 с.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. Алтай и Западная Сибирь. Горный Алтай и Верхний Иртыш. Л.: Гидрометеоздат, 1969. Т.15. Вып.1. Ч.1. 318 с.