

дений следует использовать для уточнения кривой связи «уровни-расходы» на г/п Барнаул.

### **Литература**

1. Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / отв. ред. Ю.И. Винокуров, А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных. Рос. Академия наук, Сибирское отделение. ИВЭП СО РАН – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 236 с.

2. *Зиновьев А.Т., Кудишин А.В., Шибких А.А.* Разработка ИМС для расчета течений в системе русел // Геоинформационные технологии и математические модели для мониторинга и управления экологическими и социально-экономическими системами. - Барнаул: Пять плюс, 2011. - С. 63-68.

## **О ВЫБОРЕ МЕТОДА ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ МАКСИМАЛЬНОГО ПАВОДОЧНОГО СТОКА**

**(на примере р. Адагум – г. Крымск)**

Осипова Н.В.

Институт водных проблем РАН, г. Москва  
osina14@yandex.ru

Правильный выбор метода оценивания параметров распределений паводочного стока в зоне максимальных значений очень важен для определения расчетных гидрологических характеристик и может существенно влиять на полученный результат. В статье обсуждаются три метода оценки параметров, используемые в современных гидрологических расчетах: метод моментов, метод наибольшего правдоподобия и метод  $L$ -моментов. Все расчеты выполнены на примере р. Адагум – г. Крымск, где в июле 2012 г. сформировался катастрофический паводок, приведший к образованию разрушительного наводнения.

Метод моментов заключается в приравнивании выражений для моментов распределения к соответствующим выборочным оценкам. Искомые оценки можно получить на основе рассмотрения количества моментов распределения, равного числу подлежащих оценке параметров и решения полученных уравнений относительно этих параметров. Метод подробно изложен во многих работах, например

[1] и др. Поскольку для большинства природных процессов характерно асимметричное распределение, недостатком метода для решения практических гидрологических задач является смещённость оценок при высокой асимметрии ( $C_s=3-4C_v$ ) и больших значениях коэффициента вариации  $C_v$ . В тех случаях, когда смещение оценок невелико, оно может быть устранено с помощью простых поправок [2].

Метод наибольшего правдоподобия, преимущества которого по сравнению с методом моментов при выполнении гидрологических расчетов показаны в работах [3, 4], широко применяется в гидрологической практике. До практического использования он был доведен Е.Г. Блохиновым [5]. Метод наибольшего правдоподобия приводит к эффективным оценкам с малым случайным рассеянием. Оценки правдоподобия практически не смещены, то есть не имеют систематической погрешности, что легко можно установить с помощью статистических испытаний.

Недостатками метода являются громоздкость вычислений и зависимость формул для оценки статистических параметров от закона распределения, который, в свою очередь, устанавливается в зависимости от статистических характеристик. Данный метод, рекомендованный СП 33-101-2003 [6], реализован в приближенном виде для распределения Крицкого-Менкеля. Для экстремальных характеристик получение оценок параметров затруднено тем, что в некоторых диапазонах таких оценок не существует.

Метод  $L$ -моментов был детально описан Хоскинггом [7] и нашел применение в практике расчетов приблизительно с 1997 г. Он имеет ряд существенных преимуществ при определении параметров в зоне экстремальных значений; поскольку  $L$ -моменты всегда существуют, в любом диапазоне значений могут быть получены достоверные оценки. Выборочные оценки параметров  $L$ -моментов – несмещенные, т.е. они слабо чувствительны даже к большим ошибкам, связанным с погрешностями получения исходной информации.

Другим очень важным методом является прямой способ определения параметров с помощью несложных математических действий. Подробно преимущества этого метода рассматривается в [8].

Для ряда законов распределения, в [7] приводятся соотношения параметров распределений и  $L$ -моментов. С целью упрощения использования метода  $L$ -моментов в практических расчетах построена номограмма для определения параметров трехпараметрического

гамма распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля ( $C_v$ ,  $C_s/C_v$ ) [9, 10].

Метод  $L$ -моментов эффективно работает с распределением обобщенных экстремальных значений [11]. В работах Мартинса и Стиденгера [12] представлены методы оценивания этого распределения на основе наибольшего правдоподобия для гидрологических приложений. Для ряда случаев полученные оценки более точны, чем те, которые используют  $L$ -моменты.

Для получения расчетных гидрологических характеристик обработаны данные о максимальных расходах воды по гидрологической станции р. Адагум – г. Крымск за многолетний период (1929 – 2012 гг.). Для определения расхода 1% обеспеченности использовались три различных метода оценивания параметров распределения Крицкого-Менкеля. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные гидрологические характеристики максимального стока р. Адагум-г. Крымск (распределение Крицкого-Менкеля)

Характеристики	Метод моментов	Метод наибольшего правдоподобия	Метод $L$ -моментов
	$Q_{\max}=1350 \text{ м}^3/\text{сек}$		
Среднее, $\text{м}^3/\text{сек}$	180	180	180
$C_v$	1,22	1,19	1,20
$C_s/C_v$	3	4	4
$Q_{1\%}$ , $\text{м}^3/\text{сек}$	1060	1040	1040

Результаты расчетов квантилей 1% обеспеченности, выполненных независимыми методами, незначительно отличаются друг от друга; параметры, полученные методом наибольшего правдоподобия и методом  $L$ -моментов практически полностью совпадают во всем диапазоне значений, что хорошо иллюстрирует рис. 1.

Также выполнен расчет основных характеристик стока на основе  $L$ -моментных оценок с использованием обобщенного распределения экстремумов (GEV-распределения), которое дает отличные результаты именно в зоне экстремальных значений. Получены следующие оценки параметров:  $Q_{\max}=1350 \text{ м}^3/\text{сек}$ ; средний расход за период наблюдений  $180 \text{ м}^3/\text{сек}$ ;  $C_v=1,16$ ;  $C_s/C_v=2,6$ ;  $Q_{1\%}=1050 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Следовательно, оценка по этому методу сравнима с результатами, полученными по методу наибольшего правдоподобия (см. рис. 2).

При решении гидрологических задач важно, что выборочная дисперсия  $L$ -моментных оценок может быть существенно меньше рассеяния оценок максимального правдоподобия, особенно при коротких выборках (порядка 20 лет) [7].

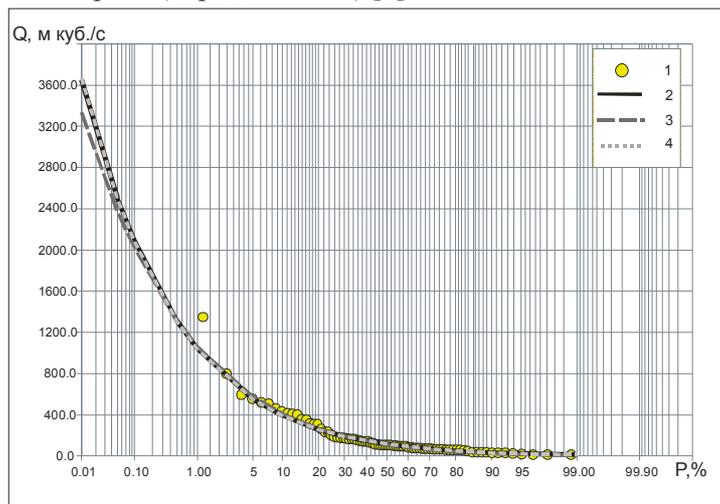


Рис. 1 – Совмещенные кривые обеспеченности Крицкого-Менкеля р. Адагум – г.Крымск. (1 - эмпирические точки, 2 - метод  $L$ -моментов, 3 – метод моментов, 4 – метод наибольшего правдоподобия)

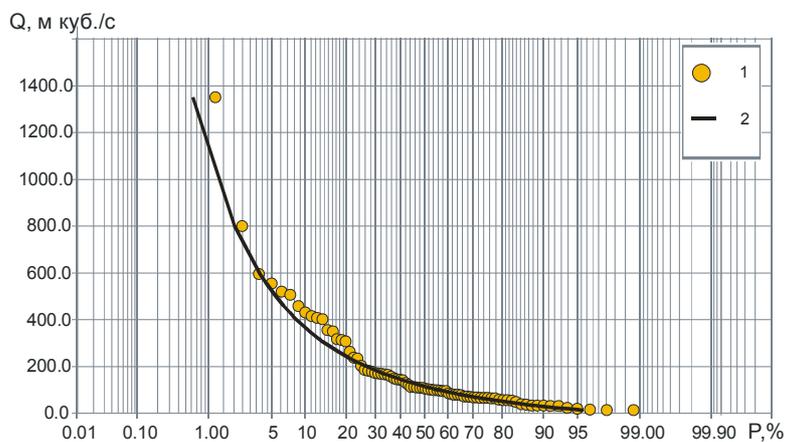


Рис. 2 – Кривая обеспеченности GEV-распределения: (1 – эмпирические точки, 2 - GEV)

В [13] показана эффективность использования метода  $L$ -моментов совместно с методикой усеченных распределений для оценок параметров экстремальных гидрологических характеристик.

В целом все методы оценивания параметров дают весьма близкие результаты и могут быть применены для различных типов распределений. Для оценки параметров кривых обеспеченности в зоне экстремальных значений можно рекомендовать использование методов наибольшего правдоподобия и  $L$ -моментов.

### Литература

1. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. – М.: Наука, 1981. 270 с.
2. Рождественский А.В., Чеботарев А. И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 424с.
3. Блохинов Е.Г. Исследования повторяемости дождевых паводков. // Сб. научных трудов Гидропроекта. 1960. №4. С.78-113.
4. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. О применении метода наибольшего правдоподобия к выборочной оценке статистических параметров речного стока // Известия АН СССР, ОТН. 1949, №4. С.579-585.
5. Блохинов Е.Г. О распределении оценок квантилей, вычисленных различными методами (применительно к расчетам речного стока). // Труды ГГИ. 1969, вып. 162. С. 18-36.
6. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных гидрологических характеристик СП 33-101-2003. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу. (Госстрой России), Москва, 2004.
7. Hosking J.R.M. L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. J.R. Statist. Soc. 1990, 52, № 1, p. 105-124.
8. Губарева Т.С., Гарцман Б.И. Оценка параметров распределений экстремальных гидрометеорологических величин методом  $L$ -моментов // Водные ресурсы, 2010, Т.37, №4, С. 398-407.
9. Болгов М.В., Мишон В.М, Сенцова Н.И. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения. – Москва: Наука. 2005. 318 с.
10. Болгов М.В., Осипова Н.В. Новые стохастические модели и методы в инженерной гидрологии (обзор) // Сб. тр. конф. “Совре-

менные проблемы стохастической гидрологии”, Москва, 22-25 января, 2001. С. 30-36.

11. Руководство по гидрологической практике (ВМО - № 168), пятое изд., 1997. 843 с.

12. *Martins, E.S. and J.R. Stedinger*. Generalized Maximum Likelihood Pareto-Poisson Flood Risk Analysis for Partial Duration Series, *Water Resources Research* 37(10), 2001. P. 2559-2567.

13. *Осинова Н.В.* О выборе точки усечения в задаче аппроксимации распределения вероятностей максимальных расходов воды // *Водные ресурсы*. 2009. Т.36. №6. С. 668-681.

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ МАКСИМАЛЬНЫХ ЖИДКИХ ОСАДКОВ И ПРЕДЕЛЬНО ВОЗМОЖНЫХ РАСХОДОВ ПАВОДКОВОГО СТОКА ДЛЯ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ПРИМОРЬЯ<sup>1</sup>**

Попова Н.О.

Институт водных проблем РАН, г. Москва

Natalia.o.popova@gmail.com

**Введение.** В практике водохозяйственного проектирования для определения возможных максимальных расходов речного стока, превышающих наибольшие наблюдаемые величины, применяют как вероятностный подход, основанный на экстраполяции кривой обеспеченности, подобранной по имеющимся данным наблюдений за максимальным стоком, так и детерминистический, состоящий в оценке предельно возможных расходов стока, сформировавшегося в результате критического сочетания неблагоприятных метеорологических факторов и состояния речного бассейна. Детерминистический подход, который основан на представлении о существовании физически обусловленного предела максимальных расходов речного стока, дает дополнительную информацию по сравнению с вероятностными методами, особенно при коротких рядах наблюдений, по которым расчетные величины стока малых обеспеченностей оцениваются с большими погрешностями. Предельно возможные расходы дождевого стока определяются в практике гидрологиче-

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №14-17-00700).